

**УНИВЕРЗИТЕТ ЕДУКОНС У СРЕМСКОЈ КАМЕНИЦИ
ФАКУЛТЕТ ЕКОЛОШКЕ ПОЉОПРИВРЕДЕ**

мр Предраг Брковић

**ПОТЕНЦИЈАЛ ЗА ПРИНОС И
СТАБИЛНОСТ РАЗЛИЧИТИХ
ГЕНОТИПОВА ПШЕНИЦЕ ГАЈЕНИХ У
ВАРИЈАБИЛНИМ УСЛОВИМА
СПОЉАШЊЕ СРЕДИНЕ**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Сремска Каменица, 2026. године

**УНИВЕРЗИТЕТ ЕДУКОНС У СРЕМСКОЈ КАМЕНИЦИ
ФАКУЛТЕТ ЕКОЛОШКЕ ПОЉОПРИВРЕДЕ**

**ПОТЕНЦИЈАЛ ЗА ПРИНОС И
СТАБИЛНОСТ РАЗЛИЧИТИХ
ГЕНОТИПОВА ПШЕНИЦЕ ГАЈЕНИХ У
ВАРИЈАБИЛНИМ УСЛОВИМА
СПОЉАШЊЕ СРЕДИНЕ**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ментори:

Проф. др Оливера Николић
др Мирела Матковић Стојшин

Кандидат:

мр Предраг Брковић

Сремска Каменица, 2026. године

**КЉУЧНЕ ДОКУМЕНТАЦИОНЕ ИНФОРМАЦИЈЕ ДОКТОРСKE
ДИСЕРТАЦИЈЕ**

I Аутор

Име и презиме: мр Предраг Брковић

Датум и место рођења: 23.2.1966., Пећ

Садашње запослење: Истраживачко-развојни институт „Тамиш“, Панчево

II Докторска дисертација

**Наслов: Потенцијал за принос и стабилност различитих генотипова пшенице
гајених у варијабилним условима спољашње средине**

Број страница: 269

Број слика: 6

Број табела: 50

Број графикана: 86

Број прилога: 14

Број библиографских јединица: 307

Установа и место где је докторска дисертација израђена: Универзитет Едуконс у
Сремској Каменици, Факултет еколошке пољопривреде, Сремска Каменица

Научно поље: Техничко-технолошке науке

Научна област (УДК): Биотехничке науке

Ужа научна област: Генетика и оплемењивање

Ментори: др Оливера Николић, редовни професор

др Мирела Матковић Стојшин, научни сарадник

III Оцена и одбрана

Датум пријаве теме: 08. 07. 2024.

Број одлуке и датум прихватања теме докторске (докторског уметничког рада) дисертације: СН. 146/24, 26. 09. 2024.

Комисија за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата:

1. др Оливера Николић, редовни професор
2. др Мирела Матковић Стојшин, научни сарадник
3. др Кристина Луковић, научни сарадник
4. др Зорица Мркоњић, доцент
5. др Зорана Срећков, доцент

Комисија за оцену и одбрану докторске (докторског уметничког рада) дисертације:

1. др Оливера Николић, редовни професор, ментор
Факултет еколошке пољопривреде, Универзитет Едуконс у Сремској Каменици

2. др Мирела Матковић Стојшин, научни сарадник, ментор
Истраживачко-развојни институт „Тамиш“, Панчево

3. др Кристина Луковић, виши научни сарадник, председник
Институт за повртарство Смедеревска Паланка, Смедеревска Паланка

4. др Зорица Мркоњић, ванредни професор, члан
Факултет еколошке пољопривреде, Универзитет Едуконс у Сремској Каменици

5. др Зорана Срећков, ванредни професор, члан
Факултет еколошке пољопривреде, Универзитет Едуконс у Сремској Каменици

ПОТЕНЦИЈАЛ ЗА ПРИНОС И СТАБИЛНОСТ РАЗЛИЧИТИХ ГЕНОТИПОВА ПШЕНИЦЕ ГАЈЕНИХ У ВАРИЈАБИЛНИМ УСЛОВИМА СПОЉАШЊЕ СРЕДИНЕ

САЖЕТАК

Истраживање обухваћено овом докторском дисертацијом је спроведено на три локалитета: Панчево (Огледно добро Истраживачко-развојног института „Тамиш“), Крагујевац (Огледно поље Центра за стрна жита и развој села у Крагујевцу) и Крушевац (Огледно поље Института за крмно биље Крушевац), током две вегетационе сезоне (2022/2023 и 2023/2024). У истраживање је укључено 15 генотипова пшенице (10 КГ-линија хлебне пшенице, три сорте хлебне пшенице коришћене као стандарди и две КГ-линије спелте). Проучаване су следеће морфолошке и продуктивне особине: висина биљке, дужина класа, маса класа, маса зрна по класу, број зрна по класу, принос зрна, као и особине квалитета, као што су: маса 1000 зрна, хектолитарска маса и садржај протеина у зрну. Поред тога, анализирани су антиоксидативни параметри (способност неутралисања слободног DPPH радикала и садржај укупних фенола) током различитих фенофаза пшенице, како би се утврдиле разлике између генотипова у антиоксидативном одговору на превалентне стресне услове.

Фактор генотип је имао највећи удео у фенотипској експресији дужине класа и хектолитарске масе, док су агроеколошке средине имале доминантан удео у варијацији свих осталих особина. Интеракција генотип \times спољашња средина је имала значајан ефекат у варијацији свих морфолошких и продуктивних особина. Највећа просечна варијабилност је установљена код масе зрна по класу ($CV=21,3\%$), а најмања код хектолитарске масе ($CV=1,4\%$). Интеграцијом АММИ и GGE биplot анализе, проучавана је стабилност и адаптабилност генотипова пшенице. Линије КГ-4/1, КГ-11/1 и сорта Победа су идентификоване као високоприносни и стабилни генотипови, где је линија КГ-11/1 рангирана као „идеални генотип“, док је линија КГ-4/1 остварила највећи просечни принос зрна на нивоу огледа ($6,48 \text{ t ha}^{-1}$). Линија КГ-40/1 и сорта Ренесанса су испољиле специфичну адаптабилност у одређеним срединама. Такође, линија спелте КГ-54-7/3-2 је испољила специфичну адаптабилност у неповољним условима средине, потврђујући важност спелте као алтернативног жита, посебно у *low-input* производним системима. Високозначајне позитивне корелације утврђене су између висине биљке и дужине класа ($0,86^{***}$), броја зрна по класу и дужине класа ($0,75^{**}$), масе класа и масе зрна по класу ($0,76^{**}$), као и између хектолитарске масе и масе 1000 зрна ($0,82^{***}$) и масе зрна по класу ($0,68^{**}$). Принос зрна је у позитивној корелацији са масом зрна по класу ($0,76^{**}$) и хектолитарском масом ($0,57^*$).

Параметри антиоксидативне активности у фенофазама бокорење и пораст у стабло су у позитивној корелацији са приносом зрна, што указује да се ови параметри могу користити као биохемијски маркери за идентификацију високоприносних генотипова пшенице толерантних на присутан стрес.

Кључне речи: адаптабилност, стабилност, интеракција генотип \times спољашња средина, АММИ анализа, GGE биplot анализа, антиоксидативна активност, абиотички стрес.

YIELD POTENTIAL AND STABILITY OF DIFFERENT WHEAT GENOTYPES GROWN UNDER VARIABLE ENVIRONMENTAL CONDITIONS

ABSTRACT

The research included in this doctoral dissertation was conducted at three localities: Pančevo (Experimental Field of the “Tamiš” Research and Development Institute), Kragujevac (Experimental Field of the Center for Small Grains and Rural Development in Kragujevac), and Kruševac (Experimental Field of the Institute for Forage Crops Kruševac), during two growing seasons (2022/2023 and 2023/2024). The study included 15 wheat genotypes (10 KG-lines of bread wheat, three bread wheat varieties used as standards, and two KG-lines of spelt). The following morphological and productive traits were examined: plant height, spike length, spike weight, grain weight per spike, number of grains per spike, and grain yield, as well as quality traits, including: thousand-grain weight, test weight, and grain protein content. In addition, antioxidant parameters (DPPH free radical scavenging activity and total phenolic content) were analyzed during different wheat phenophases in order to determine differences among genotypes in antioxidant response to prevailing stress conditions.

The genotype factor had the largest contribution to the phenotypic expression of spike length and test weight, while agroecological environments had a dominant effect on the variation of all other traits. The genotype \times environment interaction had a significant effect on the variation of all morphological and productive traits. The highest average variability was recorded for grain weight per spike (CV=21.3%), while the lowest variability was observed for test weight (CV=1.4%). By integrating AMMI and GGE biplot analyses, the stability and adaptability of wheat genotypes were evaluated. Lines KG-4/1, KG-11/1, and the variety Pobeda were identified as high-yielding and stable genotypes, with line KG-11/1 ranked as the “ideal genotype”, while line KG-4/1 achieved the highest average grain yield at the trial level (6.48 t ha⁻¹). Line KG-40/1 and the variety Renesansa exhibited specific adaptability in certain environments. In addition, the spelt line KG-54-7/3-2 showed specific adaptability under unfavorable environmental conditions, confirming the importance of spelt as an alternative cereal, particularly in low-input production systems. Highly significant positive correlations were established between plant height and spike length (0.86^{***}), number of grains per spike and spike length (0.75^{**}), spike weight and grain weight per spike (0.76^{**}), as well as between test weight and thousand-grain weight (0.82^{***}) and grain weight per spike (0.68^{**}). Grain yield was positively correlated with grain weight per spike (0.76^{**}) and test weight (0.57^{*}).

Antioxidant activity parameters at the tillering and stem elongation growth stages were positively correlated with grain yield, indicating that these parameters can serve as biochemical markers for identifying high-yielding wheat genotypes tolerant to prevailing stress.

Keywords: adaptability, stability, genotype \times environment interaction, AMMI analysis, GGE biplot analysis, antioxidant activity, abiotic stress.

САДРЖАЈ

1. УВОД	1
2. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА	5
3. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ	6
3.1. Порекло и распрострањеност пшенице	6
3.2. Фенотипска варијабилност морфолошких, продуктивних и особина квалитета пшенице	9
3.3. Интеракција генотипа и спољашње средине	22
3.4. Модели за процену стабилности и адаптабилности генотипова	25
3.5. Међусобна повезаност морфолошких, продуктивних и особина квалитета пшенице	31
3.6. Антиоксидативни одговор биљке на превалентни абиотички стрес	35
4. РАДНЕ ХИПОТЕЗЕ	38
5. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА	39
5.1. Биљни материјал и структура огледа	39
5.2. Агрометеоролошки услови у периоду извођења огледа	44
5.3. Анализа морфолошких и продуктивних особина пшенице	50
5.4. Анализа параметара антиоксидативне активности	52
5.4.1. Анализа способности неутрализације слободног DPPH радикала (DPPH тест)	53
5.4.2. Анализа садржаја укупних фенола	53
5.5. Статистичка анализа	54
6. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА	57
6.1. Фенотипска варијација морфолошких, продуктивних и особина квалитета пшенице	57
6.1.1. Фенотипска варијација висине биљке	57
6.1.2. Фенотипска варијација дужине класа	63
6.1.3. Фенотипска варијација масе класа	69
6.1.4. Фенотипска варијација масе зрна по класу	74
6.1.5. Фенотипска варијација броја зрна по класу	80
6.1.6. Фенотипска варијација приноса зрна	85
6.1.7. Фенотипска варијација масе 1000 зрна	91
6.1.8. Фенотипска варијација хектолитарске масе	96
6.1.9. Фенотипска варијација садржаја протеина у зрну	101

6.2. Процена стабилности и адаптабилности генотипова пшенице применом АММИ анализе	107
6.2.1. АММИ анализа за висину биљке	107
6.2.2. АММИ анализа за дужину класа	112
6.2.3. АММИ анализа за масу класа	115
6.2.4. АММИ анализа за масу зрна по класу	119
6.2.5. АММИ анализа за број зрна по класу	123
6.2.6. АММИ анализа за принос зрна.....	127
6.2.7. АММИ анализа за масу 1000 зрна	132
6.2.8. АММИ анализа за хектолитарску масу	136
6.2.9. АММИ анализа за садржај протеина у зрну.....	140
6.3. GGE биplot анализа стабилности и адаптабилности генотипова	144
6.3.1. GGE биplot анализа за висину биљке	144
6.3.2. GGE биplot анализа за дужину класа	149
6.3.3. GGE биplot анализа за масу класа	153
6.3.4. GGE биplot анализа за масу зрна по класу	157
6.3.5. GGE биplot анализа за број зрна по класу	162
6.3.6. GGE биplot анализа за принос зрна	166
6.3.7. GGE биplot анализа за масу 1000 зрна.....	169
6.3.8. GGE биplot анализа за хектолитарску масу.....	174
6.3.9. GGE биplot анализа за садржај протеина у зрну	178
6.4. Међусобна повезаност морфолошких, продуктивних и особина квалитета пшенице	183
6.5. Параметри антиоксидативне активности	187
6.5.1. Способност неутрализације слободног DPPH радикала	187
6.5.2. Садржај укупних фенола	189
6.6. Међусобна повезаност параметара антиоксидативне активности, морфолошких, продуктивних и особина квалитета пшенице	193
7. ДИСКУСИЈА	198
7.1. Фенотипска варијација морфолошких, продуктивних и особина квалитета пшенице.....	198
7.2. Стабилност и адаптабилност генотипова	206
7.3. Параметри антиоксидативне активности	214
7.4. Међусобна повезаност анализираних особина	217
8. ЗАКЉУЧАК	224
9. ЛИТЕРАТУРА	230
ПРИЛОЗИ.....	262

1. УВОД

Пшеница (*Triticum* spp.) је једна од најважнијих биљних врста, која је имала велики значај у развоју људске цивилизације. Од давнина је ова биљна врста играла важну улогу, а то је улога да нахрани свет. Данас је пшеница основна животна намирница за приближно 40% људске популације, која обезбеђује око 20% протеина и калорија на дневном нивоу (Shiferaw et al., 2013; Giraldo et al., 2019; Iqbal et al., 2021). Када се посматрају само житарице, пшеница се издваја као главни извор калорија и протеина, где у односу на остале житарице обезбеђује 41% калорија и 50% протеина (Shiferaw et al., 2013). С обзиром на њен значај у исхрани светске популације, пшеница је кључна за обезбеђивање глобалне прехранбене сигурности (Chand 2009; Braun et al. 2010; Giraldo et al., 2019; Iqbal et al., 2021). Посебно је важна у земљама у развоју, где се сврстава међу три најзаступљеније прехранбене врсте и служи као основни извор хране за око 2,5 милијарди људи (Shiferaw et al., 2013). Већина светске производње пшенице (око 66%) намењена је директној људској исхрани, док се приближно једна петина укупне количине користи као сточна храна. Поред тога, пшеница се користи и у индустријске сврхе, као сировина за добијање скроба, слада, декстрозе, глутена и алкохола (Ernstein et al., 2022).

Пшеница је једногодишња самооплодна биљна врста која припада породици трава *Poaceae*, потпородици *Pooideae*, трибусу *Triticeae* и роду *Triticum* (GRIN taxonomu, 2024). Трибус *Triticeae* обухвата многе врсте, једногодишње и вишегодишње, са различитим нивоима плоидије (диплоидне, тетраплоидне и хексаплоидне). Две врсте су од великог пољопривредног значаја: хлебна пшеница (*Triticum aestivum* L. var. *vulgare*, хексаплоид) и тврда/дурум пшеница (*Triticum turgidum* L. var. *durum* Desf., тетраплоид), Snape and Pankovà (2013). Хлебна пшеница (*Triticum aestivum* L.) чини око 90 до 95% произведене пшенице на свету, а користи се за производњу брашна, од којег се праве различите врсте хлеба и других пекарских производа. Укупна светска производња пшенице укључује и око 34,3 милиона тона зрна тврде пшенице (*Triticum turgidum* L. var. *durum* Desf.), IGC (2023), која има значај у производњи специфичних тестенина, као што су паста, макароне, нудле, кускус (Kabbaj et al., 2017). Остале врсте пшенице се мање гаје, иако имају веома важну улогу у растућем тржишту здравих намирница. У те врсте се убрајају једнозрнац (*Triticum*

monococcum L. subsp. *monococcum*), двозрнац (*Triticum turgidum* L. var. *dicoccum*) и спелта (*Triticum spelta*), које се од хлебне и тврде пшенице разликују по томе што имају плеву сраслу са зрном (Shewry and Hey, 2015).

Према доступним подацима Организације за храну и пољопривреду – ФАО (енг. Food and Agriculture Organization – FAO) у 2023. години глобална производња пшенице је износила 798,97 милиона тона, а пожњевене површине под пшеницом износиле су 222,4 милиона хектара, што пшеницу чини усевом који заузима највеће обрадиве површине на свету (FAOSTAT, 2025). Дакле, пшеница је широко адаптабилна врста, која се успешно гаји у различитим деловима света, при чему се може гајити на различитим надморским висинама – од нивоа мора, па до 4.570 m надморске висине на Тибету (Curtis et al., 2002). Такође, пшеница успева на географским ширинама између 30° и 60° северне ширине, као и између 27° и 40° јужне ширине (Briggle and Curtis, 1987). Ова широка распрострањеност гајења пшенице указује на њену изузетну способност прилагођавања различитим условима средине, што је резултат комплексности њеног генома. Због ових својстава, пшеница се узгаја на свим континентима, што омогућава њену жетву током целе године у различитим деловима света (Tadesse et al., 2019).

Производња пшенице је у почетку зависила углавном од повећања обрадивих површина, међутим од 1960-их година раст производње пшенице се све више заснива на примени агрономских иновација које су довеле до значајног повећања приноса. Овај процес је познат као „Зелена револуција“ (енг. Green revolution), а обухвата увођење гена редуктора раста стабљике, односно патуљастих гена (енг. dwarf genes), Rht1 (Rht-B1b) и Rht2 (Rht-D1b) гени (Würschum et al., 2017). Ови гени су први пут идентификовани у јапанској сорти Норин 10, која је послужила као донор у оплемењивању савремених сорти пшенице. Увођењем ових гена добијене су сорте са скраћеном стабљиком, које су отпорне на полегање, са побољшаним потенцијалом за принос, већом ефикасношћу у искоришћавању минералних ђубрива и побољшаном отпорношћу на биотичке и абиотичке факторе (Peng et al., 1999; Hedden, 2003; Kartseva et al., 2024; Zhou et al., 2025). Управо захваљујући овим карактеристикама, више од 70% данас комерцијално гајених сорти пшенице у свом геному носи патуљасте гене пореклом из сорте Норин 10 (Hedden, 2003).

Подаци ФАО показују да је глобална производња пшенице порасла са 222,3 милиона тона 1961. на 798,97 милиона тона 2023. године. Ово повећање глобалне производње је резултат повећања приноса пшенице. Ако посматрамо период од 60

година (1961 – 2020), глобални принос пшенице је порастао са $1,1 \text{ t ha}^{-1}$ 1961. године на $3,5 \text{ t ha}^{-1}$ 2020. године, што је просечено повећање за 40 kg ha^{-1} годишње. Међутим, према прорачунима Slafer et al. (2013) највеће повећање приноса и глобалне производње пшенице је управо у првој декади (1960 – 1970), декади „Зелене револуције“, док у каснијим деценијама долази до стагнације или опадања стопе раста приноса. Дакле, како наводе Ray et al. (2013), тренутно повећање производње пшенице, са годишњом стопом раста од око 1,1%, није довољно да се задовоље пројектоване потребе сверастуће популације, промена у навикама исхране и све већа употреба пшенице у производњи биогорива. Слично наведеном, Mirosavljević et al. (2020) су, проучавајући сорте озиме пшенице у условима Панонске низије, које су регистроване у периоду од 1920. и 2015. године, утврдили да је генетско побољшање приноса износило 48 kg ha^{-1} , а то је мање од 1% годишње. Имајући у виду да су предвиђања да ће глобална хумана популација достићи 9,4 милијарде до 2050. године, очекује се да ће потражња за пшеницом да се повећа за око 60% (Tripathi et al., 2019; Cao et al., 2020), што представља просечно годишње повећање од око 2% (Cao et al., 2020).

Међутим, задовољење растуће потражње за пшеницом неће бити могуће проширењем обрадивих површина, већ ће повећање морати да проистекне из унапређења приноса по јединици површине (Slafer et al., 1996; Albajes et al., 2013). Сходно томе, Reynolds et al. (2009) истичу да ће бити потребно да се приноси пшенице повећају за 50% у наредним деценијама. Како би се постигао овај циљ, неопходно је да се побољша потенцијал за принос (Hall and Richards 2013). Међутим, глобална производња пшенице је угрожена утицајем биотичких фактора (као што су патогени који изазивају болести) и абиотичких фактора (температурна варирања, изражена суша, заслањеност земљишта, итд.) који изазивају стрес у биљкама (Kong et al., 2020). Многа истраживања показују да су суша и висока температура два главна абиотичка фактора која ограничавају производњу пшенице, узрокујући драстично смањење приноса зрна (Qaseem et al., 2019; Tyagi and Pandey, 2022; Frantová et al., 2022; Sareen et al., 2023). Mirosavljević et al. (2021) наводе да је стагнација и редукција приноса зрна пшенице у Европи углавном резултат негативних ефеката климатских промена, које се испољавају у виду појаве топлотних таласа или суше током различитих главних фенолошких фаза развоја пшенице. Стога, развој климатски отпорних и високоприносних сорти житарица је неопходан за обезбеђивање прехранбене сигурности у будућности (Bailey-Serres et al., 2019).

Главни циљ сваког оплемењивачког програма је да се развију генотипови који се одликују високим приносом, добром адаптабилношћу, отпорношћу на биотичке и абиотичке стресове, као и добрим квалитетом за крајњу употребу (Tadesse et al., 2019). Међутим, стварање сорти толерантних на најважније биотичке и абиотичке факторе је изазов и задатак оплемењивачима, нарочито због тога што представља спор процес, који зависи од присутне генетичке варијабилности унутар саме популације (Crouch et al., 2009; Marković et al., 2021). Према наводима Balkan et al. (2018), генетичка варијабилност у популацији је круцијална, због тога што дозвољава популацији да се прилагоди променама у спољашњој средини. Стога, ефикасна селекција захтева познавање природе и обима варијације у популацији, као и познавање генских система који контролишу наслеђивање кључних особина, затим односа између особина и приноса зрна, као и утицаја фактора спољашње средине на фенотипску експресију датих особина (Zečević et al., 2004a, Zečević et al., 2004b; Yagdi and Sozen, 2009; Matković Stojšin et al., 2018; Knežević et al., 2020a; Banjac et al., 2022; Urošević et al., 2023a). У том контексту, процена агрономских особина у оквиру широке гермплазме пшенице је користан приступ за идентификацију пожељних генотипова који могу послужити као генетички ресурси у будућим оплемењивачким програмима (Philipp et al., 2018). Стога, карактеризација дивергентних генотипова пшенице, који укључују перспективне КГ-линије хлебне пшенице и спелте, као и признате сорте пшенице, које су предмет истраживања ове докторске дисертације, омогућава дубље разумевање генетичке разноликости, што је основа за стварање нових сорти које ће имати побољшане карактеристике у погледу приноса зрна, квалитета и толерантности на доминантне абиотичке факторе у различитим срединама.

2. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Основни циљ истраживања обухваћеног овом докторском дисертацијом је да се проучи потенцијал за принос и стабилност 15 дивергентних генотипова пшенице у различитим агроколошким условима. Сходно томе, циљ је да се установи утицај генотипа, локалитета, године и њихове интеракције на варијацију анализираних особина пшенице.

Такође, циљ је да се, спровођењем мултиваријационе статистичке анализе, детаљно сагледа утицај интеракције генотипа и спољашње средине у фенотипској експресији морфолошких и продуктивних особина пшенице, те да се процени који генотипови пшенице испољавају највећу стабилност и адаптабилност, уз постизање високих/пожељних вредности особина. Поред тога, циљ је да се процени дискриминативност и репрезентативност испитиваних агроколошких средина, како би се идентификовала најпогоднија средина за процену генотипова.

Циљ је да се сагледа међусобна повезаност анализираних морфолошких и продуктивних особина пшенице, као и да се изврши селекција и груписање генотипова, узимајући у обзир све агрономске особине истовремено.

Циљ је да се процени биохемијски одговор генотипова на варијабилне услове спољашње средине кроз анализу антиоксидативне активности у различитим фенофазама развоја пшенице. У вези са тим, циљ је да се сагледа међусобна повезаност морфолошких, продуктивних и биохемијских параметара, а пре свега повезаност антиоксидативне активности пшенице у различитим фенофазама са крајњим приносом зрна пшенице.

На основу добијених резултата, крајњи циљ је да се одаберу генотипови који би могли бити вредни генетички ресурси, односно са потенцијалом да се користе као родитељи у оплемењивачким програмима, али и да се сагледа њихов потенцијал да буду признати као нове сорте.

3. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

3.1. Порекло и распрострањеност пшенице

Будући да је пшеница током историје постала једна од најважнијих основних намирница човечанства, питање њеног порекла и еволуције одувек је фасцинирало људе.

Доместификација пшенице је почела са развојем људске цивилизације, током раног холоцена, пре око 12.000 година у подручју „Плодног полумесеца“ (енг. „Fertile Crescent“), а то је подручје данашњег Ирака, Ирана, Израела, Јордана, Либана, Палестине, Сирије и Турске (Salamini et al., 2002; Dvorak et al., 2006; Riehl et al., 2013). Ипак, еволуција пшенице представља дуготрајан и сложен процес који је обухватао природну хибридизацију, полиплоидизацију, доместификацију и мутације, а све то се одвијало више од 300.000 година, чинећи пшеницу изразитим моделом биљке за проучавање еволуције (Peng et al., 2011a).

Како наводе Kilian et al. (2010) у свом раду, још почетком 20. века аутори попут Sakamure (1918), Sax и Sax (1924) и Kihare (1924) су применом цитогенетичких метода сврстали све врсте пшенице у три основне групе према степену пloidности: 1) диплоидне ($2n = 14$), у које се убраја једнозрнац (*einkorn*); 2) тетраплоидне ($4n = 28$), као што је двозрнац (*emmer*); и 3) хексаплоидне ($6n = 42$), у које се убраја и хлебна пшеница. Исти аутори истичу да хексаплоидна хлебна пшеница, за разлику од других жита, нема познатог дивљег хексаплоидног претка, већ представља резултат полиплоидизације која је укључивала укрштање и удвостручавање генома различитих диплоидних и тетраплоидних врста (Kilian et al., 2010).

Хлебна пшеница, као хексаплоид (AABBDD) је еволуирала кроз два догађаја алополиплоидизације (Levy and Feldman, 2022; de Sousa et al., 2021). Први од ових догађаја везује се за период од пре око 300.000 до 500.000 година, када је спонтаном хибридизацијом дивље врсте *Triticum urartu* (A^uA^u ; $2n = 2x = 14$), који је донор А генома, и *Triticum speltoides*, који је донор В генома, настао алотетраплоидни дивљи двозрнац (*Triticum dicoccoides*, A^uA^uBB ; $2n = 4x = 28$) (Huang et al., 2002; Dvořák and Akhunov, 2005; Kilian et al., 2010; de Sousa et al., 2021). Преглед археолошких налазишта из периода прекерамичког неолита (10.300 до 9.500 година пре садашњости) указује на то да је дивљи двозрнац најпре узгајан у јужном Леванту (западни део

Плодног полумесеца). Ова дивља тетраплоидна пшеница је била основа за први талас доместификације, када је селекцијом и мутацијама у популацијама дивљег двозрнаца, у периоду од пре око 9.500 до 9.000 година пре данашњице, развијен култивисани (гајени) двозрнац (*Triticum dicocum*, A^uA^uBB), са неломљивим вретеном класа. Након појаве доместификованог двозрнаца, пре око 9.000 до 7.500 година, појавили су се голозрни типови ове врсте, погодни за вршидбу (Peng et al., 2011б).

Селекцијом и мутацијама су од гајеног двозрнаца касније настале бројне култивисане тетраплоидне врсте: *Triticum carthlicum*, *Triticum polonicum*, *Triticum israhanicum*, *Triticum turanicum*, као и *Triticum turgidum*. Међу њима је и *Triticum durum* (тврда пшеница), која се појавила нешто касније. Данас је широко гајена, а користи се за производњу тестенина (Kilian et al., 2010).

Други догађај алополиплоидизације догодио се након што се култивисани двозрнац (*Triticum dicocum*, AABB) укрестио са дивљом травом *Aegilops tauschii* (DD; $2n = 2x = 14$), услед чега је настала хексаплоидна спелта (*Triticum spelta*, AABBDD), пре око 9.000 година (Dvořák et al., 1998; Petersen et al., 2006; Matsuoka, 2011). Гајени двозрнац и спелта су се одликовали плевичастим зрном и ломљивим вретеном класа. Природним мутацијама ових врста, настале су касније, пре око 8.500 година, голозрне форме, као што су тврда (дурум) пшеница (*Triticum durum*, $2n = 4x = 28$, AABB) и хлебна пшеница (*Triticum aestivum*, $2n = 6x = 42$, AABBDD) (Matsuoka, 2011). Дакле, како наводе Rahman et al. (2020), двозрнац је имао најважнију улогу у еволуцији пшенице.

Према доступним подацима (FAOSTAT, 2025), у последњих десет година (од 2014. до 2023. године) највеће пожњевене површине под пшеницом на глобалном нивоу забележене су 2015. године (222,97 мил. ha), док су најмање површине евидентиране 2018. године (212,70 мил. ha). Највећа укупна производња пшенице је остварена у 2022. години и износила је 811,38 мил. тона. У 2023. години пшеница је на светском нивоу гајена на 220,41 мил. ha, уз укупну производњу од 798,98 милиона тона. У Европи су се површине под пшеницом током посматраног периода кретале од 58,72 мил. ha у 2014. години до 62,88 мил ha у 2021. години. Највећа производња пшенице у Европи је остварена 2022. године (283,25 мил. t), док је најмања производња забележена 2018. године (242,19 мил. t). У 2023. години укупна производња пшенице је износила 269,26 мил t на површини од 61,48 мил. ha (Табела 1).

Када је реч о Републици Србији, површине под пшеницом у десетогодишњем периоду показују израженије варијације у односу на свет и Европу. Највеће површине

под пшеницом су забележене у 2023. години, када се пшеница гајила на 682,25 хиљ., уз укупну производњу од 3,45 мил. тона. Најмање пожњевене површине су остварене у 2017. години (556,12 хиљ. ha), када је забележена и најмања укупна производња пшенице (2,43 мил. t), FAOSTAT (2025) (Табела 1). Према подацима Републичког завода за статистику (РЗС, 2025), најновији доступни подаци обухватају и 2024. годину, када су пожњевене површине износиле 549,03 хиљ. ha, уз укупну производњу од 2,90 мил. тона.

Табела 1. Производња пшенице у свету, Европи и Србији у периоду од 2014. до 2023. године

Година	Свет		Европа		Р. Србија	
	Површина (мил. ha)	Производња (мил. t)	Површина (мил. ha)	Производња (мил. t)	Површина (хиљ. ha)	Производња (мил. t)
2014.	219,54	728,76	58,72	249,25	604,75	2,39
2015.	222,97	741,85	61,48	257,46	589,92	2,43
2016.	218,95	748,44	62,59	252,16	595,12	2,88
2017.	217,19	772,59	61,88	272,38	556,12	2,28
2018.	212,70	732,65	60,61	242,19	643,08	2,94
2019.	213,50	763,27	62,39	266,13	577,50	2,53
2020.	217,21	760,14	61,53	254,80	581,13	2,87
2021.	219,89	774,64	62,88	269,34	598,74	3,44
2022.	219,03	811,38	62,74	283,25	631,09	3,11
2023.	220,41	798,98	61,48	269,26	682,25	3,45

Извор: FAOSTAT, 2025

Иако хлебна пшеница (*Triticum aestivum*) представља најраспрострањенију и најзначајнију врсту пшенице у светској производњи, последњих година расте интересовање за алтернативне врсте пшенице, међу којима се посебно издваја спелта (*Triticum spelta*) (Huertas-García et al., 2023; Longin et al., 2023). Спелта се одликује високим садржајем протеина у зрну, витамина, минералних материја, као и једињења са значајном биолошком активношћу, као што су антиоксиданси (Jablonskytè-Raščè et al., 2013; Diordiieva et al., 2024). Поред тога, спелта показује значајну толерантност на проузроковаче болести (Chrrova et al., 2021), што је чини погодним усевом за гајење у органској производњи (Zečević et al., 2018; Vojnov et al., 2020).

3.2. Фенотипска варијабилност морфолошких, продуктивних и особина квалитета пшенице

Успешна производња пшенице, као и свих гајених усева, се суочава са климатским променама у виду екстремних температура, праћених сушом, временским непогодама и деградацијом земљишта (Raza et al., 2019; Chaudhry and Sidhu, 2022; Farhad et al., 2023). Стога су оплемењивачки програми пшенице усмерени на повећање продуктивности кроз развој нових генотипова са високим приносом и повећаном толерантношћу на више врста стреса (Al-Ashkar et al., 2020; Krishnappa et al., 2022).

Принос зрна је сложена квантитативна особина, која је условљена деловањем више фактора и њихових интеракција (Deng et al., 2011). Такође, принос се сматра „суперсвојством“ јер се састоји од већег броја компоненти приноса, које су, такође, квантитативне природе, чија је основа наслеђивања полигена, односно контролисана већим бројем гена са малим ефектом (Сао et al., 2020). Стога, веома је важно да се сагледа утицај фактора генотипа, спољашње средине и њихове интеракције на варијабилност компоненти приноса и приноса зрна у одређеној популацији пшенице (Zečević et al., 2010; Philipp et al., 2018; Matković Stojšin et al., 2018; Knežević et al., 2020b; Luković et al., 2020; Al-Ashkar et al., 2022).

Управо приступ који подразумева испитивање дивергентне гермплазме, дозвољава истраживачима и оплемењивачима да идентификују и разумеју разноврсне карактеристике присутне у проучаваној популацији пшенице, које се могу користити за развој унапређених сорти са побољшаним приносом и квалитетом зрна (Longin and Würschum, 2014; Balkan et al., 2018; Bendjama and Ramdani, 2022).

Морфолошке и фенолошке особине значајно доприносе адаптацији пшенице на различите абиотичке факторе, због чега су широко коришћене у детерминацији генетичког диверзитета током развоја нових сорти (Hyles et al., 2020; Luković et al., 2020).

Висина биљке је, након „Зелене револуције“, постала веома важна особина код жита, где је увођењем Rht1 (Rht-B1b) и Rht2 (Rht-D1b) гена значајно смањена висина биљке, што је утицало на смањење полегања усева, а самим тим и повећање приноса зрна и жетвеног индекса (Würschum et al., 2017; Shaheen et al., 2024; Kartseva et al., 2024; Zhou et al., 2025). Стога је проучавање промена архитектуре биљке предмет новијих истраживања, јер модификовање архитектуре може значајно побољшати

продуктивност, иако је изазовно због негативних асоцијација са кључним агрономским особинама које утичу на принос зрна (Shaheen et al., 2024).

Висина виљке је квантитативна особина на коју, поред фактора генотип, велики утицај имају и фактори спољашње средине (Rad et al., 2013; Popović et al., 2020; Ljubičić et al., 2021; Matković Stojšin et al., 2022a). Zečević et al. (2008), спроводећи двогодишње истраживање са десет сорти пшенице, су установили значајан утицај генотипа и године на висину биљке, где је знатно већи удео у фенотипској варијацији особине имао фактор генотип (66,16%). Овакав резултат потврђује присутну дивергентност испитиване гермплазме у истраживању. Исти аутори су установили да се коефицијент варијације висине биљке кретао од 2,7% до 6,1%. До сличних резултата су дошли Matković Stojšin et al. (2018), спроводећи трогодишње испитивање варијабилности компоненти приноса код различитих сорти пшенице, где су установили висок удео генотипске у укупној фенотипској варијацији висине биљке пшенице, односно високу вредност херитабилности у ширем смислу (93,1%).

Кнежевић et al. (2020б) су спровели двогодишње истраживање са десет дивергентних генотипова пшенице с циљем испитивања варијабилности висине стабљике пшенице. Поменути аутори истичу да је највећи удео у испољавању висине стабљике имао фактор спољашње средине, односно године (51,42%), док је фактор генотип имао удео од 23,12% у фенотипској експресији особине, док је удео интеракције генотип \times спољашња средина износио 4,24%. До сличних резултата су дошли Popović et al. (2020), који су проучавали утицај третирања семена четири сорте пшенице различитим концентрацијама наночестица цинк-оксида током две вегетационе сезоне на компоненте приноса и принос зрна. Утврђено је да је фактор средине, односно ефекат третмана по годинама, имао већи удео у експресији висине биљке у односу на фактор генотип. На основу добијених резултата, аутори закључују да разлике између третмана доприносе доминантном уделу фактора спољашње средине у варијацији висине биљке. Такође, испитујући реакцију различитих генотипова пшенице на стресне услове халоморфног земљишта и примену мера мелиорације, Ljubičić et al. (2021) су утврдили да фактор околине има доминантан утицај на висину биљке, при чему су генотипови пшенице показали различите одговоре у зависности од услова средине.

Иако је висока стабљика код пшенице непожељна особина, услед тенденције високих биљака ка полагању, Chrpová et al. (2021) наводе да висина биљке код спелте игра улогу пасивног фактора резистентности на фузариозу класа (*Fusarium Head*

Blight). Поменути аутори су установили да модерни генотипови спелте, код којих је значајно смањена висина биљке у односу на старе сорте, показују знатно већу осетљивост на фузариозу. Такође, Longin и Würschum (2014) не препоручују да висина биљке код спелте буде мања од 100 до 120 cm, с обзиром на то да је принос сламе, такође значајан.

Дужина класа је једна од најважнијих особина која утиче на формирање приноса зрна пшенице (Mladenov et al., 2019). Дужина класа утиче на број класића и број зрна по класу, где дужи класови обично имају више класића и зрна (Zhang et al., 2022). Стога, повећање дужине класа може да утиче на повећање индивидуалног приноса класа, без промене густине класића (Zhao et al., 2023).

Дужина класа је генетички контролисана особина, на коју, поред генотипа, значајан утицај имају и фактори спољашње средине (Zečević et al., 2008). У складу са тим, Jiang et al. (2025) наводе да је дужина класа квантитавина особина на коју утиче већи број гена.

Mladenov et al. (2019) су спровели истраживање са 96 генотипова пшенице, гајених током две вегетационе сезоне на два локалитета, при чему су установили да је највећи удео у фенотипској варијацији дужине класа имао фактор генотип (45,49%), затим интеракција генотип \times спољашња средина (20,05%), док је најмањи удео у варијацији имао фактор агроколошких средина (2,45%).

На основу истраживања спроведеног на тридесет линија хлебне пшенице и три сорте стандарда, Ullah et al. (2021) су утврдили висок удео генотипске варијансе у укупној фенотипској варијанси за дужину класа, што је условило високу херитабилност ове особине (99,58%). Ови налази су у сагласности са резултатима Shamsabadi et al. (2020), који су установили да су адитивни гени имали доминантан ефекат у експресији дужине класа, што ову особину чини погодном за директну селекцију пожељних биљака у оплемењивачким програмима. Abdurezake et al. (2024) такође истичу да је значајан утицај фактора генотип резултат акције адитивних гена, што олакшава селекцију на одређене квантитативне особине.

Lacko-Bartošová et al. (2022) су спровели компаративну процену агро-морфолошких и квалитативних особина старих сорти и врста пшенице (једнозрнац, двозрнац и спелта) гајених у условима органске производње током три узастопне године. Аутори су утврдили да сорте објашњавају 85,1% укупне варијације дужине класа, док година доприноси са 11,3%, при чему је интеракција сорта \times година била статистички значајна. Коефицијенти варијације за дужину класа били су испод 10% за

све испитиване сорте, што указује на висок степен стабилности ове особине. Највећа дужина класа забележена је код свих сорти спелте (просечно 12,2 cm), затим код двозрнца (8,5 cm), а најмања код једнозрнца (6,6 cm).

Клас пшенице представља основну структуру која носи зрна пшенице. Облик и структура класа (архитектура класа), директно утичу на број зрна по класу, а самим тим и на принос зрна по класу. Због тога се савремена истраживања све више фокусирају на особине класа, као и на проучавање гена који контролишу архитектуру класа, а све са циљем постизања већег приноса зрна (Ji et al., 2025).

Маса класа је квантитативна особина, која је у значајној зависности од утицаја фактора спољашње средине. Кнежевић et al. (2010) су анализом учешћа компоненти варијансе у укупној фенотипској варијанси утврдили да у експресији масе класа највећи удео има фактор година (38,6%), затим генотип (32,2%), док је интеракција генотип × година имала најмањи удео (14,2%). У истом истраживању забележен је релативно висок просечни коефицијент варијације масе класа (15,58%), који је варирао од 11,01% до 20,64% код анализираних сорти пшенице, у зависности од године испитивања. Ванјас et al. (2022) су проучавали фенотипску варијабилност компоненти приноса и приноса зрна код генотипова пшенице гајених на солоњцу (контрола и два тертмана поправке солоњца применом фосфоригипса) током три вегетационе сезоне. Аутори су утврдили да фактор спољашње средине има највећи удео у експресији масе класа, што је довело до ниске херитабилности ове особине на нивоу огледа (31,98%). Ови резултати указују да је експресија масе класа условљена ефектом више гена и да зависи од масе зрна по класу и броја зрна по класу. Урошевић et al. (2025) су анализирали варијабилност масе класа код 50 дивергентних генотипова пшенице и утврдили да она зависи од генотипа, односно од адаптивне реакције генотипова на услове средине. У овом истраживању, маса класа кретала се у распону од 2,74 g до 4,51 g, са просечном вредношћу од 3,86 g и просечним коефицијентом варијације од 16,5%.

Маса зрна по класу представља резултат развоја бројних компоненти приноса које се формирају у раним фазама развоја биљке, због чега се сматра крајњом компонентом приноса (Боројевић, 1983; Зећевић et al., 2010). Ова особина има значајну улогу у формирању укупног приноса зрна, с обзиром на то да директно утиче на жетвени индекс. Поред тога, маса зрна по класу одражава ефикасност коришћења хранљивих материја и њихов транспорт ка продуктивним деловима биљке (Боројевић, 1983). Претходне студије које су спровели Зећевић et al. (2010) показују да на масу зрна по класу значајно, и готово подједнако, утичу фактори генотип и спољашња средина, са

доминантним уделом интеракције ова два фактора у укупној варијацији особине. Аутори истичу да варијабилност међу генотиповима и вегетационим сезонама указује на присутну генетску дистанцу између проучаваних сорти пшенице, као и на разлике у факторима средине током периода гајења пшенице. Сличне закључке су касније потврдили Luković et al. (2025a), који су утврдили да фактор генотип и фактор спољашње средине подједнако доприносе варијацији масе зрна по класу пшенице (по 33% удела у укупној суми квадрата), док је удео интеракције генотип × спољашња средина био знатно мањи (9,78%). Güngör et al. (2022) су у двогодишњем испитивању 18 комерцијалних сорти хлебне пшенице, гајених у различитим агроеколошким условима, утврдили да у варијацији масе зрна по класу доминантну улогу има фактор спољашње средине (56,30%), затим интеракција генотип × спољашња средина (28,81%), док је удео генотипа знатно мањи (14,90%). Поред тога, релативно висок просечни коефицијент варијације ове особине (16,75%) указује на изражену фенотипску варијабилност масе зрна по класу. Сличне резултате су раније добили Зећевић et al. (2018), који су анализирали фенотипску варијабилност масе зрна по класу код генотипова спелте. Њихови резултати указују да фактор године има доминантан удео у укупној варијацији ове особине (50%), док је удео фактора генотип знатно мањи (29,73%). Поред тога, вредности коефицијента варијације масе зрна по класу, које су износиле 12,0% и 13,7% у појединачним годинама, указују на изражену варијабилност ове особине. Супротно овим налазима, Urošević et al. (2023a) су у двогодишњем испитивању старих и модерних сорти пшенице утврдили да фактор генотип има доминантан удео у варијацији масе зрна по класу (66,7%). Поменути аутори овакав резултат објашњавају израженом генетичком разноликошћу гермплазме укључене у истраживање. Поред тога, обе године испитивања карактерисали су повољни услови за гајење пшенице, што је омогућило пуну експресију генетичког потенцијала испитиваних генотипова и додатно нагласило утицај фактора генотип у односу на варијације између година.

Принос пшенице углавном зависи од три основна фактора: броја зрна по класу, масе хиљаду зрна и броја класова по јединици површине (Ji et al., 2025). Имајући у виду да је број зрна пластичнија особина у односу на масу зрна (Sadras and Slafer, 2012), број зрна представља особину која у већој мери доприноси повећању приноса у односу на величину зрна (Slafer et al., 2014). Истраживања указују да је *sink* потенцијал, односно капацитет биљке да током фазе наливања зрна прихвати и акумулира асимилате, у великој мери одређен бројем зрна по класу и представља један од

кључних ограничавајућих фактора остварења високог приноса зрна (Lo Valvo et al., 2018). Број зрна по класу је особина преваходно детерминисана бројем класића по класу и фертилношћу појединачних цветова (Sreenivasulu and Schnurbusch, 2012; Guo and Schnurbusch, 2015). Према Serrago et al. (2025), ефикасност формирања зрна одражава се у равнотежи између раста јувенилних класова, односно класова пшенице у раној фази развоја, и развоја цветних пупољака током фазе пораста у стабло. Поред тога, број зрна по класу у великој мери зависи од акумулације суве материје у класу, која се одвија у периоду од 20 до 30 дана пре цветања (anthesis) (Ferrante et al., 2020; Serrago et al., 2025). Ово упућује на закључак да фактори спољашње средине у фази пораста у стабло имају значајан утицај на формирање броја зрна по класу.

У истраживању које су спровели Matković Stojšin et al. (2018), број зрна по класу је особина са средње високом херитабилношћу, односно са високим уделом генотипске у укупној фенотипској варијанси. Слична запажања износе Кнежевић et al. (2012), наводећи да је број зрна по класу одређен доминантним утицајем фактора генотип. Зечевић и сар. (2022), спроведећи истраживање са седам генотипова дурум пшенице у органској производњи, су установили значајан утицај генотипа и интеракције генотип \times година на испољавање броја зрна по класу, док утицај фактора година није био статистички значајан. Слични резултати су добијени у ранијем истраживању Зећевић et al. (2018), у којем је проучавана фенотипска варијабилност шест линија и једне сорте спелте у органском систему гајења током две вегетационе сезоне. Наиме, поменути аутори су установили да највећи део укупне фенотипске варијабилности броја зрна по класу припада фактору генотип (73,48%), знатно мањи интеракцији генотип \times спољашња средина (12,30%), а најмањи фактору спољашње средине (1,87%). С друге стране, Amin et al. (2015), проучавајући варијабилност и херитабилност 50 генотипова јаре пшенице, су утврдили да је фенотипски коефицијент варијације броја зрна по класу већи од генотипског, што указује на значајан утицај фактора спољашње средине у експресији ове особине. С тим у вези, када наступи сушни период током репродуктивне фазе развоја биљке долази до значајног смањења броја зрна код пшенице (Dong et al., 2017; Ma et al., 2017).

Принос зрна се формира током онтогенетског развоја биљке у интеракцији са факторима спољашње средине (Mađry et al., 2015). То је сложена квантитативна особина, детерминисана компонентама приноса које су у великој мери условљене утицајем биотичких и абиотичких фактора (Mađry et al., 2015; Sewore and Abe 2024).

Повећање приноса пшенице у највећој мери зависи од сорте, климатских услова и примењене агротехнике. Унапређење генетичког потенцијала приноса код нових сорти, као и побољшање других агрономских и технолошких особина, омогућавају повећање производње пшенице по јединици површине (Mladenov et al., 2011). У складу са тим, поменути аутори су установили да је стопа повећања потенцијала за принос зрна била 41 kg ha^{-1} у односу на годину признавања сорти. Сличне резултате наводе и Jocković et al. (2022), који су, на основу истраживања спроведеног на историјском сету од 25 сорти озиме пшенице током четири вегетационе сезоне у Новом Саду, утврдили линеаран пораст приноса зрна пшенице од $45,7 \text{ kg ha}^{-1}$ годишње, што указује на значајан напредак у оплемењивању савремених сорти. Аутори истичу да је овај пораст приноса повезан са израженијим „*stay-green*“ особинама, односно повећаном способношћу нових сорти да дуже задрже „*stay-green*“ особине, односно фотосинтетску активност.

Nikolić et al. (2013) су у трогодишњем огледу анализирали варијабилност 30 дивергентних генотипова пшенице и утврдили да је у варијацији приноса зрна највећи удео имао фактор генотип. Аутори истичу да су испитиване сорте представљале значајан извор варијабилности релевантан за оплемењивачке програме, односно да уочена варијабилност међу генотиповима за испитиване особине, међу којима је и принос зрна, указује на могућност њиховог унапређења путем селекције.

Према Borrás et al. (2004) и González et al. (2014), принос пшенице је најчешће ограничен капацитетом зрна током фазе наливања зрна (*sink* потенцијалом), што значи да је количина доступних асимилата већа од потребе зрна у овој фази. Међутим, с обзиром на то да се принос зрна формира током целог развојног циклуса усева, различите фазе имају више или мање значаја у његовом формирању, у зависности од њихове осетљивости на факторе спољашње средине. Другим речима, услови и интензитет фотосинтезе пре цветања утичу на принос јер одређују капацитет зрна за акумулацију суве материје (*sink* потенцијал) (Slafer et al., 2023; Murchie et al., 2023).

Метеоролошки услови имају различит утицај на принос и квалитет пшенице у свакој агроеколошкој средини или региону (Мао et al., 2023). Производња пшенице и остварени приноси су на глобалном нивоу све више угрожени учесталим сушама које су резултат климатских промена (Requeno et al., 2021). Дакле, према наводима Fagoog et al. (2014) и Semenov et al. (2014), суша утиче на *sink* и *source* капацитет биљке, односно на изворе и акцепторе асимилатива, што доводи до смањења приноса пшенице, при чему смањење приноса може достићи и до 92%, у зависности од фазе развоја, као и трајања и интензитета стреса суше. Ипак, стрес суше у критичним фазама развоја

биљке је гавни фактор смањења приноса, нарочито када суша наступи у време цветања, што резултира у смањеној фертилности и смањењу броја зрна у класу (Wang et al., 2014; Dong et al., 2017). Xu et al. (2023) су у свом истраживању са 152 сорте јаре пшенице, спроведеном у условима суше и повољних услова средине (без стреса суше), утврдили да је стрес суше смањио принос зрна пшенице за 33,8%. Luković et al. (2025b), на основу трогодишњег истраживања са 19 генотипова озиме пшенице, наводе да су разлике у годинама најзначајнији фактор који утиче на принос зрна, и то са уделом у варијацији од 47,9%, док је удео фактора генотип у укупној варијацији ове особине знатно мањи (18,86%). Уочава се да су се анализиране године веома разликовале, нарочито у погледу расподеле и количине падавина, што је великим делом допринело доминантном ефекту фактора спољашње средине. Проучавајући принос и компоненте приноса спелте у различитим агроколошким условима, односно у девет различитих средина, Војнов et al. (2020) су установили да су највећи приноси спелте остварени у срединама које се одликују најповољнијим земљишним условима (земљиште типа чернозем). Исти аутори истичу да је на локалитетима на којима је остварен највећи принос зрна забележена довољна количина падавина. Такође, у средини у којој је остварен најнижи принос спелте, забележене су више температуре у периоду наливања зрна, као и мање количине падавина са неповољнијим распоредом.

Madić et al. (2025) наводе да се година истраживања у којој је остварен већи принос зрна одликовала благом и дугом зимом, хладним пролећем и сувим и топлим летом, уз мању, али релативно добро распоређену количину падавина. Дакле, поред количине падавина, веома је важна и њихова расподела у формирању приноса зрна пшенице.

Поред повећања приноса зрна, циљ оплемењивачких програма је и побољшање особина квалитета пшенице. Стога, оплемењивачки програми пшенице широм света се суочавају са изазовом да одрже или унапреде агрономске особине, уз истовремено побољшање особина квалитета, а све са циљем да се задовоље потребе тржишта, односно крајњих корисника (произвођачи, млинари, пекари, итд.), Echeverry-Solarte et al., 2015; Subedi et al., 2023. Маса 1000 зрна је кључна економска особина у програмима оплемењивања, због своје улоге у испољавању приноса зрна и квалитета (Krishnapra et al., 2023). Стога је, према истим ауторима, при оплемењивању на повећан садржај протеина у зрну неопходно истовремено узети у обзир и масу 1000 зрна, како би се избегло прецењивање садржаја протеина и погрешни закључци о стварном квалитету и продуктивности генотипова, будући да слабо испуњена зрна често показују повећан

процент протеина, иако укупна количина протеина по зрну може бити нижа (Krishnapra et al., 2023). Маса 1000 зрна се, поред хектолитарске масе, сматра параметром физичког квалитета зрна и представља величину зрна (Тимић et al., 2024). Дакле, како истичу Abdipour et al. (2016), маса 1000 зрна може да варира у зависности од величине зрна, односно од дужине, ширине и дебљине зрна. Међутим, величина зрна је често у негативној корелацији са бројем зрна по класу, углавном због конкуренције за доступним асимилативима (Kumar et al. 2016).

Urošević et al. (2024) су анализирали варијабилност масе 1000 зрна код 50 генотипова хлебне пшенице, гајених током две вегетационе сезоне. Аутори су установили да на ову особину значајан утицај имају фактори генотип и година, као и њихове интеракције. Установљено је различито кластероване генотипова у погледу масе 1000 зрна по сезонама, где је дошло до различите реакције генотипова на услове спољашње средине, услед разлика у распореду и количини падавина између сезона.

Sime and Tesfaye (2021) су, проучавајући стабилност и варијабилност 25 генотипова пшенице, гајених на шест локалитета, установили да интеракција генотип × спољашња средина има највећи удео у фенотипској варијацији масе 1000 зрна. С друге стране, Matković Stojšin et al. (2018) су, у анализи варијабилности компоненти квалитета различитих сорти пшенице, установили високу вредност херитабилности у ширем смислу за масу 1000 зрна, услед великог удела генотипске у укупној фенотипској варијабилности. До сличних резултата су дошли Urošević et al. (2023a), проучавајући компоненте приноса и квалитета старих и модерних сорти пшенице у двогодишњем истраживању, где наводе да је највећи утицај у фенотипској експресији масе 1000 зрна имао фактор генотип.

Зечевић и сар. (2021) проучавали су варијабилност масе 1000 зрна код четири линије и једне сорте спелте пшенице током две године, при чему су утврдили да у фенотипској варијацији масе 1000 зрна највећи удео припада фактору године (63,2%), док фактор интеракције генотип × година учествује са 25,4%, а фактор генотипа са 10,2%. Знатно већи удео фактора године објашњава се значајним разликама у количини и расподели падавина, при чему је у сезони са већом количином и равномернијим распоредом падавина забележена већа маса 1000 зрна.

Хектолитарска маса је важан показатељ физичког квалитета, и представља масу зрна у јединици запремине, односно масу једног хектолитра изражену у килограмима (Protić et al., 2007; Lakić-Karalić et al., 2021). Захваљујући једноставности и брзини

мерења, хектолитарска маса је прихваћена као показатељ квалитета пшенице и других жита у међународној трговини (Okuyama et al. 2020).

Protić et al. (2007) истичу да, уз обезбеђивање једнаких услова, сорта са већом хектолитарском масом даје већи принос брашна. Ово потврђује значај примене овог параметра квалитета у пекарској индустрији (Protić et al., 2007; Okuyama et al., 2020).

Према Protić et al. (2007) хектолитарска маса код пшенице се креће у распону од 60 до 84 kg hl⁻¹, при чему се пшеницом доброг квалитета сматра она чија је хектолитарска маса изнад 76 kg hl⁻¹. Међутим, стресни услови у току вегетације, као што су недовољно снабдевање биљака хранљивим материјама, високе температуре током периода наливања зрна, полагање усева, оштећења проузрокована инсектима, као и појава екстремних временских догађаја попут мраза и града, могу довести до значајног смањења хектолитарске масе пшенице (Isleib, 2012). Terzić et al. (2025) су, изводећи експеримент са осам третмана минералног ђубрива, током три вегетационе сезоне, установили да на хектолитарску масу значајно утичу фактор година и фактор ђубрење, као и њихова интеракција. Такође, истраживање Mitura et al. (2023) показује да на хектолитарску масу пшенице значајно утичу година, сорта и систем производње. Luković et al. (2016) су у трогодишњем испитивању 16 генотипова пшенице (15 КГ-линија и сорта Победа као стандард) установили да највећи удео у варијацији хектолитарске масе имао фактор година (66,59%), док је утицај фактора генотип и интеракције генотип × година био знатно мањи (7,08, односно 4,57%). Код анализираних генотипова пшенице хектолитарска маса је варирала од 76,66 kg hl⁻¹ до 79,73 kg hl⁻¹, у просеку за све године. Madić et al. (2024) су, проучавајући принос и квалитет код 10 перспективних линија Центра за стрна жита у Крагујевцу, установили да је код свих анализираних линија хектолитарска маса била изнад 80 kg hl⁻¹, што их класификује као линије високог квалитета. Timić et al. (2024) су утврдили да највећи допринос варијацији хектолитарске масе има интеракција генотип × година (26%), затим генотип (17,3%) и година (16,8%). Поменути аутори су установили да је код 30 анализираних генотипова пшенице хектолитарска маса варирала од 72,85 kg hl⁻¹ до 81,0 kg hl⁻¹.

Tóth et al. (2022) су проучавали компоненте квалитета код 90 генотипова озиме спелте пшенице током три године, при чему су установили да је у варијацији хектолитарске масе фактор генотип имао удео од 21,7%, а фактор године 16,3%. Просечна хектолитарска маса код испитиваног сета генотипова спелте је била 70,5 kg hl⁻¹, а кретала се у распону од 58,9 kg hl⁻¹ до 81,9 kg hl⁻¹.

Пшеница и производи од пшенице су најважнији извори протеина, када је реч о житарицама (Braun et al., 2010). Садржај протеина у зрну пшенице представља показатељ квалитета брашна, теста и прехранбених производа направљених од њих, као што су шпагете, хлеб, колачи, кекси и пецива (Djukic and Knežević, 2013; Knežević et al., 2016). Управо је то главни разлог за побољшање садржаја протеина у зрну код сорти пшенице (Urošević et al., 2023b). Пшеница која има средњи до висок садржај протеина (изнад 12%) сматра се погодном за пекарску индустрију, док се пшеница са нижим садржајем протеина користи за производњу кекса, тестенина, или као сировина за сточну храну (Ross, 2017).

У истраживању које су спровели Urošević et al. (2023b) са десет генотипова пшенице, садржај протеина у зрну је варирао од 10,24 до 14,21%. Студија Urošević et al. (2023a), која је обухватила поређење старијих и савремених сорти пшенице, показала је да је оплемењивање током времена довело до повећања садржаја протеина у зрну пшенице, при чему су утврдили да савремене сорте у просеку садрже 13,12% протеина, док су старије сорте, настале током 1970-их година, имале значајно нижи садржај протеина (просечно 11,21%). Сличне резултате наводе и Anjum et al. (2008), који су у свом истраживању такође уочили позитиван тренд повећања садржаја протеина код сорти пшенице током последњих декада.

Branković et al. (2018) су анализирали садржај протеина код 15 генотипова хлебне пшенице (*Triticum aestivum*) и 15 генотипова тврде пшенице (*Triticum durum*), гајених на три локалитета, током две вегетационе сезоне, при чему су установили да је садржај протеина варирао од 12,4 до 15,4% код хлебне пшенице, и од 14,3 до 17,1% код дурум пшенице. Такође, у овом истраживању је установљен статистички значајан утицај генотипа, локалитета, године и њихових интеракција на садржај протеина у зрну. Аутори су утврдили да је удео генотипске у укупној фенотипској варијанси (херитабилност у ширем смислу) висок за садржај протеина у зрну, посебно код хлебне пшенице, на основу чега износе закључак да је фенотипска експресија садржаја протеина под већом генетичком контролом. Tóth et al. (2022) испитивали су садржај протеина код 90 генотипова озиме спелте пшенице и два генотипа хлебне пшенице, коришћена као контрола, у истраживању спроведеном у Мађарској током три вегетационе сезоне. Аутори су утврдили да је фактор генотип имао знатно већи удео у укупној варијацији садржаја протеина (51,41%), затим интеракција генотип × спољашња средина (35,3%), док фактор године није имао значајан утицај на варијацију (5,82%). Такође, утврђено је да генотипови спелте имају значајно виши просечан

садржај протеина (18,9%) у поређењу са сортама хлебне пшенице, које су имале садржај протеина од 16,3% и 14,53%.

Међутим, садржај протеина у зрну је сложена квантитативна особина на коју, поред генетичке основе, значајно утиче и фактор спољашње средине, нарочито доступност азота, као и интеракција генотип \times спољашња средина (Hernández-Espinosa et al., 2018; Krishnappa et al., 2019; Бањац и сар., 2022; Krishnappa et al., 2023; Jansone et al., 2024).

Кауа and Аккура (2014) су испитивали утицај генотипа и спољашње средине на принос и квалитет хлебне пшенице. Они су утврдили да је садржај протеина највише под утицајем спољашње средине, која објашњава 44,4% варијације, затим генотип са 36,1%, а интеракција генотип \times спољашња средина доприноси са 19,4% варијације. Просечни коефицијент варијације садржаја протеина износио је 6,55%. Аутори закључују да ефекте средине и интеракције генотип \times средина не треба занемарити приликом оплемењивања пшенице са циљем побољшања квалитета зрна.

Тимић et al. (2024) истичу да су у условима Републике Србије фазе цветања и наливања зрна критични периоди који захтевају повољне временске услове за постизање високог квалитета зрна пшенице. Истраживање ових аутора, спроведено у Војводини (Римски шанчеви, Нови Сад) на тридесет генотипова пшенице током четири вегетационе сезоне, показује да је варијабилност садржаја протеина у зрну у највећој мери условљена фактором године. Најнижи садржај протеина забележен је у сезони 2015/2016 (11,31%), која се одликовала већим падавинама у јуну, док је највећи садржај протеина забележен у сезони 2016/2017 (14,71%), када је количина падавина у периоду наливања зрна била двоструко мања.

Бањац и сар. (2022) су испитивали 71 генотип хексаплоидне пшенице, од којих је 69 генотипова било хлебна пшеница (*Triticum aestivum*), један генотип спелта (*Triticum spelta*), а један компактум пшеница (*Triticum compactum*), гајених на два локалитета – Нови Сад (Римски шанчеви) и Сремска Митровица. Аутори су утврдили да микроклиматски услови значајно утичу на садржај протеина код испитиваних генотипова, при чему је већи просечни садржај протеина забележен на локалитету Сремска Митровица (11,0%) у односу на Нови Сад (10,7%), што је објашњено мањом количином падавина у преджетвеном периоду на овом локалитету.

Топлотни стрес током развоја зрна негативно је утицао на синтезу скроба, смањујући садржај скроба и повећавајући садржај протеина (Wang et al., 2018). Zhao et al. (2022) истичу да је већи удео протеина након топлотног стреса последица смањења

акумулације скроба. Vai et al. (2025) анализирали су реакцију различитих генотипова пшенице на топлотни стрес, при чему су пратили промене у приносу и саставу протеина у различитим агроколошким условима у Аустралији. Они су утврдили да је каснија сетва, која је праћена топлотним стресом, довела до повећања садржаја протеина у зрну, што се објашњава скраћивањем периода наливања зрна. Период наливања зрна је кључан за акумулацију протеина, јер скраћивање времена наливања зрна резултира мањим зрнима са већом концентрацијом протеина, с обзиром на то да је синтеза скроба осетљивија на високе температуре него синтеза протеина. Поред тога, под утицајем топлотног стреса повећан је удео глијадина у односу на глутенине, што може негативно утицати на еластичност теста и његову погодност за коришћење у пекарској индустрији. Ови резултати су у складу са претходним истраживањима Hadži-Tašković Šukalović et al. (2013), који су установили да садржај протеина у зрну пшенице расте са повећањем температуре током наливања зрна, док се смањује при већим количинама падавина.

Zhao et al. (2022) су, испитујући утицај стреса ниских и високих температура у периоду наливања зрна на принос, садржај скроба и протеина у зрну пшенице, установили да је у оба случаја дошло до повећања садржаја протеина у зрну, уз смањење садржаја скроба. Позитивни ефекти температурног стреса (стрес ниских и стрес високих температура) на проценат укупних протеина уочени су у периоду од 15. до 17. дана након опрашивања, међутим, ово повећање је било релативне природе, јер је услед значајног смањења масе зрна забележен негативан утицај температурног стреса на апсолутну акумулацију протеина по зрну. Дакле, иако је температурни стрес довео до повећања процентуалног удела протеина у зрну, укупан садржај протеина је био највећи при оптималним условима (контрола), што указује на то да је повећан проценат протеина под стресом последица смањења масе зрна, а не интензивније синтезе протеина.

3.3. Интеракција генотипа и спољашње средине

Оплемењивање биљака је историјски обликовала интеракција генотип \times средина ($G \times E$), почевши од избора родитељских генотипова за будућа укрштања, па све до развоја комерцијалних генотипова намењених за ширу производњу (Bančić et al., 2024).

У условима све израженијих климатских промена, истиче се значај селекције генотипова пшенице који показују висок принос зрна и стабилност у различитим условима средине. Према Vegna (2020), фактори спољашње средине, као што су тип земљишта, влажност, температура, интензитет светлости, релативна влажност ваздуха, количина падавина, дужина дана и примењена агротехничка пракса, имају значајан утицај на експресију гена који контролишу особине усева, што резултира различитом фенотипском експресијом особина у различитим срединама. Услед флукуација ових фактора спољашње средине, фенотипски одговор генотипова није увек исти у различитим срединама, што указује на присуство изражене интеракције генотип \times спољашња средина, која додатно компликује процес селекције генотипова (Malosetti et al., 2013; Vegna, 2020; Amelework et al., 2023; Bratković et al., 2024; Abebe et al., 2024). Стога је анализа интеракције генотипа и спољашње средине кључна у процени стабилности и широке адаптабилности генотипова, а истовремено омогућава препоруку генотипова за производњу у специфичним подручјима (уска адаптабилност) (Kebede et al., 2023; Saeidnia et al., 2023). Дакле, проучавање интеракције генотип \times спољашња средина пружа основу за селекцију генотипова који се одликују широком или специфичном адаптабилношћу, односно оних генотипова који се могу гајити у ширим регионима или генотипова који се успешно гаје у одређеним срединама (Sime and Tesfaye, 2021).

Појам стабилности се користи за опис генотипа који показује релативно конзистентан принос, или неке друге фенотипске перформансе, независно од промена у условима средине. Према томе, генотипови са минималним варијансама приноса, или неке друге фенотипске перформансе, у различитим срединама се сматрају стабилним. Са друге стране, адаптабилност означава боље прилагођавање генотипа одређеној средини (Moorthy et al., 2012; Chandrakanth et al., 2016; Vegna, 2020). Адаптабилност је резултат интеракције $G \times E$ и дели се на: општу (широку) адаптабилност, када генотип има задобвољавајући принос у широком спектру средине; и специфичну (уску)

адаптабилност, када генотип даје добар принос само у одређеним, повољним срединама (Vegna, 2020).

Успех сваког оплемењивачког програма зависи од његове способности да пољопривредним произвођачима обезбеди генотипове са гарантованим супериорним перформансама (фенотипом) у погледу приноса и/или квалитета у широком спектру услова средине. Да би се овај циљ постигао, неопходно је разумевање фактора који доводе до испољавања повољног фенотипа (Malosetti et al., 2013).

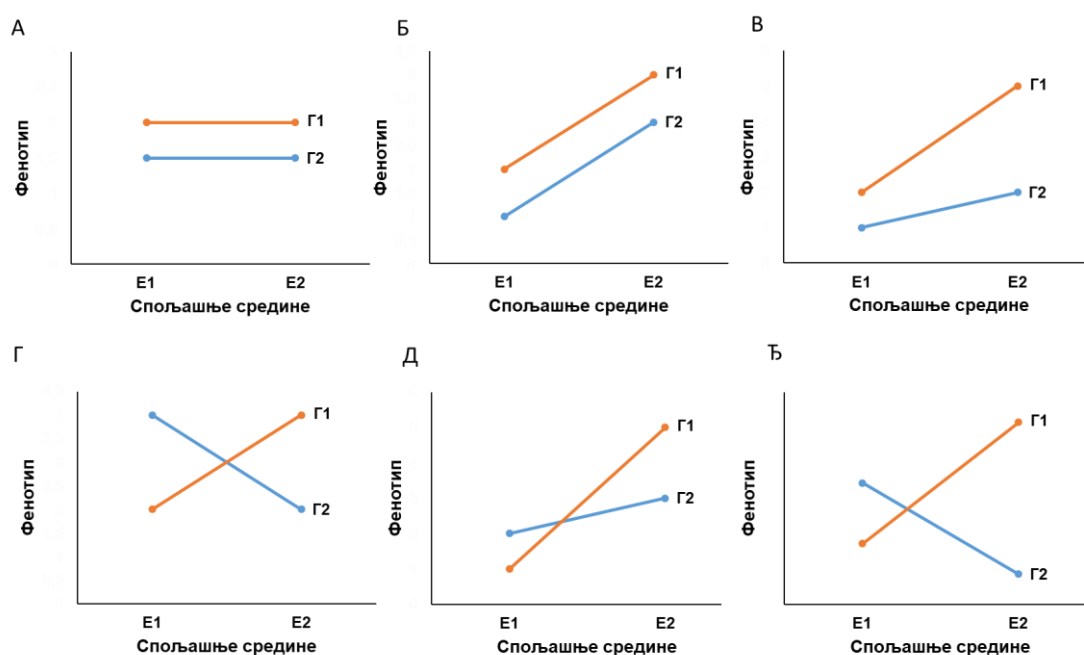
Постоје три основна типа интеракције генотип \times спољашња средина (Слика 1): без интеракције (А, Б), *non-crossover* интеракција, односно интеракција без промене ранга (В), и *crossover* интеракција, односно интеракција са променом ранга (Г, Д, Ђ), Baye et al. (2011), Osei et al. (2018).

Слика 1А, Б показује ситуацију у којој нема интеракције генотип \times спољашња средина, при чему фактори генотип и средина делују адитивно, односно делују независно и њихови ефекти се збирно одражавају на фенотип, а реакције генотипова на промене средине су паралелне, што значи да редослед генотипова остаје исти у свим срединама (Malosetti et al., 2013; Osei et al., 2018). Дакле, ситуација без интеракције се јавља када један генотип константно даје боље перформансе фенотипа у односу на други генотип, приближно за исту вредност у обе средине. Поред тога, варијанса између генотипова остаје непромењена у обе средине, а правац утицаја средине на генотипове је исти. На слици 1А уочава се главни ефекат генотипа, док је на слици 1Б присутан главни ефекат средине (Osei et al., 2018).

Непаралелне, али непресецајуће линије (Слика 1В) показују да редослед перформанси, односно рангирање генотипова у различитим срединама остаје исто (de Leon et al., 2016). Међутим, разлика у перформансама генотипова није иста по срединама, као што је то био случај на Слици 1А и 1Б. У овом случају, одговор два генотипа у различитим срединама је неадитиван, а величина разлика између генотипова се повећава. Дакле, овде је реч о интеракцији без промена у рангу (*non-crossover*), Baye et al. (2011), Osei et al. (2018).

Када линије које представљају различите генотипове пресеку једна другу, то показује да генотипови мењају свој редослед у фенотипским перформансама у различитим срединама, односно да долази до промене у њиховом рангирању по срединама (*crossover* интеракција), Слика 1 Г, Д, Ђ. На пример, генотип који је најбољи у једној средини може бити лошији у другој. То значи да оптимални генотип зависи од

конкретне средине (de Leon et al., 2016). Дакле, интеракција са променом ранга указује на то да ниједан генотип није супериоран у више средина (Osei et al., 2018).



Слика 1. Типови интеракције генотипа и спољашње средине: без интеракције (А, Б), интеракција без промене ранга (*non-crossover*) (В), и интеракција са променом ранга (*crossover*) (Г, Д, Ђ), код два генотипа (Г1 и Г2) у различитим срединама (Е1 и Е2), прилагођено према Baye et al. (2011)

Слика 1Г показује супротан смер утицаја спољашње средине на генотипове, где се фенотипске перформансе Г1 побољшавају, док се перформансе Г2 смањују. Дакле, у овом случају, рангирање генотипова се мења између две средине, али величина међугенотипске варијансе остаје непромењена, односно апсолутне разлике између генотипова су исте. На слици 1Д приказана је интеракција са променом у рангирању, али и са променом у међугенотипској варијанси, односно у разликама између генотипова у различитим срединама. Разлике између Г1 и Г2 су мање у средини Е1 него у средини Е2, али је смер утицаја средина на оба генотипа исти. Илустрација на слици 1Ђ приказује интеракцију са променом у рангирању, где спољашња средина утиче на генотипове у супротном смеру. Такође, разлике између генотипова су мање у средини Е1 у односу на средину Е2 (Baye et al., 2011; Osei et al., 2018).

Интеракције са променом у рангирању генотипова (*crossover* интеракција) су најзначајније за оплемењиваче, јер указују на то да избор најбољег генотипа зависи од

специфичне средине. Када је интеракција $G \times E$ изражена, перформансе сета генотипова у једној средини не пружају поуздану информацију о њиховом понашању у другој средини (Malosetti et al., 2013).

Главни фокус у оплемењивању биљака у будућности биће проучавање интеракције $G \times E$, како би се развиле сорте толерантне на климатске промене и различите биотичке и абиотичке стресове. У суштини, интеракција генотип \times средина представља један од главних изазова у селекцији генотипова са широм адаптацијом и стабилним перформансама. Стога је процена генотипова у смислу адаптабилности и стабилности кључни предуслов. Пошто није могуће тестирати генотипове у свим циљним срединама, оплемењивачи изводе индиректну селекцију кроз заснивање огледа у више средина (*енг.* multi-environment trials - METs) или одабране средине за тестирање генотипова (Begna, 2020).

3.4. Модели за процену стабилности и адаптабилности генотипова

Проучавање како генотипови реагују у различитим агроеколошким срединама, односно проучавање интеракције генотипа и спољашње средине, пружа основу за одабир сорти прилагођених за гајење у ширим географским подручјима, као и оних које су погодне за гајење у специфичним условима средине (Petrović et al., 2010; Vanjac et al., 2014; Neisse et al., 2018; Ljubičić et al., 2021). Оплемењивачи биљака процењују величину и облик интеракције $G \times E$ у оплемењивачким програмима на основу прикупљених података са спроведених огледа у више средина (*енг.* Multi-environment trials – METs), а то су најчешће огледи који су засновани кроз више година и на више локалитета (Bernardo, 2020; Olivoto et al., 2019; Alemayehu et al., 2025). Стога, веома је значајно спроводити мултилокацијске огледе или огледе у више агроеколошких средина, како би се разумео генетички потенцијал анализираних генотипова у варирајућим условима средине (Mohammadi et al., 2018; Hongyu et al., 2018).

Генотип који показује ниску варијансу интеракције генотип \times спољашња средина, изнадпросечан одговор на потенцијал за принос у проучаваним срединама и ниже одступање од очекиваног одговора унутар дате средине може се сматрати идеалним генотипом са широком адаптабилношћу (Araín et al., 2011). Управо генотипови са

широком адаптабилношћу у различитим срединама представљају најбоље родитеље за укрштање ради побољшања генетичког потенцијала (Ljubičić et al., 2022).

Мультипликативни (мултиваријациони) модели имају широку примену у оплемењивању биљака, јер ефикасно обухватају велики део интеракције генотип \times средина ($G \times E$) (Bančić et al., 2024). Међу најчешће коришћеним моделима издвајају се АММИ модел (Zobel et al., 1988; Gauch and Zobel, 1996) и GGE модел (Yan et al., 2000; Yan et al., 2007).

Модел адитивних главних ефеката и мултипликативне интеракције (*енг.* Additive Main Effects and Multiplicative Interaction – АММИ) прво израчунава ефекте генотипа и спољашње средине (адитивни извор варијације), користећи анализу варијансе (ANOVA), а затим анализира преостале ефекте (интеракција генотип \times спољашња средина), применом анализе главних компоненти (*енг.* Principal Components Analysis – PCA), Zobel et al. (1988); Gauch and Zobel (1996). Прве две интеракцијске компоненте ($IPCA_1$ и $IPCA_2$) објашњавају највећи део интеракције $G \times E$, док трећа и следеће интеракцијске компоненте немају предиктивну вредност нити биолошку интерпретабилност, јер их углавном одређује „шум“ (*енг.* noise) у подацима (Gauch and Zobel, 1996). Стога су АММИ₁ и АММИ₂ модели најшире коришћени за анализу и интерпретацију интеракције $G \times E$. Визуелни приказ резултата модела реализује се кроз АММИ₁ и АММИ₂ биплотове. На АММИ₁ биплоту, главни ефекти (генотип и спољашња средина) приказани су на абсциси, а $IPCA_1$ скорови на ординати. Овај биplot приказ омогућава истраживачима да истовремено процене просечну продуктивност генотипова и агроеколошких средина, као и њихову стабилност (Zobel et al., 1988; Gauch, 1992; Gauch and Zobel, 1997). Када је реч о АММИ₂ биплоту, на апсциси су приказани скорови $IPCA_1$, а на ординати $IPCA_2$ компоненте. На основу овог биplot приказа, могу се проценити генотипови у смислу њихове стабилности и специфичне адаптабилности у различитим срединама (Gauch, 1992; Neisse et al., 2018). Purchase et al. (2000) развили су квантитативни показатељ стабилности за рангирање генотипова на основу АММИ анализе, који узима у обзир комбиновани ефекат прве две интеракцијске компоненте ($IPCA_1$ и $IPCA_2$). Овај показатељ, познат као АММИ индекс стабилности (*енг.* АММИ Stability Value – ASV), омогућава упоредну процену стабилности различитих генотипова у условима различитих средина, где се генотипови са нижим ASV вредностима сматрају стабилнијим, и обрнуто.

Модел АММИ представља један од најчешће коришћених приступа за анализу интеракције генотип \times спољашња средина и широко је примењиван у истраживањима

стабилности и адаптабилности генотипова пшенице (Mohammadi et al., 2018; Popović et al., 2020; Sime and Tesfaye, 2021; Ljubičić et al., 2021; Omrani et al., 2022; Banjac et al., 2022; Gupta et al., 2022; Matković Stojšin et al., 2022a, 2023; Jędzura et al., 2023; Alemayehu et al., 2025; Luković et al., 2025a, 2025b; Mohammadi et al., 2025; Al-Ghumaiz et al., 2025, Abdallah et al., 2025).

Banjac et al. (2022) су применили АММІ анализу како би идентификовали стабилне генотипове пшенице у условима стреса изазваног повећаном алкалношћу земљишта. Истраживање је спроведено током три вегетационе сезоне у Куману (Банат, АП Војводина) са 11 генотипова пшенице и једним генотипом тритикалеа, гајених на солоњцу са два третмана поправке фосфоригипсом и контроли (без примене фосфоригипса). Резултати су показали да је стабилност генотипова зависила како од микроклиме, тако и од примењених третмана поправке земљишта. Локална популација Банатка и стара сорта Банкут 1205, као и сорте Рапсодија и Ренесанса су се издвојиле као најстабилније, при чему су Рапсодија и Ренесанса показале највеће просечне вредности масе зрна по класу. Генотип Симонида је показао стабилну реакцију у погледу масе зрна по класу у мање повољним климатским условима. Слично истраживање су спровели Ljubičić et al. (2021), примењујући АММІ анализу за испитивање интеракције генотип \times спољашња средина код 10 генотипова пшенице гајених на солоњцу (контрола и два третмана поправке) кроз две вегетационе сезоне. У истраживању су проучаване кључне морфолошке и продуктивне особине, као што су висина биљке, маса зрна по биљци, принос зрна и жетвени индекс. Утврђено је да су одређени генотипови имали мали интеракцијски ефекат, односно мали допринос интеракцији $G \times E$, те се сматрају стабилним. Са друге стране, издвојени су и нестабилни генотипови, који су били најудаљенији од координатног почетка. Реакције генотипова зависиле су и од године и од примене третмана поправке земљишта, где су одређени генотипови испољили добру адаптабилност на контролном третману, док су други повољно реаговали на третмане са поправком, примењене у различитим сезонама. Matković Stojšin et al. (2022a) су испитивали стабилност и адаптабилност 27 генотипова пшенице гајених на чернозему и солоњцу током две вегетационе сезоне. Утврђено је да су поједини генотипови, међу којима и сорта Ренесанса, испољили висок принос зрна по класу уз високу стабилност на нивоу огледа. Поред тога, идентификовани су генотипови са израженим адаптивним одговором на неповољне земљишне услове солоњца и мање повољне метеоролошке услове, као и генотипови

који су боље реаговали у повољнијим срединама, што указује на присуство специфичне и шире адаптабилности.

Luković et al. (2025a) су проучавали стабилност и адаптабилност 14 генотипова озиме пшенице, од којих је 13 представљало перспективне селекционе линије, док је сорта Победа коришћена као стандард, на три локалитета (Крагујевац, Крушевац и Сомбор) гајених у вегетационој сезони са прекомерним падавинама. За процену интеракције генотип \times средина и стабилности масе зрна по класу примењена је АММИ анализа. Резултати су указали на значајан утицај агроеколошких услова на испољавање испитиваног својства, као и на јасно издвајање линије KG-52/23, која је показала високу просечну вредност и изражену стабилност масе зрна по класу. Дакле, ова линија је добар генетички ресурс за коришћење у оплемењивачким програмима.

Jędzura и сар. (2022) су у истраживању са 26 генотипова јаре пшенице, испитиваних у шест различитих средина у Пољској, утврдили да сви анализирани фактори имају значајан утицај на принос зрна. Спроведена АММИ анализа и прорачунате ASV вредности показују да је генотип са највишим приносом истовремено био и најнестабилнији, са специфичном адаптабилношћу у условима једног од анализираних локалитета. С друге стране, најстабилнији генотип је остварио принос нешто изнад просека за оглед. Ови резултати потврђују да висока стабилност не мора нужно бити праћена највишим приносом и да стабилност сама по себи не може бити једини критеријум при селекцији генотипова.

Al-Ghumaiz et al. (2025) су испитивали стабилност приноса седам елитних генотипова пшенице, гајених током пет узастопних година под органском и конвенционалном производњом. На основу спроведене АММИ анализе издвојио се генотип са високом вредношћу приноса зрна и најнижом ASV вредношћу, која указује на високу стабилност и широку адаптабилност, посебно у условима органске производње. Супротно томе, издвојила су се два генотипа са израженом нестабилношћу, али специфичном адаптабилношћу у одређеним срединама.

Примена АММИ анализе има значај у идентификацији генотипова пшенице са адаптабилношћу на топлотни стрес, посебно у фази наливања зрна, што је од великог значаја за одржавање продуктивности пшенице у аридним регионима подложним високим температурама. Истраживање Abdallah и сар. (2025) са 35 генотипова хлебне пшенице показало је да су се издвојили генотипови који имају висок потенцијал за принос и стабилност како у повољним, тако и у условима топлотног стреса, што их чини добрим кандидатима за гајење, као и добрим генетичким ресурсима за коришћење

у програмима оплемењивања на повећану толерантност на топлотни стрес. Насупрот томе, одређени генотипови су показали добар принос у повољним условима, али су били осетљиви на продужени топлотни стрес.

Биplot анализа генотип плус интеркација генотипа са спољашњом средином, тзв. GGE (*енг.* Genotype plus Genotype \times Environment) биplot анализа, коју су развили Yan и cap. (2000, 2007), представља ефикасан приступ за анализу података добијених из огледа спроведених у више агроеколошких средина или локација.

Обе анализе, АММИ и GGE биplot, заснивају се на анализи главних компоненти (*енг.* Principal Components Analysis – PCA), која омогућава процену односа између агроеколошких средина, генотипова и интеракције генотип \times спољашња средина (Gauch et al., 2006; Neisse et al., 2018; Rahmati et al., 2024). Кључна разлика између ових метода огледа се у начину припреме података пре примене сингуларне декомпозиције вредности (*енг.* Singular value decomposition – SVD): код АММИ анализе SVD се примењује на подацима који не укључују средње вредности за генотипове и средине, док се код GGE биplot анализе из података искључују само средње вредности за средине пре примене SVD (Gauch, 2006). Такође, GGE биplot анализа пружа додатне графичке приказе, као што су: „Means vs. Stability“ GGE биplot, који омогућава идентификацију генотипова који показују високу вредност анализираних особине уз стабилну реакцију, „Which-won-where“ биplotа, који издваја потенцијалне мегасредине, као и генотипове који побеђују у одређеној средини или срединама, „Discriminateness vs. Representativeness“ GGE биplot, који омогућава процену средина које су најбоље за тестирање генотипова (дискриминативне средине), као и средина које представљају типичне услове експеримента, а које се одликују високом репрезентативношћу, као и биplotове који се односе на рангирање генотипова и агроеколошких средина (Yan et al., 2000, 2007; Yan, 2001). Оба ова модела су комплементарна и често се изводе заједно од стране истраживача, а све са циљем да се детаљно пручи интеракција $\Gamma \times E$, као и да се идентификују најбољи генотипови у одређеним срединама, као и генотипови који се одликују широм адаптабилношћу, али и да се идентификују најпогодније средине за тестирање генотипова (Bishwas et al., 2021; Bosi et al., 2022; Gupta et al., 2022; Perišić et al., 2022; Saeidinia et al., 2023; Omrani et al., 2023; Kebede et al., 2023; Taherian et al., 2024; Mullalem et al., 2024; Rahmati et al., 2024; Alemayehu et al., 2025; Mohammadi et al., 2025).

Perišić et al. (2022) су проучавали стабилност приноса зрна код 15 генотипова озиме пшенице, међу којима је 14 перспективних линија и сорта Победа, коришћена

као стандард, у различитим агроколошким условима Србије (Крагујевац, Крушевац и Сомбор). Применом АММИ анализе поменути аутори су идентификовали стабилне генотипове пшенице, који су погодни за гајење у различитим условима средине. Такође, спровођењем исте анализе установљено је да се најприноснији генотип одликује значајном нестабилношћу. Применом „Which-won-where“ приказа GGE биплота су проценили да се овај најприноснији генотип одликовао специфичном, односно ужом стабилношћу у условима локалитета Сомбор. Поред тога, идентификована је линија пшенице са скромнијим захтевима која се може препоручити за гајење на локалитету Крагујевац, који се одликује мањом плодношћу земљишта и мањом, као и неравномерном, количином падавина.

Gurta et al. (2022) су спровели опсежно истраживање са 100 генотипова пшенице, где су применили четири третмана (наводњавање, без наводњавања, оптимални рок сетве и терминални топлотни стрес), током две вегетационе сезоне. Аутори су применом АММИ модела идентификовали високоприносне и стабилне генотипове пшенице по испитиваним срединама, који су испољавали широку адаптабилност. Ови генотипови су оцењени као пожељни за коришћење у оплемењивачким програмима који за циљ имају повећање потенцијала за принос. Такође, исти аутори су применом GGE биplot анализе, издвојили генотипове који су адаптирани на повољне услове средине (наводњавање и правовремена сетва), као и генотипове који су адаптирани у мегасредини коју карактеришу услови касне сетве без примене наводњавања.

Güngör et al. (2022) су испитивали стабилност и адаптабилност 18 генотипова хлебне пшенице на основу огледа спроведених током две вегетационе сезоне у седам агроколошких средина на три локалитета у региону Тракије у Турској. Применом „which-won-where“ приказа GGE биplot анализе, аутори су идентификовали две мегасредине, као и генотипове уско адаптиране на услове који карактеришу ове средине. Ипак, истичу да су се две сорте издвојиле у мегасредини која је обухватала четири агроколошке средине. Применом GGE биплота за рангирање генотипова у односу на идеални генотип утврђено је да су ове сорте биле најближе идеалном генотипу, одликујући се високим приносом и стабилношћу. Bishwas et al. (2021) су, применом АММИ и GGE биplot анализе, испитивали стабилност и адаптабилност 20 генотипова хлебне пшенице, гајених под условима наводњавања и терминалног толатног стреса. Резултати „which-won-where“ GGE биплота указали су да је једна линија пшенице специфично адаптирана на услове наводњавања, док је један асорта пшенице показала уску адаптабилност на услове терминалног стреса. Помоћу GGE

биплота који приказује рангирање генотипова, издвојена је једна елитна линија, која је најближа идеалном генотипу, и која може бити коришћена као референца за евалуацију линија. Такође, на основу АММ₁ и „Means vs. Stability“ GGE биплота ова линија је оцењена као високоприносна и стабилна на нивоу огледа.

На основу поређења АММ и GGE биplot анализе, Gauch (2006) је истакао да је АММ метод, због раздвајања појединачних ефеката, увек супериорнији у односу на GGE биplot анализу, или пак има исти ниво прецизности. С друге стране, Yan et al. (2007) наводе да је GGE биplot анализа супериорнија у односу на АММ анализу, нарочито у анализи понашања генотипова по агроколошким срединама. Taherian et al. (2024) су извршили процену стабилности различитих генотипова пшенице у погледу приноса зрна применом АММ и GGE биplot анализе. Аутори истичу значајно преклапање резултата добијених применом ова два приступа. Наиме, оба спроведена метода за процену стабилности су идентификовала иста три генотипа као најстабилнија, који се одликују високим приносом и раним сазревањем. Такође, Esan et al. (2023) истичу да су ова два приступа анализи података комплементарна и да омогућавају боље разумевање ефеката интеракције $\Gamma \times E$, као и идентификацију најбољих генотипова и најпогоднијих средина за постизање већег приноса генотипова.

3.5. Међусобна повезаност морфолошких, продуктивних и особина квалитета пшенице

Принос зрна је сложена особина која је у великој мери условљена факторима спољашње средине, као и компонентама приноса који га дефинишу. Стога, принос зрна може бити побољшан индиректном селекцијом компоненти приноса, при чему повећање једне компоненте може позитивно или негативно утицати на друге компоненте (Rana et al., 2023).

Веома је изазовно створити сорте пшенице које имају висок потенцијал за принос и уједно висок садржај протеина. Један од разлога је тај што су ове две особине често у негативној корелацији (Oury and Godin, 2007; Laidig et al., 2017; Geyer et al., 2022). Стога је потребно изнаћи методе за проналазак одговарајућег селекционог критеријума за повећање потенцијала за принос и квалитет пшенице. Један од начина свакако јесте да се установе корелационе повезаности између компоненти приноса и квалитета и

укупног приноса зрна (Zečević et al., 2004б; Ebrahimnejad and Rameeh, 2016; Matković Stojšin et al., 2022б), као и између физиолошких параметара и приноса и квалитета зрна (Nikolić and Pavlović, 2020).

Krishnappa et al. (2023) су на испитиваном сету од 280 генотипова пшенице, установили негативну корелацију између масе 1000 зрна и садржаја протеина. Аутори негативну корелацију између масе 1000 зрна и садржаја протеина објашњавају ефектом разблажења, као и могућом конкуренцијом ова два параметра у усвајању хранљивих материја, нарочито азота.

Baye et al. (2020) су испитивали међусобну повезаност компоненти приноса и приноса зрна код популације од 46 генотипова хлебне пшенице. Поменути аутори су установили да висина биљке има позитивну корелацију са дужином класа, бројем зрна по класу и хектолитарском масом. Такође, у овом истраживању су установљене негативне корелације масе 1000 зрна са бројем зрна по класу, што упућује на закључак да ће се повећањем броја зрна по класу смањити маса 1000 зрна. Аутори ову негативну корелацију објашњавају компетицијом за хранљиве материје током наливања зрна, услед чега појединачна зрна остају недовољно испуњена и имају мању масу.

Dabi et al. (2016) су, проучавајући генотипске и фенотипске корелације компоненти приноса и приноса зрна код хлебне пшенице, установили да висина биљке, маса 1000 зрна и хектолитарска маса показују значајне позитивне корелације са приносом зрна на генотипском и фенотипском нивоу. Ullah et al. (2021), спроводећи истраживање са 30 линија пшенице и три сорте стандарда, установили су позитивне корелације између приноса зрна, дужине класа, броја зрна по класу и масе 1000 зрна. Janmohammed et al. (2014), Ali et al. (2021), Zečević et al. (2022) су утврдили позитивне корелације између масе 1000 зрна и приноса зрна, где напомињу да ће повећање масе 1000 зрна довести и до повећања укупног приноса зрна пшенице. Urošević et al. (2023а) су, у двогодишњем огледу са 20 генотипова пшенице, спроведеном у Краљеву, установили позитивну повезаност између масе 1000 зрна и масе зрна по биљци. Lasko-Bartošová et al. (2022) истичу да је маса зрна по класу најважнија особина која дефинише принос зрна код житарица, где су установили позитивну корелацију масе зрна по класу са висином стабљике и садржајем протеина код спелте. Исти аутори су установили да је маса зрна по класу у позитивној корелацији са масом 1000 зрна код генотипова двозрнца.

Ebrahimnejad and Rameeh (2016) и Terzić et al. (2018) су установили да је принос зрна у позитивној корелацији са елементима класа, као што су маса класа, маса зрна по

класу и број зрна по класу. До сличних резултата су дошли Nukasani et al. (2013) и Perišić et al. (2023). Zečević et al. (2010) и Nukasani et al. (2013) истичу да маса и број зрна по класу представљају одговарајуће селекционе критеријуме у оплемењивању пшенице. Vanјас et al. (2022) су током трогодишњег истраживања на алкализованом земљишту установили позитивне корелације између приноса зрна пшенице, масе класа и масе зрна по класу. Позитивне корелације између броја зрна по класу и масе зрна по класу су утврдили Philipp et al. (2018) и Urošević et al. (2023a).

Међутим, битно је истаћи да корелативна повезаност особина показује варијације у зависности од вегетационе сезоне, које произилазе из интеракција унутар генетичке позадине сваког генотипа, као и интеракције са спољашњом средином (Terzić et al., 2018; Perišić et al., 2023). Исти аутори су установили веће вредности корелационих коефицијената у сезони која је окарактерисана повољним климатским карактеристикама. Такође, Matković Stojšin et al. (2022b) примећују да се корелативна повезаност компоненти приноса и приноса зрна пшенице разликују у повољним условима и условима повећане заслањености. Наиме, поменути аутори су установили да су се у условима стреса заслањености добиле позитивне корелације између свих компоненти приноса и приноса зрна, које објашњавају тиме да су стресни услови смањили вредности свих особина код свих анализираних генотипова, због чега генотипови нису могли испољити свој пун генетички потенцијал. Слично томе, Rana и сар. (2023) су, испитујући гермплазму од 40 генотипова пшенице, у условима наводњавања утврдили статистички значајне позитивне корелације приноса зрна са дужином класа, бројем зрна по класу и масом 1000 зрна, док су у условима стреса суше забележене веће вредности коефицијената корелације приноса зрна са овим особинама, као и високо значајна повезаност са висином биљке.

Поред корелација, један од приступа за анализу међусобне повезаности анализираних генотипова и компоненти приноса и њихову адекватну визуелизацију, је анализа корелационог матрикса применом анализе главних компонената (*енг.* Principal Component Analysis – PCA), као и хијерархијска кластер *heatmap* анализа (Ali et al., 2021; Luković et al., 2020; Urošević et al., 2023a; Sewore and Abe, 2024).

Примењујући PCA анализу, Ali et al. (2021) су анализирани продуктивне особине пшенице поделили у три групе, где су установили да је маса 1000 зрна у највећој повезаности са приносом зрна. Применом кластер анализе, исти аутори су груписали анализирани генотипове у пет кластера на основу морфолошких карактеристика и

географског порекла, што је омогућило адекватну процену коришћене гермплазме, што је од практичног значаја за оплемењиваче.

Luković et al. (2020) су применом PCA корелационог матрикса установили да вектори приноса зрна, масе зрна по класу, масе зрна по биљци и висине биљке заклапају оштар угао, што упућује на позитивне корелације између њих. Такође, на PCA бишплоту је у оквиру наведених особина позиционирано осам генотипова пшенице, што упућује на закључак да они слично реагују на услове спољашње средине у испољавању наведених особина. Исти аутори су, спроводећи *heatmap* кластер анализу, установили да се генотипови сврставају у различите кластер групе према проучаваним особинама и педигреу, на основу чега су извели закључак да је неопходно извршити хибридизацију између генотипова из прве и друге кластер групе, како би се побољшао биодиверзитет и креирала нова пожељна рекомбинација гена.

Користећи PCA и *heatmap* кластер анализу, Urošević et al. (2023a) су установили да маса 1000 зрна и принос зрна пшенице остварују позитивне корелације, односно, сврставају се у исту кластер групу, док број зрна по класу и маса зрна по класу припадају другој кластер групи, остварујући међусобно позитивну корелацију. Примена *heatmap* кластер анализе је омогућила поменути ауторима да групишу генотипове у оквиру три засебне кластер групе, на основу остварених вредности особина. Такође, аутори су идентификовали генотип који се, остваривши истовремено високе вредности приноса зрна и масе 1000 зрна, издвојио у засебну кластер групу, на основу чега је оцењен као пожељан ресурс за оплемењивање.

Javed et al. (2022) су проучавали међусобну повезаност особина пшенице код генотипова гајених у условима наводњавања и условима стреса суше. Применом PCA бишлот анализе у условима наводњавања установили су позитивне корелације приноса зрна са масом 1000 зрна, бројем зрна по класу и дужином класа, као и негативне корелације са висином биљке и садржајем протеина. У овој анализи су издвојили генотип који се показао као најбољи у погледу испољавања приноса зрна у условима наводњавања. У условима стреса суше, исти аутори су установили позитивне корелације приноса зрна са масом 1000 зрна, бројем зрна по класу и дужином класа и негативну корелацију са садржајем протеина. У овој анализи су издвојена три генотипа пшенице, који су у условима суше испољили највећи принос зрна.

3.6. Антиоксидативни одговор биљке на превалентни абиотички стрес

Абиотички стрес присутан током развоја пшенице доводи до акумулације слободних радикала, односно реактивних кисеоничних врста у ћелијама (*енг.* Reactive oxygen species – ROS), које могу да изазову оксидативна оштећења у биљкама (оксидативни стрес), што надаље доводи до смањења раста биљке и крајњег приноса зрна (Caverzan, 2016).

Код пшенице, као и код других биљних врста, константно се продукују антиоксидативни метаболити како би се успоставила равнотежа у ћелијама, односно уклониле реактивне врсте кисеоника, а тиме и предупредила оштећења у ћелијама (Caverzan, 2016; Nardino et al., 2022).

Антиоксидативна једињења која се у биљкама продукују у условима стреса укључују ензимске компоненте (супероксид дизмутаза, каталаза, пероксидаза, глутатион редуктаза, глутатион S-трансфераза, аскорбат пероксидаза, монодехидроаскорбат редуктаза и дехидроаскорбат редуктаза) и неензимске компоненте (аскорбинска киселина, глутатион, фенолна једињења, алкалоиди, флавоноиди, каротеноиди, слободне аминокиселине и α -токоферол), Zhou et al., 2018; Rajput et al., 2021. Међутим, продукција и варијација ових једињења зависи од услова гајења, развоја биљке и одбране од биотичког или абиотичког стреса који се може догодити (Ahmad et al., 2010; Baskar et al., 2018). Главна једињења повезана са антиоксидативном одбраном у пшеници припадају класи секундарних метаболита, која укључују феноле и терпене, поред ензимских антиоксидативних супстанци (Ma et al., 2014; ShamLoo et al., 2017). Дакле, акумулација фенола у условима абиотичког стреса је један од механизма одбране биљке (Hura et al., 2013; Naikoo et al., 2019).

У истраживањима која су имала за циљ испитивање реакције пшенице на биотички и абиотички стрес потврђено је присуство антиоксидативних супстанци у биљци и варирање њихове концентрације у зависности од генотипа (Banjac et al., 2020; Nardino et al., 2022; Matković Stojšin et al., 2022в), стреса суше (Nardino et al., 2022) и високих доза примењеног азота (Zhou et al., 2020), стреса салинитета (Kiani et al., 2021; Matković Stojšin et al., 2022в), и високих температура (ShamLoo et al., 2017), фенофазе развоја (Santos et al., 2018; Banjac et al., 2020; Matković Stojšin et al., 2022в). Дакле, интензитет и трајање одређеног стресног фактора утиче на већу или мању продукцију

антиоксидативних једињења у биљци. На основу наведеног, истиче се значај анализе антиоксидативне активности у циљу предикције који генотип или генотипови најбоље реагују на флукуације климатских параметара који могу изазвати стрес у биљци (Nardino et al., 2022).

Banjac et al. (2020) су истраживали антиоксидативни одговор различитих генотипова хлебне пшенице (*Triticum aestivum ssp. aestivum* L.) и једног генотипа тритикалеа (*Triticosecale* W.). Током огледа су праћени нивои ензимских и неензимских антиоксиданата у одбрамбеном систему биљке, као и липидна пероксидација. Биохемијски маркери анализирани су у фази цветања и у фази млечне зрелости. Резултати су показали да су генотипови Банатка и Банкут 1205 имали највећу толеранцију на стрес.

Matković Stojšin et al. (2022a) су анализирали антиоксидативни одговор различитих генотипова пшенице на услове повећане алкалности земљишта. Поменути аутори су установили већу антиоксидативну активност и већи садржај укупних фенола у условима стреса (земљиште типа солоњец) у односу на повољне услове средине (земљиште чернозем). Такође, антиоксидативна активност је варијала и кроз фенофазе, где је у фази пораст у стабло утврђена највећа антиоксидативна активност, а у фази сазревања најмања. У овом истраживању је установљена позитивна корелација између приноса зрна по биљци и испитиваних параметара антиоксидативне активности у различитим фенолошким фазама. Ово указује да способност неутралисања слободног DPPH радикала и садржај укупних фенола могу послужити као погодни критеријуми за селекцију генотипова повећане толерантности на стрес салинитета, чак и у раним фазама развоја биљке.

Mohagheghian et al. (2025) су истраживали улогу неензимских и ензимских антиоксиданата у смањењу оксидативног стреса код различитих генотипова јечма. Аутори су утврдили да стрес суше значајно повећава способност неутралисања DPPH радикала, као и нивое малондиалдехида (MDA) и водоник-пероксида (H_2O_2), затим садржај укупних фенола и флавоноида, пероксидазе и пролина. Генотипови су показали различите одговоре у погледу неутралисања DPPH радикала, што указује на значај генетичке варијације у толеранцији на стрес. Аутори истичу да генотипови са већом антиоксидативном активношћу услед суше имају већу способност да се боре са оксидативним стресом. Ови резултати истичу значај интеракције генотипа и спољашње средине у толеранцији на сушу, где је повећање полифенола током стреса повезано са отпорношћу генотипова.

Melios et al. (2024) у свом истраживању антиоксидативних својстава тврде пшенице, су установили да је присутан значајан утицај генотипа, спољашње средине и интеракције на антиоксидативна својства. Резултати истраживања поменутих аутора показују да време сетве, систем гајења и њихове интеракције значајно утичу на антиоксидативна својства пшенице. Наиме, аутори истичу да су у органској производњи заступљене веће вредности неутрализације DPPH радикала у односу на конвенционалну. Каснија сетва је утицала на пораст садржаја укупних фенола, који су се разликовали и по локалитетима. Генотипови су се разликовали у погледу антиоксидативне активности по испитиваним третманима, где су аутори идентификовали супериорне генотипове пшенице.

Oguz et al. (2022) истичу да је већина студија које имају за циљ повећање толерантности на стрес била усредсређена на одређену фазу развоја биљке. Међутим, реакције биљака варирају у зависности од фенофазе развоја, те је стога неопходно посматрати одговоре биљака на стрес у различитим фазама развоја.

4. РАДНЕ ХИПОТЕЗЕ

Постављене хипотезе и очекивани резултати су у складу са унапред задатим циљевима истраживања. На основу задатог, очекује се:

- да ће се кроз сложени биометријски приступ сагледати варијабилност, потенцијал за принос и стабилност, као и адаптабилност анализираних генотипова пшенице;
- да ће генотипови пшенице широко варирати у погледу морфолошких и продуктивних особина, као и особина квалитета, односно да ће анализирани фактори (генотип, локалитет и година) и њихова интеракција значајно допринесити варијабилности особина;
- да ће се генотипови разликовати по стабилности, односно по својој интеракцији са спољашњом средином. Дакле, очекује се да ће се издвојити генотипови који испољавају високу стабилност и високе/пожељне вредности анализираних особина, као и да ће поједини генотипови испољити специфичну адаптабилност у одређеној средини/срединама. Такође се очекује да ће се формирати мега-средине, као и да ће се издвојити агроеколошке средине које су најпогодније за тестирање генотипова;
- да ће поједине компоненте приноса и квалитета бити у високозначајној позитивној корелацији са приносом зрна, као и да ће се на основу корелационе анализе, РСА и кластер анализе одредити адекватан фенотипски показатељ, односно селекциони критеријум за одабир пожељних генотипова.
- да ће анализирани генотипови пшенице различито реаговати на факторе спољашње средине у погледу антиоксидативне активности. У складу са тим, очекује се да ће се антиоксидативна активност пшенице разликовати по агроеколошким срединама и фенофазама. Такође, очекује се да ће параметри антиоксидативне активности у одређеним фенофазама бити у позитивној корелацији са приносом зрна.
- да ће се, на основу резултата који произађу из ове докторске дисертације, издвојити најперспективније КГ-линије по појединим особинама, и надмашити сорте стандарде, те да ће се моћи одабрати као донори пожељних гена у оплемењивачким програмима, са потенцијалом да у будућности неке од њих буду признате као сорте.

5. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

5.1. Биљни материјал и структура огледа

У овом истраживању одабрано је 10 перспективних КГ-линија хлебне пшенице (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*): КГ-4/1, КГ-9/1; КГ-11/1, КГ-16/1, КГ-21/1, КГ-30/1, КГ-33/1, КГ-40/1, КГ-41/1, КГ-43/1, три признате сорте хлебне пшенице, коришћене као стандарди: НС 40С, Ренесанса и Победа, селекционисане у Институту за ратарство и повртарство у Новом Саду, као и две КГ-линије спелте: КГ-54-7/3-5 и КГ-54-7/3-2 (Табела 2). Одабир генотипова је изведен на бази тестирања перспективних линија, створених у Центру за стрна жита и развој села у Крагујевцу, и њиховог потенцијала да буду признате као нове сорте или да буду коришћене као родитељи у оплемењивачким програмима. Генотипови, односно линије спелте (*Triticum spelta* sp.) су уведене у истраживање да би се повећала варијабилност анализираних гермплазме, као и да се тестира њихов потенцијал за принос у различитим регионима, с обзиром на то да се спелта у Србији гаји на малим површинама, а има свој специфични значај у исхрани, као алтернативно жито.

Табела 2. Анализирани генотипови пшенице, њихов педигре и институција порекла

Ред. бр.	Генотип	Педигре	Институција
1.	КГ-4/1	♀ Победа × ♂ Александра	
2.	КГ-9/1	♀ Циповка × ♂ Александра	
3.	КГ-11/1	♀ Ода × ♂ Александра	
4.	КГ-16/1	♀ Планета × ♂ Александра	
5.	КГ-21/1	♀ Срна × ♂ Александра	Центар за стрна жита и развој села, Крагујевац
6.	КГ-30/1	♀ Европа 90 × ♂ Круна	
7.	КГ-33/1	♀ Зенит × ♂ Круна	
8.	КГ-40/1	♀ Милица × ♂ Круна	
9.	КГ-41/1	♀ Круна × ♂ Венера	
10.	КГ-43/1	♀ Александра × ♂ Ана Морава	
11.	НС 40С (стандард)	♀ НА 694 × ♂ НСА 88-3141	Институт за ратарство и повртарство у Новом Саду
12.	Ренесанса (стандард)	♀ Југославија × ♂ НС 55-25	
13.	Победа (стандард)	♀ Сремица × ♂ Балкан	
14.	КГ-54-7/3-5 (спелта)	♀ КГ-100 × ♂ ССК 2001/02	Центар за стрна жита и развој села, Крагујевац
15.	КГ-54-7/3-2 (спелта)	♀ КГ-100 × ♂ ССК 2001/02	

Анализирани генотипови пшенице потичу из различитих комбинација укрштања, при чему су као родитељске компоненте коришћене домаће сорте са препознатљивим карактеристикама. У већем броју комбинација укрштања доминира сорта Александра (Победа × ССК 19/94), призната 2007. године, створена у Центру за стрна жита у Крагујевцу, што указује на њен значај као донора пожељних особина, које се пре свега односе на висок и стабилан принос и одличан технолошки квалитет зрна и брашна (сврстава се у А1 квалитетну групу и прву квалитетну класу, што је чини сортом побољшивачем), толерантност према полегању (средње висока стабљика – око 96 cm) и најважнијим болестима. Такође, у педигреу четири КГ-линије је родитељ била сорта Круна, која представља средњерану сорту, одликује се добром отпорношћу према ниским температурама и полегању (висине стабљике од 77,4 cm). Сорта Круна поседује добар технолошки квалитет, припада II квалитетној класи и Б1 квалитетној групи. Одликује се високим генетичким потенцијалом за принос зрна.

У истраживање су укључене и три сорте, као стандарди (<https://nsseme.com/proizvodi/strna-zita/psenica/>):

- **НС 40 С** – средње касна сорта са веома добром отпорношћу на зиму, пепелницу и полегање, као и одличном толерантношћу на жуту рђу. Висина стабљике се креће од 80 до 85 cm. Одликује се високим потенцијалом за принос (4 до 6 t ha⁻¹ у лошим, 7 до 9 t ha⁻¹ у добрим и преко 10 t ha⁻¹ у веома повољним условима). Карактерише се добрим технолошким квалитетом {маса 1000 зрна од 35 до 40 g, хектолитарска маса од 78 до 82 kg hl⁻¹, садржај протеина од 11 до 13%, влажни глутен 24 до 30%, квалитетна група Б1 – Б2 и висок број падања (300 до 320 s)}. У нашој земљи се користи као стандардна сорта за принос.
- **Ренесанса** – средње рана сорта са врло добром отпорношћу на зиму и пепелницу, као и добром отпорношћу на полегање (висина стабла од 85 до 90 cm). Има висок потенцијал за принос (од 4 до 5 t ha⁻¹ у лошим, 6 до 7 t ha⁻¹ у добрим, до преко 9 t ha⁻¹ у одличним условима производње). Ова сорта се одликује масом 1000 зрна од 40 до 45 g, хектолитарском масом од 80 до 87 kg hl⁻¹, садржајем протеина од 12 до 15%, влажног глутена од 28 до 31%, квалитетном групом А2 и бројем падања 220 до 260 s, што је чини сортом доброг технолошког квалитета. Користи се као стандард за ранозрелост.
- **Победа** – средње касна сорта са одличном отпорношћу на зиму, врло добром отпорношћу на пепелницу и добром отпорношћу на полегање (висина стабла од 90 до 100 cm). Има висок технолошки квалитет зрна: маса 1000 зрна износи од 40

до 45 g, хектолитарска маса од 80 до 87 kg hl⁻¹, садржај протеина од 12 до 13%, влажног глутена од 28 до 33%, квалитетна група А1 – А2, број падања 300 до 340 s. Потенцијал за принос је од 4 до 5 t ha⁻¹ у лошим, 6 до 7 t ha⁻¹ у добрим и до преко 9 t ha⁻¹ у одличним условима производње. Сорта Победа се користи као стандардна сорта за квалитет у Р. Србији.

Оваква генетичка основа, односно дивергентна гермплазма, омогућила је процену стабилности и адаптабилности генотипова различитог порекла у различитим агроеколошким условима.

Оглед је заснован на три локалитета, од којих је један у Панчеву (Огледно добро Истраживачко-развојног института „Тамиш“ Панчево, 44°56'31"N 20°43'18"E, 80 m), други у Крагујевцу (Огледно поље Центра за стрна жита и развој села, 44°02'47"N 20°56'54"E, 196 m), и трећи у Крушевцу (Огледно поље Института за крмно биље Крушевац, 43°34'56"N 21°12'16"E, 148 m), у две вегетационе сезоне (2022/2023 и 2023/2024). Анализирани локалитети изабрани су због својих различитих агроеколошких услова, који омогућавају процену потенцијала за принос и квалитет, као и процену стабилности и адаптабилности генотипова пшенице. Панчево представља равничарски регион, позициониран у Војводини, у јужном Банату, и одликује се високим потенцијалом за производњу усева. Крагујевац се налази у Шумадији и карактеришу га брдско-планински предели са израженијим стресним факторима. С друге стране, Крушевац се налази у централном делу Србије, у долини Западне Мораве, и представља агроеколошки прелаз између равничарских и брдско-планинских региона, који такође пружају услове за испољавање специфичне реакције генотипова на факторе спољашње средине.

На сва три локалитета је посејано 15 генотипова озиме пшенице по потпуно случајном блок систему у три понављања. Величина основне парцелице била је 5 m².

Локалитети су се разликовали по основном типу земљишта. Узорци земљишта су узети са сва три локалитета и урађена је агрохемијска анализа (Табела 3). Земљиште на локалитету Панчево припада типу карбонатног чернозема. Природна вегетација чернозема је углавном уништена разоравањем, али је у образовању овог типа земљишта одиграла велику улогу. Чернозем је образован на лесу, а војвођански лес има типично иловасту структуру и око 20–30% СаСО₃. Иловаста текстура даје овим земљиштима изутно повољне физичке особине. Порозност се креће и до 50%, а однос микропора према макропорима износи 3:2 због чега има повољан водни капацитет. Чернозем представља земљиште са оптималним физичким и хемијским особинама.

Хемијске особине чернозема су условљене његовим богатством у хумусу и минералној глини, а затим богатством у кречу и адсорбованом калцијуму.

Узорци земљишта узети су са дубине од 0 до 30 cm. Хемијска испитивања показала су да земљиште на којем је изведен оглед у Панчеву спада у јако карбонатна земљишта, вредност садржаја карбоната износила је 12,59%. Реакција земљишта (pH) износила је 7,57 у KCl што га описује као умерено алкално. Садржај хумуса од 3,39 % класификује ово земљиште као хумусно. Земљиште је средње обезбеђено азотом. Резултати хемијске анализе показују да је испитивано земљиште богато фосфором и калијумом.

Табела 3. Основна хемијска анализа земљишта на анализираним локалитетима

Дубина (cm)	pH у H ₂ O	pH у KCl	Хумус (%)	Азот (%)	P ₂ O ₅ (mg 100 g ⁻¹)	K ₂ O (mg 100 g ⁻¹)	CaCO ₃ (%)
Панчево							
0 – 30	8,27	7,57	3,39	0,20	20,6	25,53	12,59
Крагујевац							
0 – 30	6,93	5,81	3,95	0,20	9,67	19,40	< 0,42
Крушевац							
0 – 30	6,17	5,35	2,14	0,228	8,56	19,24	0,80

На локалитету Крагујевац оглед је постављен на земљишту типа смонице. Смоница спада у групу аутоморфних земљишта. Код овог типа земљишта среће се велики број подтипова или варијетета али сви они носе заједнички назив смоница. По механичком саставу спадају у јако глиновита земљишта, са високим садржајем колоидне фракције. Овакав састав у сушном периоду доводи до стварања вертикалних клинастих пукотина до дубине од једног метра, у које пропада иситњена земља са површине на дно пукотине. У влажном периоду, глина бубри и пукотине се затварају а додатни материјал на дну пукотина врши притисак и агрегати се издижу. Услед трења, између агрегата стварају се глатке и клизне површине. Висок садржај глине који бубри чини да је смоница у влажном стању лепљива и пластична, а у сувом представља компактну и испуцалу масу. Резултати хемијске анализе земљишта показали су да је смоница у Крагујевцу киселе реакције, хумусна и средње обезбеђена азотом. Садржај лакоприступачног фосфора је 9,67 mg 100 g⁻¹, што се сврстава у ниску снабдевеност, испод 10 mg 100 g⁻¹ (Брковић и сар., 2006). Земљиште на овом локалитету одликује се оптималном количином лакоприступачног калијума (19,40 mg 100 g⁻¹).

Основни тип земљишта на коме је постављен оглед у Крушевцу је деградирани алувијум киселе реакције. Основна карактеристика ових земљишта је да су то млађа и неразвијена земљишта речних долина. Хемијска анализа је показала да је ово земљиште слабо хумузно, средње обезбеђено азотом, калијум је на оптималном нивоу а садржај лакоприступачног фосфора је низак.

На свим локалитетима примењена је уобичајена агротехника у производњи пшенице. Основна обрада обављена је након скидања претходног усева. Како се основна обрада обично изводи у најсушнијем раздобљу године, посебна пажња посвећена је очувању влаге која је омугућила предсетвену припрему у наредном периоду.

На локалитету Панчево, основна обрада извршена је тешком тањирачом у два прохода, за разлику од локалитета Крегујевац и Крушевац где је основна обрада, због типа земљишта, извршена орањем. На локалитетима Крушевац и Крагујевац, предсетвена припрема је извршена унакрсним дрљањем, а у Панчеву тешком дрљачом у једном проходу у правцу сетве. Сетва је, у обе сезоне, у Панчеву обављена нешто раније него у Крагујевцу и Крушевцу. Сетва је обављена машинском сејалицом HEGE 80, у Панчеву 26.10.2022. у Крагујевцу 09.11.2022. и у Крушевцу 04.11.2022. У другој сезони, на свим локалитетима сетва је обављена нешто касније и то: у Панчеву 02.11.2023. у Крагујевцу 20.11.2023. и у Крушевцу 14.11.2023. Густина сетве, на сва три локалитета у обе сезоне, износила је 550 зрна по m^2 .

Количина примењеног ђубрива одређена је на основу агрохемијске анализе и предкултуре за сваки локалитет. У Панчеву за вегетациону сезону 2022/2023. примењено је комплексно NPK ђубриво формулације 6:12:24 у количини од 200 kg ha^{-1} предсетвено, а у прихрани 304 kg ha^{-1} AN-а у два наврата. У сезони 2023/2024. са тањирањем је примењено 200 kg ha^{-1} NPK ђубрива. Прихрана је обављена у два наврата, у првом са 100 kg ha^{-1} урее, а у другом наврату са 130 kg ha^{-1} AN-а. За исхрану пшенице, у обе вегетационе сезоне, у Крагујевцу је коришћено NPK ђубриво формулације 16:16:8 у количини од 300 kg ha^{-1} , које је примењено при основној обради земљишта. За прихрану је примењено 150 kg ha^{-1} KAN-а. На огледу у Крушевцу, у обе производне године, за исхрану пшенице спроведена је уобичајена агротехника за агроеколошке услове производног рејона. Половина планиране количине азота и целокупна количина лакоприступачног фосфора (P_2O_5) и калијума (K_2O) примењена је непосредно пред основну обраду. У првој сезони унето је комплексно ђубриво NPK 16:16:16 у количини од 250 kg ha^{-1} , а у прихрани је додат KAN у количини од 200 kg

ha⁻¹. Количина од 200 kg ha⁻¹ NPK 16:16:16 додата је у другој години предсетвено, док је прихрана обављена у два наврата са количином од 200 kg ha⁻¹ KAN-а. Ранија истраживања Брковић и сар. (2005) показују позитиван утицај диференциране примене (у више наврата) минералног ђубрења на принос пшенице у односу на варијанту где је целокупна количина азота унета у јесен.

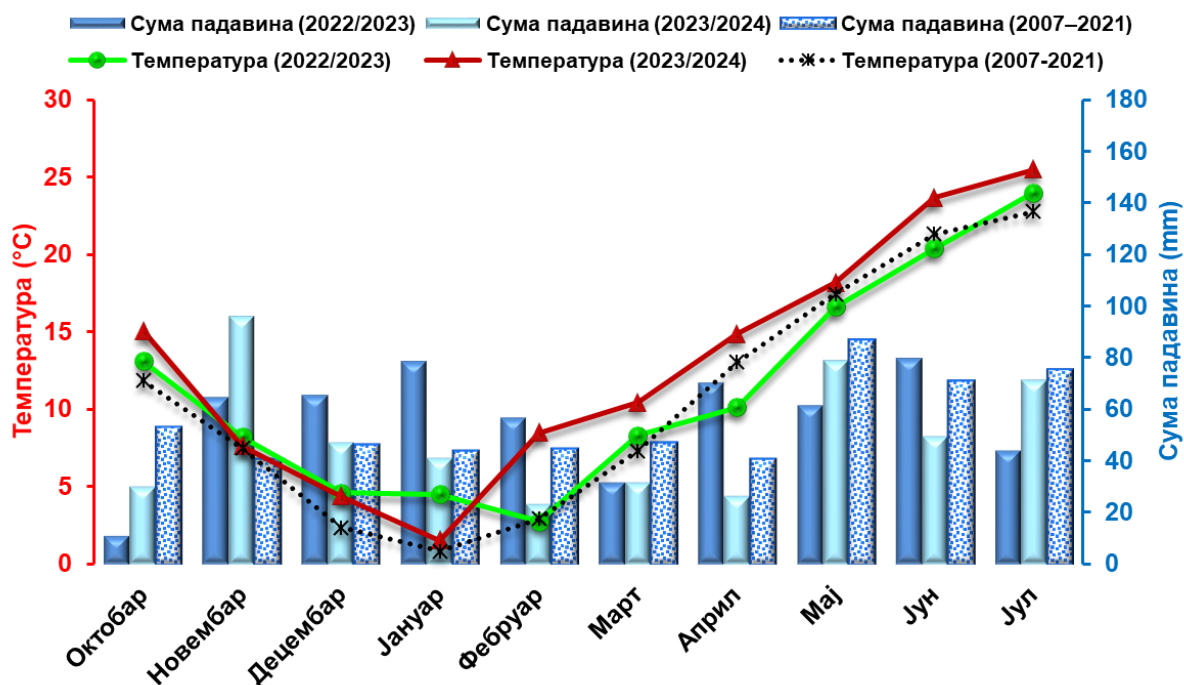
На сва три локалитета, у обе производне године, у зависности од потребе спроведене су уобичајене мере заштите против корова и проузроковача болести. Хербицидна заштита против широколисних и травних корова у обе сезоне спроведена је у фебруару. Од почетка априла па до средине маја урађени су фунгицидни и инсектицидни третмани.

Жетва је у обе сезоне обављена комбајном за микро огледе марке ZURN 150, када је влага зрна пала испод 14%. У Панчеву је у првој сезони жетва обављена 13.07.2023, у Крагујевцу 18.07.2023, а у Крушеvcу 12.07.2023. године. Одлика друге производне године је ранија жетва на свим локалитетима, у Панчеву и за две седмице раније у односу на прву. Тако је жетва у Панчеву завршена 26.06.2024., у Крагујевцу 10.07.2024. и у Крушеvcу 04.07.2024. године.

5.2. Агро-метеоролошки услови у периоду извођења огледа

На основу упоредних приказа просечних температура и просечних количина падавина (Графикони 1, 2, 3) за период извођења огледа и просечних вредности за 15-годишњи период, може се стећи слика о агро-метеоролошким условима у којима су се одвијале фенофазе развоја испитиваних генотипова пшенице. Подаци су наведени за сва три локалитета (Панчево, Крагујевац, Крушевац) при чему је важно напоменути да су метеоролошки подаци за локалитет Панчево добијени са метеоролошке станице на Огледном добру Истраживачко-развијног института „Тамиш“, Метеоролошки подаци за Крагујевац су преузети из Метеоролошког годишњака, са сајта РХМЗ-а (<https://www.hidmet.gov.rs/>), док су метеоролошки подаци за локалитет Крушевац, када су у питању вегетационе сезоне 2022/2023. и 2023/2024. добијени из метеоролошке станице Института за крмно биље Крушевац, а вишегодишњи просек (15 година, од 2007-2021) је преузет са сајта <https://www.hidmet.gov.rs/>.

У периоду извођења огледа за локалитет Панчево карактеристичне су високе температуре и мање количине падавина у време сетве (трећа декада октобра 2022/23), док су на локалитетима Крагујевац и Крушевац у време сетве (прва декада новембра 2022/23) забележене просечне температуре и веће количине падавина у односу на вишегодишњи просек. Овакви агро-метеоролошки услови били су углавном повољни за припрему парцела и сетву, као и за клијање и ницање на сва три локалитета.



Графикон 1. Средње месечне температуре и суме падавина у Панчеву у току 2022/2023. и 2023/2024. вегетационе сезоне

У другој години огледа, на сва три локалитета у периоду сетве (новембар) забележене су просечне температуре и изузетно велика количина падавина, двоструко веће у Панчеву и чак три пута веће у Крагујевцу и Крушевцу у односу на вишегодишњи просек. Мање количине падавина крајем октобра омогућиле су квалитену припрему земљишта и сетву, док су веће количине падавина у трећој декади новембра уз просечне температуре повољно утицале на клијање, ницање и почетне фазе развоја на сва три локалитета.

Период децембар-јануар на сва три локалитета, у обе огледне године, карактерисале су изузетно високе температуре у односу на просек (на локалитету Крагујевац чак за 3,2°C веће температуре у односу на вишегодишњи просек за

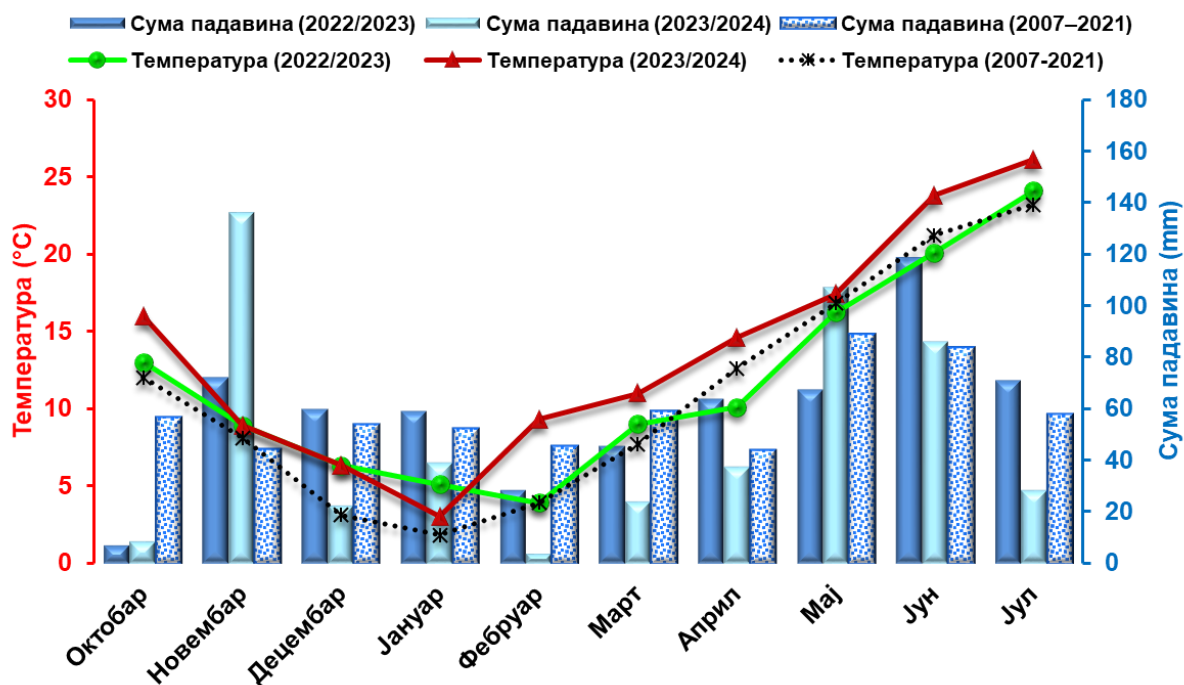
децембар). На сва три локалитета, у првој години забележене су веће количине падавине, а у другој мање количине падавина у односу на просек. Овакве временске прилике продужиле су период развоја биљака и пшеница је касније ушла у фазу мировања.

Наставак фенофазе бокорења у првој години огледа пратиле су просечне температуре на свим локалитетима и ниже количине падавина на локалитетима Крагујевац и Крушевац, док су на локалитету Панчево забележене нешто веће количине у односу на вишегодишњи просек. Може се рећи да се фенофаза бокорења одвијала у оптималним условима.



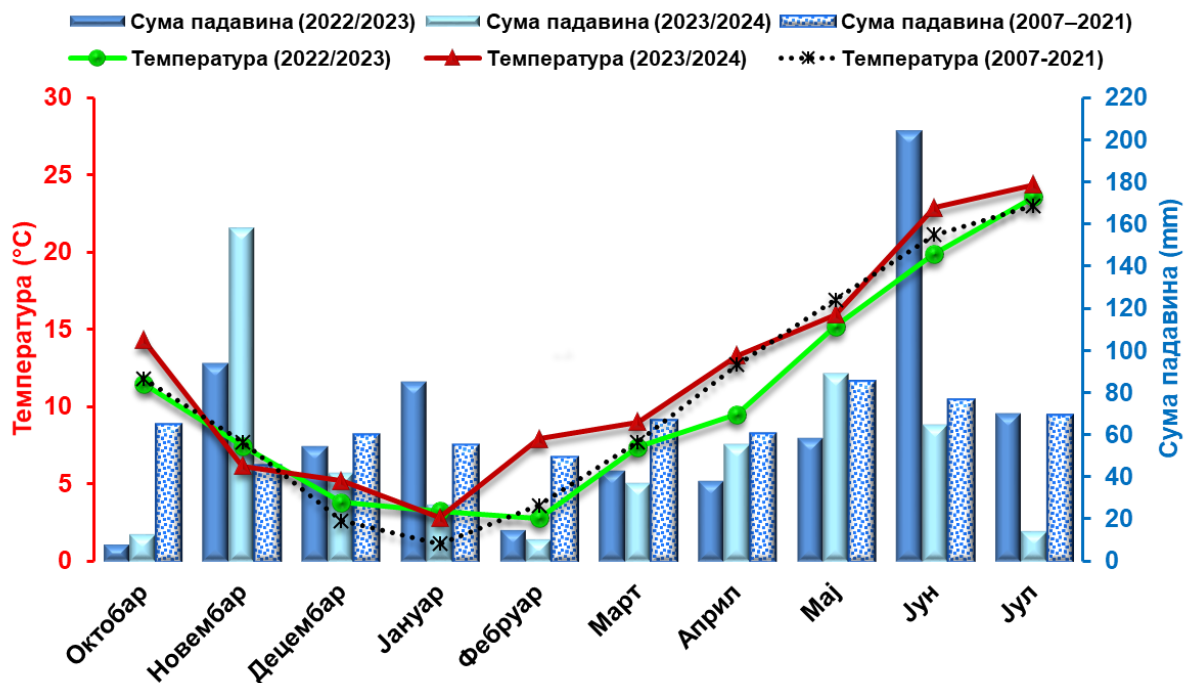
Слика 2. Пшеница у фенофази бокорење у 2022/2023. вегетационој сезони – локалитет Панчево

У другој години огледа, у фази бокорења (фебруар) забележене су високе температуре, двоструко веће од просека, и вишеструко мање количине падавина (на локалитету у Крагујевцу десет пута мање од просека). Овакви временски услови су утицали на рани наставак фенофазе бокорења.



Графикон 2. Средње месечне температуре и суме падавина у Крагујевцу у току 2022/2023. и 2023/2024. вегетационе сезоне

Период влатања на локалитету Крушевац, у првој години огледа карактерисале су нешто ниже температуре и мање количине падавина у односу на вишегодишњи просек, док су на локалитетима Панчево и Крагујевац такође забележене ниже температуре, али уз веће количине падавина од просека. У другој години огледа, у истом периоду (април) забележене су веће температуре и просечне количине падавина на свим локалитетима, изузев локалитета Панчево где су забележене мање количине падавина у односу на просек. Овакви агро-метеоролошки услови у првој години, погодовали су интензивном порасту биљака у стабло, што је омогућило несметано протицање фазе влатања.



Графикон 3. Средње месечне температуре и суме падавина у Крушевцу у току 2022/2023. и 2023/2024. вегетационе сезоне



Слика 3. Пшеница у фази интензивног пораста, локалитет Крагујевац, 2022/2023. вегетациона сезона

Ниже температуре и мање количине падавина забележене су на сва три локалитета у периоду цветања, у мају 2022/23. У другој години огледа, на

локалитетима Панчево и Крагујевац забележене су веће температуре док је у Крушевцу температура у том периоду била нешто мало испод просека. Количина падавина је била на вишегодишњем просеку изузев локалитета Крагујевац где је забележено за 20 литара више падавина од вишегодишњег просека. Овакви временски услови у обе године омогућили су несметано протицање фазе класања и цветања.

У јуну су, у првој години огледа, на свим локалитетима забележене температуре у оквиру вишегодишњег просека уз знатно веће количине падавина на локалитетима Крагујевац и Крушевац (у Крушевцу је пало 204,4 mm, што је 127,5 mm више у односу на 76,9 mm колико износи вишегодишњи просек). У другој години огледа забележене су за 2°C више температуре на свим локалитетима. На локалитету Панчево било је мање падавина, док су на друга два локалитета забележене просечне вредности. Овакви временски услови са високим температурама, посебно у другој сезони, условили су раније сазревање зрна пшенице, па је жетва у првој сезони обављена у другој декади јула, а у другој сезони почетком прве декаде јула. Жетву су у обе године пратиле високе температуре, које су на локалитету Крагујевац биле чак за 3 °C више од просека.



Слика 4. Пшеница у фенофази пуне зрелости, локалитет Крушевац, 2023/2024.
вегетациона сезона

Количине падавина и температуре на сва три локалитета за 2022/2023. годину се крећу у оквирима вишегодишњег просека, док је карактеристика вегетационе сезоне 2023/2024. мања количина падавина (око 90 mm у просеку по локалитету) и више просечне температуре (преко 2°C на локалитетима Панчево и Крагујевац) у односу на вишегодишњи просек, уз појаву тропских ноћи у периоду јун–јул. У првој сезони

огледа падавине су биле равномерније распоређене, док је за другу сезону основна карактеристика дужи сушни периоди са високим температурама.

5.3. Анализа морфолошких, продуктивних и особина квалитета пшенице

У фази пуне зрелости пшенице (ВВСН 89) извршено је мерење основних морфолошких, продуктивних и особина квалитета пшенице, ради процене утицаја испитиваних фактора (генотипа, локалитета, године и њихових интеракција) на испољавање генетичког потенцијала различитих генотипова.

За сваку експерименталну парцелу узорковано је по 10 биљака по понављању, односно укупно 30 биљака по генотипу на сваком локалитету у свакој вегетационој сезони. На овим биљкама извршена су мерења следећих морфолошких и продуктивних особина:

- Висина биљке (cm) – мерена као растојање од чвора бокора до врха класа, без осја;
- Дужина класа (cm) – мерена као дужина примарног класа од основе до врха класа, без осја;
- Маса класа (g) – одређена мерењем масе примарног класа по биљци;
- Маса зрна по класу (g) – маса зрна из примарног класа;
- Број зрна по класу – укупан број зрна примарног класа.

Принос зрна ($t\ ha^{-1}$) је измерен у моменту жетве сваке парцеле/повнављања, а затим прерачунат на тоне по хектару и сведен на садржај воде од 14%;

Особине квалитета зрна мерене су у лабораторији „Тамиш-Агролаб“ Истраживачко-развојног института „Тамиш“ у Панчеву на узорцима сакупљеним са сваке парцелице:

- Маса 1000 зрна (g) – одређена мерењем масе 4×100 зрна, а добијене вредности су прерачунате на 1000 зрна;
- Хектолитарска маса ($kg\ hl^{-1}$) – одређена у складу са стандардном методом на уређају ”GAC-2000“;
- Садржај протеина у зрну (%) – одређен стандардном методом по Kjeldahl-у.

Анализа садржаја протеина у зрну

Анализа садржаја протеина у зрну пшенице је изведена у лабораторији „Тамиш-Агролаб“ Истраживачко-развојног института „Тамиш“ у Панчеву.

Одређивање садржаја азота и израчунавање садржаја протеина у узорцима зрна пшенице је извршено применом Kjeldahl-метода, у складу са SRPS EN ISO 20483:2014 „Жита и махуњаче – Одређивање садржаја азота и израчунавање садржаја сирових протеина – Метода по Кјелдалу; [Cereals and pulses – Determination of the nitrogen content and calculation of the crude protein content – Kjeldahl method]“.

За разарање узорка масе до 1 g коришћено је 10 ml концентроване сумпорне киселине (H_2SO_4) и једна Kjeldahl таблета. Узорци самлевоног зрна пшенице су прецизно мерени на аналитичкој ваги Mettler са тачношћу $\pm 1 \times 10^{-4}$ g. Дигестија је спроведена у микроталасном Kjeldahl digestoru SH220F (Hanon Instruments) на температури од 400 °C током 1 ч и 30 мин. Након разарања, смеша је неутралисана додатком 40 ml раствора 30-40% раствора NaOH, а ослобођени амонијак је дестилован и апсорбован у борној киселини pH=4,5. Количина ослобођеног азота одређена је титрацијом са 0,1 mol/dm³ HCl на Automatic Kjeldahl Analyzer K9860 (Hanon Instruments). Садржај протеина изражен је као $N \times 5,7$, што одговара конверзираном фактору за пшеницу.



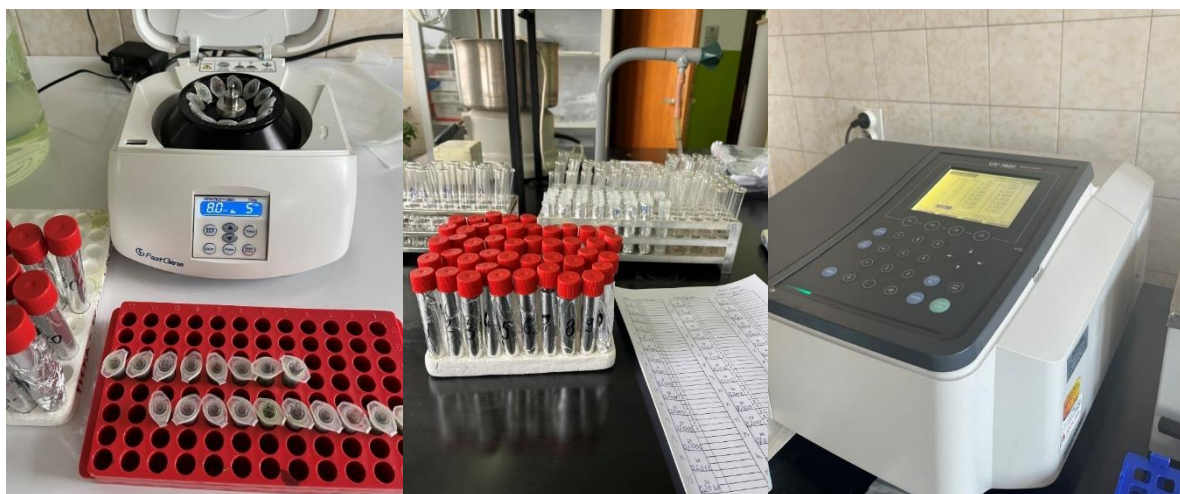
Слика 5. Одређивање садржаја протеина у зрну пшенице

5.4. Анализа параметара антиоксидативне активности

За анализу параметара антиоксидативне активности, узети су узорци биљног материјала (листова) са сваке парцеле (понављања) и сваког локалитета током обе вегетационе сезоне. Узорковање је изведено у три фенофазе пшенице, у складу са ВВСН скалом по Meier (2001): бокорење (ВВСН 23) – последња декада фебруара у обе вегетационе сезоне; пораст у стабло (ВВСН 36) – трећа декада априла у првој сезони и прва декада априла у другој сезони, због временских услова који су у другој сезони довели до скраћивања фенофазе пораста у стабло; и цветање (ВВСН 65) – трећа декада маја у првој вегетационој сезони и прва декада маја у другој вегетационој сезони, како би се проценио одговор биљке на абиотичке факторе превалентне на испитиваним локалитетима у поменутиим фенофазама.

Анализе параметара антиоксидативне активности су спроведене у лабораторији „Тамиш-Агролаб“, Истраживачко-развојног института „Тамиш“ у Панчеву.

Након узорковања, биљни материјал је осушен и самлевен, након чега је извршена биохемијска анализа одабраних параметара. За екстракцију је измерено 0,2 g самлевоног биљног материјала и додато 5 ml метанола р.а. Екстракција је трајала 24 часа у мраку. Након екстракције извршено је центрифугирање у трајању од 5 минута на 8000 rpm (Лабораторијска мини центрифуга, High Speed Mini Centrifuge, NIPPON Genetics EUROPE GmbH, Düren, Немачка). Припремљени екстракти чувани су у фрижидеру на температури од +4°C до тренутка анализе.



Слика 6. Припрема узорака и спектрофотометријско одређивање параметара антиоксидативне активности

5.4.1. Анализа способности неутрализације слободног DPPH радикала (DPPH тест)

Способност неутралисања слободних радикала испитивана је модификованом методом према Moluneux-у (2004), коришћењем стабилног DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилхидразил) радикала. Принцип методе заснива се на редукцији DPPH радикала (DPPH•) у редуковани облик (DPPH-H), при чему долази до промене боје из љубичасте у жуто. Слободни радикал DPPH, са неспареним електроном, има максимум апсорбције на 517 nm. Аликвот од 40 μL биљног екстракта додат је у 2 ml DPPH реагенса, претходно разблаженог метанолом док му апсорбанција није била $0,70 \pm 0,01$. Смеша је вортексована, а затим инкубирана у мраку на собној температури током 30 минута. У присуству екстракта који делује као дозор водоника, стабилни DPPH радикал се редукује до DPPH-H, што доводи до губитка љубичасте боје. Након инкубације, апсорбанција је измерена на таласној дужини од 517 nm, коришћењем UV/VIS спектрофотометра (Shimadzu UV-1800, Shimadzu USA Manufacturing, САД). Активност уклањања слободног DPPH радикала израчуната је коришћењем калибрационе криве тролокса и изражена је у милиграмима еквивалента тролокса (ТЕ) по граму сувог биљног материјала (mg TE g^{-1} с.м.). Сва мерења су извршена у три понављања.

5.4.2. Анализа садржаја укупних фенола

Садржај укупних фенола у екстрактима биљног материјала одређен је Folin–Ciocalteu методом према Singleton and Rossi (1965). За анализу је коришћен аликвот од 20 μL биљног екстракта у који је додато 0,2 ml Folin–Ciocalteu реагенса разблаженог дестилованом водом у односу 1:9, затим 2 ml дестиловане воде и 1 ml 7,5% натријум-карбоната. У алкалној средини, фенолна једињења редукују Folin–Ciocalteu реагенс, који садржи фосфолибдат и фосфоволфрамат, при чему настаје плави комплекс. Интензитет плаве боје сразмеран је концентрацији укупних фенола у узорку. Након инкубације реакционе смеше у трајању од 25 минута у воденом купатилу на температури од 45°C, прочитана је апсорбанција смеше на таласној дужини од 765 nm, коришћењем UV/VIS спектрофотометра (Shimadzu UV-1800, Shimadzu USA Manufacturing, САД). Укупни садржај фенола прорачунат је коришћењем калибрационе криве галне киселине и изражен у милиграмима еквивалента галне киселине по граму суве масе (mg GAE g^{-1} с.м.). Сва мерења су изведена у три понављања.

5.5. Статистичке анализе

Примењена је дескриптивна статистичка анализа ради приказа основних параметара варијабилности испитиваних особина. Израчунате су средње вредности, као мера централне тенденције, и коефицијент варијације (CV), којим је изражена релативна променљивости података. Коефицијент варијације представља меру релативне варијабилности, односно показује колико је стандардна девијација (*sd*) велика у односу на средњу вредност (\bar{x}). Мање вредности CV (%) указују на хомогеност, док веће вредности овог параметра указују на израженију варијабилност. Коефицијент варијације је прорачунат по формули (Хацивуковић, 1991):

$$CV (\%) = \frac{sd}{\bar{x}} \times 100$$

С циљем да се анализира утицај анализираних фактора (генотип, година, локалитет, и фенофаза – у случају параметара антиоксидативне активности), као и њихове интеракције, спроведена је анализа варијансе коришћењем *stats* пакета у R-у version 4.3.2 (R Project for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <https://www.R-project.org/>). Испитивање значајности разлика између варијанти анализираних фактора је спроведено применом Tukey HSD теста (*agricolae* пакет, de Mendiburu, 2023) на два нивоа статистичке значајности, 5% и 1%. Пре извођења статистичких анализа спроведено је тестирање хомогености варијансе применом Левеновог теста (Levene's test) помоћу *car* пакета (Fox and Weisberg, 2019), као и тестирање нормалности расподеле помоћу Шапиро-Вилковог теста (Shapiro-Wilk test) применом *stats* пакета у R-у version 4.3.2 (<https://www.R-project.org/>). Резултати су потврдили хомогеност варијанси, као и да подаци прате нормалну расподелу за све особине.

Ради процене стабилности генотипова и интеракције генотип \times спољашња средина за морфолошке и продуктивне особине пшенице, примењен је модел главних адитивних ефеката и мултипликативне интеракције (*енг.* Additive Main Effects and Multiplicative Interaction – АММИ). Овај метод комбинује анализу варијансе за адитивне ефекте и анализу главних компоненти (*енг.* Principal Component Analysis – PCA) за мултипликативне ефекте интеракције и омогућава детаљно разумевање понашања генотипова у различитим агроеколошким срединама (Gauch and Zobel, 1996). На основу

результата добијених спровођењем АММИ анализе у R version 4.3.2 (<https://www.R-project.org/>), коришћењем пакета *metan* (Olivoto and Lúcio, 2020), конструисани су биплотови АММИ₁ и АММИ₂ у програму Microsoft Excel. Биplot АММИ₁ приказује средње вредности генотипова и средина за дату особину на x-оси, док су на y-оси представљене вредности прве главне компоненте интеракције (IPCA₁). Биplot АММИ₂ формиран је на основу вредности прве интеракцијске компоненте (IPCA₁), на x-оси и друге интеракцијске компоненте (IPCA₂) на y-оси, што омогућава детаљније сагледавање интеракције генотип × спољашња средина.

Поред тога, с циљем да се рангирају генотипови према стабилности, израчунате су АММИ вредности стабилности (*енг.* AMMI Stability Values – ASVs), према формули коју су предложили Purchase et al. (2000):

$$ASV = \sqrt{\left(\frac{SS_{IPCA1}}{SS_{IPCA2}} \times IPCA1^2\right) + IPCA1^2}$$

где је:

- IPCA₁ – вредност прве главне компоненте интеракције за дати генотип
- IPCA₂ – вредност друге главне компоненте интеракције за дати генотип
- SS_{IPCA1} – сума квадрата за прву главну компоненту интеракције
- SS_{IPCA2} – сума квадрата за другу главну компоненту интеракције

С циљем да се идентификују стабилни и адаптабилни генотипови у различитим условима средине, као и да се дефинишу потенцијалне мега-средине, као и дискриминативност и репрезентативност средине, спроведана је генотип плус интеракција генотип × спољашња средина (*енг.* Genotype plus Genotype by Environment interaction – GGE) биplot анализа, кроз низ биplot приказа дате анализе, као што су: Mean vs. Stability (Средња вредност vs. стабилност), Which-won-where (Ко-где-побеђује), Discriminateness vs. Representativeness (Дискриминативност vs. репрезентативност) и Ranging genotypes (Рангирање генотипова). Ова анализа је спроведена помоћу пакета *metan* (Olivoto and Lúcio, 2020) у R-у.

Међусобна повезаност анализираних особина је спроведена у R version 4.3.2 применом Пирсонових (*енг.* Pearson) корелација, коришћењем пакета *corrplot* (Wei and Simko, 2021) и визуализована уз помоћ пакета *ggplot2* (Wickham, 2016). Графикон *heatmap* је направљен коришћењем пакета *gplots* (Warnes et al., 2024).

Такође, примењена је анализа главних компоненти (PCA) у R version 4.3.2 коришћењем пакета *factoextra* (Kassambara and Mundt, 2020) како би се сагледали односи између морфолошких и продуктивних особина и анализираних генотипова, при

чему ова метода омогућава редукцију димензија података и идентификацију главних образаца варијације међу променљивим и генотиповима. Пре анализе, подаци су стандардизовани. Прорачунате су својствене вредности (*енг.* eigenvalues) ради процене доприноса појединачних компоненти. Резултати РСА анализе су визуализовани помоћу биплота.

Хијерархијска кластер анализа је спроведена применом Ward-овог метода како би се сагледала повезаност између анализираних морфолошких, продуктивних и особина квалитета и генотипова, гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне. Подаци су стандардизовани, а Еуклидова дистанца је коришћена као мера растојања између кластера. Кластери су формиран за редове (генотипове) и колоне (особине) и визуализовани кроз *heatmap* графикон помоћу пакета *RColorBrewer* (Neuwirth, 2022). Број кластера је одређен анализом резултата хијерархијског кластерованја, укључујући визуализацију дендрограма и разматрање варијације унутар група. Анализа је изведена у R version 4.3.2.

Како би се сагледали односи између морфолошких, продуктивних особина, особина квалитета и параметара антиоксидативне активности на различитим локалитетима, спроведена је анализа главних компоненти (РСА). Анализа је обухватила податке о особинама 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета, за сваку годину посебно. Пре анализе, све варијабле су стандардизоване центрирањем око средње вредности и скалирањем на јединичну варијансу како би се уклонио ефекат различитих мера. Анализа је спроведена у R version 4.3.2 применом декомпозиције сингуларних вредности (SVD) над стандардизованом матрицом података. Резултати су графички приказани ради визуелизације расподеле података и доприноса сваке варијабле главним компонентама. РСА биплотови (PC1 vs. PC2) су генерисани коришћењем пакета *factoextra* (Kassambara and Mundt, 2020) у R-у ради визуелизације структуре података у две димензије. С обзиром на то да три главне компоненте (PC1, PC2 и PC3) имају значајан допринос варијацији, креиран је 3D графикон применом библиотеке *Plotly* (version 4.11.0) у R-у (Sievert, 2020).

6. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

6.1. Фенотипска варијација морфолошких, продуктивних и особина квалитета пшенице

6.1.1. Фенотипска варијација висине биљке

Спроведена је трофакторијална анализа варијансе, која показује да постоји статистички високозначајан утицај главних фактора: генотип, локалитет и година, као и њихових интеракција на фенотипску експресију висине биљке. Највећи удео у укупној суми квадрата огледа имао је фактор година, затим генотип, а најмањи локалитет (Табела 4).

Табела 4. Трофакторијална анализа варијансе за висину биљке код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Извор варијације	Степени слободе (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F вредност	p вредност
Генотип (А)	14	6256,3	446,9	46,157**	0,000
Локалитет (Б)	2	2906,4	1453,2	150,101**	0,000
Година (В)	1	16403,4	16403,4	1694,288**	0,000
А × Б	28	1215,0	43,4	4,482**	0,000
А × В	14	1230,1	87,9	9,076**	0,000
Б × В	2	5624,0	2812,0	290,446**	0,000
А × Б × В	28	944,0	33,7	3,482**	0,000
Грешка	180	1742,7	9,7	–	–
Укупно	269	36318,9	–	–	–

** статистички значајан утицај на нивоу 1% ($p < 0,01$)

На свим анализираним локалитетима појединачно, највеће просечне вредности висине биљке су установљене код линија спелте, где су најмање вредности забележене у Панчеву – 99,5 cm (КГ-54-7/3-5) и 100,1 cm (КГ-54-7/3-2), затим 103,3 (КГ-54-7/3-5) и 107,5 (КГ-54-7/3-2) у Крагујевцу и највеће у Крушевцу 107,6 (КГ-54-7/3-5) и 108,8 (КГ-54-7/3-2), за обе вегетационе сезоне у просеку. Поређењем вредности генотипова хлебне пшенице по локалитетима, примећује се да је најмања вредност остварена код

линије КГ-9/1 у Панчеву (85,9 cm), док је највећа вредност остварена код КГ-43/1 у Крушевцу (105,4 cm), Табела 5.

Просечно за сва три локалитета и обе вегетационе сезоне, најмања вредност висине биљке (89,5 cm) је забележена код линије КГ-9/1 и сорте коришћене као стандард НС 40С, док су највеће просечне вредности у огледу забележене код линија спелте – КГ-54-7/3-5 (103,4 cm) и КГ-54-7/3-2 (105,4 cm). Када је реч о генотиповима хлебне пшенице, највећа просечна вредност је установљена код линије КГ-43/1 (99,6 cm) и линије КГ-30/1 (98,3 cm), уз постизање статистички значајне разлике у односу на остале генотипове на нивоу значајности од 5%.

Табела 5. Средње вредности и коефицијенти варијације висине биљке код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета, у просеку за обе вегетационе сезоне

Ред. бр.	Генотип	Панчево		Крагујевац		Крушевац		Просек	
		\bar{x} (cm)	CV (%)	\bar{x} (cm)	CV (%)	\bar{x} (cm)	CV (%)	\bar{x} (cm)	CV (%)
1.	КГ-4/1	86,5	10,1	94,7	3,1	98,7	5,8	93,3 ^{ВГ}	6,3
2.	КГ-9/1	85,9	7,2	88,1	3,6	94,4	6,2	89,5 ^Д	5,7
3.	КГ-11/1	88,8	5,4	90,8	3,9	99,4	4,4	93,0 ^{ВГД}	4,6
4.	КГ-16/1	91,1	6,0	89,7	4,4	97,5	5,5	92,8 ^{ВГД}	5,3
5.	КГ-21/1	89,3	7,6	87,8	4,1	100,1	3,5	92,4 ^{ВГД}	5,0
6.	КГ-30/1	94,9	7,1	98,7	5,6	101,5	8,7	98,3 ^Б	7,1
7.	КГ-33/1	88,6	4,8	83,3	4,4	97,4	7,3	89,8 ^{ГД}	5,5
8.	КГ-40/1	92,2	6,1	86,7	4,8	99,8	7,1	92,9 ^{ВГД}	6,0
9.	КГ-41/1	90,1	6,3	89,5	4,2	91,1	8,2	90,2 ^{ВГД}	6,2
10.	КГ-43/1	95,5	6,6	97,9	4,5	105,4	5,0	99,6 ^Б	5,4
11.	НС 40С	86,4	6,2	90,5	3,7	91,6	6,2	89,5 ^Д	5,4
12.	Ренесанса	92,7	5,2	93,4	5,1	95,1	7,0	93,7 ^В	5,7
13.	Победа	90,3	6,0	91,3	3,6	96,9	6,8	92,8 ^{ВГД}	5,4
14.	КГ-54-7/3-5	99,5	5,2	103,3	4,2	107,6	4,3	103,4 ^А	4,5
15.	КГ-54-7/3-2	100,1	5,6	107,5	3,9	108,8	6,0	105,4 ^А	5,1
Просек		91,5 ^В	6,4	92,9 ^Б	4,2	99,0 ^А	6,1	94,5	5,6

Легенда: мала слова унутар колоне указују на статистички значајне разлике између генотипова, док велика слова означавају статистички значајне разлике између локалитета (ниво значајности 5%)

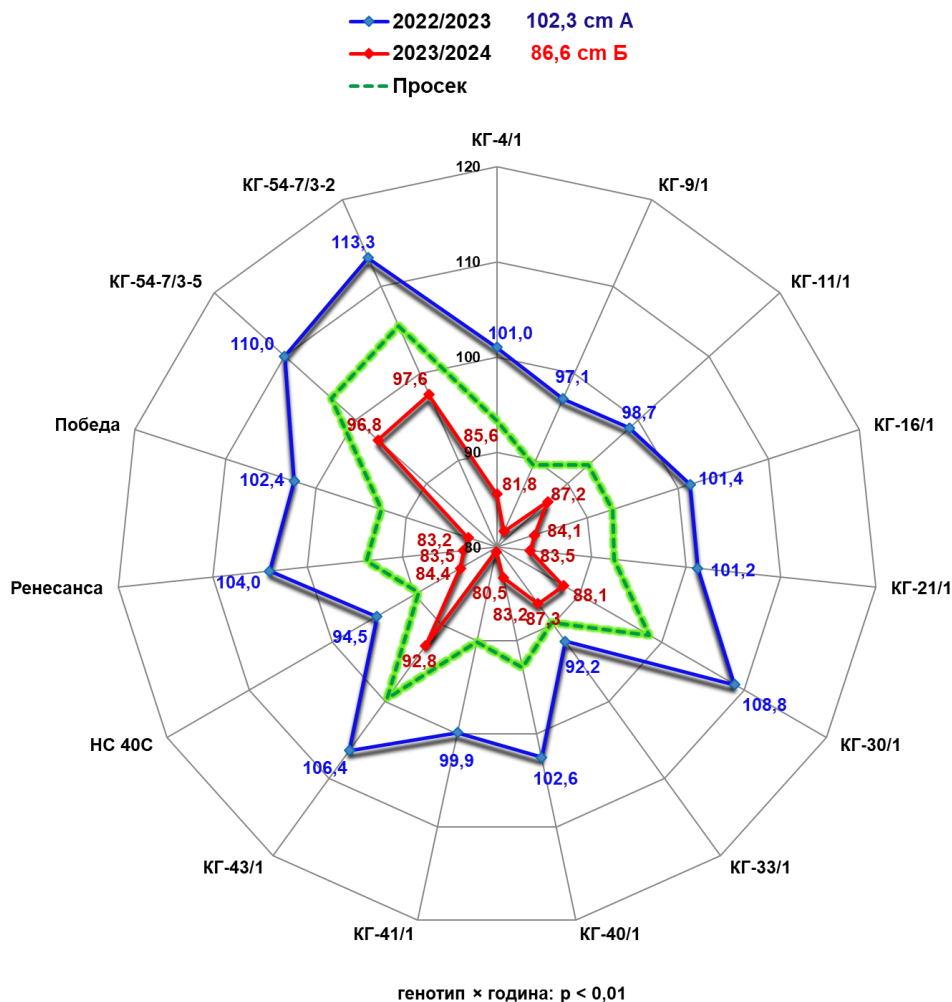
Узимајући у обзир сва три локалитета, коефицијент варијације (CV) је варирао од 4,5% код линије спелте КГ-54-7/3-5, до 7,1% код линије хлебне пшенице КГ-30/1. По локалитетима, коефицијент варијације анализираних особина се кретао у распону од 4,8% код линије КГ-33/1 до 10,1% код линије КГ-4/1 на локалитету Панчево, затим од

3,1% код генотипа КГ-4/1 до 5,6% код генотипа КГ-30/1 у Крагујевцу, и од 3,5% код линије КГ-21/1 до 8,7 код линије КГ-30/1 у Крушевцу, просечно за обе сезоне.

Најмања просечна вредност висине биљке установљена је на локалитету Панчево (91,5 cm), затим нешто већа на локалитету Крагујевац (92,9 cm), а највећа на локалитету Крушевац (99,0 cm), уз постојање статистичке значајности разлика. Код анализираних генотипова пшенице, висина биљке је најмање варијала у Крагујевцу ($CV=4,2\%$), док су вредности коефицијента варијације биле знатно веће у Крушевцу и Панчеву (6,1, односно 6,4%), Табела 2.

Анализа варијације висине биљке по годинама, у просеку за сва три локалитета и све генотипове, показује да је у 2023/2024. вегетационој сезони остварена значајно већа вредност висине биљке (102,2 cm) у односу на вредност у 2022/2023. сезони (86,6 cm). Смањење вредности у просеку је било 15,3%.

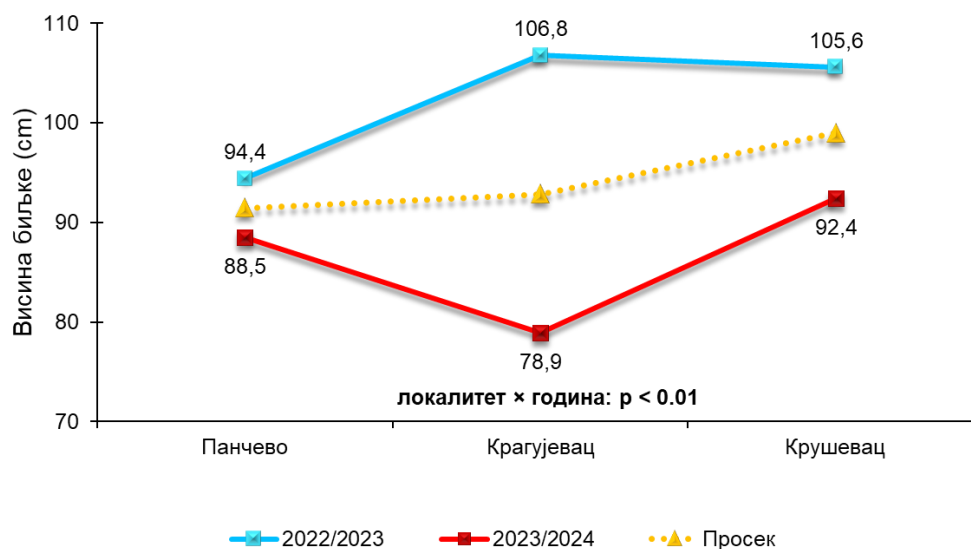
Интеракција генотип \times година је била статистички високозначајна (Табела 1), где је дошло до измене у рангирању генотипова по годинама, те је стога детаљно размотрена и приказана на радар графикону (Графикон 1). Сви анализирани генотипови су остварили значајно већу вредност висине биљке у 2022/2023. сезони, али су ипак различито реаговали на услове који су карактерисали 2023/2024. сезону, а који су условили смањење висине биљке. Највећи допринос интеракцији су имали генотипови Ренесанса, КГ-41/1 и КГ-30/1, код којих је установљено смањење вредности за 19,8, 19,5, и 19,3%, респективно. С друге стране, најмање варирање по сезонама је забележено код КГ-33/1, које је износило 5,3%. У обе анализираних вегетационе сезоне, највеће вредности висине биљке су имале линије спелте, где је линија КГ-54-7/3-2 имала вредности од 113,3 у 2022/2023, а 97,6 у 2023/2024. сезони, а линија КГ-54-7/3-5 је у 2022/2023. имала просечну вредност 110,0 cm, а у 2023/2024. 96,8 cm. Најмању вредност анализираних својства у 2022/2023. је имала линија КГ-33/1 (92,2 cm), а затим сорта стандард НС 40С (94,5 cm), док је у 2023/2024. вегетационој сезони најмања вредност висине биљке забележена код линија КГ-41/1 (80,5 cm) и КГ-9/1 (81,8 cm), Графикон 4.



Графикон 4. Просечна висина биљке код 15 генотипова пшенице по вегетационим сезонама, обједињено за све локалитете

Према трофакторијалној анализи варијансе, интеракција локалитет × година је била високозначајна ($p < 0,001$) и имала је највећи удео у варирању висине биљке у поређењу са другим варијантама интеракција главних фактора (Табела 4). Значајности интеракције су највише допринеле разлике у средњим вредностима висине биљке између сезона на локалитету Крагујевац, где је у 2022/2023. сезони забележена највећа вредност (106,8 cm), а у 2023/2024. сезони најмања просечна вредност (78,9 cm) у поређењу са остала два локалитета. Дакле, на овом локалитету се висина биљке у сезони 2023/2024. редуковала за чак 26,12% у односу на 2022/2023. сезону. Најмање варирање по сезонама је утврђено на локалитету Панчево, где је у 2022/2023. сезони остварена најмања вредност висине биљке (94,4 cm), а у другој сезони вредност је износила 88,5 cm. Дакле, на поменутом локалитету вредност висине биљке се у другој

сезони гајења смањила за 6,25%. На локалитету Крушевац, вредност испитиване особине у 2022/2023. вегетационој сезони је износила 105,6 cm и била је готово иста као вредност на локалитету Крагујевац, док је у 2023/2024. сезони вредност износила 92,4 cm, уз смањење од 12,5% (Графикон 5).



Графикон 5. Просечна вредност висине биљке на анализираним локалитетима по вегетационим сезонама (интеракција локалитет × година)

Имајући у виду значајност интеракције генотип × локалитет × година (Табела 4), где је дошло до значајне измене у рангирању генотипова у висини биљке по анализираним годинама и локалитетима, разматрана је фенотипска варијација посебно по сваком локалитету и вегетационој сезони, односно по свакој агроколошкој средини (Табела 6). Најмања вредност висине биљке, на нивоу огледа, је забележена на локалитету Крагујевац код генотипа КГ-21/1 у 2023/2024. сезони (70,5 cm), док је највећа вредност од 120,7 cm установљена код линије спелте КГ-54-7/3-2 на локалитету Крагујевац у 2022/2023. сезони, а код хлебне пшенице, највећа вредност је забележена код линије КГ-30/1 (117,0 cm) на истом локалитету и у истој вегетационој сезони (Табела 6). Посматрано појединачно, најмања вредност висине биљке на локалитету Панчево у 2022/2023. сезони је забележена код сорте стандарда НС 40С (85,8 cm), док је у 2023/2024. сезони најмању вредност имао генотип КГ-4/1 (81,2 cm). На локалитету Крагујевац, у првој сезони гајења, најмања просечна висина биљке је установљена код линије КГ-33/1 (84,8 cm) и била је статистички значајно нижа у односу на вредности

других генотипова у датој агроеколошкој средини, док је највећа вредност утврђена код линије КГ-30/1 (117,0 cm), када су у питању генотипови хлебне пшенице. У сезони 2023/2024 на истом локалитету најмања вредност анализираних особине је установљена код линије КГ-40/1 (68,9 cm), док је највећа вредност, посматрајући генотипове хлебне пшенице, забележена код линије КГ-43/1 (85,1 cm), уз постојање статистичке значајности у разликама (Табела 6).

Табела 6. Средње вредности (\bar{x}) и коефицијенти варијације (CV) висине биљке код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Ред. Бр.	Генотип	Панчево				Крагујевац				Крушевац			
		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024	
		\bar{x} (cm)	CV (%)	\bar{x} (cm)	CV (%)	\bar{x} (cm)	CV (%)	\bar{x} (cm)	CV (%)	\bar{x} (cm)	CV (%)	\bar{x} (cm)	CV (%)
1.	КГ-4/1	91,8	9,8	81,2	10,3	107,2	2,9	82,2	3,2	104,0	6,4	93,3	5,1
2.	КГ-9/1	89,8	8,0	82,0	6,4	101,4	2,3	74,8	4,8	100,0	6,6	88,7	5,8
3.	КГ-11/1	88,4	6,3	89,1	4,5	104,7	2,7	76,8	5,1	103,1	5,3	95,6	3,5
4.	КГ-16/1	92,8	6,1	89,4	5,8	106,7	2,6	72,6	6,1	104,6	5,9	90,4	5,1
5.	КГ-21/1	93,4	6,0	85,1	9,1	105,0	2,4	70,5	5,7	105,2	3,2	94,9	3,8
6.	КГ-30/1	99,7	7,4	90,1	6,8	117,0	3,3	80,3	7,9	109,8	6,2	93,1	11,1
7.	КГ-33/1	89,8	4,4	87,4	5,2	84,8	4,2	81,8	4,5	102,0	9,1	92,8	5,4
8.	КГ-40/1	97,4	6,3	86,9	5,8	104,4	2,6	68,9	7,0	105,9	6,3	93,6	7,9
9.	КГ-41/1	91,8	8,0	88,3	4,6	106,5	2,9	72,4	5,5	101,4	7,1	80,7	9,3
10.	КГ-43/1	97,4	7,4	93,5	5,8	110,7	3,4	85,1	5,6	111,1	6,2	99,7	3,8
11.	НС 40С	85,8	7,0	87,0	5,3	100,5	3,6	80,5	3,8	97,3	5,6	85,8	6,8
12.	Ренесанса	97,3	4,4	88,0	5,9	108,7	2,2	78,0	7,9	106,0	5,6	84,2	8,4
13.	Победа	93,8	6,5	86,7	5,4	107,4	2,7	75,1	4,4	106,0	4,6	87,7	9,0
14.	КГ-54-7/3-5	101,9	6,1	97,0	4,2	115,8	3,3	90,7	5,0	112,3	3,5	102,8	5,1
15.	КГ-54-7/3-2	104,3	6,7	95,9	4,4	120,7	3,7	94,2	4,1	114,9	4,4	102,6	7,5
Просек		94,4	6,7	88,5	6,0	106,8	3,0	78,9	5,4	105,6	5,7	92,4	6,5
Tukey HSD _{0,05}		9,40	–	8,89	–	4,67	–	6,14	–	12,24	–	10,81	–
Tukey HSD _{0,01}		11,08	–	10,48	–	5,50	–	9,85	–	14,43	–	12,74	–

Најмању просечну вредност висине биљке на локалитету Крушевац, у првој сезони гајења, имала је сорта НС 40С (97,3 cm), док је највећа вредност, код хлебне пшенице, установљена код генотипа КГ-43/1 (111,1 cm). На истом локалитету у 2023/2024. сезони, најмању просечну вредност висине биљке је имао генотип КГ-41/1 (80,7 cm), док је највећа вредност код генотипова хлебне пшенице установљена код линије КГ-11/1 (95,6 cm). У свим срединама, сем у средини Панчево 2023/2024 и

Крушевац 2023/2024, највећа вредност висине биљке је забележена код линије спелте КГ-54-7/3-2, с тим да је највећа вредност установљена на локалитету Крагујевац 2022/2023. (120,7 cm), а најмања на истом локалитету у другој сезони гајења (94,2 cm), Табела 6.

Просечан коефицијент варијабилности се кретао од 3,0% на локалитету Крагујевац у 2022/2023. вегетационој сезони до 6,7% на локалитету Панчево у истој вегетационој сезони. Посматрано по генотиповима, најмања варијабилност висине биљке је забележена код сорте Ренесанса (CV=2,2%) у агроколошкој средини Крагујевац 2022/2023, док је највише варијабилност линија КГ-4/1 (CV=10,3%) у средини Панчево 2023/2024 (Табела 6).

6.1.2. Фенотипска варијација дужине класа

Резултати за дужину класа, као варијабилне особине чије је испољавање под контролом више гена, исказани су кроз средње вредности и коефицијент варијације (Табела 7). Сви главни анализирани фактори (генотип, локалитет и година) имали су статистички значајан утицај на дужину класа, са доминантним утицајем фактора генотип (81,38% удела у укупној суми квадрата). Такође, установљен је значајан утицај свих интеракција фактора на фенотипско испољавање анализиране особине (Табела 7).

Табела 7. Трофакторијална анализа варијансе за дужину класа код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Извор варијације	Степени слободе (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F вредност	p вредност
Генотип (А)	14	826,1	59,01	371,219**	0,000
Локалитет (Б)	2	33,6	16,82	105,801**	0,000
Година (В)	1	54,9	54,95	345,649**	0,000
А × Б	28	19,5	0,70	4,388**	0,000
А × В	14	4,9	0,35	2,189**	0,009
Б × В	2	25,5	12,75	80,208**	0,000
А × Б × В	28	22,0	0,78	4,937**	0,000
Грешка	180	28,6	0,16	—	—
Укупно	269	1015,1	—	—	—

** статистички значајан утицај на нивоу 1% ($p < 0,01$)

Узевши у обзир просек за обе вегетационе сезоне појединачно по локалитету, највећу просечну вредност дужине класа имале су линије спелте (КГ-54-7/3-5 и КГ-54-7/3-2). Најмање вредности ових линија су забележене у Крушевцу - 12,6 cm (КГ-54-7/3-5) и 13,2 cm (КГ-54-7/3-2), локалитету где је иначе установљена највећа висина ових линија, затим 13,0 cm (КГ-54-7/3-5) и 13,3 cm (КГ-54-7/3-2) у Панчеву и највеће вредности су у Крагујевцу: 13,8 (КГ-54-7/3-5) и 14,8 cm (КГ-54-7/3-2). Посматрајући вредности генотипова хлебне пшенице по локалитетима, из табеле се може закључити да је најмању дужину класа формирао генотип КГ-33/1 у Панчеву (6,7 cm), док су два генотипа у Крагујевцу КГ-21/1 и Победа која је коришћена као стандард, формирали најдужи клас (9,8 cm), Табела 8. Највећу просечну дужину класа, на сва три локалитета у обе сезоне, оствариле су линије спелте КГ-54-7/3-2 (13,7 cm) и КГ-54-7/3-5 (13,2 cm), док је најмања дужина класа (7,0 cm) забележена код генотипа КГ-33/1. Ако посматрамо само генотипове хлебне пшенице, највећа просечна вредност је забележена код два генотипа КГ-21/1 (9,2 cm) и Ренесансе (9,2 cm), Табела 8.

Табела 8. Средње вредности и коефицијенти варијације дужине класа код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета, у просеку за обе вегетационе сезоне

Ред. бр.	Генотип	Панчево		Крагујевац		Крушевац		Просек	
		\bar{x} (cm)	CV (%)	\bar{x} (cm)	CV (%)	\bar{x} (cm)	CV (%)	\bar{x} (cm)	CV (%)
1.	КГ-4/1	8,7	7,5	8,7	7,1	8,1	9,8	8,5 ^д	8,1
2.	КГ-9/1	9,4	7,5	9,2	8,8	8,4	10,1	9,0 ^{вг}	8,8
3.	КГ-11/1	8,6	9,6	8,8	7,7	8,0	7,9	8,5 ^д	8,4
4.	КГ-16/1	8,6	7,8	8,7	7,9	8,2	9,8	8,5 ^д	8,5
5.	КГ-21/1	9,1	8,3	9,8	8,8	8,8	10,8	9,2 ^в	9,3
6.	КГ-30/1	8,7	10,3	9,2	8,6	8,6	11,9	8,8 ^{вгд}	10,3
7.	КГ-33/1	6,7	12,9	7,2	11,2	7,2	16,8	7,0 ^е	13,7
8.	КГ-40/1	9,3	7,8	9,0	7,2	7,9	8,1	8,8 ^{гд}	7,7
9.	КГ-41/1	9,1	9,9	9,4	11,6	7,7	16,0	8,7 ^{гд}	12,5
10.	КГ-43/1	9,1	11,0	9,6	7,9	8,6	8,5	9,1 ^{вг}	9,1
11.	НС 40С	8,0	12,7	7,9	8,9	6,9	11,9	7,6 ^б	11,2
12.	Ренесанса	9,3	7,5	9,8	9,2	8,5	10,3	9,2 ^в	9,0
13.	Победа	8,9	7,8	8,6	8,4	8,5	12,8	8,7 ^{гд}	9,6
14.	КГ-54-7/3-5	13,0	9,2	13,8	7,0	12,6	6,3	13,2 ^б	7,5
15.	КГ-54-7/3-2	13,3	8,4	14,7	6,9	13,2	10,2	13,7 ^а	8,5
Просек		9,3 ^в	9,2	9,6 ^а	8,5	8,8 ^в	10,8	9,2	9,5

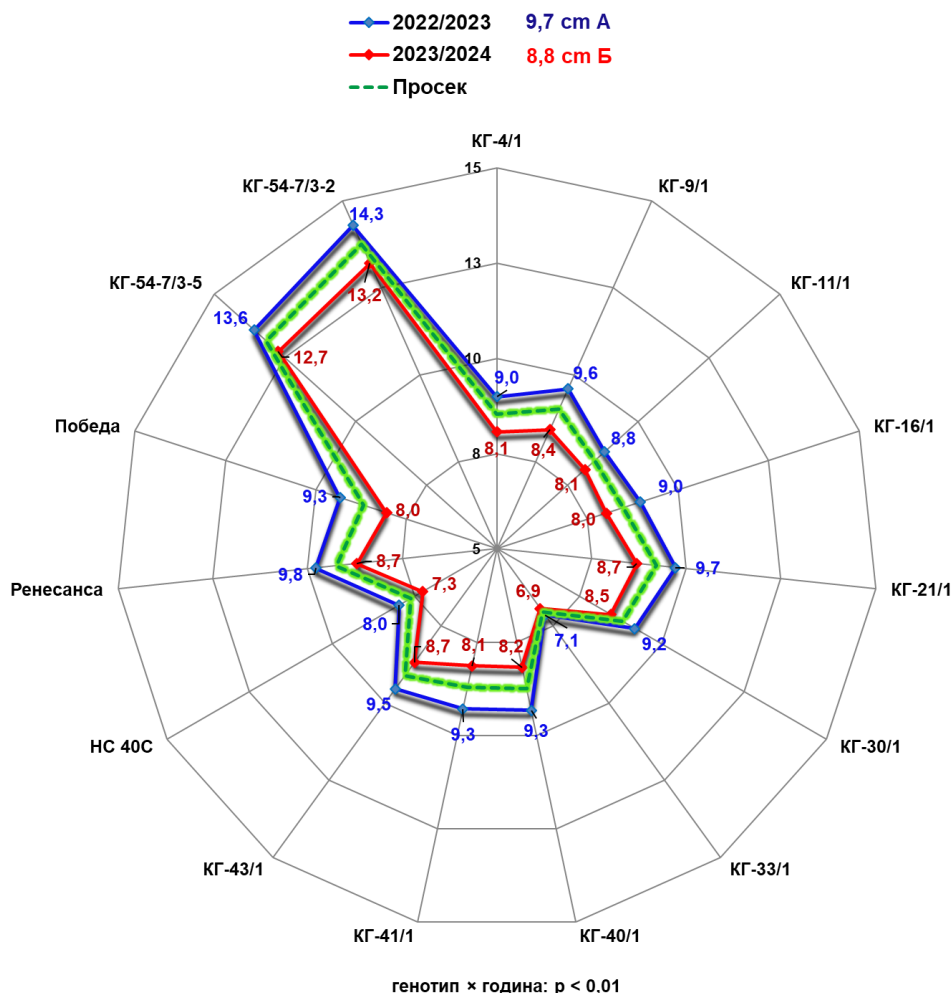
Легенда: мала слова унутар колоне указују на статистички значајне разлике између генотипова, док велика слова означавају статистички значајне разлике између локалитета (ниво значајности 5%)

Анализирајући просечне вредности коефицијента варијације за сва три локалитета, долази се до закључка да се крећу у интервалу од 7,5% код генотипа КГ-54-7/3-5 до 13,7% код генотипа КГ-33/1. Вредности коефицијента варијације по локалитетима, кретали су се у интервалу од 7,5%, који је забележен код три генотипа КГ-4/1, КГ-9/1 и Ренесанса, до 12,9% код генотипа КГ-33/1 на локалитету Панчево, затим од 6,9% код линије спелте КГ-54-7/3-2 до 11,6% код линије КГ-41/1 на локалитету Крагујевац. Крушевац има највишу просечну вредност коефицијента варијације, која се кретала у интервалу од 6,3% код генотипа КГ-54-7/3-5 до 16,8% код генотипа КГ-33/1 (Табела 8).

Посматрано по локалитетима, највећа просечна вредност дужине класа, утврђена је у Крагујевцу (9,6 cm), затим следи Панчево (9,3 cm), а најмања дужина класа је у просеку измерена у Крушевцу (8,8 cm). Разлике између локалитета су статистички значајне. Најмањи коефицијент варијације забележен је у Крагујевцу ($CV = 8,5\%$), у Панчеву је вредност коефицијента варијације нешто већи ($CV = 9,3\%$), док је коефицијент варијације у Крушевцу знатно већи у односу на Крагујевац ($CV = 10,8\%$), Табела 8.

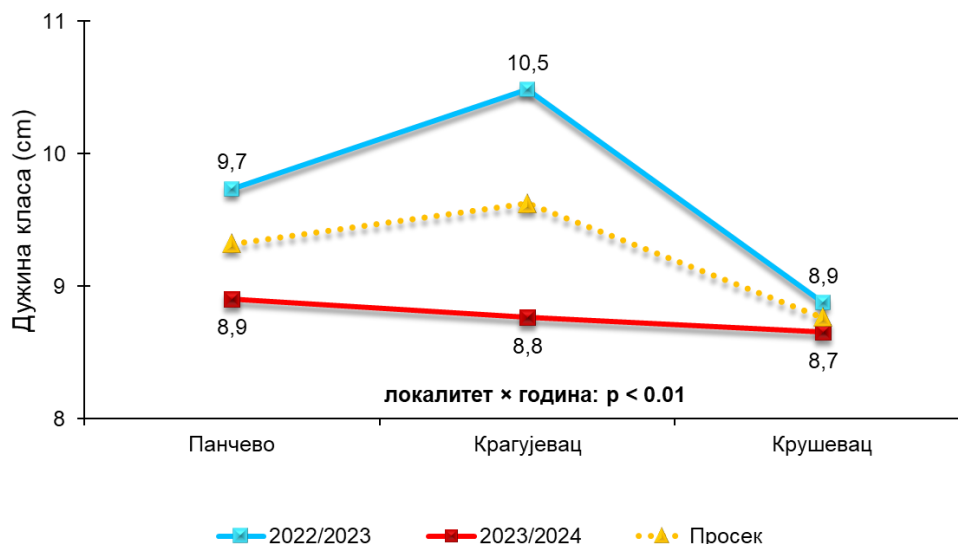
Посматрајући радар графикон, који показује просечну дужину класа код 15 генотипова пшенице током две сезоне, у просеку за сва три локалитета, уочава се да је у 2022/2023. години просечна дужина класа значајно већа у односу на 2023/2024. годину (9,7, односно 8,8 cm). Смањење у 2023/2024. сезони износи приближно 10,2%, што указује на лошије услове за формирање класа у датој вегетационој сезони. Присутне разлике између сезона су резултирале значајну интеракцију генотип \times година. Дакле, генотипови пшенице су различито реаговали на услове 2023/2024, па смањење вредности дужине класа није било уједначено. Највећи допринос интеракцији генотип \times година, у погледу дужине класа, имали су генотипови Победа, КГ-41/1 и КГ-40/1, код којих је уочено значајно смањење вредности у другој вегетационој сезони. Наиме, код генотипа Победа смањење је износило 13,9%, док су КГ-41/1 и КГ-40/1 забележили пад од 12,9% и 11,8%, респективно. Код линије КГ-33/1, као и у анализи фенотипске варијације висине биљке, забележено је најмање варирање по сезонама, са смањењем вредности од 2,8% у другој сезони. Највећу дужину класа, у обе сезоне, показују линије спелте. У сезони 2022/2023. дужина класа за ове линије је износила 14,3 cm (КГ-54-7/3-2) и 13,6 cm (КГ-54-7/3-5), док је у 2023/2024. вредност дужине класа била нешто мања (13,2 cm и 12,7 cm, респективно). Најмања вредност дужине класа забележена је у обе сезоне за линију КГ-33/1 (7,1 cm у 2022/2023. и 6,9

cm у 2023/2024. сезони) и сорту НС 40С (8,0 cm у 2022/2023. и 7,3 cm у 2023/2024. сезони), Графикон б.



Графикон б. Просечна дужине класа код 15 генотипова пшенице по вегетационим сезонама, обједињено за све локалитете

Упоређујући варијанте интеракција, интеракција локалитет × година је имала највећи удео у варирању дужине класа ($F = 80,208$) и била је високо значајна ($p < 0,01$), Табела 7. Највећа просечна дужина класа у сезони 2022/2023. забележена је на локалитету Крагујевац (10,5 cm), док се у другој сезони на истом локалитету ова вредност смањила и износила је 8,8 cm. Смањење дужине класа на локалитету у Крагујевцу од 16,2% значајно је допринело интеракцији локалитет × година. У Панчеву се просечна дужина класа смањила са 9,7 cm у првој години на 8,9 cm у другој години (смањење од 8,25%). Најмање варирање је утврђено у Крушевцу, где је у првој години просек био 8,9 cm, а у другој 8,7 cm. На овом локалитету дужина класа се смањила за 2,25% (Графикон 7).



Графикон 7. Просечна вредност дужине класа на анализираним локалитетима по вегетационим сезонама (интеракција локалитет \times година)

С обзиром на уочене значајне разлике у понашању генотипова у различитим годинама и на различитим локалитетима, дужина класа је даље разматрана у оквиру појединачних агроколошких средина и вегетационих сезона. Најмања вредност дужине класа у оквиру огледа је забележена код генотипа КГ-33/1 на локалитету Панчево у сезони 2022/2023. (6,4 cm), док је највећа вредност (15,7 cm) регистрована код линије спелте КГ-54-7/3-2 на локалитету Крагујевац у сезони 2022/2023, а код генотипова хлебне пшенице најдужи клас у истој агроколошкој средини и години имале су линије КГ-21/1 и Ренесанса (10,7 cm).

Анализирајући појединачно, на локалитету Панчево у сезони 2022/2023, највећу вредност дужине класа (13,7 cm) постигао је генотип КГ-54-7/3-2, док је најмању вредност имао генотип КГ-33/1 (6,4 cm). У наредној сезони (2023/2024), поменута линија спелте такође је имала највећу вредност дужине класа (12,8 cm), док је генотип КГ-33/1 и даље имао најмању дужину класа (7,0 cm). Најмању просечну вредност дужине класа на локалитету у Крагујевцу у првој вегетационој сезони имала је линија КГ-33/1 (7,2 cm), док је највећа вредност код хлебне пшенице, уочена код линија КГ-21/1, КГ-41/1 и сорте Ренесанса (10,7 cm). Генотип КГ-33/1 и у другој сезони је имао најмању просечну вредност дужине класа. Када се посматрају генотипови хлебне пшенице, највећа вредност дужине класа, у истој години, забележена је код сорте Ренесанса (10,7 cm), што је и највећа вредност код хлебне пшенице у оквиру огледа. На локалитету Крушевац, током вегетационе сезоне 2022/2023, највећа просечна дужина

класа забележена је код генотипа КГ-54-7/3-2 (13,4 cm), а најкраћи клас је измерен код генотипа НС 40С (6,9 cm). У наредној сезони (2023/2024), генотип КГ-54-7/3-2 имао је највећу просечну вредност од 13,1 cm, док је најнижу вредност дужине класа имао генотип КГ-33/1 (6,5 cm), Табела 9.

Табела 9. Средње вредности (\bar{x}) и коефицијенти варијације (CV) дужине класа код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Ред. бр.	Генотип	Панчево				Крагујевац				Крушевац			
		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024	
		\bar{x} (cm)	CV (%)	\bar{x} (cm)	CV (%)	\bar{x} (cm)	CV (%)	\bar{x} (cm)	CV (%)	\bar{x} (cm)	CV (%)	\bar{x} (cm)	CV (%)
1.	КГ-4/1	9,2	9,3	8,3	5,7	9,3	8,8	8,2	5,4	8,4	9,9	7,8	9,7
2.	КГ-9/1	10,3	7,3	8,5	7,7	9,9	10,0	8,6	7,5	8,6	10,8	8,2	9,4
3.	КГ-11/1	8,8	13,3	8,3	5,9	9,6	9,0	8,0	6,4	8,0	7,5	8,1	8,4
4.	КГ-16/1	9,1	9,4	8,1	6,2	9,5	7,7	7,8	8,1	8,3	7,8	8,1	11,8
5.	КГ-21/1	9,5	7,7	8,6	9,0	10,7	9,7	8,8	7,8	8,9	13,3	8,6	8,3
6.	КГ-30/1	8,7	12,7	8,6	8,0	10,2	9,6	8,2	7,6	8,6	12,3	8,6	11,5
7.	КГ-33/1	6,4	11,3	7,0	14,5	7,2	12,5	7,3	10,0	7,9	26,4	6,5	7,2
8.	КГ-40/1	9,5	9,0	9,1	6,6	10,4	7,6	7,7	6,7	8,1	8,6	7,8	7,7
9.	КГ-41/1	9,7	12,0	8,4	7,7	10,7	15,2	8,0	8,0	7,4	17,9	8,0	14,1
10.	КГ-43/1	9,3	9,5	8,9	12,5	10,6	7,6	8,6	8,2	8,7	9,5	8,6	7,5
11.	НС 40С	8,7	11,5	7,3	13,9	8,3	8,4	7,5	9,3	6,9	14,6	7,0	9,3
12.	Ренесанса	9,9	7,2	8,8	7,9	10,7	9,1	9,0	9,3	8,7	10,6	8,4	10,0
13.	Победа	9,6	9,3	8,3	6,3	9,3	10,0	7,9	6,8	9,1	14,2	8,0	11,3
14.	КГ-54-7/3-5	13,4	10,7	12,7	7,8	15,2	5,8	12,4	8,2	12,1	4,3	13,1	8,3
15.	КГ-54-7/3-2	13,7	11,1	12,8	5,7	15,7	5,7	13,7	8,0	13,4	13,9	13,1	6,5
	Просек	9,7	10,1	8,9	8,4	10,5	9,1	8,8	7,8	8,9	12,1	8,7	9,4
	Tukey HSD _{0,05}	1,05	–	1,12	–	1,06	–	0,94	–	1,53	–	1,38	–
	Tukey HSD _{0,01}	1,24	–	1,32	–	1,25	–	1,11	–	1,80	–	1,62	–

Најмањи просечни коефицијент варијабилности уочен је на локалитету у Крагујевцу 2022/2023. (CV = 7,8%). Супротно томе, највећи коефицијент варијабилности уочен је у Крушевацу 2022/2023. (CV = 12,1%), где је дужина класа највише варијала. У оквиру огледа за обе сезоне на сва три локалитета, најмања варијабилност дужине класа забележена је код спелте КГ-54-7/3-5 (CV = 4,3%), на локалитету у Крушевцу 2022/2023. године, док је највише варијала КГ-33/1 (CV = 26,4%) у истој сезони.

6.1.3. Фенотипска варијација масе класа

Спроведена трофакторијална анализа варијансе, која показује је да су сви главни фактори (генотип, година и локалитети), као и њихове интеракције, имали статистички високозначајан утицај на фенотипско варирање масе класа ($p < 0,01$), где је фактор локалитет имао доминантан допринос варијацији, са уделом од 35,53% у укупној суми квадрата (Табела 10).

Табела 10. Трофакторијална анализа варијансе за масу класа код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Извор варијације	Степени слободе (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F вредност	p вредност
Генотип (А)	14	3,966	0,283	10,419**	0,000
Локалитет (Б)	2	11,356	5,678	208,825**	0,000
Година (В)	1	7,936	7,936	291,874**	0,000
А × Б	28	2,220	0,079	2,916**	0,000
А × В	14	3,535	0,253	9,287**	0,000
Б × В	2	1,065	0,532	19,583**	0,000
А × Б × В	28	2,219	0,079	2,914**	0,000
Грешка	180	4,894	0,027	–	–
Укупно	269	37,191	–	–	–

** статистички значајан утицај на нивоу 1% ($p < 0,01$)

На свим анализираним локалитетима појединачно, најмања просечна вредност масе класа забележене је у Крушевцу (2,04 g), где је најнижа вредност установљена код генотипа НС 40С (1,83 g), а највећа код генотипа КГ-54-7/3-2 (2,30 g). У Панчеву је просечна вредност масе класа била значајно већа (2,26 g), а кретала се од 1,95 g код линије КГ-33/1, до 2,54 g код сорте Победа. У просеку за обе сезоне, највећа просечна вредност масе класа је забележена на локалитету Крагујевац (2,55 g), где је најмања вредност измерена код сорте НС 40С (2,08 g), а највећа код линије спелте КГ-54-7/3-2 (2,71 g). У просеку за сва три локалитета и обе сезоне, најмања вредност масе класа (1,97 g) је забележена код сорте НС 40С, док је највећа просечна вредност остварена код линије КГ-54-7/3-2 (2,48 g). Од генотипова хлебне пшенице, највеће просечне вредности показале су сорте Ренесанса и Победа (2,43 g), као и линије КГ-9/1 (2,35 g) и КГ-43/1 (2,34 g), при чему су остварене статистички значајне разлике у односу на остале генотипове на нивоу значајности од 5% (Табела 11).

Табела 11. Средње вредности и коефицијенти варијације масе класа код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета, у просеку за обе вегетационе сезоне

Ред. бр.	Генотип	Панчево		Крагујевац		Крушевац		Просек	
		\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)
1.	КГ-4/1	2,33	21,5	2,56	14,9	2,02	24,6	2,30 ^{a-r}	20,3
2.	КГ-9/1	2,38	21,0	2,63	15,0	2,05	19,4	2,35 ^{abB}	18,5
3.	КГ-11/1	2,28	20,2	2,66	13,4	1,88	23,2	2,28 ^{brF}	18,9
4.	КГ-16/1	2,19	19,6	2,54	17,1	2,19	16,3	2,31 ^{a-r}	17,7
5.	КГ-21/1	2,38	20,6	2,52	18,2	2,05	19,2	2,32 ^{a-r}	19,3
6.	КГ-30/1	2,17	19,9	2,67	15,3	1,89	23,6	2,24 ^{brF}	19,6
7.	КГ-33/1	1,95	21,3	2,56	21,3	2,04	21,8	2,19 ^{brF}	21,5
8.	КГ-40/1	2,40	17,4	2,52	17,4	1,92	15,8	2,28 ^{brF}	16,9
9.	КГ-41/1	2,02	25,0	2,40	22,8	1,99	21,6	2,14 rd	23,1
10.	КГ-43/1	2,23	26,7	2,67	19,9	2,12	16,1	2,34 ^{abB}	20,9
11.	НС 40С	2,02	20,5	2,08	18,6	1,83	21,0	1,97 ^d	20,0
12.	Ренесанса	2,50	22,3	2,65	25,7	2,13	17,9	2,43 ^{ab}	22,0
13.	Победа	2,54	19,1	2,59	16,8	2,16	19,6	2,43 ^{ab}	18,5
14.	КГ-54-7/3-5	2,13	17,1	2,44	15,0	2,10	15,1	2,22 ^{brF}	15,7
15.	КГ-54-7/3-2	2,43	16,7	2,71	15,5	2,30	16,0	2,48 ^a	16,1
Просек		2,26 ^B	20,6	2,55 ^A	17,8	2,04 ^B	19,5	2,29	19,3

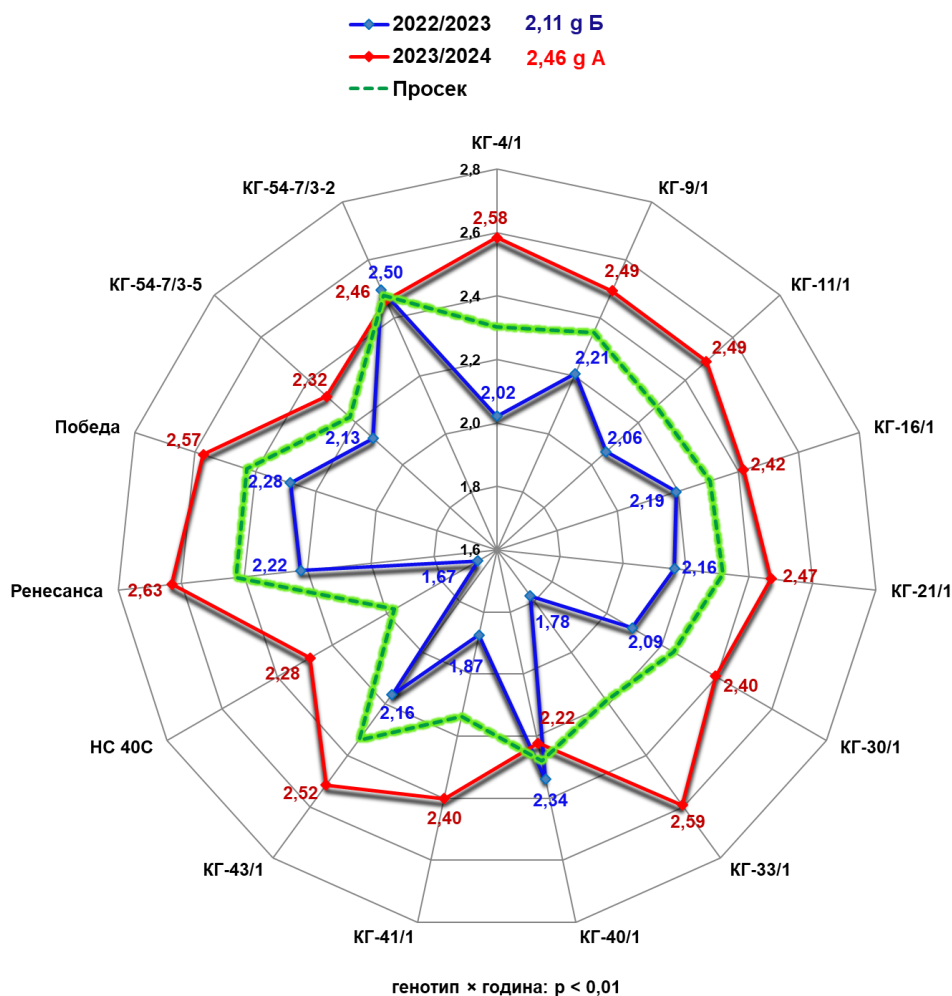
Легенда: мала слова унутар колоне указују на статистички значајне разлике између генотипова, док велика слова означавају статистички значајне разлике између локалитета (ниво значајности 5%)

Ако се посматра варијабилност, најмањи коефицијент варијације просечно за сва три локалитета имала је линија КГ-54-7/3-5 (15,7%), док је највећа вредност утврђена код линије КГ-41/1 (23,1%). По локалитетима, CV се кретао од 16,7% (КГ-54-7/3-2) до 26,7% (КГ-43/1) у Панчеву, од 13,4% (КГ-11/1) до 25,7% (Ренесанса) у Крагујевцу, и од 15,1% (КГ-54-7/3-5) до 24,6% (КГ-4/1) у Крушевцу.

У просеку за све генотипове и локалитете, у 2023/2024. години остварена значајно већа просечна вредност масе класа (2,46 g) у односу на 2022/2023. годину (2,11 g), што представља повећање од 16,6% (Графикон 8). Повећање масе класа у другој години испитивања указује на повољније услове за развој и формирање генеративних органа у односу на претходну сезону. Фенотипска варијабилност масе класа уочена је између сезона и у оквиру већине испитиваних генотипова. Међутим, интензитет реакције генотипова био је различит, што је довело до измена у њиховом рангирању.

Највеће повећање масе класа између сезона забележено је код генотипа КГ-33/1 (45,5%), који се издвојио као најосетљивији на промену услова средине. Значајно

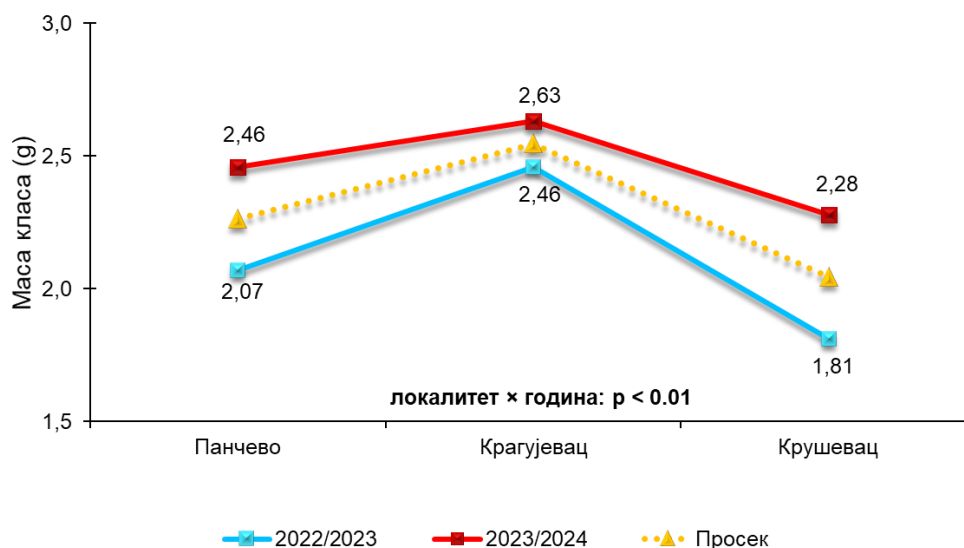
увећање вредности у 2023/2024. сезони показали су и НС 40С (36,5%), КГ-41/1 (28,1%) и КГ-4/1 (27,7%). Супротно томе, мање разлике између сезона уочене су код генотипова КГ-54-7/3-5 (8%) и Победа (12%), док код генотипова КГ-54-7/3-2 и КГ-40/1 није дошло до увећања, што указује на већу стабилност у експресији ове особине (Графикон 8).



Графикон 8. Просечна маса класа код 15 генотипова пшенице по вегетационим сезонама, обједињено за све локалитете

Интеракција локалитет × година такође је била статистички значајна ($p < 0,001$) и имала је значајан удео у објашњењу варијације масе класа (Табела 10). Највеће разлике између сезона забележене су на локалитету Крушевац, где је просечна маса класа у 2022/2023. износила 1,8 g, док је у 2023/2024. повећана на 2,3 g, на овом локалитету је иначе остварена најмања просечна маса класа. Најстабилније вредности уочене су на локалитету у Крагујевцу, где је просечна маса класа у првој години износила 2,5 g, а у

другој 2,6 g, што представља пораст од 4% и највећу просечну масу класа мерену на сва три локалитета. Ови резултати указују на то да су услови друге сезоне били повољнији за формирање класа (Графикон 9).



Графикон 9. Просечна вредност масе класа на анализираним локалитетима по вегетационим сезонама (интеракција локалитет \times година)

Имајући у виду значајност интеракције генотип \times локалитет \times година, где је дошло до значајне измене у рангирању генотипова у маси класа по анализираним годинама и локалитетима, разматрана је фенотипска варијација посебно по сваком локалитету и вегетационој сезони, односно по свакој агроеколошкој средини (Табела 10). Најмања вредност масе класа, на нивоу огледа, забележена је на локалитету Крушевац код сорте стандарда НС 40С у 2022/2023. сезони (1,51 g), док је највећа вредност од 2,97 g установљена код линије спелте КГ-54-7/3-2 на локалитету Крагујевац у истој вегетационој сезони (Табела 12).

Најмања вредност масе класа на локалитету Панчево у 2022/2023. години је забележена код линије КГ-33/1 (1,64 g), док је у 2023/2024. сезони најмању вредност имала сорта НС 40С (2,22 g), на истом локалитету. Највећа вредност масе класа на овом локалитету забележена је код сорте Победа (2,49 g) у првој сезони, док је у 2023/2024. сезони највећа вредност установљена код сорте Ренесанса (2,74 g). На локалитету Крагујевац, у првој сезони гајења, најмања просечна маса класа је установљена код сорте НС 40С (1,69 g), док је највећа вредност примећена код линије КГ-54-7/3-2 (2,97

g). У сезони 2023/2024, на истом локалитету, најмању вредност анализиране особине имала је линија спелте КГ-54-7/3-5 (2,21 g), док је највећа вредност забележена код линије КГ-33/1 (3,05 g), уз постојање статистичке значајности у разликама (Табела 12).

Табела 12. Средње вредности (\bar{x}) и коефицијенти варијације (CV) масе класа код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Ред. Бр.	Генотип	Панчево				Крагујевац				Крушевац			
		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024	
		\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)
1.	КГ-4/1	2,02	24,8	2,63	18,3	2,29	20,1	2,83	9,8	1,75	33,0	2,29	16,1
2.	КГ-9/1	2,27	24,2	2,49	17,9	2,46	17,7	2,80	12,3	1,90	19,8	2,19	19,1
3.	КГ-11/1	2,01	25,0	2,56	15,5	2,50	17,3	2,83	9,5	1,68	22,9	2,08	23,4
4.	КГ-16/1	2,10	24,4	2,28	14,8	2,46	18,1	2,62	16,1	2,03	15,7	2,35	16,9
5.	КГ-21/1	2,25	15,9	2,51	25,2	2,46	19,0	2,58	17,3	1,78	21,5	2,31	16,9
6.	КГ-30/1	1,95	22,5	2,39	17,3	2,61	13,0	2,73	17,6	1,71	26,5	2,06	20,6
7.	КГ-33/1	1,64	26,0	2,27	16,6	2,07	21,5	3,05	21,0	1,62	23,1	2,47	20,5
8.	КГ-40/1	2,44	18,9	2,36	15,9	2,78	17,1	2,27	17,7	1,80	14,3	2,04	17,2
9.	КГ-41/1	1,78	29,1	2,27	20,9	2,22	27,1	2,58	18,5	1,62	20,1	2,35	23,1
10.	КГ-43/1	1,92	27,0	2,53	26,5	2,67	19,6	2,67	20,1	1,90	15,7	2,34	16,5
11.	НС 40С	1,81	21,5	2,22	19,5	1,69	21,4	2,47	15,7	1,51	23,2	2,15	18,7
12.	Ренесанса	2,27	22,1	2,74	22,6	2,60	29,7	2,70	21,7	1,80	20,0	2,46	15,7
13.	Победа	2,49	21,9	2,59	16,4	2,45	21,5	2,73	12,1	1,92	21,0	2,40	18,3
14.	КГ-54-7/3-5	1,86	17,3	2,40	16,9	2,68	15,1	2,21	15,0	1,84	15,5	2,37	14,6
15.	КГ-54-7/3-2	2,26	20,3	2,60	13,1	2,97	12,7	2,44	18,3	2,25	21,2	2,34	10,8
	Просек	2,07	22,7	2,46	18,5	2,46	19,4	2,63	16,2	1,81	20,9	2,28	18,0
	Tukey HSD _{0,05}	0,41	–	0,70	–	0,52	–	0,44	–	0,31	–	0,49	–
	Tukey HSD _{0,01}	0,48	–	0,83	–	0,62	–	0,51	–	0,37	–	0,58	–

Најмању просечну вредност масе класа на локалитету Крушевац у првој сезони гајења, имала је сорта НС 40С (1,51 g), док је највећа вредност установљена код линије КГ-54-7/3-2 (2,25 g). На истом локалитету у 2023/2024. сезони, најмању просечну вредност масе класа имала је сорта НС 40С (2,15 g), док је највећа вредност забележена код линије КГ-33/1 (2,47 g). У срединама Панчево 2023/2024. и Крушевац 2023/2024, разлике између генотипова у погледу масе класа нису биле статистички значајне, док су у свим осталим срединама разлике биле значајне (Табела 12).

Просечан коефицијент варијабилности се кретао од 16,2% на локалитету Крагујевац у 2023/2024. вегетационој сезони до 22,7% на локалитету Панчево у

2022/2023. сезони. Посматрано по генотиповима, најмања варијабилност масе класа је забележена код линије КГ-11/1 ($CV=9,5\%$) у агроеколошкој средини Крагујевац 2023/2024, док је највећу варијабилност имала линија КГ-4/1 ($CV=33,0\%$) у средини Крушевац 2022/2023 (Табела 12).

6.1.4. Фенотипска варијација масе зрна по класу

Спроведена је трофакторијална анализа варијансе, која указује на статистички високозначајан утицај сва три главна фактора: генотип, локалитет и година, као и њихових интеракција на фенотипску експресију масе зрна по класу (Табела 13). Посебно се издваја утицај године и локалитета, који су имали највише F-вредности, што указује на снажан утицај агроеколошких услова на испољавање овог својства. Значајне интеракције генотипа са окружењем ($A \times B$, $A \times V$ и $A \times B \times V$) додатно потврђују постојање генотипске специфичности у одговору на различите услове средине (Табела 13).

Табела 13. Трофакторијална анализа варијансе за масу зрна по класу код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Извор варијације	Степени слободе (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F вредност	p вредност
Генотип (A)	14	4,878	0,348	20,39**	0,000
Локалитет (B)	2	7,333	3,666	214,57**	0,000
Година (V)	1	9,267	9,267	542,33**	0,000
$A \times B$	28	1,713	0,061	3,58**	0,000
$A \times V$	14	2,476	0,177	10,35**	0,000
$B \times V$	2	0,694	0,347	20,30**	0,000
$A \times B \times V$	28	1,703	0,061	3,56**	0,000
Грешка	180	3,076	0,017	—	—
Укупно	269	31,140	—	—	—

** статистички значајан утицај на нивоу 1% ($p < 0,01$)

У просеку за обе вегетационе сезоне и све анализирани генотипове, највећа просечна вредност масе зрна по класу је забележена на локалитету Крагујевац (1,93 g), затим на локалитету Панчево (1,74 g), а најмања на локалитету Крушевац (1,52 g). Узимајући у обзир просечне вредности масе зрна по класу за сва три локалитета и обе године, највећу вредност остварила је сорта Ренесанса (1,92 g), а одмах иза ње Победа

(1,90 g), при чему су ове вредности статистички значајно више у односу на већину осталих генотипова. Насупрот томе, најмање просечне вредности су установљене код КГ-33/1 (1,42 g) и НС 40С (1,54 g), са статистички потврђеним разликама у односу на продуктивније генотипове (ниво значајности 5%), Табела 14.

Табела 14. Средње вредности и коефицијенти варијације масе зрна по класу код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета, у просеку за обе вегетационе сезоне

Ред. бр.	Генотип	Панчево		Крагујевац		Крушевац		Просек	
		\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)
1.	КГ-4/1	1,82	23,1	2,04	15,4	1,61	24,8	1,83 ^{аБВ}	21,1
2.	КГ-9/1	1,77	23,4	2,04	16,3	1,55	20,3	1,79 ^{аБВ}	20,0
3.	КГ-11/1	1,82	18,6	2,13	14,9	1,44	28,1	1,80 ^{аБВ}	20,6
4.	КГ-16/1	1,74	21,6	1,96	20,6	1,68	20,0	1,79 ^{аБВ}	20,7
5.	КГ-21/1	1,86	22,1	1,85	21,1	1,56	20,1	1,75 ^{бВ}	21,1
6.	КГ-30/1	1,69	19,3	2,10	17,7	1,40	28,0	1,73 ^{вГ}	21,7
7.	КГ-33/1	1,33	19,6	1,59	23,2	1,32	26,0	1,42 ^б	22,9
8.	КГ-40/1	1,89	19,9	1,98	21,9	1,48	16,7	1,78 ^{аБВ}	19,5
9.	КГ-41/1	1,52	28,7	1,82	23,8	1,43	26,8	1,59 ^{гД}	26,4
10.	КГ-43/1	1,73	27,2	2,07	21,1	1,60	17,6	1,80 ^{аБВ}	22,0
11.	НС 40С	1,57	21,2	1,63	20,9	1,44	23,3	1,54 ^{дБ}	21,8
12.	Ренесанса	2,01	23,2	2,11	26,7	1,63	20,5	1,92 ^а	23,5
13.	Победа	2,03	21,8	2,03	18,1	1,64	22,4	1,90 ^{аБ}	20,8
14.	КГ-54-7/3-5	1,54	18,2	1,72	21,0	1,47	18,7	1,57 ^г	19,3
15.	КГ-54-7/3-2	1,82	18,0	1,82	19,2	1,61	16,5	1,75 ^{бВ}	17,9
Просек		1,74 ^Б	21,7	1,93 ^А	20,1	1,52 ^В	22,1	1,73	21,3

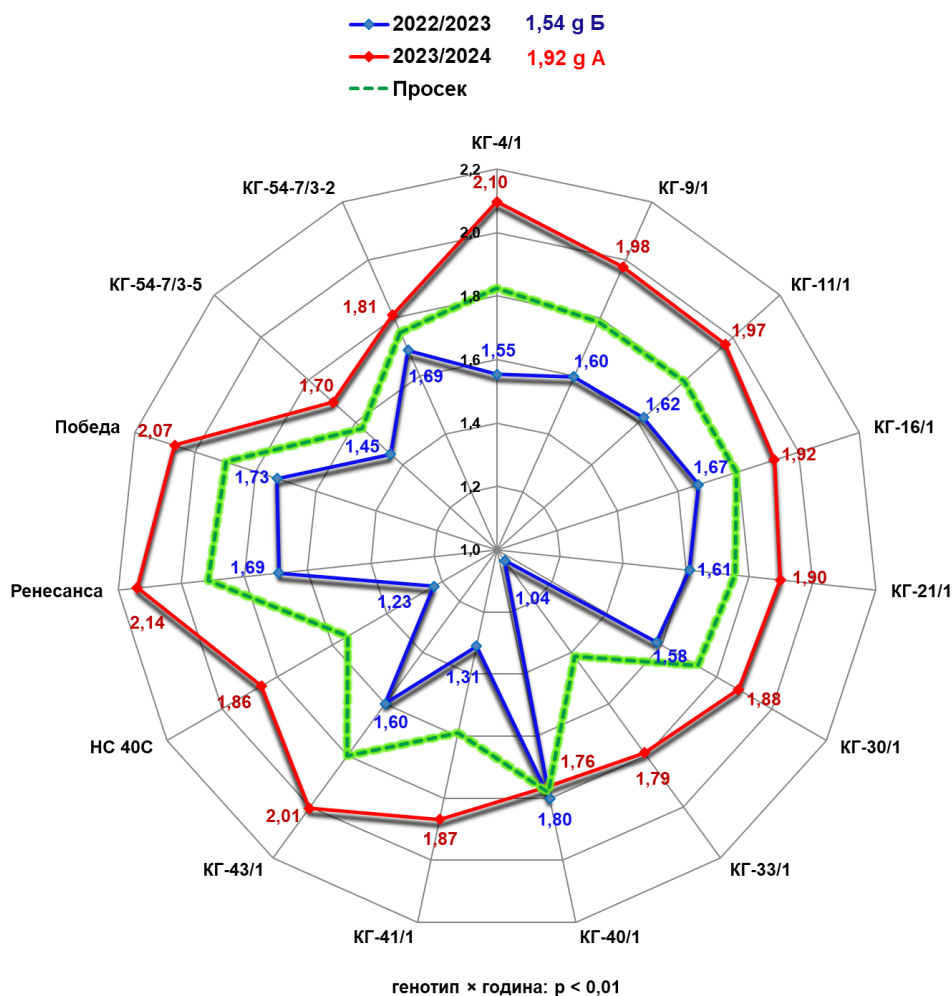
Легенда: мала слова унутар колоне указују на статистички значајне разлике између генотипова, док велика слова означавају статистички значајне разлике између локалитета (ниво значајности 5%)

На свим испитиваним локалитетима појединачно, генотипови су се међусобно значајно разликовали у испољавању масе зрна по класу. На локалитету Панчево, комбиновано за обе вегетационе сезоне, најмања просечна вредност масе зрна по класу је забележена код линије КГ-33/1 (1,33 g), док је највећа вредност установљена код сорти Победа (2,03 g) и Ренесанса (2,01 g). На локалитету Крагујевац, вредности масе зрна по класу су се кретале од 1,59 g код линије КГ-33/1, до 2,10 (КГ-30/1), односно 2,11 g (Победа). Маса зрна по класу на локалитету Крушевац се кретала од 1,40 g код линије КГ-30/1, до 1,68 g код линије КГ-16/1 (Табела 14).

Анализом коефицијента варијације (CV), установљено је да је вредност ове особине била најстабилнија код линија спелте КГ-54-7/3-2 (17,9%) и КГ-54-7/3-5 (19,3%), док је највећа варијабилност установљена код линије КГ-41/1 (CV = 26,4%), што може указивати на њену већу осетљивост на услове средине. По локацијама, коефицијент варијације је био најнижи у Крагујевцу (20,1%), док су нешто виши CV вредности утврђени у Панчеву (21,7%) и Крушевцу (22,1%), што сугерише да је стабилност масе зрна по класу била највећа у условима Крагујевца (Табела 14).

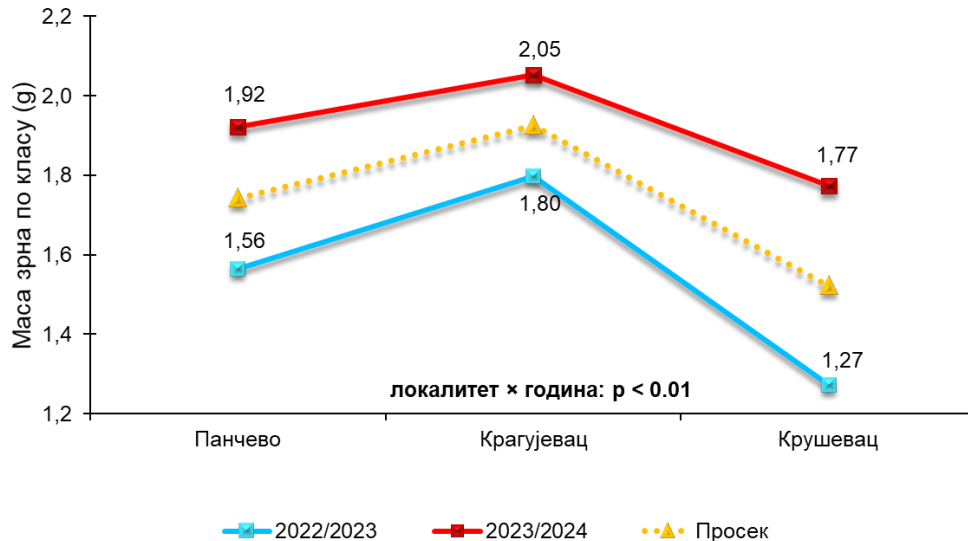
Анализом варијације масе зрна по класу по годинама, у просеку за сва три локалитета и све генотипове, утврђено је да је у 2023/2024. вегетационој сезони остварена значајно већа вредност масе зрна по класу (1,91 g) у односу на 2022/2023. сезону (1,54 g). Повећање вредности у просеку износило је 24,0%. Интеракција генотип × година је била статистички високозначајна, што указује на измену у рангирању генотипова по годинама (Табела 13). Стога је детаљно анализирана и приказана на радар графикону (Графикон 10). Сви анализирани генотипови су остварили већу вредност масе зрна по класу у 2023/2024. сезони, али је степен повећања варирао у зависности од генотипа. Највећи допринос интеракцији су имали генотипови КГ-33/1, НС 40С и КГ-4/1, код којих се маса зрна по класу повећала за 72,1%, 51,2%, и 35,5% у 2023/2024. сезони. Са друге стране, најмање варирање између сезона забележено је код генотипа КГ-40/1, са повећањем од свега 2,3% у 2023/2024. сезони.

У обе анализиране сезоне, највеће вредности масе зрна по класу остварили су генотип КГ-4/1 и сорта Ренесанса. Генотип КГ-4/1 имао је вредности од 2,10 g у 2023/2024, а 1,55 g у 2022/2023, док је Ренесанса имала 2,14 g у 2023/2024. и 1,69 g у 2022/2023. вегетационој сезони. Најмању вредност овог својства у 2022/2023. сезони имао је генотип КГ-33/1 (1,04 g), док је у 2023/2024. најмању вредност забележила спелта КГ-54-7/3-5 (1,70 g), Графикон 10.



Графикон 10. Просечна маса зрна по класу код 15 генотипова пшенице по вегетационим сезонама, обједињено за све локалитете

Према трофакторијалној анализи варијансе, интеракција локалитет × година била је високозначајна ($p < 0,001$) и имала је највећи удео у варирању масе зрна по класу у поређењу са осталим варијантама интеракција главних фактора (Табела 13). Значајности ове интеракције највише је допринела разлика у средњим вредностима између сезона на локалиту Крушевац. Наиме, на локалитету Крушевац у сезони 2022/2023. остварена је најмања вредност масе зрна по класу (1,27 g), док је у сезони 2023/2024. забележен пораст на 1,77 g, што представља повећање од 39,46%. Сличан тренд забележен је и на локалитету Панчево, где је у 2022/2023. сезони маса зрна по класу износила 1,56 g, док је у наредној години повећана на 1,92 g, односно за 23,1%. На локалитету Крагујевац вредност ове особине у сезони 2022/2023. износила је 1,8 g, а у 2023/2024. години 2,05 g, што је повећање од 13,89% у односу на претходну сезону (Графикон 11).



Графикон 11. Просечна вредност масе зрна по класу на анализираним локалитетима по вегетационим сезонама (интеракција локалитет × година)

Према значајности интеракције генотип × локалитет × година, која указује на промене у рангирању генотипова у зависности од агроколошких услова и сезона, извршена је анализа фенотипске варијације масе зрна по класу појединачно за сваки локалитет и вегетациону сезону (Табела 15). На нивоу целог огледа, најмања вредност масе зрна по класу забележена је код генотипа КГ-33/1 на локалитету Крушевац у сезони 2022/2023. (0,95 g), док је највећа вредност установљена код генотипа Ренесанса у Панчеву 2023/2024. сезоне (2,23 g). Посматрано по локалитетима, у Панчеву је у првој сезони најмању вредност масе зрна имао генотип КГ-33/1 (1,07 g), док је највећу вредност остварио генотип Победа (1,96 g). У сезони 2023/2024, највећа вредност забележена је код генотипа Ренесанса (2,23 g), а најмања код линије КГ-33/1 (1,60 g). На локалитету Крагујевац, у сезони 2022/2023. највећу масу зрна по класу имала је линија КГ-40/1 (2,14 g), док је најмању вредност остварила линија КГ-33/1 (1,10 g). На истом локалитету, у другој сезони (2023/2024), највећа вредност масе зрна по класу је забележена код генотипа КГ-4/1 (2,35 g), а најмања код КГ-54-7/3-5 (1,57 g). У Крушевцу, током 2022/2023. сезоне најмању масу зрна по класу остварио је генотип КГ-33/1 (0,95 g), док је највећа вредност забележена код спелте КГ-54-7/3-2 (1,50 g). У сезони 2023/2024, на истом локалитету, највећу вредност имао је генотип Ренесанса (2,01 g), а најмању КГ-30/1 (1,60 g), Табела 15.

Просечан коефицијент варијације кретао се од 10,0% (КГ-11/1, Крагујевац 2023/2024) до 32,7% (КГ-41/1, Панчево 2022/2023), што показује умерену до већу

фенотипску варијабилност ове особине (Табела 15). Најмању просечну варијабилност је показала линија КГ-54-7/3-2 (10,9%), док су највеће осцилације утврђене код генотипа КГ-11/1 (28,5%), Табела 15.

Табела 15. Средње вредности (\bar{x}) и коефицијенти варијације (CV) масе зрна по класу код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Ред. Бр.	Генотип	Панчево				Крагујевац				Крушевац			
		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024	
		\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)
1.	КГ-4/1	1,59	26,6	2,06	19,6	1,73	20,0	2,35	10,8	1,34	32,3	1,88	17,3
2.	КГ-9/1	1,64	29,1	1,91	17,7	1,81	19,5	2,27	13,0	1,35	22,3	1,75	18,4
3.	КГ-11/1	1,66	21,7	1,98	15,6	1,96	19,8	2,30	10,0	1,25	27,7	1,63	28,5
4.	КГ-16/1	1,65	25,9	1,83	17,3	1,87	22,2	2,06	19,0	1,48	21,2	1,88	18,8
5.	КГ-21/1	1,76	17,5	1,96	26,7	1,77	24,2	1,93	18,0	1,30	22,4	1,81	17,9
6.	КГ-30/1	1,50	24,0	1,89	14,7	2,06	19,0	2,14	16,5	1,19	30,1	1,60	25,9
7.	КГ-33/1	1,07	26,4	1,60	12,8	1,10	24,9	2,08	21,6	0,95	27,6	1,69	24,3
8.	КГ-40/1	1,92	22,1	1,86	17,7	2,14	24,2	1,81	19,7	1,35	14,6	1,62	18,8
9.	КГ-41/1	1,26	32,7	1,77	24,6	1,64	26,9	1,99	20,8	1,03	29,7	1,84	23,8
10.	КГ-43/1	1,44	28,8	2,03	25,6	2,00	21,3	2,14	20,9	1,37	18,0	1,84	17,2
11.	НС 40С	1,33	24,5	1,80	17,9	1,23	25,0	2,02	16,8	1,13	27,4	1,75	19,2
12.	Ренесанса	1,78	23,9	2,23	22,6	2,05	31,3	2,17	22,0	1,24	23,9	2,01	17,0
13.	Победа	1,96	25,6	2,09	18,1	1,84	25,4	2,22	10,8	1,39	26,6	1,89	18,3
14.	КГ-54-7/3-5	1,27	19,9	1,81	16,6	1,86	24,1	1,57	17,9	1,23	23,1	1,70	14,2
15.	КГ-54-7/3-2	1,66	21,4	1,98	14,6	1,90	17,9	1,74	20,5	1,50	22,1	1,71	10,9
	Просек	1,56	24,7	1,92	18,8	1,80	23,0	2,05	17,2	1,27	24,6	1,77	19,5
	Tukey HSD _{0,05}	0,30	–	0,54	–	0,48	–	0,32	–	0,25	–	0,37	–
	Tukey HSD _{0,01}	0,36	–	0,64	–	0,57	–	0,38	–	0,30	–	0,44	–

6.1.5. Фенотипска варијација броја зрна по класу

Према резултатима трофакторијалне анализе варијансе за број зрна по класу (Табела 16), доминантан утицај на варијацију особине је имао фактор локалитет (36,72%), затим генотип (22,19%), док фактор година није показао статистички значајан утицај ($p > 0,05$). Висок ниво значајности интеракција ($A \times B$, $A \times V$, $B \times V$ и $A \times B \times V$) указује на то да су анализирани генотипови различито реаговали у испољавању броја зрна по класу у зависности од локалитета и године.

Табела 16. Трофакторијална анализа варијансе за број зрна по класу код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Извор варијације	Степени слободe (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F вредност	p вредност
Генотип (А)	14	2076,22	148,30	16,597**	0,000
Локалитет (Б)	2	3434,78	1717,39	192,199**	0,000
Година (В)	1	33,28	33,28	3,725 ^{ns}	0,055
А × Б	28	496,62	17,74	4,482**	0,004
А × В	14	472,72	33,77	9,076**	0,000
Б × В	2	674,46	337,23	290,446**	0,000
А × Б × В	28	557,45	19,91	3,482**	0,001
Грешка	180	1608,39	8,93	—	—
Укупно	269	9353,92	—	—	—

** статистички значајан утицај на нивоу 1% ($p < 0,01$); ^{ns} статистички незначајно ($p > 0,05$)

Посматрањем средњих вредности броја зрна по класу по локалитетима уочава се да су највеће вредности остварене у Крагујевцу (44,9 зрна), затим у Панчеву (39,3 зрна), док су најниже вредности забележене у Крушевцу (36,3 зрна), уз постојање статистички значајних разлика ($p < 0,05$), Табела 17.

Највеће просечне вредности броја зрна по класу постигле линије спелте КГ-54-7/3-2 (45,9 зрна) и КГ-54-7/3-5 (43,7 зрна), које се статистички значајно издвајају у односу на већину осталих генотипова. Код генотипова хлебне пшенице, највеће вредности остварили анализирани особине остварили су КГ-40/1 (42,7 зрна) и Ренесанса (42,1 зрна), док су најмање вредности забележене код линија КГ-33/1 (34,4 зрна) и КГ-41/1 (36,0 зрна). Када се посматра стабилност особине кроз коефицијент варијације, уочава се да је CV варирао од 13,8% код линије КГ-54-7/3-5, до 22,6% код линије КГ-41/1, која је показала највећу варијабилност. По локалитетима, коефицијент

варијације је био најмањи у Крагујевцу (15,6%), затим нешто већи у Панчеву (17,4%) и највећи у Крушевцу (18,3%), Табела 17.

Табела 17. Средње вредности и коефицијенти варијације броја зрна по класу код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета, у просеку за обе вегетационе сезоне

Ред. бр.	Генотип	Панчево		Крагујевац		Крушевац		Просек	
		\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)
1.	КГ-4/1	38,2	16,2	43,8	12,3	36,3	18,2	39,4 ^{БД}	15,6
2.	КГ-9/1	41,8	18,6	45,9	13,1	36,8	18,3	41,5 ^{БВ}	16,7
3.	КГ-11/1	37,3	14,4	44,9	14,8	37,3	14,3	39,8	14,5
4.	КГ-16/1	36,7	17,1	43,8	16,8	37,3	18,2	39,3 ^{БД}	17,4
5.	КГ-21/1	37,7	16,7	40,9	17,4	34,8	16,6	37,8 ^{ГД}	16,9
6.	КГ-30/1	39,2	17,3	45,5	14,3	33,3	23,4	39,3 ^{БД}	18,3
7.	КГ-33/1	31,6	21,2	40,0	19,8	31,7	23,9	34,4 ^С	21,6
8.	КГ-40/1	42,3	15,6	48,6	14,2	37,2	16,5	42,7 ^{АБВ}	15,4
9.	КГ-41/1	37,7	21,9	40,4	20,9	29,9	25,1	36,0 ^Д	22,6
10.	КГ-43/1	37,6	19,7	44,8	17,9	36,3	15,1	39,6 ^{ВГ}	17,6
11.	НС 40С	40,9	17,0	43,9	15,6	35,9	21,3	40,2 ^{ВГ}	18,0
12.	Ренесанса	42,2	17,3	48,7	16,0	35,3	16,4	42,1 ^{БВ}	16,6
13.	Победа	41,5	17,6	44,9	13,2	36,0	18,4	40,8 ^{БВГ}	16,4
14.	КГ-54-7/3-5	41,3	15,4	47,7	14,1	42,1	12,0	43,7 ^{АБ}	13,8
15.	КГ-54-7/3-2	44,0	15,2	49,7	13,9	43,9	16,0	45,9 ^А	15,0
Просек		39,3 ^Б	17,4	44,9 ^А	15,6	36,3 ^Б	18,3	40,2	17,1

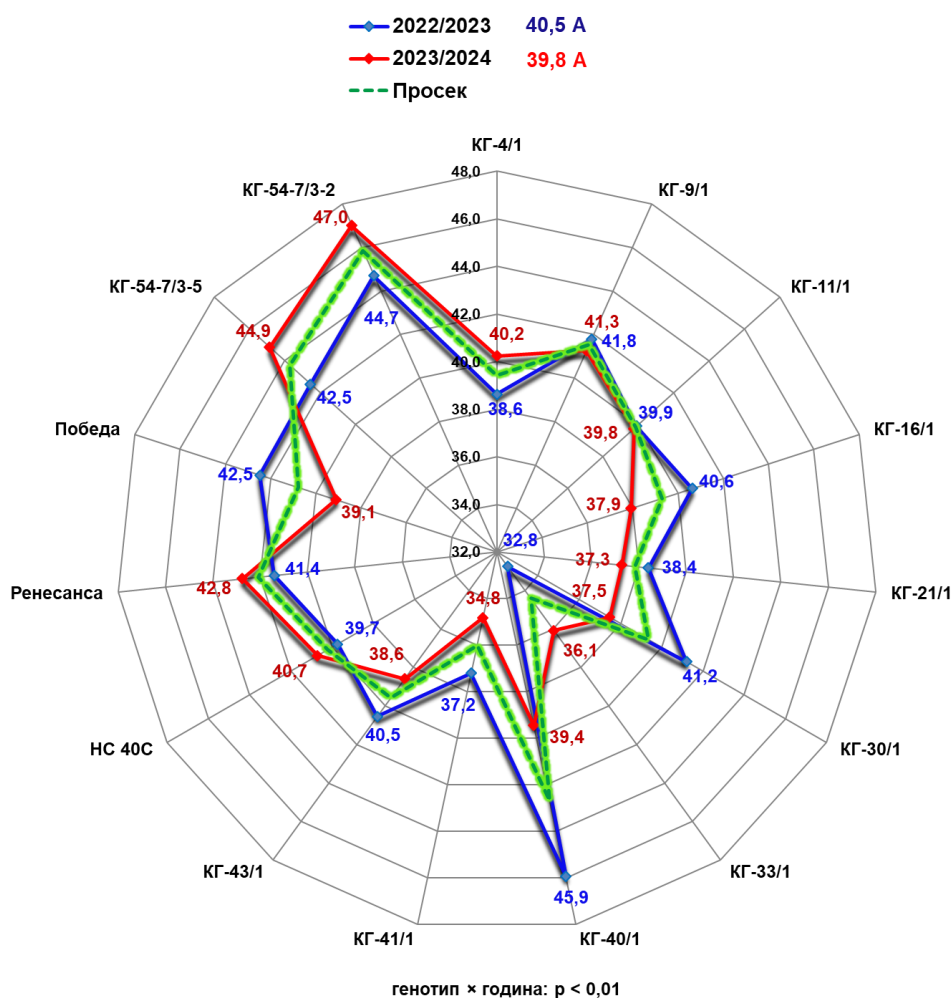
Легенда: мала слова унутар колоне указују на статистички значајне разлике између генотипова, док велика слова означавају статистички значајне разлике између локалитета (ниво значајности 5%)

Посматрање варијације броја зрна по класу током различитих година, у просеку за сва три локалитета и све генотипове, показује да је у 2022/2023. вегетационој сезони остварена нешто већа вредност овог својства (40,5 зрна) у односу на 2023/2024. сезону (39,8 зрна), али без статистичке значајности (Графикон 12).

Између генотипова и година постојала је статистички високозначајна интеракција (Табела 16), што указује на различиту реакцију испитаних генотипова у зависности од услова године (Графикон 12). Уочено је да је већина генотипова имала нешто већи број зрна по класу у 2022/2023. сезони у односу на 2023/2024, што је последица повољнијих услова током фазе наливања зрна у првој години истраживања. Међутим, реакција појединачних генотипова није била уједначена. Највеће смањење броја зрна у 2023/2024. сезони забележено је код генотипова КГ-40/1, КГ-30/1 и Победе, код којих је

вредност овог својства била мања за 14,16%, 8,9% и 8%, респективно. С друге стране, највеће повећање вредности броја зрна по класу у другој у односу на прву сезону је установљено код линије КГ-33/1 (10,3%). Најмање варирање по сезонама показали су генотипови КГ-11 и КГ-9/1 код којих су вредности остале готово исте, са разликом мањом од 0,25%.

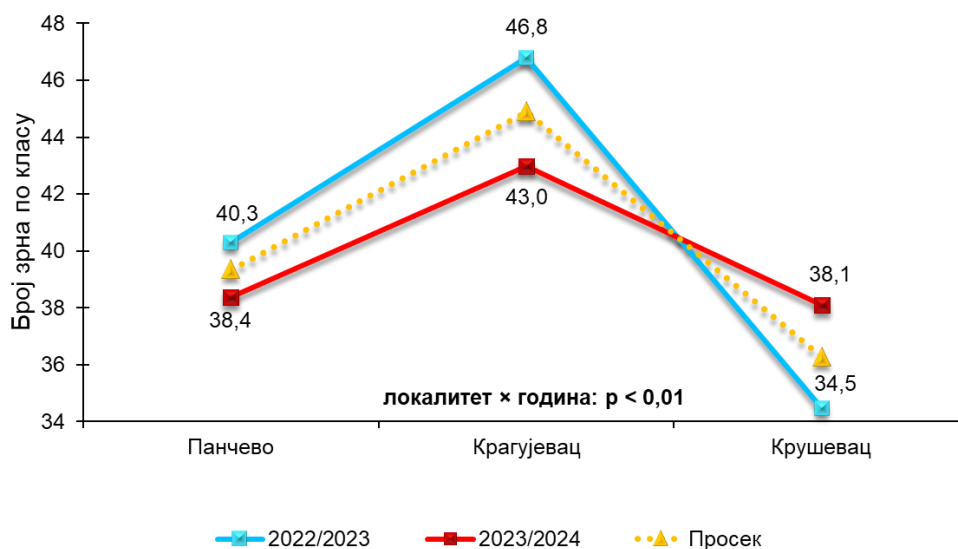
Највећу вредност броја зрна по класу у 2022/2023. сезони је имала линија КГ-40/1 (45,9), а у другој години линија спелте КГ-54-7/3-2 (47,0). Најмањи просечни број зрна по класу у првој години истраживања имао је генотип КГ-33/1 (32,8), док је у другој години најмању просечну вредност имао генотип КГ-41/1 (34,8), Графикон 12.



Графикон 12. Просечан број зрна по класу код 15 генотипова пшенице по вегетационим сезонама, обједињено за све локалитете

Од свих интеракција, највећи утицај на варирање ове особине имала је интеракција локалитет × година (Б × В), која је била високозначајна ($p < 0,01$) и указује

на то да су године различито утицале на варијацију броја зрна по класу у зависности од локалитета (Графикон 13). Уочено је да је на локалитетима Панчево и Крагујевац дошло смањења вредности броја зрна по класу у другој сезони, док је на локалитету Крушевац број зрна по класу у другој години био знатно већи у односу на прву. Највеће разлике између сезона забележене су на локалитету Крагујевац, где је у сезони 2022/2023. просечан број зрна по класу износио 46,8, док је у сезони 2023/2024. смањен на 43,0, што представља редукцију од 8,1%. На локалитету Крушевац у првој сезони вредност је износила 34,5, а у другој је повећана на 38,1, што представља пораст од 10,4%. На локалитету Панчево број зрна по класу у сезони 2022/2023 износио је 40,3, док је у 2023/2024. години смањен на 38,4, што представља смањење од 4,7% (Графикон 13).



Графикон 13. Просечна вредност броја зрна по класу на анализираним локалитетима по вегетационим сезонама (интеракција локалитет × година)

Интеракција генотип × локалитет × година има значајан утицај на број зрна по класу, што указује на различито понашање испитиваних генотипова у различитим условима гајења (Табела 16). Стога је ова особина детаљније разматрана по сваком локалитету и вегетационој сезони (Табела 18). Посматрано појединачно, на локалитету Панчево у сезони 2022/2023, најмањи број зрна по класу имао је генотип КГ-33/1 (31,6), док је највећа вредност забележена код линије КГ-40/1 (46,5). У наредној, 2023/2024. сезони, најмањи број зрна по класу, на истом локалитету, је имао генотип КГ-33/1

(31,6), док је највећу вредност остварила линија спелте КГ-54-7/3-2 (46,1). На локалитету Крагујевац, у првој сезони гајења (2022/2023), најмања вредност броја зрна по класу забележена је код генотипа КГ-33/1 (37,7), док је највећу вредност имала линија КГ-40/1 (53,7), која је статистички значајно надмашила већину осталих генотипова. У другој сезони (2023/2024), најмањи број зрна по класу установљен је код линије КГ-41/1 (35,4), а највећи код генотипа спелте КГ-54-7/3-2 (48,6). На локалитету Крушевац у сезони 2022/2023. најмања вредност ове особине забележена је код линије КГ-41/1 (27,5), док је највећи број зрна по класу установљен код генотипа КГ-54-7/3-2 (41,4). У другој сезони (2023/2024) на истом локалитету, најмањи број зрна по класу имала је линија КГ-33/1 (34,4), док је највећа вредност забележена код генотипа спелте КГ-54-7/3-2 (46,4), Табела 17.

Табела 18. Средње вредности (\bar{x}) и коефицијенти варијације (CV) броја зрна по класу код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Ред. Бр.	Генотип	Панчево				Крагујевац				Крушевац			
		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024	
		\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)
1.	КГ-4/1	37,6	21,4	38,8	11,0	42,5	16,8	45,0	7,8	35,7	21,6	36,8	14,8
2.	КГ-9/1	42,5	21,9	41,1	15,4	46,6	13,1	45,3	13,2	36,3	18,4	37,4	18,1
3.	КГ-11/1	37,9	19,0	36,6	9,8	45,6	17,7	44,2	12,0	36,2	14,1	38,4	14,4
4.	КГ-16/1	38,9	21,8	34,6	12,3	45,6	17,6	41,9	16,1	37,4	16,6	37,3	19,8
5.	КГ-21/1	38,7	13,1	36,7	20,3	43,0	19,9	38,9	14,9	33,4	17,4	36,2	15,9
6.	КГ-30/1	42,0	17,2	36,4	17,3	50,4	12,0	40,6	16,6	31,2	26,0	35,4	20,8
7.	КГ-33/1	31,6	24,3	31,6	18,1	37,7	21,2	42,2	18,4	29,0	26,2	34,4	21,6
8.	КГ-40/1	46,5	15,8	38,1	15,4	53,7	12,2	43,4	16,1	37,6	14,7	36,8	18,4
9.	КГ-41/1	38,8	23,4	36,7	20,4	45,3	22,1	35,4	19,7	27,5	29,2	32,3	21,1
10.	КГ-43/1	37,5	17,8	37,7	21,7	49,2	17,2	40,5	18,7	35,0	16,8	37,6	13,4
11.	НС 40С	44,6	18,5	37,2	15,5	41,7	16,4	46,0	14,9	32,9	22,9	38,9	19,7
12.	Ренесанса	42,4	17,6	42,1	17,0	51,5	17,9	45,9	14,2	30,3	18,3	40,3	14,5
13.	Победа	45,0	20,7	38,0	14,5	47,5	17,2	42,3	9,2	34,9	20,4	37,1	16,4
14.	КГ-54-7/3-5	38,6	17,5	43,9	13,3	50,8	12,9	44,6	15,2	38,2	10,7	46,0	13,3
15.	КГ-54-7/3-2	42,0	22,3	46,1	8,1	50,8	11,2	48,6	16,5	41,4	21,0	46,4	11,0
Просек		40,3	19,5	38,4	15,3	46,8	16,4	43,0	14,9	34,5	19,6	38,1	17,0
Tukey HSD _{0,05}		11,46	–	9,80	–	7,49	–	6,52	–	10,1	–	7,58	–
Tukey HSD _{0,01}		13,50	–	11,55	–	8,83	–	7,69	–	11,9	–	8,94	–

У већини анализираних средина, највеће вредности броја зрна по класу оствариле су линије спелте КГ-54-7/3-2 и КГ-54-7/3-5, што указује на њихов висок потенцијал у погледу формирања репродуктивних органа. С друге стране, најниже вредности углавном су имали генотипови КГ-33/1 и КГ-41/1.

Просечне вредности коефицијента варијације (CV) кретале су се од 14,9% (локалитет Крагујевац 2023/2024) до 19,6% (локалитет Крушевац 2022/2023), што указује на средњу до већу варијабилност особине у зависности од агроеколошких услова. Најмању варијабилност броја зрна по класу постигла је линија КГ-4/1 (CV=7,8%) у средини Крагујевац 2023/2024, док је највећу варијабилност показала линија КГ-41/1 (CV=29,2%) у средини Крушевац 2022/2023 (Табела 17).

6.1.6. Фенотипска варијација приноса зрна

Спроведена је трофакторијална анализа варијансе за принос зрна, која је показала да су сви главни фактори (генотип, локалитет и година), као и све њихове интеракције, имали статистички високо значајан утицај на фенотипску експресију приноса зрна ($p < 0,01$), Табела 19.

Табела 19. Трофакторијална анализа варијансе за принос зрна код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Извор варијације	Степени слободе (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F вредност	p вредност
Генотип (А)	14	88,23	6,302	58,824**	0,000
Локалитет (Б)	2	48,17	24,087	224,823**	0,000
Година (В)	1	20,59	20,590	192,176**	0,000
А × Б	28	37,41	1,336	12,471**	0,000
А × В	14	24,85	1,775	16,570**	0,000
Б × В	2	60,64	30,318	282,978**	0,000
А × Б × В	28	39,34	1,405	13,114**	0,000
Грешка	180	19,29	0,107	—	—
Укупно	269	338,53	—	—	—

** статистички значајан утицај на нивоу 1% ($p < 0,01$)

На основу добијених резултата, принос зрна је у просеку варирао у зависности од генотипа и локалитета. Највеће просечне вредности приноса остварене су у Панчеву (6,08 t ha⁻¹), нешто ниже у Крушевцу (6,05 t ha⁻¹), док је статистички значајно мања

вредност забележена у Крагујевцу (5,17 t ha⁻¹), Табела 20. Посматрано по генотиповима, највећи просечан принос, у просеку за сва три локалитета и обе вегетационе сезоне, оствариле су линије КГ-4/1 (6,48 t ha⁻¹) и КГ11/1 (6,41 t ha⁻¹) као и сорте Победа (6,31 t ha⁻¹), НС 40С (6,30 t ha⁻¹) и Ренесанса (6,28 t ha⁻¹), уз релативно низак коефицијент варијације (4,3 – 4,8%), што указује на стабилност приноса ових генотипова у различитим условима гајења. С друге стране, најниже просечне вредности забележене су код линија КГ-33/1 (4,72 t ha⁻¹) и КГ-41/1 (4,68 t ha⁻¹), које су показале и нешто већу варијабилност у погледу анализираних особине (CV > 6%). Линије спелте, КГ-54-7/3-5 и КГ-54-7/3-2, оствариле су ниже просечне вредности приноса (5,11 и 5,53 t ha⁻¹) у односу на већину линија хлебне пшенице.

Табела 20. Средње вредности и коефицијенти варијације приноса зрна код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета, у просеку за обе вегетационе сезоне

Ред. бр.	Генотип	Панчево		Крагујевац		Крушевац		Просек	
		\bar{x} (t/ha)	CV (%)	\bar{x} (t/ha)	CV (%)	\bar{x} (t/ha)	CV (%)	\bar{x} (t/ha)	CV (%)
1.	КГ-4/1	6,77	2,2	5,96	5,3	6,70	6,1	6,48 ^a	4,5
2.	КГ-9/1	6,20	4,2	5,56	5,7	5,79	3,5	5,85 ^{бг}	4,5
3.	КГ-11/1	6,67	5,5	6,08	7,5	6,47	4,2	6,41 ^a	5,7
4.	КГ-16/1	6,61	8,2	4,75	5,0	5,55	4,3	5,64 ^{вгд}	5,8
5.	КГ-21/1	6,31	5,2	5,22	6,2	6,25	7,3	5,93 ^{бв}	6,2
6.	КГ-30/1	5,84	6,2	5,55	4,7	5,47	5,3	5,62 ^{вгд}	5,4
7.	КГ-33/1	5,41	7,1	3,85	9,1	4,90	7,4	4,72 ^e	7,9
8.	КГ-40/1	6,44	5,6	5,86	6,1	6,45	4,4	6,25 ^{аб}	5,4
9.	КГ-41/1	5,79	8,7	3,21	6,2	5,05	5,0	4,68 ^e	6,6
10.	КГ-43/1	5,60	4,1	4,67	5,5	6,11	5,2	5,46 ^{дб}	4,9
11.	НС 40С	6,90	1,9	5,64	6,7	6,36	5,9	6,30 ^{аб}	4,8
12.	Ренесанса	6,48	2,0	5,89	7,1	6,46	4,0	6,28 ^{аб}	4,4
13.	Победа	6,49	5,4	5,88	4,2	6,58	3,4	6,31 ^a	4,3
14.	КГ-54-7/3-5	4,95	3,7	4,57	5,0	5,83	7,0	5,11 ^б	5,2
15.	КГ-54-7/3-2	4,80	3,5	4,94	5,3	6,86	3,3	5,53 ^{гд}	4,0
Просек		6,08 ^A	4,9	5,17 ^B	6,0	6,05 ^A	5,1	5,77	5,3

Легенда: мала слова унутар колоне указују на статистички значајне разлике између генотипова, док велика слова означавају статистички значајне разлике између локалитета (ниво значајности 5%)

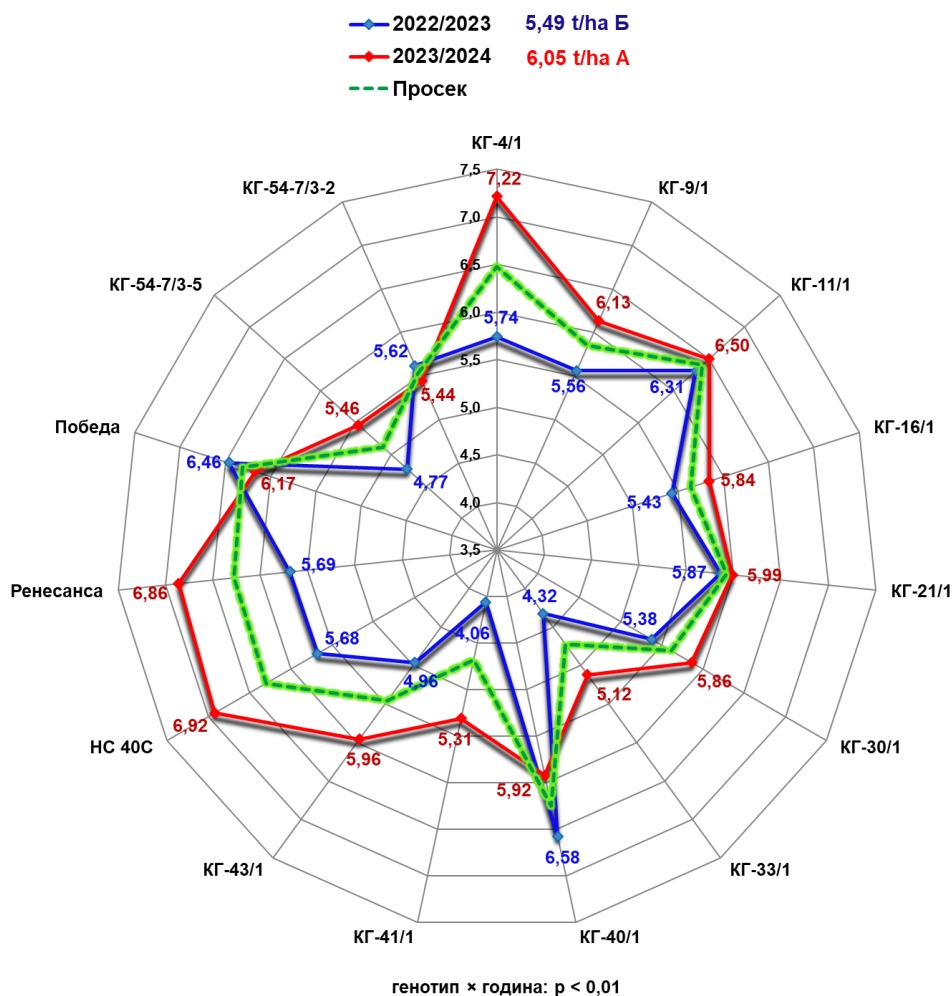
Посматрано по локалитетима, у просеку за обе сезоне, највећи принос зрна на нивоу огледа је остварен у Панчеву, и то код сорте НС 40С (6,90 t ha⁻¹). С друге стране, на овом локалитету најмања вредност приноса зрна је забележена код генотипа КГ-33/1

(5,41 t ha⁻¹). Највећу вредност приноса зрна на локалитету Крагујевац је остварио генотип КГ-4/1 (5,96 t ha⁻¹), а најмању КГ-41/1 (3,21 t ha⁻¹). У Крушевцу су највеће вредности приноса зрна постигли генотипови КГ-54-7/3-2 (6,86 t ha⁻¹) и Победа (6,58 t ha⁻¹), а најмању вредност линија КГ-33/1 (4,72 t ha⁻¹).

Коефицијент варијације приноса зрна је био највећи на локалитету Крагујевац (6,0%), затим нешто мањи на локалитету Крушевац (5,1%) и најмањи на локалитету Панчево (4,9%), Табела 20.

Утврђена је статистички високозначајна интеракција генотип × година (Табела 19), што потврђује да су генотипови различито реаговали на специфичне услове у свакој вегетационој сезони. Разлике у њиховом рангирању по годинама јасно су приказане на радар графикону (Графикон 14).

Већина анализираних генотипова показала је побољшање приноса у 2023/2024. сезони, али са различитим интензитетом реакције. Највеће повећање приноса у 2023/2024. сезони забележено је код генотипова КГ-4/1, КГ-41/1 и НС 40С, који су дали највећи допринос интеракцији са растом вредности од 25,8%, 30,7% и 20,6%. Супротно томе, најмање варирање између сезона уочено је код линије КГ-21/1, где је принос остао готово исти (пораст од само 2,04% у 2023/2024. сезони). Најниже вредности у првој години оствариле су линије КГ-41/1 (4,06 t ha⁻¹) и КГ-33/1 (4,32 t ha⁻¹), док су у другој сезони ове линије такође имале ниже приносе у односу на просек, али су ипак показале благу тенденцију раста. Генотипови КГ-40/1, Победа и спелта КГ-54-7/3-2 бележе благи пад приноса од 10,03%, 4,49% и 3,2% респективно у другој сезони (2023/2024) у односу на прву (2022/2023), Графикон 14.

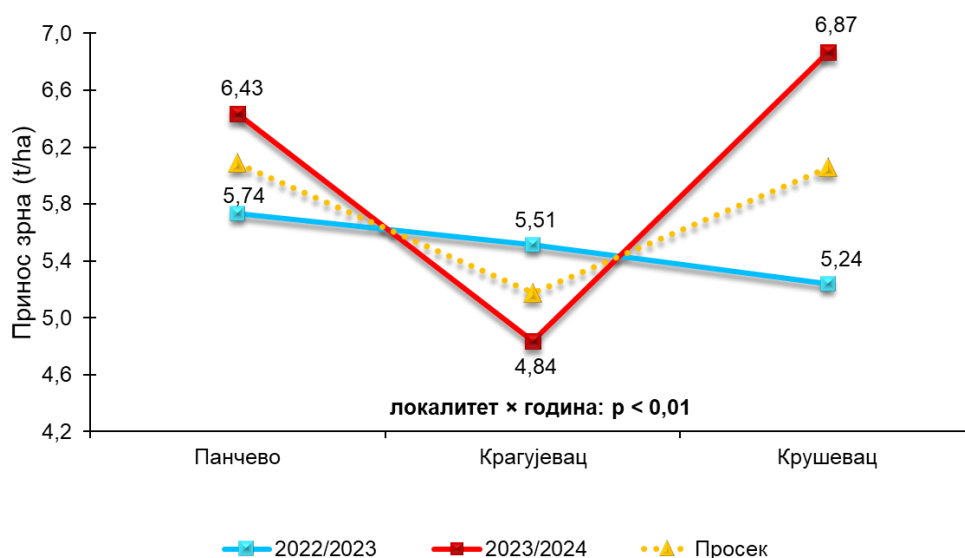


Графикон 14. Просечан принос зрна код 15 генотипова пшенице по вегетационим сезонама, обједињено за све локалитете

Према резултатима трофакторијалне анализе варијансе, интеракција између локалитета и године била је високо значајна ($p < 0,01$) и имала је највећи удео у варијабилности приноса зрна у односу на остале интеракције главних фактора (Табела 19). Значајности интеракције највише су допринеле разлике у средњим вредностима приноса зрна између сезона на локалитету Крушевац, где је у сезони 2023/2024. забележена највећа вредност ($6,9 \text{ t ha}^{-1}$), а у сезони 2022/2023. најмања просечна вредност ($5,2 \text{ t ha}^{-1}$), у поређењу са остала два локалитета. Дакле, на овом локалитету је принос зрна у сезони 2023/2024. повећан за 32,7% у односу на сезону 2022/2023.

Најниже вредности приноса по сезонама утврђене су на локалитету Крагујевац, где је у сезони 2023/2024. остварен најмањи принос зрна, док су на другим

локалитетима вредности у истој сезони биле веће. Дакле, на овом локалитету је принос зрна у другој сезони гајења смањен за 12,7%. На локалитету Панчево, вредност испитиване особине у вегетационој сезони 2022/2023. износила је 5,7 t ha⁻¹, док је у сезони 2023/2024. достигла 6,4 t ha⁻¹, што представља повећање од 12,3% (Графикон 15).



Графикон 15. Просечна вредност приноса зрна на анализираним локалитетима по вегетационим сезонама (интеракција локалитет × година)

Имајући у виду утврђену значајност интеракције генотип × локалитет × година, која указује на различито понашање генотипова у различитим агроеколошким условима и сезонама, анализирана је фенотипска варијабилност приноса зрна посебно у оквиру сваког локалитета и вегетационе сезоне (Табела 21).

На основу добијених резултата, најмањи принос зрна забележен је на локалитету Крагујевац у 2022/2023. сезони код генотипа КГ-41/1 (2,80 t ha⁻¹), док је највећи принос утврђен на локалитету Крушевац у 2023/2024. години код генотипа КГ-4/1 (8,35 t ha⁻¹). Посматрано појединачно, у Панчеву је у првој сезони гајења (2022/2023) најнижи принос имала линија КГ-54-7/3-5 (3,99 t ha⁻¹), док је највиши принос у истим условима остварио генотип КГ-40/1 (6,63 t ha⁻¹). У наредној сезони (2023/2024), највиши принос зрна на овом локалитету имала је сорта стандард НС 40С (7,79 t ha⁻¹), а најнижи линија спелте КГ-54-7/3-2 (5,09 t ha⁻¹). На локалитету Крагујевац, током 2022/2023. године, највећи принос остварен је код генотипа КГ-40/1 (7,25 t ha⁻¹), док је најмањи принос

имао генотип КГ-41/1 (2,80 t ha⁻¹). У другој сезони, на истом локалитету, највећи принос зрна забележен је код сорте Ренесанса (6,63 t ha⁻¹), док је најнижу вредност имао генотип КГ-33/1 (3,38 t ha⁻¹). У Крушевцу је у 2022/2023. вегетационој сезони најнижи принос остварен код линије КГ-33/1 (3,95 t ha⁻¹), а највиши код генотипа спелте КГ-54-7/3-2 (6,88 t ha⁻¹). У 2023/2024. години на истом локалитету, највећи принос зрна забележен је код генотипа КГ-4/1 (8,35 t ha⁻¹), док је најмањи принос генотип КГ-41/1 (5,59 t ha⁻¹). Коefицијенти варијације (CV) указују на релативно стабилно понашање генотипова у свим срединама, при чему је најмања варијабилност забележена код сорте Ренесанса (CV=0,7%) у Панчеву 2022/2023. сезоне, док је највећа варијабилност установљена код линије КГ-33/1 (CV=9,4%) у Крагујевцу 2022/2023. године. Просечне вредности CV кретале су се у опсегу од 4,8% до 7,0%, што указује на умерен степен варијабилности приноса у зависности од услова гајења и генотипа.

Табела 21. Средње вредности (\bar{x}) и коefицијенти варијације (CV) приноса зрна код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Ре д. Бр.	Генотип	Панчево				Крагујевац				Крушевац			
		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024	
		\bar{x} (t/ha)	CV (%)	\bar{x} (t/ha)	CV (%)	\bar{x} (t/ha)	CV (%)	\bar{x} (t/ha)	CV (%)	\bar{x} (t/ha)	CV (%)	\bar{x} (t/ha)	CV (%)
1.	КГ-4/1	6,50	2,7	7,04	1,7	5,67	8,1	6,26	2,4	5,05	8,4	8,35	3,9
2.	КГ-9/1	6,23	1,6	6,18	6,9	5,21	4,7	5,90	6,7	5,25	2,1	6,32	4,9
3.	КГ-11/1	6,49	6,6	6,86	4,4	6,99	6,6	5,17	8,5	5,46	5,7	7,48	2,7
4.	КГ-16/1	6,30	8,0	6,92	8,3	5,77	6,0	3,73	4,1	4,23	2,6	6,88	6,0
5.	КГ-21/1	6,51	3,4	6,12	7,0	5,98	5,7	4,45	6,7	5,11	8,0	7,40	6,5
6.	КГ-30/1	5,65	4,5	6,04	7,9	6,26	4,1	4,83	5,3	4,23	7,6	6,72	3,1
7.	КГ-33/1	4,71	8,9	6,11	5,3	4,32	9,4	3,38	8,7	3,95	7,9	5,86	6,9
8.	КГ-40/1	6,63	5,7	6,24	5,5	7,25	8,5	4,47	3,8	5,85	3,8	7,05	4,9
9.	КГ-41/1	4,87	8,9	6,71	8,4	2,80	8,0	3,62	4,4	4,50	4,4	5,59	5,5
10.	КГ-43/1	5,34	3,7	5,87	4,6	4,37	7,5	4,96	3,5	5,18	4,5	7,04	5,8
11.	НС 40С	6,02	2,9	7,79	1,0	5,34	6,9	5,94	6,5	5,67	4,1	7,05	7,6
12.	Ренесанса	6,12	0,7	6,84	3,2	5,15	9,0	6,63	5,3	5,79	5,3	7,12	2,7
13.	Победа	6,18	7,2	6,80	3,5	6,87	5,3	4,88	3,0	6,33	3,3	6,82	3,5
14.	КГ-54-7/3-5	3,99	4,9	5,90	2,5	5,22	7,9	3,91	2,1	5,10	7,7	6,56	6,3
15.	КГ-54-7/3-2	4,51	2,4	5,09	4,5	5,47	7,5	4,40	3,0	6,88	3,4	6,84	3,1
	Просек	5,74	4,8	6,43	5,0	5,51	7,0	4,84	4,9	5,24	5,3	6,87	5,0
	Tukey HSD _{0,05}	11,4 6	–	9,80	–	7,49	–	6,52	–	10,1	–	7,58	–
	Tukey HSD _{0,01}	13,5 0	–	11,5 5	–	8,83	–	7,69	–	11,9	–	8,94	–

6.1.7. Фенотипска варијација масе 1000 зрна

Спроведена је трофакторијална анализа варијансе за масу 1000 зрна, која показује да су анализирани главни фактори (генотип, локалитет и година), као и њихове интеракције, значајно утицали на фенотипску експресију масе 1000 зрна (Табела 22). Највећи допринос укупној варијабилности показала је година (66,6% удела у укупној суми квадрата), што указује на изражен утицај климатских услова током вегетације на ову особину.

Табела 22. Трофакторијална анализа варијансе за масу 1000 зрна код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Извор варијације	Степени слободе (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F вредност	p вредност
Генотип (А)	14	1561,49	111,53	75,524**	0,000
Локалитет (Б)	2	651,56	325,78	220,597**	0,000
Година (В)	1	9894,78	9894,78	6700,081**	0,000
А × Б	28	404,23	14,44	9,776**	0,000
А × В	14	956,35	68,31	46,255**	0,000
Б × В	2	690,38	345,19	233,739**	0,000
А × Б × В	28	428,48	15,30	10,362**	0,000
Грешка	180	265,83	1,48	—	—
Укупно	269	14853,09	—	—	—

** статистички значајан утицај на нивоу 1% ($p < 0,01$)

Највећа просечна вредност масе 1000 зрна је забележена у Крагујевцу (42,7 g), затим у Панчеву (40,2 g), а најмања у Крушевцу (39,0 g), са статистичком значајношћу у разликама. У просеку за све локалитете и године, највећа маса 1000 зрна је установљена код линије КГ-4/1 (43,8 g), затим код линије КГ-21/1 (43,7 g) и сорте Ренесанса (43,5 g), које су се статистички значајно разликовале од већине других генотипова. Најмање вредности масе 1000 зрна су установљене код линија спелте КГ-54-7/3-2 (36,2 g) и КГ-54-7/3-5 (36,8 g). Посматрано појединачно по локалитетима, највећу вредност масе 1000 зрна на локалитету Панчеву је имала линија КГ-21/1 (45,3 g), а најнижу линија КГ-54-7/3-5 (34,6 g). На локалитету Крагујевац су се највећом вредношћу масе 1000 зрна истакле линија КГ-4/1 (46,1 g) и сорта Ренесанса (46,6 g), док су најниже вредности оствариле линије спелте КГ-54-7/3-5 (36,7 g) и КГ-54-7/3-2 (37,3 g). На локалитету Крушевац, највећа вредност анализираних особина је забележена

код сорте Ренесанса (42,0 g) и линије КГ-4/1 и КГ-11/1 (41,3 g), док је најмања просечна вредност утврђена код генотипова КГ-33/1 (36,3 g) и КГ-54-7/3-2 (36,4 g), Табела 23.

Табела 23. Средње вредности и коефицијенти варијације масе 1000 зрна код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета, у просеку за обе вегетационе сезоне

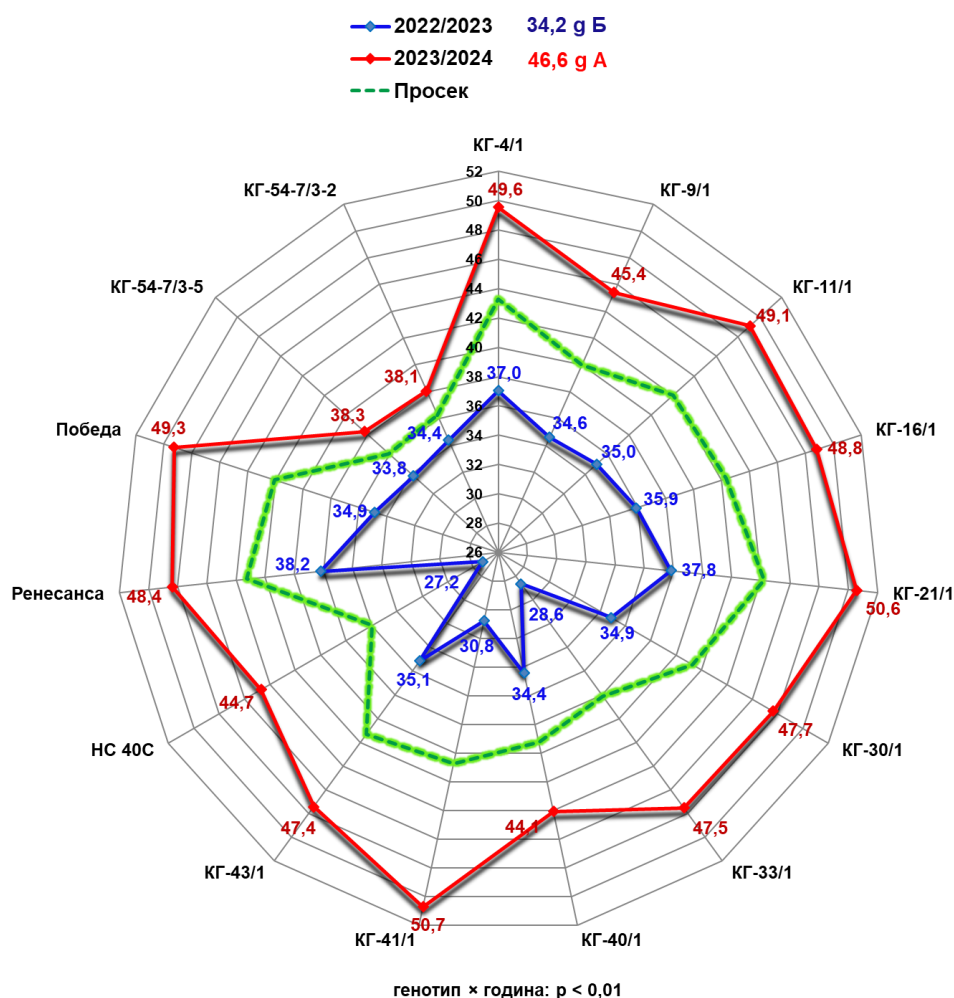
Ред. бр.	Генотип	Панчево		Крагујевац		Крушевац		Просек	
		\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)
1.	КГ-4/1	43,3	3,4	46,8	2,7	41,3	2,3	43,8 ^a	2,8
2.	КГ-9/1	38,9	1,9	42,1	3,1	38,4	4,0	39,8 ^д	3,0
3.	КГ-11/1	40,8	2,6	45,2	2,9	41,3	2,7	42,4 ^{абв}	2,8
4.	КГ-16/1	42,3	3,3	44,3	3,1	40,6	1,7	42,4 ^{бв}	2,7
5.	КГ-21/1	45,3	2,6	46,4	3,0	39,5	4,3	43,7 ^{аб}	3,3
6.	КГ-30/1	39,5	2,2	44,5	2,9	40,0	3,1	41,3 ^{бг}	2,7
7.	КГ-33/1	38,0	2,4	40,0	4,3	36,3	2,5	38,1 ^{бс}	3,1
8.	КГ-40/1	36,9	2,4	40,8	2,6	37,4	3,3	38,4 ^б	2,8
9.	КГ-41/1	37,9	3,1	43,1	2,7	40,6	3,7	40,5 ^{гд}	3,1
10.	КГ-43/1	42,2	1,8	43,5	2,0	38,5	2,5	41,4 ^{бг}	2,1
11.	НС 40С	41,5	2,2	39,4	3,2	36,6	2,7	39,2 ^{дб}	2,7
12.	Ренесанса	41,9	2,0	46,6	1,9	42,0	2,8	43,5 ^{аб}	2,2
13.	Победа	43,6	2,4	44,5	2,8	38,9	2,8	42,3 ^{бв}	2,7
14.	КГ-54-7/3-5	34,6	2,9	36,7	2,1	37,4	3,2	36,2 ^ж	2,7
15.	КГ-54-7/3-2	36,6	2,4	37,3	4,4	36,4	2,4	36,8 ^{еж}	3,1
Просек		40,2 ^б	2,5	42,7 ^а	2,9	39,0 ^б	3,0	40,7	2,8

Легенда: мала слова унутар колоне указују на статистички значајне разлике између генотипова, док велика слова означавају статистички значајне разлике између локалитета (ниво значајности 5%)

Коефицијент варијације (CV) указује на високу стабилност ове особине у оквиру испитиваних генотипова (просечан CV=2,8%). Посматрано по генотиповима, вредности коефицијента варијације су се кретале од 2,1% код линије КГ-43/1 до 3,3% код линије КГ-21/1. Гледано по локалитетима, најмања просечна варијабилност утврђена је у Панчеву (CV=2,5%), док је нешто већа била у Крагујевцу (2,9%) и Крушевцу (3,0%), Табела 23.

Анализа просечних вредности масе 1000 зрна по вегетационим сезонама, у збирном приказу за сва три локалитета и све испитиване генотипове, показала је изражене разлике између сезона (Графикон 16). У сезони 2023/2024. забележена је значајно већа просечна маса 1000 зрна (46,7 g) у односу на сезону 2022/2023, када је она износила 34,6 g. Највећа вредност масе 1000 зрна у 2022/2023. сезони је

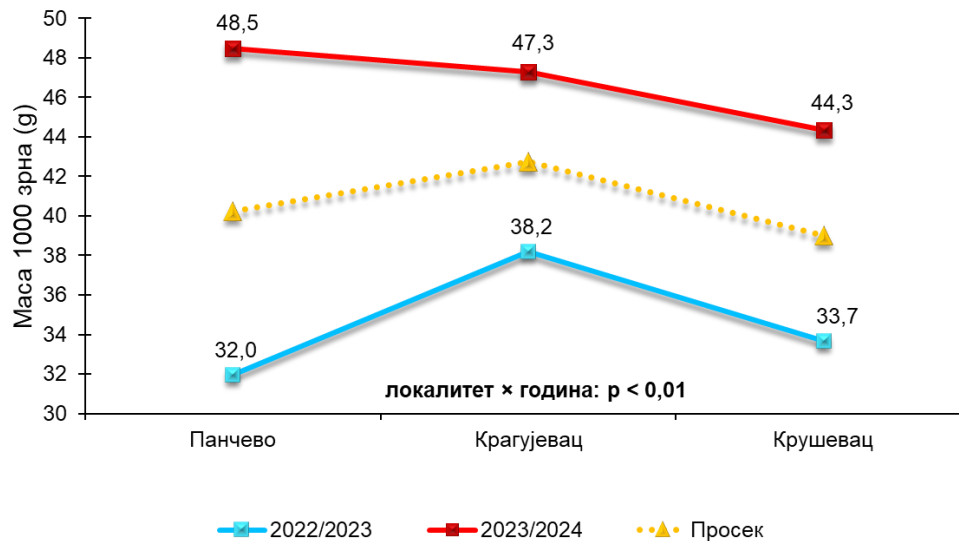
установљена код сорте Ренесанса (38,1 g), а најмања код линије КГ-33/1 (28,8 g). С друге стране, највећу вредност масе 1000 зрна у 2023/2024. имали су генотипови КГ-4/1(50,7 g) и КГ-41/1 (49,8 g), а најмању линије спелте КГ-54/3-5 (38,6 g) и КГ-54/3-2 (39,2 g). Интеракција генотип × година је била статистички значајна, што се огледа у различитом рангирању генотипова по годинама. Највећи допринос интеракцији је имао генотип КГ-41/1, са повећањем вредности масе 1000 зрна за 37,2% у 2023/2024. у односу на 2022/2023. сезону. Најмања разлика у вредностима између сезона је забележена код линија спелте, са повећањем вредности за 12,2% (КГ-54/3-5) и 12,7% (КГ-54/3-2) у 2023/2024. у односу на 2022/2023. сезону.



Графикон 16. Просечна маса 1000 зрна код 15 генотипова пшенице по вегетационим сезонама, обједињено за све локалитете

Према резултатима трофакторијалне анализе варијансе, интеракција између локалитета и године показала је висок ниво статистичке значајности ($p < 0,01$), где је

дошло до измене у рангирању локалитета по годинама. Наиме, на локалитету Панчево је у првог вегетационој сезони установљена најмања вредност масе 1000 зрна (32,0 g), док је на истом локалитету у другој години остварена највећа вредност особине (48,5 g). Дакле, највећи допринос интеракцији је имао управо локалитет Панчево, са повећањем вредности масе 1000 зрна у 2023/2024. сезони за 51,5% у односу на другу сезону (Графикон 17).



Графикон 17. Просечна вредност масе 1000 зрна на анализираним локалитетима по вегетационим сезонама (интеракција локалитет × година)

С обзиром на уочену значајност интеракције генотип × локалитет × година, која указује на различиту реакцију генотипова у зависности од агроеколошких услова и године испитивања, извршена је детаљна анализа фенотипске варијабилности масе 1000 зрна у оквиру сваког локалитета и вегетационе сезоне појединачно (Табела 24).

Најмања просечна вредност масе 1000 зрна, на нивоу огледа, забележена је у Панчеву у 2022/2023. сезони код генотипа КГ-33/1 (27,3 g), док је највећа вредност утврђена на истом локалитету у 2023/2024. години код линије КГ-21/1 (55,2 g). Посматрано појединачно по локалитетима, на локалитету Панчево у 2022/2023. сезони маса 1000 зрна је варијала од 26,5 g код линије КГ-41/1 до 36,7 g код сорте Победа, уз постојање статистички значајне разлике. У другој сезони, на истом локалитету, најмања вредност масе 1000 зрна је забележена код линије спелте КГ-54-7/3-5 (41,7 g), а највећа код линије КГ-21/1 (55,2 g). Најмања вредност масе 1000 зрна на локалитету

Крагујевац у првој години је забележена код линије КГ-33/1 (32,5 g), а затим код линије КГ-41/1 (32,7 g), док је највећа вредност установљена код линије КГ-21/1 (43,4 g). У другој години гајења, на истом локалитету, највећу масу 1000 зрна имала је линија КГ-41/1 (53,6 g), што је статистички значајно више у односу на већину осталих генотипова, док је најмања вредност забележена код генотипа спелте КГ-54-7/3-5 (34,6 g). На локалитету Крушевац, најмању вредност у 2022/2023. сезони имала је линија КГ-33/1 (26,5 g), а највећу сорта Ренесанса (37,6 g). У другој сезони, на истом локалитету, највећа вредност масе 1000 зрна утврђена је код линије КГ-4/1 (48,9 g), док су линије спелте (КГ-54-7/3-2 и КГ-54-7/3-5) имале најмање вредности (37,6 g и 39,5 g, по редоследу).

Табела 24. Средње вредности (\bar{x}) и коефицијенти варијације (CV) масе 1000 зрна код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Ред. Бр.	Генотип	Панчево				Крагујевац				Крушевац			
		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024	
		\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)
1.	КГ-4/1	35,5	2,8	51,0	4,0	41,5	1,8	52,1	3,6	33,8	3,0	48,9	1,7
2.	КГ-9/1	32,9	3,4	44,9	0,5	37,5	2,8	46,6	3,4	33,3	3,8	43,5	4,1
3.	КГ-11/1	30,5	3,7	51,2	1,5	41,3	1,6	49,1	4,3	34,7	2,9	47,9	2,6
4.	КГ-16/1	33,6	2,6	51,0	4,0	39,4	2,0	49,3	4,3	34,6	2,1	46,6	1,3
5.	КГ-21/1	35,5	1,6	55,2	3,7	43,4	2,3	49,3	3,8	34,6	3,8	44,3	4,8
6.	КГ-30/1	31,5	1,6	47,6	2,8	39,8	3,7	49,2	2,1	33,9	3,4	46,0	2,8
7.	КГ-33/1	27,3	3,1	48,7	1,7	32,5	4,0	47,4	4,6	26,5	2,6	46,1	2,4
8.	КГ-40/1	29,7	3,2	44,2	1,5	37,5	2,3	44,1	2,9	33,5	3,5	41,3	3,1
9.	КГ-41/1	26,5	3,3	49,2	2,9	32,7	2,8	53,6	2,6	34,6	3,3	46,6	4,0
10.	КГ-43/1	33,6	2,8	50,7	0,7	38,3	2,7	48,7	1,2	33,7	2,6	43,3	2,5
11.	НС 40С	34,4	2,4	48,6	2,0	33,5	3,6	45,4	2,8	31,6	2,5	41,7	2,8
12.	Ренесанса	34,4	3,0	49,4	1,0	42,4	2,4	50,8	1,4	37,6	2,0	46,4	3,7
13.	Победа	36,7	1,7	50,5	3,2	36,4	2,1	52,5	3,4	32,2	2,2	45,7	3,4
14.	КГ-54-7/3-5	27,5	3,9	41,7	1,8	38,8	3,0	34,6	1,2	35,3	2,2	39,5	4,3
15.	КГ-54-7/3-2	29,7	3,1	43,5	1,6	37,8	3,9	36,7	4,9	35,2	3,1	37,6	1,8
Просек		32,0	2,8	48,5	2,2	38,2	2,7	47,3	3,1	33,7	2,9	44,3	3,1
Tukey HSD _{0,05}		2,71	–	3,74	–	3,17	–	4,71	–	2,91	–	4,21	–
Tukey HSD _{0,01}		3,20	–	4,41	–	3,74	–	5,55	–	3,57	–	4,96	–

Просечан коефицијент варијације се кретао у уском опсегу, од 2,2% на локалитету Панчево у 2023/2024. сезони, до 3,1% на локалитетима Крагујевац и

Крушевац у истој сезони, што указује на стабилност особине унутар агроеколошких услова. Најмања варијабилност утврђена је код генотипа КГ-9/1 у Панчеву 2023/2024. сезоне ($CV=0,5\%$), док је највећа варијација установљена код генотипа КГ-21/1 на локалитету Крушавац у 2023/2024. сезони ($CV=4,8\%$), Табела 24.

6.1.8. Фенотипска варијација хектолитарске масе

Трофакторијална анализа варијансе показује да главни фактори (генотип, локалитет и година) имају статистички високосначајан утицај на хектолитарску масу (Табела 25). Највећи удео у укупној варијабилности анализираних особина је имао фактор генотип (36,7%). Све интеракције између фактора ($A \times B$, $A \times V$, $B \times V$ и $A \times B \times V$) такође су биле статистички значајне, што указује на сложен однос између генотипа и услова средине. Од свих испитиваних интеракција, најзначајнији утицај на варијацију хектолитарске масе имале су интеракције генотип \times година ($F = 42,565^{**}$) и генотип \times локалитет ($F = 11,617^{**}$), што указује на различиту реакцију генотипова на промене година и локалитета.

Табела 25. Трофакторијална анализа варијансе за хектолитарску масу код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Извор варијације	Степени слободe (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F вредност	p вредност
Генотип (A)	14	2177,45	155,532	110,240 ^{**}	0,000
Локалитет (B)	2	1107,30	553,652	392,424 ^{**}	0,000
Година (V)	1	685,39	685,388	485,797 ^{**}	0,000
A \times B	28	458,93	16,391	11,617 ^{**}	0,000
A \times V	14	840,74	60,053	42,565 ^{**}	0,000
B \times V	2	70,88	35,441	25,120 ^{**}	0,000
A \times B \times V	28	338,16	12,077	8,560 ^{**}	0,000
Грешка	180	253,95	1,411	–	–
Укупно	269	5932,82	–	–	–

^{**} статистички значајан утицај на нивоу 1% ($p < 0,01$)

Најнижа просечна вредност хектолитарске масе установљена је на локалитету Крушевац ($71,3 \text{ kg hl}^{-1}$), нешто већа у Крагујевцу ($73,0 \text{ kg hl}^{-1}$), а највећа у Панчеву ($76,2 \text{ kg hl}^{-1}$), уз постојање статистички значајних разлика између локалитета (ниво

значајности 5%), Табела 26. Просечно за сва три локалитета и обе вегетационе сезоне, најнижа вредност хектолитарске масе (67,6 и 67,8 kg hl⁻¹) забележена је код линија спелте КГ-54-7/3-5 и КГ-54-7/3-2, док су највеће просечне вредности остварене код линија КГ-4/1 (76,9 kg hl⁻¹) и КГ-16/1 (76,6 kg hl⁻¹).

На свим анализираним локалитетима, највећа просечна вредност хектолитарске масе забележена је код линије КГ-4/1, и то 78,5 5 kg hl⁻¹ у Панчеву, 76,8 kg hl⁻¹ у Крагујевцу (76,8 kg hl⁻¹) и 75,3 kg hl⁻¹ у Крушевцу, док су најмање вредности остварене су код линија спелте КГ-54-7/3-5 и КГ-54-7/3-2, код којих су се вредности хектолитарске масе кретале од 65,5 до 69,5 kg hl⁻¹, зависно од локалитета (Табела 26).

Табела 26. Средње вредности и коефицијенти варијације хектолитарске масе код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета, у просеку за обе вегетационе сезоне

Ред. бр.	Генотип	Панчево		Крагујевац		Крушевац		Просек	
		\bar{x} (kg/hl)	CV (%)	\bar{x} (kg/hl)	CV (%)	\bar{x} (kg/hl)	CV (%)	\bar{x} (kg/hl)	CV (%)
1.	КГ-4/1	78,5	1,7	76,8	1,4	75,3	0,8	76,9 ^a	1,3
2.	КГ-9/1	78,4	1,1	76,3	1,1	71,6	1,4	75,4 ^b	1,2
3.	КГ-11/1	78,5	1,3	74,2	1,2	72,9	2,4	75,2 ^b	1,6
4.	КГ-16/1	78,3	0,9	76,8	2,1	74,7	1,4	76,6 ^a	1,5
5.	КГ-21/1	76,8	1,6	73,8	1,5	71,6	2,2	74,1 ^b	1,8
6.	КГ-30/1	76,8	1,1	74,6	1,5	71,2	0,8	74,2 ^b	1,2
7.	КГ-33/1	75,0	1,5	67,7	1,3	68,6	1,7	70,4 ^b	1,5
8.	КГ-40/1	78,2	2,0	76,4	1,0	70,1	1,2	74,9 ^b	1,4
9.	КГ-41/1	74,2	1,6	72,2	1,1	70,0	1,4	72,2 ^г	1,3
10.	КГ-43/1	77,0	1,2	74,6	0,7	74,3	1,8	75,3 ^b	1,3
11.	НС 40С	76,5	1,7	67,2	0,8	70,9	1,3	71,5 ^{гд}	1,3
12.	Ренесанса	78,2	0,8	75,6	0,9	71,9	2,3	75,2 ^b	1,4
13.	Победа	77,4	1,4	76,5	1,1	71,0	1,5	75,0 ^b	1,3
14.	КГ-54-7/3-5	69,5	1,9	65,5	0,8	67,7	1,6	67,6 ^е	1,4
15.	КГ-54-7/3-2	69,4	2,7	66,7	0,9	67,2	1,3	67,8 ^е	1,6
Просек		76,2 ^A	1,5	73,0 ^B	1,2	71,3 ^B	1,6	73,5	1,4

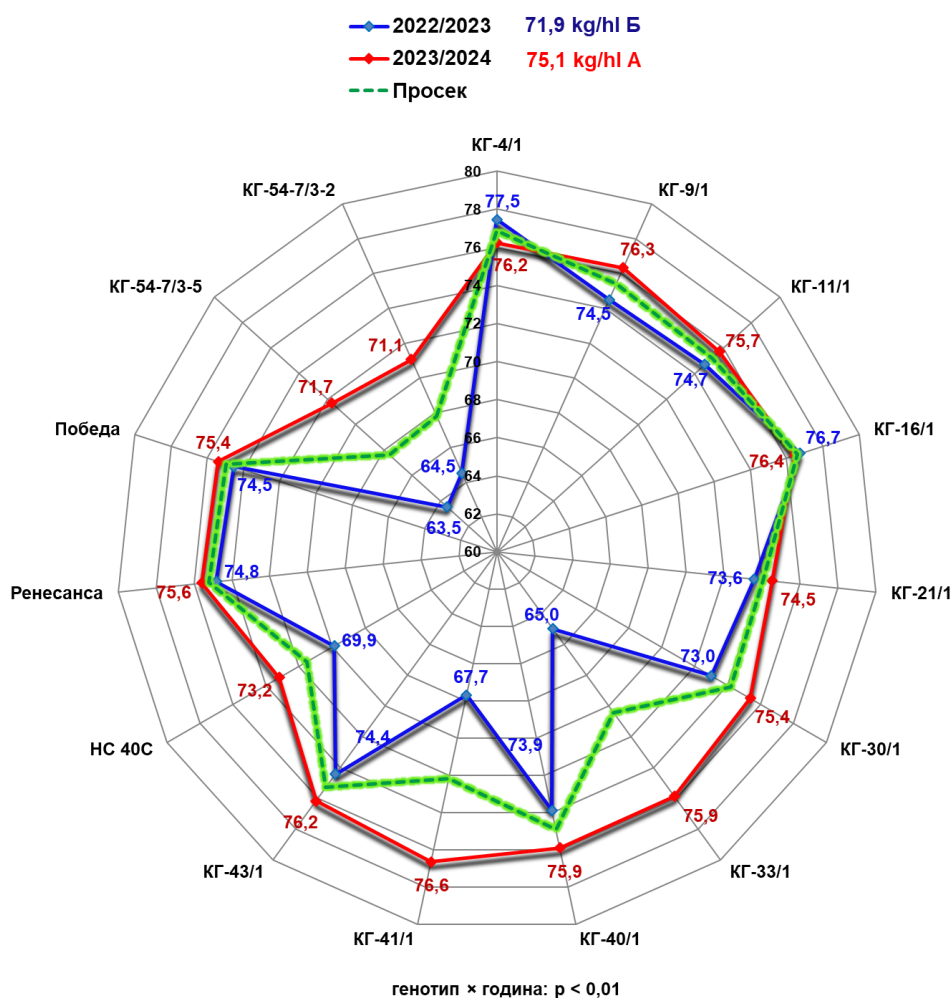
Легенда: мала слова унутар колоне указују на статистички значајне разлике између генотипова, док велика слова означавају статистички значајне разлике између локалитета (ниво значајности 5%)

Коефицијент варијације хектолитарске масе у просеку за сва три локалитета кретао се од 1,2% код генотипова КГ-9/1 и КГ-30/1 до 1,8% код КГ-21/1. Посматрано по локалитетима, варијација ове особине је била најмања у Крагујевцу (CV=1,2%), док су нешто веће вредности установљене на локалитетима Панчево (CV=1,5%) и

Крушевац ($CV=1,6\%$), што указује на стабилне вредности хектолитарске масе у условима анализираних локалитета (Табела 26).

Анализа варијације хектолитарске масе по годинама, у просеку за све локалитете и генотипове, показује да је у вегетационој сезони 2023/2024. постигнута већа вредност хектолитарске масе ($75,1 \text{ kg hl}^{-1}$) у односу на 2022/2023. сезону ($71,9 \text{ kg hl}^{-1}$), што је повећање од $4,45\%$ (Графикон 18).

Најзначајније повећање хектолитарске масе забележено је код генотипа КГ-33/1, са растом од $16,77\%$, док су и генотипи КГ-41/1 и линије спелте КГ-54-7/3-5 и КГ-54-7/3-2 показали високе проценте повећања, односно $13,18\%$, $12,91\%$ и $10,23\%$. Ови генотипови су највише допринели интеракцији између генотипа и године.

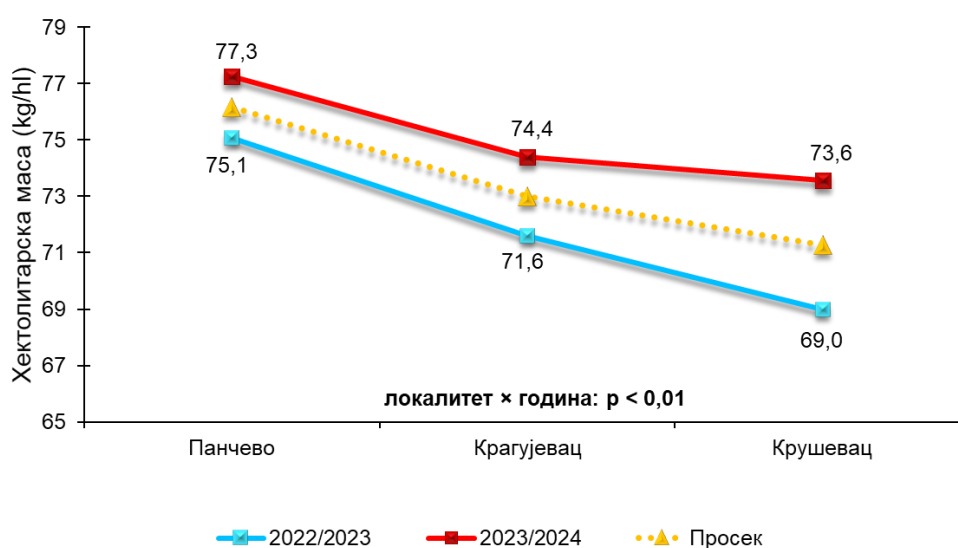


Графикон 18. Просечна хектолитарска маса код 15 генотипова пшенице по вегетационим сезонама, обједињено за све локалитете

Са друге стране, једини генотипови код којих је примећено смањење вредности хектолитарске масе у 2023/2024. години су КГ-4/1 ($1,68\%$) и КГ-16/1 ($0,39\%$). У обе

вегетационе сезоне највећу вредности хектолитарске масе имала је линија КГ-41/1 (76,7 kg hl⁻¹) док је у сезони 2022/2023. највећу вредност (77,5 kg hl⁻¹) имала линија КГ-4/1 код које је у сезони 2023/2024. дошло до смањења од 1,68% у односу на прву годину испитивања. Линија спелте КГ-54-7/3/5 имала је најмању хектолитарску масу (63,5 kg hl⁻¹) на нивоу огледа. Овакви резултати показују да је интеракција генотипа и године статистички значајна, са позитивним ефектом сезоне 2023/2024. на већину генотипова (Графикон 18).

Према резултатима трофакторијалне анализе варијансе, интеракција локалитет × година показала је висок ниво статистичке значајности ($p < 0,01$) (Табела 16), стога је детаљно представљена на графикону 19.



Графикон 19. Просечна вредност хектолитарске масе на анализираним локалитетима по вегетационим сезонама (интеракција локалитет × година)

Најизраженије разлике између сезона уочене су на локалитету Крушевац, где је током 2022/2023. године остварена најнижа просечна вредност хектолитарске масе (69,0 kg hl⁻¹), док је у наредној сезони (2023/2024) забележено повећање на 73,6 kg hl⁻¹, што представља пораст од 6,67%. С друге стране, најстабилније вредности по сезонама регистроване су на локалитету Панчево. На овом локалитету, у 2022/2023. години измерена је вредност од 75,1 kg hl⁻¹, док је у 2023/2024. години хектолитарска маса износила 77,3 kg hl⁻¹, што указује на благо повећање од 2,93%. На локалитету Крагујевац вредност ове особине у првој анализираној сезони (2022/2023) износила је

71,6 kg hl⁻¹, док је у другој сезони (2023/2024) забележен пораст на 74,4 kg hl⁻¹, односно повећање од 3,91% у односу на претходну годину (Графикон 19).

Детаљно је сагледана фенотипска варијација хектолитарске масе у свим агроеколошким срединама (интеракција генотип × локалитет × година), Табела 27.

Табела 27. Средње вредности (\bar{x}) и коефицијенти варијације (CV) хектолитарске масе код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Ред. Бр.	Генотип	Панчево				Крагујевац				Крушевац			
		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024	
		\bar{x} (kg/hl)	CV (%)	\bar{x} (kg/hl)	CV (%)	\bar{x} (kg/hl)	CV (%)	\bar{x} (kg/hl)	CV (%)	\bar{x} (kg/hl)	CV (%)	\bar{x} (kg/hl)	CV (%)
1.	КГ-4/1	79,0	2,2	77,9	1,3	78,1	0,9	75,5	2,0	75,3	1,0	75,3	0,6
2.	КГ-9/1	78,4	1,8	78,3	0,3	76,3	0,9	76,2	1,3	68,7	2,6	74,5	0,1
3.	КГ-11/1	78,9	1,8	78,0	0,8	73,7	0,9	74,8	1,5	71,5	2,9	74,3	1,8
4.	КГ-16/1	78,2	0,9	78,4	0,8	77,6	0,9	76,0	3,3	74,5	1,7	74,9	1,2
5.	КГ-21/1	75,9	1,8	77,6	1,4	74,6	0,8	73,1	2,2	70,3	3,3	72,8	1,0
6.	КГ-30/1	75,9	1,9	77,7	0,3	74,5	0,7	74,6	2,4	68,6	0,9	73,8	0,8
7.	КГ-33/1	71,9	2,4	78,0	0,6	60,7	0,6	74,8	2,0	62,4	3,1	74,8	0,4
8.	КГ-40/1	77,8	3,3	78,5	0,7	77,6	1,0	75,2	1,0	66,3	1,4	73,9	1,1
9.	КГ-41/1	69,7	2,3	78,7	0,8	67,7	0,7	76,8	1,4	65,7	2,4	74,4	0,5
10.	КГ-43/1	76,2	1,9	77,7	0,6	73,4	0,8	75,9	0,7	73,6	3,0	74,9	0,6
11.	НС 40С	76,3	1,7	76,6	1,7	63,6	1,2	70,9	0,5	69,7	2,1	72,1	0,5
12.	Ренесанса	78,5	1,1	77,9	0,5	76,3	0,8	74,8	1,1	69,7	2,6	74,0	2,1
13.	Победа	78,2	0,5	76,6	2,3	77,6	0,8	75,4	1,4	67,9	2,1	74,2	0,8
14.	КГ-54-7/3-5	64,7	1,6	74,3	2,1	60,0	0,9	71,1	0,8	65,9	2,9	69,6	0,3
15.	КГ-54-7/3-2	66,5	2,0	72,3	3,3	62,6	1,0	70,8	0,7	64,5	2,5	70,0	0,1
	Просек	75,1	1,8	77,3	1,2	71,6	0,9	74,4	1,5	69,0	2,3	73,6	0,8
	Tukey HSD _{0,05}	4,35	–	3,26	–	1,87	–	3,77	–	4,96	–	2,17	–
	Tukey HSD _{0,01}	5,13	–	3,84	–	2,20	–	4,45	–	5,85	–	2,56	–

Најнижу хектолитарску масу имала је линија спелте КГ-54-7/3-5 на локалитету Крагујевац у сезони 2022/2023. (60,0 kg hl⁻¹), док је највећу вредности остварила линија КГ-4/1 (79,0 kg hl⁻¹) на локалитету Панчево у истој сезони. Код хлебне пшенице, најмања хектолитарска маса је примећена код генотипа КГ-33/1 на локалитету Крагујевац у сезони 2022/2023 (60,7 kg hl⁻¹). Разматрано по локалитетима, најзначајније разлике у хектолитарској маси су забележене на локалитету Крагујевац у 2022/2023. сезони, где су најнижу вредност имали генотипи КГ-33/1 и КГ-54-7/3-5 (60,7 и 60,0 kg hl⁻¹), док је највећу вредност остварила линија КГ-4/1 (78,1 kg hl⁻¹). За разлику од

локалитета Панчево и Крагујевац, где су линије спелте имале најмању хектолитарску масу, на локалитету Крушевац најмању вредност ($62,4 \text{ kg hl}^{-1}$) имала је линија КГ-33/1 у сезони 2022/2023. Највећу вредност ($75,3 \text{ kg hl}^{-1}$) хектолитарске масе у Крушевцу имала је линија КГ-4/1 у обе сезоне.

Вредности коефицијента варијације хектолитарске масе биле су ниске, и кретали су се од 0,1% код генотипа КГ-9/1 на локалитету Крушевац у 2023/2024. сезони до 3,3% код генотипа КГ-54-7/3-2 на локалитету Панчево у 2023/2024. сезони. На нивоу целог огледа, просечан коефицијент варијабилности се кретао од 0,8% у Крушевцу у сезони 2023/2024. до 2,3% на истом локалитету у 2022/2023. сезони, због чега се ова особина сматра високостабилном (Табела 27).

6.1.9. Фенотипска варијација садржаја протеина у зрну

Анализа варијансе за садржај протеина у зрну показала је статистички врло значајан утицај свих главних фактора - генотипа, локалитета и године, као и свих интеракција на фенотипску експресију особине (Табела 28).

Табела 28. Трофакторијална анализа варијансе за садржај протеина у зрну код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Извор варијације	Степени слободe (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F вредност	p вредност
Генотип (А)	14	51,34	3,67	18,015**	0,000
Локалитет (Б)	2	105,22	52,61	258,453**	0,000
Година (В)	1	124,97	124,97	613,918**	0,000
А × Б	28	28,05	1,00	4,921**	0,000
А × В	14	25,64	1,83	8,995**	0,000
Б × В	2	14,70	7,35	36,120**	0,000
А × Б × В	28	30,86	1,10	5,415**	0,000
Грешка	180	36,64	0,20	—	—
Укупно	269	417,42	—	—	—

** статистички значајан утицај на нивоу 1% ($p < 0,01$)

Највећи утицај на фенотипску варијабилност садржаја протеина у зрну имала је година (29,9%), што указује на снажан ефекат климатских услова на акумулацију протеина у зрну пшенице. Локалитет је такође испољио врло изражен утицај (25,2%), док је удео генотипа био мањи (12,3%), али и даље статистички високо значајан. Све

интеракције (А×Б, А×В, Б×В и А×Б×В) имале су статистички врло значајан утицај на варијабилност садржаја протеина у зрну, што указује да се експресија овог параметра мења у зависности од специфичних комбинација особина генотипа, еколошких услова и годишњих варијација (Табела 28).

У просеку за све генотипове и сезоне, највећи садржај протеина у зрну је установљен на локалитету Панчево (12,78%), затим нешто нижи на локалитету Крагујевац (12,42%), док је најнижи садржај забележен у Крушеву (11,32%), при чему су утврђене статистички значајне разлике (Табела 29).

Табела 29. Средње вредности и коефицијенти варијације садржаја протеина код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета, у просеку за обе вегетационе сезоне

Ред. бр.	Генотип	Панчево		Крагујевац		Крушевац		Просек	
		\bar{x} (%)	CV (%)	\bar{x} (%)	CV (%)	\bar{x} (%)	CV (%)	\bar{x} (%)	CV (%)
1.	КГ-4/1	12,44	1,7	12,66	5,0	11,06	4,8	12,05 ^{В-ђ}	3,8
2.	КГ-9/1	12,18	3,4	12,59	3,8	10,85	4,4	11,87 ^{ђс}	3,9
3.	КГ-11/1	12,75	1,4	12,02	4,5	10,80	3,7	11,85 ^{ђс}	3,2
4.	КГ-16/1	12,43	3,0	12,29	2,6	11,09	5,0	11,94 ^{А-с}	3,5
5.	КГ-21/1	13,70	3,7	13,03	2,3	11,57	3,8	12,77 ^{абв}	3,3
6.	КГ-30/1	12,06	2,6	11,85	1,9	11,62	4,8	11,84 ^{ђс}	3,1
7.	КГ-33/1	13,26	3,2	13,73	3,7	12,17	6,7	13,05 ^а	4,0
8.	КГ-40/1	13,24	3,0	12,71	3,3	10,93	4,5	12,29 ^{В-ђ}	3,6
9.	КГ-41/1	11,82	3,9	12,41	3,3	11,52	3,7	11,92 ^{А-с}	3,6
10.	КГ-43/1	13,78	2,0	13,07	3,0	11,83	3,5	12,89 ^{аб}	2,8
11.	НС 40С	12,15	1,1	11,65	3,6	10,71	4,5	11,50 ^с	3,1
12.	Ренесанса	13,06	3,0	11,59	2,3	10,82	4,7	11,82 ^{ђс}	3,3
13.	Победа	13,06	1,5	11,75	1,9	11,05	2,8	11,95 ^{Г-с}	2,1
14.	КГ-54-7/3-5	12,94	3,1	12,36	2,6	12,08	6,4	12,46 ^{бвг}	4,0
15.	КГ-54-7/3-2	12,90	2,7	12,65	2,8	11,64	3,9	12,39 ^{б-д}	3,1
Просек		12,78 ^А	2,6	12,42 ^Б	3,1	11,32 ^В	4,5	12,17	3,4

Легенда: мала слова унутар колоне указују на статистички значајне разлике између генотипова, док велика слова означавају статистички значајне разлике између локалитета (ниво значајности 5%)

При поређењу генотипова, у просеку за сва три локалитета и обе сезоне, уочено је да су линије КГ-33/1 (13,05%) и КГ-43/1 (12,89%) испољиле највише вредности садржаја протеина уз статистички значајну предност у односу на већину осталих генотипова. Насупрот томе, најнижа просечна вредност на нивоу огледа установљена је код сорте НС 40С (11,50%). Линије спелте (КГ-54-7/3-5 и КГ-54-7/3-2) такође су се

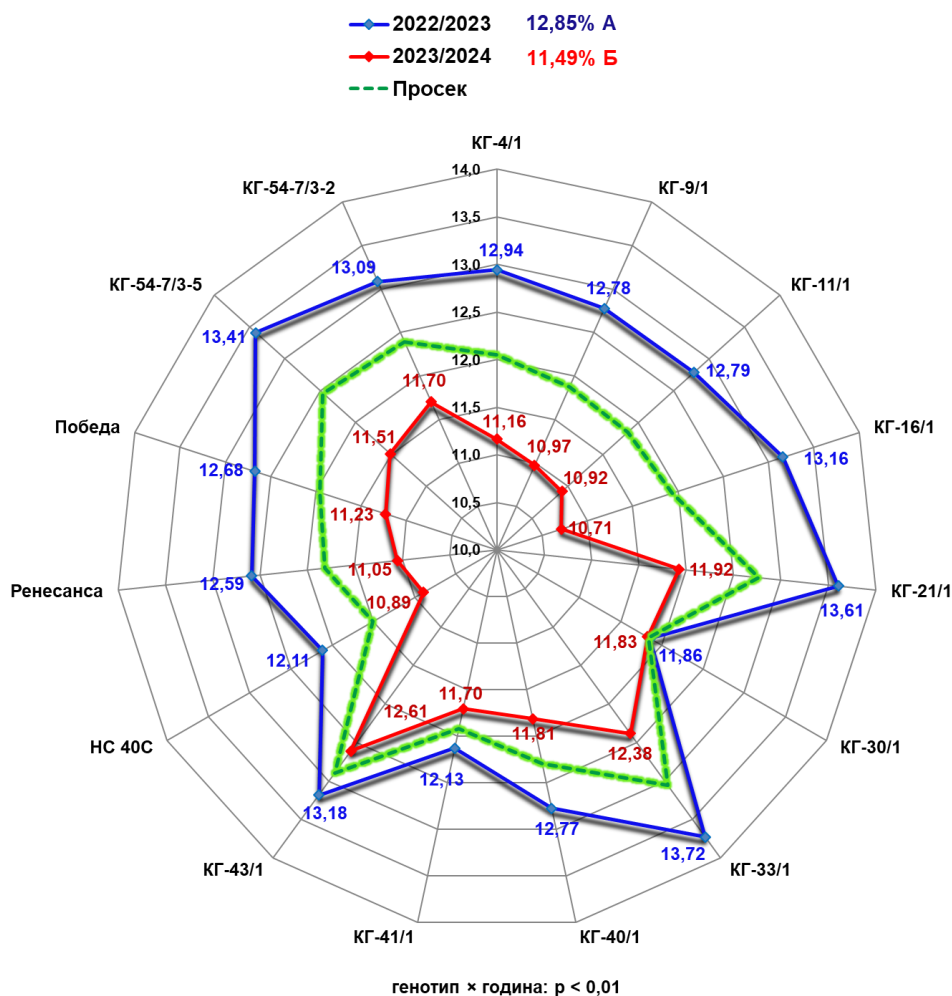
издвојиле релативно високим садржајем протеина, са просечним вредностима изнад 12%, чиме су сврстане у групу генотипова са повољнијим нутритивним својствима (Табела 29).

Коефицијент варијације указује на различиту стабилност садржаја протеина у зависности од генотипа и локалитета. На нивоу локалитета, најмања варијабилност утврђена је у Панчеву ($CV=2,6\%$), затим нешто већа у Крагујевцу ($CV=3,1\%$), док је највећа варијабилност утврђена у Крушевцу ($CV=4,5\%$). По генотиповима, најстабилнији су били Победа ($CV=2,1\%$) и КГ-43/1 ($CV=2,8$), док је највећа варијабилност установљена код линије КГ-33/1 ($CV=4,0\%$) и КГ-54-7/3-5 ($4,0\%$), Табела 29.

Анализа варијације садржаја протеина у зрну по годинама, у просеку за сва три локалитета и све испитане генотипове, показала је да је у 2022/2023. вегетационој сезони остварен значајно већи садржај протеина ($12,86\%$) у односу на сезону 2023/2024, када је вредност износила $11,49\%$. Процент смањења у 2023/2024. Сезони износио је $10,86\%$ (Графикон 20).

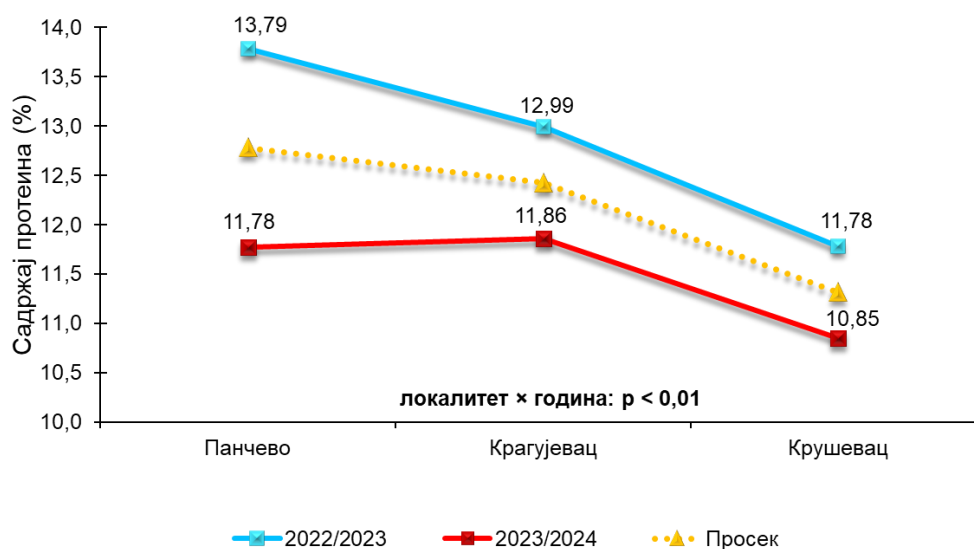
Интеракција генотип \times година била је статистички високозначајна, што је указало на промену ранга генотипова између година. Детаљна анализа, приказана радар графиконом (Графикон 20), показала је да су сви генотипови имали више вредности протеина у сезони 2022/2023, али су различито реаговали на услове током сезоне 2023/2024. Генотипови КГ-16/1 и КГ-1/1 испољили су најизраженије промене по сезонама, при чему је у сезони 2023/2024. утврђено смањење садржаја протеина у зрну од $18,62\%$ и $14,63\%$, респективно. С друге стране, генотип КГ-30/1 показао је најмању промену у садржају протеина између сезона ($0,25\%$).

У обе сезоне, највише вредности садржаја протеина у зрну остварила је линија КГ-33/1, са $13,72\%$ у 2022/2023. и $12,38\%$ у 2023/2024. сезони. Најнижи садржај протеина у сезони 2022/2023. забележен је код линије КГ-30/1 ($11,86\%$) и сорте НС 40С ($12,11\%$), док је у сезони 2023/2024. најмање вредности имала линија КГ-16/1 ($10,71\%$) и сорта НС 40С ($10,89\%$), Графикон 20.



Графикон 20. Просечан садржај протеина у зрну код 15 генотипова пшенице по вегетационим сезонама, обједињено за све локалитете

Према трофакторијалној анализи варијансе, интеракција локалитет × година је била високозначајна ($p < 0,01$). Значајности интеракције су највише допринеле разлике у средњим вредностима садржаја протеина између сезона на локалитету Панчево, где је у 2022/2023. сезони забележена највећа вредност (13,79%), а у 2023/2024. сезони знатно мања просечна вредност (11,78%). Дакле, на овом локалитету се садржај протеина у сезони 2023/2024. редуковао за 14,6% у односу на 2022/2023. сезону. Најмање варирање по сезонама је утврђено на локалитету Крушевац, где је у 2022/2023. сезони остварена вредност од 11,78%, а у другој сезони вредност од 10,85%. Дакле, на поменутом локалитету вредност садржаја протеина се у другој сезони гајења смањила за 7,9%. На локалитету Крагујевац вредност испитиване особине у првој вегетационој сезони (2022/2023) износила је 12,99%, док је у 2023/2024. сезони вредност износила 11,86%, уз смањење од 8,7% (Графикон 21).



Графикон 21. Просечна вредност садржаја протеина у зрну на анализираним локалитетима по вегетационим сезонама (интеракција локалитет × година)

Имајући у виду значајност интеракције генотип × локалитет × година, где је примећена променљива реакција генотипова по годинама и агроеколошким срединама, анализирана је фенотипска варијација садржаја протеина у зрну по појединачним локалитетима и сезонама (Табела 30).

Посматрано појединачно по локалитетима и сезонама, на локалитету Панчево у 2022/2023. сезони је садржај протеина варирао од 12,51% код линије КГ-41/1 до 14,62% код линије КГ-43/1. На истом локалитету у 2023/2024. години, најнижи садржај протеина у зрну је утврђен код генотипа КГ-9/1 (10,45%), док је највиши садржај имала линија КГ-43/1 (12,94%). На локалитету Крагујевац у 2022/2023. сезони, најнижи садржај протеина забележен је код линије КГ-30/1 (11,92%), а највиши код линије КГ-21/1 (14,41%). У сезони 2023/2024, најнижи садржај протеина на истом локалитету имала је линија НС 40С (10,40%), док је највиши садржај имала линија КГ-33/1 (13,47%), Табела 30.

На локалитету Крушевац, у првој сезони гајења, најнижи садржај протеина имала је сорта НС 40С (10,79%), док је највиши забележен код линије КГ-54-7/3-5 (13,45%). У сезони 2023/2024. на истом локалитету, најнижи садржај протеина је утврђен код генотипа КГ-40/1 (10,05%), а највиши код линије КГ-43/1 (12,30%).

Посматрано по генотиповима, најмању варијабилност садржаја протеина показали су генотипови КГ-43/1 на локалитету Панчево 2023/2024 ($CV=0,4\%$) и КГ-

11/1 на истом локалитету ($CV=0,6\%$), док је највећа варијабилност утврђена код линије КГ-54-7/3-5 на локалитету Крушевац 2023/2024 ($CV=7,9\%$). Просечан коефицијент варијације по локалитетима кретао се од 2,1% на локалитету Панчево у сезони 2023/2024. до 4,7% на локалитету Крушевац у сезони 2022/2023. (Табела 30).

Табела 30. Средње вредности (\bar{x}) и коефицијенти варијације (CV) садржаја протеина у зрну код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Ред. Бр.	Генотип	Панчево				Крагујевац				Крушевац			
		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024		2022/2023		2023/2024	
		\bar{x} (%)	CV (%)	\bar{x} (%)	CV (%)	\bar{x} (%)	CV (%)	\bar{x} (%)	CV (%)	\bar{x} (%)	CV (%)	\bar{x} (%)	CV (%)
1.	КГ-4/1	13,87	0,6	11,01	2,8	13,28	4,9	12,05	5,2	11,68	5,1	10,43	4,4
2.	КГ-9/1	13,91	5,2	10,45	1,6	13,14	3,2	12,04	4,4	11,28	4,6	10,43	4,3
3.	КГ-11/1	14,48	2,1	11,01	0,6	12,65	4,9	11,38	4,1	11,22	3,8	10,38	3,7
4.	КГ-16/1	14,28	3,5	10,57	2,5	13,34	1,6	11,25	3,6	11,86	4,2	10,32	5,8
5.	КГ-21/1	14,39	3,9	13,01	3,5	14,41	1,4	11,65	3,2	12,03	3,1	11,11	4,4
6.	КГ-30/1	12,28	1,8	11,84	3,3	11,92	0,9	11,77	2,9	11,37	5,1	11,87	4,6
7.	КГ-33/1	14,24	4,1	12,28	2,3	13,99	4,1	13,47	3,2	12,94	6,5	11,40	7,0
8.	КГ-40/1	13,88	3,8	12,59	2,1	12,63	1,1	12,79	5,4	11,81	3,9	10,05	5,1
9.	КГ-41/1	12,51	5,5	11,13	2,3	12,21	3,4	12,62	3,1	11,67	3,6	11,37	3,9
10.	КГ-43/1	14,62	3,6	12,94	0,4	13,55	1,5	12,59	4,5	11,37	3,7	12,30	3,3
11.	НС 40С	12,65	0,6	11,65	1,7	12,90	2,5	10,40	4,7	10,79	6,1	10,63	2,9
12.	Ренесанса	14,15	4,2	11,96	1,8	12,39	1,9	10,78	2,7	11,24	6,3	10,41	3,2
13.	Победа	14,32	2,4	11,80	0,6	12,29	2,3	11,22	1,5	11,42	4,0	10,67	1,6
14.	КГ-54-7/3-5	13,77	3,5	12,10	2,6	13,00	2,7	11,72	2,4	13,45	4,9	10,70	7,9
15.	КГ-54-7/3-2	13,45	1,8	12,34	3,6	13,18	1,6	12,12	4,0	12,63	5,8	10,64	2,0
Просек		13,79	3,1	11,78	2,1	12,99	2,5	11,86	3,7	11,78	4,7	10,85	4,3
Tukey HSD _{0,05}		1,43	–	0,84	–	1,11	–	1,37	–	1,72	–	1,49	–
Tukey HSD _{0,01}		1,69	–	0,99	–	1,30	–	1,62	–	2,03	–	1,76	–

6.2. Процена стабилности и адаптабилности генотипова пшенице применом АММИ анализе

У циљу прецизнијег тумачења интеракције генотип × спољашња средина извршена је АММИ-ANOVA анализа, која представља комбинацију анализе варијансе (ANOVA) и анализе главних компоненти (PCA). За разлику од класичне трофакторијалне анализе варијансе, АММИ модел додатно разлаже интеракцију генотипа и спољашње средине на прве главне интеракцијске компоненте (осе) IPCA, чиме омогућава детаљније разумевање интеракције.

6.2.1. АММИ анализа за висину биљке

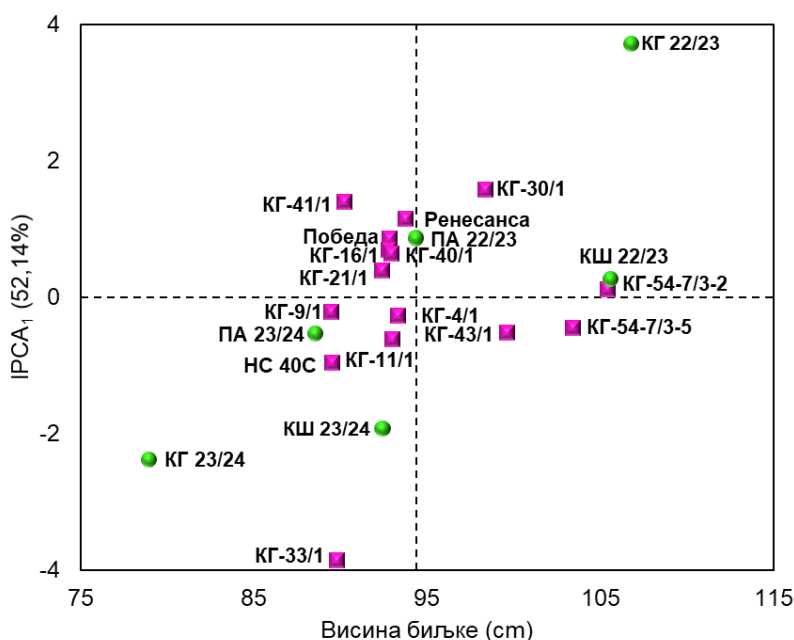
Спроведена је АММИ-ANOVA за висину биљке, која показује високозначајан ($p < 0,01$) утицај адитивних ефеката, као и интеракција генотип × спољашња средина на варијабилност висине биљке. Агроеколошке средине имају највећи удео у варијацији особине, објашњавајући 68,7% укупне суме квадрата. Фактор генотип доприноси варијацији са 17,2%, док интеракција генотип × средина има значајан удео од 9,3%, указујући на различиту реакцију генотипова на услове огледа, те оправдава примену АММИ анализе. Прве две интеракцијске компоненте (IPCA₁ и IPCA₂) заједно објашњавају 75,9% интеракције, што указује на то да се већи део интеракције може представити са прве две компоненте, односно у две димензије (Табела 31).

Табела 31. АММИ-ANOVA за висину биљке код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Извор варијације	Степени слободе (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F- вредност	p- вредност
Генотипови	14	6256,26	446,88	48,11 ^{**}	0,000
Агроеколошке средине	5	24933,80	4986,88	328,17 ^{**}	0,000
Блокови	12	182,35	15,20	1,64 ^{ns}	0,086
Интеракције	70	3389,12	48,42	5,21 ^{**}	0,000
IPCA ₁ (52,14%)	18	1761,99	97,89	10,54 ^{**}	0,000
IPCA ₂ (23,79%)	16	806,47	50,40	5,43 ^{**}	0,000
IPCA ₃ (15,89%)	14	537,28	38,38	4,13 ^{**}	0,000
IPCA ₄ (7,52%)	12	255,00	21,3	2,29 ^{**}	0,010
IPCA ₅ (0,83%)	10	28,39	2,84	0,31 ^{ns}	0,979
Грешка	168	1560,34	9,29	–	–
Укупно	269	36321,87	135,02	–	–

** статистички значајан утицај на нивоу 1% ($p < 0,01$); ^{ns} статистички незначајно ($p > 0,05$)

Да би се детаљније сагледала интеракција генотип \times спољашња средина, и утврдила стабилност и адаптабилност генотипова у различитим агроеколошким срединама у погледу испољавања висине биљке, конструисани су AMM_1 и AMM_2 биплотови (Графикон 22 и Графикон 23). На AMM_1 (средња вредност особине vs. $IPCA_1$) биплоту, генотипови који су позиционирани близу апсцисе, односно генотипови који имају ниске вредности $IPCA_1$ осе, сматрају се стабилним на нивоу огледа. С друге стране, генотипови који имају већу вредност $IPCA_1$ компоненте (удаљенији од апсцисе, односно x осе) оцењују се као мање стабилни.



Графикон 22. AMM_1 (средња вредност vs. $IPCA_1$) биplot за процену стабилности висине биљке код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Посматрајући AMM_1 биplot за висину биљке (Графикон 22), примећујемо значајност адитивног и мултиваријационог ефекта варијације у испољавању анализираних особина, где су генотипови распоређени и по апсциси и по ординати. Линије спелте КГ-54/7/3-2 и КГ-54-7/3-5 одликују се високом стабилношћу (имају ниске вредности $IPCA_1$ компоненте) и високим вредностима висине биљке на нивоу огледа. Генотипови хлебне пшенице КГ-9/1 и НС 40С карактеришу се високом стабилношћу и исподпросечним вредностима висине биљке, што је пожељна одлика када је у питању ова особина. Генотипови који су најближе општем просеку огледа (94,4 cm) су КГ-21/1, КГ-16/1, КГ-40/1, КГ-4/1, Победа и Ренесанса, испољавају

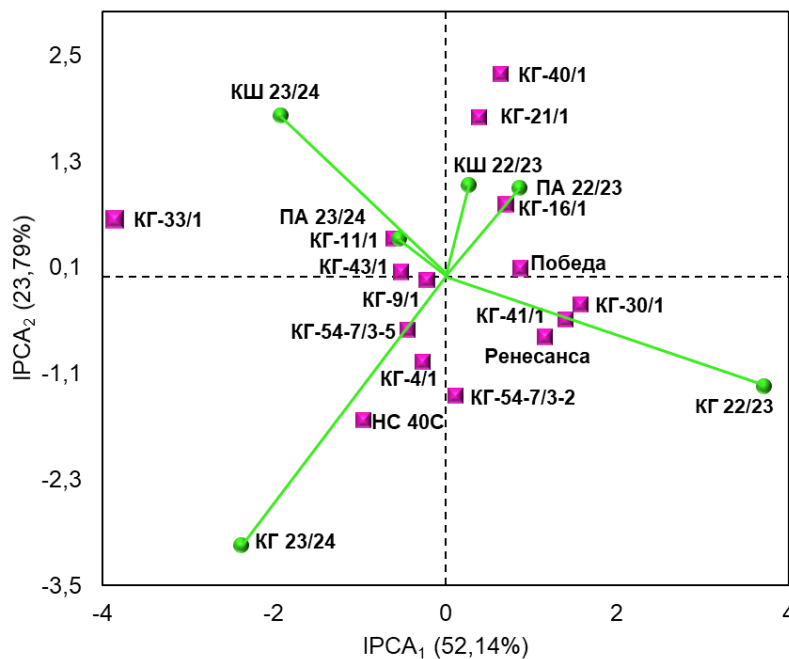
стабилност у свим агроеколошким срединама. Генотип КГ-41/1, који испољава умерену стабилност, одликује се нижом вредношћу висине биљке, док генотип КГ-30/1, такође умерено стабилан, испољава изнадпросечну висину биљке. Највећом нестабилношћу на нивоу огледа карактерише се линија КГ-33/1, која има високу негативну вредност $РСА_1$ компоненте и ниску вредност висине биљке. Посматрано по агроеколошким срединама, највећа стабилност висине биљке је постигнута у агроеколошкој средини Крушевац 2022/2023, са изразито високом просечном вредношћу особине. Виоска стабилност анализираних особине, уз ниску просечну вредност, је карактерисала агроеколошку средину Панчево 2023/2024. На локалитету Крагујевац у обе вегетационе сезоне установљена је висока нестабилност висине биљке код анализираних генотипова, с тим што је у 2022/2023. сезони постигнута највећа вредност особине, а у 2023/2024. најнижа. У агроеколошкој средини Панчево 2022/2023 остварена је вредност висине биљке у оквиру просечне за оглед, уз изражену стабилност (Графикон 22).

Како би се детаљније сагледала интеракција генотип \times спољашња средина, креиран је $АММІ_2$ ($IPCA_1 \times IPCA_2$) биplot (Графикон 23). На основу удаљености и оријентације тачака/вектора процењује се стабилност и адаптабилност генотипова. Генотипови који се налазе близу координатног почетка (центра биплота) испољавају мању интеракцију са срединама, те се оцењују као стабилни. Супротно, генотипови који су удаљени од центра биплота, односно који имају високу вредност једне или обе интеракцијске компоненте, показују јачи интеракцијски ефекат, односно већу нестабилност или специфичну адаптацију у појединим срединама.

Генотипови КГ-9/1, КГ-43/1, КГ-11/1, КГ-54-7/3-5 и Победа, налазе се близу центра биплота, карактеришући се ниским вредностима $IPCA_1$ и $IPCA_2$ оса, при чему испољавају слабу интеракцију са срединама, односно изражену стабилност висине биљке на нивоу огледа. Генотипови КГ-40/1 и КГ-21/1, који су удаљени од координатног почетка, испољавају изражену нестабилност на нивоу огледа, али показују специфичну адаптацију у агроеколошкој средини Крушевац 2022/2023, с обзиром на њихову позиционираност близу вектора који представља ову средину. У истом квадранту биплота налази се вектор агроеколошке средине Панчево 2022/2023, у оквиру чијег вектора је позиционирана линија КГ-16/1. Дакле, ове две агроеколошке средине пружају сличне услове за испољавање стабилности генотипова пшенице.

Агроеколошка средина Крагујевац 2023/2024 има најдужи вектор на $АММІ_2$ биplotу, што указује на највећу нестабилност у испољавању анализираних особине. Ипак, у оквиру овог вектора налази се сорта НС 40С, што указује на њену позитивну

интеракцију и специфичну адаптацију управо у овој средини. Такође, значајна нестабилност висине биљке је установљена у агроеколошкој средини Крагујевац 2022/2023, у оквиру чијег вектора се налазе генотипови Ренесанса, КГ-41/1 и КГ-30/1, испољавајући позитивну интеракцију са датом средином. Агроеколошку средину Панчево 2023/2024 карактерише најкраћи интеракцијски вектор на АММИ₂ биplotу, што указује на постизање високе стабилности висине биљке. Овај вектор заклапа оштар угао са дужим вектором који представља средину Крушевац 2023/2024, што показује да ове средине имају сличне обрасце интеракције. Нестабилни генотип КГ-33/1, који се одликује високом вредношћу на IPСА₁ и ниском вредношћу на IPСА₂ оси, позициониран је у првом квадранту, у близини вектора обе поменуте средине, што указује на специфичну адаптацију у тим условима (Графикон 23).



Графикон 23. АММИ₂ (IPCA₁ vs. IPCA₂) биplot за процену стабилности висине биљке код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

У циљу прецизније процене стабилности генотипова, додатно су прорачунате вредности ASV (*енг.* AMMI Stability Value) за висину биљке, на основу којих је извршено рангирање генотипова у погледу њихове стабилности за ову особину (Табела 32). Вредности ASV су израчунате на основу вредности прве две главне компоненте интеракције, добијене АММИ анализом. Генотипови који имају нижу вредност ASV сматрају се стабилнијим, и обрнуто. Генотип КГ-9/1 има најнижу вредност ASV

(0,309), због чега се сматра најстабилнијим, док је најнестабилнији био КГ-33/1 са ASV вредношћу 5,72. Поред КГ-9/1, као високостабилни генотипови идентификовани су и КГ-43/1, КГ-54-7/3-5 и КГ-11/1, који се одликују ниским вредностима ASV (Табела 32).

Табела 32. ASV (AMMI stability value) вредности и рангирање генотипова пшенице према стабилности у погледу висине биљке у оквиру AMMI модела

Генотип	\bar{x} (cm)	IPC1	IPC2	ASV	Ранг
КГ-9/1	89,5	-0,206	-0,0467	0,309	1
КГ-43/1	99,6	-0,517	0,0490	0,766	2
КГ-54-7/3-5	103,4	-0,444	-0,611	0,897	3
КГ-11/1	93,0	-0,609	0,423	0,994	4
КГ-4/1	93,3	-0,270	-0,967	1,05	5
Победа	92,8	0,869	0,0867	1,29	6
КГ-16/1	92,8	0,696	0,824	1,32	7
КГ-54-7/3-2	105,4	0,118	-1,36	1,37	8
Ренесанса	93,7	1,16	-0,695	1,85	9
КГ-21/1	92,4	0,391	1,80	1,89	10
КГ-41/1	90,2	1,40	-0,490	2,12	11
НС 40С	89,5	-0,955	-1,63	2,16	12
КГ-30/1	98,3	1,58	-0,321	2,35	13
КГ-40/1	92,9	0,640	2,29	2,47	14
КГ-33/1	89,8	-3,84	0,644	5,72	15

6.2.2. АММИ анализа за дужину класа

Анализа варијансе АММИ модела за дужину класа показала је да постоји статистички значајан утицај генотипа, агроеколошких средина и интеракције генотип × спољашња средина у фенотипској експресији дате особине. Фактор генотип је имао доминантан удео у укупној варијацији огледа (81,43%). Агроеколошке средине су учествовале у укупној варијацији са 11,20%, док је интеракција генотип × спољашња средина доприносила варијацији са 4,55%. Прве две главне компоненте интеракције објашњавају укупно 78,86% варијабилности интеракције, и при томе су статистички високо значајне ($p < 0,01$), док је трећа компонента ($IPCA_3$) значајна на нивоу 5% ($p = 0,0104$). Ово указује да је модел са прве две ($IPCA_1$, $IPCA_2$) компоненте довољан за описивање обрасца интеракције (Табела 33).

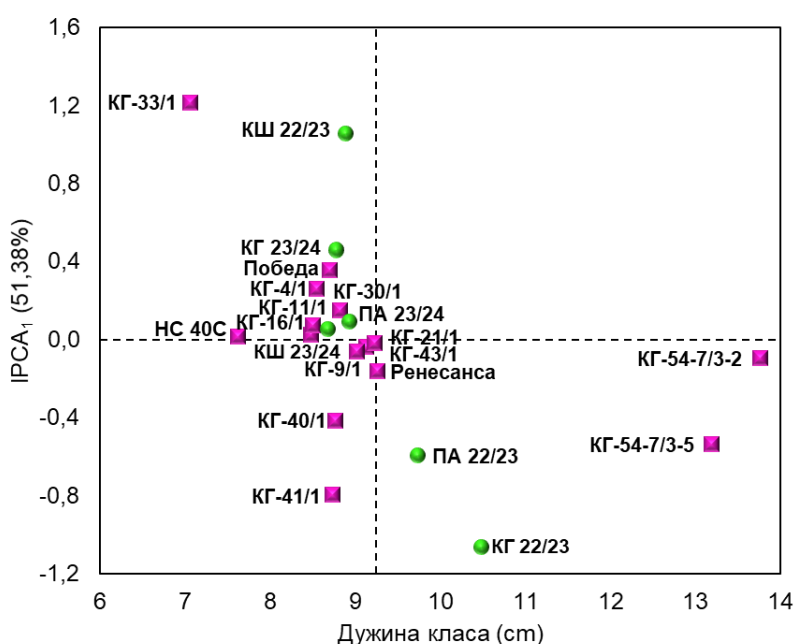
Табела 33. АММИ-ANOVA за дужину класа код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Извор варијације	Степени слободе (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F- вредност	p- вредност
Генотипови	14	829,14	59,01	359,30 ^{**}	0,000
Агроеколошке средине	5	114,08	22,82	267,96 ^{**}	0,000
Блокови	12	1,02	0,08	0,52 ^{нз}	0,901
Интеракције	70	46,38	0,66	4,03 ^{**}	0,000
$IPCA_1$ (51,38%)	18	23,83	1,32	8,06 ^{**}	0,000
$IPCA_2$ (27,51%)	16	12,76	0,80	4,86 ^{**}	0,000
$IPCA_3$ (10,82%)	14	5,02	0,36	2,18 [*]	0,0104
$IPCA_4$ (5,54%)	12	2,57	0,21	1,30 ^{нз}	0,222
$IPCA_5$ (4,74%)	10	2,20	0,22	1,34 ^{нз}	0,213
Грешка	168	27,59	0,16	—	—
Укупно	269	1018,21	3,78	—	—

** статистички значајан утицај на нивоу 1% ($p < 0,01$); * статистички значајан утицај на нивоу 5% ($p < 0,05$); ^{нз} статистички незначајно ($p > 0,05$)

Анализом АММИ₁ биплота (Графикон 24) утврђено је да је већина анализираних генотипова сконцентрисана у оквиру просечне вредности дужине класа, уз високу или умерену стабилност. Највећи допринос адитивном извору варијације имају линије спелте (КГ-54-7/3-2 и КГ-54-7/3-5) који се одликују изразито високим вредностима дужине класа. Међу њима, линија КГ-54-7/3-2 показује високу стабилност и највећу вредност особине на нивоу огледа. Високу стабилност испољили су генотипови КГ-9/1, КГ-21/1, КГ-43/1 и Ренесанса, уз вредности дужине класа у оквиру просечне за оглед. Такође, висока стабилност је установљена код генотипова КГ-16/1 и НС 40С, који су се

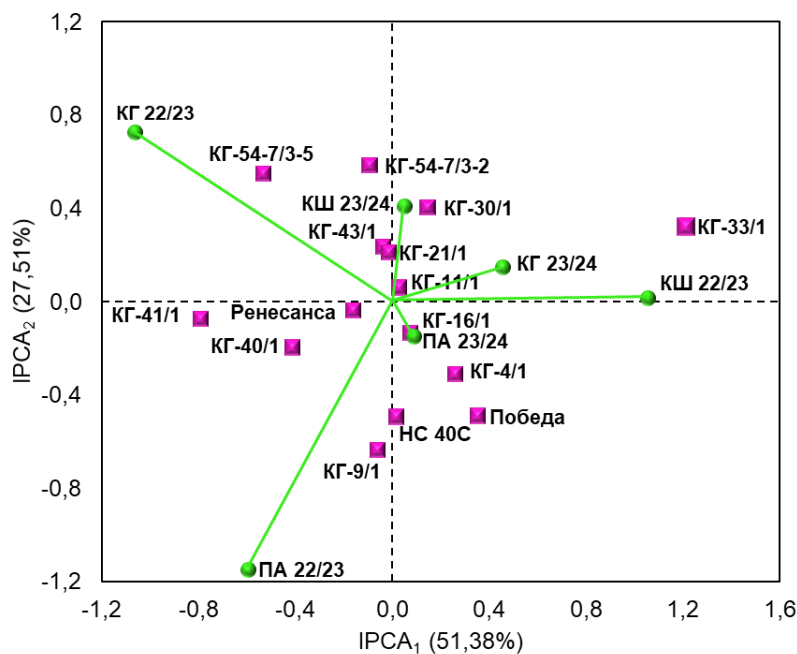
карактерисали ниском вредношћу дужине класа. Насупрот томе, генотип КГ-33/1 показује највећу нестабилност и најнижу вредност дужине класа. Највећа стабилност дужине класа остварена је у агроеколошким срединама Крушевац 2023/2024 и Панчево 2023/2024, са вредностима вредностима нешто мањим од просечне за оглед. Сличне вредности дужине класа су остварене у срединама Крагујевац 2023/2024 и Крушевац 2022/2023, где је у средини Крушевац 2022/2023 испољена највећа нестабилност анализираних особине. Агроеколошке средине Панчево 2022/2023 и Крагујевац 2022/2023 показују изражену нестабилност у испољавању дужине класа, уз постизање изнадпросечних вредности ове особине (Графикон 24).



Графикон 24. АММИ₁ (средња вредност vs. ИРСА₁) биplot за процену стабилности дужине класа код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

У циљу детаљније анализе и тумачења интеракције генотип × спољашња средина креиран је АММИ₂ биplot (Графикон 25). Генотипови који су се издвојили највећом стабилношћу су КГ-11/1, КГ-16/1, КГ-21/1, КГ-43/1 и Ренесанса, који се карактеришу ниским вредностима интеракцијских оса. Генетипови КГ-41/1, КГ-33/1, КГ-54-7/3-5, КГ-54-7/3-2, КГ-41/1, КГ-9/1 су се карактерисали највећом нестабилношћу. Међутим, резултат нестабилности ових генотипова може да буде њихова специфична адаптабилност у одређеним условима средине. Наиме, линија спелте КГ-54-7/3-5 је испољила позитивну интеракцију са средином Крагујевац 2022/2023. Такође, у исти

квадрант биплота је смештена и линија спелте КГ-54-7/3-2. Нестабилна линија КГ-33/1 остварује позитивну интеракцију са средином Крушевац 2022/2023, те се може закључити да испољава специфичну адаптабилност у условима ове средине. Линија КГ-9/1 показује специфичну адаптабилност у условима средине Панчево 2022/2023. Средине Панчево 2022/2023 и Крагујевац 2022/2023 се одликују најдужим векторима, односно израженом нестабилношћу дужине класа. С друге стране, средине Крушевац 2023/2024 и Крагујевац 2023/2024 имају најкраће векторе и мали допринос интеракцији генотип \times спољашња средина (Графикон 25).



Графикон 25. АММ₂ (IPCA₁ vs. IPCA₂) биplot за процену стабилности дужине класа код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

На основу прорачунатих ASV вредности, генотип КГ-11/1 се издвојио као најстабилнији (ASV=0,074). Такође, ниским ASV вредностима се одликују КГ-16/1 (0,170), КГ-21/1 (0,213), Ренесанса (0,221) и КГ-43/1 (0,239). Генотипови КГ-33/1 и КГ-41/1 се карактеришу високим вредностима ASV (1,690 и 1,080, по редоследу), што их сврстава у ред нестабилних генотипова (Табела 34).

Табела 34. ASV (AMMI stability value) вредности и рангирање генотипова пшенице према стабилности у погледу дужине класа у оквиру AMMI модела

Генотип	\bar{x} (cm)	IPC1	IPC2	ASV	Ранг
КГ-11/1	8,47	0,029	0,063	0,074	1
КГ-16/1	8,50	0,076	-0,13	0,170	2
КГ-21/1	9,23	-0,016	0,212	0,213	3
Ренесанса	9,26	-0,160	-0,035	0,221	4
КГ-43/1	9,12	-0,036	0,234	0,239	5
КГ-30/1	8,82	0,150	0,404	0,453	6
КГ-4/1	8,54	0,259	-0,310	0,471	7
НС 40С	7,62	0,018	-0,493	0,494	8
КГ-40/1	8,76	-0,412	-0,196	0,596	9
КГ-54-7/3-2	13,75	-0,094	0,586	0,600	10
КГ-9/1	9,02	-0,059	-0,637	0,642	11
Победа	8,70	0,355	-0,491	0,690	12
КГ-54-7/3-5	13,18	-0,534	0,548	0,912	13
КГ-41/1	8,73	-0,792	-0,072	1,080	14
КГ-33/1	7,06	12,140	0,321	1,690	15

6.2.3. AMMI анализа за масу класа

Резултати AMMI-ANOVA за масу класа показују да су агроеколошке средине (локалитети и године) имале највећи утицај на варијабилност испитиване особине ($p < 0,01$), са уделом у укупној суми квадрата од 54,76%. Фактор генотип је такође имао статистички значајан утицај ($p < 0,01$), са уделом од 10,65% у укупној варијацији особине. Интеракција генотип \times средина је била високосначајна ($p < 0,01$) и објашњавала је 21,44% варијације огледа. Интеракција генотип \times спољашња средина је даље разложена на интеракцијске компоненте, где прве две главне компоненте (IPCA₁ и IPCA₂) заједно објашњавају 78,8% варијабилности интеракције (Табела 35).

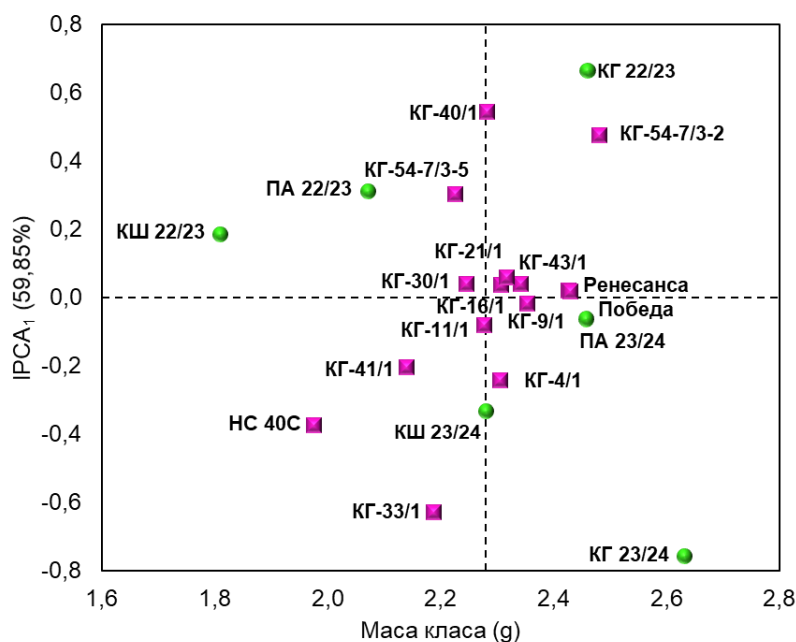
Табела 35. АММИ-ANOVA за масу класа код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Извор варијације	Степени слободе (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F-вредност	p-вредност
Генотипови	14	3,96	0,28	10,21 ^{**}	0,000
Агроеколошке средине	5	20,36	4,07	206,53 ^{**}	0,000
Блокови	12	0,24	0,02	0,71 ^{нз}	0,739
Интеракције	70	7,97	0,11	4,11 ^{**}	0,000
IPCA ₁ (59,85%)	18	4,77	0,26	9,55 ^{**}	0,000
IPCA ₂ (18,94%)	16	1,51	0,09	3,41 ^{**}	0,000
IPCA ₃ (12,67%)	14	1,01	0,07	2,59 ^{**}	0,002
IPCA ₄ (6,02%)	12	0,48	0,04	1,45 ^{нз}	0,148
IPCA ₅ (2,51%)	10	0,20	0,02	0,74 ^{нз}	0,686
Грешка	168	4,65	0,13	—	—
Укупно	269	37,18	0,14	—	—

** статистички значајан утицај на нивоу 1% (p<0,01); нз статистички незначајно (p>0,05)

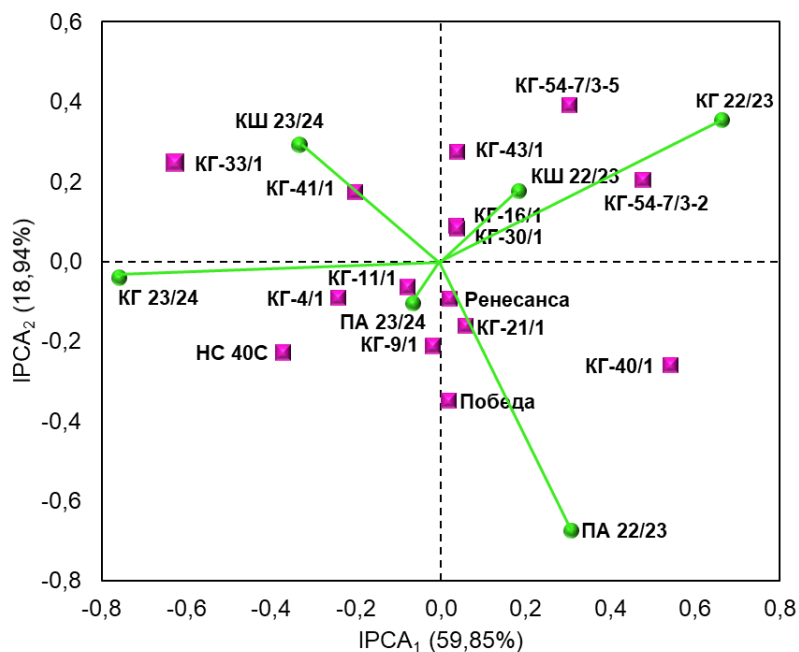
Да би се боље разумела природа интеракције генотип × средина у погледу масе класа и идентификовала стабилност као и адапациона способност појединих генотипова, примењени су АММИ₁ и АММИ₂ биplotови (Графикон 26 и Графикон 27).

На АММИ₁ биplotу (средња вредност масе класа у односу на прву интеракцијску компоненту - IPCA₁), генотипови Ренесанса, Победа, КГ-9/1, КГ-43/1, КГ-16/1, КГ-21/1, КГ-11/1, КГ-30/1 се одликују ниским вредностима IPCA₁ осе, односно испољавају високу стабилност у различитим агроеколошким условима. Међу стабилним генотиповима, највеће вредности масе класа су оствариле сорте Ренесанса и Победа. Генотипови КГ-40/1, КГ-54-7/3-5, НС 40С, КГ-33/1, који су удаљенији од апсцисе, односно имају веће вредности IPCA₁, сматрају се мање стабилним, што указује на то да вредност масе класа код ових генотипова у значајној мери зависи од услова средине. Међу овим генотиповима, НС 40С и КГ-33/1 се одликују нижим вредностима масе класа од просека, док се линија спелте КГ-54-7/3-2 карактерише највећом вредношћу особине на нивоу огледа. Када се анализирају агроеколошке средине, уочавају се значајне разлике. Највећа стабилност масе класа је постигнута у средини Панчево 2023/2024, где је остварена и изнадпросечна вредност особине. Такође, стабилна реакција генотипова је заступљена и у средини Крушевац 2022/2023, али уз постизање најниже вредности анализираних особина на нивоу огледа. Високе вредности масе класа су остварене у срединама Крагујевац 2022/2023 и Крагујевац 2023/2024, уз постигнуту нестабилност (Графикон 26).



Графикон 26. АММИ₁ (средња вредност vs. IPCA₁) биplot за процену стабилности масе класа код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Ради детаљнијег сагледавања интеракције генотип \times средина, конструисан је АММИ₂ (IPCA₁ \times IPCA₂) биplot за масу класа (Графикон 27). Генотипови КГ-30/1, КГ-16/1, КГ-11/1 и Ренесанса се карактеришу ниским вредностима IPCA₁ и IPCA₂ оса, односно показују слабију интеракцију са срединама или већу стабилност у постизању масе класа. Насупрот томе, генотипови КГ-33/1, КГ-54-7/3-5, КГ-40/1, Победа и НС 40С имају високе вредности једне или обе интеракцијске компоненте, што указује на њихову нестабилност у испољавању масе класа. Нестабилни генотип КГ-33/1 остварује позитивну интеракцију са средином Крушевац 2023/2024, односно специфичну адаптабилност у овој средини. Такође, линија спелте КГ-54-7/3-5 испољава специфичну адаптабилност у условима средине Крагујевац 2022/2023, док сорта Победа остварује позитивну интеракцију са средином Панчево 2022/2023. Сорта НС 40С је специфично адаптирана условима средине Крагујевац 2023/2024. Агроеколошке средине Крагујевац 2022/2023 и Панчево 2022/2023 се карактеришу најдужим векторима, највише доприносећи интеракцији генотип \times спољашња средина у погледу испољавања масе класа. Најкраћи вектор има средина Панчево 2023/2024, у којој је постигнута највећа стабилност анализираних средина.



Графикон 27. AMMI₂ (IPCA₁ vs. IPCA₂) биplot за процену стабилности масе класа код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

За процену стабилности генотипова у погледу масе класа коришћене су ASV (AMMI Stability Value) вредности, које омогућавају њихово поређење и рангирање (Табела 36). Најстабилнији генотип био је Ренесанса, са најнижом ASV вредношћу (0,100). Поред њега, висок степен стабилности показали су и КГ-30/1, КГ-16/1 и КГ-11/1, чије су ASV вредности биле знатно испод просечне. Насупрот томе, најнестабилнији генотип био је КГ-33/1 (ASV = 1,140), док су релативно високу нестабилност показали КГ-40/1 (0,998) и КГ-54-7/3-2 (0,869).

Табела 36. ASV (AMMI stability value) вредности и рангирање генотипова пшенице према стабилности у погледу масе класа у оквиру AMMI модела

Генотип	\bar{x} (g)	IPC1	IPC2	ASV	Ранг
Ренесанса	2,43	0,020	-0,094	0,100	1
КГ-30/1	2,25	0,040	0,081	0,108	2
КГ-16/1	2,31	0,037	0,088	0,110	3
КГ-11/1	2,28	-0,079	-0,064	0,154	4
КГ-21/1	2,32	0,060	-0,163	0,194	5
КГ-9/1	2,35	-0,018	-0,214	0,216	6
КГ-43/1	2,34	0,040	0,275	0,284	7
Победа	2,43	0,019	-0,350	0,351	8
КГ-41/1	2,14	-0,202	0,175	0,399	9
КГ-4/1	2,30	-0,242	-0,091	0,439	10
КГ-54-7/3-5	2,23	0,304	0,392	0,667	11
НС 40С	1,98	-0,372	-0,226	0,697	12
КГ-54-7/3-2	2,48	0,476	0,203	0,869	13
КГ-40/1	2,28	0,543	-0,260	0,998	14
КГ-33/1	2,19	-0,627	0,246	1,140	15

6.2.4. AMMI анализа за масу зрна по класу

Према резултатима AMMI анализе варијансе за масу зрна по класу, утврђено је да су генотип, спољашња средина и њихова интеракција значајно утицале ($p < 0,01$) на фенотипску експресију масе зрна по класу. Агроеколошке средине су имале доминантан удео у варијацији анализираних особина (26,5%), док су интеракција генотип \times спољашња средина и фактор генотип имали знатно мањи удео у варијацији (9,03%, односно 7,5%). Интеракција генотип \times спољашња средина је разложена на главне интеракцијске компоненте, где прве две интеракцијске компоненте (IPCA₁ и IPCA₂) објашњавају заједно највећи део интеракције (74,5%), што указује да се већина варијабилности интеракције може адекватно приказати у две димензије (Табела 37).

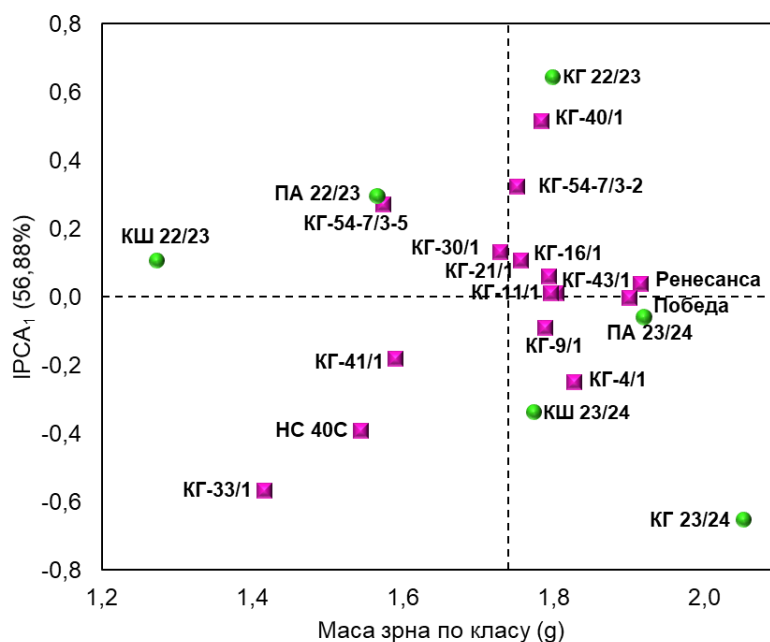
Табела 37. АММИ-ANOVA за масу зрна по класу код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Извор варијације	Степени слободе (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F- вредност	p- вредност
Генотипови	14	4,89	0,34	20,05 ^{**}	0,000
Агроеколошке средине	5	17,29	3,46	267,49 ^{**}	0,000
Блокови	12	0,15	0,01	0,74 ^{нз}	0,707
Интеракције	70	5,89	0,08	4,84 ^{**}	0,000
IPCA ₁ (56,88%)	18	3,35	0,19	10,70 ^{**}	0,000
IPCA ₂ (17,66%)	16	1,04	0,06	3,75 ^{**}	0,000
IPCA ₃ (15,96%)	14	0,94	0,07	3,86 ^{**}	0,002
IPCA ₄ (6,79%)	12	0,40	0,03	1,91 [*]	0,036
IPCA ₅ (2,89%)	10	0,17	0,02	0,95 ^{нз}	0,489
Грешка	168	37,03	0,10	—	—
Укупно	269	65,25	0,24	—	—

** статистички значајан утицај на нивоу 1% ($p < 0,01$); * статистички значајан утицај на нивоу 5% ($p < 0,05$); ^{нз} статистички незначајно ($p > 0,05$)

Посматрајући АММИ₁ биplot за масу зрна по класу (Графикон 28), уочава се значајно учешће адитивног и интеракцијског ефекта у варијабилности ове продуктивне компоненте. Генотипови Ренесанса и Победа показују ниске вредности IPCA₁, и могу се сматрати стабилним и поузданим у различитим условима гајења. Одликују се високом стабилношћу и високим вредностима масе зрна. Генотипови хлебне пшенице као на пример КГ-21/1, КГ-4/1 и КГ-43/1 показују такође високу стабилност и просечну вредност масе зрна по класу. Са друге стране, поједини генотипови који одступају од центра графикона имају тенденцију израженијег реаговања на специфичне услове средине, што упућује на њихову селективну адаптацију. Највећа нестабилност на нивоу огледа може се уочити код генотипа КГ-33/1.

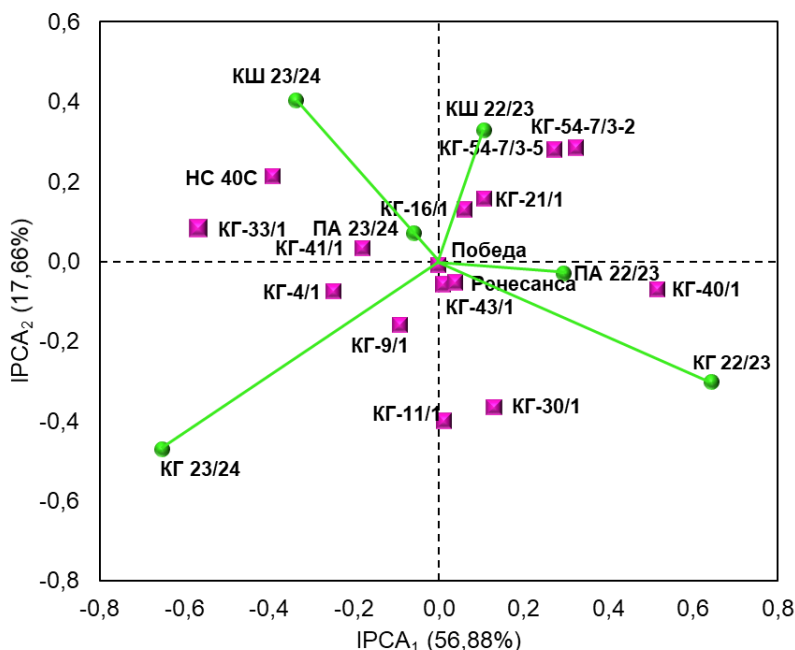
Од агроеколошких средина, средина Панчево 2023/2024. се позиционирала ближе центру координатног система показујући тиме већу стабилност масе зрна по класу, док средине, Крагујевац у обе сезоне и Крушевац 2023/2024. које су удаљеније дуж PCA1 осе, имају израженији специфичан утицај на испољавање ове особине. Средина Крагујевац 2023/2024. у којој је постигнута највећа просечна вредност масе зрна по класу издваја се као најповољнија за високу продуктивност. Најнижа вредност испитиване особине запажена је у агроеколошкој средини Крушевац 2022/2023.



Графикон 28. АММИ₁ (средња вредност vs. IPCA₁) биplot за процену стабилности масе зрна по класу код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Ради бољег разумевања интеракције између генотипа и спољашње средине у погледу масе зрна по класу, примењена је АММИ₂ анализа и резултати су приказани на биplotу (Графикон 29). На основу положаја тачака које представљају генотипове и вектора средина, процењује се степен стабилности и адаптабилности испитиваних генотипова. Генотипови Победа, Ренесанса, КГ-43/1 позиционирани су близу центра биplotа, што указује на њихову високу стабилност масе зрна по класу. Такође, линије КГ-9/1, КГ-41/1 и КГ-16/1 испољавају стабилност у фенотипској експресији масе класа. С друге стране, линије КГ-33/1, НС 40С, КГ-54-7/3-2, КГ-54-7/3-5, КГ-40/1, КГ-30/1, КГ-11/1 налазе се на већем одстојању од координатног почетка, односно одликују се високом вредноћу једне или обе интеракцијске компоненте. Линија КГ-33/1 и сорта НС-40С су смештене у исти квадрант са средином Крушевац 2023/2024, испољавајући позитивну интеракцију са овом средином. Такоже, линије спелте (КГ-54-7/3-2, КГ-54-7/3-5) су специфично адаптиране у условима агроеколошке средине Крушевац 2022/2023. Вектори агроеколошких средина Панчево 2022/2023 и Крагујевац 2022/2023 су смештени у исти квадрант биplotа и међусобно заклапају оштар угао, што указује на то да омогућавају подједнако рангирање генотипова. Линија КГ-40/1 испољавају позитивну интеракцију са поменутиим срединама, док линија КГ-30/1 има позитивну

интеракцију са средином КГ 2022/2023. Агроеколошка средина Панчево 2022/2023 има најкраћи вектор, што указује на најмању интеракцију и високу стабилност у испољавању масе зрна по класу. С друге стране средине Крагујевац 2022/2023 и Крагујевац 2023/2024 се карактеришу најдужим векторима, што указује на изражену интеракцију генотип \times средина у тим условима и већу нестабилност у испољавању масе зрна по класу.



Графикон 29. АММИ₂ (IPCA₁ vs. IPCA₂) биplot за процену стабилности масе зрна по класу код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

У циљу прецизније процене стабилности генотипова у погледу масе зрна по класу, израчунате су вредности АММИ Stability Value (ASV), на основу прве две главне компоненте интеракције добијене АММИ анализом (Табела 38). Најнижу ASV вредност (0,009) имао је генотип Победа, што указује на његову високу стабилност у погледу масе зрна по класу. Висок степен стабилности показали су и КГ-43/1 (0,057) и Ренесанса (0,061), чије су ASV вредности биле знатно испод просека. С друге стране, КГ-33/1 (0,431) и КГ-1/1 (0,397) показали су највише ASV вредности, што указује на изражену нестабилност и јаку интеракцију са спољашњом средином. Поред њих, релативно високе ASV вредности уочене су и код КГ-40/1, КГ-30/1 и КГ-54-7/3-2.

Табела 38. ASV (AMMI stability value) вредности и рангирање генотипова пшенице према стабилности у погледу масе зрна по класу у оквиру AMMI модела

Генотип	\bar{x} (g)	IPC1	IPC2	ASV	Ранг
Победа	1,90	-0,002	-0,009	0,009	1
КГ-43/1	1,80	0,011	-0,057	0,057	2
Ренесанса	1,92	0,040	-0,053	0,061	3
КГ-16/1	1,79	0,060	0,128	0,136	4
КГ-41/1	1,59	-0,180	0,034	0,139	5
КГ-9/1	1,79	-0,090	-0,159	0,172	6
КГ-21/1	1,76	0,108	0,158	0,177	7
КГ-4/1	1,83	-0,247	-0,075	0,199	8
КГ-54-7/3-5	1,57	0,273	0,282	0,348	9
НС 40С	1,54	-0,392	0,213	0,362	10
КГ-54-7/3-2	1,75	0,323	0,287	0,375	11
КГ-30/1	1,73	0,131	-0,366	0,378	12
КГ-40/1	1,78	0,517	-0,069	0,393	13
КГ-11/1	1,80	0,013	-0,397	0,397	14
КГ-33/1	1,42	-0,566	0,082	0,431	15

6.2.5. AMMI анализа за број зрна по класу

Сprovedена је AMMI-ANOVA за број зрна по класу која показује значајан утицај ($p < 0,01$) генотипа, агроеколошких средина и интеракције генотип \times спољашња средина на фенотипску експресију броја зрна по класу. Агроеколошке средине имају највећи допринос варијацији ове особине са 44,28% удела у укупној суми квадрата, затим фактор генотип са 22,19% удела у варијацији, а најмањи удео има интеракција генотип \times спољашње средине (16,32%). Прве две главне компоненте интеракције (IPCA₁ и IPCA₂) заједно су објасниле 72,22% укупне варијабилности интеракције, што показује да се већина ефекта може поуздано приказати у дводимензионалном простору (Табела 39)

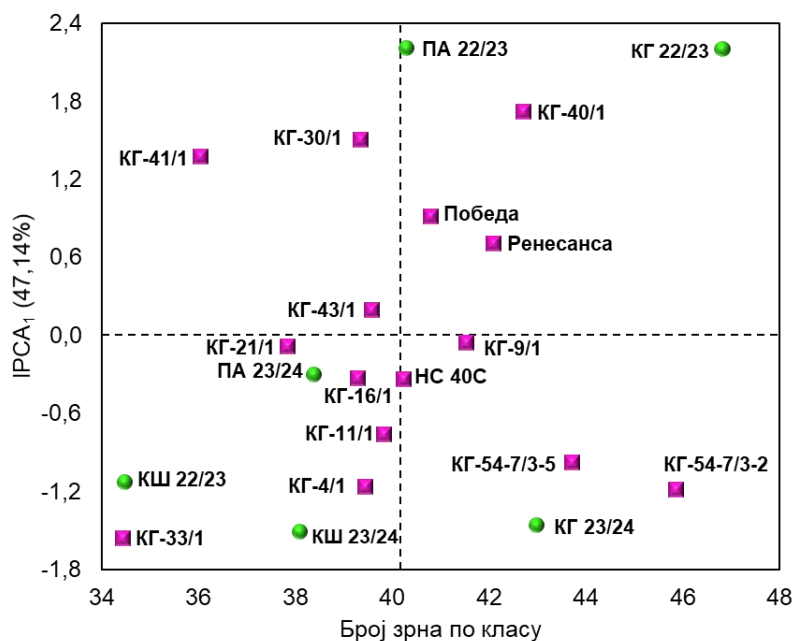
Табела 39. АММИ-ANOVA за број зрна по класу код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Извор варијације	Степени слободе (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F- вредност	p- вредност
Генотипови	14	2075,67	148,26	16,63 ^{**}	0,000
Агроеколошке средине	5	4142,03	828,41	89,41 ^{**}	0,000
Блокови	12	111,18	9,26	1,04 ^{нз}	0,415
Интеракције	70	1526,75	21,81	2,45 ^{**}	0,000
IPCA ₁ (47,14%)	18	719,72	39,98	4,49 ^{**}	0,000
IPCA ₂ (25,08%)	16	382,89	23,93	2,69 ^{**}	0,001
IPCA ₃ (16,88%)	14	257,77	18,41	2,07 [*]	0,016
IPCA ₄ (7,20%)	12	110,00	9,17	1,03 ^{нз}	0,424
IPCA ₅ (3,69%)	10	56,36	5,64	0,63 ^{нз}	0,787
Грешка	168	1497,31	8,91	—	—
Укупно	269	9352,94	34,77	—	—

** статистички значајан утицај на нивоу 1% ($p < 0,01$); * статистички значајан утицај на нивоу 5% ($p < 0,05$); ^{нз} статистички незначајно ($p > 0,05$)

Ради детаљнијег сагледавања интеракције између генотипа и спољашње средине, као и процене њихове стабилности и адаптабилности у погледу броја зрна по класу, конструисани су АММИ₁ и АММИ₂ биplotови (Графикон 30 и Графикон 31). Посматрајући АММИ₁ биplot за број зрна по класу, уочава се да постоји значајан утицај како адитивних, тако и интеракцијских ефеката на испољавање ове особине. Генотип КГ-9/1 показује високу стабилност (ниске вредности IPCA₁ компоненте) уз изнадпросечан број зрна по класу, што га чини најпожељнијим у погледу ове особине, док генотип НС 40С показује стабилност, уз просечан број зрна. Са друге стране, генотипови КГ-16/1 и КГ-21/1 имају стабилне, али нешто ниже вредности броја зрна, што је индикативно за њихову прилагођеност, али и ограничен потенцијал у овом параметру. Генотип КГ-54/7/3-5 показао је број зрна виши од просека уз умерену стабилност, док је линија КГ-33/1, са високом вредношћу IPCA₁ компоненте, показала највећу нестабилност и исподпросечан број зрна по класу. Од агроеколошких средина, највећу стабилност у испољавању броја зрна по класу показала је средина Панчево 2023/2024, док је највећа варијабилност забележена у Крагујевцу у сезони 2022/2023. У Крушевцу 2022/2023 постигнут је исподпросечан број зрна по класу уз умерену стабилност, док је у Панчеву 2022/2023 вредност ове особине била блиска просеку огледа уз ниску стабилност. Укупно посматрано, већина генотипова спелте показала је нешто већу осетљивост на промене услова средине у односу на генотипове хлебне

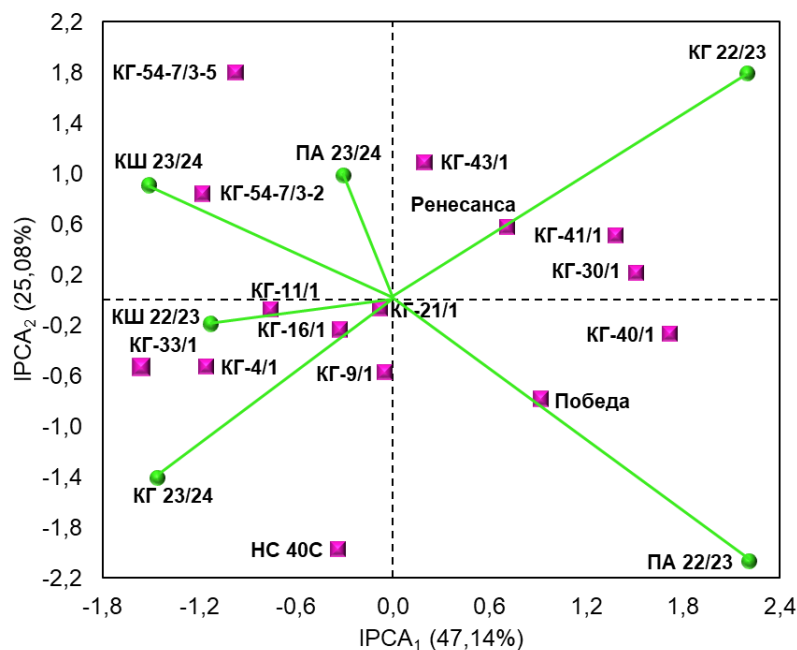
пшенице, што указује на потребу пажљивог избора локалитета при њиховој производњи.



Графикон 30. АММИ₁ (средња вредност vs. IPСА₁) биplot за процену стабилности броја зрна по класу код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Да би се детаљније сагледала интеракција генотип × спољашња средина у погледу броја зрна по класу, креиран је АММИ₂ (IPСА₁ × IPСА₂) биplot (Графикон 31). Генотипови КГ-21/1, КГ-9/1 и КГ-16/1 налазе се близу координатног почетка и имају ниске вредности на IPСА₁ и IPСА₂ оси, што указује на њихову стабилност у погледу броја зрна по класу на нивоу свих испитиваних средина. С друге стране, генотипови КГ-33/1, КГ-40/1, Ренесанса, Победа, НС 40С и КГ-54-7/3-5 су удаљени од центра биplotа, што указује на њихову већу нестабилност, али и могућу специфичну адаптацију у одређеним агроколошким условима. Генотип КГ-33/1 се налази у близини вектора који представљају средине Крагујевац 2023/2024 и Крушевац 2022/2023, што указује на његову позитивну интеракцију и специфичну адаптацију у овим условима. Такође, генотип НС 40С се налази у истом квадранту, позициониран близу вектора средине Крагујевац 2023/2024. Средине Панчево и Крушевац у 2023/2024. сезони испољавају високу стабилност у погледу броја зрна по класу и позиционирани су у оквиру истог квадранта, пружајући услове за подједнако

рангирање генотипова. Линије спелте показују позитивну интеракцију са овим срединама. С друге стране, средине Панчево и Крагујевац у 2022/2023 се одликују најдужим векторима, испољавајући највећу нестабилност у броју зрна по класу. Генотипови Победа и КГ-40/1 испољавају специфичну адаптабилност у условима средине Панчево 2022/2023, док генотипови Ренесанса, КГ/41-1, КГ-43/1 и КГ-30/1 испољавају позитивну интеракцију са средином Крагујевац 2022/2023.



Графикон 31. АММИ₂ (IPCA₁ vs. IPCA₂) биplot за процену стабилности броја зрна по класу код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Да би се утврдиле разлике у стабилности генотипова у погледу броја зрна по класу, израчунате су ASV вредности добијене АММИ анализом, на основу којих је извршено њихово рангирање (Табела 40). На основу добијених резултата, као најстабилнији генотип идентификован је КГ-21/1, са најнижом ASV вредношћу (0,131). Одликовао се добром стабилношћу и средњом вредношћу броја зрна по класу (37,8), нешто мањом од просечне за оглед. Високу стабилност показали су и генотипови КГ-16/1, КГ-9/1 и КГ-11/1, чије су ASV вредности биле знатно ниже од просечне. С друге стране, највећу нестабилност показали су генотипови КГ-54-7/3-5 и КГ-40/1, са ASV вредностима 2,245 и 2,373.

Табела 40. ASV (AMMI stability value) вредности и рангирање генотипова пшенице према стабилности у погледу броја зрна по класу у оквиру AMMI модела

Генотип	\bar{x}	IPC ₁	IPC ₂	ASV	Ранг
КГ-21/1	37,8	-0,080	-0,071	0,131	1
КГ-16/1	39,3	-0,330	-0,231	0,508	2
КГ-9/1	41,5	-0,050	-0,572	0,576	3
КГ-11/1	39,8	-0,760	-0,072	1,044	4
КГ-43/1	39,6	0,197	1,090	1,123	5
Ренесанса	42,1	0,707	0,574	1,127	6
Победа	40,8	0,920	-0,778	1,482	7
КГ-4/1	39,4	-1,160	-0,529	1,676	8
КГ-54-7/3-2	45,9	-1,180	0,843	1,824	9
КГ-41/1	36,0	1,380	0,511	1,960	10
НС 40С	40,2	-0,338	-1,970	2,024	11
КГ-30/1	39,3	1,510	0,216	2,081	12
КГ-33/1	34,4	-1,560	-0,536	2,205	13
КГ-54-7/3-5	43,7	-0,978	1,800	2,245	14
КГ-40/1	42,7	1,720	-0,268	2,373	15

6.2.6. AMMI анализа за принос зрна

Спроведена је AMMI-ANOVA анализа за принос зрна, која показује високозначајан утицај ($p < 0,01$) агроеколошких средина на фенотипску експресију приноса, са уделом у укупној варијацији од 38,22%. Такође, утврђен је високозначајан утицај фактора генотип ($p < 0,01$) у испољавању испитиване особине, који је у укупној варијацији учествовао са 26,06%. Интеракција генотип \times спољашња средина била је статистички веома значајна ($p < 0,01$), са уделом у варијацији од 30,01%, што значи да су генотипови различито реаговали на промене услова средине. Прве две главне интеракцијске компоненте (IPCA₁ и IPCA₂) објасниле су укупно 70,3% варијабилности интеракције, што показује да се највећи део интерактивног ефекта може приказати у дводимензионалном простору (Табела 41).

Табела 41. АММИ-ANOVA за принос зрна код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

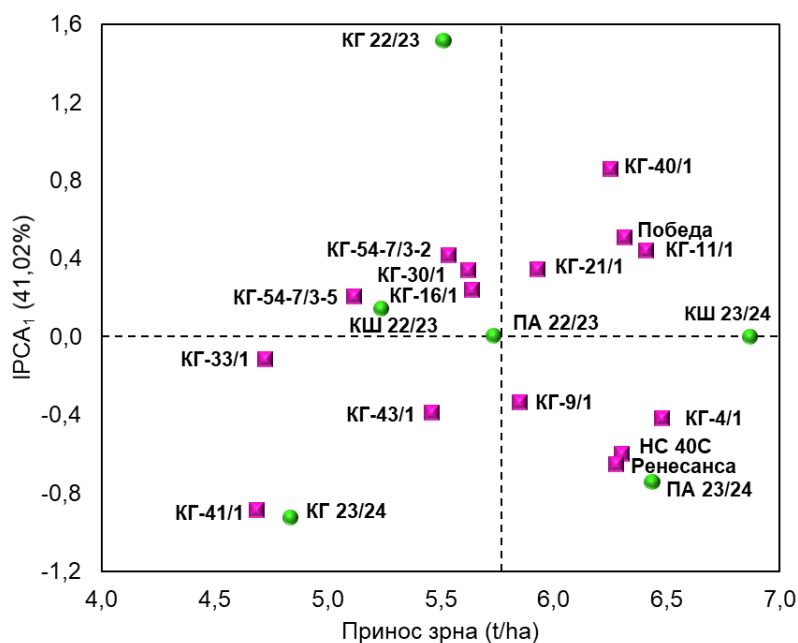
Извор варијације	Степени слободе (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F-вредност	p-вредност
Генотипови	14	88,23	6,30	61,47**	0,000
Агроеколошке средине	5	129,40	25,88	150,81**	0,000
Блокови	12	2,06	0,17	1,67 ^{нз}	0,077
Интеракције	70	101,61	1,45	14,16**	0,000
IPCA ₁ (41,02%)	18	41,68	2,32	22,59**	0,000
IPCA ₂ (29,29%)	16	29,77	1,86	18,14**	0,000
IPCA ₃ (16,12%)	14	16,39	1,17	11,42**	0,000
IPCA ₄ (7,87%)	12	7,99	0,68	6,50**	0,000
IPCA ₅ (5,67%)	10	5,77	0,58	5,63**	0,000
Грешка	168	17,23	0,10	—	—
Укупно	269	338,53	1,26	—	—

** статистички значајан утицај на нивоу 1% ($p < 0,01$); ^{нз} статистички незначајно ($p > 0,05$)

Да би се детаљније анализирао интеракција између генотипа и спољашње средине, као и проценила стабилност и адаптабилност генотипова у различитим агроеколошким условима у погледу приноса зрна, конструисани су АММИ₁ и АММИ₂ биплотови (Графикон 32 и Графикон 33).

На АММИ₁ биплоту (средња вредност особине према IPCA₁ компоненти), генотипови смештени у близини x -осе, односно са малим вредностима интеракцијске IPCA₁ компоненте, показују већу стабилност у свим испитиваним срединама. Насупрот томе, генотипови који се налазе даље од x -осе, са већим вредностима IPCA₁ компоненте, карактеришу се мањом стабилношћу због израженије интеракције са спољашњом средином. Анализом АММИ₁ биплота за принос зрна (Графикон 32) уочава се готово подједнак допринос адитивних и интеракцијских ефеката у објашњењу варијабилности ове особине, при чему су генотипови распоређени дуж обе осе координатног система. Најстабилнији генотип, позициониран близу x осе, је КГ-33/1, који истовремено испољава низак принос зрна на нивоу огледа. Висока стабилност је установљена код генотипова КГ-54-7/3-5 и КГ-16/1, који су се одликовали исподпросечним вредностима приноса зрна. Насупрот томе, генотипови КГ-40/1, НС 40С, Победа и Ренесанса су се карактерисали средње стабилном до нестабилном реакцијом, али су постигли висок принос зрна. Генотип КГ-4/1 издвојио се као најприноснији, уз испољену умерену стабилност. Највећу нестабилност у оквиру огледа показала је линија КГ-41/1, која је имала високу негативну вредност IPCA₁ компоненте и низак принос зрна. Посматрано по агроеколошким срединама, највећи

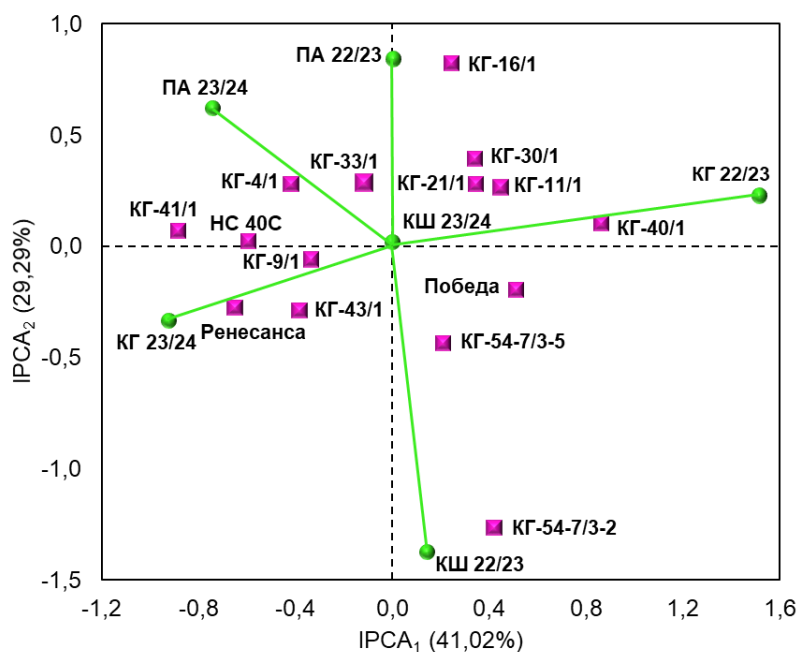
принос зрна остварен је у средини Крушевац 2023/2024, уз изразито високу стабилност анализиране особине. Висока стабилност, уз принос зрна испод просечног на нивоу огледа, забележена је у средини Крушевац 2022/2023. На локалитету Крагујевац, у обе вегетационе сезоне, уочена је висока нестабилност приноса зрна код анализираних генотипова, уз постизање исподпросечне вредности приноса. У средини Панчево 2022/2023 остварен је принос зрна у оквиру просечне вредности огледа, уз изражену стабилност, док је у сезони 2023/2024. на истом локалитету постигнут висок принос зрна, праћен израженом нестабилношћу (Графикон 32).



Графикон 32. АММ₁ (средња вредност vs. IPCA₁) биplot за процену стабилности приноса зрна код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Додатним приказом интеракције генотип × спољашња средина путем АММ₂ (IPCA₁ × IPCA₂) биplotа (Графикон 33) омогућено је прецизније сагледавање понашања испитиваних генотипова у различитим агроеколошким условима. Генотипови позиционирани близу координатног почетка, као што су КГ-33/1, КГ-9/1, КГ-43/1, КГ-21/1 и КГ-54-7/3-5, имају ниске вредности обе интеракцијске компоненте, због чега се сматрају стабилним генотиповима по свим агроеколошким срединама. Генотип КГ-54-7/3-2, која је најудаљенија од координатног почетка, одликује се израженом нестабилношћу. Такође, нестабилном реакцијом се карактеришу и

генотипови КГ/16-1, КГ-40/1, КГ-41/1, који се одликују ниским вредностима једне или обе интеракцијске осе. Међутим, резултат нестабилне реакције ових генотипова може да буде њихова специфична адаптабилност у одређеним срединама. Наиме, генотип КГ-54-7/3-2 је позициониран близу вектора средине Крушевац 2022/2023, што указује на специфичну адаптацију овог генотипа специфичним условима дате средине. Такође, генотип КГ-40/1 показује специфичну адаптабилност у средини Крагујевац 2022/2023. Поменута агроеколошка средина се одликује најдужим вектором, што указује на њен највећи допринос интеракцији генотип \times спољашња средина и изражене разлике у приносу зрна између испитиваних генотипова у тој средини. Генотип Ренесанса се налази у оквиру вектора средине Крагујевац 2023/2024, испољавајући позитивну интеракцију са овом средином. Вектори агроеколошких средина Панчево 2022/2023 и Панчево 2023/2024 међусобно заклапају оштар угао, што указује да пружају сличне услове за подједнако рангирање генотипова у погледу приноса зрна. Генотипови НС 40С и КГ-41/1 су позиционирани близу вектора агроеколошке средине Панчево 2023/2024, док генотип КГ-16/1 показује позитивну интеракцију са средином Панчево 2022/2023.



Графикон 33. АММ₂ (IPCA₁ vs. IPCA₂) биplot за процену стабилности приноса зрна код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

У циљу детаљније процене стабилности генотипова у погледу приноса зрна, израчунате су вредности ASV (AMMI Stability Value), које омогућавају поузданије рангирање генотипова на основу њихове реакције на различите агроеколошке услове (Табела X). Вредности ASV су добијене на основу прве две главне компоненте интеракције (PC1 и PC2) из AMMI анализе. Генотипови са нижим ASV вредностима сматрају се стабилнијим, јер показују мање одступање у реакцији на промене средине.

Према резултатима, најстабилнији генотип у погледу приноса зрна био је КГ-33/1, са најнижом ASV вредношћу (0,327), што указује на његову конзистентну продуктивност у различитим срединама. Одмах иза њега следи КГ-9/1 (0,473), који је такође показао високу стабилност, док су генотипови КГ-54-7/3-5 и КГ-21/1 такође окарактерисани као стабилни, са ASV вредностима испод просека. С друге стране, највећу варијабилност, односно најмању стабилност, показали су генотипови КГ-54-7/3-2 (1,396), КГ-41/1 (1,243) и КГ-40/1 (1,211), што указује да су њихови приноси били значајније под утицајем промена агроеколошких услова.

Табела 42. ASV (AMMI stability value) вредности и рангирање генотипова пшенице према стабилности у погледу приноса зрна у оквиру AMMI модела

Генотип	\bar{x} (t/ha)	IPC ₁	IPC ₂	ASV	Ранг
КГ-33/1	4,72	-0,113	0,286	0,327	1
КГ-9/1	5,85	-0,335	-0,062	0,473	2
КГ-54-7/3-5	5,11	0,208	-0,436	0,524	3
КГ-21/1	5,93	0,346	0,278	0,559	4
КГ-43/1	5,46	-0,385	-0,287	0,611	5
КГ-30/1	5,62	0,343	0,393	0,621	6
КГ-4/1	6,48	-0,415	0,278	0,644	7
КГ-11/1	6,41	0,445	0,264	0,677	8
Победа	6,31	0,510	-0,194	0,740	9
НС 40С	6,30	-0,595	0,023	0,833	10
КГ-16/1	5,64	0,244	0,824	0,892	11
Ренесанса	6,28	-0,651	-0,275	0,952	12
КГ-40/1	6,25	0,862	0,102	1,211	13
КГ-41/1	4,68	-0,886	0,071	1,243	14
КГ-54-7/3-2	5,53	0,421	-1,266	1,396	15

6.2.7. АММИ анализа за масу 1000 зрна

Резултати АММИ-ANOVA анализе за масу 1000 зрна показали су да су агроеколошке средине имале доминантан утицај на варијабилност ове особине ($p < 0,01$) и објашњавале су укупно 75,65% варијације огледа. Значајан ефекат спољашњих услова указује да фактори као што су климатски параметри и особине земљишта различитих локалитета у великој мери одређују фенотипску експресију масе 1000 зрна. Поред тога, ефекат генотипа био је високозначајан ($p < 0,01$), са уделом у укупној варијацији од 10,51%. Интеракција генотип \times спољашња средина такође је била изразито значајна ($p < 0,01$), и доприносила је варијацији са 12,04%, што указује на различите реакције генотипова у различитим агроеколошким условима. Ово потврђује оправданост примене АММИ модела, који омогућава детаљније сагледавање природе ове интеракције. Прве две главне компоненте (IPCA₁ и IPCA₂) објашњавају укупно 81,22% варијабилности интеракције, што показује да се највећи део интеракције може успешно представити у дводимензионалном простору (Табела 43).

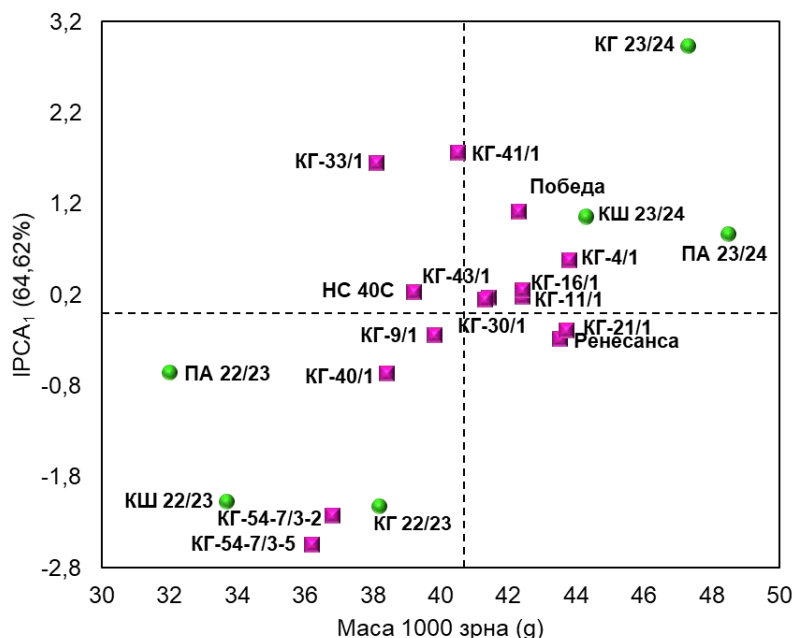
Табела 43. АММИ-ANOVA за масу 1000 зрна код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Извор варијације	Степени слободе (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F- вредност	p- вредност
Генотипови	14	1561,49	111,53	88,08**	0,000
Агроеколошке средине	5	11236,71	2247,34	507,84**	0,000
Блокови	12	53,10	4,42	3,49**	0,000
Интеракције	70	1789,06	25,56	20,18**	0,000
IPCA ₁ (64,62%)	18	1156,18	64,23	50,73**	0,000
IPCA ₂ (16,60%)	16	296,96	18,56	14,66**	0,000
IPCA ₃ (8,89%)	14	159,10	11,36	8,98**	0,000
IPCA ₄ (5,93%)	12	106,03	8,84	6,98**	0,000
IPCA ₅ (3,96%)	10	70,78	7,08	5,59**	0,000
Грешка	168	212,72	1,27	—	—
Укупно	269	14853,08	55,21	—	—

** статистички значајан утицај на нивоу 1% ($p < 0,01$)

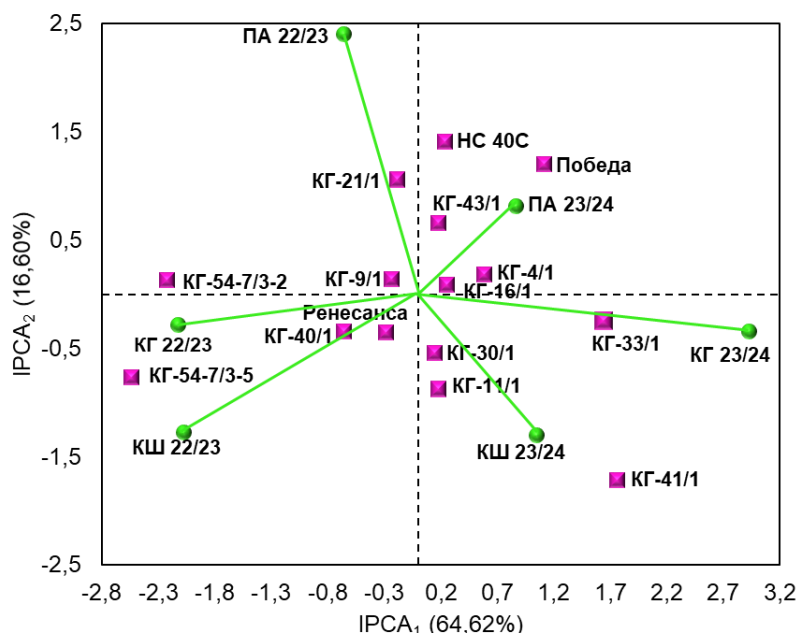
Посматрајући АММИ₁ биplot за масу 1000 зрна (Графикон 34), уочава се значајан ефекат адитивних и неадитивних (мултипликативних) извора варијације на масу 1000 зрна. Генотипови КГ-21/1 и КГ-4/1 имају вредности масе 1000 зрна изнад просека огледа и испољили су високу стабилност, јер су позиционирани близу x осе. Генотип КГ-4/1 се одликује највећом вредношћу и стабилношћу у погледу испољавања масе 1000 зрна. Такође, генотипови КГ-30/1, КГ-43/1, КГ-16/1 и КГ-11/1 се одликују

високом стабилношћу и изнадпросечним вредностима анализираних особина. Висока стабилност и вредност масе 1000 зрна нешто нижа од просечне, установљена је код генотипова НС 40С и КГ-9/1. Генотип КГ-41/1 показује високу нестабилност и вредност масе 1000 зрна у оквиру просечне на нивоу огледа. Значајна нестабилност је установљена и код генотипова КГ-33/1, КГ-54-7/3-5 и КГ-54-7/3-2, који се одликују ниским вредностима масе 1000 зрна на нивоу огледа. Највећа стабилност масе 1000 зрна забележена је у агроеколошким срединама Панчево 2022/2023 и Панчево 2023/2024, где је у 2022/2023. забележена најмања, а у 2023/2024. највећа вредност особине. Поред тога, значајна стабилност и висока просечна вредност масе 1000 зрна је установљена у средини Крушевац 2023/2024. Средина Крагујевац 2023/2024 показала је изнадпросечну вредност испитиване особине, али уз високу нестабилност, док су средине Крушевац 2022/2023 и Крагујевац 2022/2023 испољиле високу нестабилност и вредности испод просека за оглед.



Графикон 34. АММ₁ (средња вредност vs. IPCA₁) биplot за процену стабилности масе 1000 зрна код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Ради детаљнијег разумевања интеракције између генотипова и агроеколошких услова у погледу масе 1000 зрна, примењен је АММ₂ (IPCA₁ × IPCA₂) биplot (Графикон 35).



Графикон 35. АММИ₂ (IPCA₁ vs. IPCA₂) биplot за процену стабилности масе 1000 зрна код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Посматрањем АММИ₂ биplotа може се уочити да генотипови који се налазе у непосредној близини координатног центра, као што су КГ-16/1, КГ-4/1, КГ-9/1, Ренесанса и КГ-40/1, одликују се минималним интеракцијама са срединама, што указује на њихову стабилност у испољавању масе 1000 зрна. С друге стране, генотипови КГ-21/1, НС 40С, Победа, КГ-33/1, КГ-41/1, КГ-54-7/3-5 и КГ-54-7/3-2 се одликују високим вредностима једне или обе интеракцијске компоненте, због чега се сматрају нестабилним на нивоу огледа. Међутим, ови генотипови испољавају позитивну интеракцију, односно уску адаптабилност у одређеним срединама. Наиме, генотип КГ-21/1 је у позитивној интеракцији са средином Панчево 2022/2023, док су генотипови НС 40С и Победа специфично адаптирани у условима средине Панчево 2023/2024. Агроеколошка средина Панчево 2023/2024 има најкраћи вектор, што указује на стабилније услове у погледу испољавања масе 1000 зрна код већине генотипова. Насупрот томе, агроеколошка средина Панчево 2022/2023, са најдужим интеракцијским вектором, има највећи допринос интеракцији генотип × спољашња средина. Такође, средина Крагујевац 2023/2024 има дуг вектор, што указује на израженију варијабилност и јаче интеракцијске ефекте. Агроеколошка средина Крушевац 2023/2024 је смештена у исти квадрант биplotа са средином Крагујевац у истој сезони. Нестабилни генотип КГ-33/1 испољава позитивну интеракцију са

средином Крагујевац 2023/2024, док генотип КГ-41/1 има позитивну интеракцију са средином Крушевац 2023/2024. Вектори средина Крушевац и Крагујевац у 2022/2023 заклапају међусобно оштар угао, што упућује на сличност у интеракцијским обрасцима, односно у рангирању генотипова у датим срединама. Линија спелте КГ-54-7/3-5 испољава специфичну адаптацију у овим условима средине (Графикон 35).

Према прорачунатим вредностима ASV (Табела 44), генотип КГ-9/1 има највећу стабилност (ASV=0,481). Одмах иза њега су КГ-16/1 (0,509) и КГ-30/1 (0,618), који такође показују добру стабилност масе 1000 зрна у различитим агроеколошким условима. Генотипови Ренесанса, КГ-43/1 и КГ-11/1 такође су имали ниже вредности ASV од просечне, што их сврстава у групу стабилних генотипова. Супротно томе, генотипови КГ-54-7/3-2 и КГ-54-7/3-5 показали су највише вредности ASV (4,382 и 5,070), што указује на највећу нестабилност.

Табела 44. ASV (АММИ stability value) вредности и рангирање генотипова пшенице према стабилности у погледу масе 1000 зрна у оквиру АММИ модела

Генотип	\bar{x} (g)	IPC1	IPC2	ASV	Ранг
КГ-9/1	39,8	-0,234	0,136	0,481	1
КГ-16/1	42,4	0,254	0,087	0,509	2
КГ-30/1	41,3	0,149	-0,543	0,618	3
Ренесанса	43,5	-0,280	-0,353	0,656	4
КГ-43/1	41,4	0,177	0,657	0,744	5
КГ-11/1	42,4	0,182	-0,871	0,942	6
КГ-21/1	43,7	-0,188	1,050	1,114	7
КГ-4/1	43,8	0,587	0,186	1,173	8
КГ-40/1	38,4	-0,659	-0,344	1,345	9
НС 40С	39,2	0,238	1,410	1,486	10
Победа	42,3	1,120	1,200	2,515	11
КГ-33/1	38,1	1,650	-0,254	3,266	12
КГ-41/1	40,5	1,760	-1,720	3,875	13
КГ-54-7/3-2	36,8	-2,220	0,128	4,382	14
КГ-54-7/3-5	36,2	-2,540	-0,768	5,070	15

6.2.8. АММИ анализа за хектолитарску масу

Резултати АММИ-ANOVA анализе за хектолитарску масу показују да су фактори генотип, агроеколошке средине и интеракција генотип × спољашња средина високо значајно ($p < 0,01$) утицали на варијацију ове особине. Највећи удео у варијацији испитиване особине је имао фактор генотип (36,70%), затим фактор година (31,41%) и интеракција генотип × спољашња средина (27,61%). Интеракција генотип × спољашња средина је детаљно сагледана и разложена на интеракцијске компоненте, где прве две главне интеракцијске компоненте (IPCA₁ и IPCA₂) заједно објашњавају 87,31% укупне интеракције (Табела 45).

Табела 45. АММИ-ANOVA за хектолитарску масу код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

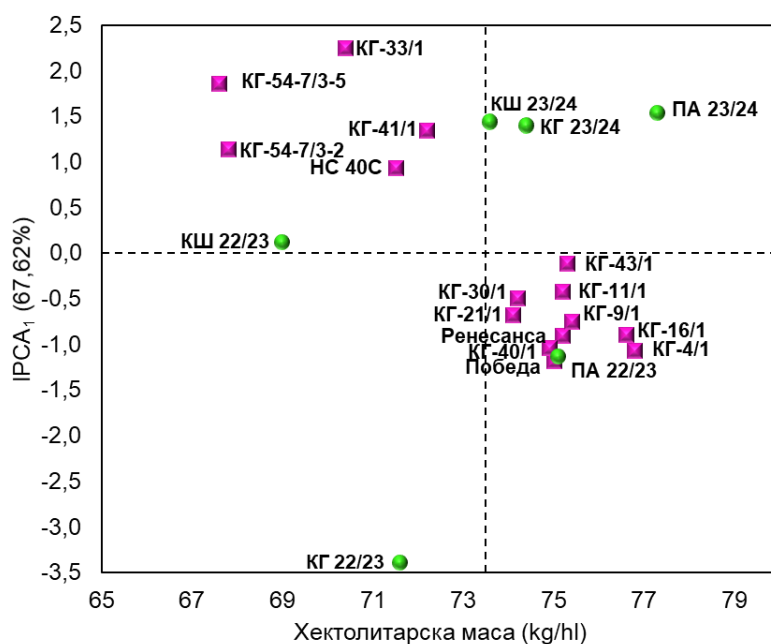
Извор варијације	Степени слободе (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F- вредност	p- вредност
Генотипови	14	2177,45	155,53	121,26**	0,000
Агроеколошке средине	5	1863,57	372,71	116,23**	0,000
Блокови	12	38,45	3,21	2,50*	0,006
Интеракције	70	1637,84	23,40	18,24**	0,000
IPCA ₁ (67,62%)	18	1107,54	61,53	47,97**	0,000
IPCA ₂ (19,69%)	16	322,96	20,18	15,74**	0,000
IPCA ₃ (11,35%)	14	185,26	13,23	10,32**	0,000
IPCA ₄ (1,17%)	12	19,20	1,60	1,25 ^{ns}	0,253
IPCA ₅ (0,17%)	10	2,88	0,29	0,22 ^{ns}	0,994
Грешка	168	215,47	1,28	–	–
Укупно	269	5932,78	22,05	–	–

** статистички значајан утицај на нивоу 1% ($p < 0,01$); * статистички значајан утицај на нивоу 5% ($p > 0,05$); ^{ns} статистички незначајно ($p > 0,05$)

Ради бољег разумевања интеракције између генотипа и спољашње средине креиран је АММИ₁ (средња вредност особине vs. IPCA₁) биplot (Графикон 36). Оваква анализа омогућава да се истовремено сагледају адитивни ефекти (средње вредности генотипова) и интеракциони ефекти (вредности прве главне компоненте). Генотипови који се налазе у близини хоризонталне осе испољавају стабилније вредности хектолитарске масе у различитим агроеколошким условима, док су они који су удаљенији од осе показали већу осетљивост на промене средине и специфичне реакције у одређеним срединама. Генотипови су подељени у две групе на биplotу, где се већи број генотипова налази испод апсцисе, одликујући се високом до умереном

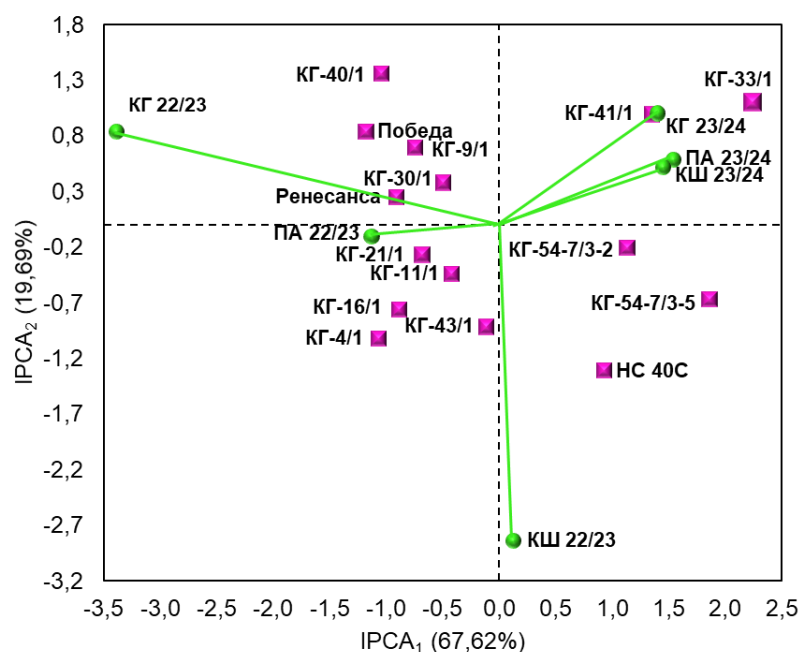
стабилношћу и изнадпросечним вредностима хектолитарске масе, док другу групу чине генотипови који се налазе изнад апсцисе, који испољавају средњу стабилност или нестабилност, уз исподпросечне вредности особине. Генотипови КГ-33/1 и КГ-54/7/3-5 показују ниску стабилност и исподпросечне вредности хектолитарске масе. Са друге стране, линије КГ-4/1 и КГ16/1 имају умерену стабилност и највеће вредности хектолитарске масе на нивоу огледа. Генотипови КГ-43/1, КГ-11/1 и КГ-9/1 испољавају високу стабилност и изнадпросечне вредности хектолитарске масе.

Посматрано по агроеколошким срединама, највећа стабилност хектолитарске масе утврђена је у средини Крушевац 2022/2023 уз ниску вредност анализираних особине. Положај средине Панчево 2023/2024 на биplotу указује на умерен допринос интеракцији генотип \times средина, уз истовремено високе средње вредности хектолитарске масе. Средине Крушевац и Крагујевац у сезони 2023/2024 не показују значајне разлике у мултипликативном ефекту у односу на средину Панчево 2023/2024, али се разликују у адитивном ефекту, испољавајући знатно ниже средње вредности хектолитарске масе. С друге стране, агроеколошка средина Крагујевац 2022/2023 је испољила највећу нестабилност уз исподпросечне вредности анализираних особине (Графикон 36).



Графикон 36. АММ₁ (средња вредност vs. IPCA₁) биplot за процену стабилности хектолитарске масе код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Ради детаљнијег увида у интеракцију генотип \times спољашња средина у погледу хектолитарске масе, конструисан је АММ₂ биplot (IPCA₁ \times IPCA₂), Графикон 37. Према распореду на биplotу, генотипови КГ-11/1, КГ-21/1, Ренесанса и КГ-9/1 налазе се близу координатног почетка, што упућује на њихову стабилност, односно малу интеракцију са спољашњом средином.



Графикон 37. АММ₂ (IPCA₁ vs. IPCA₂) биplot за процену стабилности хектолитарске масе код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Генотипови КГ-40/1, КГ33/1, КГ-54-7/3-5, КГ-43/1, НС 40С и КГ-4/1 се одликују високим вредностима једне или обе интеракцијске осе, што их позиционира удаљено од координатног почетка. Дакле, наведени генотипови испољавају нестабилност у погледу хектолотарске масе. Међутим, ови генотипови испољавају специфичну адаптабилност у одређеним агроеколошким срединама. Наиме, линија КГ-40/1 је смештена у исти квадрант биplotа са агроеколошком средином Крагујевац 2022/2023, што потврђује њену специфичну адаптацију у овој средини. Поменута средина се одликује најдужим вектором, што показује њен највећи допринос интеракцији генотип \times спољашња средина. Генотипови КГ-41/1 и КГ-33/1 испољавају позитивну интеракцију са срединама Панчево, Крагујевац и Крушевац у сезони 2022/2023, што указује на њихову повољну реакцију и добру прилагођеност агроеколошким условима

те сезоне. Агроеколошка средина Крушевац 2022/2023 има изражен допринос интеракцији генотип \times спољашња средина, односно изражену варијабилност у испољавању анализираних особине. У истом квадранту са овом средином позиционирани су генотипови НС 40С и КГ-54-7/3-5, што указује на њихову специфичну адаптабилност у условима дате средине. С друге стране, агроеколошка средина Панчево 2022/2023 има најкраћи вектор, што указује на високу стабилност хектолитарске масе у условима дате средине (Графикон 37).

За процену стабилности генотипова у погледу хектолитарске масе извршено је израчунавање вредности ASV (AMMI Stability Value), Табела 46. Према добијеним резултатима, најстабилнији генотип био је КГ-11/1, са најнижом ASV вредношћу (0,896). Одмах иза њега налазе се КГ-43/1 (0,932) и КГ-30/1 (0,987), који су такође показали висок ниво стабилности у различитим агроеколошким условима. Супротно томе, највећу варијабилност показао је генотип КГ-33/1, чија је ASV вредност износила 4,309, што га сврстава у најнестабилнији међу анализираним генотиповима. Високе вредности ASV забележене су и код КГ-54-7/3-5 (3,509) и КГ-41/1 (2,689), што упућује на њихову већу осетљивост на промене услова гајења.

Табела 46. ASV (AMMI stability value) вредности и рангирање генотипова пшенице према стабилности у погледу хекторлитарске масе у оквиру AMMI модела

Генотип	\bar{x} (kg/hl)	IPC1	IPC2	ASV	Ранг
КГ-11/1	75,2	-0,422	-0,438	0,896	1
КГ-43/1	75,3	-0,111	-0,909	0,932	2
КГ-30/1	74,2	-0,493	0,374	0,987	3
КГ-21/1	74,1	-0,677	-0,277	1,284	4
КГ-9/1	75,4	-0,746	0,693	1,546	5
Ренесанса	75,2	-0,906	0,245	1,696	6
КГ-16/1	76,6	-0,887	-0,765	1,812	7
КГ-54-7/3-2	67,8	1,140	-0,208	2,121	8
НС 40С	71,5	0,934	-1,310	2,170	9
КГ-4/1	76,8	-1,070	-1,020	2,229	10
Победа	75	-1,180	0,839	2,341	11
КГ-40/1	74,9	-1,040	1,360	2,358	12
КГ-41/1	72,2	1,350	0,991	2,689	13
КГ-54-7/3-5	67,6	1,860	-0,669	3,509	14
КГ-33/1	70,4	2,250	1,100	4,309	15

6.2.9. АММИ анализа за садржај протеина у зрну

Сprovedена је АММИ-ANOVA за садржај протеина у зрну (Табела 47), где фактор агроеколошке средине има најизраженији утицај на укупну варијабилност ове особине ($p < 0,01$), са уделом од 58,67% у укупној суми квадрата огледа. Фактор генотип је, такође, имао високозначајан ($p < 0,01$) допринос варијацији садржаја протеина у зрну, објашњавајући 12,30% варијације. Интеракција генотип \times спољашња средина имала је високозначајан ($p < 0,01$) ефекат у варијацији садржаја протеина у зрну, доприносећи варијацији са 20,25%, што указује да генотипови различито реагују на услове средине. Овај резултат потврђује оправданост примене АММИ модела. Највећи део интеракције је објашњен са прве две компоненте: $IPCA_1$ (35,53%) и $IPCA_2$ (25,83%), које заједно објашњавају 61,36% варијабилности интеракције.

Табела 47. АММИ-ANOVA за садржај протеина у зрну код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

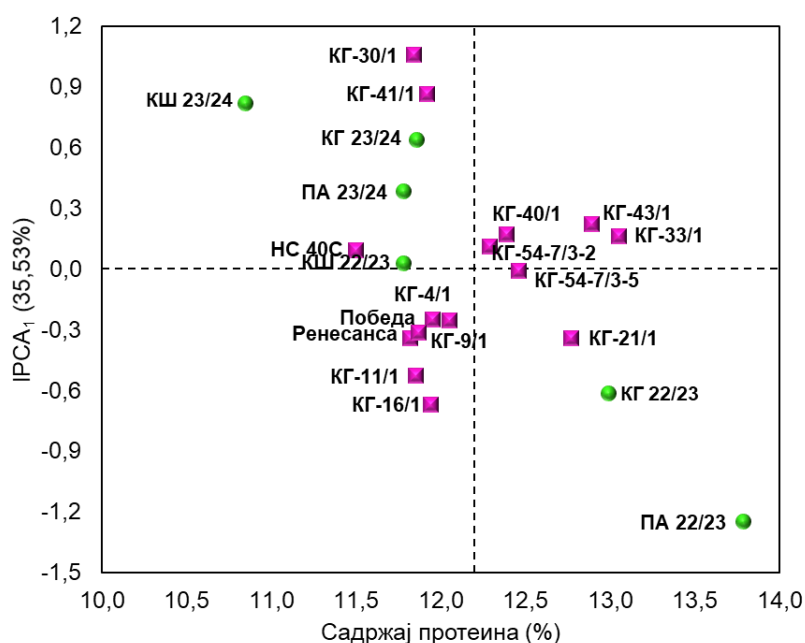
Извор варијације	Степени слободe (df)	Сума квадрата (SS)	Средина квадрата (MS)	F-вредност	p-вредност
Генотипови	14	51,34	3,67	20,05**	0,000
Агроеколошке средине	5	244,90	48,98	99,28**	0,000
Блокови	12	5,92	0,49	2,70**	0,002
Интеракције	70	84,54	1,21	6,60**	0,000
$IPCA_1$ (35,53%)	18	30,04	1,67	9,13**	0,000
$IPCA_2$ (25,83%)	16	21,84	1,36	7,46**	0,000
$IPCA_3$ (18,35%)	14	15,51	1,11	6,06**	0,000
$IPCA_4$ (11,80%)	12	9,98	0,83	4,55**	0,000
$IPCA_5$ (8,48%)	10	7,17	0,71	3,92**	0,000
Грешка	168	30,72	0,18	–	–
Укупно	269	417,42	1,55	–	–

** статистички значајан утицај на нивоу 1% ($p < 0,01$)

Посматрајући АММИ₁ биplot за садржај протеина у зрну (Графикон 38), генотипови НС 40С, КГ-4/1, КГ-9/1, КГ-54-7/3-5, КГ-54-7/3-2, КГ-40/1, КГ-33/1 и КГ-43/1, који су позиционирани близу x осе, односно са ниским вредностима $IPCA_1$ компоненте, испољавају високу стабилност кроз све средине. Међу наведеним генотиповима, КГ-33/1 и КГ-43/1 се одликују највећим садржајем протеина у зрну. Такође, линије спелте (КГ-54-7/3-5 и КГ-54-7/3-2) и линија КГ-40/1 испољавају истовремено високу стабилност и изнадпросечан садржај протеина. С друге стране, стабилни генотипови НС 40С и КГ-4/1 се одликују исподпросечним вредностима

садржаја протеина. Линије КГ-11/1, КГ-16/1, КГ-30/1 и КГ-41/1 се одликују исподпросечним вредностима приноса зрна и израженом нестабилношћу.

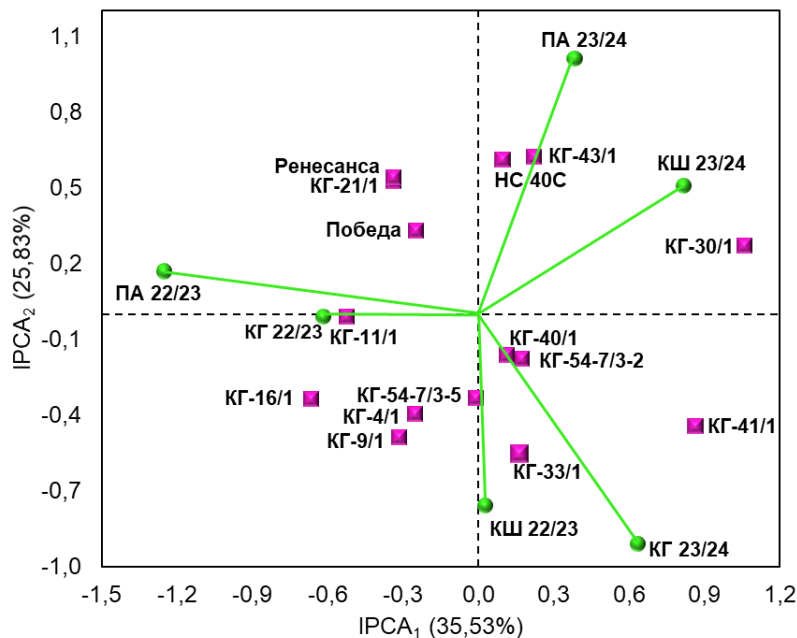
Посматрано по агроеколошким срединама, највећа стабилност садржаја протеина у зрну испољена је у средини Крушевац 2022/2023, где је остварена нижа вредност анализиране особине од просека за оглед. Такође, сличним вредностима особине се одликују средине Панчево 2023/2024 и Крагујевац 2023/2024, али са нешто израженијим доприносом интеракцији генотип × спољашња средина. Најнижа вредност садржаја протеина је остварена у средини Крушевац 2023/2024, уз изражену нестабилност. Високе вредности садржаја протеина су постигнуте у срединама Крагујевац 2022/2023 и Панчево 2022/2023, где је у средини Панчево 2022/2023 утврђена највећа вредност и највећа нестабилност (Графикон 38).



Графикон 38. АММ₁ (средња вредност vs. IPSCA₁) биplot за процену стабилности садржаја протеина у зрну код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Како би се прецизније оценила интеракција генотип × спољашња средина, конструисан је АММ₂ (IPSCA₁ × IPSCA₂) биplot (Графикон 39). Стабилност и адаптабилност генотипова процењују се на основу позиција тачака и вектора на биplotу. Генотипови КГ-40/1, КГ-54-7/3-2, КГ-54-7/3-2 и Победа су позиционирани близу координатног почетка, са ниским вредностима IPSCA₁ и IPSCA₂, што указује на изражену стабилност садржаја протеина у зрну на нивоу огледа. Генотипови НС 40С и

КГ-43/1 позиционирани су удаљено од центра биплота, испољавајући већу нестабилност, али показују специфичну адаптацију у агроеколошкој средини Панчево 2023/2024, због своје близине вектору који представља ову средину. Такође, генотип КГ-30/1 испољава нестабилност на нивоу огледа, али позитивну интеракцију са средином Крушевац 2023/2024. Агроеколошке средине Панчево 2023/2024 и Крушевац 2023/2024 заклапају међусобно оштар угао, што указује на сличне обрасце интеракције и подједнако рангирање генотипова у овим срединама. Генотип КГ-33/1 има позитивну интеракцију са средином Крагујевац 2023/2024 и Крушевац 2022/2023, које међусобно формирају оштар угао, што показује да ове средине пружају услове за подједнако рангирање генотипова. Агроеколошка средина Панчево 2022/2023 има најдужи интеракцијски вектор, што одражава високу варијабилност у погледу садржаја протеина. Линија КГ-11/1 показује позитивну интеракцију са поменутом средином, односно специфичну адаптабилност у условима дате средине (Графикон 39).



Графикон 39. АММИ₂ ($IPCA_1$ vs. $IPCA_2$) биplot за процену стабилности садржаја протеина у зрну код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

Да би се прецизније проценила стабилност генотипова у погледу садржаја протеина у зрну, израчунате су вредности ASV (AMMI Stability Value) на основу прве две главне компоненте интеракције добијене АММИ анализом (Табела 48). Генотипови са нижом вредношћу ASV показују већу стабилност, док веће вредности указују на

већу варијабилност у различитим срединама. Најстабилнији генотип за садржај протеина је КГ-40/1, са најнижом вредношћу ASV од 0,211. Поред њега, високу стабилност показују и КГ-54-7/3-2 (0,270) и КГ-54-7/3-5 (0,332). С друге стране, најнестабилнији генотип је КГ-30/1 са ASV вредношћу 1,272, а следе га КГ-41/1 (1,109) и КГ-16/1 (0,851), Табела 48.

Табела 48. ASV (AMMI stability value) вредности и рангирање генотипова пшенице према стабилности у погледу садржаја протеина у зрну у оквиру AMMI модела

Генотип	\bar{x} (%)	PC1	PC2	ASV	Ранг
КГ-40/1	12,29	0,114	-0,163	0,211	1
КГ-54-7/3-2	12,39	0,172	-0,179	0,270	2
КГ-54-7/3-5	12,46	-0,009	-0,332	0,332	3
Победа	11,95	-0,248	0,328	0,438	4
КГ-4/1	12,05	-0,251	-0,396	0,493	5
КГ-33/1	13,05	0,164	-0,555	0,587	6
КГ-9/1	11,87	-0,314	-0,489	0,612	7
КГ-11/1	11,85	-0,524	-0,011	0,615	8
НС 40С	11,50	0,094	0,613	0,623	9
Ренесанса	11,82	-0,338	0,527	0,659	10
КГ-21/1	12,77	-0,338	0,541	0,671	11
КГ-43/1	12,89	0,223	0,624	0,677	12
КГ-16/1	11,94	-0,667	-0,336	0,851	13
КГ-41/1	11,92	0,867	-0,443	1,109	14
КГ-30/1	11,84	1,060	0,270	1,272	15

6.3. GGE биplot анализа стабилности и адаптабилности генотипова

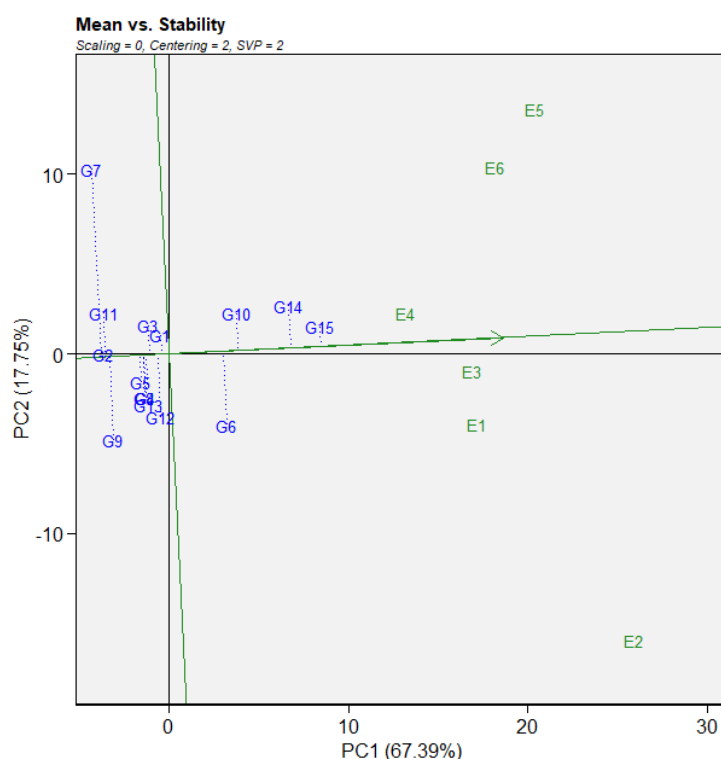
За разлику од АММИ биplotа који раздваја главне ефекте генотипа, спољашње средине и њихове интеракције, GGE биplot укључује главни ефекат генотипа и интеракцију генотипа и спољашње средине ($G + GE$), док је главни ефекат средине уклоњен центрирањем података по срединама. На тај начин GGE биplot анализа омогућава јаснију процену учинка генотипова у погледу испитиване особине и стабилности генотипова у различитим агроеколошким условима. Дакле, GGE биplot додатно пружа увид у структуру адаптације генотипова према специфичним срединама, као и у сам потенцијал средина да издвоје супериорне генотипове.

6.3.1. GGE биplot анализа за висину биљке

Сprovedена је GGE биplot анализа за висину биљке, која показује заједнички ефекат генотипа и интеракције генотип \times средина ($G + GE$), при чему главни ефекат средине није укључен у анализу. Прва главна компонента (PC1) објашњава 67,39%, а друга (PC2) 17,75% укупне варијабилности генотипа и интеракције генотип \times спољашња средина, што заједно чини 85,14% објашњене варијабилности (Графикони 40–43).

Креиран је "Mean vs. Stability" за висину биљке, с циљем да се сагледају просечне вредности ове особине и стабилност генотипова (Графикон 40). Положај генотипова дуж АЕС осе (Average Environment Coordination), означене зеленом бојом, приказује њихове просечне вредности анализираних особина, при чему веће вредности леже у правцу стрелице на оси. Стабилност генотипова је представљена удаљеношћу од те осе (апсцисе), при чему се генотипови са великом удаљеношћу од АЕС апсцисе, односно са великом пројекцијом на АЕС ординату, сматрају нестабилним, док се генотипови који су позиционирани близу АЕС осе сматрају стабилним. Генотипови КГ-30/1 (G6), КГ-43/1 (G10), и две линије спелте КГ-54-7/3-5 (G14) и КГ-54-7/3-5 (G15) су смештени са десне стране АЕС осе, у правцу стрелице, те показују високе просечне вредности висине биљке. Међу поменутиим генотиповима, сви сем КГ-30/1 (G6) се одликују високом стабилношћу. С друге стране, генотипови на супротном крају АЕС осе, као

што су КГ-33/1 (G7), НС 40С (G11), КГ-9/1 (G2) и КГ-41/1 (G9), карактеришу се веома ниским вредностима висине биљке, где се КГ-33/1 (G7) издваја са највећом нестабилношћу и најнижом вредношћу особине. Генотипови КГ-9/1 (G2) и НС 40С (G11) се истовремено карактеришу ниским вредностима висине биљке и високом стабилношћу, што је пожељно када је у питању ова особина.

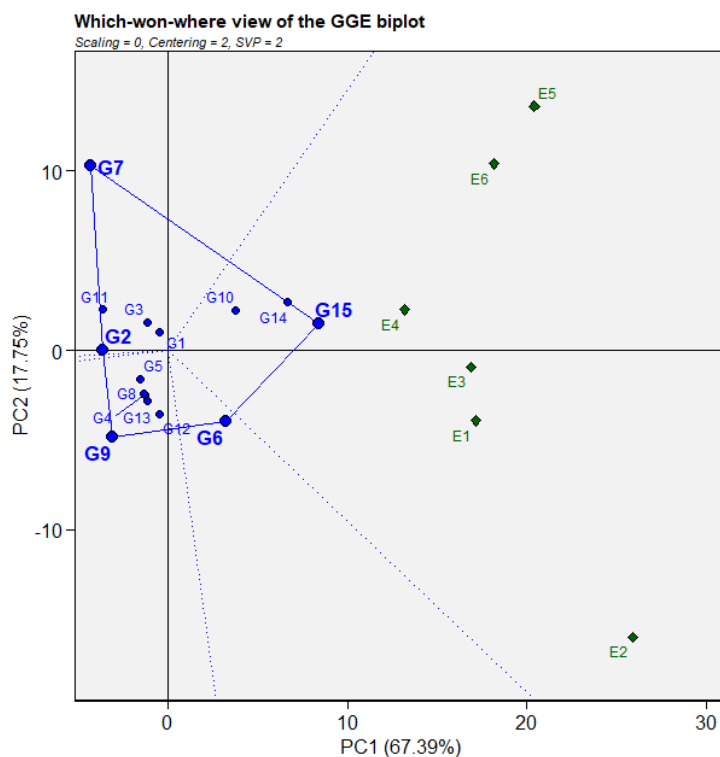


Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 40. “Mean vs. Stability” GGE биplot за висину биљке

С циљем да се идентификују победнички генотипови у специфичним срединама, као и да се издвоје мегасредине, креиран је „which-won-where“ GGE биplot (Графикон 41). Генотипови КГ-9/1 (G2), КГ-33/1 (G7), КГ-41/1 (G9), КГ-30/1 (G6), КГ-54-7/3-2 (G15) су позиционирани најудаљеније од координатног почетка у различитим правцима, и фомирају полигон. Ови генотипови представљају најекстремније генотипове, који имају највеће или најмање вредности бар у једној средини. С друге стране, генотипови који се налазе унутар полигона, а ближе центру биplotа, као што су КГ-4/1 (G1), КГ-11/1 (G3), КГ-21/1 (G5), КГ-40/1 (G8), КГ-16/1 (G4), представљају

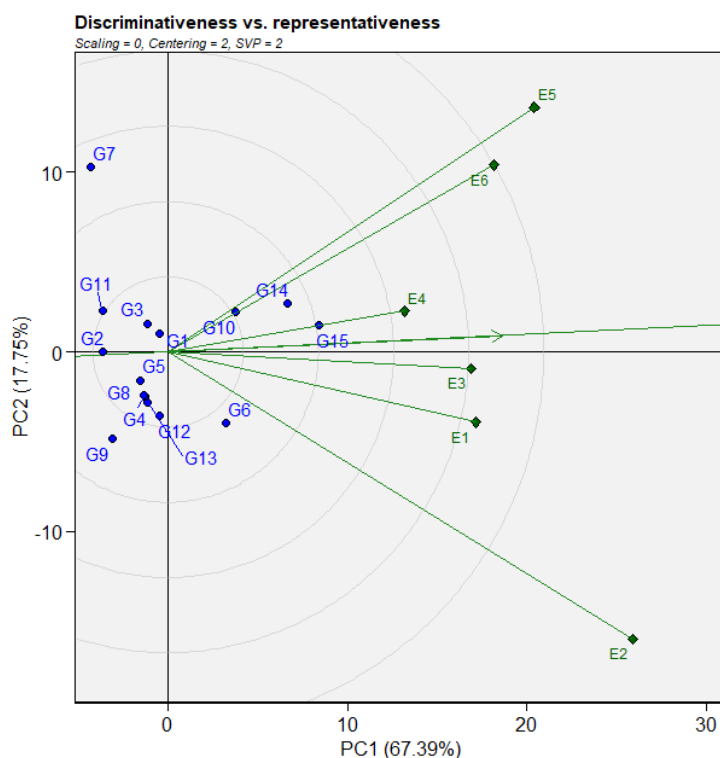
стабилне генотипове по срединама. Биplot је подељен на различите секторе (плаве испрекидане линије које пролазе кроз центар биplotа). Генотип позициониран на врху полигона унутар одређеног сектора представља победнички генотип у том сектору. У овом случају, све средине се налазе у оквиру истог сектора, у којем се на врху полигона налазе линије спелте КГ-54-7/3-5 (G15) и КГ-54-7/3-2 (G14), при чему се КГ-54-7/3-5 (G15) издваја као победнички генотип. Оба генотипа припадају форми спелте пшенице (*Triticum spelta* L.), која се одликује значајно већом висином биљке у односу на остале испитиване генотипове хлебне пшенице (*Triticum aestivum* L.), и то у свим агроеколошким срединама. Управо изражена разлика у овој особини утицала је на структуру главних компоненти и позиционирање генотипова на биplotу, што је довело до тога да све средине буду распоређене у оквиру једног истог сектора. Генотипови КГ-33/1 (G7), КГ-9/1 (G2) и КГ-41/1 (G9) се налазе у секторима без средина, на супротном крају од генотипова спелте, и карактеришу се ниским вредностима висине биљке.



Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 41. „Which-won-where“ GGE биplot за висину биљке

Анализа „Discriminativness vs. representativeness“ GGE биplot, показује дискриминативност и репрезентативност агроеколошких средина у односу на варирање висине биљке код анализираних генотипова пшенице (Графикон 42). Дужина вектора сваке средине указује на њену дискриминативност, односно њену способност да разликује генотипове, где дужи вектори указују на већу моћ дискриминативности, односно за уочавање разлика између генотипова. На овом биplotу, средине Крагујевац 2022/2023 (E2), Крагујевац 2023/2024 (E5) и Крушевац 2023/2024 (E6) имају најдуже векторе и показују добру дискриминативност. Супротно томе, средина Панчево 2023/2024 (E4) има најмању дискриминантну моћ, односно најмању вредност у селекцији за висину биљке.



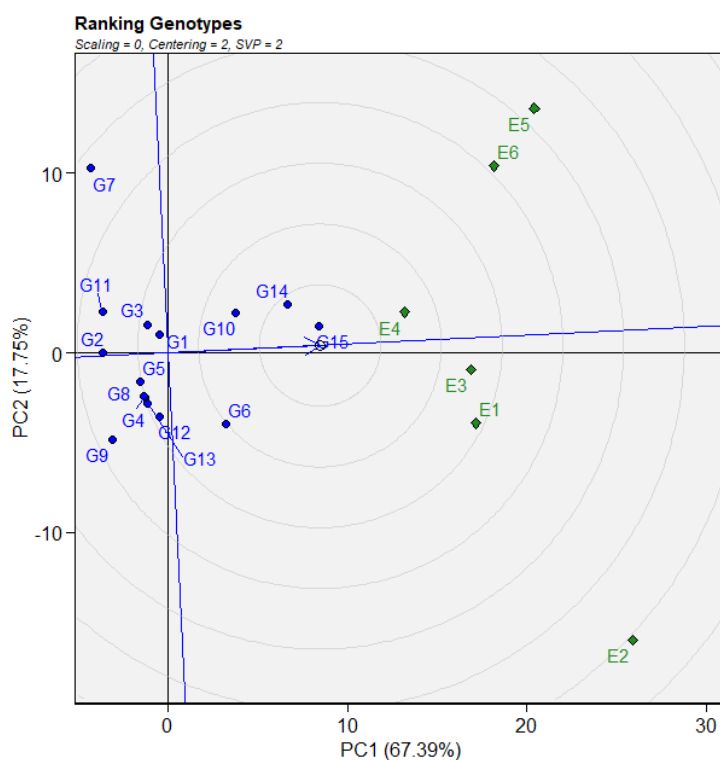
Легенда: Ознаке генотипова: G1 –КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 42. „Discriminativness vs. representativeness“ GGE биplot за висину биљке

Репрезентативност се процењује на основу угла вектора средија у односу на АЕС осу, која је означена зеленом бојом, где мањи угао указује на већу репрезентативност. Према томе, најрепрезентативније средине су Крушевац 2022/2023 (E3) и Панчево

2023/2024 (E4), затим Панчево 2022/2023 (E1), које заклапају најмањи угао са АЕС осом. То значи да су резултати генотипова у погледу висине биљке у датим срединама слични њиховом понашању у целокупном испитиваном окружењу. Супротно овоме, средина Крагујевац 2022/2023 (E2) највећи угао са АЕС осом, што значи да понашање генотипова у тој средини одступа од њиховог општег понашања у испољавању висине биљке, па је она слабо репрезентативна (Графикон 42).

„Ranking genotypes“ GGE биplot омогућава рангирање генотипова у односу на замишљени идеал, односно идеални генотип, који се налази у центру концентричних кругова у правцу плаве стрелице (Графикон 43).



Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 43. „Ranking genotypes“ за висину биљке на основу GGE биplot анализе

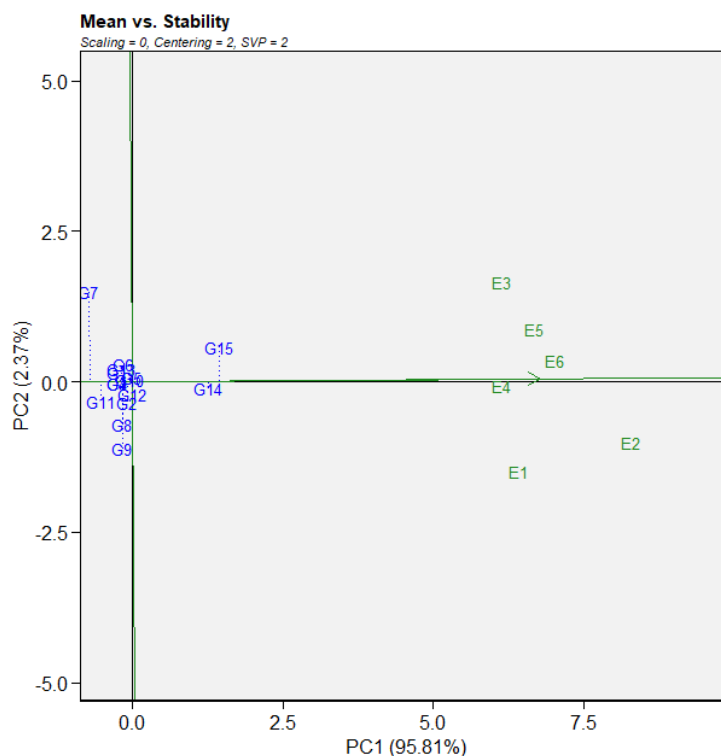
Генотипови који се налазе најближе тој тачки (кругу) сматрају се најпожељнијим генотиповима, јер показују и високу вредност особине и високу стабилност по срединама. Линија спелте КГ-54-7/3-2 (G15), која је позиционирана у центру концентричних кругова, је најближа идеалном генотипу, што указује да је остварила

високу вредност испитиване особине и високу стабилност на нивоу огледа. Близу идеалног генотипа, се налази и линија спелте КГ-54-7/3-5 (Г14), као и линија хлебне пшенице КГ-43/1 (Г10). Међутим, како висока вредност висине биљке није пожељна особина у селекцији, не можемо се руководити овим начином рангирања генотипова за ову особину. Линије хлебне пшенице КГ-4/1 (Г1), КГ-9/1 (Г2), КГ-11/1 (Г3), КГ-16/1 (Г4), КГ-21/1 (Г5) и КГ-40/1 (Г8), показали су нижу (исподпросечну) вредност висине биљке, уз добру стабилност. Сорте стандарди НС 40С (Г11), Ренесанса (Г12) и Победа (Г13) показале су пожељне особине у погледу висине биљке – ниже просечне вредности уз испољавање одговарајуће стабилности. Генотип КГ-33/1 (Г7) је најудаљенији од идеала, испољавајући најнижу просечну вредност висине биљке, али и највећу нестабилност (Графикон 43).

6.3.2. GGE биplot анализа за дужину класа

Прве две главне компоненте GGE биplot анализе за дужину класа (PC1 и PC2) заједно објашњавају 98,18% укупне варијабилности, што указује на висок ниво поузданости дводимензионалне интерпретације резултата (Графикони 44–47).

Креиран је ”Mean vs. Stability“ биplot за дужину класа, где координатна оса АЕС указује на просечне вредности ове особине по генотиповима, док стабилност зависи од удаљености од те осе (Графикон 44). Већина генотипова налази се у непосредној близини АЕС осе, са малом пројекцијом на АЕС ординату, што указује на њихово стабилно понашање у различитим срединама. Посебно се издвајају генотипови КГ-54-7/3-5 (G14) и КГ-54-7/3-2 (G15), који су позиционирани у правцу стрелице на АЕС апсциси, одликујући се највећим вредностима анализираних особина. Међу њима, генотип КГ-54-7/3-5 (G14) се одликује највећом стабилношћу, односно најмањем доприносу интеракцији генотип \times спољашња средина (≈ 0 пројекције на АЕС ординату). Супротно, генотип КГ-33/1 (G7) се налази на супротној страни стрелице на АЕС апсциси, што означава његову најмању вредност у погледу дужине класа. Такође, овај генотип је најудаљенији од АЕС апсцисе, што означава његову нестабилност на нивоу огледа. Генотип НС 40С (G11) има исподпросечну вредност дужине класа и високу стабилност.

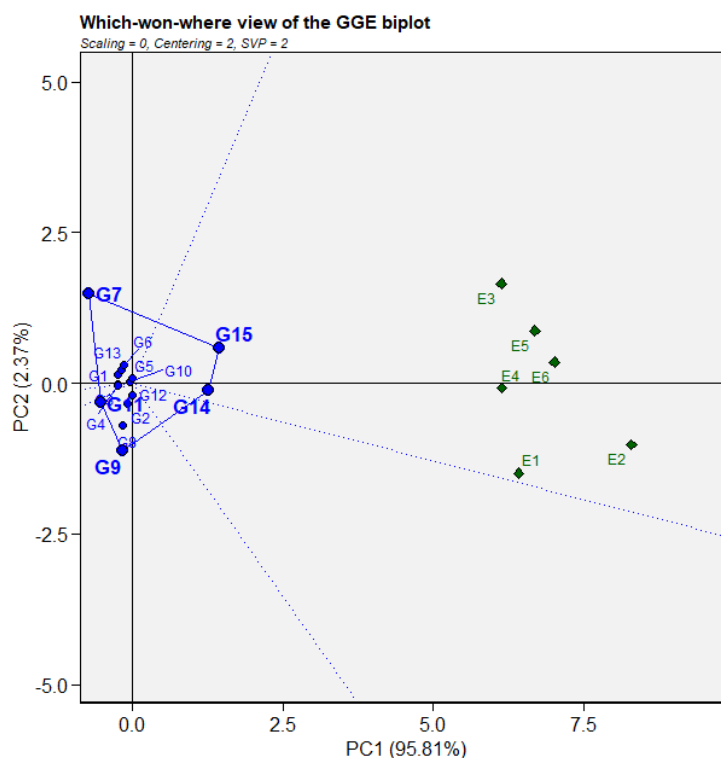


Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 44. “Mean vs. Stability” GGE биplot за дужину класа

Конструисан је „Which-won-where“ GGE биplot за дужину класа, на основу којег су идентификовани генотипови који се издвајају по специфичној адаптабилности у одређеним условима (Графикон 45). Генотипови КГ-33/1 (G7), КГ-41/1 (G9), НС 40С (G11), КГ-54-7/3-2 (G15) и КГ-54-7/3-5 (G14) се налазе на врховима полигона, те се сматрају нестабилним на нивоу огледа. За разлику од ових генотипова, већина осталих генотипова, као што су: КГ-4/1 (G1), КГ-16/1 (G4), КГ-21/1 (G5), КГ-30/1 (G6), КГ-43/1 (G10), Ренесанса (G12) и Победа (G13) налази се унутар полигона и ближе централном делу биплота, што указује на њихову већу стабилност по срединама у погледу експресије дужине класа. Иако је биplot подељен на више сектора, све агроеколошке средине (E1–E6) распоређене су унутар истог. У оквиру тог сектора доминирају генотипови КГ-54-7/3-5 (G14) и КГ-54-7/3-2 (G15), где се КГ-54-7/3-2 (G15) позиционира са највишим теменом, као најуспешнији у погледу дужине класа у свим срединама. Генотипови на врховима полигона, као што су КГ-33/1 (G7), КГ-41/1 (G9), НС 40С (G11) који су распоређени у оквиру сектора који не садрже ниједну средину, а

на супротној страни од сектора који садржи агроеколошке средине, испољавају најмање вредности особине на нивоу огледа (Графикон 45).

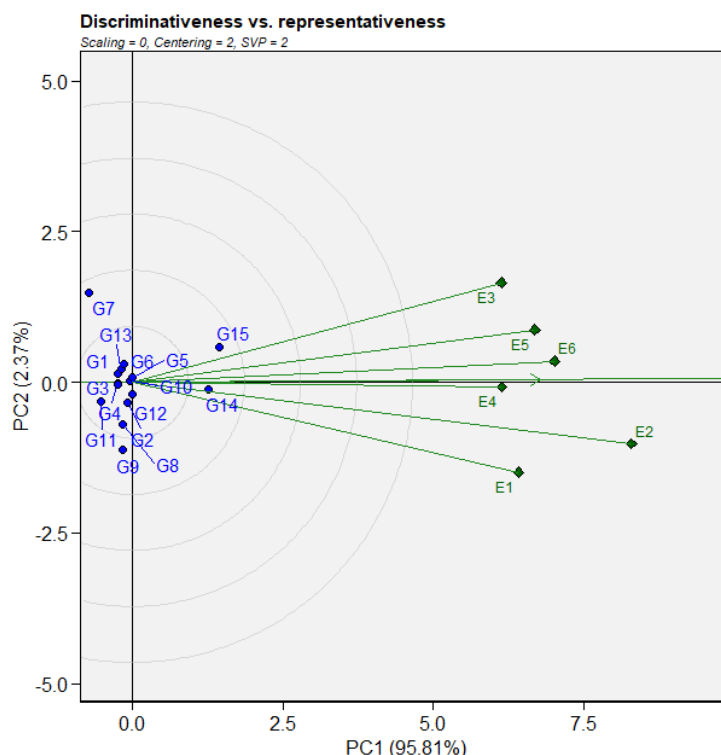


Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 45. „Which-won-where“ GGE биplot за дужину класа

На GGE биplotу „Discriminativeness vs. representativeness“ приказана је анализа дискриминативности и репрезентативности агроеколошких средина у односу на дужину класа (Графикон 46). Најизраженију дискриминативну моћ у овом случају има средина Крагујевац 2022/2023 (E2), која се карактерише најдужим вектором. Насупрот томе, Панчево 2023/2024 (E4) карактерише најкраћи вектор, што указује на слабу дискриминативност ове агроеколошке средине. На основу угла који заклапа вектор средине са АЕС апсцисом, највећу репрезентативност испољавају Панчево 2023/2024 (E4), затим Крушевац 2023/2024 (E6) и Крагујевац 2023/2024 (E5), те се могу сматрати погодним за процену стабилности и адаптабилности генотипова. С друге стране, средине Панчево 2022/2023 (E1) и Крушевац 2022/2023 (E3) заклапају већи угао са АЕС осом, што указује да резултати генотипова у овим срединама више одступају од њиховог просечног понашања, што чини ове средине мање репрезентативним. Ипак,

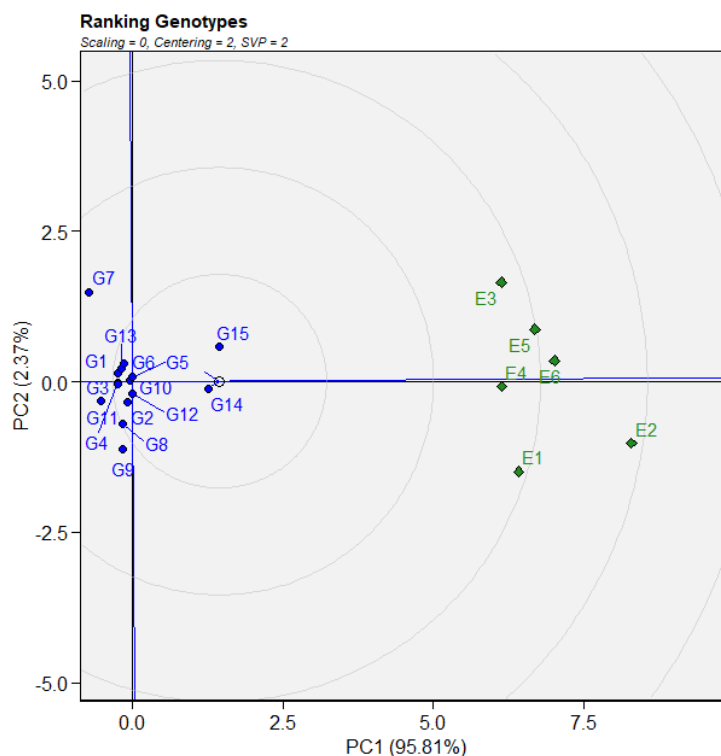
средина Крагујевац 2022/2023 (E2) истовремено показује и добру дискриминативност (дугачак вектор) и репрезентативност (оштар угао са АЕС осом), због чега се сматра погодном за тестирање генотипова.



Легенда: Ознаке генотипова: G1 –КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 46. „Discriminativness vs. representativeness“ GGE биplot за дужину класа

Креиран је GGE биплота „Ranking genotypes“ помоћу којег је извршено рангирање генотипова пшенице у односу на замишљени идеал (Графикон 47). Генотип спелте КГ-54-7/3-5 (G14) је позициониран најближе идеалном генотипу, представљеном у центру концентричних кругова на АЕС осом. У близини идеалног генотипа се налази и друга линија спелте КГ-54-7/3-2 (G15), док је линија хлебне пшенице КГ-33/1 (G7), најудаљенија од идеалног генотипа, која истовремено показује ниску просечну вредност дужине класа и велику нестабилност.



Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

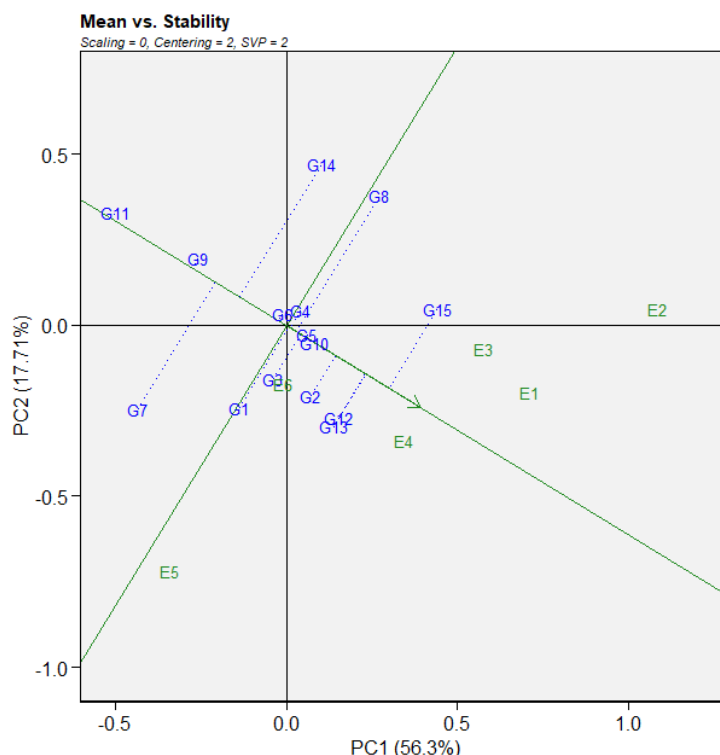
Графикон 47. „Ranking genotypes“ за дужину класа на основу GGE биplot анализе

6.3.3. GGE биplot анализа за масу класа

Сprovedена је GGE биplot анализа за масу класа, при чему прва главна компонента (PC1) објашњава 56,3%, а друга (PC2) 17,71% укупне варијабилности, што заједно чини 74,01% укупно објашњене варијације (Графикони 48–51).

Биplot “Mean vs. Stability” омогућава истовремену процену просечних вредности масе класа и стабилности генотипова (Графикон 48). Генотипови КГ-54-7/3-2 (G15), Ренесанса (G12) и Победа (G13) су распоређени најближе стрелици на АЕС оси, карактеришући се највећим просечним вредностима масе класа. Међу овим генотиповима, КГ-54-7/3-2 (G15) је позициониран на значајној удаљености од АЕС апсцисе, што га сврстава у нестабилне генотипове. С друге стране, генотипови НС 40С (G11), КГ-41/1 (G9), КГ-33/1 (G7) и КГ-54-7/3-5 (G14) супротно од правца стрелице и представљају генотипове са вредностима испитиване особине мањим од просека за

оглед. Међу овим генотиповима, НС 40С (G11) и КГ-41/1 (G9) су високостабилни, док су генотипови КГ-33/1 (G7) и КГ-54-7/3-5 (G14) на великој удаљености од АЕС абсцисе, због чега се сматрају нестабилним.

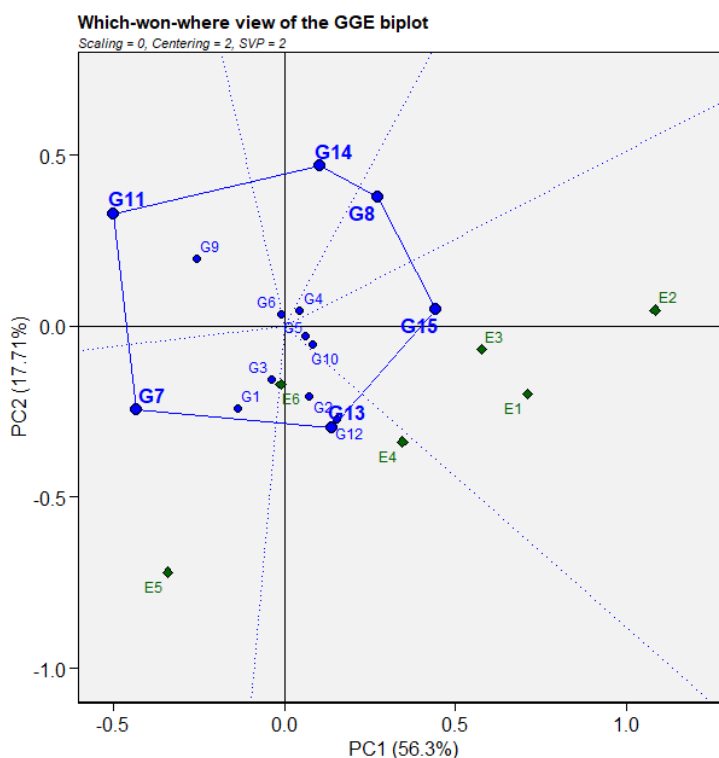


Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 48. “Mean vs. Stability” GGE биplot за масу класа

Сагледавањем „which-won-where“ биplotа за масу класа, уочава се да су генотипови КГ-33/1 (G7), НС 40С (G11), КГ-54-7/3-5 (G14), КГ-40/1 (G8), КГ-54-7/3-2 (G15) и Победа (G13) позиционирани на највећој удаљености од координатног почетка, формирајући полигон (Графикон 49). Наведени генотипови испољавају значајну нестабилност у погледу масе класа на нивоу огледа, али и специфичну адаптабилност у одређеним срединама. С друге стране, генотипови који се налазе унутар полигона, и то близу координатног почетка, као што су КГ-16/1 (G4), КГ-21/1 (G5), КГ-30/1 (G6) и КГ-43/1 (G10), испољавају малу интеракцију са генотип \times спољашња средина, односно велику стабилност. Биplot је подељен на шест сектора, где су анализиране агроеколошке средине распоређене у три сектора. Агроеколошке средине Панчево 2022/2023 (E1), Крагујевац 2022/2023 (E2) и Крушевац 2022/2024 (E3) се групишу у

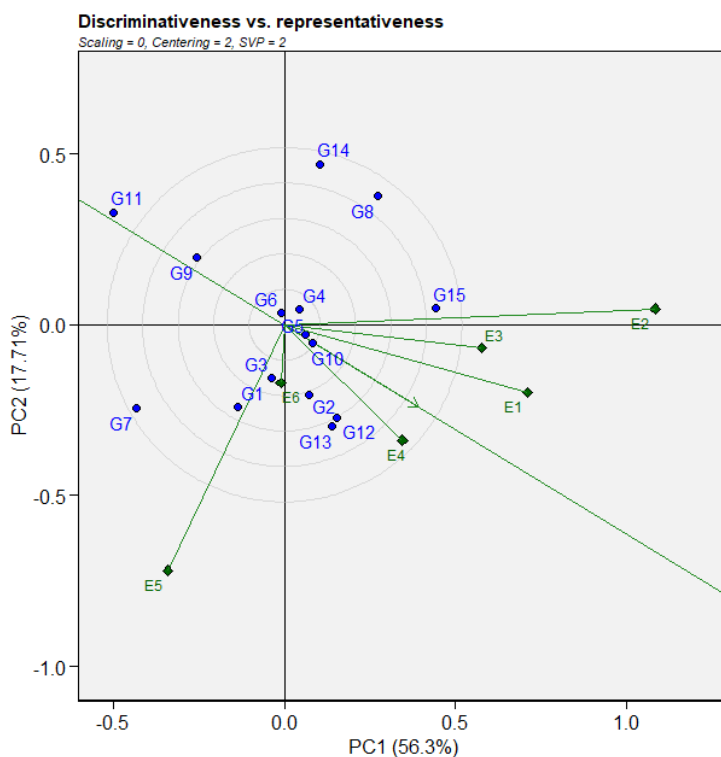
оквиру истог сектора, формирајући мегасредину. У овој мегасредини побеђује генотип КГ-54-7/3-2 (G15). Агроеколошке средине Панчево 2023/2024 (E4) и Крушевац 2023/2024 (E6) се налазе у другом сектору, у коме се као победнички генотип на врху полигона налази сорта Победа (G13), специфично адаптирана на услове ове мегасредине. У сектору који обухвата агроеколошку средину Крагујевац 2023/2024 (E5), победнички генотип је линија КГ-33/1 (G7), која у овој средини остварује највеће вредности масе класа. Генотипови на теменима полигона НС 40С (G11) и КГ-54-7/3-5 (G14), који се налазе на супротној страни сектора који садрже агроеколошке средине, а позиционирани су у секторима без агроеколошких средина, испољавају ниске вредности особине у свим срединама.



Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 49. „Which-won-where“ GGE биplot за масу класа

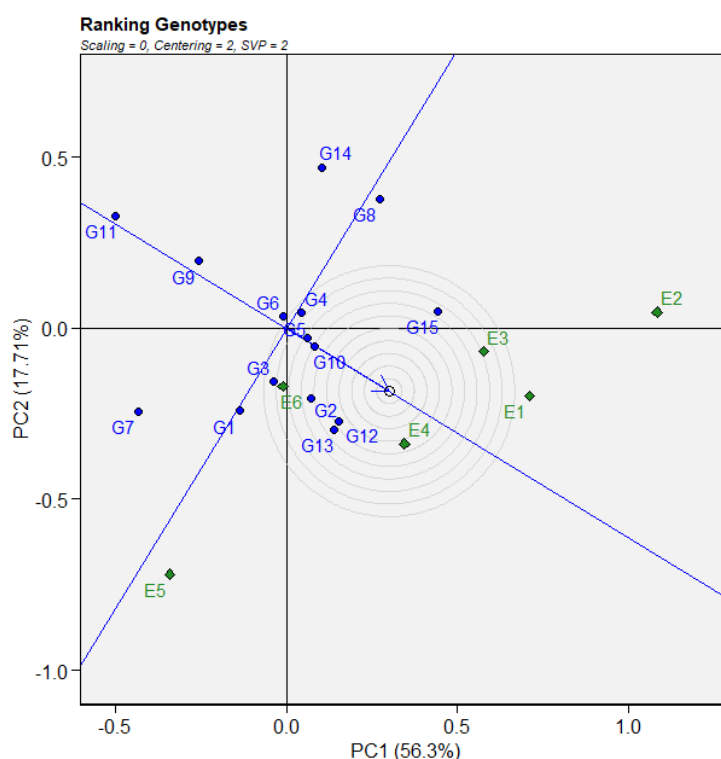
На основу GGE биплота „Discriminativeness vs. representativeness“ за масу класа може се сагледати способност агроеколошких средина да тестирају генотипове (Графикон 50). Агроеколошке средине са најдужим векторима, Крагујевац 2022/2023 (E2) и Крагујевац 2023/2024 (E5), су најдискриминативније и најпогодније за уочавање разлика међу генотиповима у маси класа. Супротно томе, средина Крушевац 2023/2024 (E6), са најкраћим вектором, је најмање дискриминативна, односно најмање погодна за селекцију генотипова у погледу масе класа. Репрезентативност средина процењује се на основу угла између њихових вектора и АЕС осе. Највећу репрезентативност показују средине Панчево 2023/2024 (E4) и Панчево 2022/2023 (E1), које формирају најмањи угао са АЕС осом. Насупрот томе, највећи угао са АЕС осом заклапају вектори средина Крагујевац 2023/2024 (E5) и Крагујевац 2022/2023 (E2), што их чини најмање репрезентативним срединама, јер не одражавају просечно понашање генотипова на нивоу огледа.



Легенда: Ознаке генотипова: G1 –КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 50. „Discriminativeness vs. representativeness“ GGE биplot за масу класа

„Ranking genotypes“ GGE биplot за масу класа показује распоред генотипова у односу на замишљени идеал (Графикон 51). Генотипови Ренесанса (G12), Победа (G13) и КГ-9/1 (G2) су позиционирани најближе идеалном генотипу. Насупрот томе, генотипови НС 40С (G11), КГ-41/1 (G9), КГ-33/1 (G7), КГ-54-7/3-5 (G14) и КГ-40/1 (G8) су најудаљенији од идеалног генотипа, што их чини непожељним за одабир у оплемењивању на ово својство.



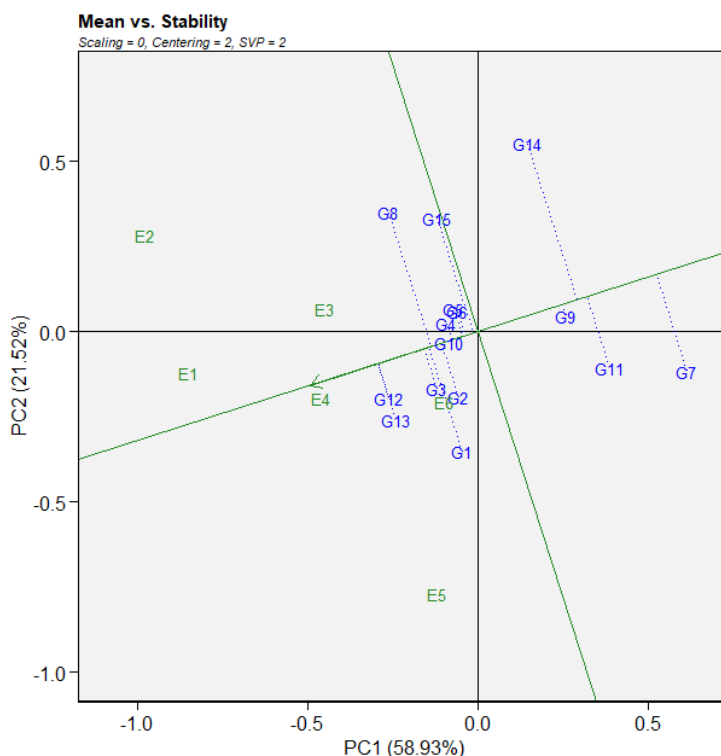
Графикон 51. „Ranking genotypes“ за масу класа на основу GGE биplot анализе

6.3.4. GGE биplot анализа за масу зрна по класу

Генотип + генотип × спољашња средина (GGE) биplot анализа за масу зрна по класу приказује расподелу генотипова и агроеколошких средина на основу прве две главне компоненте PC1 и PC2 које заједно објашњавају 80,45% укупне варијабилности у подацима (Графикони 52–55).

На GGE биplotу типа „Mean vs. Stability“ за масу зрна по класу, генотипови су распоређени на основу просечне продуктивности и стабилности у различитим

агроеколошким условима (Графикон 52). Оса АЕС (енг. Average environment coordination), означена зеленом стрелицом, на овом графикону иде слева надесно, што значи да генотипови позиционирани у правцу стрелице, лево од АЕС ординате, имају више просечне вредности масе зрна по класу, и обрнуто. Према томе, генотипови Ренесанса (G12) и Победа (G13) се одликују највећим просечним вредностима масе зрна по класу на нивоу огледа, из постигнуту одговарајућу стабилност. Генотипови КГ-40/1 (G8) и КГ-4/1 (G1) се одликују изнадпросечним вредностима и великом нестабилношћу на нивоу огледа. Генотипови КГ-33/1 (G7), НС 40С (G11), КГ-54-7/3-5 (G14) и КГ-41/1 (G9) се карактеришу исподпросечним вредностима масе зрна по класу. Међу овим генотиповима, КГ-54-7/3-5 (G14), КГ-33/1 (G7) и НС 40С (G11) испољавају значајну нестабилност, док је генотип КГ-41/1 (G9) високостабилан.

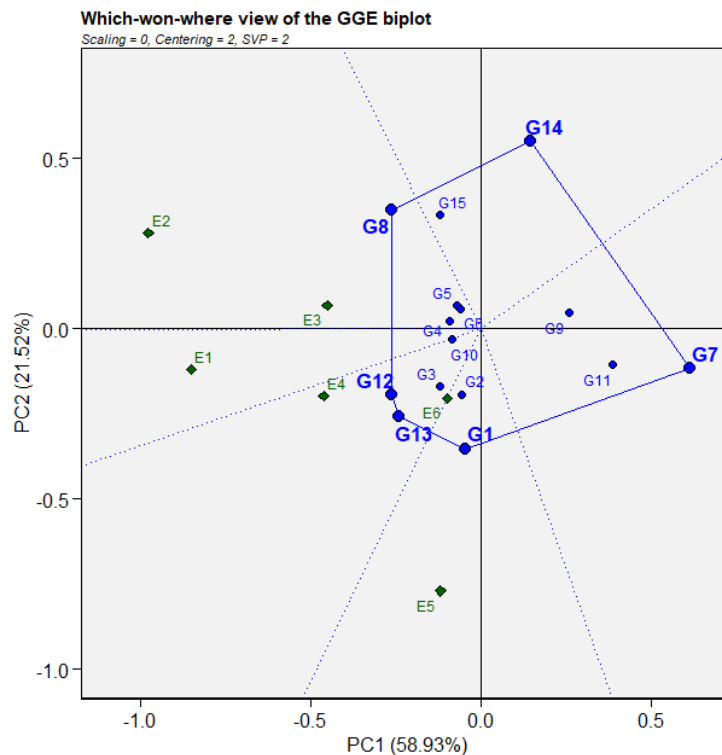


Легенда: Ознаке генотипова: G1 –КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 52. “Mean vs. Stability” GGE биplot за масу зрна по класу

Конструисан је „which-won-where“ GGE биplot за масу зрна по класу ради процене специфичне адаптабилности генотипова и идентификације мегасредина (Графикон 53). Генотипови који имају највеће или најмање вредности бар у једној

средини повезани су у полигон, чије врхове, у анализи масе зрна по класу, чине генотипови КГ-4/1 (G1), КГ-33/1 (G7), КГ-40/1 (G8), Ренесанса (G12), Победа (G13) и КГ-54-7/3-5 (G14). Плаве испрекидане линије деле биplot на више сектора. Уочава се да се врхови полигона налазе у различитим секторима, док су испитиване средине распоређене у три сектора. Генотипови Ренесанса G12) и Победа (G13) налазе се у истом сектору као и средине Панчево 2023/2024 (E4) и Крушевац 2023/2024 (E6), што указује на то да су ти генотипови показали најбоље резултате испитиване особине управо у тим срединама.



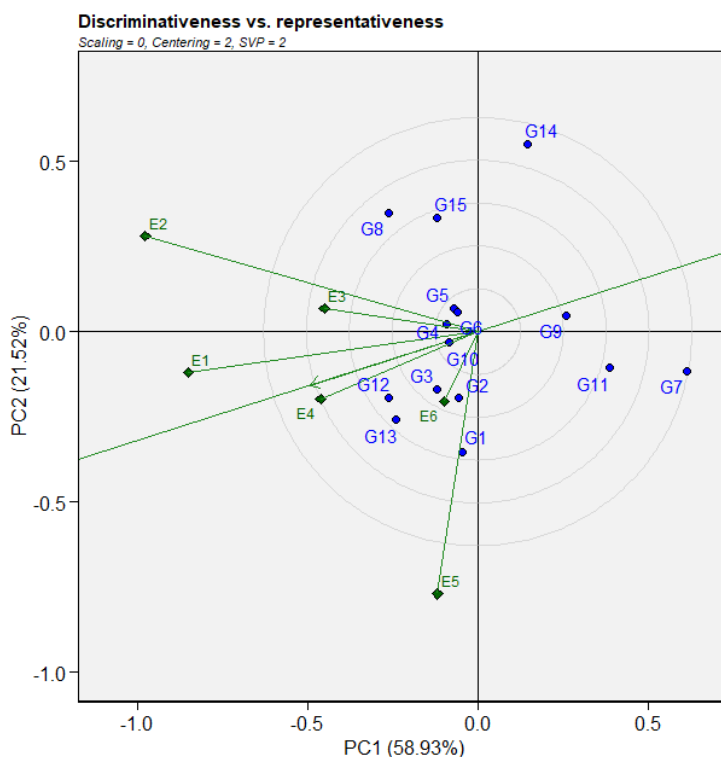
Легенда: Ознаке генотипова: G1 –КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 53. „Which-won-where“ GGE биplot за масу зрна по класу

Средине Панчево 2022/2023 (E1), Крагујевац 2022/2023 (E2) и Крушевац 2022/2023 (E3) груписане су у један сектор, формирајући мегасредину, у којој је специфичну адаптабилност испољио генотип КГ-40/1 (G8). Врх полигона на ком се налази генотип КГ-4/1 (G1) смештен је у сектору у којем је и средина Крагујевац 2023/2024 (E5), што указује на његову адаптабилност тој средини. С друге стране, генотипови КГ-33/1 (G7) и КГ-54-7/3-5 (G14), чији се положаји налазе на врховима

полигона у секторима без агроеколошких средина, показали су ниске вредности масе зрна по класу на нивоу огледа. Генотипови као што су КГ-16/1 (G4), КГ-21/1 (G5), КГ-30/1 (G6) и КГ-43/1 (G10), који се налазе унутар полигона и ближе центру биплота, показали су просечне и стабилне вредности масе зрна по класу у свим срединама (Графикон 53).

Анализа GGE биплота типа „Discriminativeness vs. Representativeness“ показује дискриминативност и репрезентативност агроеколошких средина у односу на варирање масе зрна по класу код испитиваних генотипова пшенице (Графикон 54). Средине Крагујевац 2023/2024 (E5), Панчево 2022/2023 (E1) и Крагујевац 2022/2023 (E2), са најдужим векторима, карактеришу се високом дискриминативношћу. Супротно томе, средина Крушевац 2023/2024 (E6), са најкраћим вектором, има најмању дискриминативну моћ, те је и најмање корисна за селекцију на анализирано својство.

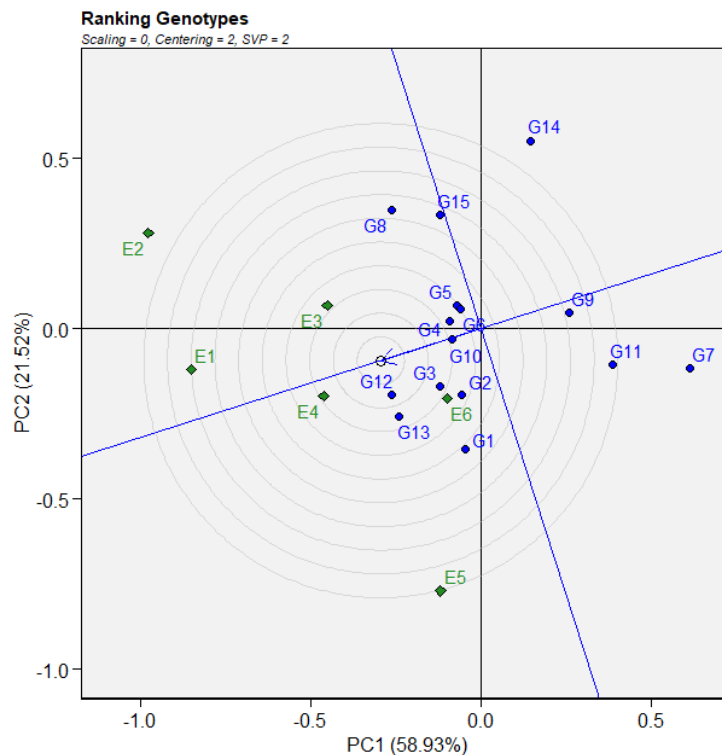


Легенда: Ознаке генотипова: G1 –КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 54. „Discriminativeness vs. representativeness“ GGE биplot за масу зрна по класу

Најрепрезентативније средине су Панчево 2022/2023 (E1) и Панчево 2023/2024 (E4), затим Крушевац 2022/2023 (E3), јер њихови вектори заклапају најмањи угао са АЕС осом, што указује да ове средине најбоље одражавају просечне услове испитивања, те су погодне за процену опште адаптабилности генотипова. Супротно томе, вектори агроколошких средина Крагујевац 2023/2024 (E5) и Крагујевац 2022/2023 (E2) формирају највећи угао са АЕС осом, због чега се сматрају слабо репрезентативним (Графикон 54).

Креиран је „Ranking genotypes“ GGE биplot, који омогућава рангирање генотипова у односу на идеални генотип. У овом истраживању, генотип Ренесанса (G12) показао је најповољнију комбинацију просечне масе зрна по класу и стабилности, будући да је позициониран најближе идеалном генотипу. Такође, линија КГ-11/1 (G3) и сорта Победа (G13) се рангирају, по својој стабилности и продуктивности, близу идеалног генотипа. Најудаљенији од идеалног генотипа су КГ-33/1 (G7) и КГ-54-7/3-5 (G14), који су остварили ниску просечну масу зрна по класу уз високу нестабилност (Графикон 55).

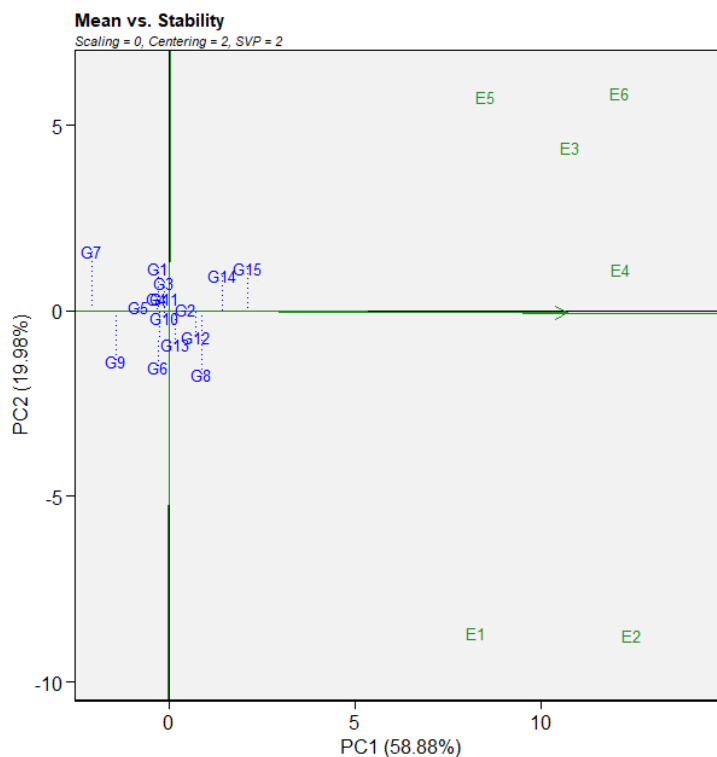


Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 55. „Ranking genotypes“ за масу зрна по класу на основу GGE биplot анализе

6.3.5. GGE биplot анализа за број зрна по класу

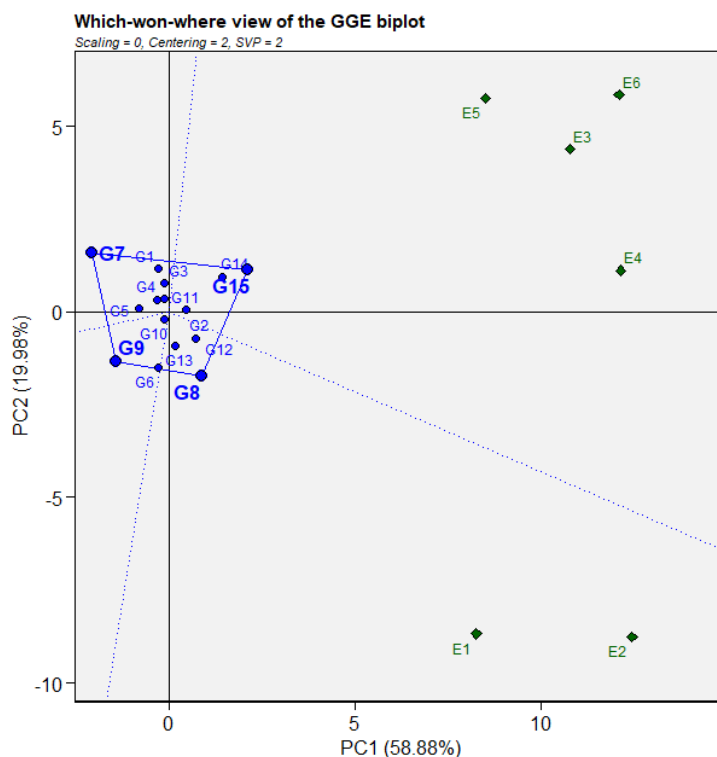
Сprovedена је GGE биplot анализа за број зрна по класу, која илуструје заједнички утицај генотипа и интеракције генотип \times средина (G + GE), без укључивања главних ефеката средина. Прве две главне компоненте заједно објашњавају 78,86% укупне варијабилности (Графикони 56–59). Генотипови КГ-54-7/3-5 (G14) и КГ-54-7/3-2 (G15) на десној страни биplotа дуж АЕС осе, одликују се изнадпросечним вредностима броја зрна по класу. Такође, наведени генотипови се, на основу удаљености од АЕС апсцисе, могу сматрати средњестабилним. Генотипови КГ-40/1 (G8), Ренесанса (G12), КГ-9/1 (G2) и Победа (G13) се одликују изнадпросечним вредностима масе зрна по класу. Међу њима, веома стабилни генотипови су КГ-9/1 (G2) и Ренесанса (G12), док је генотип КГ-40/1 (G8) нестабилан. Насупрот томе, генотипови КГ-33/1 (G7) и КГ-41/1 (G9), позиционирани на левој страни АЕС осе, одликују се најнижим вредностима броја зрна по класу. Такође, ови генотипови се оцењују као нестабилни у испољавању броја зрна по класу.



Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 56. “Mean vs. Stability” GGE биplot за број зрна по класу

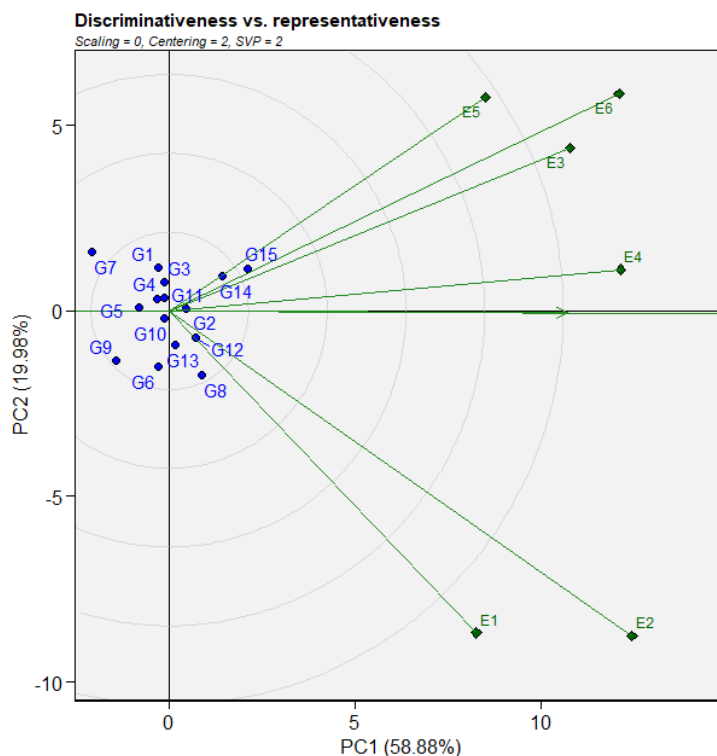
На „which-won-where“ биplotу за број зрна по класу, генотипови су повезани у полигон, чије врхове чине КГ-33/1 (G7), КГ-41/1 (G9), КГ-40/1 (G8) и КГ-54-7/3-2 (G15), као генотипови са екстремним вредностима особине у најмање једној средини (Графикон 57). Генотипови КГ-9/1 (G2), КГ-16/1 (G4), НС 40С (G11) и Победа (G13) налазе се ближе центру биplotа и одликују се стабилношћу у изражавању броја зрна по класу по различитим срединама. Агроэколошке средине Крушевац 2022/2023 (E3) Панчево 2023/2024 (E4), Крагујевац 2023/2024 (E5) и Крушевац 2023/2024 (E6) се налазе у оквиру истог сектора, формирајући мегасредину у којој побеђује генотип КГ-54-7/3-2 (G15). Средине E1 (Панчево 2022/2023) и E2 (Крагујевац 2022/2023) су груписане у другом сектору, формирајући мегасредину, у којој побеђује генотип КГ-40/1 (G8). Генотипови КГ-33/1 и КГ-41/1 се налазе на врховима полигона, али у секторима који не садрже агроэколошке средине, те се оцењује да имају ниске вредности испитиване особине у свим срединама.



Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроэколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 57. „Which-won-where“ GGE биplot за број зрна по класу

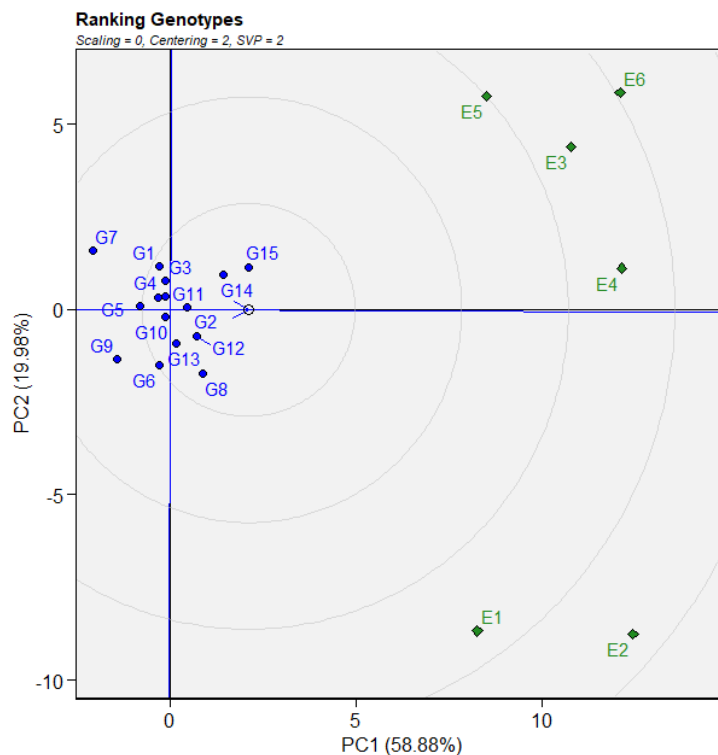
Анализа „Discriminativeness vs. representativeness“ GGE биplotа за број зрна по класу приказује у којој мери поједине агроеколошке средине доприносе диференцијацији генотипова и колико су репрезентативне за целокупни скуп испитиваних услова (Графикон 58). На овом биplotу, средине Крагујевац 2022/2023 (E2) и Крушевац 2023/2024 (E6) имају најдуже векторе и показују добру дискриминативност. Супротно томе, средине Крушевац 2022/2023 (E3) и Панчево 2023/2024 (E4), са најкраћим вектором, имају најмању дискриминативну способност. На основу угла вектора средина у односу на АЕС осу, најрепрезентативнија средина је Панчево 2023/2024 (E4), која заклапа најмањи угао са АЕС осом. С друге стране, средине Панчево 2022/2023 (E1) и Крагујевац 2022/2023 (E2) формирају највећи угао са АЕС осом, због чега се оцењују као слабо репрезентативне, односно у мањој мери одражавају просечне услове свих средина.



Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 58. „Discriminativeness vs. representativeness“ GGE биplot за број зрна по класу

„Ranking genotypes“ GGE биplot је конструисан с циљем да се изврши рангирање генотипова по њиховој стабилности и испољавању броја зрна по класу у односу на замишљени идеални генотип (Графикон 59). Замишљени „идеални“ генотип је представљен у центру концентричних кругова, у смеру плаве стрелице. Генотипови који се налазе најближе тој тачки сматрају се пожељним, јер комбинују високе вредности анализираних особине (у овом случају броја зрна по класу) и стабилне перформансе у различитим агроеколошким условима. Линеје спелте КГ-54-7/3-5 (G14) и КГ-54-7/3-2 (G15) су позициониране најближе идеалном генотипу, и показују високу вредност испитиване особине као и високу стабилност на нивоу огледа. Такође, близу идеалног генотипа налазе се и генотипови генотипови хлебне пшенице, као што су КГ-9/1 (G2) и Ренесанса (G12). Линеје КГ-33/1 (G7) и КГ-41/1 (G9) су најудаљеније од „идеалног“ генотипа и показују најниже вредности броја зрна по класу, као и највећу нестабилност.



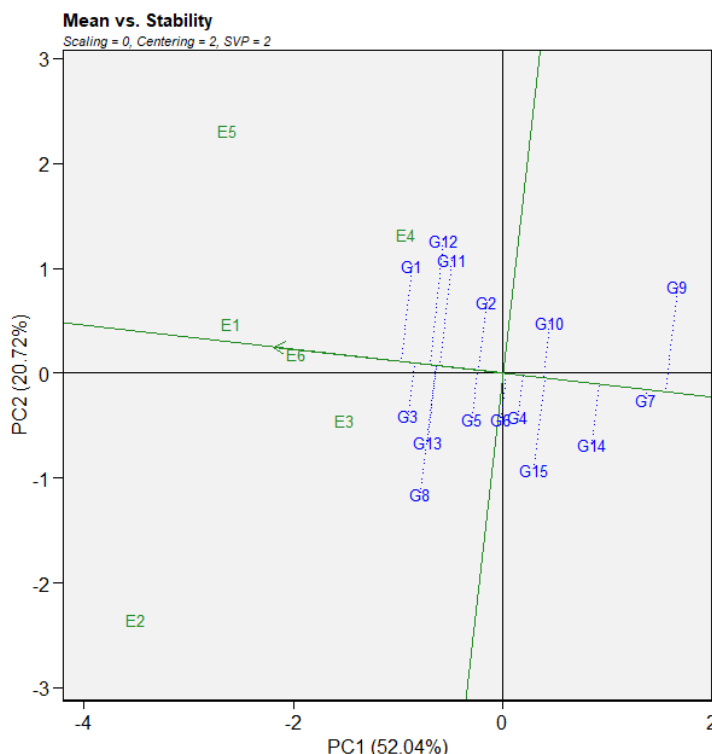
Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 59. „Ranking genotypes“ за број зрна по класу на основу GGE биplot анализе

6.3.6. GGE биplot анализа за принос зрна

Сprovedена је GGE биplot анализа за принос зрна с циљем да се сагледа стабилност и специфична адаптабилност, као и да се идентификују мегасредине. Прве две компоненте објашњавају заједно 72,76% варијабилности (Графикони 60–63).

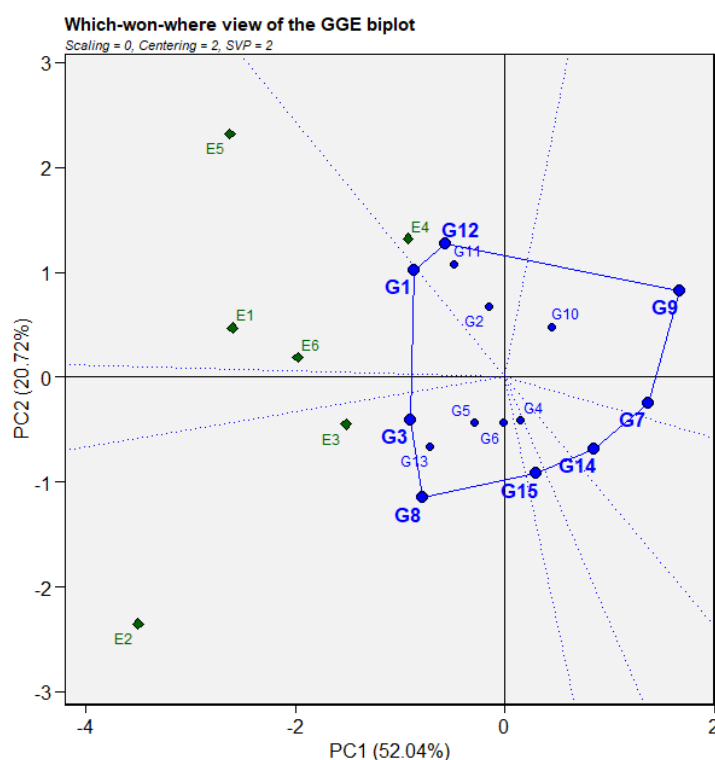
„Mean vs. Stability“ GGE биplot показује истовремено просечан принос и стабилност генотипова по срединама (Графикон 60). Генотипови КГ-4/1 (G1), КГ-11/1 (G3) и Победа (G13) су позиционирани у правцу стрелице на АЕС апсциси, те представљају најприносније генотипове. Међу овим генотиповима, КГ-11/1 (G3) и Победа (G13) имају најмању пројекцију на АЕС ординату, односно најмање су удаљени од АЕС апсцисе, због чега се сматрају најстабилнијима. Генотип КГ-33/1 (G7), који има скоро нула пројекције на АЕС ординату, је идентификован као најстабилнији, односно најмање доприноси интеракцији генотип \times спољашња средина. Супротно, генотипови КГ-40/1 (G8), НС 40С (G11) и Победа (G12) су били високоприносни, али нестабилни, што може бити одраз њихове специфичне адаптабилности у одређеним срединама.



Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 60. “Mean vs. Stability” GGE биplot за принос зрна

С циљем да се идентификују победнички генотипову у специфичним срединама, као и да се идентификују мегасредине, конструисан је „which-won-where“ GGE биplot (Графикон 61). Генотипови КГ-4/1 (G1), КГ-11/1 (G3), КГ-40/1 (G8), КГ-54-7/3-2 (G15), КГ-54-7/3-5 (G14), КГ-33/1 (G7), КГ-41/1 (G9) и Ренесанса (G12) су позиционирани најудаљеније од координатног почетка у различитим правцима, формирајући полигон. Сет линија које пролазе кроз центар биплота, деле биplot на секторе. У овом случају, све средине су груписане у три сектора, а сваки од њих је повезан са различитим победничким генотипом.



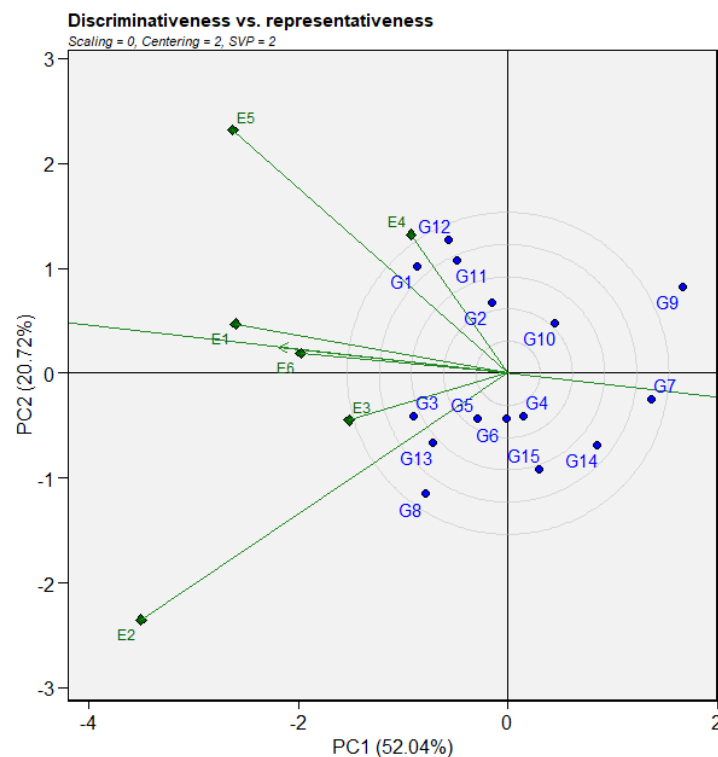
Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 61. „Which-won-where“ GGE биplot за принос зрна

Генотип Ренесанса (G12) побеђује у сектору у којем се налази агроеколошка средина Панчево 2023/2024 (E4). Агроеколошке средине Панчево 2022/2023 (E1), Крагујевац 2023/2024 (E5) и Крушевац 2023/2024 (E6) се налазе у оквиру истог сектора, формирајући мега-средину. У датој мега-средини је најпродуктивнији био генотип КГ-4/1 (G1). Генотипови КГ-33/1 (G7), КГ-41/1 (G9), КГ-54-7/3-5 (G14) и КГ-54-7/3-2 (G15) се налазе на врховима полигона, али у секторима који не садрже ниједну агроколошку

средину, и карактеришу се ниским вредностима приноса зрна на нивоу огледа. Генотипови КГ-16/1 (G4), КГ-21/1 (G5), КГ-30/1 (G6), КГ-9/1 (G2) и КГ-43/1 (G10) су позиционирани близу центра биплота, и показују највећу стабилност по срединама (Графикон 61).

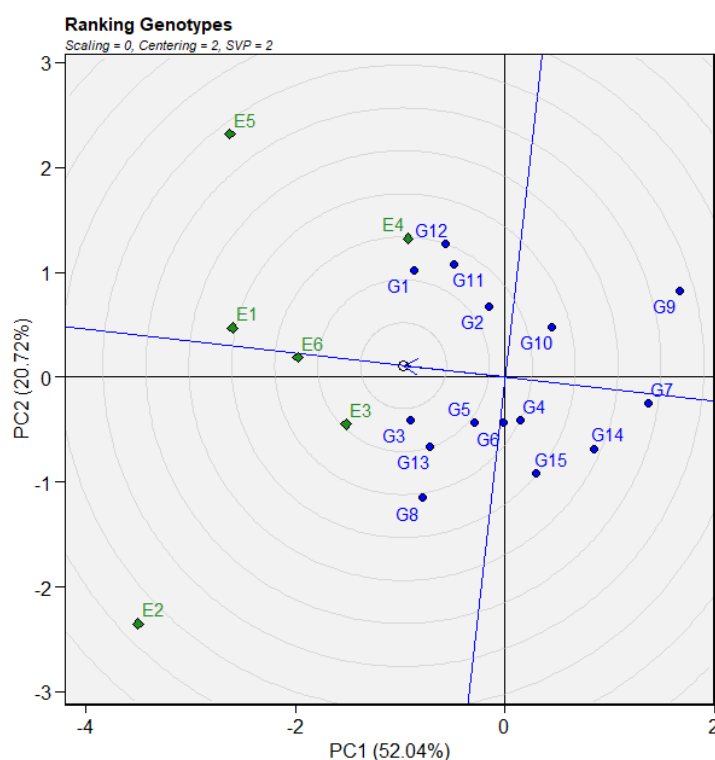
Креиран је „Discriminativeness vs. representativeness“ GGE биplot ради процене способности агроеколошких средина да диференцирају генотипове, као и њихове репрезентативности у односу на просечне услове огледа (Графикон 62). Агроеколошка средина Крагујевац 2022/2023 (E2), са најдужим вектором, показује највећу способност да диференцира генотипове по приносу зрна. Супротно, средина Крушевац 2022/2023 (E3), са најкраћим вектором, има најмању способност да диференцира генотипове. Агроеколошке средине Крушевац 2023/2024 (E6), Панчево 2022/2023 (E1) и Крушевац 2022/2023 (E3) формирају оштар угао са АЕС апсцисом, што указује на њихову велику репрезентативност, односно ове средине боље рефлектују просечне услове огледа и погодне су за процену широке адаптабилности генотипова.



Легенда: Ознаке генотипова: G1 –КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 62. „Discriminativeness vs. representativeness“ GGE биplot за принос зрна

Конструисан је „Ranking genotypes“ GGE биplot како би се спровело рангирање генотипова и идентификовали идеални генотипови (Графикон 63). Генотип КГ-11/1 (G3) је позициониран најближе замишљеном идеалном генотипови, који је представљен малим унутрашњим концентричним кругом на АЕС апсиси. Генотипови Победа (G13), КГ-11/1 (G3), КГ-21/1 (G5) и КГ-4/1 (G1) су такође позиционирани близу идеалног генотипа, што их чини dobrим кандидатима у оплемењивању широко адаптираних високоприносних генотипова.



Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

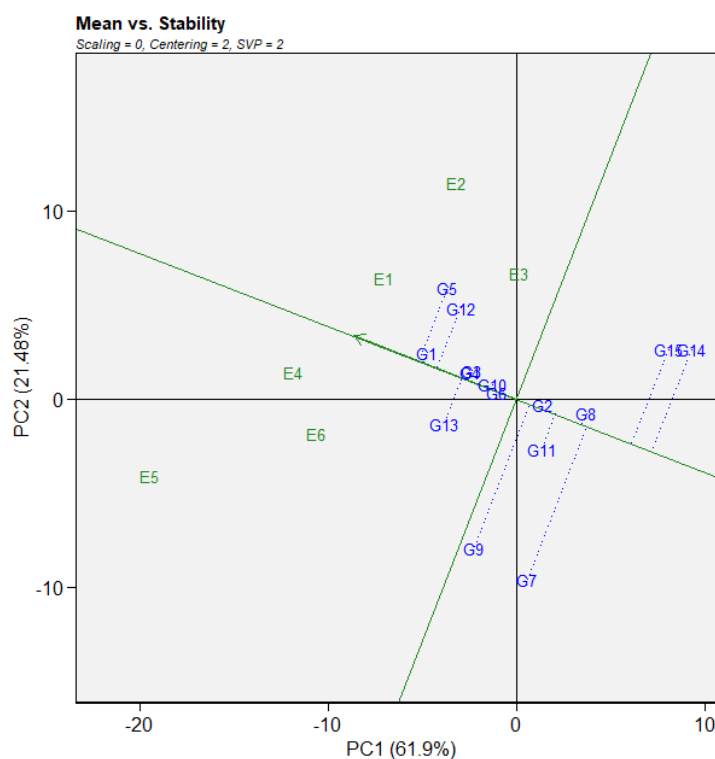
Графикон 63. „Ranking genotypes“ за принос зрна на основу GGE биplot анализе

6.3.7. GGE биplot анализа за масу 1000 зрна

На основу GGE биplot анализе која приказује заједничке ефекте генотипа и интеракције генотип \times средина (G + GE) за особину маса 1000 зрна, добијена је јасна слика међусобних односа између испитиваних генотипова и агроеколошких услова различитих локација и сезона. Прва главна компонента (PC1) објашњава 61,9% укупне

варијабилности, док друга компонента (PC2) учествује са 21,48%, што укупно износи 83,38% објашњене варијабилности (Графикони 64–67).

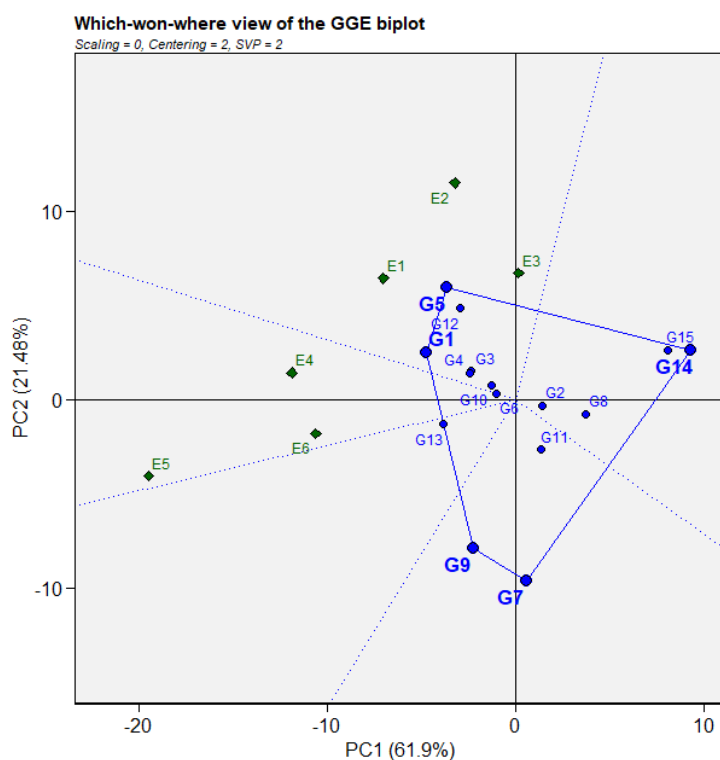
Креиран је „Mean vs. Stability“ биplot који омогућава идентификацију генотипова високих просечних вредности масе 1000 зрна и високе стабилности (Графикон 64). Генотипови КГ-21/1 (G5), КГ-4/1 (G1), Ренесанса (G12), Победа (G13), КГ-11/1 (G3), КГ-16/1 (G4), КГ-43/12 (G10) и КГ-30/1 (G6), налазе се у правцу стрелице, са леве стране АЕС осе, одликујући се изнадпросечним вредностима масе 1000 зрна. Међу њима, КГ-4/1 (G1) је испољио високу вредност и стабилност испитиване особине, док су генотипови КГ-21/1 (G5) и Ренесанса (G12) постигли високе вредности, али уз изражену нестабилност. Генотипови КГ-41/1 (G9) и КГ-33/1 (G7) одликују се исподпросечним вредностима испитиване особине, уз веома изражену нестабилност. Најниже вредности на нивоу огледа, такође уз изражену нестабилност, забележене су код линија спелте КГ-54-7/3-5 (G14) и КГ-54-7/3-2 (G15).



Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроэколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 64. “Mean vs. Stability” GGE биplot за масу 1000 зрна

Приказ „which-won-where“ GGE биплота за масу 1000 зрна омогућава јасно уочавање специфичне адаптабилности генотипова у различитим срединама и идентификацију потенцијалних мегасредина (Графикон 65). Генотипови смештени на врховима полигона (КГ-4/1 (G1), КГ-21/1 (G5), КГ-54-7/3-5 (G14), КГ-33/1 (G7), КГ-41/1 (G9) представљају генотипове који у појединим срединама постижу највеће или најмање вредности масе 1000 зрна. Насупрот томе, генотипови ближи центру биплота, као што су КГ-30/1 (G6), КГ-11/1 (G3), КГ-43/1 (G10) КГ-9/1 (G2), КГ-16/1 (G4), КГ-43/1 (G10), и НС 40С (G11), су стабилнији у испољавању масе 1000 зрна кроз различите агроеколошке средине и могу се сматрати генотиповима са широм адаптабилношћу.



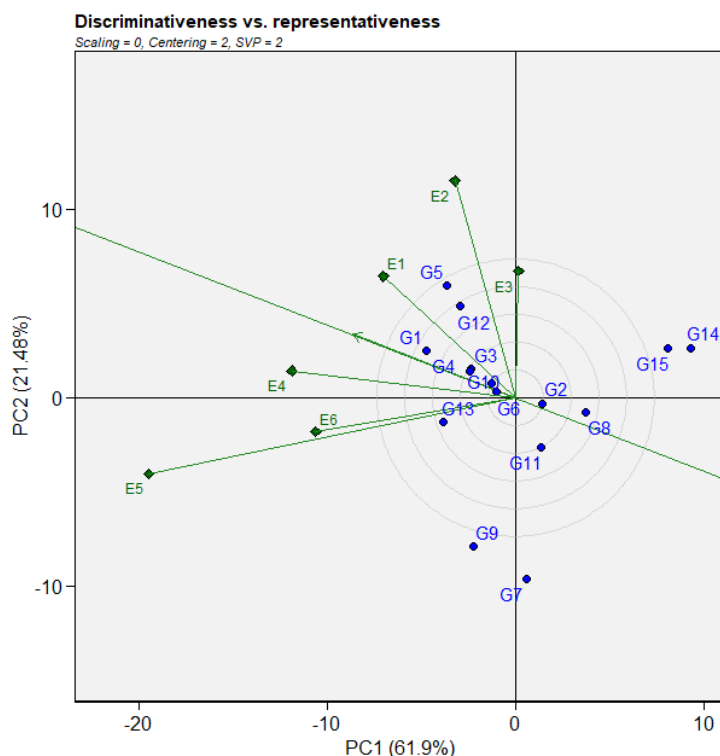
Легенда: Ознаке генотипова: G1 –КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 65. „Which-won-where“ GGE биплот за масу 1000 зрна

Све агроеколошке средине су подељене у два сектора, формирајући две мегасредине, при чему се уочава да су оквиру једног сектора смештене средине Панчево, Крагујевац и Крушевац у 2022/2023. сезони (E1, E2 и E3), док други сектор чине средине Панчево, Крагујевац и Крушевац у 2023/2024. сезони (E4, E5 и E6). С

обзиром да су мегасредине подељене по сезонама гајења, евидентан је доминантан утицај године на испољавање масе 1000 зрна. Генотипови КГ-4/1 (G1) и КГ-21/1 (G5) су „победници“ мегасредини 2022/2023. сезоне (E1, E2 и E3). У сектору који обухвата средине E4, E5 и E6 није био ниједан генотип на врховима полигона, што указује да у овим условима ниједан генотип није показивао специфичну супериорност у погледу масе 1000 зрна. Дакле, ове средине имају слабију дискриминативност, односно не доводе до јасног раздвајања генотипова (Графикон 65).

„Discriminativeness vs. representativeness“ GGE биplot анализа за особину маса 1000 зрна пружа увид у способност појединих агроеколошких средина да разликују генотипове пшенице, као и њихове репрезентативности у односу на просечне услове огледа, односно испитивања (Графикон 66).



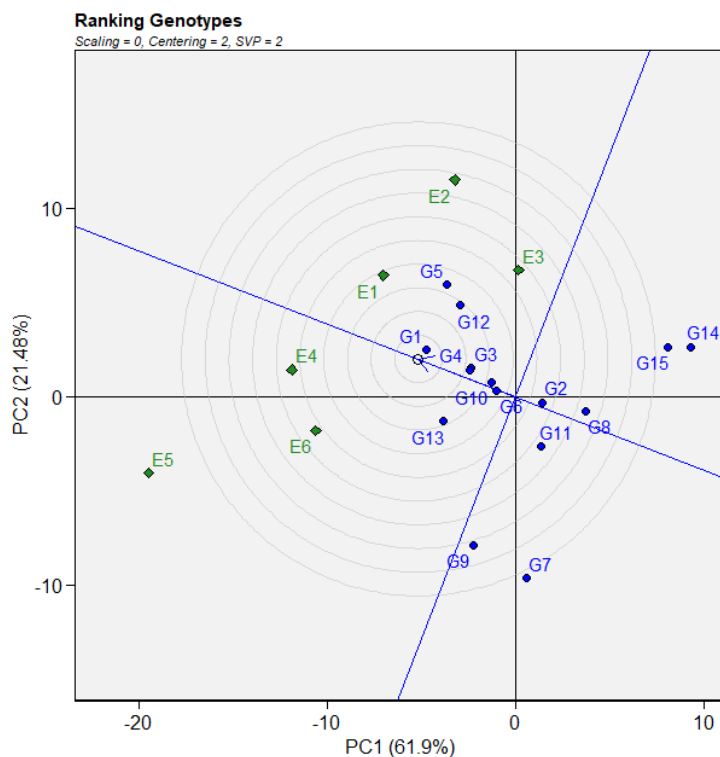
Легенда: Ознаке генотипова: G1 –КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 66. „Discriminativeness vs. representativeness“ GGE биplot за масу 1000 зрна

Највећу дискриминативност у погледу масе 1000 зрна показује средина Крагујевац 2023/2024 (E5), што је чини најпогоднијом за одабир генотипова. Насупрот

томе, најкраћи вектор уочава се код средине Крушевац 2022/2023 (E3), што указује на њену ограничену способност разликовања генотипова по маси 1000 зрна. Агроеколошке средине Панчево 2022/2023 (E1) и Панчево 2023/2024 (E4) заклапају оштар угао са АЕС апсцисом, због чега се сматрају срединама са највећом репрезентативношћу. Средине Крагујевац 2022/2023 (E2) и Крагујевац 2023/2024 (E5), показују мању репрезентативност због већег угла у односу на АЕС осу (Графикон 66).

„Ranking genotypes“ GGE биplot приказ омогућава рангирање генотипова у односу на идеалан генотип, који је представљен централном тачком на АЕС оси окруженом концентричним круговима (Графикон 67). Генотипови који се налазе ближе овој тачки имају повољнију комбинацију високих вредности масе 1000 зрна и високе стабилности. Генотип КГ-4/1 (G1) је најближи замишљеном идеалном генотипу, а затим КГ-16/1 (G4), што указује на високе просечне вредности масе 1000 зрна код ових генотипова, уз добру стабилност. Насупрот томе, линије спелте (G14 и G15) су најудаљеније од идеалног генотипа, што указује на њихову нижу просечну вредност масе 1000 зрна и мању стабилност у различитим условима гајења.



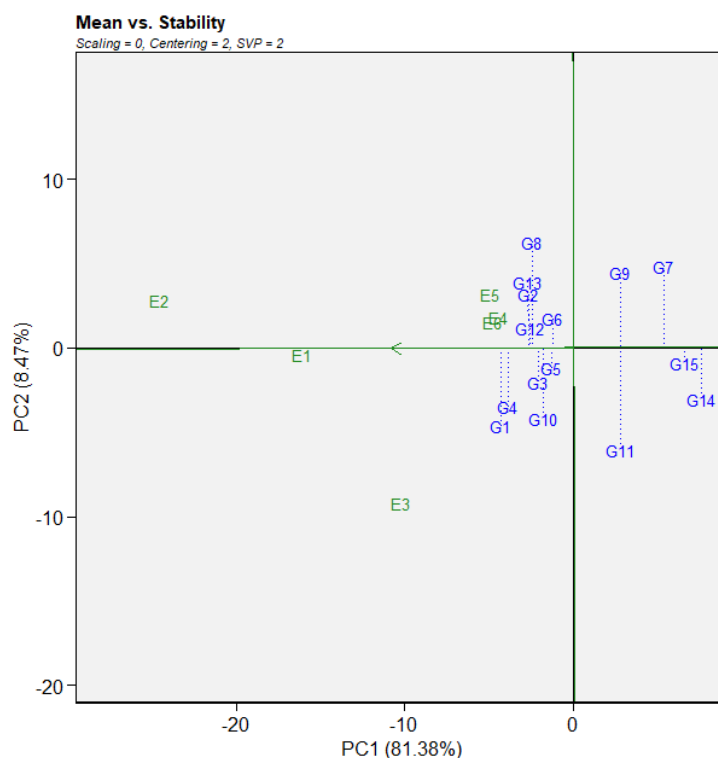
Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 67. „Ranking genotypes“ за масу 1000 зрна на основу GGE биplot анализе

6.3.8. GGE биplot анализа за хектолитарску масу

Сprovedена је GGE биplot анализа за хектолитарску масу која показује заједнички ефекат генотипа и интеракције генотип \times средина (G + GE), при чему главни ефекат средине није укључен у анализу. Прве две главне компоненте (PC1 и PC2) објашњавају највећи део укупне варијабилности (89,85%), Графикони 68–71.

Биplot „Mean vs. Stability“ омогућава истовремену процену просечних вредности хектолитарске масе и стабилности генотипова (Графикон 69).



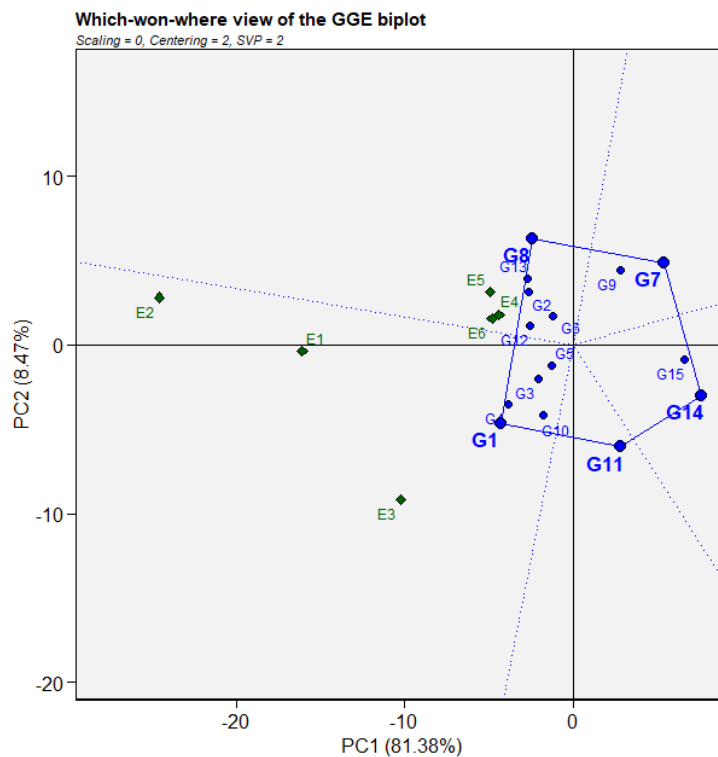
Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 68. “Mean vs. Stability” GGE биplot за хектолитарску масу

Генотипови КГ-16/1 (G4) и КГ-4/1 (G1) позиционирани су најдаље од координатног почетка у працу зелене стрелице, што показује да су остварили највеће вредности хектолитарске масе, али истовремено и већу нестабилност, будући да су знатно удаљени од АЕС апсцисе. Супротно њима, генотипови КГ-21/1 (G5), КГ-31/1(G6), Ренесанса (G12) и КГ-11/1 (G3) се налазе близу АЕС апсцисе, са малом пројекцијом на АЕС ординату, што указује на њихову високу стабилност. Истовремено, њихова

позиција лево од координатног почетка указује на то да су остварили вредности хектолитарске масе изнад просека. Генотипови КГ-54-7/3-5 (G14), КГ-54-7/3-2 (G15), КГ-33/1 (G7), КГ-41/1 (G9) и НС 40С (G11) се налазе на десној страни АЕС осе, испољавајући ниске вредности хектолитарске масе. Међу њима, КГ-54-7/3-2 (G15) се одликује високом стабилношћу, док је код осталих генотипова установљена значајна нестабилност (Графикон 68).

На „which-won-where“ приказу GGE биплота за хектолитарску масу, генотипови су повезани у полигон чија темена представљају генотипове са најекстремнијим вредностима у бар једној од испитиваних агроеколошких средина (Графикон 69). На приложеном графикону, врхове полигона чине генотипови КГ-4/1 (G1), КГ-40/1 (G8), КГ-33/1 (G7), КГ-54-7/3-5 (G14) и НС 40С (G11), што указује на њихову нестабилност, али и уску адаптабилност у одређеним срединама.

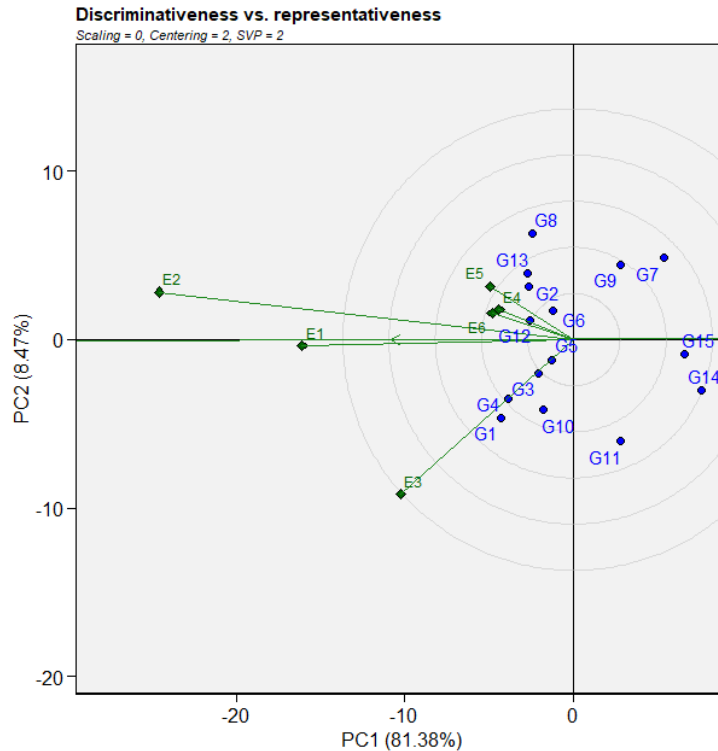


Легенда: Ознаке генотипова: G1 –КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 69. „Which-won-where“ GGE биplot за хектолитарску масу

Генотипови смештени ближе центру биплота КГ-21/1(G5) и КГ-30/1 (G6) испољавају стабилност по срединама, односно мање варирају у хектолитраској маси. Биplot је подељен на више сектора испрекиданим плавим линијама, и агроеколошке средине су груписане у два сектора. У сектору у коме који садржи агроеколошке средине Панчево 2022/2023 (E1), Крагујевац 2022/2023 (E2) и Крушевац 2022/2023 (E3), генотип КГ-4/1(G1) налази се на врху полигона који припада овом сектору. Овакав резултат показује је генотип КГ-4/1 (G1) био најуспешнији у овим срединама. Врх полигона на чијем темену се налази генотип КГ-40/1(G8) смештен је у сектору у којем су средине Панчево 2023/2024 (E4), Крагујевац 2023/2024 (E5) и Крушевац 2023/2024 (E6), што подразумева да је управо он био најуспешнији у овој мегасредини у испољавању хектолитарске масе. Остали врхови полигона на којима се налазе генотипови НС 40С (G11), КГ-54-7/3-5 (G14) и КГ-33 (G7) налазе се у секторима који не обухватају ниједну средину, што указује на њихову ниску хектолитарску масу на нивоу огледа (Графикон 69).

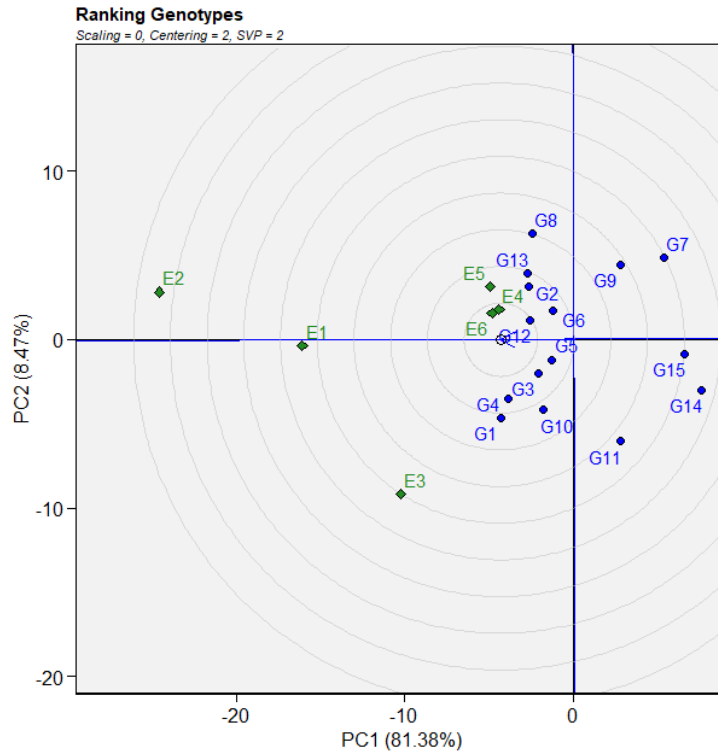
Анализа „Discriminativeness vs. Representativeness“ GGE биплота пружа увид у способност агроеколошких средина да диференцирају генотипове по хектолитарској маси, као и у степен њихове репрезентативности у односу на просечне услове огледа (Графикон 70). У овом истраживању, средине Панчево 2022/2023 (E1), Крагујевац 2022/2023 (E2) и Крушевац 2022/2023 (E3) имају најдуже векторе, што их сврстава међу најпогоднија окружења за селекцију генотипова у погледу хектолитарске масе. Насупрот њима, средина Панчево 2023/2024 (E4) показује најмању дискриминативну моћ, што значи да је у њој уочено најмање варијација међу генотиповима. Репрезентативност се процењује на основу угла вектора средина у односу на АЕС осу, која је означена зеленом бојом, где мањи угао указује на већу репрезентативност. Према томе, најрепрезентативније средине су Панчево 2022/2023 (E1) и Крагујевац 2022/2023 (E2) које заклапају најмањи угао са АЕС осом. То значи да су резултати генотипова у погледу хектолитарске масе у датим срединама слични њиховом понашању у целокупном испитиваном окружењу. Супротно овоме, средина Крушевац 2023/2024 (E3) формира највећи угао са АЕС осом, што значи да понашање генотипова у тој средини одступа од њиховог општег понашања у испољавању хектолитарске масе, па је она слабо репрезентативна.



Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 70. „Discriminativness vs. representativeness“ GGE биplot за хектолитарску масу

Графикон 71. „Ranking genotypes“ GGE биplot за хектолитарску масу пружа јасну визуелизацију положаја генотипова у односу на идеалан генотип, који је представљен централном тачком окруженом концентричним круговима. Генотипови који се налазе ближе овој тачки одликују се комбинацијом већих вредности хектолитарске масе и већом стабилношћу у различитим агроеколошким условима. Према распореду на биplotу, најближи идеалном генотипу су КГ-30/1 (G6) и Ренесанса (G12). Супротно томе, генотипови КГ-33/1 (G7), КГ-54-7/3-2 (G15) и КГ-54-7/3-5 (G14) су позиционирани најудаљеније од идеалног генотипа. Њихов положај, према удаљености од идеалног генотипа, указује на ниже просечне вредности хектолитарске масе или на израженију нестабилност у различитим условима гајења.



Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

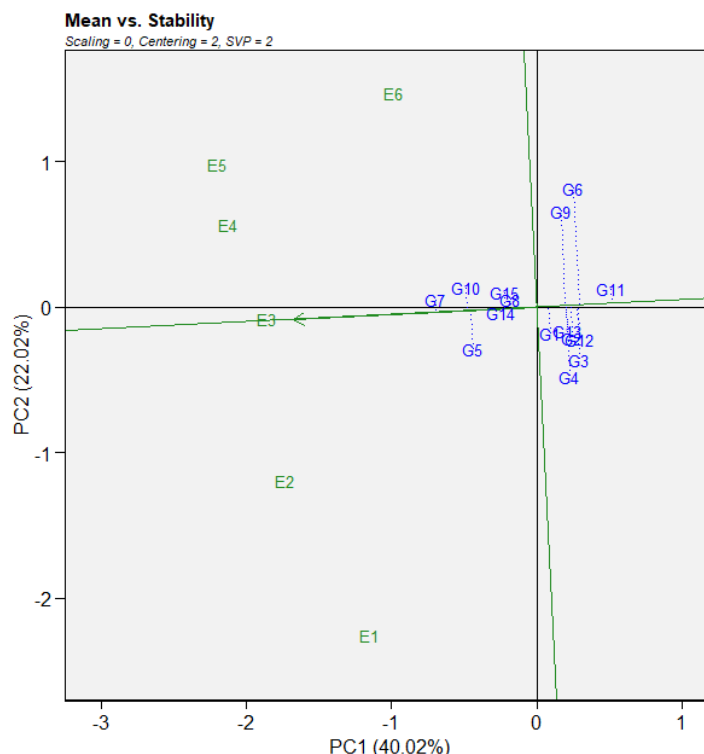
Графикон 71. „Ranking genotypes“ за хектолитарску масу на основу GGE биplot анализе

6.3.9. GGE биplot анализа за садржај протеина у зрну

Спроведена је GGE биplot анализа за садржај протеина, с циљем да се процени стабилност и адаптабилност генотипова, као и способност средина за тестирање генотипова. На основу спроведене анализе, прва главна компонента (PC1) објашњава 40,02% укупне варијабилности, док друга компонента (PC2) учествује са 22,02%, што укупно представља 62,04% објашњене варијабилности (Графикони 72–75).

На GGE биplotу „Mean vs. Stability“ приказани су односи између просечног садржаја протеина испитиваних генотипова и њихове стабилности у различитим агроеколошким условима. Генотипови КГ-33/1 (G7), КГ-43/1 (G10), КГ-21/1 (G5), КГ-40/1 (G8), КГ-54-7/3-5 (G14) и КГ-54-7/3-2 (G15) истакли су се као генотипови са изнадпросечним садржајем протеина и добром стабилношћу. Генотип КГ-33/1 (G7), са

приближно нултом пројекцијом на ординату, идентификован је као најстабилнији са највећим садржајем протеина. Супротно, генотип НС 40С (G11) имао је најнижи просечан садржај протеина, уз остварену стабилност. С друге стране, генотипови КГ-30/1 (G6) и КГ-40/1 (G9), који се налазе најудаљеније од АЕС осе, показали су већу нестабилност и нижи садржај протеина.

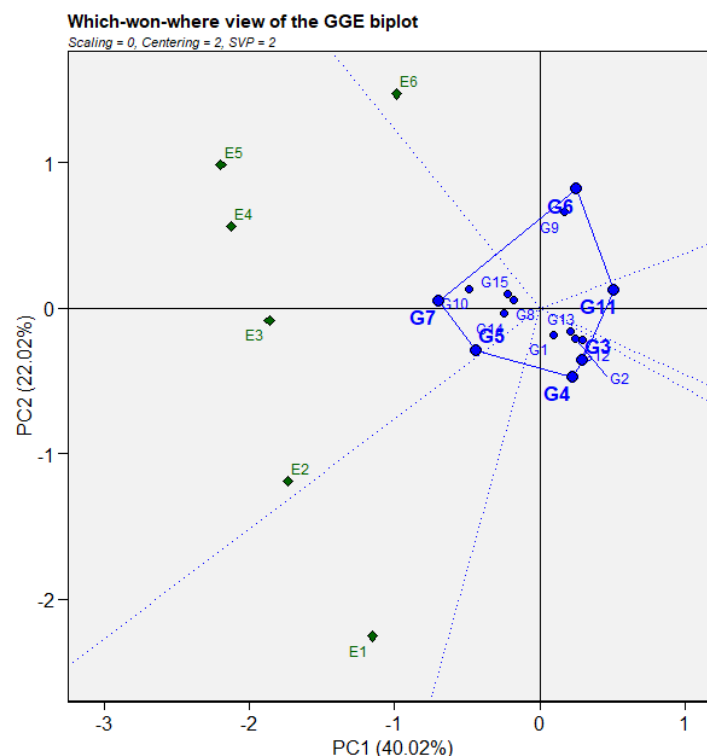


Легенда: Ознаке генотипова: G1 –КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 72. “Mean vs. Stability” GGE биplot за садржај протеина у зрну

Конструисан је „which-won-where“ GGE биплота за садржај протеина с циљем да се одреди ужа адаптабилност генотипова, као и да се идентификују потенцијалне мегасредине (Графикон 73). На врховима полигона налазе се генотипови КГ-16/1 (G4), КГ-21/1 (G5), КГ-33/1 (G7), КГ-30/1 (G6), НС 40С (G11) и КГ-11/1 (G3), који представљају најекстремније генотипове са највећим или најмањим садржајем протеина у појединим срединама. Генотипови који су позиционирани ближе центру биплота, као што су КГ-4/1 (G1), КГ-40/1 (G8), Победа (G13), КГ-54-7/3-5 (G14) и КГ-54-7/3-2 (G15), показују стабилност у погледу садржаја протеина у зрну по свим срединама и могу се сматрати генотиповима са широким адаптабилношћу.

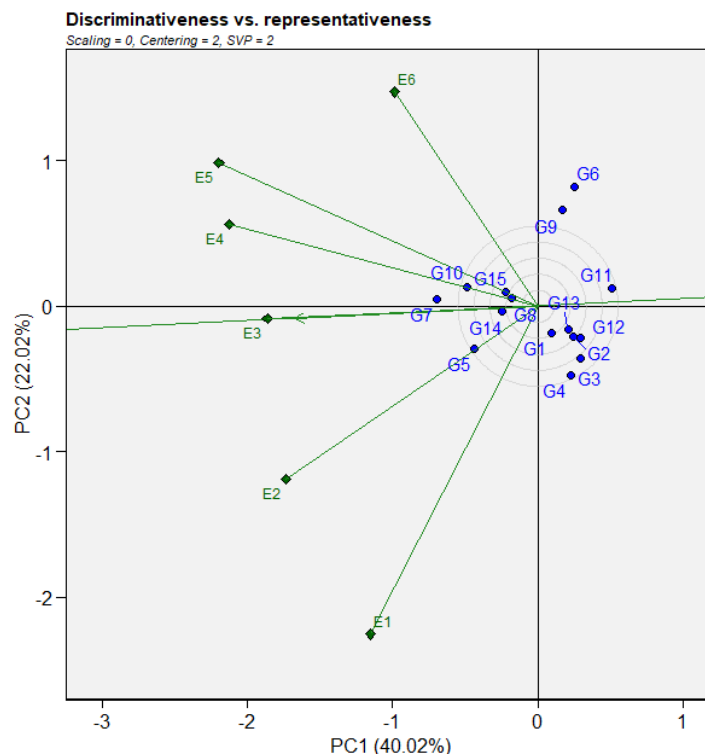
Уочава се да су испитиване агроеколошке средине средине Крагујевац 2022/2023 (E2), Крушевац 2022/2023 (E3), Панчево 2023/2024 (E4) и Крагујевац 2023/2024 (E5) смештене у оквиру истог сектора, фомрирајући мегасредину. У овом сектору побеђује генотип КГ-33/1 (G7), што показује да је овај генотип имао највећи садржаја протеина у зрну у највећем броју агроеколошких средина. Агроеколошка средина Крушевац 2023/2024 (E6) налазе се засебном сектору у којем се генотип Г6 (КГ-40/1) налази на врху полигона, што указује на његову специфичну адаптабилност у овој средини. У сектору који обухвата агроеколошку средину Панчево 2022/2023 (E1), ниједан генотип није смештен на врховима полигона, што указује на то да ниједан генотип није доминирао у погледу садржаја протеина у зрну у датој средини. Дакле, ова агроеколошка средина није фаворизовала ниједан генотип који би био супериоран у постизању високог садржаја протеина. Са друге стране, генотипови који се налазе на периферији полигона, попут КГ-11/1 (G3), КГ-16/1 (G4), и НС 40С (G11), чији сектори не обухватају ниједну средину, карактеришу се ниским садржајем протеина.



Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 73. „Which-won-where“ GGE биplot за садржај протеина у зрну

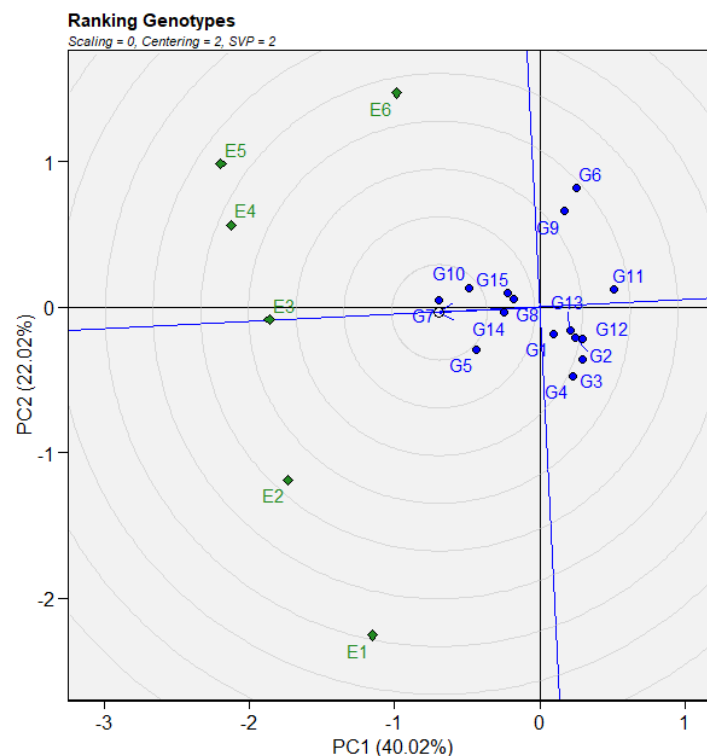
GGE биplot анализа која приказује однос дискриминативности и репрезентативности агроеколошких средина за садржај протеина омогућава идентификацију средина које најбоље разликују генотипове пшенице, али и оних средина које одражавају просечне услове испитивања (Графикон 74). Према добијеним резултатима, највећу дискриминативност у односу на садржај протеина показују средине Панчево 2022/2023 (E1) и Крагујевац 2023/2024 (E5). Ове средине најбоље разликују генотипове по садржају протеина, што их чини погодним за селекцију високо квалитетних генотипова. Насупрот томе, средина Крушевац 2022/2023 (E3), са најкраћим вектором, показује најмању дискриминативну моћ. Најрепрезентативнија средина је Крушевац 2022/2023 (E3), чији вектор лежи на АЕС оси. Такође, средина Панчево 2023/2024 (E4) је веома репрезентативна, с обзиром на то да њен вектор заклапа оштар угао са АЕС осом. Супротно томе, средине Панчево 2022/2023 (E1) и Крушевац 2023/2024 (E6) формирају највећи угао са АЕС осом, што указује на њихову мању репрезентативност.



Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроеколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 74. „Discriminateness vs. representiveness“ GGE биplot за садржај протеина у зрну

„Ranking genotypes“ GGE биplot приказ омогућава визуелну процену и рангирање генотипова у односу на идеалан генотип, који се налази у центру концентричних кругова на АЕС оси (Графикон 75). Генотипови који су најближи овој тачки сматрају се најпожељнијима, јер комбинују висок садржај протеина у зрну са стабилношћу у различитим агроколошким условима. Према добијеним резултатима, генотипов КГ-33/1 (G7) се налази најближе идеалном генотипу, што указује на висок потенцијал овог генотипа за садржај протеина у зрну и добру стабилност по срединама. Такође, на малој удаљености од идеалног генотипа су и генотипови КГ-43/1 (G10), КГ-21/1 (G5), КГ-54-7/3-5 (G14) и КГ-54-7/3-2 (G15). С друге стране, генотип КГ-30/1 (G6) је најудаљенији од идеала, испољавајући највећу нестабилност и ниску вредност садржаја протеина у зрну, што указује на његову мању прилагодљивост различитим условима гајења.

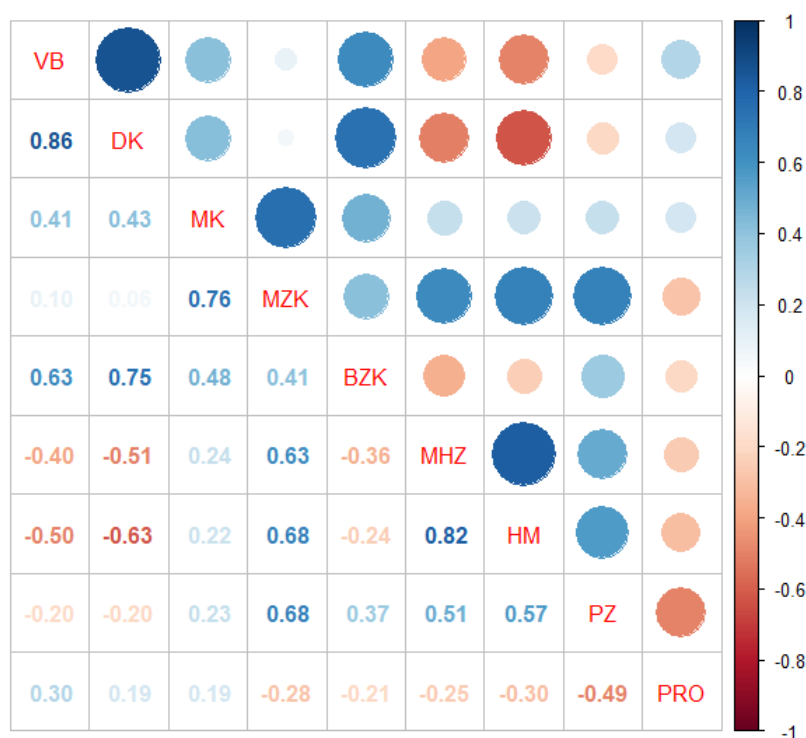


Легенда: Ознаке генотипова: G1 –КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке агроколошких средина: E1 – Панчево 2022/2023, E2 – Крагујевац 2022/2023, E3 – Крушевац 2022/2023, E4 – Панчево 2023/2024, E5 – Крагујевац 2023/2024, E6 – Крушевац 2023/2024

Графикон 75. „Ranking genotypes“ за садржај протеина у зрну на основу GGE биplot анализе

6.4. Међусобна повезаност морфолошких, продуктивних и особина квалитета пшенице

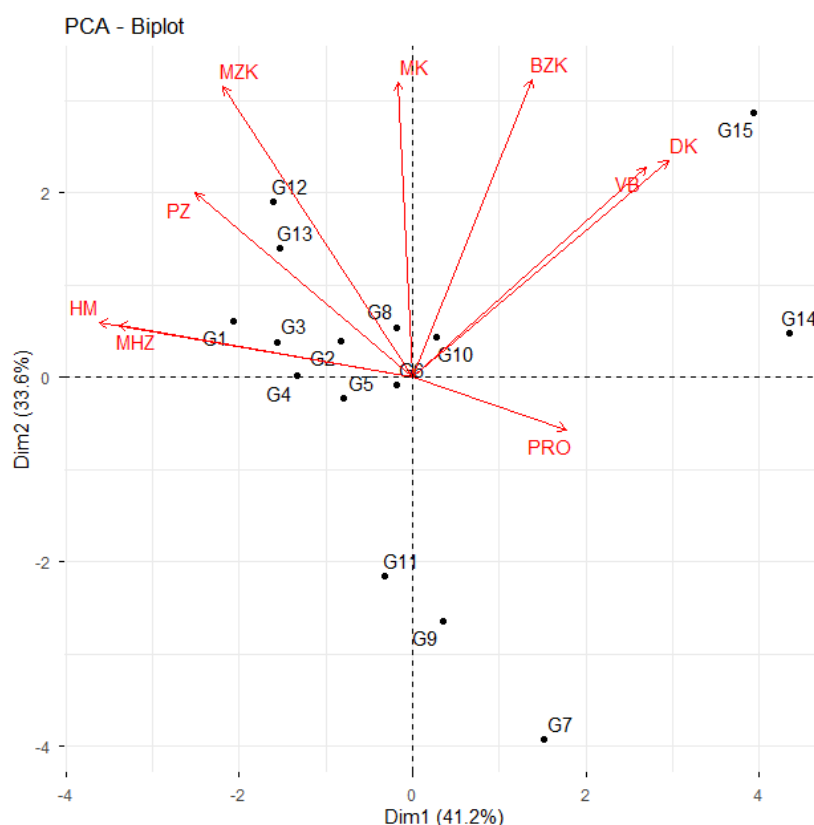
Спроведена је анализа Пирсонових корелација с циљем да се сагледа повезаност морфолошких, продуктивних и особина квалитета, а резултати су приказани путем *heatmap*-а ради детаљнијег и прегледнијег увида у њихову међусобну повезаност (Графикон 76, Прилог 10). Статистички високозначајна повезаност је пристуна између висине биљке и дужине класа (0,86^{***}). Наведене особине остварују значајну корелацију са бројем зрна по класу (0,63^{*}, односно 0,75^{**}), док су са хектолитарском масом у негативној корелацији (-0,50, односно -0,63^{*}). Маса класа и маса зрна по класу су у међусобној високозначајној корелационој повезаности (0,76^{**}). Утврђена је позитивна корелација између приноса зрна и масе зрна по класу, броја зрна по класу, масе 1000 зрна и хектолитарске масе, уз високозначајне коефицијенте корелације са масом зрна по класу (0,68^{**}) и хектолитарском масом (0,57^{*}). Хектолитарска маса и маса 1000 зрна су у високозначајној позитивној корелацији (0,82^{**}).



Легенда: VB – висина биљке, DK – дужина класа, MK – маса класа, MZK – маса зрна по класу, BZK – број зрна по класу, MHZ – маса 1000 зрна, HM – хектолитарска маса, PZ – принос зрна, PRO – садржај протеина.

Графикон 76. *Heatmap* анализа корелација агрономских особина пшенице

С циљем испитивања међусобног односа анализираних генотипова пшенице и морфолошких, продуктивних и особина квалитета, спроведена је РСА анализа (Графикон 77). Прва главна компонента објашњава 41,2%, а друга 33,6% укупне варијансе у подацима. Висина биљке, дужина класа и број зрна по класу имају позитивне вредности обе главне компоненте и смештене су у исти квадрант биплота, што указује на њихову значајну међусобну повезаност. Линије спелте КГ-54-7/3-5 (G14) и КГ-54-7/3-2 (G15) се налазе у близини вектора за дужину класа и висину биљке, што одражава високе вредности ових особина код поменутих линија.



Легенда: Ознаке генотипова: G1 – КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке особина: VB – висина биљке, DK – дужина класа, МК – маса класа, МЗК – маса зрна по класу, ВЗК – број зрна по класу, МНЗ – маса 1000 зрна, НМ – хектолитарска маса, PZ – принос зрна, PRO – садржај протеина.

Графикон 77. Анализа главних компоненти (РСА) за испитиване агрономске особине

Маса зрна по класу, принос зрна, хектолитарска маса и маса 1000 зрна имају негативне вредности прве, а позитивне вредности друге главне компоненте, што их сврстава у исти квадрант биплота и указује на њихову међусобну позитивну корелацију. Сорте Ренесанса (G12) и Победа (G13) се налазе у овиру вектора приноса зрна и масе зрна по класу, што одражава високе вредности ових особина код поменутих

сорт. Такође, линије КГ-4/1 (G1), КГ-11/1 (G3) и КГ-9/1 (G2) се истовремено налазе у оквиру вектора хектолитарске масе, масе 1000 зрна и приноса зрна, што одражава високе вредности датих особина код ових линија.

Вектор садржаја протеина је издвојен у засебан квадрант биплота, остварујући негативну корелацију са већином анализираних особина, укључујући и принос зрна. Линија КГ-33/1 (G7), са ниским вредностима већег броја анализираних особина, а високим садржајем протеина у зрну је смештена у исти квадрант биплота са вектором за садржај протеина (Графикон 77).

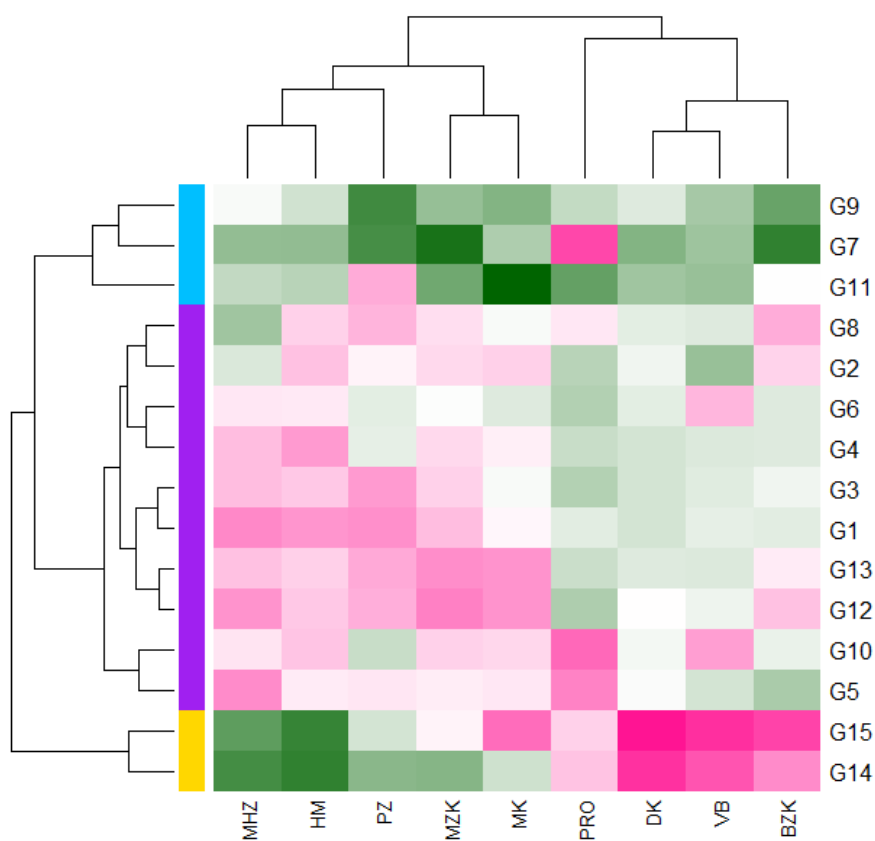
Како би се извршило истовремено груписање генотипова и анализираних агрономских особина, спроведена је хијерархијска *heatmap* кластер анализа (Графикон 78). На кластер *heatmap*-у, зелена боја означава исподпросечне вредности особина, при чему јачи интензитет зелене означава ниже вредности. Белом бојом су представљене просечне вредности особине на нивоу огледа, док розе боја означава изнадпросечне вредности, где интензивнија розе боја означава веома високе вредности особине. Анализирани особине су подељене у четири кластер групе. Први кластер чине маса 1000 зрна, хектолитарска маса и принос зрна, док су у други кластер смештене уско повезане особине: маса зрна по класу и маса класа. Садржај протеина у зрну је издвојен у засебан кластер, док су дужина класа, висина биљке и број зрна по класу уско повезани у оквиру истог кластера.

На основу остварених вредности особина на нивоу огледа, генотипови су груписани у три кластер групе. Највећу кластер групу генотипова, означену љубичастом бојом, чине линије које се одликују исподпросечним вредностима броја зрна по класу, висине биљке и дужине класа, уз истовремено изнадпросечне вредности масе 1000 зрна, хектолитарске масе, садржаја протеина у зрну, масе класа и масе зрна по класу, уз блага индивидуална одступања. Линије КГ-43/1 (G10) и КГ-21/1 (G5) су уско повезане и карактеришу се високим садржајем протеина.

Сорте Ренесанса (G12) и Победа (G13) формирају блиско повезан пар, са високим вредностима већине особина, а посебно високим вредностима масе зрна по класу и масе класа, док су линије КГ-4/1 (G1) и КГ-11/1 (G3) уско повезане и истичу се високим приносом зрна, као и хектолитарске масе и масе 1000 зрна. Линије КГ-33/1 (G7), КГ-41/1 (G9), и сорта НС 40 С (G11) формирају посебну кластер групу (плави кластер), одликујући се исподпросечним вредностима висине биљке, дужине класа, масе класа, масе зрна по класу и хектолитарске масе. Ипак, битно је нагласити да се

линија КГ-33/1 (G7) издваја највећим просечним садржајем протеина у зрну, док се сорта НС 40С (G11) издваја високим приносом зрна на нивоу огледа.

Линије спелте, КГ-54-7/3-5 (G14) и КГ-54-7/3-2 (G15), формирају засебан кластер (окер боја), што указује на специфичне особине ових генотипова, пре свега веома високе вредности дужине класа, висине биљке и броја зрна по класу. Поред тога, ове линије имају изнадпросечан садржај протеина у зрну, али исподпросечне вредности приноса зрна, масе 1000 зрна и хектолитарске масе.



Легенда: Ознаке генотипова: G1 –КГ-4/1, G2 – КГ-9/1, G3 – КГ-11/1, G4 – КГ-16/1, G5 – КГ-21/1, G6 – КГ-30/1, G7 – КГ-33/1, G8 – КГ-40/1, G9 – КГ-41/1, G10 – КГ-43/1, G11 – НС 40С, G12 – Ренесанса, G13 – Победа, G14 – КГ-54-7/3-5, G15 – КГ-54-7/3-2; Ознаке особина: MHZ – маса 1000 зрна, HM – хектолитарска маса, PZ – принос зрна, MZK – маса зрна по класу, МК – маса класа, PRO – садржај протеина, DK – дужина класа, VB – висина биљке, и BZK – број зрна по класу.

Графикон 78. Хијерархијска *heatmap* кластер анализа за агрономске особине код 15 генотипова пшенице гајених на три локалитета током две вегетационе сезоне

6.5. Параметри антиоксидативне активности

6.5.1. Способност неутрализације слободног DPPH радикала

На основу приказаних резултата уочава се да се генотипови разликују у погледу способности неутрализације DPPH• радикала, као параметра антиоксидативне активности, као и да њихов одговор варира кроз фенофазе и вегетационсе сезоне (Табела 49). Посматрано на нивоу огледа, генотипови КГ-11/1 (3,50 mg TE g⁻¹ с.м.), КГ-40/1 (3,49 mg TE g⁻¹ с.м.), Победа (3,48 mg TE g⁻¹ с.м.) и Ренесанса (3,46 mg TE g⁻¹ с.м.) испољавају највећу антиоксидативну активност, док је најмања антиоксидативна активност установљена код генотипа НС 40С (3,02 mg TE g⁻¹ с.м.).

Табела 49. Способност неутрализације слободног DPPH радикала (средња вредност + sd, mg TE g⁻¹ с.м.) код 15 генотипова кроз три фенофазе и две вегетационе сезоне (комбиновано за сва три локалитета)

Генотип	Бокорење		Пораст у стабло		Цветање		Просек
	2022/23	2023/24	2022/23	2023/24	2022/23	2023/24	
КГ-4/1	2,48 ± 0,05	4,58 ± 0,03	4,59 ± 0,10	2,42 ± 0,30	3,57 ± 0,15	2,73 ± 0,12	3,39 ^{бвг}
КГ-9/1	2,65 ± 0,02	4,59 ± 0,01	3,95 ± 0,17	2,22 ± 0,16	3,37 ± 0,11	2,43 ± 0,12	3,20 ^б
КГ-11/1	2,50 ± 0,08	4,60 ± 0,05	4,41 ± 0,13	3,24 ± 0,16	3,85 ± 0,14	2,38 ± 0,08	3,50 ^а
КГ-16/1	2,50 ± 0,09	4,61 ± 0,05	3,80 ± 0,09	2,81 ± 0,17	3,46 ± 0,14	2,36 ± 0,18	3,26 ^{аб}
КГ-21/1	2,51 ± 0,09	4,60 ± 0,05	4,64 ± 0,04	2,88 ± 0,15	3,35 ± 0,13	2,47 ± 0,14	3,41 ^{а-г}
КГ-30/1	2,59 ± 0,14	4,59 ± 0,08	4,42 ± 0,14	2,74 ± 0,15	3,29 ± 0,11	1,87 ± 0,14	3,25 ^{аб}
КГ-33/1	2,69 ± 0,08	4,57 ± 0,05	4,19 ± 0,20	2,93 ± 0,15	3,59 ± 0,15	2,55 ± 0,15	3,42 ^{а-г}
КГ-40/1	2,62 ± 0,06	4,62 ± 0,03	4,52 ± 0,16	2,85 ± 0,12	3,88 ± 0,05	2,44 ± 0,08	3,49 ^{аб}
КГ-41/1	2,27 ± 0,06	4,62 ± 0,03	3,66 ± 0,14	2,90 ± 0,15	3,32 ± 0,21	2,58 ± 0,09	3,22 ^б
КГ-43/1	2,30 ± 0,07	4,61 ± 0,04	4,27 ± 0,10	2,88 ± 0,16	3,25 ± 0,12	2,71 ± 0,07	3,34 ^{гд}
НС 40С	2,43 ± 0,08	4,43 ± 0,05	3,47 ± 0,26	2,64 ± 0,14	3,12 ± 0,16	2,05 ± 0,11	3,02 ^е
Ренесанса	2,33 ± 0,07	4,39 ± 0,04	4,39 ± 0,17	3,26 ± 0,20	3,83 ± 0,06	2,54 ± 0,11	3,46 ^{абв}
Победа	2,37 ± 0,07	4,46 ± 0,04	3,93 ± 0,14	3,34 ± 0,18	3,72 ± 0,14	3,05 ± 0,13	3,48 ^{аб}
КГ-54-7/3-5	2,33 ± 0,11	4,57 ± 0,06	4,00 ± 0,10	3,53 ± 0,22	3,36 ± 0,07	2,50 ± 0,12	3,38 ^{бг}
КГ-54-7/3-2	2,41 ± 0,07	4,52 ± 0,04	3,51 ± 0,07	3,64 ± 0,22	3,60 ± 0,04	2,59 ± 0,12	3,38 ^{бг}
Просек	2,47 ^б	4,56 ^а	4,12 ^а	2,95 ^б	3,50 ^а	2,48 ^б	3,35
HSD _{0,05} (генотип)	0,162	0,088	0,305	0,319	0,235	0,214	0,093

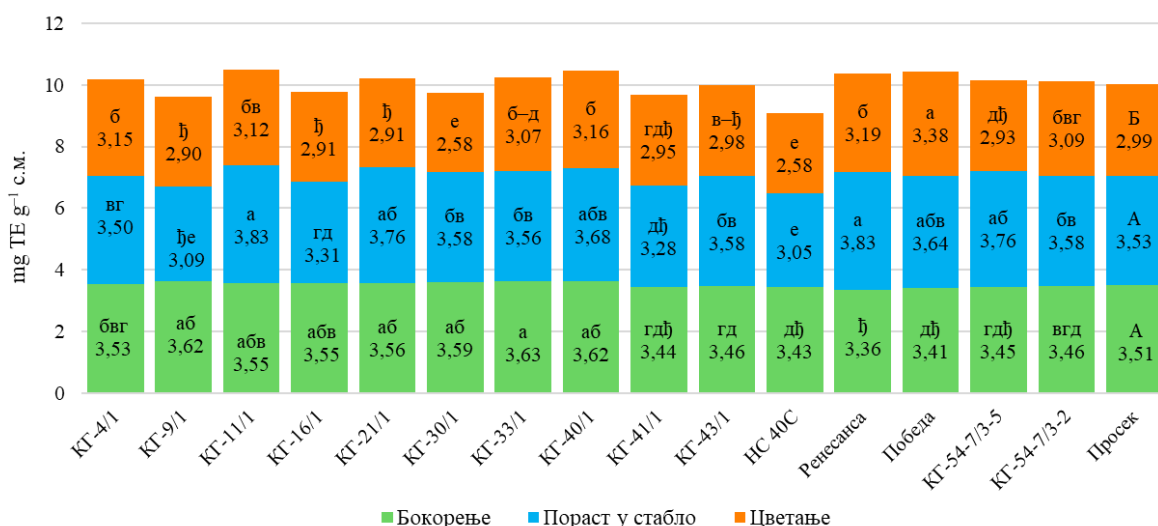
Различита велика слова означавају статистички значајне разлике између година у оквиру сваке фенофазе. Различита мала слова унутар колоне означавају статистички значајне разлике између генотипова, према Tukey HSD тесту ($p < 0,05$).

Посматрано на нивоу огледа, највећу антиоксидативну активност су генотипови испољили у фенофази бокорење у 2023/2024. сезони (4,56 mg TE g⁻¹ с.м.), док је

најмања антиоксидативна активност измерена у фенофази бокорење у 2022/2023. сезони (2,47 mg TE g⁻¹ с.м.). Анализа по сезонама показује да вредности по фенофазама варирају у зависности од године, што потврђује постојање значајне интеракције између фенофазе и године. Наиме, у фенофазама пораст у стабло и цветање забележена је значајно већа антиоксидативна активност у сезони 2022/2023. у односу на 2023/2024, док је у фенофази бокорење вредност била већа у 2023/2024. сезони, у просеку за све локалитете (Табела 49).

У просеку за све локалитете и године, највеће вредности анализираних параметра забележене су у фенофази пораст у стабло (3,53 mg TE g⁻¹ с.м.), затим нешто мање у фенофази бокорење (3,51 mg TE g⁻¹ с.м.), али без статистичке значајности разлика, док је у фенофази цветање забележена најмања вредност (2,99 mg TE g⁻¹ с.м.). Генотип НС 40С је имао најниже вредности анализираних параметра, нарочито у фенофазама пораст у стабло (3,02 mg TE g⁻¹ с.м.) и цветање (2,58 mg TE g⁻¹ с.м.). Такође, ниска антиоксидативна активност је установљена и код генотипа КГ-41/1 (Графикон 79).

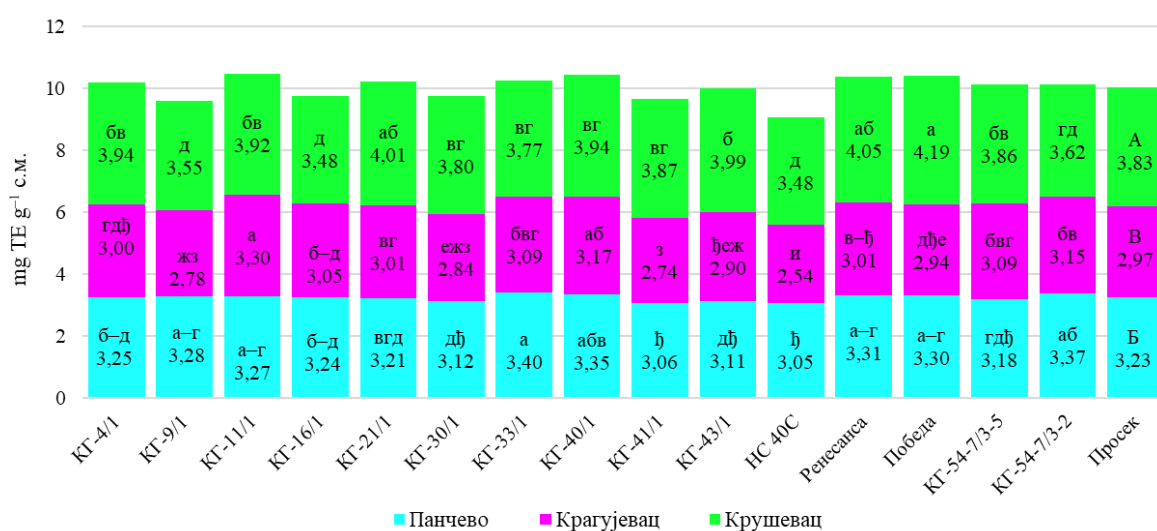
Највећа способност за неутралисање DPPH• радикала забележена је код генотипа КГ-33/1 у фенофази бокорење (3,63 mg TE g⁻¹ с.м.), код генотипа Ренесанса и КГ-11/1 у фенофази пораст у стабло (3,83 mg TE g⁻¹ с.м.) и код генотипа Победа у фенофази цветања (3,38 mg TE g⁻¹ с.м.).



Напомена: различита слова означавају статистички значајне разлике између генотипова унутар сваке фенофазе (Tukey HSD тест, p < 0,05).

Графикон 79. Способност неутрализације слободног DPPH радикала (mg TE g⁻¹ с.м.) код генотипова пшенице у различитим фенофазама (комбиновани подаци са три локалитета и две сезоне)

Антиоксидативна активност се значајно разликовала ($p < 0,05$) између испитиваних локалитета, при чему је највећа вредност била на локалитету Крушевац ($3,83 \text{ mg TE g}^{-1}$ с.м.), затим у Панчеву ($3,23 \text{ mg TE g}^{-1}$ с.м.), а најнижа у Крагујевцу ($2,97 \text{ mg TE g}^{-1}$ с.м.), у просеку за све фенофазе током периода испитивања (Графикон 79). Генотип КГ-33/1 је показао највећу антиоксидативну активност у Панчеву ($3,40 \text{ mg TE g}^{-1}$ с.м.), генотип КГ-11/1 у Крагујевцу ($3,30 \text{ mg TE g}^{-1}$ с.м.), док је у Крушевцу највиша вредност забележена код генотипа Победа ($4,19 \text{ mg TE g}^{-1}$ с.м.). Генотип НС 40С имао је најнижу антиоксидативну активност на свим локалитетима, која се кретала од $2,54 \text{ mg TE g}^{-1}$ с.м. у Крагујевцу до $3,48 \text{ mg TE g}^{-1}$ с.м. у Крушевцу (Графикон 80).



Напомена: различита мала слова означавају статистички значајне разлике између генотипова унутар сваког локалитета (Tukey HSD тест, $p < 0,05$).

Графикон 80. Способност неутрализације слободног DPPH радикала (mg TE g^{-1} с.м.) код генотипова пшенице на различитим локалитетима (комбиновани подаци са три фенофазе и две сезоне)

6.5.2. Садржај укупних фенола

Анализа резултата показује да постоји значајна варијабилност у садржају укупних фенола између анализираних генотипова пшенице, као и да њихов одговор није уједначен кроз фенофазе и године, што указује на вишефакторску реакцију биљака на променљиве услове средине (Табела 50).

На нивоу целокупног огледа, највећи просечни садржај укупних фенола забележен је код генотипова КГ-4/1 ($6,23 \text{ mg GAE g}^{-1}$ с.м.), КГ-21/1 ($6,07 \text{ mg GAE g}^{-1}$ с.м.),

с.м.), Ренесанса (6,05 mg GAE g⁻¹ с.м.) и КГ-40/1 (6,00 mg GAE g⁻¹ с.м.). Насупрот томе, најниже вредности установљене су код генотипова НС 40С (5,36 mg GAE g⁻¹ с.м.) и КГ-41/1 (5,47 mg GAE g⁻¹ с.м.), што указује на њихов слабији потенцијал акумулације фенолних једињења.

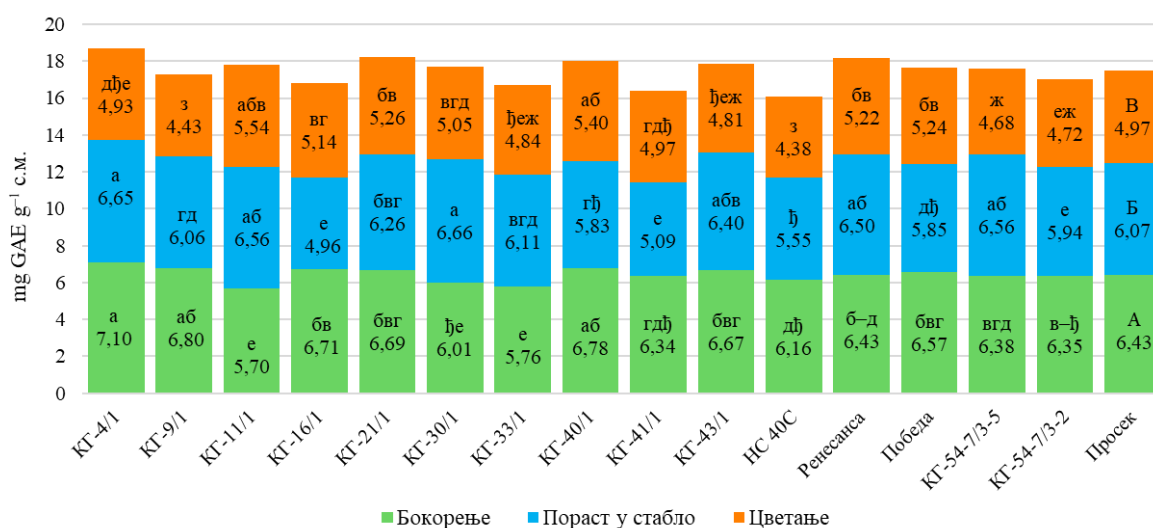
Међутим, анализа по сезонама открива да су вредности садржаја укупних фенола значајно варирали у зависности од године (Табела 50). У фенофазама пораст у стабло и цветања забележене су значајно веће вредности садржаја фенола у сезони 2022/2023. у односу на 2023/2024, док је у фенофази бокорење већи садржај фенола утврђен у сезони 2023/2024. Највећа вредност садржаја фенола, у просеку за све локалитете и генотипове, забележена је у фенофази бокорење у 2023/2024. сезони (7,48 mg GAE g⁻¹ с.м.), док је најмања просечна вредност установљена у фенофази цветање у 2023/2024. сезони (3,75 mg GAE g⁻¹ с.м.), Табела 50.

Табела 50. Садржај укупних фенола (средња вредност + sd, mg GAE g⁻¹ с.м.) код 15 генотипова кроз три фенофазе и две вегетационе сезоне (комбиновано за сва три локалитета)

Генотип	Бокорење		Пораст у стабло		Цветање		Просек
	2022/23	2023/24	2022/23	2023/24	2022/23	2023/24	
КГ-4/1	5,68 ± 0,18	8,52 ± 0,11	8,84 ± 0,22	4,46 ± 0,22	5,83 ± 0,10	4,03 ± 0,07	6,23 ^a
КГ-9/1	5,80 ± 0,14	7,80 ± 0,08	7,84 ± 0,39	4,28 ± 0,12	5,42 ± 0,16	3,43 ± 0,08	5,76 ^{ab}
КГ-11/1	4,42 ± 0,37	6,99 ± 0,21	7,65 ± 0,31	5,48 ± 0,09	7,30 ± 0,22	3,78 ± 0,11	5,94 ^{бвг}
КГ-16/1	5,84 ± 0,25	7,58 ± 0,14	5,01 ± 0,31	4,90 ± 0,37	6,37 ± 0,14	3,90 ± 0,10	5,60 ^{бвс}
КГ-21/1	5,49 ± 0,48	7,88 ± 0,28	7,74 ± 0,13	4,78 ± 0,10	6,49 ± 0,14	4,02 ± 0,16	6,07 ^{аб}
КГ-30/1	5,60 ± 0,30	6,41 ± 0,16	8,66 ± 0,31	4,67 ± 0,09	6,57 ± 0,24	3,54 ± 0,08	5,91 ^{б-д}
КГ-33/1	5,06 ± 0,27	6,46 ± 0,18	7,80 ± 0,37	4,42 ± 0,16	5,56 ± 0,20	4,12 ± 0,29	5,57 ^{сж}
КГ-40/1	5,78 ± 0,31	7,77 ± 0,14	6,98 ± 0,19	4,67 ± 0,28	7,18 ± 0,14	3,62 ± 0,15	6,00 ^{бвг}
КГ-41/1	5,20 ± 0,24	7,47 ± 0,15	5,32 ± 0,36	4,86 ± 0,11	5,92 ± 0,19	4,02 ± 0,10	5,47 ^{жз}
КГ-43/1	5,79 ± 0,27	7,56 ± 0,19	7,76 ± 0,27	5,03 ± 0,17	5,74 ± 0,18	3,88 ± 0,11	5,96 ^{бвг}
НС 40С	4,76 ± 0,33	7,55 ± 0,17	6,34 ± 0,34	4,76 ± 0,16	5,54 ± 0,20	3,22 ± 0,03	5,36 ^з
Ренесанса	5,29 ± 0,29	7,57 ± 0,11	7,41 ± 0,14	5,60 ± 0,07	6,54 ± 0,27	3,89 ± 0,08	6,05 ^{абв}
Победа	5,37 ± 0,19	7,76 ± 0,14	6,16 ± 0,25	5,54 ± 0,24	6,46 ± 0,14	4,03 ± 0,08	5,89 ^{вгд}
КГ-54-7/3-5	5,18 ± 0,25	7,58 ± 0,15	7,21 ± 0,30	5,90 ± 0,18	5,68 ± 0,22	3,67 ± 0,08	5,87 ^{гд}
КГ-54-7/3-2	5,44 ± 0,26	7,26 ± 0,09	6,32 ± 0,32	5,56 ± 0,08	6,36 ± 0,10	3,09 ± 0,10	5,67 ^{бс}
Просек	5,38 ^б	7,48 ^а	7,14 ^а	4,99 ^б	6,20 ^а	3,75 ^б	5,82
Фенофаза	6,43 ^а		6,07 ^б		4,97 ^б		–
HSD _{0,05} (генотип)	0,514	0,556	0,518	0,360	0,338	0,246	0,174

Различита велика слова означавају статистички значајне разлике између година у оквиру сваке фенофазе. Различита мала слова унутар колоне означавају статистички значајне разлике између генотипова, према Tukey HSD тесту (p < 0,05).

Посматрано на нивоу фенофаза, просечне вредности показују да је највећи садржај фенола забележен у фенофази бокорење (6,43 mg GAE g⁻¹ с.м.), затим следи фенофаза пораст у стабло (6,07 mg GAE g⁻¹ с.м.), док је најнижи садржај фенола измерен у фенофази цветање (4,97 mg GAE g⁻¹ с.м.). Генотип КГ-4/1 испољава највиши садржај укупних фенола, посебно у фенофази бокорење (7,10 mg GAE g⁻¹ с.м.) и пораст у стабло (6,65 mg GAE g⁻¹ с.м.), док су најниже вредности забележене код генотипа КГ-33/1, нарочито у фенофази цветање (4,38 mg GAE g⁻¹ с.м.). Уочљива је тенденција опадања садржаја фенола кроз фенофазе, са највишим вредностима у бокорењу и најнижима у цветању. Генотипови КГ-21/1 и Ренесанса такође показују високе вредности фенола у бокорењу и порасту у стабло, док су код неких генотипова, као што су КГ-41/1 и КГ-43/1, вредности у порасту у стабло значајно ниже у односу на друге фенофазе (Графикон 81).



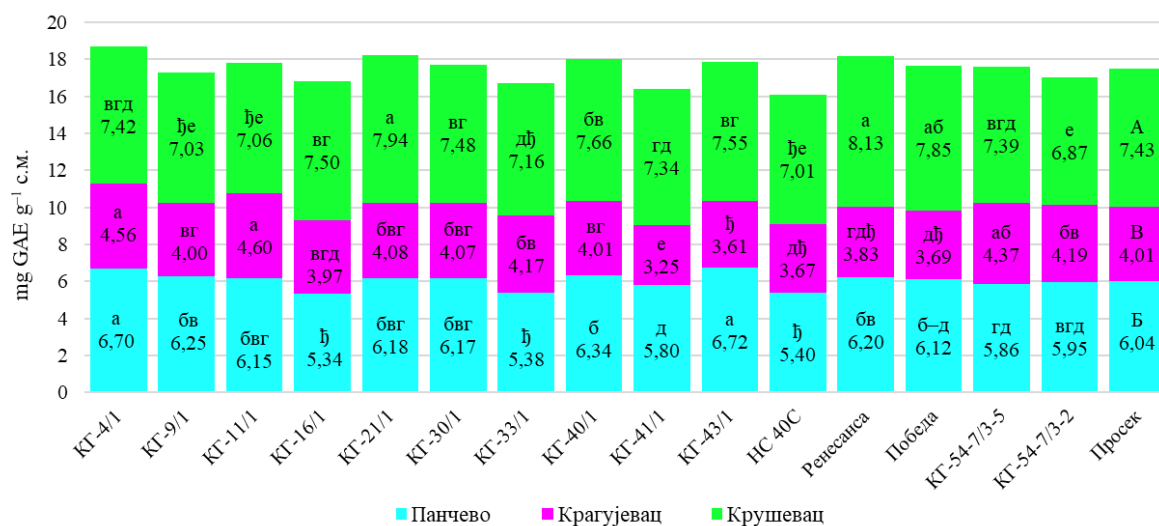
Напомена: различита мала слова означавају статистички значајне разлике између генотипова унутар сваке фенофазе (Tukey HSD тест, $p < 0,05$).

Графикон 81. Садржај укупних фенола (mg GAE g⁻¹ с.м.) код генотипова пшенице у различитим фенофазама (комбиновани подаци са три локалитета и две сезоне)

У просеку за све фенофазе и обе сезоне, највећи садржај укупних фенола забележен је у Крушевцу (7,43 mg GAE g⁻¹ с.м.), затим у Панчеву (6,04 mg GAE g⁻¹ с.м.), док је најнижа вредност утврђена у Крагујевцу (4,01 mg GAE g⁻¹ с.м.). Ови резултати указују да локалитет значајно утиче на синтезу фенолних једињења, што је вероватно последица специфичних земљишних и климатских услова.

Генотипови су се разликовали у погледу садржаја укупних фенола по локалитетима. Највећи садржај укупних фенола у Панчеву исполио је генотип КГ-43/1

(6,72 mg GAE g⁻¹ с.м.), док је у Крушевцу највиша вредност забележена код генотипа Ренесанса (8,13 mg GAE g⁻¹ с.м.). У Крагујевцу се издвојио генотип КГ-4/1 са највишим садржајем фенола (4,56 mg GAE g⁻¹ с.м.). С друге стране, најнижа вредност фенола на сва три локалитета утврђена је код генотипа КГ-41/1 од 3,25 mg GAE g⁻¹ с.м. у Крагујевцу (Графикон 82).



Напомена: различита мала слова означавају статистички значајне разлике између генотипова унутар сваког локалитета (Tukey HSD тест, $p < 0,05$).

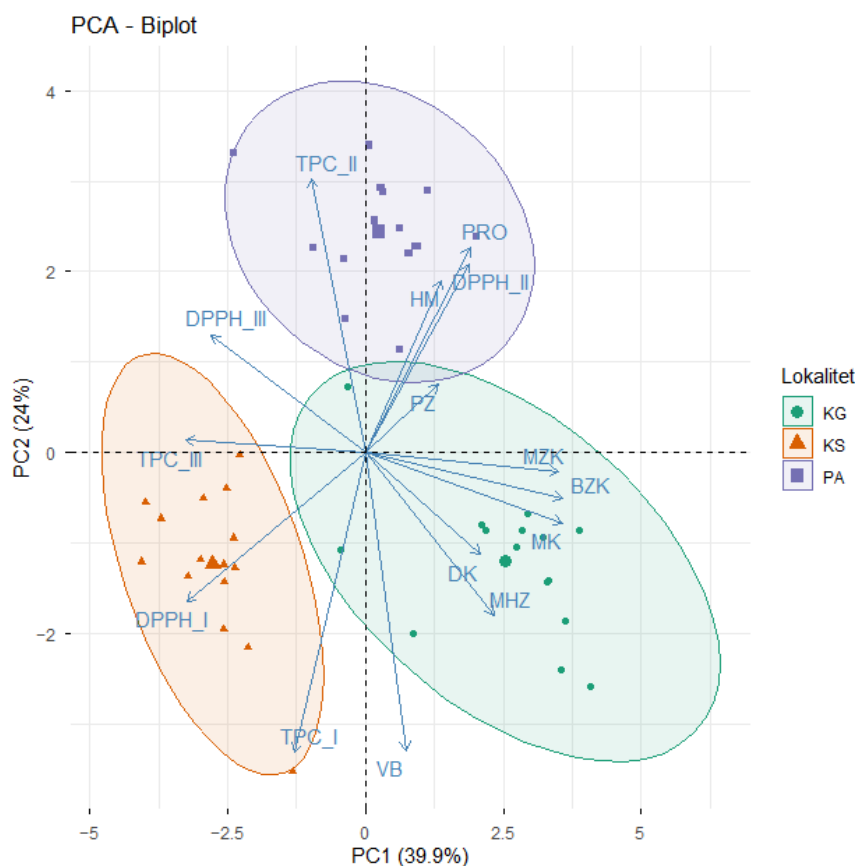
Графикон 82. Садржај укупних фенола (mg GAE g⁻¹ с.м.) код генотипова пшенице на различитим локалитетима (комбиновани подаци са три фенофазе и две сезоне)

6.6. Међусобна повезаност параметара антиоксидативне активности, морфолошких, продуктивних и особина квалитета пшенице

Анализа међусобног односа испитиваних параметара антиоксидативне активности и агрономских особина пшенице по локалитетима је извршена помоћу РСА анализе, посебно за сваку сезону. За сваку сезону креирани су РСА биplot (PC1 vs. PC2) и 3D графикон (PC1 vs. PC2 vs. PC3) (Графикони 85 и 86). Прве три главне компоненте објашњавају већину укупне варијабилности у подацима по сезони (Прилог 13 и Прилог 14). У сезони 2022/2023, PC1 и PC2 заједно објашњавају 63,9% варијације (Графикон 83), док PC3 доприноси са додатних 11,9% (Графикон 84). Дводимензионални (РСА биplot) и тродимензионални (3Д) графикон јасно раздвајају локалитете и особине.

Елипсе око груписаних генотипова, на РСА биplotу, указују на варијабилност унутар сваког локалитета, при чему је највећа варијабилност присутна у Крагујевцу, затим у Крушевцу, а најмања у Панчеву (Графикон 83). Такође, јасна раздвојеност локалитета указује на њихов изражен утицај на образац корелација између анализираних особина.

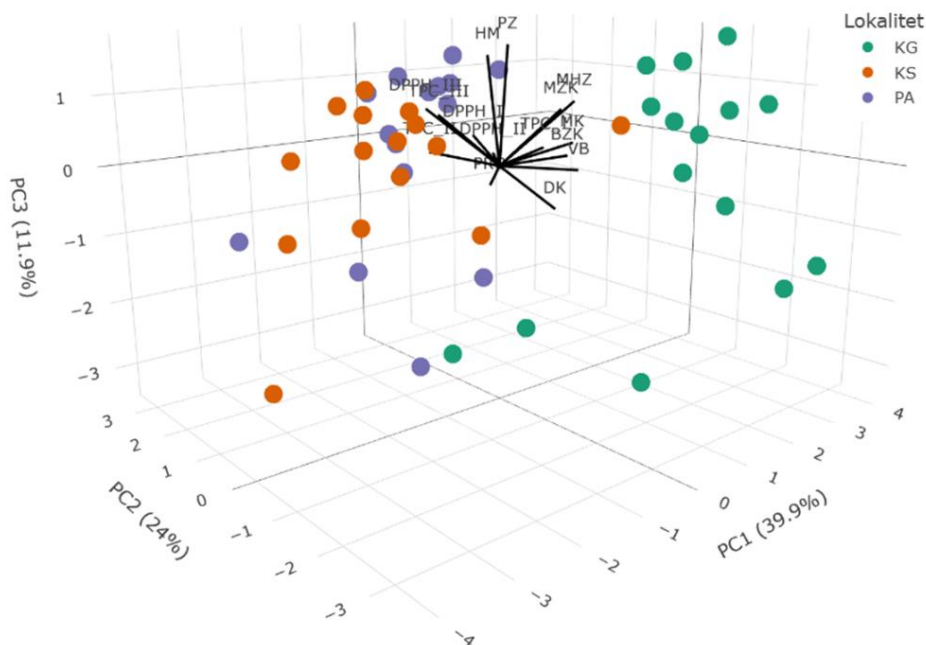
Вектор приноса зрна формира оштар угао са векторима који представљају параметре антиоксидативне активности у фенофази пораст у стабло. Способност неутрализације DPPH• радикала и садржај укупних фенола међусобно заклапају оштар угао у оквиру сваке фенофазе. Маса зрна по класу, број зрна по класу, маса класа, дужина класа и маса 1000 зрна међусобно својим векторима заклапају оштар угао, што наглашава значајну повезаност ових особина у 2022/2023. сезони. Вектори поменутих особина су смештени у оквиру елипсе локалитета Крагујевац, који је добрим делом утицао на образовање корелација између њих. Параметри антиоксидативне активности анализирани у фенофази бокорење и цветање су у међусобној позитивној корелацији и смештени су у оквиру елипсе којом су обухваћени генотипови гајени на локалитету Крушевац, где је остварена и највећа антиоксидативна активност.



Легенда: VB – висина биљке, DK – дужина класа, МК – маса класа, MZK – маса зрна по класу, BZK – број зрна по класу, MHZ – маса 1000 зрна, HM – хектолитарска маса, PZ – принос зрна, PRO – садржај протеина, DPPH – способност неутралисања DPPH• радикала, TPC – садржај укупних фенола мерени кроз три фенофазе: I – бокорење, II – пораст у стабло, III – цветање

Графикон 83. Међусобни однос између анализираних особина код генотипова пшенице гајених на три локалитета (Панчево, Крагујевац и Крушевац) у 2022/2023. вегетационој сезони представљен PCA (PC1 vs. PC2) биplot анализом

Сличан образац потврђује и 3D графикон, при чему додатна варијанса објашњена PC3 осом омогућава јасније уочавање одређених образаца корелације између особина (Графикон 84). Према овом графикону, принос зрна је смештен у оквиру генотипова гајених на локалитету Панчево, на којем је остварен највећи принос зрна у сезони 2022/2023. Такође, принос зрна и хектолитарска маса су у уској повезаности са параметрима антиоксидативне активности кроз све фенофазе. Садржај протеина је, према 3D приказу, оријентисан супротно осталим особинама, доприносом PC3 компоненте, чиме је наглашена негативна корелација ове особине квалитета са осталим особинама (Графикон 84).



Легенда: VB – висина биљке, DK – дужина класа, MK – маса класа, MZK – маса зрна по класу, BZK – број зрна по класу, MHZ – маса 1000 зрна, HM – хектолитарска маса, PZ – принос зрна, PRO – садржај протеина, DPPH – способност неутралисања DPPH• радикала, TPC – садржај укупних фенола мерени кроз три фенофазе: I – бокорење, II – пораст у стабло, III – цветање

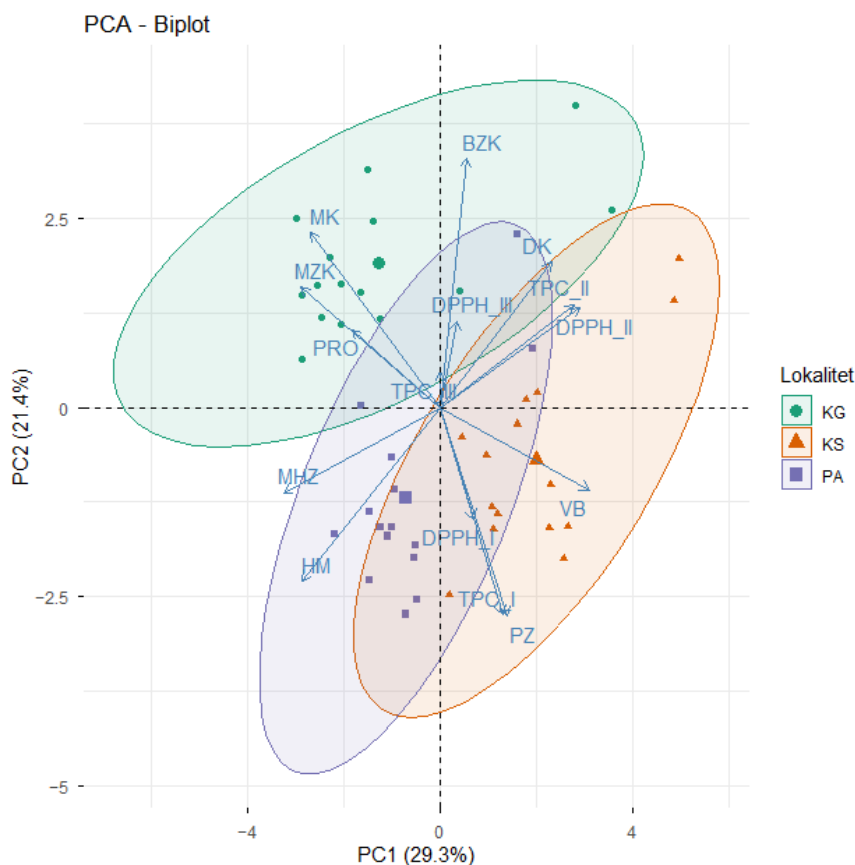
Графикон 84. Међусобни однос између анализираних особина код генотипова пшенице гајених на три локалитета (Панчево, Крагујевац и Крушевац) у 2022/2023. вегетационој сезони представљен 3Д (PC1 vs. PC2 vs. PC3) анализом

У другој сезони (2023/2024), прве две главне компоненте објашњавају 50,7% укупне варијабилности, што је приказано PCA биplotом (Графикон 85), док додатних 14,3% варијабилности (PC3) приказује 3D графикон, тако да прве три компоненте заједно објашњавају 65% укупне варијабилности (Графикон 86).

На PCA биplotу уочено је издвајање локалитета Крагујевац у односу на локалитете Панчево и Крушевац, који се великим делом међусобно преклапају. Параметри антиоксидативне активности су у међусобној позитивној корелацији у свакој анализираној фенофази у 2023/2024. сезони (Графикон 85).

Вектори за број зрна по класу, дужину класа и параметре антиоксидативне активности у фенофазама бокорење и пораст у стабло формирају међусобно оштар угао, што указује на позитивне корелације између ових особина. Вектори приноса зрна и параметара антиоксидативне активности у фенофази бокорење се међусобно преклапају, што наглашава високозначајну међусобну повезаност, коју су махом дефинисали услови локалитета Крушевац у 2023/2024. сезони, где су постигнуте и

највеће вредности ових особина. Такође, вектор висине биљке заклапа оштар угао са поменутиим особинама. Маса класа, маса зрна по класу и садржај протеина се налазе у позитивној међузависности и смештени су у оквиру елипсе која означава генотипове гајене на локалитету Крагујевац. С друге стране, вектори хектолитарске масе и масе 1000 зрна међусобно заклапају оштар угао и позиционирани су у оквиру елипсе која означава локалитет Панчево (Графикон 85).

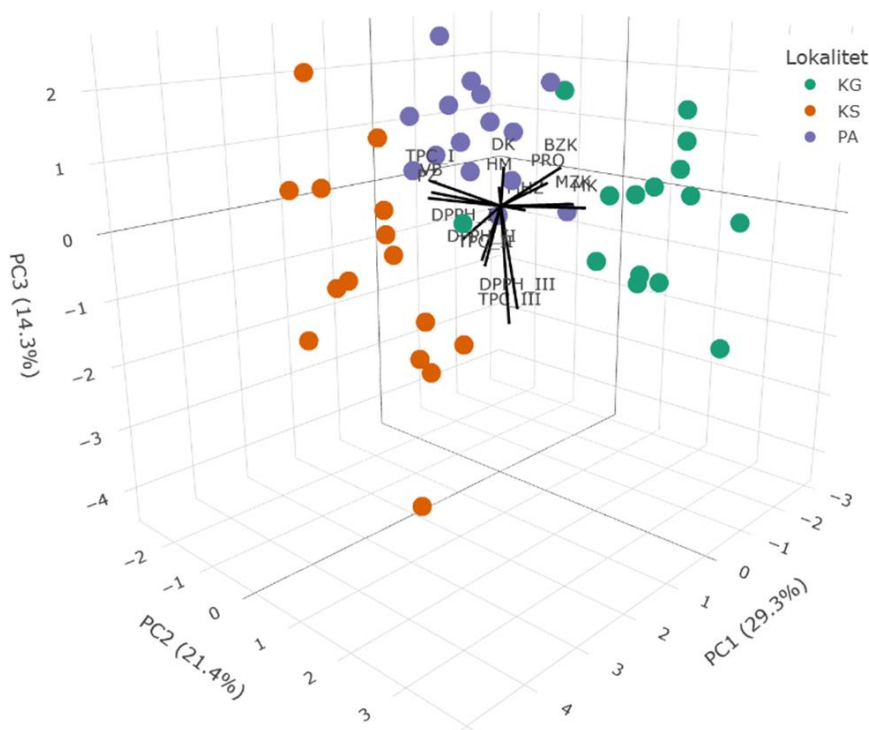


Легенда: VB – висина биљке, DK – дужина класа, МК – маса класа, MZK – маса зрна по класу, BZK – број зрна по класу, MHZ – маса 1000 зрна, NM – хектолитарска маса, PZ – принос зрна, PRO – садржај протеина, DPPH – способност неутралисања DPPH• радикала, TPC – садржај укупних фенола мерени кроз три фенофазе: I – бокорење, II – пораст у стабло, III – цветање

Графикон 85. Међусобни однос између анализираних особина код генотипова пшенице гајених на три локалитета (Панчево, Крагујевац и Крушевац) у 2023/2024. вегетационој сезони представљен PCA (PC1 vs. PC2) биplot анализом

Тродимензионални (3D) графикон показује нешто измењен образац односа анализираних особина, условљен високим позитивним или негативним вредностима PC3 компоненте код појединих особина (Графикон 86, Прилог 14). За разлику од PCA биplotа, параметри антиоксидативне активности у фенофазу цветања су супротно

оријентисани у односу на векторе особина број зрна по класу, садржај протеина, маса зрна по класу, маса 1000 зрна, и маса класа, и углавном боље описују локалитет Крушевац. Увођење у анализу PC3 компоненте додатно потврђује позитивне корелације приноса зрна и параметара антиоксидативне активности у фенофази бокорење.



Легенда: VB – висина биљке, DK – дужина класа, МК – маса класа, MZK – маса зрна по класу, BZK – број зрна по класу, MHZ – маса 1000 зрна, HM – хектолитарска маса, PZ – принос зрна, PRO – садржај протеина, DPPH – способност неутралисања DPPH• радикала, TPC – садржај укупних фенола мерени кроз три фенофазе: I – бокорење, II – пораст у стабло, III – цветање

Графикон 86. Међусобни однос између анализираних особина код генотипова пшенице гајених на три локалитета (Панчево, Крагујевац и Крушевац) у 2023/2024. вегетационој сезони представљен 3Д (PC1 vs. PC2 vs. PC3) анализом

7. ДИСКУСИЈА

7.1. Фенотипска варијација морфолошких, продуктивних и особина квалитета пшенице

За процену фенотипске варијације морфолошких, продуктивних и особина квалитета испитиваних генотипова пшенице коришћени су параметри централне тенденције (средња вредност и коефицијент варијације) за приказ варијабилности особина, док је анализом варијансе утврђена значајност утицаја анализираних фактора (генотип, локалитет, година) и њихових интеракција у фенотипској експресији особина.

Многа истраживања показују да је разноврсност гермплазме од кључне важности у оплемењивачким програмима, који имају за циљ стварање нових сорти са побољшаним потенцијалом за принос зрна у различитим климатским условима (Balkan et al., 2018; Ullah et al. 2021; Achilli et al., 2022; Pour-Aboughadareh et al., 2017, 2022; Ahmed et al., 2023).

Резултати овог истраживања указују на изражену варијабилност међу испитиваним генотиповима пшенице у фенотипској експресији анализираних морфолошких, продуктивних и особина квалитета. Варијабилност је присутна како између испитиваних перспективних линија пшенице, тако и у њиховом поређењу са признатим сортама, које су коришћене као стандарди. Додатни допринос разноврсности гермплазме дају две испитиване линије спелте (*Triticum spelta* L.).

Током последњих година, спелта је поново привукла интересовање потрошача, пољопривредника и оплемењивача због своје високе нутритивне вредности и присуства бројних гена пореклом од дивљих сродника, који могу имати значај у оплемењивању биљака (Alvarez, 2021). Стога, процена разноликости генетичког материјала унутар гермплазме је од суштинског значаја у оплемењивачким програмима, јер омогућава одабир сорти и линија са бољим агрономским карактеристикама у специфичним условима средине (Pour-Aboughadareh et al., 2017).

У овом истраживању је установљен значајан утицај анализираних фактора (генотип, локалитет, година) и њихових интеракција на фенотипску експресију анализираних особина. Због изражених разлика између локалитета у погледу микроклиматских и земљишних услова, у комбинацији са сезонским варијацијама у

смислу колебања температуре и падавина, приметан је значајан утицај фактора спољашње средине на фенотипску експресију свих особина.

Висина биљке се значајно разликовала између генотипова, локалитета и година. Међутим, фактор спољашње средине (локалитет и година) имао је већи утицај на варијацију ове особине него фактор генотип. Сличне резултате су у својим истраживањима добили Popović et al. (2020), Ljubičić et al. (2021) и Matković Stojšin et al. (2022a). Такође, Rad et al. (2013) наводе да је висина биљке квантитативна особина, која је у великој зависности од фактора спољашње средине. Током 2022/2023. вегетационе сезоне, када је била заступљена већа количина падавина у вегетативним фазама развоја пшенице, услови су били повољни за интензивнији раст биљака на сва три локалитета. Највећа вредност висине биљке је забележена на локалитету Крагујевац, посебно у 2022/2023. сезони, док је на истом локалитету у 2023/2024. сезони забележена најмања вредност ове особине, што је допринело значајности интеракције локалитет × година. На поменутом локалитету је забележена значајно већа сума падавина у фебруару, марту и априлу 2022/2023. у односу на 2023/2024. сезону у истом периоду, што је утицало на вегетативни развој пшенице.

Генотипови спелте постигли су највећу вредност висине биљке у обе године, што је и очекивано с обзиром на њихову генетску предиспозицију за вишу стабљику у односу на хлебну пшеницу. Значајно већу висину биљке код спелте у односу на хлебну пшеницу утврдили су и Karpenko et al. (2020). Иако висока стабљика представља непожељну особина код пшенице, због веће подложности полегању, Chrpová et al. (2021) истичу да код спелте висока стабљика има улогу пасивног фактора отпорности на фузариозу класа. Високоприносна сорта НС 40С се одликовала веома ниском вредношћу висине биљке. Такође, ниска вредност висине биљке је запажена код линија КГ-9/1, која се карактерисала приносом зрна у оквиру просека за оглед, што је заједно са сортом НС 40С чини погодним генетичким ресурсом за селекцију ради побољшања архитектуре биљке и отпорности на полегање. Према Philipp et al. (2018), ниска стабљика, односно полу-патуљавост (*енг. semi-dwarfism*) је пожељна особина код пшенице, не само због смањеног ризика од полегања усева, већ и због тога што краће биљке имају бољу ефикасност искоришћавања хранива, а што се позитивно одражава на укупан принос зрна. Смањењем стабљике пшенице, након „Зелене револуције“ је дошло до повећања приноса зрна и жетвеног индекса (Würschum et al., 2017; Shaheen et al., 2024; Kartseva et al., 2024; Zhou et al., 2025). С друге стране, линије пшенице КГ-

43/1 и КГ-30/1 су се одликовале највишом висином биљке, што их чини мање пожељним у селекцији, с обзиром на повећан ризик од полегања.

Просечна варијабилност висине биљке, изражена коефицијентом варијације, је била 5,6%, а кретала се у распону од 4,5% код линије спелте КГ-54-7/3-5 до 7,1% код линије хлебне пшенице КГ-30/1. Сличну варијабилност висине биљке су установили Zečević et al. (2008), док су нешто више вредности, али испод 10% добили Matković Stojšin et al. (2022b) код генотипова пшенице гајених на чернозему. Овакви резултати показују да је висина биљке уско варијабилна особина.

Дужина класа игра важну улогу у одређивању приноса пшенице (Mladenov et al., 2019; Javed et al., 2024). Истраживање у оквиру ове докторске дисертације показује да је дужина класа више варијабилна међу генотиповима него између сезона и локалитета. Дакле, резултати трофакторијалне анализе варијансе показују да је доминантан утицај на варијацију дужине класа имао фактор генотип, затим година, а најмањи локалитет, са статистичком значајношћу утицаја свих фактора. Ово је у складу са резултатима Sabbit et al. (2017), Matković Stojšin et al. (2018), Mladenov et al. (2019), Ullah et al. (2021), који су установили висок удео генотипске у укупној фенотипској варијанси код дужине класа. До сличних резултата су дошли Shamsabadi et al. (2020), који наводе да је дужина класа у великој мери условљена адитивним дејством гена, што указује на то да се ова особина може успешно користити у директној селекцији пожељних генотипова.

Генотипови спелте су се карактерисали најдужим класовима (у просеку изнад 13 cm) и највише су допинели уделу генотипског ефекта у укупној варијацији особине. Сличне вредности дужине класа код спелте (у просеку 12,2 cm) су установили Lacko-Bartošová et al. (2022), поредећи спелту пшеницу са једнозрнцием (*T. monosocum*) и двозрнцием (*T. dicoccon*). Поменути аутори су утврдили да фактор генотип објашњава 85,1% варијације дужине класа, док фактор година доприноси са 11,3%. Када је реч о генотиповима хлебне пшенице, највећа вредност дужине класа је установљена код сорте Ренесанса (9,2 cm), а најмања код сорте НС 40С (7,6 cm). Готово идентичну просечну вредност дужине класа сорте НС 40С (7,66 cm) су установили Kondić et al. (2017) испитујући варијабилност компоненти приноса различитих генотипова пшенице, при различитим густинама сетве током две године. Просечан коефицијент варијације дужине класа је износио 9,5%, што ову особину чини веома стабилном. Најмања варијабилност на нивоу огледа је забележена код линије КГ-4/1 (CV=8,1%), а највећа код линије КГ-33/1 (CV=13,7%). Lacko-Bartošová et al. (2022) су установили да је коефицијент варијације дужине класа испод 10%.

Фенотипска варијација масе класа је највише била условљена фактором локалитет, где је на локалитету Крагујевац остварена највећа просечна вредност (2,55 g), затим на локалитету Панчево (2,26 g) и најмања на локалитету Крушевац (2,04 g). На свим локалитетима је највећа вредност постигнута у 2023/2024. вегетационој сезони у односу на 2022/2023. Такође, већина анализираних генотипова је остварила већу вредност масе класа у 2023/2024. вегетационој сезони, уз присутну значајну интеракцију генотип \times година. Доминантан удео фактора спољашње средине у варијацији масе класа су утврдили Sabbit et al. (2017), Matković et al. (2018), Vanjac et al. (2022). Како истичу Vanjac et al. (2022), маса класа представља квантитативну особину чију експресију контролише већи број гена, а њена вредност у великој мери зависи од масе зрна по класу и броја зрна по класу. У истом истраживању забележен је релативно висок просечни коефицијент варијације масе класа (15,58%), који је варирао од 11,01% до 20,64% код анализираних сорти пшенице, у зависности од године испитивања. Ово је у сагласности са резултатима до којих су дошли Urošević et al. (2025), који су, проучавајући варијабилност 50 генотипова пшенице, утврдили просечан коефицијент варијације од 16,5%, што указује на изражену варијабилност ове компоненте приноса.

Маса зрна по класу је квантитативна особина, која је у овом истраживању била највише условљена фактором година, затим локалитет, а најмање фактором генотип, уз статистички значајан ефекат свих проучаваних фактора и њихових интеракција. Иако је вегетациона сезона 2023/2024. била скраћена због ограничене количине падавина у ранијим фазама развоја, већа количина падавина у мају обезбедила је повољне услове током генеративне фазе, што је допринело бољој оплодњи и наливању зрна и резултирало формирањем веће масе зрна по класу у односу на сезону 2022/2023. На локалитету Крагујевац су се у 2023/2024. вегетационој сезони створили повољни услови за формирање веће масе зрна по класу у односу на остала два локалитета, што истовремено потврђује значај микроклиматских услова у експресији ове продуктивне особине. Zečević et al. (2018) и Güngör et al. (2022) су утврдили да фактор спољашње средине има највећи утицај на експресију масе зрна по класу. Просечна вредност масе зрна по класу код анализираних генотипова се кретала од 1,42 g код линије КГ-33/1, до 1,92 g код сорте Ренесанса, код које је највећа вредност од 2,14 g. Забележена у 2023/2024. вегетационој сезони. Изражена варирања генотипова по сезонама су резултирала у значајној интеракцији генотип \times година. Коефицијент варијације масе зрна по класу је био висок ($CV=21,3\%$), а варирао је од 17,9% код линије спелте КГ-54-7/3-2 до 26,4% код линије хлебне пшенице КГ-41/1. Нешто мању просечну вредност

коэффициента варијације за ову продуктивну особину ($CV=16,75\%$) су установили Güngör et al. (2022), што, такође, указује на то да је ова особина веома варијабилна.

Број зрна по класу је највише варирао под утицајем фактора локалитета, при чему је највећа вредност забележена у Крагујевцу (44,9), затим у Панчеву (39,3), а најнижа просечна вредност у Крушевцу (36,3). Интеракција генотип \times година била је нарочито изражена за ову компоненту приноса, где је дошло до значајне измене у рангирању генотипова по годинама. Линије спелте су показале највеће вредности на нивоу огледа, са знатно већим вредностима оствареним у 2023/2024. сезони у односу на 2022/2023. сезону. Највећа вредност броја зрна по класу, међу генотиповима хлебне пшенице, је забележена код линије КГ-40/1, која је имала знатно већу вредност у 2022/2023. у односу на 2023/2024 сезону. Ово показује да је број зрна по класу веома варијабилна особина, која зависи од климатских услова. Према Serrago et al. (2025), ефикасност формирања зрна огледа се у балансу између раста јувенилних класова и развоја цветних пупољака током издуживања стабљике. Такође, број зрна по класу зависи од акумулације суве материје у класовима, што се одвија у периоду од 20 до 30 дана пре цветања (Ferrante et al., 2020; Serrago et al., 2025). Интеракција локалитет \times година је била посебно изражена код ове особине, где је дошло до различитог рангирања локалитета по сезонама у погледу анализираних особина. Већи број зрна по класу у Панчеву и Крагујевцу, посебно током 2022/2023. сезоне, углавном је последица веће количине падавина (102,2, односно 109,8 mm) у периоду 20 до 30 дана пре цветања (март–април), док је у Крушевцу забележена мања количина падавина (81,7 mm) у истом периоду. Дакле, поред генетских фактора, и еколошки услови током пораста у стабло, цветања и оплодње значајно утичу на експресију броја зрна по класу. Просечан коефицијент варијације од 17,1% указује на то да је ово веома варијабилна особина, условљена већим бројем гена.

Принос зрна се формира током онтогенетског развоја биљке у интеракцији са факторима окружења (Mađru et al., 2015). Највећи принос зрна остварен је на локалитету Панчево (6,08 t ha⁻¹), затим у Крушевцу (6,05 t ha⁻¹), без статистичке значајности разлика, док је значајно мањи принос зрна забележен на локалитету Крагујевац (5,17 t ha⁻¹). Већа вредност приноса зрна забележена је у 2023/2024. сезони (6,05 t ha⁻¹) у односу на 2022/2023. сезону (5,49 t ha⁻¹). Иако је у другој сезони (2023/2024) забележена мања укупна количина падавина, њихова расподела, у комбинацији са температурним условима, била је повољнија за остварење већег приноса у Панчеву и Крушевцу. Стога су микроклиматски услови локалитета имали

пресудну улогу у формирању приноса зрна. Такође, остваривање високог приноса на локалитету Крушевац у 2023/2024. сезони, упркос неповољним земљишним условима, може се приписати високом приносу који су остварили генотипови спелте у овим условима. Ово је у складу са Sugár et al. (2019), који наводе да спелта добро подноси неповољне климатске и земљишне услове. Поред тога, због присуства плеве и генетског полиморфизма спелте, ова врста пшенице је отпорна на штеточине и различите проузроковаче болести, што је чини погодном за гајење у органским системима производње (Pospíšil et al., 2011; Roljević Nikolić et al., 2018; Zečević et al., 2018; Vojnov et al., 2020; Lacko-Bartošová et al., 2022; Dumalasová et al., 2025). Значајно нижи принос зрна забележен на локалитету Крушевац у 2022/2023. сезони у односу на 2023/2024. резултат је веома обилних падавина у јуну 2023. године (204 mm), што је довело до задржавања воде на површинском слоју земљишта, полагања усева и појаве болести. Овакви резултати потврђују значајан утицај еколошких фактора утврђен од стране многих аутора (Al-Ashkar et al., 2022; Spanić et al., 2024; Luković et al., 2025b). Значај интеракције генотип × година огледа се у различитим приносима генотипова током година. Наиме, генотипови КГ-4/1, НС 40С и Ренесанса су остварили већи принос зрна у 2023/2024. сезони, док су генотипови КГ-40/1, Победа и линија спелте КГ-54-7/3-2 имали већи принос у 2022/2023. сезони у односу на 2023/2024. Ови резултати указују на сложену реакцију генотипова на комбиновани утицај локалитета и године, која произилази из разлика у климатским условима сваке године и условима земљишта по локалитету (Spanić et al., 2024). Генотипови су се значајно разликовали у погледу приноса зрна, где је највећи принос на нивоу огледа измерен код генотипа КГ-4/1 (6,48 t ha⁻¹), а најмањи код линија КГ-41/1 (4,68 t ha⁻¹) и КГ-33/1 (4,72 t ha⁻¹). Просечан коефицијент варијације од 5,3% показује да је принос зрна веома стабилно својство.

Маса 1000 зрна је једна од најважнијих особина које доприносе приносу зрна, а која се користи као селекциони критеријум у оплемењивачким програмима (Krishnan et al., 2023; Krishnappa et al., 2023). Такође, маса 1000 зрна је важан показатељ физичког квалитета зрна, јер представља крупноћу зрна (Timić et al., 2024) и стога је, заједно са ширином зрна, показатељ пекарског квалитета (Philipp et al., 2018). Установљен је значајн утицај анализираних фактора и њихових интеракција на ову особину, где је доминантан утицај имао фактор година. Наиме, у 2023/2024. сезони је забележена значајно већа вредност масе 1000 зрна (46,7 g) у односу на 2022/2023. сезону (34,6 g). Овај резултат може се објаснити разликама у количини падавина, нарочито током фазе

наливања зрна. Према Baillot et al. (2018), маса 1000 зрна формира се током саме фазе наливања, а повећање масе углавном се постиже кроз раст ширине зрна, која се такође обликује у овој фази (Philipp et al., 2018). Доминантан удео фактора година у испољавању масе 1000 зрна су установили Зечевић и сар. (2021). Највећа вредност масе 1000 зрна је установљена на локалитету Крагујевац (42,7 g), затим на локалитету Панчево (40,2 g), а најмања на локалитету Крушевац (39,0 g). Значајности интеракције локалитет × година значајно је доприносила варијација у маси 1000 зрна на локалитету Панчево. Наиме, на овом локалитету је у 2022/2023. сезони забележена најмања вредност масе 1000 зрна (32,0 g) у поређењу са осталим локалитетима, а у 2023/2024. највећа вредност (48,5 g). Највећа просечна маса 1000 зрна је установљена код линије КГ-4/1 (43,8 g), затим код линије КГ-21/1 (43,7 g), док су најмање вредности забележене код линија спелте КГ-54-7/3-2 и КГ-54-7/3-5 (36,2 g, односно 38,8 g). Просечна варијабилност ове особине је била веома ниска ($CV = 2,8\%$). Такође, Бранковић и сар. (2016) и Matković Stojšin et al. (2022b) су установили нижу вредност коефицијента варијације од 10% испитујући различите генотипове пшенице.

Хектолитарска маса је широко прихваћена као поуздан показатељ квалитета пшенице и других житарица у међународној трговини (Okuyama et al., 2020). У оквиру овог истраживања, хектолитарска маса је у највећој мери била условљена фактором генотипа, затим фактором локалитета, док је најмањи утицај имао фактор године, при чему су сви фактори, као и њихове интеракције, имали статистички значајан ефекат.

Највећа вредност хектолитарске масе, посматрано на нивоу целог огледа, забележена је код линије КГ-4/1 ($76,9 \text{ kg hl}^{-1}$), која је остварила највишу вредност ($79,0 \text{ kg hl}^{-1}$) на локалитету Панчево у 2022/2023. сезони. Са друге стране, најниже вредности хектолитарске масе утврђене су код линија спелте, и то $67,6 \text{ kg hl}^{-1}$ код линије КГ-54-7/3-5 и $67,8 \text{ kg hl}^{-1}$ код линије КГ-54-7/3-2. На локалитету Панчево у 2023/2024. вегетационој сезони забележена је највећа просечна вредност хектолитарске масе ($77,3 \text{ kg hl}^{-1}$), при чему су сви испитивани генотипови, изузев линија спелте, остварили вредности веће од 76 kg hl^{-1} . Ови резултати указују да су у наведеним агроеколошким условима били испуњени критеријуми доброг квалитета пшенице у погледу хектолитарске масе, а који, према Protić et al. (2007) представља вредности веће од 76 kg hl^{-1} . С друге стране, на локалитету Крушевац, у обе вегетационе сезоне, сви генотипови су имали вредности хектолитарске масе испод 76 kg hl^{-1} , где је просек у 2022/2023. сезони износио $69,0 \text{ kg hl}^{-1}$, а у 2023/2024. сезони $73,6 \text{ kg hl}^{-1}$. Filipović et al. (2018) су проучавајући 48 сорти пшенице установили да се хектолитарска маса кретала

од 73,65 kg hl⁻¹ до 84,0 kg hl⁻¹. У четворогодишњем истраживању Timić et al. (2024) са 30 генотипова пшенице, хектолитарска маса је варијала од 72,85 kg hl⁻¹ до 81,0 kg hl⁻¹. У трогодишњем истраживању које су спровели Madić et al. (2025), хектолитарска маса се кретала у распону од 75,10 kg hl⁻¹ до 77,90 kg hl⁻¹. Значајно већа вредност хектолитарске масе је остварена у 2023/2024. (75,1 kg hl⁻¹) у односу на 2022/2023. сезону (71,9 kg hl⁻¹), која се одликовала екстремно високом количином падавина у јуну, посебно на локалитету Крушевац, када је количина падавина износила 204 mm. Просечан коефицијент варијације хектолитарске масе је био веома низак (CV=1,2%), што потврђује високу хомогеност ове особине.

Садржај протеина у зрну пшенице има кључну улогу у одређивању квалитета брашна и теста, као и финалних прехранбених производа добијених од пшенице, укључујући хлеб, тестенине, колаче, кексе и различита пецива (Djukic and Knezevic, 2013; Knežević et al., 2016). Због тога се повећање и стабилизација садржаја протеина у зрну сматра једним од приоритетних циљева у оплемењивању пшенице (Urošević et al., 2023b). Садржај протеина у зрну је сложена квантитативна особина на коју, поред генетичке основе, значајно утиче и фактор спољашње средине, као и интеракција генотип × спољашња средина (Hernandez-Espinosa et al., 2018; Krishnappa et al., 2019; Бањац и сар., 2022; Krishnappa et al., 2023; Jansone et al., 2024). У овом истраживању, садржај протеина у зрну варирао је највише под утицајем фактора година, затим локалитета, док је фактор генотип имао најмањи удео у варијацији. У 2022/2023. сезони, која се одликовала знатно мањом количином падавина у време наливања зрна, посебно на локалитетима Крагујевац и Крушевац, остварена је значајно већа средња вредност садржаја протеина у зрну (12,85%) у односу на сезону 2023/2024. (11,49%). До сличних резултата су дошли Кауа and Аккура (2014), који су установили да је садржај протеина највише детерминисан фактором спољашње средине. Такође, Timić et al. (2024) су установили да је фактор година највише утицао на садржај протеина код пшенице, где су највећи садржај протеина установили у сезони која се одликовала најмањом количином падавина у фази наливања зрна. Ово је у складу са резултатима Zhao et al. (2022) и Bai et al. (2025). Wang et al. (2018) и Zhao et al. (2022) истичу да је већи удео протеина након топлотног стреса последица смањења акумулације скроба. Посматрано у просеку за обе вегетационе сезоне, највећи садржај протеина је забележен на локалитету Панчево (12,78%), затим на локалитету Крагујевац (12,42%), а најмањи на локалитету Крушевац (11,32%), уз приступне измене у рангирању по

сезонама. Према Ross (2017), пшеница са садржајем протеина изнад 12% сматра се погодном за коришћење у пекарској индустрији.

7.2. Стабилност и адаптабилност генотипова

У условима све израженијих климатских промена, расте значај селекције генотипова пшенице који истовремено показују високу стабилност и висок принос зрна. Према Vegna (2020), еколошки фактори као што су тип земљишта, влажност, температура, интензитет светлости, релативна влажност ваздуха, количина падавина, дужина дана и примењена агротехничка пракса утичу на експресију гена који контролишу особине усева, што резултира различитом фенотипском експресијом особина у зависности од средине. Због флукуација ових еколошких фактора, фенотипски одговор генотипова није увек исти у свим условима, што указује на присуство изражене интеракције генотипа и спољашње средине, а што додатно отежава селекцију генотипова (Vegna, 2020; Amelework et al., 2023; Abebe et al., 2024; Bratković et al., 2024).

У истраживању спроведеном у оквиру ове докторске дисертације утврђен је статистички значајан утицај интеракције генотип \times спољашња средина ($G \times E$) код свих анализираних морфолошких и продуктивних особина, као и особина квалитета, што указује на различиту реакцију генотипова у зависности од агроеколошких услова. Међутим, интензитет интеракције значајно је варирао између особина. Најмањи удео интеракције $G \times E$ у укупној варијацији забележен је код дужине класа (4,55%), масе зрна по класу (7,5%) и висине биљке (9,3%). Сличне вредности удела $G \times E$ интеракције за висину биљке наводе Knežević et al. (2020b), Popović et al. (2020) и Ljubičić et al. (2021), где истичу доминантан утицај адитивног извора варијације – генотипа или фактора спољашње средине. Такође, код дужине класа је утврђен низак удео $G \times E$ интеракције, што је у сагласности са налазима Popović et al. (2020). Luković et al. (2025a) су утврдили упоредив удео интеракције $G \times E$ у варијацији масе зрна по класу (9,87%) са добијеним резултатом у овом истраживању, где истичу да су фактор година и фактор генотип имали знатно виши и подједнак удео у варијацији особине, са по 33%. За разлику од наведених особина, принос зрна и хектолитарска маса показали су знатно већи удео интеракције генотип \times средина (30,01%, односно 27,61%), што указује

на изражену осетљивост генотипова променама агроеколошких услова. Сличан значај интеракције код приноса зрна утврдили су Aktaş and Gökdere (2025), као и Luković et al. (2025b). Timić et al. (2024) су установили висок удео интеракције $G \times E$ у варијацији хектолитарске масе (26%), што је у сагласности са резултатима добијеним у овом истраживању.

Оплемењивачи константно теже ка томе да створе генотипове који показују висок потенцијал за принос зрна, уз ниску интеракцију са спољашњом средином (Amelework et al., 2023; Taherian et al., 2024). Стога је проучавање интеракције генотипа и спољашње средине неопходно за процену стабилности и широке адаптабилности генотипова, а такође омогућава и препоруке генотипова за производњу у одређеним условима спољашње средине (специфична адаптабилност), Kebede et al., 2023; Saeidnia et al., 2023. Да би се идентификовали стабилни и високопродуктивни генотипови, неопходно је спровести огледе у више агроеколошких средина (*енг.* Multy-environment trials – MET) (Olivoto et al., 2019; Sabir et al., 2023; Mullalem et al., 2024; Abebe et al., 2024; Mohammadi et al., 2025; Yue et al., 2025). Различити статистички модели користе се за анализу интеракције између генотипа и средине, односно података добијених из огледа спроведених у више агроеколошких средина. Најчешће коришћени модели су АММИ и GGE биplot метод (Mohammadi et al., 2018; Bishwas et al., 2021; Perišić et al., 2022; Omrani et al., 2022; Gupta et al., 2022; Wodebo et al., 2023; Al-Ghumaiz et al., 2025).

У овој студији, интеракција генотип \times спољашња средина анализирана је применом АММИ₁ и АММИ₂ биplotова и прорачуном АММИ вредности стабилности (ASV), са циљем идентификације стабилних генотипова са високим, односно пожељним вредностима особина, као и оних генотипова са специфичном адаптабилношћу у одређеним агроеколошким условима. Додатно, спроведена је GGE биplot анализа, где је конструисана серија биplotова: „Means vs. Stability“ (средња вредност према стабилност), „Which-won-where“ (ко-где-побеђује), „Discriminateness vs. Representativeness“ (дискриминативност према репрезентативности) и „Genotype ranking“ (рангирање генотипова).

Резултати приказани на АММИ₁ биplotу (средња вредност особине vs. IPСА₁) тумаче се на начин да генотипови који се одликују мањим вредностима IPСА₁ (најмање удаљени од апсцисе) доприносе у мањој мери интеракцији генотип \times средина и сматрају се стабилнијим. Идеалан генотип одликује се високом продуктивношћу, уз IPСА₁ вредности блиске нули, док су непожељни генотипови они са ниском стабилношћу, удруженом са ниском вредношћу анализираних особина (Kempton, 1984;

Gauch and Zobel, 1996; Etana and Merga, 2021). Креирањем АММИ₂ биплота, (IPCA₁ vs. IPCA₂), детаљније је сагледана интеракција $\Gamma \times E$, односно на овај начин је процењена стабилност генотипова, као и њихова специфична адаптабилност према условима у одређеним срединама (Hongyu et al., 2014). Додатно, извршена је анализа стабилности генотипова преко прорачуна АММИ вредност стабилности (*енг.* АММИ stability value - ASV). Овај приступ омогућава рангирање генотипова по стабилности и коришћен је као допуна графичким приказима. Стабилнијим генотипом се сматра онај са нижим ASV вредностима, и обрнуто (Purchase, 2000). Генотип плус интеракција генотип \times спољашња средина (GGE) биplot је користан приступ у детаљној анализи података са огледа спроведеног у више агроеколошких средина. Овај метод анализе је развијен од стране Yan et al. (2000) и у анализи резултата је тумачен у складу са начином тумачења у радовима аутора Yan et al. (2000, 2007), Yan (2001).

Испитиване агроеколошке средине представљају комбинацију локалитета (Панчево, Крагујевац и Крушевац) и сезона гајења (2022/2023. и 2023/2024.), што укупно чини шест различитих агроеколошких средина. Пошто су у питању географски различити локалитети, који се поред тога одликују специфичним земљишним и климатским условима, ове средине пружају погодну основу за испитивање стабилности различитих генотипова. Промене у условима средине, нарочито разлике у температури и расподели падавина, биле су узрок различитих реакција анализираних генотипова пшенице, односно доприносиле су значајности интеракције генотип \times спољашња средина код свих анализираних особина. Применом АММИ анализе за све морфолошке, продуктивне и особине квалитета, разложена је интеракција генотип \times спољашња средина на неколико значајних главних интеракцијских компоненти, од којих прве две интеракцијске компоненте заједно објашњавају највећи удео интеракције, и то од 61,35% за садржај протеина у зрну, до 81,22% код хектолитарске масе. Многи аутори истичу да су прве две компоненте интеракције погодне и довољне за адекватно сагледавање интеракције генотип \times спољашња средина (Zulkiffal et al., 2018; Wardofa et al., 2019; Omrani et al., 2022).

Највећи допринос адитивном делу варијације висине биљке и дужине класа имале су линије спелте, које су се издвојиле највишим вредностима испитиваних особина. Међутим, с обзиром на то да се код висине биљке веће вредности сматрају непожељним, као погодни генотипови сматрани су они који показују ниже вредности висине биљке, уз задовољавајућу стабилност. У том смислу, линија КГ-9/1 се посебно издваја због ниске просечне висине биљке и стабилности. Код дужине класа, сорта

Ренесанса и линије КГ-43/1 и КГ-21/1 су показале високе вредности ове особине уз високу стабилност на нивоу огледа, што указује на њихов потенцијал као генетичких ресурса погодних за коришћење у оплемењивању на ову особину.

Највеће вредности масе класа и броја зрна по класу су установљене код линије спелте КГ-54-7/3-2, уз изражену нестабилност која је резултат специфичне адаптабилности спелте у одређеним срединама. Највећа стабилност и високе вредности масе класа и масе зрна по класу су установљене код сорти Ренесанса и Победа. Ванјас et al. (2022) су идентификовали генотипове пшенице који испољавају високе вредности масе класа и масе зрна по класу уз постизање стабилности на нивоу трогодишњег огледа на солоњцу са применом два третмана поправке фосфогипсом и контролним третманом (без поправке). Линија КГ-21/1 је идентификована као најстабилнија у фенотипској експресији масе класа, али уз остварене ниске вредности на нивоу огледа. Слично овоме, Јędzura et al. (2023) су установили да је најстабилнији генотип пшенице рангиран на четрнаесто место у постизању просечне вредности приноса зрна, где истичу да стабилност сама за себе не може бити основа за селекцију у оплемењивачким програмима, већ да се упоредо морају посматрати и остварене вредности особине.

Агроеколошке средине Крушевац 2023/2024. и Панчево 2022/2023. најмање су доприносиле интеракцији генотип \times средина у погледу приноса зрна, због малих одступања у понашању генотипова у овим срединама у односу на њихов укупни просек. Генотипови КГ-4/1, КГ-11/1 и сорта Победа комбиновали су висок принос са мањим до умереним доприносом интеракцији $\Gamma \times E$, што указује на широку адаптабилност ових генотипова и погодност за гајење у различитим агроеколошким условима. Високоприносне генотипове пшенице, који истовремено испољавају задовољавајућу стабилност на нивоу огледа су идентификовали Matković Stojšin et al. (2022a), Taherian et al. (2024), Abdallah et al. (2025), Al-Ghumaiz et al. (2025). Rahmati et al. (2024), спроводећи истраживање са различитим генотиповима јечма, истичу да се генотипови који истовремено показују висок принос зрна и ниску интеракцијску вредност сматрају идеалним генотиповима. Al-Ghumaiz et al. (2025) су, на основу прорачунатих ASV вредности, издвојили генотипове пшенице, који се према стабилности рангирају на друго и треће место, показујући релативно високе вредности приноса на нивоу огледа, наглашавајући да је баланс између стабилности и приноса веома важан у селекцији генотипова у оплемењивачким програмима. С друге стране, генотип КГ-40/1 одликује се високим приносом зрна, али израженом нестабилношћу, која је одраз његове специфичне адаптабилности условима сличним оним који су

карактерисали агроеколошку средину Крагујевац 2022/2023. Сличне резултате наводе Gupta et al. (2022), који су идентификовали нестабилне генотипове пшенице који испољавају специфичну адаптабилност у одређеним условима средине. Такође, Abdallah et al. (2025) су, применом АММІ₂ биплота идентификовали генотипове пшенице који испољавају значајне ефекте интеракције, који указују на њихову нестабилност у различитим условима, где наглашавају да је њихова шира нестабилност резултат њихове уске адаптабилности у специфичним условима средине, као што су услови топлотног стреса и повољни услови средине. Такође, Al-Ghumaiz et al. (2025) су установили да генотипови пшенице, који имају високе ASV вредности односно изражену нестабилност, одликују се уском адаптабилношћу у одређеним условима средине. Линије спелте показале су позитивну интеракцију у погледу приноса зрна са средином Крушевац 2022/2023, што потврђује њихову способност специфичне адаптације на маргиналне услове средине. Ови резултати потврђују да спелта може бити погодна алтернатива у екстензивним и органским системима производње, доприносећи стабилности производње и бољем прилагођавању климатским варијацијама (Roljević Nikolić et al., 2018; Zečević et al., 2018; Vojnov et al., 2020).

За већину анализираних особина, линије КГ-33/1 и КГ-41/1 су показале најниже вредности уз изражену нестабилност, што их сврстава у ред непожељних генотипова у селекцији. Међутим, кад је реч о садржају протеина, линија КГ-33/1 је постигла највеће просечне вредности уз испољену стабилност, што ову линију чини вредним генетичким ресурсом за унапређење квалитета зрна, посебно у оплемењивачким програмима усмереним на повећање садржаја протеина у зрну. С обзиром на ниске вредности приноса зрна, истиче се потреба за балансираним селекционим приступом који комбинује принос и квалитет. Линије спелте, као и линија хлебне пшенице КГ-40/1, која се одликује и високим приносом, су оствариле изнадпросечне вредности садржаја протеина, уз испољену стабилну реакцију, што их чини пожељним генотиповима у оплемењивању на већи садржај протеина. Линије КГ-4/1 и КГ-21/1, КГ-16/1 и сорта Ренесанса, оствариле су високе вредности масе 1000 зрна, уз високу стабилност на нивоу огледа, што их издваја као пожељне генетичке ресурсе за селекцију на ову особину. С друге стране, линија КГ-21/1, која се одликовала високим вредностима масе 1000 зрна, ефикасно је искористила услове агроеколошке средине Панчево 2022/2023, иако су они били неповољни за испољавање ове особине. Слично томе, Pacheco-Andrade et al. (2025), су применом АММІ анализе, идентификовали генотипове пшенице који су локално адаптирани за испољавање високих вредности масе 1000 зрна

у неповољним условима средине. Линије КГ-4/1 и КГ-16/1 су се карактерисале највећим вредностима хектолитарске масе и оствариле су позитивну интеракцију са средином Панчево 2022/2023.

Интерпретацијом Mean vs. Stability GGE биплота, у складу са приступом Yan et al. (2000, 2007) и Yan (2001), у већој мери је уочена подударност ове анализе са резултатима приказаним на АММ₁ биплоту. Када је реч о приносу зрна, међу високопродуктивним генотиповима линија КГ-11/1 и сорта Победа су показале највећу стабилност, указујући на њихову погодност гајења у широком спектру агроколошких услова у Р. Србији. Bishwas et al. (2021), and Bosi et al. (2022) су идентификовали високопродуктивне и стабилне генотипове пшенице помоћу “Mean vs. Stability” GGE биплота. Bishwas et al. (2021) истичу да су идеалне линије оне са највишим приносом и широм стабилношћу. Високоприносни генотипови КГ-4/1, КГ-40/1, НС 40С и Ренесанса су позиционирани на значајној удаљености од АЕС апсцисе, испољавајући значајну осетљивост на промене у условима средине, односно изражену нестабилност. Међутим, ова нестабилност може бити резултат специфичне адаптабилности ових генотипова према појединим срединама (Taherian et al., 2024). Стога је креиран „Which-won-where“ GGE биplot са циљем да се идентификују победничкии генотипова у специфичним срединама, као и да се идентификују потенцијалне мегасредине (Yan, 2024). На пример, генотип Ренесанса је у погледу приноса зрна специфично адаптиран на услове карбонатног чернозема (локалитет Панчево) у сезони 2023/2024. Bishwas et al. (2021) су, примењујући ову врсту GGE биплота, идентификовали елитне линије пшенице које се одликују уском адаптабилношћу у условима наводњавања, као и линију са специфичном адаптабилношћу на услове топлотног стреса. Такође, Perišić et al. (2022) су, спроводећи оглед на три локалитета: Крагујевац, Крушевац и Сомбор, са 14 линија пшенице и сортом Победа, коришћеном као стандард, уочили да је најприноснија линија пшенице била уско адаптирана на услове локалитета Сомбор, док је линија пшенице са скромнијим захтевима била адаптирана на услове локалитета Крагујевац, који се карактерисао земљиштем смањене плодности и неравномерном количином падавина. Генотипови КГ-11/1 и КГ-40/1 најбоље су се, у погледу приноса зрна, показали у срединама Крушевац 2022/2023 и Е2 Крагујевац 2022/2023, које формирају једну мегасредину са сличним условима и готово подједнаким рангирањем генотипова. Линија КГ-4/1 је, у погледу приноса зрна, била специфично адаптирана на мегасредину која је обухватала агроколошке средине Панчево 2022/2023, Крагујевац 2023/2024 и Крушевац 2023/2024. Al-Ashkar et al. (2022) су, такође, идентификовали

мегасредину која обухвата више агроеколошких средина, укључујући услове оптималне за раст, као и услове суше и топлотног стреса. На основу ових резултата закључују да фактор године није значајно утицао на разлике између средина, нити на одговор генотипова. Супротно овоме, фактор године је био доминантан у дефинисању мегасредине за масу 1000 зрна и хектолитарску масу, где су један сектор чиниле агроеколошке средине свих локалитета у првој сезони, а други сектор средине које су се односиле на другу сезону. Код висине биљке и дужине класа је, применом „Which-won-where“ GGE биплота, установљено да су све агроеколошке средине смештене у оквиру истог сектора, формирајући једну мегасредину у којој побеђују генотипови спелте. Сличне резултате за висину биљке наводе Pacheco-Andrade et al. (2025), који су, применом истог приступа, установили да све испитиване средине формирају једну мегасредину у којој доминирају генотипови дурум пшенице са највећим вредностима висине биљке, што аутори тумаче као показатељ њихове шире адаптабилности у превалентним едафско-климатским условима. С друге стране, поменути аутори истичу да се остали генотипови, који су позиционирани у секторима који не укључују ниједну агроеколошку средину одликују ниским вредностима или нестабилношћу у анализираним срединама.

Према анализи „Discriminateness vs. Representativeness“ GGE биплота, средина Крагујевац 2022/2023 се карактерисала највећом дискриминативношћу за готово све анализиране особине, одликујући се најдужим вектором (Yan et al., 2007). Дакле ова средина има велику способност да диференцира генотипове. Ипак, Yan et al. (2007) наводе да агроеколошке средине са дугим векторима који формирају велики угао са АЕС апсцисом, иако високо дискриминативне, нису погодне за селекцију супериорних генотипова, али су корисне за елиминацију нестабилних генотипова. Такође, исти аутори истичу да су средине које имају дугачке векторе, који формирају оштар угао са АЕС апсцисом, погодне за идентификацију супериорних генотипова, односно генотипова који се карактеришу високим приносом и стабилношћу. Слично овоме, Yue et al. (2025) су идентификовали локације које су истовремено и дискриминативне (имају дугачке векторе) и репрезентативне (формирају оштар угао са АЕС осом), сматрајући их идеалним за идентификацију, односно стварање генотипова који се одликују широм адаптабилношћу. У складу са овим, агроеколошке средине Панчево 2022/2023 и Крушевац 2023/2024 су идеалне за евалуацију генотипова, када је реч о приносу зрна, јер су истовремено и репрезентативне (формирају оштар угао са АЕС осом) и дискриминативне (налазе се на значајној удаљености од координатног

почетка). Репрезентативност ових средина говори о томе да дате средине добро представљају просечне услове свих инспитиваних агроеколошких средина, односно да су типичне за оглед.

Применом „Ranking genotypes“ GGE биплота, генотип КГ-11/1 је издвојен као најближи „идеалном“ генотипу, карактеришући се високим приносом зрна и високом стабилношћу. Такође, линије КГ-4/1, КГ-21/1 и сорта Победа (G13) су позициониране близу тачке која означава „идеални“ генотип, што их чини погодним ресурсом за постизање високог приноса и стабилности. Bishwas et al. (2021) истичу да идентификована идеална елитна линија пшенице може служити као референтна у евалуацији других линија. Сорта Ренесанса се рангира као „идеална“ у погледу постизања стабилности и високих вредности масе зрна по класу, хектолитарске масе, као и масе класа, заједно са сортом Победа. Линија КГ-4/1 је рангирана најближе „идеалном“ генотипу у погледу високих вредности и стабилности масе 1000 зрна, док се линија КГ-33/1 сматра идеалном у погледу испољавања приноса зрна.

Добијени резултати показују да комбинована примена АММИ и GGE биplot анализа пружа оквир за селекцију генотипова пшенице који се одликују високим приносом, стабилношћу, као и оних генотипова који су уско адаптирани одређеним агроеколошким условима. Такође, GGE биplot анализа има велики значај у идентификацији мегасредина, као и генотипова уско адаптираних у одређеним срединама. Поред тога, значај ове анализе се огледа у идентификацији идеалних средина за тестирање генотипова, што може да буде веома значајно оплемењивачима, нарочито када буџетска средства дозвољавају спровођење огледа у само неколико агроеколошких средина (Yan et al., 2007). Све ово има велики значај у развоју стратегија оплемењивања биљака у контексту изазова са којима се пољопривредна производња суочава, нарочито у контексту учесталих високих температура и појаве суше у кључним фазама развоја биљака.

7.3. Параметри антиоксидативне активности

У ери све израженијих ефеката климатских промена, побољшање приноса зрна пшенице постаје све изазовније и захтева увођење нових технологија и особина у оплемењивачке програме (Zandalinas et al., 2021). Анализа биохемијских параметара нашла је значајну примену у селекцији генотипова, нарочито у условима индуцираног стреса, јер представљају важне индикаторе одговора биљака на стрес. Бројна истраживања усмерена на испитивање реакције пшенице на различите биотичке и абиотичке стресове потврдила су присуство антиоксидативних једињења у биљкама, као и варијабилност њиховог садржаја у зависности од генотипа (Banjac et al., 2020; Matković Stojšin et al., 2022в; Nardino et al., 2022), интензитета стресног фактора (Chugh et al., 2013; Kiani et al., 2021; Zhang et al., 2021) и фазе развоја биљке (Nawaz et al., 2015; Barros Santos et al., 2019; Banjac et al., 2020; Matković Stojšin et al., 2022в).

Nardino et al. (2022) истичу да је процена антиоксидативне активности од великог значаја за свеобухватније разумевање карактеристика генотипова и њихове толеранције на стресне услове. Међутим, већина досадашњих истраживања била је усмерена на испитивање антиоксидативног одговора биљака на стрес у раним фазама развоја или током фаза развоја зрна, најчешће у контролисаним условима (*ex situ*), као и кроз поређење утицаја третмана стреса са контролом. Насупрот томе, ово истраживање пружа увид у реакцију пшенице на стресне услове који владају у реалним условима производње (*in situ*), кроз спровођење огледа у више агроеколошких средина. С тим циљем су анализирана два параметра антиоксидативне активности: способност неутралисања DPPH• радикала и садржај укупних фенола у кључним фенолошким фазама развоја биљке (бокорење, пораст у стабло и цветање).

Фенолна једињења су секундарни метаболити који се синтетишу током развоја биљке и као одговор на стресне услове (Brandolini et al., 2013; Hura et al., 2013; Naikoo et al., 2019). Због тога фенолна једињења представљају главне неензимске антиоксидансе са највећим потенцијалом за уклањање слободних радикала, односно реактивних врста кисеоника (ROS) (Caverzan et al., 2016). У фази пораст у стабло забележена је највећа антиоксидативна активност (3,53 mg TE g⁻¹ с.м.), затим у фази бокорење (3,51 mg TE g⁻¹ с.м.), при чему разлике између ових фаза нису биле статистички значајне, док је најнижа антиоксидативна активност утврђена у фази цветање (2,99 mg TE g⁻¹ с.м.). Ови резултати су у сагласности са резултатима Matković Stojšin et al. (2022в), који су анализирали утицај стреса заслањеног земљишта на

способност неутралисања DPPH• радикала у различитим фазама развоја пшенице. Садржај укупних фенола био је највиши у фази бокорења (6,43 mg GAE g⁻¹ с.м.), затим у фази пораст у стабло (6,07 mg GAE g⁻¹ с.м.), а најнижи у фази цветања (4,97 mg TE g⁻¹ с.м.).

Генотипови су се разликовали у антиоксидативном одговору током периода развоја биљке. Највећа антиоксидативна активност забележена је код сорти Ренесанса и Победа, као и код линије КГ-11/1, нарочито у фазама пораст у стабло и цветање. Када је реч о садржају укупних фенола, са највишим вредностима су се издвојиле линије КГ-4/1 и КГ-21/1, као и сорта Ренесанса, посебно у фазама бокорење и пораст у стабло. Melios et al. (2024) су утврдили значајан утицај генотипа, спољашње средине и њихове интеракције на антиоксидативна својства зрна дурум пшенице, при чему су идентификовали потенцијално супериоран генотип који се одликовао високим садржајем укупних фенола и високим антиоксидативним капацитетом у различитим системима гајења. Слично наводе Buczek et al. (2023), који су проучавали утицај генотипа, локалитета, система производње и године на садржај антиоксидативних једињења у зрну код генотипова хибрида пшенице.

Највеће вредности оба испитивана параметра антиоксидативне активности пшенице установљене су на локалитету Крушевац, где се сорта Победа истакла највећом способношћу неутралисања слободног DPPH• радикала, а сорта Ренесанса највећим садржајем укупних фенола. Нешто мања антиоксидативна активност је забележена на локалитету Панчево, где је линија КГ-33/1 имала највећу способност неутралисања DPPH• радикала, док су линије КГ-43/1 и КГ-4/1 оствариле највеће вредности садржаја укупних фенола. Најнижа антиоксидативна активност забележена је на локалитету Крагујевац, где се линија КГ-11/1 издвојила највећим вредностима оба анализирана параметра. Ове разлике између локалитета могу бити повезане са условима спољашње средине (климатски и земљишни услови током обе године проучавања). Слично овоме, Buczek et al. (2023) су утврдили да су садржај фенолних једињења и антиоксидативни капацитет код генотипова пшенице варирали по локалитетима у зависности од система гајења и године испитивања, што указује на значајан утицај агроколошких услова и производне праксе на акумулацију антиоксидативних једињења. Узимајући у обзир климатске и земљишне услове током обе сезоне истраживања, уочава се да су услови на локалитету Крушевац, посебно у фази бокорења (децембар–фебруар), били стреснији за биљке услед веома мале количине падавина у обе сезоне, што је вероватно поспешило појачану синтезу

антиоксидативних једињења ради неутрализације ROS. У фенофазама пораст у стабло и цветање (март–мај), у Крушевцу је такође забележена мања количина падавина у односу на Панчево, посебно у првој сезони, што је допринело већој антиоксидативној активности на овом локалитету. Дакле, како стрес суше доводи до повећане акумулације ROS у биљним ћелијама (Caverzan et al., 2016), биљке синтетишу ензимске и неензимске антиоксидансе како би неутралисале ROS и одржале нормално физиолошко стање (Sharma et al., 2019; Khamis et al., 2025).

На локалитету Крагујевац, током фаза бокорење и пораст у стабло, у обе вегетационе сезоне је забележена мала количина падавина, уз неповољне земљишне услове. Ипак, антиоксидативна активност у свим фенолошким фазама била је значајно нижа у поређењу са оном која је установљена на локалитетима Панчево и Крушевац, што указује да је дуготрајан стрес суше имао негативан утицај на антиоксидативни одбрамбени систем биљака. Chugh et al. (2013) наводе да се при излагању биљака стресу суше антиоксидативна активност у почетку повећава, али се са порастом интензитета стреса смањује. Такође, Zhang et al. (2021) су, спроводећи истраживање на биљној врсти *Atractylodes lancea*, утврдили да након више од четири дана изложености стресу суше активност антиоксидативних ензима континуирано опада. Исти аутори објашњавају да је узрок смањења антиоксидативне активност чињеница да је продукција ROS услед дуготрајне суше превазишла капацитет антиоксидативног механизма биљке за њихово уклањање. Ранија истраживања Salekjalali et al. (2011) су показала да продужен и јак стрес суше смањује антиоксидативну активност јечма у касној фази сазревања. Локалитет Панчево карактерисала је нешто већа количина падавина у односу на преостала два локалитета, нарочито током прве сезоне, што је, уз повољније земљишне услове, могло допринети мањем нивоу стреса. Сходно томе, генотипови су испољили нешто нижи антиоксидативни одговор у односу на Крушевац, али и даље виши него на локалитету Крагујевац.

7.4. Међусобна повезаност анализираних особина

Принос зрна је сложена квантитативна особина која је значајно условљена факторима спољашње средине, као и компонентама приноса које дефинишу укупни принос зрна (Mathew et al., 2018; Sewore and Abe, 2024). С обзиром на то да је крајњи циљ сваког оплемењивачког програма повећање приноса, разумевање међусобног односа приноса зрна и његових компоненти је од великог значаја (Zečević et al., 2004b; Javed et al., 2024). Морфолошке и продуктивне особине се често користе као критеријум за процену фенотипске варијабилности и као основа за унапређење продуктивности усева, стога се директна селекција особина повезаних са приносом, а које су једноставније за мерење, показала као ефикасна стратегија за повећање крајњег приноса зрна. Поред тога, разумевање међусобног односа особина које се односе на раст и развој усева, продуктивних особина и особина квалитета зрна, доприноси развоју оплемењивачких програма заснованих на селекцији, а који подржавају очување и унапређење генетичких ресурса за пољопривредну производњу (Lacko-Bartošová et al., 2022).

У овом истраживању сагледана је међусобна повезаност морфолошких и продуктивних особина преко прорачуна Пирсонових корелација (*heatmap* корелациона анализа). Такође, применом анализе главних компоненти (*енг.* Principal component analysis – PCA) је додатно сагледан однос између анализираних особина и генотипова пшенице. Спроведена је хијерархијска кластер анализа (*heatmap* кластер), која је истовремено извршила груписање особина и генотипова.

Анализа главних компонената (PCA) је мултиваријациони статистички метод који омогућава истраживачима да анализирају међусобне односе између особина и идентификују кључне особине и генотипове за коришћење у оплемењивачким програмима (Güngör et al., 2022; Urošević et al., 2023a). Ова анализа се заснива на трансформисању већег броја корелираних варијабли у мањи број независних варијабли, које називамо главним компонентама, док се истовремено задржава највећи део варијабилности из оригиналног сета података (Adilova et al., 2020; Kumar et al., 2024).

Висина биљке је у високо значајној позитивној корелацији са дужином класа ($0,86^{***}$) и значајној корелацији са бројем зрна по класу ($0,63^*$). Овај резултат указује на то да генотипови са вишом стабљиком имају тенденцију да формирају дуже класове, који садрже већи број зрна. Међутим, како је већа висина биљке повезана са полагањем

усева, неопходан је компромис између висине биљке и продуктивних особина. Због тога је проучавање промена архитектуре биљке у фокусу новијих истраживања, јер модификовање архитектуре може значајно побољшати продуктивност (Shaheen et al., 2024). Позитивну корелациону повезаност висине биљке, дужине класа и броја зрна по класу пшенице су установили Baye et al. (2020). Такође, Frantová et al. (2022) истичу да је дужина класа кључна особина у одређивању броја зрна по класу. Слично овом резултату, Sewore and Abe (2024) су установили значајну позитивну генотипску и фенотипску корелацију између висине биљке, дужине класа и броја зрна по класу код пшенице гајене у повољним условима средине, док у условима стреса корелација висине биљке и броја зрна по класу није била статистички значајна.

Установљен је негативан правац односа висине биљке и приноса зрна, који, према Пирсоновим корелацијама, није био статистички значајан. Анализа РСА показује да се вектори висине биљке и приноса зрна налазе у различитим квадрантима биплота, формирајући при томе угао нешто већи од 90° , што указује на благо негативну корелацију. Такође, на РСА биplotу се може уочити да су линије спелте смештене у близини вектора висине биљке, што се односи на највећу вредност ове особине код ових линија. Истовремено, ови генотипови су се одликовали мањим вредностима приноса зрна. Ови резултати су у сагласности са резултатима Ullah et al. (2021), који су установили да је висина биљке формирала негативне корелације са већим бројем компоненти приноса зрна пшенице, како у условима повољним за развој биљке, тако и у условима у којима је присутан стрес суше.

Висина биљке и дужина класа су у негативној корелацији са масом 1000 зрна и хектолитарском масом, где је од статистичког значаја негативан однос дужине класа и хектолитарске масе ($-0,63^*$), док остале корелације нису биле значајне. Негативна корелација дужине класа и хектолитарске масе може да имплицира на формирање већег броја зрна, која су слабије наливена, што је у коначници утицало на смањење хектолитарске масе. Негативан однос висине биљке и полагања са хектолитарском масом су установили Mirosavljević et al. (2015), спроводећи истраживање на јечму. Хектолитарска маса и маса 1000 зрна су у високо значајној међусобној позитивној корелацији ($0,82^{***}$), што је у сагласности са резултатима многих истраживача (Lakić-Karalić et al., 2021; Wang and Fu, 2020; Al-Sayaydeh et al., 2023; Timić et al., 2024 и Terzić et al., 2025). Такође, ова два показатеља физичког квалитета остварују позитивну корелацију са приносом зрна. Такође, Terzić et al. (2025) су установили позитивне корелације масе 1000 зрна и хектолитарске масе са приносом зрна на већини

испитиваних тертмана ђубрења. Високо значајну и позитивну корелацију између масе 1000 зрна и приноса зрна код пшенице су установили и Abdipour et al. (2016), Ullah et al. (2021) и Zečević et al. (2022).

Маса зрна по класу остварује статистички високозначајну и позитивну корелацију са масом класа ($0,76^{**}$), масом 1000 зрна ($0,63^*$), хектолитарском масом ($0,68^{**}$) и приносом зрна ($0,68^{**}$). Исти образац међусобног односа показује и РСА биplot, где су вектори поменутих особина смештени у исти квадрант биplotа, формирајући међусобно оштар угао. Сорте Ренесанса и Победа су позициониране близу вектора који означавају принос зрна и масу зрна по класу, док су линије КГ-4/1 и КГ-11/1 позициониране у оквиру вектора хектолитарске масе и масе 1000 зрна, остваривши високе просечне вредности ових особина. Дакле, наведени генотипови се одликују високим вредностима датих особина. Слично овим резултатима, Ванјас et al. (2022) су током трогодишњег истраживања на солоњецу установили позитивне корелације између приноса зрна пшенице, масе класа и масе зрна по класу. Такође, Ebrahimnejad and Rameeh (2016) и Terzić et al. (2018) су установили да је принос зрна пшенице у позитивној корелацији са елементима класа, као што су маса класа и маса зрна по класу. С обзиром на то да је принос зрна у највећој позитивној корелацији са масом зрна по класу, маса зрна по класу се сматра кључном особином која доприноси повећању приноса. Lacko-Bartošová et al. (2022) такође истичу да је маса зрна по класу кључна компонента приноса зрна.

Број зрна по класу остварује негативан корелациони однос са масом 1000 зрна, али без статистичке значајности. Ипак, на РСА биplotу су вектори ове две особине позиционирани у различитим квадрантима, са тупим углом између њих, који потврђује негативан међусобни однос. Такође, истраживања Quintero et al. (2018), Baye et al. (2020) и Vicentin et al. (2024) показују да су број зрна по класу и маса 1000 зрна у негативној корелацији, услед присутног компромиса између ове две особине (*eng. trade-off*). У истраживању ове докторске дисертације, приметна је позитивна асоцијација броја зрна по класу и приноса зрна, али без статистичке значајности. Како наводе Quintero et al. (2018), изостанак повезаности броја зрна и приноса зрна је управо последица компромиса масе зрна и броја зрна. Поменути истраживачи су установили да овај однос зависи од спољашње средине, где су дошли до закључка да се повећање броја зрна препоручује за средине са повољним условима гајења, док се као циљ оплемењивања у неповољним срединама (у којима се не може искористити повећан број зрна) предлаже повећање масе зрна (Quintero et al., 2018).

Коефицијенти Присонових корелација показују да саджај протеина није остварио значајне корелације ни са једном проучаваном особином, али је приметан негативан однос са већим бројем особина. На PCA биplotу је саджај протеина смештен у посебан квадрант, формирајући туп угао са векторима масе 1000 зрна, хектолитарске масе, приноса зрна, масе зрна по класу и масе класа, што указује на негативну корелацију са наведеним особинама. Krishnappa et al. (2023) су установили негативну корелацију између масе 1000 зрна и саджаја протеина код пшенице, при чему негативну корелацију ове две особине објашњавају ефектом разблажења, као и могућом конкуренцијом у погледу усвајања хранљивих материја. Такође, саджај протеина је у многим истраживањима у негативној корелацији са приносом зрна (Laidig et al., 2017; Geyer et al., 2022).

У циљу сагледавања генетичке варијабилности између генотипова и њиховог груписања на основу остварених вредности морфолошких, продуктивних и особина квалитета, као и истовременог уочавања међусобних односа и груписања анализираних особина, примењена је хијерархијска *heatmap* кластер анализа. Ова врста анализе је спроведена од стране многих аутора (Adilova et al., 2020; Luković et al., 2020; Bendjama and Ramdani, 2022; Urošević et al., 2023a), где је углавном био циљ да се групишу генотипови и особине, као и да се сагледа генетичка варијабилност проучаване гермплазме.

Кластер анализом су генотипови подељени у три кластер групе, које се разликују по оствареним вредностима морфолошких и продуктивних особина. Abdipour et al. (2016) су применом кластер анализе поделили 100 генотипова пшенице у пет кластер група, које чине од два до 39 чланова (генотипова). Идентификовани су кластери са најмањим и највећим вредностима за већину особина, где су се у оквиру кластера налазили генотипови најсличнији по оствареним морфолошким особинама, а не нужно генотипови истог порекла. С друге стране, Bendjama and Ramdani (2022) су, применом кластер анализе, установили да је 60 генотипова пшенице подељено у пет главних кластер група, које су углавном формиране у складу са географским пореклом анализираних генотипова пшенице.

У овом истраживању, посебну кластер групу чине линије спелте, које су специфичне по испољавању изразито високих вредности висине биљке, дужине класа, броја зрна по класу и масе класа и ниским вредностима хектолитарске масе и масе 1000 зрна. Luković et al. (2020) су спровели *heatmap* кластер анализу, при чему су анализирани генотипови подељени у две кластер групе на основу остварених

вредности морфолошких и продуктивних особина. Поменути аутори наглашавају да се укрштањем линија из две различите кластер групе може побољшати квалитет и створити нова генетичка варијабилност. Линија КГ-41/1 се карактерише нижим вредностима већине анализираних особина, што је чини мање пожељном у селекцији.

Кластер група, коју чини 10 генотипова пшенице, се карактерише изнадпросечним вредностима већег броја особина. У овом кластеру се издвајају линије КГ-21/1 и КГ-43/1 са високим вредностима садржаја протеина, масе 1000 зрна и хектолитарске масе, што их чини пожељним генетичким ресурсима за коришћење у оплемењивачким програмима који имају за циљ побољшање квалитета зрна. Линије КГ-4/1 и КГ-11/1 се карактеришу највећим просечним приносом зрна, као и високим вредностима масе 1000 зрна и хектолитарске масе. Такође, сорте стандарди Ренесанса и Победа се карактеришу изнадпросечним вредностима највећег броја особина, а посебно масе класа и масе зрна по класу. Ови генотипови су погодни за ширу производњу, а у исто време могу бити добри родитељи у селекцији усмереној на унапређење приноса и квалитета зрна. Urošević et al. (2023a), на основу спроведене кластер анализе су утврдили да је међу анализираним генотиповима пшенице присутна значајна генетичка варијабилност, што пружа добру основу за оплемењивање. Посебно су издвојили један генотип пшенице као пожељан генетички ресурс, одвојен у засебну кластер групу на основу остварене високе вредности масе 1000 зрна и масе зрна по биљци.

Применом дводимензионалне (РСА биплот) и тродимензионалне анализе (3D график) анализирана је међусобна повезаност испитиваних морфолошких, продуктивних и особина квалитета и параметара антиоксидативне активности по фенофазама на анализираним локалитетима, посебно по сезонама.

У првој вегетационој сезони, утврђена је позитивна корелација између приноса зрна и параметара антиоксидативне активности мерених у фенофази пораст у стабло. У другој вегетационој сезони, оба параметра антиоксидативне активности у фенофази бокорење испољила су позитивну корелацију са приносом зрна. Ови резултати показују да генотипови који су реаговали на присутне абиотичке стресове у раним фазама развоја биљке испољавајући јачу антиоксидативну активност, касније остварују већи принос зрна. Дакле, позитивна повезаност између антиоксидативне активности у раним фазама развоја и коначног приноса зрна указује на то да биохемијски маркери имају потенцијал да буду коришћени у раном тестирању толерантности на стрес у оплемењивачким програмима. Овај позитиван однос је углавном карактеристичан за локалитете Панчево и Крушевац, који су били карактерисани већим приносом зрна и

већим антиоксидативним одговором биљака. Дакле, важно је истаћи да су на формиране корелације између проучаваних особина утицали и агроколошки услови на локалитетима. Shokat et al. (2020) су проучавали међусобне односе физиолошких параметара и праметара антиоксидативне активности мерених у листовима пшенице која је изложена стресу суше у фази цветања и компоненти приноса зрна, где су закључили да одређени физиолошки и биохемијски параметри могу служити као корисни селекциони критеријуми за идентификацију генотипова толерантних на сушу. До сличних резултата су раније дошли Nikolić et al. (2011), испитујући повезаност физиолошких параметара мерених у фази цветања пшенице са физиолошким параметрима и приносом зрна у фази пуне зрелости, приликом чега су установили да постоје позитивне корелације између ових параметара. У овом истраживању, способност неутрализације слободног DPPH радикала и садржај укупних фенола су у позитивној корелацији, у оквиру сваке фенофазе по испитиваним сезонама. Позитивна корелација између ова два параметра је установљена од стране бројних истраживача (Yilmaz et al., 2015; Niroula et al., 2019; Lacko-Bartošová et al., 2023). На основу овог резултата може се закључити да феноли значајно доприносе антиоксидативној активности пшенице.

У 2022/2023. вегетационој сезони висина биљке формира негативну корелацију са приносом зрна, што је у сагласности са резултатима до којих су дошли Spanić et al. (2016), Luković et al. (2020) и Sangha et al. (2025). Овакав резултат се може објаснити већом количином падавина у вегетативном развоју пшенице на сва три локалитета, где су биљке могле да испоље пун генетички потенцијал у испољавању ове особине. Супротно овоме, у другој вегетационој сезони је присутна позитивна корелација између висине биљке и приноса зрна, где је мањак падавина у вегетативној фази развоја узроковао бржи прелазак из вегетативне у генеративну фазу развоја, што је проузроковало скраћење стабљике и побољшану транслокацију хранљивих материја у зрно. Позитивна корелација висине биљке и приноса зрна у другој вегетационој сезони, такође, указује на то да су они генотипови који су испољили већу висину биљке постигли и већи принос зрна. У складу са тим, линије спелте, које су оствариле највећу висину биљке, су показале највећу толерантност према неповољним условима и постигле су висок принос на локалитету Крушевац, који је значајно допринео овом обрасцу корелација. Вектори ове две особине се налазе у оквиру елипсе која означава управо овај локалитет. Позитивну корелацију између висине биљке и приноса зрна су утврдили и Javed et al. (2024). Различит образац корелација по сезонама упућује на

закључак да је повезаност особина у значајној зависности од фактора спољашње средине.

У обе вегетационе сезоне, дужина класа је у позитивној корелацији са бројем зрна по класу, што је у сагласности са резултатима Ullah et al. (2021) и Ding et al. (2024). Посматрањем 3D PCA графика у првој сезони, уочавају се позитивне корелације између дужине класа, броја зрна по класу и приноса зрна. Ullah et al. (2021) и Philipp et al. (2018) су, такође, установили позитивну корелацију броја зрна по класу и приноса зрна. Такође, Zečević et al. (2018), проучавајући генотипове спелте наглашавају да је број зрна по класу важна компонента приноса која доприноси повећању потенцијала за принос зрна. С друге стране, у другој години истраживања се примећује негативна корелација дужине класа и броја зрна по класу са приносом зрна. Како су вектори броја зрна по класу и дужине класа позиционирани у оквиру елипсе која означава локалитет Крагујевац, где су постигнуте највеће вредности ових двеју особина, а најнижи принос зрна, може се претпоставити да су вредности на локалитету Крагујевац највише допринеле овом корелацијском обрасцу особина. Из тога можемо закључити да је принос зрна у овој сезони више зависио од масе, односно величине зрна него од броја зрна по класу. Подаци из геномских анализа указују да се локуси који контролишу број зрна често поклапају са онима који детерминишу масу 1000 зрна, при чему њихово деловање доводи до супротних фенотипских експресија ових особина. Дакле, овакви резултати указују на постојање генетички условљеног компромиса (*eng. trade off*) између броја и величине зрна (Xie et al., 2021).

8. ЗАКЉУЧАК

У оквиру ове докторске дисертације анализирана је фенотипска варијабилност и стабилност десет линија хлебне пшенице и две линије спелте, створених у Центру за стрна жита и развој села у Крагујевцу, као и сорти коришћених као стандарди (НС 40С, Ренесанса и Победа), у односу на проучаване морфолошке, продуктивне и особине квалитета. Такође, сагледан је антиоксидативни одговор пшенице кроз различите фенофазе, у обе анализиране сезоне и на сва три локалитета. На основу свеобухватне анализе изведени су следећи закључци:

- Анализиране морфолошке и продуктивне особине, као и особине квалитета су значајно варирале под утицајем анализираних фактора (генотип, локалитет и година), као и њихових интеракција. Поредџи све особине, фактор генотип је са највећим процентом утицао на експресију дужине класа, са уделом у варијацији од 81,38%; највећи процентуални удео фактор година је имао у испољавању масе 1000 зрна (66,62%), док није имао значајан ефекат на број зрна по класу; фактор локалитет је са највећим процентом утицао на варијацију броја зрна по класу (36,72%). Интеракције главних фактора у различитим комбинацијама су значајно утицале на варирање свих особина. Ови резултати наглашавају значај истовремене евалуације генотипова у више агроколошких средина, ради поузданије процене њихове адаптабилности и стабилности.
- Линије спелте су се издвојиле највећим вредностима висине биљке на нивоу огледа (>100 cm), док су највеће вредности, када је реч о генотиповима хлебне пшенице, постигле линије КГ-43/1 (99,6 cm) и КГ-30/1 (98,3 cm). Међутим, важно је нагласити да су у селекцији и производњи мање пожељни генотипови са високом стабљиком, услед повећаног ризика од полегања. Стога се за одабир фаворизују генотипови са нижом вредношћу висине биљке. Најнижа вредност ове особине (89,5 cm) установљена је код линије КГ-9/1 и сорте стандарда НС 40С. Највећа вредност висине биљке је забележена у агроколошкој средини локалитета Крагујевац у 2022/2023. сезони, док је најмања вредност установљена на истом локалитету у 2023/2024. сезони.
- Највећа вредност дужине класа (>13 cm) је забележена код линија спелте. Међу генотиповима хлебне пшенице, линија КГ-21/1 и сорта Ренесанса су се издвојиле највећим вредностима на нивоу огледа (9,2 cm), док је најмања вредност

забележена код линије КГ-33/1 (7 cm). Изнадпросечне вредности дужине класа су установљене у агроколошким срединама локалитета Крагујевац и Панчево у 2022/2023. вегетационој сезони, док су у осталим срединама утврђене мање вредности од просечне за оглед.

- У погледу масе класа, високим вредностима (у интервалу од 2,34 g до 2,48 g) се карактерисало неколико анализираних генотипова, и то линија спелте КГ-54-7/3-2 > сорте Ренесанса и Победа > линије КГ-9/1 > КГ-43/1, док су се најмањим просечним вредностима (од 1,97 g до 2,19 g) одликовале линије КГ-33/1, КГ-41/1 и сорта НС 40С. Агроколошка средина локалитета Крагујевац у 2023/2024. сезони се одликовала највећом вредношћу, затим нешто нижим Крагујевац 2022/2023. и Панчево у 2023/2024, док је најмања вредност измерена у Крушевцу у 2022/2023. сезони.
- Највеће вредности масе зрна по класу су измерене код сорти Ренесанса (1,92 g) и Победа (1,90 g), а када је реч о линијама, највећом вредношћу се издвојила КГ-4/1 (1,83 g). Најмања вредност је установљена код линије КГ-33/1 (1,54 g). Агроколошке средине Крагујевац у 2023/2024. сезони, а затим Панчево у истој сезони су пружиле услове за постизање највећих вредности масе зрна по класу код анализираних генотипова пшенице, док је најмања вредност измерена на локалитету Крушевац у 2022/2023. вегетационој сезони.
- Највећим просечним бројем зрна по класу на нивоу огледа су се издвојиле линије спелте (> 43 зрна), а затим линија КГ-40/1 (42,7 зрна) и сорта Ренесанса (42,1 зрно), док су се најмањим вредностима карактерисале линије КГ-33/1 (34,4 зрна) и КГ-41/1 (36 зрна). Највећа просечна вредност ове особине је забележена у средини Крагујевац 2022/2023, а најмања у средини Крушевац у истој сезони.
- Принос зрна, у просеку, био је највећи код линије КГ-4/1 (6,48 t ha⁻¹), затим код линије КГ-11/1 (6,41 t ha⁻¹), сорте Победа (6,31 t ha⁻¹), НС 40С (6,30 t ha⁻¹) и Ренесанса (6,28 t ha⁻¹). Најмањи принос на нивоу огледа је утврђен код линије КГ-41/1 (4,68 t ha⁻¹) и линије КГ-33/1 (4,72 t ha⁻¹). Највећи просечни принос зрна је установљен на локалитету Панчево (6,08 t ha⁻¹), без статистичке значајности у односу на Крушевац (6,05 t ha⁻¹), који се одликовао највећом вредношћу у сезони 2023/2024., док је најмањи принос установљен у Крагујевцу (5,17 t ha⁻¹), посебно у 2023/2024. сезони.
- Највећу вредност масе 1000 зрна на нивоу огледа је испољила линија КГ-4/1 (43,8 g), затим КГ-21/1 (43,7 g) и сорта Ренесанса (43,5 g), док су најмање

вредности установљене код линија спелте КГ-54-7/3-5 (36,2 g) и КГ-54-7/3-2 (36,8 g). Посматрано по агроеколошким срединама, највећа вредност масе 1000 зрна је забележена у средини Панчево 2023/2024, а најмања на истом локалитету 2022/2023. вегетационе сезоне.

- Хектолитарска маса је била највећа код линија КГ-4/1 (76,9 kg hl⁻¹) и КГ-16/1 (76,6 kg hl⁻¹), док је најмања вредност забележена код линија спелте КГ-54-7/3-5 (67,6 kg hl⁻¹) и КГ-54-7/3-5 (67,8 kg hl⁻¹). У агроеколошкој средини Панчево 2023/2024 је остварена највећа вредност, а у средини Крушевац 2022/2023. најмања вредност хектолитарске масе.
- Линија КГ-33/1 (13,05%) се издвојила највећим садржајем протеина, а најмањим сорта НС 40С. Генотипови спелте су се одликовали садржајем протеина изнад 12%, као и линије КГ-43/1, КГ-21/1, КГ-40/1 и КГ-4/1. У агроеколошкој средини локалитета Панчево у 2022/2023. сезони је остварен највећи садржај протеина, а најмањи у агроеколошкој средини Крушевац 2023/2024.
- Према АММ₂ биplotу (IPCA₁ vs. IPCA₂) и прорачунатим ASV вредностима, следећи генотипови су испољили највећу стабилност, и то: КГ-9/1 за висину биљке и масу 1000 зрна; КГ-11/1 за дужину класа, масу класа и хектолитарску масу; Победа за масу зрна по класу; КГ-21/1 за број зрна по класу; КГ-33/1 за принос зрна; КГ-40/1 за садржај протеина у зрну. Ипак, треба имати у виду да се одређени стабилни генотипови карактеришу ниским, односно непожељним вредностима појединих особина. Стога је корисно у обзир узети резултате које пружају АММ₁ биplot, „Mean vs. Stability“ GGE биplot и „Ranking genotypes“ GGE биplot, који, поред анализе стабилности, у обзир узимају и средње вредности проучаване особине.
- Интеграцијом резултата АММ₁ и GGE биplotова, генотип КГ-9/1 се истовремено одликује и нижом висином биљке и израженом стабилношћу. Високим вредностима и стабилношћу дужине класа су се карактерисали генотипови КГ-21/1, КГ-43/1 и Ренесанса. Линије спелте су победнички генотипови у свим срединама, остварујући највеће вредности дужине класа. Такође, линије спелте показују највећу масу класа и ужу адаптабилност у мегасредини карактерисаном 2022/2023. сезоном. На основу високих вредности и стабилности, „Ranking genotypes“, GGE биplot рангира сорте Ренесансу и Победу најближе „идеалном“ генотипу у погледу масе класа и масе зрна по класу. У погледу броја зрна по класу, линије спелте су победнички генотипови у

већем броју средина, док се линија КГ-40/1 најбоље показала у мегасредини коју чине локалитети Панчево и Крагујевац у првој сезони. За принос зрна, линија КГ-4/1 је остварила највише вредности и показала специфичну адаптабилност у мега-средини која обухвата више агроеколошких средина, док је „Ranking genotypes“ GGE биplot показао да је линија КГ-11/1 најближа „идеалном“ генотипу. Сорта Ренесанса је уско адаптирана условима Панчева у 2023/2024. сезони, док су линије КГ-11/1 и КГ-40/1 најбоље прилагођене условима Крагујевца и Крушевца у 2022/2023. сезони. Линија КГ-4/1 је најближа „идеалном“ генотипу у постизању високе вредности и стабилности масе 1000 зрна и, заједно са линијом КГ-21/1, побеђује у мегасредини коју карактерише 2022/2023. вегетациона сезона. У погледу хектолитарске масе, линија КГ-4/1 је победнички генотип у условима који су карактерисали 2022/2023., док је линија КГ-40/1 уско адаптирана условима 2023/2024. сезоне. Ипак сорта Ренесанса је рангирана најближе „идеалном“ генотипу за ову особину. Идеални генотип за постизање високог садржаја протеина је линија КГ-33/1, која је победнички генотип у већини средина.

- На основу АММИ и GGE биplotова, линије КГ-33/1 и КГ-41/1 су за највећи број анализираних особина показале најмање вредности уз изражену нестабилност, те су мање пожељне у селекцији на већи принос. Ипак линија КГ-33/1 може бити пожељан родитељ за постизање високог квалитета зрна.
- Спровођењем „Disciminativeness vs. Representativeness“ GGE биplot анализе, средина Крагујевац 2022/2023. је оцењена као најдискриминативнија код највећег броја анализираних особина, те је погодна за елиминацију нестабилних генотипова. Средине Панчево 2022/2023, а затим Панчево 2023/2024 су код већег броја особина истовремено и дискриминативне и репрезентативне, што их чини погодним за идентификацију генотипова са широм адаптабилношћу, те се сматрају идеалним срединама за тестирање генотипова.
- Посматрано на нивоу огледа, принос зрна је у највећој и статистички значајној позитивној корелацији са масом зрна по класу ($0,68^{**}$) и хектолитарском масом ($0,57^*$), те се ове особине могу користити као индикатори у селекцији за повећање приноса зрна. Висина биљке и дужина класа су у високозначајној и позитивној међусобној корелацији ($0,86^{***}$). Такође, маса 1000 зрна и хектолитарска маса остварују високозначајну и позитивну међусобну корелацију ($0,82^{***}$), као и маса класа и маса зрна по класу ($0,76^{**}$). У оквиру

истог квадранта PCA биплота су позиционирани вектори висине биљке, дужине класа и броја зрна по класу, који испољавају међусобно позитивну корелацију, као и негативну корелацију са хектолитарском масом и масом 1000 зрна. Садржај протеина је одвојен у засебан квадрант биплота испољавајући негативну корелацију са већином анализираних особина, међу којима је и принос зрна.

- Кластер анализом су генотипови подељени у три групе, на основу остварених вредности морфолошких, продуктивних и особина квалитета. Један кластер чине генотипови који се одликују нижим вредностима већег броја особина, међу којима се издвајају, линија КГ-33/1 високим садржајем протеина и сорта НС 40С високим приносом зрна. Линије спелте формирају посебну кластер групу. Највећа кластер група броји 10 генотипова, који се одликују високим вредностима већег броја особина, где се линије КГ-4/1 и КГ-11/1 издвајају највећим вредностима приноса зрна, а сорте Ренесанса и Победа изразито високим вредностима масе класа и масе зрна по класу.
- Највећа способност неутралисања DPPH• радикала на нивоу огледа, забележена је код сорти Ренесанса и Победа, као и код линије КГ-11/1, нарочито у фазама пораст у стабло и цветање. Када је реч о садржају укупних фенола, највишим вредностима су се издвојиле линије КГ-4/1 и КГ-21/1, као и сорта Ренесанса, посебно у фазама бокорење и пораст у стабло. Најмање вредности оба параметра антиоксидативне активности су забележене у фенофази цветање, док је највећа вредност способности уклањања DPPH• радикала била у фази пораст у стабло, (3,53 mg TE g⁻¹ с.м.), а укупних фенола у фази бокорење (6,43 mg GAE g⁻¹ с.м.). Највеће вредности оба параметра антиоксидативне активности су измерене у Крушевцу, затим у Панчеву, а најмање у Крагујевцу, што је резултат присутних стресних фактора у појединим фазама развоја на анализираним локалитетима.
- Садржај укупних фенола и способност неутралисања DPPH• радикала су у међусобној позитивној корелацији у оквиру сваке фенофазе, што упућује на закључак да феноли значајно доприносе антиоксидативној активности пшенице.
- Параметри антиоксидативне активности (садржај укупних фенола и способност неутралисања DPPH• радикала) у раним фазама развоја биљке остварују позитивну корелацију са приносом зрна у обе сезоне, што показује да ови параметри имају потенцијал да буду коришћени као биохемијски маркери за одабир толерантних генотипова на присутан стрес.

*
* *

У условима све израженијих ефеката глобалних климатских промена, испитивање генотипова у више агроеколошких средина је кључни приступ у идентификацији стабилних и адаптабилних генотипова пшенице који могу да одговоре променљивим и стресним условима гајења.

На основу свеобухватне анализе, линија КГ-4/1 се издваја као најприноснији генотип, са високим вредностима већине анализираних особина, показујући при томе добру адаптабилност у мегасрединама већег броја особина. Линија КГ-11/1 је рангирана најближе „идеалном“ генотипу по испољавању стабилности и високе вредности приноса зрна, што је чини добрим генетичким ресурсом у оплемењивачким програмима за постизање широке адаптабилности приноса. Сорте Ренесанса и Победа одликују се високим и стабилним вредностима више анализираних особина, што их чини погодним за ширу производњу. Линија КГ-40/1 се издваја високим приносом, а линија КГ-21 високим садржајем протеина и масе 1000 зрна, уз постизање специфичне адаптабилности у одређеним срединама. Сви поменути генотипови су имали добар антиоксидативни одговор у појединим фенофазама.

Линије спелте показују добру адаптабилност у различитим срединама, при чему се линија КГ-54-7/3-2 издваја високим приносом у неповољним земљишним условима, што потврђује потенцијал спелте као алтернативног жита, нарочито у *low-input* системима производње. Поред морфолошких и продуктивних особина и особина квалитета, анализа биохемијских параметара у различитим фенофазама пружа додатне информације о реакцији биљака на абиотички стрес и има потенцијал да се користи у оплемењивачким програмима.

Линије пшенице испитиване у овом раду, као што су КГ-4/1, КГ-11/1, КГ-21/1, као и линија спелте КГ-54-7/3-2 могу бити донори пожељних гена у будућим програмима оплемењивања при стварању нових сорти са побољшаним морфолошким и продуктивним особинама, као и квалитетом зрна. Због своје способности да успешно реагују на стресне услове средине, представљају важне генетичке ресурсе за унапређење усева.

9. ЛІТЕРАТУРА

- Abdallah, E., El-Kholy, A. S. M., Qabila, N., El-Sanatawy, A. M., Ali, M. M. A., Safhi, F. A., Jalal, A. S., Alshamrani, S. M., Mansour, E. (2025): Genotypic variation and yield stability of bread wheat under induced field heat stress during grain filling for climate resilience in arid regions. *Not Bot Horti Agrobo*, 53(4), 14804. <https://doi.org/10.15835/nbha53414804>
- Abdipour, M., Ebrahimi, M., Izadi-Darbandi, A., Mastrangelo, A. M., Najafian, G., Arshad, Y., Mirniyam, G. (2016): Association between Seed Size and Shape and Quality Traits, and Path Analysis of Thousand Grain Weight in Iranian Bread Wheat Landraces from Different Geographic Regions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44(1), 228-236. <https://doi.org/10.15835/nbha44110256>
- Abdurezake, M., Bekeko, Z., Mohammed, A. (2024): Genetic variability and path coefficient analysis among bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for yield and yield-related traits in bale highlands, southeastern Ethiopia. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 7, e20515. <https://doi.org/10.1002/agg2.20515>
- Abebe, A. T., Adewumi, A. S., Adebayo, M. A., Shaahu, A., Mushoriwa, H., Alabi, T., Derera, J., Agbona, A., Chigeza, G. (2024): Genotype \times environment interaction and yield stability of soybean (*Glycine max* L.) genotypes in multi-environment trials (METs) in Nigeria. *Heliyon*, 10, e38097. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38097>
- Adilova, S.S., Qulmamatova, D. E., Baboev, S.K., Bozorov, T.A., Morgunov, A.I. (2020): Multivariate cluster and principal component analyses of selected yield traits in Uzbek bread wheat cultivars. *American Journal of Plant Sciences*, 11, 903-912. <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.116066>
- Aktaş, B., Gökdere, H. İ. (2025): Evaluation of grain yield and quality characteristics of some bread wheat cultivars in different agro-ecological regions of Türkiye. *Heliyon*, 11(1), e41547. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41547>
- Al-Ashkar, I., Alotaibi, M., Refay, Y., Ghazy, A., Zakri, A., Al-Doss, A. (2020): Selection criteria for high-yielding and early-flowering bread wheat hybrids under heat stress. *PLoS ONE*, 15, e0236351. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236351>
- Al-Ashkar, I., Sallam, M., Al-Suhaibani, N., Ibrahim, A., Alsadon, A., Al-Doss, A. (2022): Multiple Stresses of Wheat in the Detection of Traits and Genotypes of High-

- Performance and Stability for a Complex Interplay of Environment and Genotypes. *Agronomy*, 12(10), 2252. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102252>
- Albajes, R., Cantero-Martínez, C., Capell, T. et al. (2013): Building bridges: an integrated strategy for sustainable food production throughout the value chain. *Mol Breeding* 32, 743–770. <https://doi.org/10.1007/s11032-013-9915-z>
- Alemayehu, L., Kebede, M., Wada, E. (2025): AMMI analysis of elite bread wheat (*Triticum aestivum* L.) selections for genotype by environment interaction and stability of grain yield in Southern Ethiopia. *PLoS ONE*, 20(1): e0318559. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0318559>
- Al-Ghumaiz, N.S., Motawei, M.I., Aggag, A.M., Al-Otayk, S.M., Alzamil, A.A. (2025): Phenotypic stability and adaptability of wheat genotypes under organic and conventional farming systems over five years using AMMI and GGE biplot analysis. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1693316. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1693316>
- Ali, N., Hussain, I., Ali, S., Khan, N.U., Hussain, I. (2021): Multivariate analysis for various quantitative traits in wheat advanced lines. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(1), 347–352.
- Al-Sayaydeh, R., Shtaya, M.J., Qubbaj, T., Al-Rifae, M.K., Alabdallah, M.A., Migdadi, O., Gammoh, I.A., Al-Abdallat, A.M. (2023): Performance and Stability Analysis of Selected Durum Wheat Genotypes Differing in Their Kernel Characteristics. *Plants*, 12(14), 2664. <https://doi.org/10.3390/plants12142664>
- Alvarez, J. B. (2021): Spanish Spelt Wheat: From an Endangered Genetic Resource to a Trendy Crop. *Plants*, 10(12), 2748. <https://doi.org/10.3390/plants10122748>
- Amelework, A. B., Bairu, M. W., Marx, R., Laing, M., Venter, S. L. (2023): Genotype × Environment Interaction and Stability Analysis of Selected Cassava Cultivars in South Africa. *Plants*, 12(13), 2490. <https://doi.org/10.3390/plants12132490>
- Amin, M.F., Hasan, M., Barma, N.C.D., Rahman, M.M., Hasan, M.M. (2015): Variability and heritability analysis in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 40(3), 435- 450.
- Anjum, F. M., Ahmad, I., Butt, M. S., Arshad, M. U., Pasha, I. (2008): Improvement in end-use quality of spring wheat varieties grown in different eras. *Food Chemistry*, 106(2), 482–486. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.011>
- Arain, M.A., Sial, M.A., Rajput, M.A., Mirbahar, A.A. (2011): Yield stability in bread wheat genotypes. *Pakistani Journal of Botany*, 43(4), 2071-2074.

- Ahmad, P., Jaleel, C., Salem, M., Nabi, G., Sharma, S. (2010): Roles of Enzymatic and non-enzymatic antioxidants in plants during abiotic stress. *Critical Reviews in Biotechnology*, 30, 161-175. <https://doi.org/10.3109/07388550903524243>
- Achilli, A. L., Roncallo, P. F., Echenique, V. (2022): Genetic Gains in Grain Yield and Agronomic Traits of Argentinian Durum Wheat from 1934 to 2015. *Agronomy*, 12(9), 2151. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092151>
- Bai, Y., Khoddami, A., Messina, V., Zhang, Z., Tan, D. K. Y. (2025): Response of Wheat Genotypes Stressed by High Temperature in Terms of Yield and Protein Composition Across Diverse Environments in Australia. *Agriculture*, 15(5), 514. <https://doi.org/10.3390/agriculture15050514>
- Bailey-Serres, J., Parker, J. E., Ainsworth, E. A., Oldroyd, G. E. D., Schroeder, J. I. (2019): Genetic strategies for improving crop yields. *Nature*. 575, 109–118. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1679-0>
- Baillot, N., Girusse, C., Allard, V., Piquet-Pissaloux, A., Le Gouis, J. (2018): Different grain-filling rates explain grain-weight differences along the wheat ear. *PLoS ONE*, 13(12): e0209597. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209597>
- Balkan, A. (2018): Genetic Variability, Heritability and Genetic Advance for Yield and Quality Traits in M2-4 Generations of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. *Turkish Journal of Field Crops*, 23, 173-179.
- Bančić, J., Gorjanc, G., Tolhurst, D. J. (2024): A framework for simulating genotype-by-environment interaction using multiplicative models. *Theoretical and Applied Genetics*, 137, 197. <https://doi.org/10.1007/s00122-024-04644-7>
- Бањац, Б., Младенов, В., Петровић, С., Војновић, Ђ., Бегић, Д., Шућур, Р., Јоковић, Б. (2022): Варијабилност показатеља технолошког квалитета генотипова пшенице у различитим микро-климатским условима. *Селекција и Семенарство*, 28(1), 43–54. <https://doi.org/10.5937/SelSem2201043B>
- Banjac, B., Dimitrijević, M., Petrović, S., Mladenov, V., Banjac, D., Kiproviski, B. (2020): Antioxidant Variability of Wheat Genotypes under Salinity Stress in situ. *Genetika*, 52, 1145–1160. <https://doi.org/10.2298/GENSR2003145B>
- Banjac, B., Mladenov, V., Dimitrijević, M., Petrović, S., Boćanski, J. (2014): Genotype × environment interactions and phenotypic stability for wheat grown in stressful conditions. *Genetika*, 46(3), 799-806. <https://doi.org/10.2298/GENSR1403799B>
- Banjac, B., Mladenov, V., Petrović, S., Matković-Stojšin, M., Krstić, Đ., Vujić, S., Mačkić, K., Kuzmanović, B., Banjac, D., Jakšić, S., Begić, D., Šućur, R. (2022): Phenotypic

- variability of wheat and environmental share in soil salinity stress (3S) conditions. *Sustainability*, 14(14), 8598. doi: [10.3390/su14148598](https://doi.org/10.3390/su14148598).
- Barros Santos, M. C., da Silva Lima, L. R., Nascimento, F. R., do Nascimento, T. P., Cameron, L. C., Ferreira, M.S.L. (2019): Metabolomic approach for characterization of phenolic compounds in different wheat genotypes during grain development. *Food Research International*, 124, 118–128. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.034>
- Baskar, V., Venkatesh, R., Ramalingam, S. (2018): Flavonoids (Antioxidants Systems) in Higher Plants and Their Response to Stresses. In: Gupta, D., Palma, J., Corpas, F. (eds) *Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants*. Springer, Cham. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-75088-0_12
- Baye, A., Berihun, B., Bantayehu, M., Derebe, B., Moral., M.T., (2020): Genotypic and Phenotypic Correlation and Path Coefficient analysis for yield and yield related traits in advanced bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) lines. *Cogent Food & Agriculture*, 6, 1752603. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1752603>
- Baye, T. M., Abebe, T., Wilke, R. A. (2011): Genotype–Environment Interactions and Their Translational Implications. *Personalized Medicine*, 8(1), 59–70. <https://doi.org/10.2217/pme.10.75>
- Begna, T. (2020): The role of genotype by environmental interaction in plant breeding. *International Journal of Agriculture and Biosciences*, 9, 209–215.
- Bendjama, A., Ramdani, S. (2022): Genetic variability of some agronomic traits in a collection of wheat (*Triticum turgidum* L. sp.pl.) genotypes under South Mediterranean growth conditions. *Italian Journal of Agronomy*, 17(1): 1976. <https://doi.org/10.4081/ija.2021.1976>
- Bernardo, R. (2020): *Breeding for quantitative traits in plants*, 3rd edn. Stemma Press, Woodbury.
- Bishwas, K.C., Poudel, M.R., Regmi, D. (2021): AMMI and GGE biplot analysis of yield of different elite wheat lines under terminal heat stress and irrigated environments. *Heliyon*, 7, e07206. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07206>
- Borrás, L., Slafer, G.A., Otegui, M.E. (2004): Seed dry weight response to source–sink manipulations in wheat, maize and soybean: A quantitative reappraisal. *Field Crops Research*, 86, 131–146. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.08.002>
- Bosi, S., Negri, L., Fakaros, A., Oliveti, G., Whittaker, A., Dinelli, G. (2022): GGE Biplot Analysis to Explore the Adaption Potential of Italian Common Wheat Genotypes. *Sustainability*, 14(2), 897. <https://doi.org/10.3390/su14020897>

- Brandolini, A., Castoldi, P., Plizzari, L., Hidalgo, A. (2013): Phenolic acids composition, total polyphenols content and antioxidant activity of *Triticum monococcum*, *Triticum turgidum* and *Triticum aestivum*: A two-years evaluation. *Journal of Cereal Science*, 58, 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.03.011>
- Branković, G., Dodig, D., Pajić, V., Kandić, V., Knežević, D., Đurić, N., Živanović, T. (2018): Genetic parameters of *Triticum aestivum* and *Triticum durum* for technological quality properties in Serbia. *Zemdirbyste-Agriculture*, 105, 39–48. <https://doi.org/10.13080/z-a.2018.105.006>
- Bratković, K., Luković, K., Perišić, V., Savić, J., Maksimović, J., Adžić, S., Rakonjac, A., Matković Stojšin, M. (2024): Interpreting the Interaction of Genotype with Environmental Factors in Barley Using Partial Least Squares Regression Model. *Agronomy*, 14(1), 194. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010194>
- Braun, H.J., Atlin, G., Payne, T. (2010): Multi-Location Testing as a Tool to Identify Plant Response to Global Climate Change. In: Reynolds MP, Ed. *Climate Change and Crop Production*. Wallingford (UK): CABI Publishers.
- Briggle, L.W. Curtis, B.C. (1987): Wheat worldwide. In E.G. Heyne, ed. *Wheat and wheat improvement*, 2nd ed. *Agronomy* 13: 1-32.
- Боројевић, С. (1983): Генетске и технолошке промене које су изазвале преокрет у оплемењивању биља. Академске беседе, књига 8, ВАНУ.
- Бранковић, Г. Р., Додиг, Д. Б., Кнежевић, Д. С., Кандић, В. Г., Павлов, Ј. М. (2016): Очекивана генетичка добит масе хиљаду зрна и броја зрна по класу хлебне и *durum* пшенице. *Journal of Agricultural Sciences*, 61(2), 113–125. <https://doi.org/10.2298/JAS1602113B>
- Брковић, П., Здравковић, М., Поповић, В., Брковић, М. (2006): Хемијска својства земљишта Црногорских Проклетија. *Земљиште и биљка*, 55(1), 101–106.
- Брковић, П., Поповић, В., Делетић, Н., Гуџић, Н., Брковић, М. (2005): Утицај времена и начина примене азота на принос озиме пшенице. *Земљиште и биљка*, 54(1), 23–30.
- Buczek, J., Jańczak-Pieniżek, M., Harasim, E., Kwiatkowski, C. A., Kapusta, I. (2023): Effect of Cropping Systems and Environment on Phenolic Acid Profiles and Yielding of Hybrid Winter Wheat Genotypes. *Agriculture*, 13(4), 834. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040834>
- Vicentin, L., Canales, J., Calderini, D.F. (2024): The trade-off between grain weight and grain number in wheat is explained by the overlapping of the key phases determining these

- major yield components. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1380429. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1380429>
- Vojnov, B., Manojlović, M., Latković, D., Milošev, D., Dolijanović, Ž., Simić, M., Babec, B., Šeremešić, S. (2020): Grain yield, yield components and protein content of organic spelt wheat (*Triticum spelta* L.) grown in different agro-ecological conditions of Northern Serbia. *Ratarstvo i Povrtarstvo*, 57, 1–7. <https://doi.org/10.5937/ratpov57-23867>
- Gauch, G.H. and Zobel, R.W. (1997): Interpreting mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science* 37, 311–326.
- Gauch, H.G. (1992): *Statistical Analysis of Regional Yield Trials: AMMI Analysis of Factorial Designs*. Elsevier, Amsterdam.
- Gauch, H.G. (2006): Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, 46, 1488–1500.
- Gauch, H.G., Zobel, R.W. (1996): AMMI analysis of yield trials. In M.S. Kang, H.G. Gauch (Eds.), *Genotype by environment interaction*. CRC Press, Boca Raton, 85–122.
- Geyer, M., Mohler, V., Hartl, L. (2022): Genetics of the inverse relationship between grain yield and grain protein content in common wheat. *Plants (Basel)*, 11(16), 2146. <https://doi.org/10.3390/plants11162146>
- Giraldo, P., Benavente, E., Manzano-Agugliaro, F., Gimenez, E. (2019): Worldwide Research Trends on Wheat and Barley: A Bibliometric Comparative Analysis. *Agronomy*, 9(7), 352. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070352>
- González, F. G., Aldabe, M. L., Terrile, I. I., Rondanini, D. P. (2014): Grain weight response to different postflowering source:sink ratios in modern high-yielding Argentinean wheats differing in spike fruiting efficiency. *Crop Science*, 54(1), 297–309. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.03.0157>
- Güngör, H., Cakir, M.F., Dumlupin, Z. (2022): Evaluation of wheat genotypes: genotype × environment interaction and GGE biplot analysis. *Turkish Journal of Field Crops* 27(1): 149–157. <https://doi.org/10.17557/tjfc.1081513>
- Guo, Z., Schnurbusch, T. (2015): Variation of floret fertility in hexaploid wheat revealed by tiller removal. *Journal of Experimental Botany*, 66(22), 5945–5958. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv303>
- Gupta, V., Kumar, M., Singh, V., Chaudhary, L., Yashveer, S., Sheoran, R., Dalal, M. S., Nain, A., Lamba, K., Gangadharaiyah, N., Sharma, R., Nagpal, S. (2022): Genotype by Environment Interaction Analysis for Grain Yield of Wheat (*Triticum aestivum* (L.)

- em.Thell) Genotypes. Agriculture, 12(7), 1002. <https://doi.org/10.3390/agriculture12071002>
- Daba, E., Merga, D. (2021): Additive main effect and multiplicative interaction model (AMMI) in plant breeding stability analysis: Review. Journal of Agricultural Research Pesticides and Biofertilizers, 2(3). <https://doi.org/07.2021/1.1037>
- Dabi, A., Mekbib, F., Desalegn, T. (2016): Estimation of genetic and phenotypic correlation coefficients and path analysis of yield and yield contributing traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. International Journal Natural Resource Ecology Management, 1(4), 145–154.
- de Leon, N., Jannink, J.-L., Edwards, J. W., Kaeppler, S. M. (2016): Introduction to a special issue on genotype by environment interaction. Crop Science, 56(5), 2081–2089. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.07.0002in>
- de Mendiburu, F. (2023): agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research; R Package Version 1.3-7. Available online: <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae> (приступљно 20. јула 2025.).
- de Sousa, T., Ribeiro, M., Sabeça, C., Igrejas, G. (2021): The 10,000-Year Success Story of Wheat! Foods, 10(9), 2124. <https://doi.org/10.3390/foods10092124>
- Dvorak, J., Akhunov, E.D. (2005): Tempos of gene locus deletions and duplications and their relationship to recombination rate during diploid and polyploid evolution in the Aegilops-Triticum alliance. Genetics, 171, 323–332.
- Dvorak, J., Akhunov, E.D., Akhunov, A.R., Deal, K.R., Luo, M.C. (2006): Molecular characterization of a diagnostic DNA marker for domesticated tetraploid wheat provides evidence for gene flow from wild tetraploid wheat to hexaploid wheat, Molecular Biology and Evolution, 23(7) (2006) 1386–1396. <https://doi.org/10.1093/molbev/msl004>
- Deng, S., Wu, X., Wu, Y., Zhou, R., Wang, H., Jia, J., Liu, S. (2011): Characterization and precise mapping of a QTL increasing spike number with pleiotropic effects in wheat. Theoretical and Applied Genetics, 122, 281–289.
- Ding, H., Wang, C., Cai, Y., Yu, K., Zhao, H., Wang, F., Shi, X. (2024): Characterization of a wheat stable QTL for spike length and its genetic effects on yield-related traits. BMC Plant Biology, 24, 292. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04963-3>
- Diordiieva, I. P., Riabovol, I. S., Riabovol, L. O., Babii, M. M., Fedorenko, S. V., Serzhuk, O. P., Maslovata, S. A., Liubchenko, A. I., Novak, Z. M., Liubchenko, I. O. (2024): Breeding and genetic improvement of spelt wheat (*Triticum spelta*) by interspecific

- hybridization. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 15(3), 463–468. <https://doi.org/10.15421/022465>
- Djukic, N., Knezevic, D. (2013): Allelic composition of Gli-B1 locus and their relationships with protein sedimentation and gluten content in durum wheat. *The Journal of Genetics*, 114, 114–12.
- Dong, B., Zheng, X., Liu, H., Able, J.A., Yang, H., Zhao, H., Zhang, M., Qiao, Y., Wang, Y., Liu, M. (2017): Effects of drought stress on pollen sterility, grain yield, abscisic acid and protective enzymes in two winter wheat cultivars. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1008. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01008>
- Dong, B., Zheng, X., Liu, H., Able, J. A., Yang, H., Zhao, H., Zhang, M., Qiao, Y., Wang, Y., Liu, M. (2017): Effects of drought stress on pollen sterility, grain yield, abscisic acid and protective enzymes in two winter wheat cultivars. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1008. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01008>
- Dumalasoová, V., Grausgruber, H., Zelba, O., Hanzalová, A., Buerstmayr, H., Weyermann, V., dell’Avo, F., Cuendet, C., Koppel, R., Sooväli, P. (2025): Spelt wheat resistance to rusts, powdery mildew, leaf blotch and common bunt. *Cereal Research Communications*, 53(3), 451–467. <https://doi.org/10.1007/s42976-024-00516-4>
- Ebrahimnejad, S., Rameeh, V. (2016): Correlation and factor analysis of grain yield and some important component characters in spring bread wheat genotypes. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 49(1), 5-15.
- Erenstein, O., Jaleta, M., Mottaleb, K.A., Sonder, K., Donovan, J., Braun, HJ. (2022): Global Trends in Wheat Production, Consumption and Trade. In: Reynolds, M.P., Braun, HJ. (eds) *Wheat Improvement*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90673-3_4
- Esan, V.I., Oke, G.O., Ogunbode, T.O., Obisesan, I.A. (2023): AMMI and GGE biplot analyses of Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) for agronomic performances under three environmental conditions. *Frontiers in Plant Science*, 13, 997429. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.997429>
- Echeverry-Solarte, M., Kumar, A., Kianian, S., Simsek, S., Alamri, M. S., Mantovani, E. E., et al. (2015): New QTL alleles for quality-related traits in spring wheat revealed by RIL population derived from supernumerary × non-supernumerary spikelet genotypes. *Theoretical and Applied Genetics*, 128(5), 893–912. <https://doi.org/10.1007/s00122-015-2478-0>

- Zandalinas, S.I., Fritschi, F.B., Mittler, R. (2021): Global warming, climate change, and environmental pollution: Recipe for a multifactorial stress combination disaster. *Trends in Plant Science*, 26(6), 588–599. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.02.011>
- Зечевић, В., Миленковић, С., Ђурић, Н., Луковић, К., Матковић Стојшин, М., Ђорђевић, Р., Кнежевић, Д. (2021): Анализа приноса крупника (*Triticum spelta* L.) у органској производњи. Биотехнологија и савремени приступ у гајењу и оплемењивању биља, Зборник радова, Смедеревска Паланка, стр. 237–244.
- Зечевић, В., Миленковић, С., Бошковић, Ј., Матковић Стојшин, М., Ђурић, Н., Луковић, К., Мићановић, Д., Кнежевић, Д. (2022): Варијабилност броја и масе зрна по класу дурум пшенице у органској производњи. У Биотехнологија и савремени приступ у гајењу и оплемењивању биља, Зборник радова, Смедеревска Паланка, стр. 202–211.
- Zečević, V., Bošković, J., Dimitrijević, M., Petrović, S. (2010): Genetic and phenotypic variability of yield components in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16, 422–428.
- Zečević, V., Bošković, J., Milenković, S., Matković Stojšin, M., Balijagić, J., Đukić, N., Knežević, D. (2018): Phenotypic variability of yield components of *Triticum spelta* in organic production. *Agriculture & Forestry*, 64(3), 71–78. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.64.3.06>
- Zečević, V., Knežević, D., Kraljević-Balalić, M., Mićanović, D. (2004a): Genetic and Phenotypic Variability of Yield Components in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genetika*, 36(2), 151-159.
- Zečević, V., Knežević, D., Mićanović, D. (2004b): Genetic Correlations and Path Coefficient Analysis of Yield and Quality Components in Wheat. *Genetika*, 36(1), 13-21.
- Zečević, V., Knežević, D., Mićanović, D., Madić, M. (2008): Genetic and phenotypic variability of spike length and plant height in wheat. *Kragujevac Journal of Science*, 30, 125-130.
- Zečević, V., Milenković, S., Bošković, J., Roljević Nikolić, S., Luković, K., Đorđević, R., Knežević, D. (2022): Influence of foliar nutrition on yield and yield components of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) grown in system of organic production. *Applied Ecology and Environmental Research* 20(1): 171-187. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/2001_171187

- Zobel, R.W., Wright, M.J., Gauch, H.G. (1988): Statistical Analysis of a Yield Trial. *Agronomy Journal*, 80, 388-393. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000030002x>
- Zhang, A., Liu, M., Gu, W., Wang, J., Zhang, Y., Ma, Z., Zhao, T., Li, Y., Bai, Y. (2021): Effect of drought on photosynthesis, total antioxidant capacity, bioactive component accumulation, and the transcriptome of *Atractylodes lancea*. *BMC Plant Biology*, 21, 293. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03048-9>
- Zhang, X., Qiao, L., Li, X., Yang, Z., Liu, C., Guo, H., Zheng, J., Zhang, S., Chang, L., Chen, F., Jia, J., Yan, L., Chang, Z. (2022): Genetic incorporation of the favorable alleles for three genes associated with spikelet development in wheat. *Frontiers in Plant Science*, 13, 892642. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.892642>
- Zhao, K., Tao, Y., Liu, M., Yang, D., Zhu, M., Ding, J., Zhu, X., Guo, W., Zhou, G., Li, C. (2022): Does temporary heat stress or low temperature stress similarly affect yield, starch, and protein of winter wheat grain during grain filling? *Journal of Cereal Science*, 103, 103408. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103408>
- Zhao, Y., Liu, Z. (2023): Ring the yield: Regulation of spike architecture by an E3 ubiquitin ligase in crops. *Journal of Experimental Botany*, 74(17), 4889–4891. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad281>
- Zhou, X., Wang, Q., Guo, H., Xie, Y., Zhao, L., Gu, J., Li, H., Zhao, S., Ding, Y., Guo, J., Xiong, H., Liu, L. (2025): Identification of *Rht1* for plant height reduction in two wheat mutants and the effects on yield components. *Journal of Plant Physiology*, 305, 154420. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2025.154420>
- Zhou, Y., Hu, L., Ye, S., Jiang, L., Liu, S. (2018): Genome-wide identification of glutathione peroxidase (GPX) gene family and their response to abiotic stress in cucumber. *3 Biotech*, 8, 159. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1185-3>
- Zulkiffal, M., Ahsan, A., Javed, A., Aziz, R., Muhammad, A., Saima, G. (2018): Appraisal of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under normal, drought and heat-prone environments for morpho-physiological multiplicity and constancy. *International Journal of Agriculture and Environmental Research*, 4, 1298–1306.
- International Grains Council. (2023): Grain market report: Durum wheat supply and demand overview. International Grains Council. <https://www.igc.int/en/default.aspx>, приступљено 20. јула 2025.
- Isleib, J. (2012): Test weight in small grains. Michigan State University Extension. https://www.canr.msu.edu/news/test_weight_in_small_grains

- Iqbal, M.A., Rahim, J., Naeem, W., Hassan, S., Khattab, Y., El-Sabagh, A. (2021): Rainfed Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars Respond Differently to Integrated Fertilization in Pakistan. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(4), 3115-3121.
- Jablonskytė-Raščė, D., Maikštenienė, S., Mankevičienė, A. (2013): Evaluation of productivity and quality of common wheat (*Triticum aestivum* L.) and spelt (*Triticum spelta* L.) in relation to nutrition conditions. *Zemdirbystė–Agriculture*, 100(1), 45–55.
- Javed, A., Ahmad, N., Ahmed, J., Hameed, A., Ashraf, M. A., Zafar, S. A., Maqbool, A., Al-Amrah, H., Alatawi, H. A., Al-Harbi, M. S., Ali, E. F. (2022): Grain yield, chlorophyll and protein contents of elite wheat genotypes under drought stress. *Journal of King Saud University—Science* 34(7): 102279. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102279>.
- Javed, M., Ali, A., Kashif, M., Ali, M., Ullah, S., Alam, A. (2024): Estimation of heritability, genotypic variability and correlations analysis for yield and yield attributing traits among bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Journal of Applied Life Sciences & Environment*, 57, 91–106. <https://doi.org/10.46909/alse-571125>
- Janmohammadi, M., Movahedi, Z., Sabaghnia, N. (2014): Multivariate statistical analysis of some traits of bread wheat for breeding under rainfed conditions. *Journal of Agricultural Sciences*, 59(1), 1–14. <https://doi.org/10.2298/JAS1401001J>
- Jansone, Z., Rendenieks, Z., Lapāns, A., Tamm, I., Ingver, A., Gorash, A., Aleliūnas, A., Brazauskas, G., Shafiee, S., Mróz, T., Lillemo, M., Kollist, H., Bleidere, M. (2024): Phenotypic Variation and Relationships between Grain Yield, Protein Content and Unmanned Aerial Vehicle-Derived Normalized Difference Vegetation Index in Spring Wheat in Nordic–Baltic Environments. *Agronomy*, 14(1), 51. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010051>
- Jędzura, S., Bocianowski, J., Matysik, P. (2023): The AMMI model application to analyze the genotype–environment interaction of spring wheat grain yield for breeding program purposes. *Cereal Research Communications*, 51, 197–205. <https://doi.org/10.1007/s42976-022-00296-9>
- Ji, Z., Liu, X., Yan, F., Wu, S., Du, Y. (2025): The Genetic Basis of Wheat Spike Architecture. *Agriculture*, 15(15), 1575. <https://doi.org/10.3390/agriculture15151575>
- Jiang, T., Meng, L., Ji, C., Wang, Z., Cao, H., Sun, R., Xu, K., Meng, X., Yang, X., Zhao, Y. (2025): Identification of Spike Length Gene and Development of KASP Markers in Wheat. *Plants*, 14(23), 3703. <https://doi.org/10.3390/plants14233703>
- Jocković, B., Mirosavljević, M., Momčilović, V., Dražić, T., Mikić, S., Aćin, V., Ilin, S., Živančev, D. (2022): The contribution of stay green traits to the breeding progress of the

- Pannonian wheat. *Field Crops Research*, 287, 108649. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108649>
- Kabbaj, H., Sall, A. T., Al-Abdallat, A., Geleta, M., Amri, A., Filali-Maltouf, A., Belkadi, B., Ortiz, R., Bassi, F. M. (2017): Genetic diversity within a global panel of durum wheat (*Triticum durum*) landraces and modern germplasm reveals the history of allele exchange. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1277. <https://doi.org/10.3389/fpls.201701277>
- Karpenko, V.P., Poltoreskyi, S.P., Liubych, V.V., Adamenko, D.M., Kravets, I.S., Prytuliak, R.M. (2020): Agrobiological characteristics of spelt wheat and intermediate wheatgrass in the right bank forest steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10, 81–86. https://doi.org/10.15421/2020_210
- Kartseva, T., Aleksandrov, V., Alqudah, A.M., Schierenbeck, M., Tasheva, K., Börner, A., Misheva, S. (2024): Exploring Novel Genomic Loci and Candidate Genes Associated with Plant Height in Bulgarian Bread Wheat via Multi-Model GWAS. *Plants*, 13(19), 2775. <https://doi.org/10.3390/plants13192775>
- Kassambara, A., Mundt, F. (2020): factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.7. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra> (приступљено 25. јула 2025.)
- Kaya Y., Akcura M. (2014): Effects of genotype and environment on grain yield and quality traits in bread wheat (*T. aestivum* L.). *Food Science and Technology (Campinas)*, 34 (2): 386–393. <https://doi.org/10.1590/fst.2014.0041>
- Kebede, G., Worku, W., Feyissa, F., Jifar, H. (2023): Genotype by environment interaction and stability analysis for selection of superior fodder yield performing oat (*Avena sativa* L.) genotypes using GGE biplot in Ethiopia. *Ecology, Genetics and Genomics*, 28, 100192. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2023.100192>
- Kempton, R.A. (1984): The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *Journal of Agricultural Science*, 103, 123–135.
- Kiani, R., Arzani, A., Mirmohammady Maibody, S.A.M. (2021): Polyphenols, flavonoids, and antioxidant activity involved in salt tolerance in wheat, *Aegilops sylandrica* and their amphidiploids. *Frontiers in Plant Science*, 12, 646221. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.646221>
- Kilian, B., Martin, W., Salamini, F. (2010): Genetic diversity, evolution and domestication of wheat and barley in the Fertile Crescent. In: *Evolution in action* (Glaubrecht, M., ed.), Springer, Heidelberg, 137-166.

- Кнежевић, Д., Бранковић, Г., Шурлан-Момировић, Г., Стаменковић, С., Кнежевић, Ј. (2010): Фенотипска варијабилност масе примарног класа пшенице (*Triticum aestivum* L.). Архив за пољопривредне науке, 71 (3), 15-21.
- Кнежевић, Д., Зећевић, В., Стаменковић, С., Атанасијевић, С., Милошевић, В. (2012): Variability of number of kernels per spike in wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). Journal of Central European Agriculture, 13(3), 608–614. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/13.3.1099>
- Кнежевић, Д., Лазе, А., Пауновић, А., Ђуровић, В., Ђукић, Н., Валјаревић, Д., Кондић, Д., Мићановић, Д., Џивић, Ј., Зећевић, В. (2020a): Approaches in cereal breeding. Acta Agriculturae Serbica, 25(50), 179-186.
- Кнежевић, Д., Урошевић, Д., Пауновић, А., Кондић, Д., Ђуровић, В., Џивић, Ј., Матковић, М., Радосавач, А., Мачић, М., Зећевић, В. (2020b): Variability of stem height in wheat *Triticum aestivum* L. In Proceedings of the XI International Scientific Agricultural Symposium “Agrosym 2020” (pp. 325–329).
- Кнежевић, Д., Росандић, А., Кондић, Д., Радосавач, А., Рајковић, Д. (2016): Impact of quality of grain wheat on food value. Növénytermelés, 65, 99-102.
- Кондић, Д., Бајић, М., Хајдер, Ђ., Кнежевић, Д., Босанчић, В. (2017): The spike characteristics of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties in agro-ecological conditions of Banja Luka region. Agro-Knowledge Journal, 18(4), 263–274.
- Kong L, Liu Y, Wang X, Chang C. (2020): Insight into the role of epi 13 genetic processes in abiotic and biotic stress response in wheat and barley. International Journal of Molecular Sciences, 21: 1480.
- Krishnan, J. N., Kumar, U., Kaur, S., Chhuneja, P. (2023): Development of a novel image-based grain counting setup for thousand-grain weight estimation in wheat. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding, 83(4), 469–475. <https://doi.org/10.31742/ISGPB.83.4.2>
- Krishnappa, G., Ahlawat, A.K., Shukla, R.B., Singh, S.K., Singh, S.K., Singh, A.M., Singh, G.P. (2019): Multi-environment Analysis of Grain Quality Traits in Recombinant Inbred Lines of a Biparental Cross in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). Cereal Research Communications, 47, 334–344. <https://doi.org/10.1556/0806.47.2019.02>
- Krishnappa, G., Khan, H., Krishna, H., Devate, N. B., Kumar, S., Mishra, C. N., Parkash, O., Kumar, S., Kumar, M., Mamrutha, H. M., Singh, G. P., Singh, G. (2023): Genome-Wide Association Study for Grain Protein, Thousand Kernel Weight, and Normalized

- Difference Vegetation Index in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genes*, 14(3), 637. <https://doi.org/10.3390/genes14030637>
- Krishnappa, G., Tyagi, B. S., Gupta, V., Gupta, A., Venkatesh, K., Kamble, U. R., Sendhil, R., Singh, G., Singh, G. P. (2022): Wheat breeding. In D. K. Yadava, H. K. Dikshit, G. P. Mishra, S. Tripathi (Eds.), *Fundamentals of field crop breeding* (pp. 39–111). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9257-4_2
- Khamis, G., Alsherif, E. A., Korany, S. M., Gaber, A., Alnusairi, G.S., Qari, S. H., Ibrahim, M. M.M. (2025): Drought stress differentially influences growth, physiology, and metabolite accumulation in *Triticum aestivum* (C3) and *Amaranthus caudatus* (C4) plants. *BMC Plant Biology*, 25, 1199. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07022-7>
- Kumar, A., Kumar Yadav, V., Maurya, C. L., Veer Singh, S., Shweta, Kumar, J., Sai Dev Naik, B. (2024): Estimate the genetic diversity with PCA in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Scientific Research and Reports* 30(5): 207–217. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i51935>
- Kumar, A., Mantovani, E. E., Seetan, R., Soltani, A., Echeverry-Solarte, M., Jain, S., Simsek, S., Doehlert, D., Alamri, M. S., Elias, E. M., Kianian, S. F., Mergoum, M. (2016): Dissection of genetic factors underlying wheat grain shape and size in an elite × nonadapted cross using a high density SNP linkage map. *The Plant Genome*, 9(1), 1-22. <https://doi.org/10.3835/plantgenome2015.09.0081>
- Laidig, F., Piepho, H. P., Rentel, D., Drobek, T., Meyer, U., Huesken, A. (2017): Breeding progress, environmental variation and correlation of winter wheat yield and quality traits in German official variety trials and on-farm during 1983–2014. *Theoretical and Applied Genetics*, 130, 223–245. <https://doi.org/10.1007/s00122-016-2810-3>
- Lakić-Karalić, N., Vasilišin, L., Vučić, G. (2021): Relationship between the test weight and some physical and chemical properties of the wheat kernel. *Agro-knowledge Journal*, 22(4), 137–148. <https://doi.org/10.7251/AGREN2104137K>
- Lacko-Bartošová, M., Lacko-Bartošová, L., Kaur, A., Moudrý, J. (2022): Comparative Assessment of Agro-Morphological and Quality Traits of Ancient Wheat Cultivars Grown under Organic Farming. *Agriculture*, 12(9), 1476. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091476>
- Lacko-Bartošová, M., Lacko-Bartošová, L., Kobida, E., Kaur, A., Moudrý, J. (2023): Phenolic Acids Profiles and Phenolic Concentrations of Emmer Cultivars in Response to Growing Year under Organic Management. *Foods*, 12(7), 1480. <https://doi.org/10.3390/foods12071480>

- Levy, A. A., Feldman, M. (2022): Evolution and origin of bread wheat. *The Plant Cell*, 34(7), 2549–2567. <https://doi.org/10.1093/plcell/koac130>
- Lo Valvo, P. J., Miralles, D. J., Serrago, R. A. (2018): Genetic progress in Argentine bread wheat varieties released between 1918 and 2011: changes in physiological and numerical yield components. *Field Crops Research* 221: 314-321. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.08.014>
- Longin, C.F. H., Afzal, M., Pfannstiel, J., Bertsche, U., Melzer, T., Ruf, A., Heger, C., Pfaff, T., Schollenberger, M., Rodehutschord, M. (2023): Mineral and Phytic Acid Content as Well as Phytase Activity in Flours and Breads Made from Different Wheat Species. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3), 2770. <https://doi.org/10.3390/ijms24032770>
- Longin, C. F. H., Würschum, T. (2014): Genetic variability, heritability and correlation among agronomic and disease resistance traits in a diversity panel and elite breeding material of spelt wheat. *Plant Breeding*, 133(5), 459–464. <https://doi.org/10.1111/pbr.12142>
- Luković, K., Milovanović, M., Zečević, V., Prodanović, S., Bratković, K. (2016): Effect of growing seasons on some quality properties of winter wheat genotypes. *Book of Proceedings, 7th International Scientific Agriculture Symposium “Agrosym 2016”*, Jahorina, 6–9 October 2016, pp. 826-826.
- Luković, K., Prodanović, S., Perišić, V., Milovanović, M., Perišić, V., Rajičić, V., Zečević, V. (2020): Multivariate analysis of morphological traits and the most important productive traits of wheat in extreme wet conditions. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18, 5857–5871. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1804_58575871
- Luković, K., Bratković, K., Zečević, V., Rakonjac, A., Tupajić, I., Matković Stojšin, M., Perišić, V. (2025a): Stability of grain weight per spike in different wheat genotypes in years with pronounced climate change. *JEEP International Scientific Agribusiness Conference, MAK 2025 – Kopaonik: Climate changes and ecological sustainability in agriculture and food production in Serbia, the region and Southeastern Europe, Proceedings, Kopaonik, Serbia*, 107-114. <https://doi.org/10.46793/MAK2025.107L>
- Luković, K., Rakonjac, A., Zečević, V., Matković Stojšin, M., Rajičić, V., Stojšin, M., Bratković, K. (2025b): Wheat Yield Stability Across Years with Varying Climate Conditions. In *Proceedings of the 3rd International Symposium on Biotechnology, Čačak, Serbia, 2025*; pp. 111-117. <https://doi.org/10.46793/SBT30.15KL>

- Ljubičić, N., Popović, V., Ćirić, V., Kostić, M., Ivošević, B., Popović, D., Pandžić, M., El Musafah, S., Janković, S. (2021): Multivariate Interaction Analysis of Winter Wheat Grown in Environment of Limited Soil Conditions. *Plants*, 10(3), 604. <https://doi.org/10.3390/plants10030604>
- Ljubičić, N., Popović, V., Ivošević, B., Rajičić, V., Simić, D., Kostić, M., Pajić, M. (2022): Spike index stability of bread wheat grown on halomorphic soil. *Selekcija i Semearstvo*, 28(1), 1-8. <https://doi.org/10.5937/SelSem2201001L>
- Ma, D., Sun, D., Wang, C., Li, Y., Guo, T. (2014): Expression of flavonoid biosynthesis genes and accumulation of flavonoid in wheat leaves in response to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 80, 60-66. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.03.024>
- Ma, J., Li, R., Wang, H., Li, D., Wang, X., Zhang, Y., Zhen, W., Duan, H., Yan, G., Li, Y. (2017): Transcriptomics analyses reveal wheat responses to drought stress during reproductive stages under field conditions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 592. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00592>
- Madić, M., Đurović, D., Stevović, V., Tomić, D., Biberdžić, M., Govedarica, B. (2025): Influence of genotype and year on winter wheat grain yield. *Proceedings of the 3rd International Symposium on Biotechnology, Čačak, Serbia, 2025*; pp. 77–84. <https://doi.org/10.46793/SBT30.10MM>
- Madić, M., Đurović, D., Stevović, V., Tomić, D., Biberdžić, M., Pavlović, N., Marjanović, M. (2024): Grain yield and yield components of prospective homozygous winter wheat genotypes. In *Proceedings of the 2nd International Symposium on Biotechnology, Čačak*, pp. 35–40. <https://doi.org/10.46793/SBT29.03MM>
- Mądry, W., Studnicki, M., Rozbicki, J., Golba, J., Gozdowski, D., Pecio, A., Oleksy, A. (2015): Ontogenetic-based sequential path analysis of grain yield and its related traits in several winter wheat cultivars. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*, 65(7), 605–618. <https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1039053>
- Malosetti, M., Ribaut, J.-M., van Eeuwijk, F. A. (2013): The statistical analysis of multi-environment data: Modeling genotype-by-environment interaction and its genetic basis. *Frontiers in Physiology*, 4(44). <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00044>
- Mao, H., Jiang, C., Tang, C., Nie, X., Du, L., Liu, Y., Cheng, P., Wu, Y., Liu, H., Kang, Z., Wang, X. (2023): Wheat adaptation to environmental stresses under climate change: Molecular basis and genetic improvement. *Molecular Plant*, 16, 1564–1589. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2023.09.001>

- Marković, M.S., Knežević, D., Nešović, M.N., Djukić, H.N. (2021): Heat-Induced Accumulation of Proline and Yield Components in Genetically Divergent Cereal Varieties. *Genetika*, 53(1), 219-233.
- Mathew, I., Shimelis, H., Mwadzingeni, L., Chaplot, V. (2018): Variance Components and Heritability of Traits Related to Root:Shoot Biomass Allocation and Drought Tolerance in Wheat. *Euphytica*, 214, 225. <https://doi.org/10.1007/s10681-018-2302-4>
- Matković Stojšin, M., Petrović, S., Banjac, B., Zečević, V., Roljević Nikolić, S., Majstorović, H., Dorđević, R., Knežević, D. (2022a): Assessment of Genotype Stress Tolerance as an Effective Way to Sustain Wheat Production under Salinity Stress Conditions. *Sustainability*, 14(12), 6973. <https://doi.org/10.3390/su14126973>
- Matković Stojšin, M., Petrović, S., Banjac, B., Roljević Nikolić, S., Zečević, V., Bačić, J., Dorđević, R., Knežević, D. (2022b): Development of selection criteria for improving grain yield in wheat grown in different agro-ecological environments. *Acta Agriculturae Serbica*, 27(53), 79-87. <https://doi.org/10.5937/AASer2253079M>
- Matković Stojšin, M., Petrović, S., Sucer Elez, J., Malencić, Dj., Zečević, V., Banjac, B., Knežević, D. (2022b): Effect of Salinity Stress on Antioxidant Activity and Grain Yield of Different Wheat Genotypes. *Turkish Journal of Field Crops*, 27(1), 33-40. <https://doi.org/10.17557/tjfc.100206>
- Matković Stojšin, M., Zečević, V., Petrović, S., Dimitrijević, M., Mićanović, D., Banjac, B., Knežević, D. (2018): Variability, correlation, path analysis and stepwise regression for yield components of different wheat genotypes. *Genetika*, 50(3), 817-828. <https://doi.org/10.2298/GENSR1803817M>
- Matsuoka, Y. (2011): Evolution of polyploid Triticum wheats under cultivation: The role of domestication, natural hybridization, and allopolyploid speciation in their diversification. *Plant Cell Physiology*, 52(5), 750–764. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcr018>
- Meier, U., Ed. (2001): Growth Stages of Mono- and Dicotyledonous Plants – BBCH Monograph; Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry: Germany.
- Melios, S., Ninou, E., Irakli, M., Tsivelika, N., Sistanis, I., Papanthanasidou, F., Didos, S., Zinoviadou, K., Karantonis, H. C., Argiriou, A., Mylonas, I. (2024). Effect of Genotype, Environment, and Their Interaction on the Antioxidant Properties of Durum Wheat: Impact of Nitrogen Fertilization and Sowing Time. *Agriculture*, 14(2), 328. <https://doi.org/10.3390/agriculture14020328>

- Mirosavljević, M., Mikić, S., Kondić-Špika, A., Župunski, V., Zhou, R., Abdelhakim, L., Ottosen, C.-O. (2021): The effect of heat stress on some main spike traits in 12 wheat cultivars at anthesis and mid-grain filling stage. *Plant, Soil and Environment*, 67: 71–76. <https://doi.org/10.17221/457/2020-PSE>
- Mirosavljević, M., Momčilović, V., Živančev, D., Aćin, V., Jocković, B., Mikić, S., Takač, V., Denčić, S. (2020): Genetic improvement of grain yield and bread-making quality of winter wheat over the past 90 years under the Pannonian Plain conditions. *Euphytica*, 216: 1–16. <https://doi.org/10.1007/s10681-020-02724-5>
- Mitura, K., Cacak-Pietrzak, G., Feledyn-Szewczyk, B., Szablewski, T., Studnicki, M. (2023): Yield and Grain Quality of Common Wheat (*Triticum aestivum* L.) Depending on the Different Farming Systems (Organic vs. Integrated vs. Conventional). *Plants*, 12(5), 1022. <https://doi.org/10.3390/plants12051022>
- Mladenov, N., Hristov, N., Kondić-Spika, A., Đurić, V., Jevtić, R., Mladenov, V. (2011): Breeding progress in grain yield of winter wheat cultivars grown at different nitrogen levels in semiarid conditions. *Breeding Science*, 61, 260–268. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.61.260>
- Mladenov, V., Dimitrijević, M., Petrović, S., Boćanski, J., Banjac, B., Kondić-Špika, A., Trkulja, D. (2019): Genetic analysis of spike length in wheat. *Genetika*, 51(1), 167-178. <https://doi.org/10.2298/GENSR1901167M>
- Mohagheghian, B., Saeidi, G., Arzani, A. (2025): Phenolic compounds, antioxidant enzymes, and oxidative stress in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes under field drought stress conditions. *BMC Plant Biology*, 25, 709. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06750-0>
- Molyneux, P. (2004): The use of stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 26, 211–219.
- Moorthy, S. M., Das, N. K., Mandal, K. (2012): Genotype × environment interaction and stability analysis in bivoltine silkworm genotypes of *Bombyx mori* L. *International Journal of Biology, Pharmacy and Allied Sciences*, 1(10), 1443–1449.
- Mohammadi, R., Armion, M., Zadhasan, E., Ahmadi, M. M., Amri, A. (2018): The use of AMMI model for interpreting genotype × environment interaction in durum wheat. *Experimental Agriculture*, 54(5), 670-683. <https://doi.org/10.1017/S0014479717000308>
- Mohammadi, R., Roostaei, M., Armion, M., Abdipour, M., Rahmati, M., Shahbazi, K. (2025): Deciphering genotype × environment interaction for grain yield in durum wheat: An integration of analytical and empirical approaches for increased yield stability and

- adaptability. *European Journal of Agronomy*, 168, 127656.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127656>
- Mullualem, D., Tsega, A., Mengie, T., Fentie, D., Kassa, Z., Fassil, A., Wondaferew, D., Gelaw, T.A., Astatkie, T. (2024): Genotype-by-Environment Interaction and Stability Analysis of Grain Yield of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes Using AMMI and GGE Biplot Analyses. *Heliyon* 2024, 10, e32918.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32918>
- Murchie, E.H., Reynolds, M., Slafer, G.A., Foulkes, M.J., Acevedo-Siaca, L., McAusland, L., Sharwood, R., Griffiths, S., Flavell, R.B., Gwyn, J., Sawkins, M., Carmo-Silva, E. (2023): A “wiring diagram” for source strength traits impacting wheat yield potential. *Journal of Experimental Botany*, 74(1), 72–90. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac415>
- Naikoo, M. I., Dar, M. I., Raghieb, F., Jaleel, H., Ahmad, B., Raina, A., Khan, F. A., Naushin, F. (2019): Chapter 9—Role and Regulation of Plants Phenolics in Abiotic Stress Tolerance: An Overview. In *Plant Signaling Molecules*; Khan, M.I.R., Reddy, P.S., Ferrante, A., Khan, N.A., Eds.; Woodhead Publishing: Duxford, UK, 2019; pp. 157–168. ISBN 978-0-12-816451-8.
- Nardino, M., Perin, E.C., Aranha, B.C., Carpes, S.T., Fontoura, B.H., de Sousa, D.J.P., de Freitas, D.S. (2022): Understanding Drought Response Mechanisms in Wheat and Multi-Trait Selection. *PLoS ONE*, 17, e0266368.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266368>
- Nawaz, H., Hussain, N., Yasmeen, A. (2015): Growth, yield and antioxidants status of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under water deficit conditions. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 52, 953–959.
- Neisse, A. C., Kirch, J. L., Hongyu, K. (2018): AMMI and GGE biplot for genotype × environment interaction: A medoid-based hierarchical cluster analysis approach for high-dimensional data. *Biometrical Letters*, 55(2), 97–121. <https://doi.org/10.2478/bile-2018-0008>
- Neuwirth E (2022): `_RColorBrewer: ColorBrewer Palettes_`. R package version 1.1-3,
<https://CRAN.R-project.org/package=RColorBrewer>
- Nikolić, O., Jelić, M., Balašić, I., Kraljević-Balašić, M. (2013): The components of variability of dry matter status indicators in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(3), 518–522.

- Nikolić, O., Pavlović, M. (2019): The possibilities of using physiological efficiency of nitrogen in wheat breeding in terms of ecological agriculture. *Ratarstvo i Povrtarstvo*, 56(3), 76-81. DOI: 10.5937/ratpov56-21778
- Nikolić, O., Živanović, T., Kraljević-Balalić, M., Milovanović, M. (2011): Interrelationship between grain yield and physiological parameters of winter wheat nitrogen nutrition efficiency. *Genetika*, 43, 91–100. <https://doi.org/10.2298/GENSR1101091N>
- Niroula, A., Khatri, S., Khadka, D., Timilsina, R. (2019): Total phenolic contents and antioxidant activity profile of selected cereal sprouts and grasses. *International Journal of Food Properties*, 22, 427–437. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1588297>
- Nukasani, V., Potdukhe, N.R., Bharad, S., Deshmukh, S., Shinde, S.M. (2013): Genetic variability, correlation and path analysis in wheat. *Journal of Wheat Research*, 5 (2), 48-51.
- Oguz, M. C., Aycan, M., Oguz, E., Poyraz, I., Yildiz, M. (2022): Drought Stress Tolerance in Plants: Interplay of Molecular, Biochemical and Physiological Responses in Important Development Stages. *Physiologia*, 2(4), 180-197. <https://doi.org/10.3390/physiologia2040015>
- Okuyama, L.A., Caramori, P.H., Kohli, M.M. (2020): New microchondrometer to measure hectoliter weight in small samples of wheat. *African Journal of Agricultural Research*, 15(4), 524–530. <https://doi.org/10.5897/AJAR2019.14538>
- Olivoto, T., Lúcio, A. D. C., da Silva, J. A. G., Marchioro, V. S., de Souza, V. Q., Jost, E. (2019): Mean performance and stability in multi-environment trials I: Combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal*, 111(6), 2949–2960. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0220>
- Olivoto, T., Lúcio, A.D. (2020): metan: an R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(6), 783–789. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13384>
- Omrani, A., Omrani, S., Khodarahmi, M., Shojaei, S. H., Illés, Á., Bojtor, C., Mousavi, S. M. N., Nagy, J. (2022): Evaluation of Grain Yield Stability in Some Selected Wheat Genotypes Using AMMI and GGE Biplot Methods. *Agronomy*, 12(5), 1130. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051130>
- Osei, M. K., Annor, B., Adjebeng-Danquah, J., Danquah, A., Danquah, E., Blay, E., Adu-Dapaah, H. (2018): Genotype × environment interaction: A prerequisite for tomato variety development. In S.T. Nyaku & A. Danquah (Eds.), *Recent advances in tomato breeding and production*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76011>

- Oury, FX., Godin, C. (2007): Yield and grain protein concentration in bread wheat: how to use the negative relationship between the two characters to identify favourable genotypes?. *Euphytica* 157, 45–57. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9395-5>
- Pacheco-Andrade, A., Torres, M. E., Cántaro-Segura, H., Díaz-Morales, L., Matsusaka, D. (2025): Stability and Yield Performance of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Genotypes Across Environments in Southern Peru. *International Journal of Plant Biology*, 16(4), 127. <https://doi.org/10.3390/ijpb16040127>
- Peng, J., Richards, D. E., Hartley, N. M., Murphy, G. P., Devos, K. M., Flintham, J. E., et al. (1999): 'Green revolution' genes encode mutant gibberellin response modulators. *Nature* 400 (6741), 256–261. doi: 10.1038/22307
- Peng, J.H.; Sun, D.; Nevo, E. (2011a): Domestication evolution, genetics and genomics in wheat. *Mol. Breed.*, 28, 281.
- Peng, J., Sun, D., Nevo, E. (2011b): Wild emmer wheat, '*Triticum dicoccoides*', occupies a pivotal position in wheat domestication process. *Australian Journal of Crop Science*, 5, 1127.
- Perišić, V., Perišić, V., Luković, K., Bratković, K., Zečević, V., Babić, S., Matković Stojšin, M. (2022): Stability of Grain Yield Performance of Winter Wheat Genotypes. *Selekcija i Semearstvo*, 28(2), 52–60. <https://doi.org/10.5937/SelSem2201052P>
- Perišić, V., Rajičić, V., Luković, K., Vukajlović, F., Perišić, V. (2023): Differences in the relationship of the most important traits of bread wheat depending on the different agro-ecological conditions. *Biologica Nyssana*, 14(2), 117-124.
- Petrović, S., Dimitrijevic, M., Belić, M., Banjac, B., Boškovic, J., Zečević, V., Pejić, B. (2010): The variation of yield components in wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to stressful growing conditions of alkaline soil. *Genetika*, 42(3), 545-555. <https://doi.org/10.2298/GENSR1003545P>
- Pequeno, D.N.L., Hernández-Ochoa, I.M., Reynolds, M., Sonder, K., Molero Milan, A., Robertson, R.D., Lopes, M.S., Xiong, W., Kropff, M., Asseng, S. (2021): Climate impact and adaptation to heat and drought stress of regional and global wheat production. *Environmental Research Letters*, 16(5), 054070. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd970>
- Popović, V., Ljubičić, N., Kostić, M., Radulović, M., Blagojević, D., Ugrenović, V., Popović, D., Ivošević, B. (2020): Genotype × Environment Interaction for Wheat Yield Traits Suitable for Selection in Different Seed Priming Conditions. *Plants*, 9(12), 1804. <https://doi.org/10.3390/plants9121804>

- Pospišil, A., Pospišil, M., Svečnjak, Z., Matotan, S. (2011): Influence of crop management upon the agronomic traits of spelt (*Triticum spelta* L.). *Plant, Soil and Environment*, 57(9), 435–440. <https://doi.org/10.17221/121/2011-PSE>
- Pour-Aboughadareh, A., Ahmadi, J., Mehrabi, A.A., Moghaddam, M., Etminan, A. (2017): Evaluation of agro-morphological diversity in wild relatives of wheat collected in Iran. *J. Agric. Sci. Technol.* 19, 943–956.
- Pour-Aboughadareh, A., Poczai, P., Etminan, A., Jadidi, O., Kianersi, F., Shooshtari, L. (2022): An Analysis of Genetic Variability and Population Structure in Wheat Germplasm Using Microsatellite and Gene-Based Markers. *Plants*, 11(9), 1205. <https://doi.org/10.3390/plants11091205>
- Protic, R., Miric, M., Protic, N., Jovanovic, Z., Jovin, P. (2007): The test weight of several winter wheat genotypes under various sowing dates and nitrogen fertilizer rates. *Romanian Agricultural Research*, 24, 43–46.
- Purchase, J.L., Hatting, H., van Deventer, C.S. (2000): Genotype × Environment Interaction of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability Analysis of Yield Performance. *S. Afr. J. Plant Soil.* 2000, 17, 101–107.
- Philipp, N., Weichert, H., Bohra, U., Weschke, W., Schulthess, A.W., Weber, H. (2018): Grain number and grain yield distribution along the spike remain stable despite breeding for high yield in winter wheat. *PLoS One*, 13, e0205452. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205452>
- R Project for Statistical Computing; Version 4.3.2 (2023-10-31 ucrt); R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, 2022. Available online: <https://www.R-project.org/> (приступљено 20. јула 2025.).
- Rad, M. R. N., Kadir, M. A., Rafii, M. Z., Jaafar, H. Z. E., Naghavi, M. R., Ahmadi, F. (2013): Genotype × environment interaction by AMMI and GGE biplot analysis in three consecutive generations of wheat (*Triticum aestivum*) under normal and drought stress conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 7(8), 956–961.
- Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S.S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., Xu, J. (2019): Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review. *Plants*, 8(2): 34. <https://doi.org/10.3390/plants8020034>
- Rajput, V.D., Harish, Singh, R.K., Verma, K.K., Sharma, L., Quiroz-Figueroa, F.R., Meena, M., Gour, V.S., Minkina, T., Sushkova, S., Mandzhieva, S. (2021): Recent Developments in Enzymatic Antioxidant Defence Mechanism in Plants with Special

- Reference to Abiotic Stress. *Biology* (Basel), 10(4), 267.
<https://doi.org/10.3390/biology10040267>
- Rana, P., Bishnoi, O. P., Chaurasia, H., Behl, R. K. (2023): Genetic variability and correlation coefficient analysis in wheat genotypes for grain yield and its contributing traits under drought and irrigated conditions. *Ekin Journal*, 9(2), 150–159.
- Reynolds, M., Foulkes, M. J., Slafer, G. A., Berry, P., Parry, M. A., Snape, J. W., Angus, W. J. (2009): Raising yield potential in wheat. *Journal of experimental botany*, 60(7), 1899–1918.
- Rahman, S., Islam, S., Yu, Z., She, M., Nevo, E., Ma, W. (2020): Current Progress in Understanding and Recovering the Wheat Genes Lost in Evolution and Domestication. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(16), 5836.
<https://doi.org/10.3390/ijms21165836>
- Rahmati, S., Azizi-Nezhad, R., Pour-Aboughadareh, A., Etminan, A., Shooshtari, L. (2024): Analysis of genotype-by-environment interaction effect in barley genotypes using AMMI and GGE biplot methods. *Heliyon*, 10(18), e38131.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38131>
- Ray, D.K., Mueller, N.D., West, P.C., Foley, J.A. (2013): Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. *PLoS ONE* 8(6): e66428.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066428>
- Riehl, S., Zeidi, M., Conard, N. J. (2013): Emergence of Agriculture in the Foothills of the Zagros Mountains of Iran. *Science*, 341(6141), 65–67. doi:10.1126/science.1236743
- Републички хидрометеоролошки завод Србије: <http://www.hidmet.gov.rs/> (приступљено 15. јуна 2025.)
- Roljević Nikolić, S., Kovačević, D., Cvijanović, G., Dolijanović, Ž., Marinković, J. (2018): Grain yield and rhizosphere microflora of alternative types of wheat in organic production. *Romanian Biotechnology Letters*, 23, 13301–13309.
- Ross, A. S. (2017): Genetic and other factors affecting wheat quality. In P. Langridge (Ed.), *Achieving sustainable cultivation of wheat*, Burleigh Dodds Science Publishing, 1, pp. 233–268. <https://doi.org/10.4324/9781351114257>
- Sabbit, Z., Yadav, B., Rai, P.K. (2017): Genetic variability, correlation and Path analysis for yield and its components in F5 generation of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(4): 680-687
- Sabir, K., Rose, T., Wittkop, B., Stahl, A., Snowdon, R. J., Ballvora, A., Friedt, W., Kage, H., Léon, J., Ordon, F., et al. (2023): Stage-specific genotype-by-environment interactions

- determine yield components in wheat. *Nature Plants*, 9, 1688–1696. <https://doi.org/10.1038/s41477-023-01516-8>
- Sadras, V. O., Slafer, G. A. (2012): Environmental modulation of yield components in cereals: heritabilities reveal a hierarchy of phenotypic plasticities. *Field Crops Research* 127: 215-224. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.11.014>
- Saeidnia, F., Taherian, M., Nazeri, S. M. (2023): Graphical analysis of multi-environmental trials for wheat grain yield based on GGE-biplot analysis under diverse sowing dates. *BMC Plant Biology*, 23, 198. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04197-9>
- Salamini, F., Ozkan, H., Brandolini, A., Schäfer-Pregl, R., Martin, W. (2002): Genetics and geography of wild cereal domestication in the near east. *Nature Reviews Genetics*, 3(6), 429–441. <https://doi.org/10.1038/nrg817>
- Salekjalali, M., Haddad, R., Jafari, B. (2011): Analysis of antioxidant enzyme activity during reproductive stages of barley under drought stress. *Journal of Ecobiotechnology*, 3, 40–47.
- Sangha, J. S., Wang, W., Knox, R., Ruan, Y., Cuthbert, R. D., Isidro-Sánchez, J., Li, L., He, Y., DePauw, R., Singh, A., Cutler, A., Wang, H., Selvaraj, G. (2025): Phenotypic plasticity of bread wheat contributes to yield reliability under heat and drought stress. *PLoS ONE*, 20, e0312122. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0312122>
- Sareen, S., Budhlakoti, N., Mishra, K. K., Bharad, S., Potdukhe, N. R., Tyagi, B. S., Singh, G. P. (2023): Resilience to Terminal Drought, Heat, and Their Combination Stress in Wheat Genotypes. *Agronomy*, 13(3), 891. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030891>
- Semenov, M. A., Stratonovitch, P., Alghabari, F., Gooding, M. J. (2014): Adapting wheat in Europe for climate change. *Journal of Cereal Science*, 59(3), 245–256. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.01.006>
- Serrago, R.A., Carrera, C. S., Savin, R., Slafer, G.A. (2025): Is the relationship between grain number and spike dry weight linear? Insights from larger spikes in wheat. *Crop Journal*, 13(3), 636–640. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2024.12.007>
- Sewore, B.M., Abe, A. (2024): Genetic variability and trait associations in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under drought-stressed and well-watered conditions. *CABI Agriculture and Bioscience*, 5, 64. <https://doi.org/10.1186/s43170-024-00259-6>
- Sievert, C. (2020): Interactive Web-Based Data Visualization with R, Plotly, and Shiny; Chapman and Hall/CRC: London, UK. <https://plotly-r.com/> (приступљено 22. августа 2025).

- Sime, B., Tesfaye, S.M. (2021): Stability performance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotype for yield and yield components in Oromia, Ethiopia. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 12, 625.
- Singleton, V. L., Rossi, J. A. (1965): Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
- Shaheen, A., Li, Z., Yang, Y., Xie, J., Zhu, L., Li, C., Nie, F., Wang, M., Wang, Y., Rasheed, A., Li, H., Zhou, Y., Song, C.-P. (2024): Genetic regulation of wheat plant architecture and future prospects for its improvement. *New Crops and Products*, 100048. <https://doi.org/10.1016/j.ncrops.2024.100048>
- Slafer, G. A., Savin, R., Sadras, V. O. (2014): Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crop Research* 157: 71-83. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.004>
- Slafer, G.A., Calderini, D.F., Miralles, D.J. (1996): Yield Components and Compensation in Wheat: Opportunities for Further Increasing Yield Potential. In *Increasing Yield Potential in Wheat: Breaking the Barriers*; Reynolds, M.P., Rajaram, S., McNab, A., Eds.; CIMMYT: Mexico, pp. 101–133.
- Slafer, G.A., Foulkes, M.J., Reynolds, M.P., Murchie, E.H., Carmo-Silva, E., Flavell, R., Gwyn, J., Sawkins, M., Griffiths, S. (2023): A “wiring diagram” for sink strength traits impacting wheat yield potential. *Journal of Experimental Botany*, 74(1), 40–71. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac410>
- Snape, John W; Pànkovà, K. (2013): *Triticum Aestivum* L (Wheat). In: eLS. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester. DOI: 10.1002/9780470015902.a0003691.pub2
- Spanic, V., Drezner, G., Dvojkovic, K., Horvat, D. (2016): Traits of 25 winter wheat varieties grown in Croatia in the last 100 years. *Agronomski Glasnik*, 78, 3–16.
- Spanic, V., Jukic, G., Zoric, M., Varnica, I. (2024): Some Agronomic Properties of Winter Wheat Genotypes Grown at Different Locations in Croatia. *Agriculture*, 14(1), 4. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010004>
- Sreenivasulu, N., Schnurbusch, T. (2012): A genetic playground for enhancing grain number in cereals. *Trends in Plant Science*, 17(2), 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.11.003>
- SRPS EN ISO 20483:2014. Жита и махуњаче – Одређивање садржаја азота и израчунавање садржаја сирових протеина – Метода по Кјелдалу [Cereals and pulses

- Determination of the nitrogen content and calculation of the crude protein content – Kjeldahl method]. Beograd: Zavod za standardizaciju Srbije.
- Subedi, M., Ghimire, B., Bagwell, J. W., Buck, J. W., Mergoum, M. (2023): Wheat end-use quality: State of the art, genetics, genomics-assisted improvement, future challenges, and opportunities. *Frontiers in Genetics*, 13, 1032601. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1032601>
- Shamloo, M., Babawale, E.A., Furtado, A., et al. (2017): Effects of genotype and temperature on accumulation of plant secondary metabolites in Canadian and Australian wheat grown under controlled environments. *Scientific Reports*, 7, 9133. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09681-5>
- Shamsabadi, E. E., Sabouri, H., Soughi, H., Sajadi, S. J. (2020): Genetic analysis of spike traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genetika*, 52(2), 559–569. <https://doi.org/10.2298/GENSR2002559S>
- Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., Zheng, B. (2019): Response of Phenylpropanoid Pathway and the Role of Polyphenols in Plants under Abiotic Stress. *Molecules*, 24(13), 2452. <https://doi.org/10.3390/molecules24132452>
- Shewry, P.R., Hey, S.J. (2015): The Contribution of Wheat to Human Diet and Health. *Food Energy Security*, 4, 178-202.
- Shiferaw, B., Smale, M., Braun, H.J., Duveiller, E., Reynolds, M., Mauricho, G. (2013): Crops that Feed the World 10. Past Successes and Future Challenges to the Role Played by Wheat in Global Food Security. *Food Security*, 5, 291-317. <https://doi.org/10.1007/s12571-013-0263-y>
- Shokat, S., Großkinsky, D. K., Roitsch, T., Liu, F. (2020): Activities of leaf and spike carbohydrate-metabolic and antioxidant enzymes are linked with yield performance in three spring wheat genotypes grown under well-watered and drought conditions. *BMC Plant Biology*, 20, 400. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02581-3>
- Tadesse, W., Sanchez-Garcia, M., Assefa, S.G., Amri, A., Bishaw, Z., Ogbonnaya, F.C., Baum, M. (2019): Genetic Gains in Wheat Breeding and Its Role in Feeding the World. *Crop Breed Genet Genom.* 2019;1:e190005. <https://doi.org/10.20900/cbgg20190005>
- Taherian, M., Saeidnia, F., Hamid, R., Nazeri, S.M. (2024): Identification of High-Yielding and Stable Cultivars of Wheat under Different Sowing Dates: Comparison of AMMI and GGE-Biplot Analyses. *Heliyon*, 10, e39599. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39599>

- Terzić, D., Đekić, V., Milivojević, J., Branković, S., Perišić, V., Perišić, V., Đokić, D. (2018): Yield components and yield of winter wheat in different years of research. *Biologica Nyssana*, 9(2), 119-131.
- Terzić, D., Rajičić, V., Babić, V., Luković, K., Tupajić, I., Šević, B., Stojiljković, J. (2025). Evaluation of grain yield properties of wheat depending on long-term fertilization on vertisol soil. *Acta Agriculturae Serbica*, 30(59), 33–42. <https://doi.org/10.5937/AASer2559033T>
- Timić, J., Dražić, T., Miroslavljević, M., Jocković, B., Aćin, V., Mikić, S., Brbaklić, L. (2024): Wheat cultivars grain yield and quality traits variability under conditions of southern Pannonian plain. *Ratarstvo i povrtarstvo*, 61(3), 85–94. <https://doi.org/10.5937/ratpov61-50361>
- Tóth, V., Láng, L., Vida, G., Mikó, P., Rakszegi, M. (2022): Characterization of the Protein and Carbohydrate Related Quality Traits of a Large Set of Spelt Wheat Genotypes. *Foods*, 11(14), 2061. <https://doi.org/10.3390/foods11142061>
- Tripathi, A.; Tripathi, D.K.; Chauhan, D.K.; Kumar, N.; Singh, G.S. (2016): Paradigms of climate change impacts on some major food sources of the world: A review on current knowledge and future prospects. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 216, 356–373.
- Tyagi, M., Pandey, G.C. (2022): Physiology of heat and drought tolerance in wheat: An overview. *Journal of Cereal Research* 14(1), 13-25. <http://doi.org/10.25174/2582-2675/2022/122868>
- Ullah, I. M., Mahpara, S., Bibi, R., Shah, R. U., Ullah, R., Abbas, S., Ullah, M. I., Hassan, A. M., El-Shehawi, A. M., Brestic, M., Zivcak, M., Khan, M. I. (2021): Grain yield and correlated traits of bread wheat lines: Implications for yield improvement. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(10), 5714–5719. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.06.006>
- Urošević, D., Knežević, D., Đurić, N., Matković Stojšin, M., Kandić, V., Mićanović, D., Stojiljković, J., Zečević, V. (2023a): Assessing the Potential of Old and Modern Serbian Wheat Genotypes: Yield Components and Nutritional Profiles in a Comprehensive Study. *Agronomy*, 13(9), 2426. doi: [10.3390/agronomy13092426](https://doi.org/10.3390/agronomy13092426)
- Urošević, D., Knežević, D., Branković, G., Novoselskaya-Dragovich, A.Yu., Kudryavtsev, A.M., Matković Stojšin, M., Mićanović, D., Zečević, V. (2023b): Protein content and amino acid composition in seed of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genetika*, Vol 55, No.1, 301-318. <https://doi.org/10.2298/GENSR2301301U>
- Urošević, D., Knežević, D., Matković Stojšin, M., Laze, A., Branković, G., Stojiljković, J., Zečević, V. (2025): Variability of mass of spike among wheat varieties. In *Proceedings*

- of the XVI International Scientific Agricultural Symposium “Agrosym 2025” (pp. 277–284)
- Urošević, D., Knežević, D., Matković Stojšin, M., Živić, J., Mićanović, D., Kondić, D., Zečević, V. (2024): Variability of the thousand-seed weight in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agro-knowledge Journal*, 25(4), 289–303. <https://doi.org/10.7251/AGREN2404289U>
- USDA, Agricultural Research Service, National Plant Germplasm System. 2025. Germplasm Resources Information Network (GRIN Taxonomy). National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland. URL: <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxon/taxonomydetail?id=40544> (приступљено 25. априла 2025).
- Farooq, M., Hussain, M., Siddique, K.H.M. (2014): Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33(4), 331–349. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.875291>
- Farhad, M., Kumar, U., Tomar, V., Bhati, P. K., Krishnan, J. N., Kishowar-E-Mustarin, Brestic, M., Hossain, A. (2023): Heat stress in wheat: A global challenge to feed billions in the current era of the changing climate. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, Article 1203721. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1203721>
- Ferrante, A., Savin, R., Slafer, G.A. (2020): Floret Development and Spike Fertility in Wheat: Differences between Cultivars of Contrasting Yield Potential and Their Sensitivity to Photoperiod and Soil N. *Field Crops Research*, 256, 107908. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107908>
- Filipović, J., Košutić, M., Bodroža-Solarov, M., Vučurović, V., Filipović, V., Pezo, L. (2018): Wheat variety grading by score analysis application. *Journal on Processing and Energy in Agriculture* 22 (2), 85–89.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2025): FAOSTAT statistics database. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>, приступљено 15. новембра 2025.
- Fox, J.; Weisberg, S. (2019): *An R Companion to Applied Regression*, 3rd ed.; Sage: Thousand Oaks, CA, USA. Available online: <https://www.john-fox.ca/Companion/> (приступљено 20. јула 2025).
- Frantová, N., Rábek, M., Elzner, P., Středa, T., Jovanović, I., Holková, L., Martinek, P., Smutná, P., Prášil, I.T. (2022): Different Drought Tolerance Strategy of Wheat Varieties in Spike Architecture. *Agronomy*, 12(10), 2328.

- Hall, A.J., Richards, R.A. (2013). Prognosis for genetic improvement of yield potential and water-limited yield of major grain crops. *Field Crops Research*, 143, 18–33. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.05.014>
- Хаџивуковић, С. (1991): Статистички методи с применом у пољопривредним и биолошким истраживањима. Институт за економику пољопривреде и социологију села, Пољопривредни факултет, Нови Сад, 584.
- Hadži-Tašković Šukalović, V., Dodig, D., Žilić, S., Basić, Z., Kandić, V., Delić, N., Miricescu, M. (2013): Genotypic and environmental variation of bread and durum wheat proteins and antioxidant compounds. *Romanian Agricultural Research*, 30, 125–134.
- Hedden, P. (2003): The genes of the green revolution. *Trends in Genetics*, 19(1), 5–9. [https://doi.org/10.1016/S0168-9525\(02\)00009-4](https://doi.org/10.1016/S0168-9525(02)00009-4)
- Hernández-Espinosa, N., Mondal, S., Autrique, E., Gonzalez-Santoyo, H., Crossa, J., Huerta-Espino, J., Singh, R. P., Guzmán, C. (2018). Milling, processing and end-use quality traits of CIMMYT spring bread wheat germplasm under drought and heat stress. *Field Crops Research*, 215, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.014>
- Hongyu K., Peña M.G., Araújo L.B., Dias C.T.S. (2014): Statistical analysis of yield trials by AMMI analysis of genotype × environment interaction. *Biometrical Letters* 51(2): 89-102.
- <https://nsseme.com/proizvodi/strna-zita/psenica/> (приступљено 25. јануара 2025.)
- Huang, S., Sirikhachornkit, Su, X., Faris, J., Gill, B., Haselkorn, R., Gornicki, P. (2002): Genes encoding plastid acetyl-CoA carboxylase and 3-phosphoglycerate kinase of the *Triticum - Aegilops* complex and the evolutionary history of polyploid wheat. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(12), 8133-8138.
- Huertas-García, A. B., Tabbita, F., Alvarez, J. B., Sillero, J. C., Ibba, M. I., Rakszegi, M., Guzmán, C. (2023): Genetic variability for grain components related to nutritional quality in spelt and common wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(28), 10598–10606. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c02365>
- Hura, T., Hura, K., Ostrowska, A., Grzesiak, M., Dziurka, K. (2013): The cell wall-bound phenolics as a biochemical indicator of soil drought resistance in winter triticale. *Plant, Soil and Environment*, 59(5), 189–195. <https://doi.org/10.17221/665/2012-PSE>
- Hyles, J., Bloomfield, M. T., Hunt, J. R., Trethowan, R. M., Travaskis, B. (2020): Phenology and related traits for wheat adaptation. *Heredity*, 125: 417-430. <https://doi.org/10.1038/s41437-020-0320-1>

- Cao, S., Xu, D., Hanif, M., Xia, X., He, Z. (2020): Genetic architecture underpinning yield component traits in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 133(6), 1811–1823.
- Caverzan, A., Casassola, A., Brammer, S.P. (2016): Antioxidant Responses of Wheat Plants under Stress. *Genetics and Molecular Biology*, 39(1), 1–6. <https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-2015-0109>
- Crouch, J.H., Payne, T.S., Dreisigacker, S., Wu, H., Braun, H.-J. (2009): Improved Discovery and Utilization of New Traits for Breeding. In: Dixon, J., Braun, H. J., Kosina, P., Crouch, J. (Eds.), *Wheat Facts and Futures*, CIMMYT D. F., Mexico, 42-51.
- Curtis, B.C. (2002): Wheat in the World. In: Curtis, B.C., Rajaram, S. and Macpherson, H.G., Eds., *Bread Wheat Improvement and Production*, Plant Production and Protection Series 30, FAO, Roma, 1-18.
- Chand, R. (2009): Challenges to ensuring food security through wheat. *CABI Reviews*, 2009(065), 1–13. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20094065>
- Chandrakanth, N., Moorthy, S. M., Rekha, M., Sivaprasad, V. (2016): Stability and path analysis for yield and related traits in silkworm (*Bombyx mori* L.) reared under stress conditions. *Genetika*, 48(1), 271–284. <https://doi.org/10.2298/GENSR1601271C>
- Chaudhry, S., Sidhu, G. P. S. (2022): Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: A comprehensive review. *Plant Cell Reports*, 41, 1–31. <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02759-5>
- Chrpová, J., Grausgruber, H., Weyermann, V., Buerstmayr, M., Palicová, J., Kozová, J., Trávníčková, M., Nguyen, Q. T., Moreno Amores, J. E., Buerstmayr, H., et al. (2021): Resistance of winter spelt wheat [*Triticum aestivum* subsp. *spelta* (L.) Thell.] to Fusarium head blight. *Frontiers in Plant Science*, 12, 661484. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.661484>
- Chugh, V., Kaur, N., Gupta, A. K. (2013): Differential antioxidative response of tolerant and sensitive maize (*Zea mays* L.) genotypes to drought stress at reproductive stage. *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*, 50, 150–158.
- Qaseem, M.F., Qureshi, R., Shaheen, H. (2019): Effects of Pre-Anthesis Drought, Heat and Their Combination on the Growth, Yield and Physiology of Diverse Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes Varying in Sensitivity to Heat and Drought Stress. *Scientific Reports*, 9(1), 6955. doi: 10.1038/s41598-019-43477-z
- Quintero, A., Molero, G., Reynolds, M.P., Calderini, D.F. (2018): Trade-off between grain weight and grain number in wheat depends on G×E interaction: a case study of an elite

- CIMMYT panel (CIMCOG). *European Journal of Agronomy* 92, 17–29.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.007>
- Wang, K., Fu, B. X. (2020): Inter-Relationships between Test Weight, Thousand Kernel Weight, Kernel Size Distribution and Their Effects on Durum Wheat Milling, Semolina Composition and Pasta Processing Quality. *Foods*, 9(9), 1308.
<https://doi.org/10.3390/foods9091308>
- Wang, X., Hou, L., Lu, Y., Wu, B., Gong, X., Liu, M., Wang, J., Sun, Q., Vierling, E., Xu, S. (2018): Metabolic adaptation of wheat grains contributes to a stable filling rate under heat stress. PRIDE Repository. <https://doi.org/10.6019/PXD010340>
- Wang, X., Vignjevic, M., Jiang, D., Jacobsen, S., Wollenweber, B. (2014): Improved tolerance to drought stress after anthesis due to priming before anthesis in wheat (*Triticum aestivum* L.) var. Vinjett. *Journal of Experimental Botany*, 65(22), 6441–6456.
<https://doi.org/10.1093/jxb/eru362>
- Warnes, G., Bolker, B., Bonebakker, L., Gentleman, R., Huber, W., Liaw, A., Lumley, T., Maechler, M., Magnusson, A., Moeller, S., Schwartz, M., Venables, B., Galili, T. (2024): gplots: Various R programming tools for plotting data (R package version 3.2.0). CRAN. <https://CRAN.R-project.org/package=gplots> (приступљено 25. августа 2025.)
- Wei, T., Simko, V. (2024): corrplot: Visualization of a correlation matrix (R package version 0.95). <https://github.com/taiyun/corrplot> (приступљено 25. септембра 2025.)
- Wickham, H. (2016): ggplot2: Elegant graphics for data analysis. Springer-Verlag New York.
- Wodebo, K.Y., Tolemariam, T., Demeke, S., Garedew, W., Tesfaye, T., Zeleke, M., Gemiyu, D., Bedeke, W., Wamatu, J., Sharma, M. (2023): AMMI and GGE Biplot Analyses for Mega-Environment Identification and Selection of Some High-Yielding Oat (*Avena sativa* L.) Genotypes for Multiple Environments. *Plants*, 12(17), 3064.
<https://doi.org/10.3390/plants12173064>
- Würschum, T., Langer, S.M., Longin, C.F.H., Tucker, M.R., Leiser, W.L. (2017): A modern Green Revolution gene for reduced height in wheat. *The Plant Journal* 92, 892–903.
- Xie, Q., Sparkes, D.L. (2021): Dissecting the trade-off of grain number and size in wheat. *Planta*, 254, 3. <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03658-5>
- Xu, Z., Lai, X., Ren, Y., Yang, H., Wang, H., Wang, C., Xia, J., Wang, Z., Yang, Z., Geng, H., Shi, X., Zhang, Y. (2023): Impact of Drought Stress on Yield-Related Agronomic Traits of Different Genotypes in Spring Wheat. *Agronomy*, 13(12), 2968.
<https://doi.org/10.3390/agronomy13122968>

- Yagdi, K., Sozen, E. (2009): Heritability, Variance Components and Correlations of Yield and Quality Traits in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.). Pakistan Journal of Botany, 41(2), 753-759.
- Yan, W. (2001): GGE biplot—A Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. Agronomy Journal, 93, 1111–1118.
- Yan, W. (2024): Two types of biplots to integrate multi-trial and multi-trait information for genotype selection. Crop Science, 64, 1608–1618. <https://doi.org/10.1002/csc2.21231>
- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., Szlavnic, Z. (2000): Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science, 40, 597–605. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>
- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., Szlavnic, Z. (2007): Cultivar Evaluation and Mega-Environment Investigation Based on the GGE Biplot. Crop Science, 47, 27–40. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.03.0195>
- Yilmaz, V.A., Brandolini, A., Hidalgo, A. (2015): Phenolic acids and antioxidant activity of wild, feral and domesticated diploid wheats. Journal of Cereal Science, 64, 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.05.005>
- Yue, H., Wang, Y., Chen, Z., Zhu, J., Behera, P. P., Liu, P., Yang, H., Wei, J., Bu, J., Jiang, X., et al. (2025): Assessing the role of genotype by environment interaction of winter wheat cultivars using envirotyping techniques in North China. Frontiers in Plant Science, 16, 1538661. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1538661>

10. ПРИЛОЗИ

Прилог 1. Средње вредности и првих пет главних интеракцијских компоненти генотипова и агроколошких средина на основу АММИ анализе висине биљке

Генотип	\bar{x} (cm)	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
КГ-4/1	93,3	-0,270	-0,967	-1,697	1,044	0,317
КГ-9/1	89,5	-0,206	-0,047	-0,428	0,366	-0,452
КГ-11/1	93,0	-0,609	0,423	-0,803	-1,710	0,351
КГ-16/1	92,8	0,696	0,824	0,402	-0,870	0,171
КГ-21/1	92,4	0,391	1,803	-0,873	-0,027	0,066
КГ-30/1	98,3	1,575	-0,321	-0,274	0,379	0,031
КГ-33/1	89,8	-3,844	0,645	1,289	0,828	0,163
КГ-40/1	92,9	0,640	2,287	0,076	0,488	-0,786
КГ-41/1	90,2	1,397	-0,490	1,766	-0,525	-0,081
КГ-43/1	99,6	-0,517	0,049	-0,444	-0,324	0,653
НС 40С	89,5	-0,955	-1,630	0,553	-1,179	-0,452
Ренесанса	93,7	1,160	-0,695	1,430	1,025	0,101
Победа	92,8	0,869	0,087	0,461	0,306	0,872
КГ-54-7/3-5	103,4	-0,444	-0,611	-0,548	-0,296	-0,708
КГ-54-7/3-2	105,4	0,118	-1,355	-0,912	0,495	-0,246
Агроколошке средине	\bar{x} (cm)	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
Панчево 2022/2023	94,4	0,860	1,001	1,067	1,852	-0,936
Кргујевац 2022/2023	106,8	3,713	-1,247	-1,244	-0,700	-0,057
Крушевац 2022/2023	105,6	0,265	1,036	0,418	0,829	1,443
Панчево 2023/2024	88,5	-0,537	0,427	2,223	-1,997	-0,165
Крагујевац 2023/2024	79,0	-2,378	-3,042	-0,102	0,567	0,008
Крушевац 2023/2024	92,4	-1,923	1,825	-2,361	-0,552	-0,293

Прилог 2. Средње вредности и првих пет главних интеракцијских компоненти генотипова и агроколошких средина на основу АММИ анализе дужине класа

Генотип	\bar{x} (cm)	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
КГ-4/1	8,5	0,259	-0,310	-0,028	0,017	0,013
КГ-9/1	9,0	-0,059	-0,637	-0,288	-0,008	0,078
КГ-11/1	8,5	0,029	0,063	0,149	0,284	0,002
КГ-16/1	8,5	0,076	-0,135	0,131	0,098	0,331
КГ-21/1	9,2	-0,016	0,212	-0,183	-0,150	0,095
КГ-30/1	8,8	0,150	0,404	0,321	0,087	0,189
КГ-33/1	7,1	1,214	0,321	0,065	0,099	-0,358
КГ-40/1	8,8	-0,412	-0,196	0,627	-0,330	-0,447
КГ-41/1	8,7	-0,792	-0,072	-0,016	0,071	-0,197
КГ-43/1	9,1	-0,036	0,234	0,107	-0,016	-0,042
НС 40С	7,6	0,018	-0,493	-0,337	0,488	-0,170
Ренесанса	9,3	-0,160	-0,035	-0,299	-0,182	-0,198
Победа	8,7	0,355	-0,491	0,207	-0,390	0,436
КГ-54-7/3-5	13,2	-0,534	0,548	0,142	0,323	0,264
КГ-54-7/3-2	13,8	-0,094	0,586	-0,599	-0,393	0,005
Агроколошке средине	\bar{x} (cm)	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
Панчево 2022/2023	9,7	-0,594	-1,149	-0,171	-0,032	0,194
Кргујевац 2022/2023	10,5	-1,062	0,728	-0,054	-0,401	-0,027
Крушевац 2022/2023	8,9	1,057	0,014	0,133	-0,556	0,275
Панчево 2023/2024	8,9	0,091	-0,151	0,734	0,153	-0,568
Крагујевац 2023/2024	8,8	0,457	0,149	-0,820	0,216	-0,391
Крушевац 2023/2024	8,7	0,051	0,409	0,179	0,620	0,516

Прилог 3. Средње вредности и првих пет главних интеракцијских компоненти генотипова и агроеколошких средина на основу АММИ анализе масе класа

Генотип	\bar{x} (g)	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
КГ-4/1	2,30	-0,242	-0,091	-0,098	0,143	0,195
КГ-9/1	2,35	-0,018	-0,214	-0,107	-0,193	0,078
КГ-11/1	2,28	-0,079	-0,064	-0,401	0,072	0,085
КГ-16/1	2,31	0,037	0,088	0,196	-0,363	0,006
КГ-21/1	2,32	0,060	-0,163	0,086	0,095	-0,082
КГ-30/1	2,25	0,040	0,081	-0,387	-0,087	-0,056
КГ-33/1	2,19	-0,627	0,246	-0,027	-0,131	-0,186
КГ-40/1	2,28	0,543	-0,260	-0,042	-0,054	-0,218
КГ-41/1	2,14	-0,202	0,175	0,138	0,049	-0,145
КГ-43/1	2,34	0,040	0,275	-0,113	0,045	0,071
НС 40С	1,98	-0,372	-0,226	0,316	0,030	0,179
Ренесанса	2,43	0,020	-0,094	0,016	0,333	-0,072
Победа	2,43	0,019	-0,350	0,143	-0,028	-0,060
КГ-54-7/3-5	2,23	0,304	0,392	0,206	0,201	-0,021
КГ-54-7/3-2	2,48	0,476	0,203	0,075	-0,111	0,226
Агроеколошке средине	\bar{x} (cm)	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
Панчево 2022/2023	2,07	0,309	-0,675	0,130	-0,073	-0,139
Кргујевац 2022/2023	2,46	0,664	0,355	-0,339	0,027	-0,167
Крушевац 2022/2023	1,81	0,184	0,176	0,229	-0,358	0,304
Панчево 2023/2024	2,46	-0,064	-0,106	-0,108	0,453	0,272
Крагујевац 2023/2024	2,63	-0,758	-0,041	-0,391	-0,198	-0,059
Крушевац 2023/2024	2,28	-0,334	0,292	0,480	0,150	-0,211

Прилог 4. Средње вредности и првих пет главних интеракцијских компоненти генотипова и агроеколошких средина на основу АММИ анализе масе зрна по класу

Генотип	\bar{x} (g)	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
КГ-4/1	1,83	-0,247	-0,075	-0,028	0,025	0,113
КГ-9/1	1,79	-0,090	-0,159	-0,095	0,175	-0,010
КГ-11/1	1,80	0,013	-0,397	-0,050	0,059	0,103
КГ-16/1	1,79	0,060	0,128	-0,029	0,247	-0,247
КГ-21/1	1,76	0,108	0,158	-0,206	-0,121	-0,016
КГ-30/1	1,73	0,131	-0,366	0,178	0,050	0,012
КГ-33/1	1,42	-0,566	0,082	0,010	0,067	-0,090
КГ-40/1	1,78	0,517	-0,069	-0,219	0,001	-0,156
КГ-41/1	1,59	-0,180	0,034	0,241	-0,150	-0,207
КГ-43/1	1,80	0,011	-0,057	0,312	0,069	0,096
НС 40С	1,54	-0,392	0,213	-0,146	0,006	0,121
Ренесанса	1,92	0,040	-0,053	0,062	-0,430	0,024
Победа	1,90	-0,002	-0,009	-0,345	-0,125	0,009
КГ-54-7/3-5	1,57	0,273	0,282	0,352	-0,008	0,025
КГ-54-7/3-2	1,75	0,323	0,287	-0,036	0,136	0,223
Агроеколошке средине	\bar{x} (cm)	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
Панчево 2022/2023	1,57	0,296	-0,030	-0,612	-0,126	-0,090
Кргујевац 2022/2023	1,80	0,644	-0,302	0,369	-0,010	-0,100
Крушевац 2022/2023	1,27	0,107	0,329	-0,016	0,468	0,093
Панчево 2023/2024	1,92	-0,058	0,070	0,087	-0,270	0,378
Крагујевац 2023/2024	2,05	-0,653	-0,471	-0,026	0,134	-0,027
Крушевац 2023/2024	1,77	-0,336	0,403	0,199	-0,195	-0,254

Прилог 5. Средње вредности и првих пет главних интеракцијских компоненти генотипова и агроеколошких средина на основу АММИ анализе броја зрна по класу

Генотип	\bar{x}	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
КГ-4/1	37,8	-1,160	-0,529	-0,050	0,177	1,130
КГ-9/1	39,4	-0,050	-0,572	0,112	0,446	1,070
КГ-11/1	45,9	-0,760	-0,072	-0,607	-0,573	0,005
КГ-16/1	36	-0,330	-0,231	-1,460	-0,275	-0,433
КГ-21/1	40,2	-0,080	-0,071	-0,298	1,070	-0,280
КГ-30/1	39,3	1,510	0,216	0,112	-0,643	-0,154
КГ-33/1	34,4	-1,560	-0,536	0,418	-1,100	-0,034
КГ-40/1	43,7	1,720	-0,268	-1,080	-0,552	0,138
КГ-41/1	42,7	1,380	0,511	0,666	0,908	0,271
КГ-43/1	39,3	0,197	1,090	-0,653	-0,270	0,104
НС 40С	41,5	-0,338	-1,970	0,890	0,319	-0,936
Ренесанса	39,8	0,707	0,574	1,880	-0,860	0,104
Победа	39,6	0,920	-0,778	-0,208	0,494	-0,316
КГ-54-7/3-5	42,1	-0,978	1,800	0,195	0,354	-0,725
КГ-54-7/3-2	40,8	-1,180	0,843	0,090	0,501	0,054
Агроеколошке средине	\bar{x} (cm)	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
Панчево 2022/2023	40,3	2,210	-2,070	0,223	0,677	-0,508
Кргујевац 2022/2023	46,8	2,200	1,790	-0,405	-1,140	0,124
Крушевац 2022/2023	34,5	-1,130	-0,195	-2,520	0,501	0,317
Панчево 2023/2024	38,4	-0,304	0,982	1,330	1,330	1,060
Крагујевац 2023/2024	43,0	-1,460	-1,410	0,797	-1,500	0,584
Крушевац 2023/2024	38,1	-1,510	0,904	0,576	0,133	-1,580

Прилог 6. Средње вредности и првих пет главних интеракцијских компоненти генотипова и агроеколошких средина на основу АММИ анализе приноса зрна

Генотип	\bar{x} (t/ha)	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
КГ-4/1	6,48	-0,415	0,279	-0,548	-0,621	-0,043
КГ-9/1	5,85	-0,335	-0,062	-0,552	0,624	-0,123
КГ-11/1	6,41	0,445	0,264	-0,135	0,005	0,162
КГ-16/1	5,64	0,244	0,824	0,386	-0,113	-0,137
КГ-21/1	5,93	0,346	0,278	-0,103	-0,191	-0,561
КГ-30/1	5,62	0,343	0,393	-0,454	-0,041	0,396
КГ-33/1	4,72	-0,113	0,286	0,427	-0,092	0,141
КГ-40/1	6,25	0,862	0,102	0,002	0,313	-0,231
КГ-41/1	4,68	-0,886	0,071	0,837	0,163	-0,268
КГ-43/1	5,46	-0,385	-0,287	-0,172	-0,340	-0,357
НС 40С	6,30	-0,595	0,023	0,153	0,208	0,420
Ренесанса	6,28	-0,652	-0,275	-0,500	0,244	0,088
Победа	6,31	0,510	-0,194	0,229	0,466	0,151
КГ-54-7/3-5	5,11	0,208	-0,437	0,311	-0,460	0,574
КГ-54-7/3-2	5,53	0,421	-1,266	0,118	-0,165	-0,212
Агроеколошке средине	\bar{x} (cm)	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
Панчево 2022/2023	5,74	0,005	0,844	-0,147	0,462	-0,805
Кргујевац 2022/2023	5,51	1,517	0,227	-0,221	0,131	0,483
Крушевац 2022/2023	5,24	0,145	-1,375	0,548	0,268	-0,276
Панчево 2023/2024	6,44	-0,742	0,619	0,943	0,065	0,501
Крагујевац 2023/2024	4,84	-0,925	-0,335	-1,034	0,207	0,344
Крушевац 2023/2024	6,87	0,000	0,019	-0,090	-1,133	-0,247

Прилог 7. Средње вредности и првих пет главних интеракцијских компоненти генотипова и агроколошких средина на основу АММИ анализе масе 1000 зрна

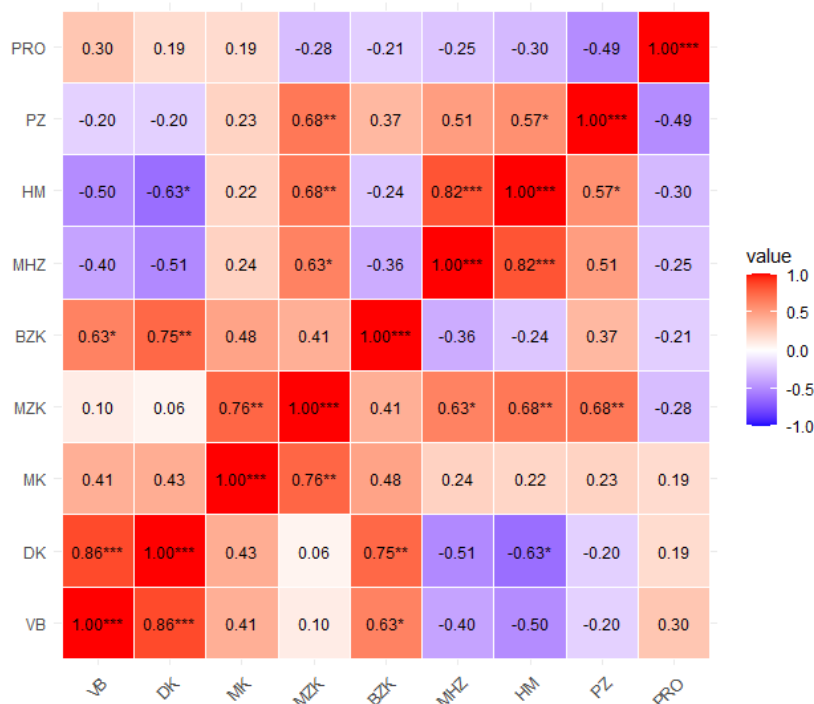
Генотип	\bar{x} (g)	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
КГ-4/1	43,8	0,587	0,186	-0,304	1,070	0,022
КГ-9/1	39,8	-0,234	0,136	0,849	0,839	0,077
КГ-11/1	42,4	0,182	-0,871	-1,070	0,070	-0,052
КГ-16/1	42,4	0,254	0,087	-0,234	-0,094	0,195
КГ-21/1	43,7	-0,188	1,050	-1,370	-0,613	-1,050
КГ-30/1	41,3	0,149	-0,543	0,009	0,779	-0,297
КГ-33/1	38,1	1,650	-0,254	-1,070	0,086	1,160
КГ-40/1	38,4	-0,659	-0,344	0,476	0,290	-0,361
КГ-41/1	40,5	1,760	-1,720	0,864	-1,230	-0,260
КГ-43/1	41,4	0,177	0,657	-0,014	-0,497	-0,502
НС 40С	39,2	0,238	1,410	0,644	-0,717	0,812
Ренесанса	43,5	-0,280	-0,353	0,437	0,457	-0,733
Победа	42,3	1,120	1,200	0,768	0,290	0,076
КГ-54-7/3-5	36,2	-2,540	-0,768	-0,204	-0,073	0,771
КГ-54-7/3-2	36,8	-2,220	0,128	0,216	-0,654	0,142
Агроколошке средине	\bar{x} (cm)	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
Панчево 2022/2023	32,0	-0,658	2,400	0,954	0,549	0,526
Кргујевац 2022/2023	38,2	-2,120	-0,286	-1,240	1,070	-0,970
Крушевац 2022/2023	33,7	-2,070	-1,280	1,330	-1,110	0,001
Панчево 2023/2024	48,5	0,868	0,814	-1,470	-1,600	0,063
Крагујевац 2023/2024	47,3	2,930	-0,346	0,846	0,305	-1,150
Крушевац 2023/2024	44,3	1,050	-1,300	-0,422	0,786	1,520

Прилог 8. Средње вредности и првих пет главних интеракцијских компоненти генотипова и агроколошких средина на основу АММИ анализе хектолитарске масе

Генотип	\bar{x} (kg/hl)	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
КГ-4/1	76,8	-1,070	-1,020	0,336	-0,303	-0,353
КГ-9/1	75,4	-0,746	0,693	-0,228	-0,113	0,486
КГ-11/1	75,2	-0,422	-0,438	-0,642	-0,113	0,299
КГ-16/1	76,6	-0,887	-0,765	0,466	-0,039	0,119
КГ-21/1	74,1	-0,677	-0,277	0,143	0,782	-0,395
КГ-30/1	74,2	-0,493	0,374	0,134	0,223	-0,200
КГ-33/1	70,4	2,250	1,100	-1,080	-0,363	-0,289
КГ-40/1	74,9	-1,040	1,360	-0,161	0,501	-0,102
КГ-41/1	72,2	1,350	0,991	1,040	0,209	0,268
КГ-43/1	75,3	-0,111	-0,909	0,425	-0,483	0,149
НС 40С	71,5	0,934	-1,310	-1,740	0,308	0,101
Ренесанса	75,2	-0,906	0,245	-0,293	0,126	0,044
Победа	75	-1,180	0,839	-0,094	-0,633	-0,005
КГ-54-7/3-5	67,6	1,860	-0,669	0,989	0,486	0,178
КГ-54-7/3-2	67,8	1,140	-0,208	0,700	-0,587	-0,299
Агроколошке средине	\bar{x} (cm)	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
Панчево 2022/2023	75,1	-1,130	-0,106	-2,370	-0,221	0,181
Кргујевац 2022/2023	71,6	-3,390	0,836	1,070	0,150	-0,116
Крушевац 2022/2023	69	0,123	-2,840	0,656	-0,006	0,047
Панчево 2023/2024	77,3	1,540	0,587	-0,151	1,310	-0,007
Крагујевац 2023/2024	74,4	1,400	1,000	0,809	-0,612	0,628
Крушевац 2023/2024	73,6	1,450	0,515	-0,019	-0,616	-0,733

Прилог 9. Средње вредности и првих пет главних интеракцијских компоненти генотипова и агроеколошких средина на основу АММИ анализе садржаја протеина

Генотип	\bar{x} (%)	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
КГ-4/1	12,05	-0,251	-0,396	-0,222	-0,092	-0,200
КГ-9/1	11,87	-0,314	-0,489	-0,564	-0,109	-0,144
КГ-11/1	11,85	-0,524	-0,011	-0,347	0,174	0,304
КГ-16/1	11,94	-0,667	-0,336	-0,166	-0,418	0,177
КГ-21/1	12,77	-0,338	0,541	0,283	-0,250	-0,574
КГ-30/1	11,84	1,060	0,270	-0,134	-0,209	0,304
КГ-33/1	13,05	0,164	-0,555	0,017	0,043	-0,304
КГ-40/1	12,29	0,114	-0,163	0,318	0,961	-0,369
КГ-41/1	11,92	0,867	-0,443	-0,305	-0,073	0,090
КГ-43/1	12,89	0,223	0,624	-0,573	0,216	-0,102
НС 40С	11,5	0,094	0,613	0,117	-0,547	-0,320
Ренесанса	11,82	-0,338	0,527	0,141	0,239	0,329
Победа	11,95	-0,248	0,328	-0,027	0,317	0,501
КГ-54-7/3-5	12,46	-0,009	-0,332	0,868	-0,242	0,457
КГ-54-7/3-2	12,39	0,172	-0,179	0,592	-0,008	-0,149
Агроеколошке средине	\bar{x} (cm)	IPCA ₁	IPCA ₂	IPCA ₃	IPCA ₄	IPCA ₅
Панчево 2022/2023	13,79	-1,250	0,165	-0,408	0,465	0,463
Кргујевац 2022/2023	12,99	-0,616	-0,009	-0,092	-0,714	-0,815
Крушевац 2022/2023	11,78	0,026	-0,758	0,946	-0,348	0,497
Панчево 2023/2024	11,78	0,382	1,010	0,712	0,512	-0,267
Крагујевац 2023/2024	11,86	0,637	-0,910	-0,463	0,639	-0,352
Крушевац 2023/2024	10,85	0,820	0,507	-0,695	-0,554	0,474

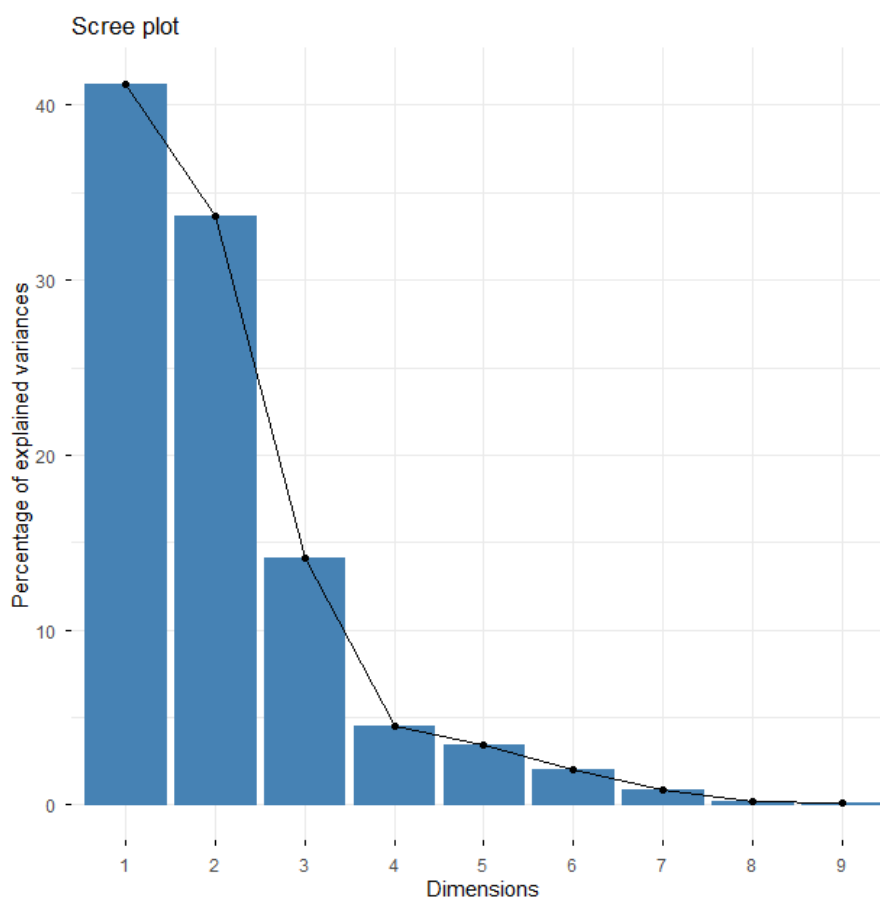


Легенда: VB – висина биљке; DK – дужина класа; MK – маса класа; MZK – маса зрна по класу; BZK – број зрна по класу; MHZ – маса 1000 зрна; HM – хектолитарска маса; PZ – принос зрна; PRO – садржај протеина; * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Прилог 10. Корелациона анализа морфолошких, продуктивних и особина квалитета

Прилог 11. Својствене вредности (eigenvalue) и проценти објашњене варијансе за PCA димензије заснованих на анализи следећих особина: висина биљке, дужина класа, маса класа, маса зрна по класу, број зрна по класу, маса 1000 зрна, хектолитарска маса, садржај протеина и принос зрна

PCA димензије	Својствене вредности (eigenvalue)	Процент варијансе (%)	Кумулативни процент варијансе (%)
Dim.1	3,707	41,19	41,19
Dim.2	3,026	33,62	74,81
Dim.3	1,272	14,13	88,94
Dim.4	0,404	4,49	93,43
Dim.5	0,307	3,41	96,84
Dim.6	0,182	2,02	98,86
Dim.7	0,076	0,84	99,70
Dim.8	0,017	0,19	99,89
Dim.9	0,010	0,11	100,00



Прилог 12. Удео објашњене варијансе по PCA димензијама (Scree plot); Укључене особине: висина биљке, дужина класа, маса класа, маса зрна по класу, број зрна по класу, маса 1000 зрна, хектолитарска маса, садржај протеина и принос зрна

Прилог 13. Анализа главних компоненти (РСА) која приказује учитавања (loadings), својствене вредности (eigenvalues) и проценте објашњене варијансе за све особине измерене током 2022/2023 сезоне на испитиваним локалитетима

Варијабла	2022/2023														
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13	PC14	PC15
VB	0,077	-0,446	0,036	-0,293	0,287	0,009	-0,096	-0,139	-0,453	-0,545	0,228	0,023	-0,192	-0,002	0,068
DK	0,219	-0,153	-0,214	-0,641	0,031	-0,098	0,040	-0,179	0,128	0,137	-0,57	-0,225	0,116	-0,013	-0,057
MK	0,376	-0,106	0,083	-0,161	-0,031	-0,009	-0,103	0,379	0,098	0,218	0,330	-0,24	0,129	-0,106	0,639
MZK	0,369	-0,029	0,238	-0,122	0,032	0,160	-0,194	0,219	-0,004	0,066	0,269	-0,071	0,328	-0,033	-0,700
BZK	0,377	-0,069	0,014	-0,100	-0,082	0,389	0,032	0,110	0,134	0,083	-0,141	0,707	-0,352	0,036	0,049
MHZ	0,245	-0,244	0,308	0,188	0,151	-0,429	-0,07	-0,473	0,521	0,029	0,135	0,056	-0,136	-0,041	-0,025
HM	0,144	0,258	0,491	0,187	0,079	0,196	-0,503	-0,111	-0,189	-0,117	-0,468	-0,15	-0,007	-0,061	0,178
PRO	0,199	0,307	-0,169	-0,113	-0,354	-0,641	-0,327	0,060	-0,306	-0,001	0,052	0,236	-0,136	-0,064	-0,061
PZ	0,139	0,102	0,551	-0,119	-0,322	-0,092	0,663	-0,124	-0,285	-0,001	-0,015	-0,02	0,045	0,026	0,037
DPPH_I	-0,34	-0,223	0,210	-0,081	0,078	-0,116	-0,004	0,197	-0,033	0,149	-0,122	0,216	0,043	-0,798	-0,042
DPPH_II	0,197	0,283	0,002	0,096	0,675	-0,302	0,301	0,414	0,015	-0,133	-0,186	0,048	-0,06	0,053	-0,036
DPPH_III	-0,294	0,177	0,277	-0,376	-0,078	0,012	-0,092	0,249	0,281	-0,049	0,110	-0,269	-0,627	0,103	-0,135
TPC_I	-0,136	-0,449	0,162	0,134	0,104	-0,173	-0,102	0,168	-0,327	0,567	-0,141	0,010	-0,142	0,428	-0,063
TPC_II	-0,104	0,410	0,023	-0,303	0,414	0,128	-0,045	-0,42	-0,185	0,450	0,316	0,141	0,003	-0,037	0,072
TPC_III	-0,342	0,018	0,270	-0,296	0,01	-0,145	-0,155	0,117	0,217	-0,21	-0,012	0,404	0,494	0,375	0,157
Eigenvalues	5,980	3,597	1,788	1,209	0,736	0,483	0,430	0,261	0,161	0,114	0,088	0,058	0,051	0,022	0,021
Варијанса (%)	39,87	23,9	11,92	8,06	4,91	3,22	2,87	1,74	1,07	0,76	0,59	0,39	0,34	0,15	0,14
Кумулативна варијација (%)	39,87	63,85	75,77	83,82	88,73	91,95	94,82	96,56	97,64	98,40	98,99	99,38	99,72	99,86	100,00

Легенда: ВБ – висина биљке, ДК – дужина класа, МК – маса класа, МЗК – маса зрна по класу, БЗК – број зрна по класу, МХЗ – маса 1000 зрна, ХМ – хектолитарска маса, ПРО – садржај протеина, ПЗ – принос зрна, DPPH – способност неутрализације слободног DPPH радикала, ТРС – садржај укупних фенола у три фенофазе: I – бокорење, II – пораст у стабло, III – цветање

Прилог 14. Анализа главних компоненти (PCA) која приказује учитавања (loadings), својствене вредности (eigenvalues) и проценте објашњене варијансе за све особине измерене током 2023/2024 сезоне на испитиваним локалитетима

Варијабла	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13	PC14	PC15
	2023/2024														
ВБ	0,361	-0,149	0,108	-0,091	-0,345	-0,045	0,120	-0,567	0,216	-0,102	0,011	0,012	0,387	-0,275	0,295
ДК	0,272	0,263	0,279	-0,163	-0,291	-0,248	0,159	0,047	0,430	0,332	-0,021	-0,107	-0,421	0,299	-0,067
МК	-0,313	0,316	-0,015	0,124	-0,373	0,039	-0,094	-0,104	0,189	-0,233	-0,238	-0,141	0,357	0,121	-0,564
МЗК	-0,338	0,217	-0,014	0,317	-0,364	0,012	-0,215	-0,043	-0,110	0,003	0,020	0,038	-0,040	0,337	0,655
БЗК	0,064	0,449	0,270	0,161	-0,115	-0,244	-0,216	0,069	-0,223	-0,093	0,016	0,212	-0,219	-0,646	-0,045
МХЗ	-0,379	-0,154	-0,111	0,234	-0,162	0,235	0,213	-0,039	0,217	0,335	0,251	-0,412	-0,197	-0,453	-0,016
ХМ	-0,334	-0,313	0,007	-0,043	-0,200	-0,101	0,212	0,099	0,133	0,241	-0,341	0,693	-0,002	-0,104	-0,036
ПРО	-0,213	0,140	0,109	-0,542	-0,261	0,228	0,401	-0,163	-0,492	-0,138	0,165	0,013	-0,167	0,054	-0,047
ПЗ	0,164	-0,377	0,012	0,395	-0,186	-0,141	-0,118	-0,414	-0,425	0,124	-0,028	-0,010	-0,299	0,190	-0,334
DPPH_I	0,081	-0,202	-0,201	-0,458	-0,361	0,169	-0,682	0,162	-0,016	0,187	0,003	-0,051	-0,044	-0,105	-0,040
DPPH_II	0,339	0,179	-0,193	0,139	-0,07	0,488	0,182	0,090	-0,148	0,102	-0,661	-0,103	-0,107	-0,095	0,105
DPPH_III	0,041	0,156	-0,521	-0,084	-0,105	-0,574	0,204	0,111	-0,287	0,322	-0,034	-0,181	0,278	-0,051	0,031
TPC_I	0,151	-0,374	0,105	0,135	-0,393	-0,142	0,204	0,573	-0,044	-0,472	0,024	-0,184	-0,018	-0,024	0,043
TPC_II	0,324	0,186	-0,223	0,245	-0,202	0,334	0,111	0,176	0,007	0,146	0,544	0,411	0,175	0,098	-0,168
TPC_III	0,001	0,063	-0,635	-0,048	-0,014	-0,099	0,024	-0,207	0,275	-0,467	0,025	0,151	-0,467	-0,043	0,010
Eigenvalues	4,389	3,209	2,142	1,461	1,091	0,685	0,571	0,428	0,234	0,21	0,185	0,154	0,13	0,072	0,041
Варијанса (%)	29,26	21,39	14,28	9,74	7,27	4,57	3,81	2,85	1,56	1,40	1,23	1,03	0,87	0,48	0,27
Кумулативна варијација (%)	29,26	50,65	64,93	74,67	81,94	86,50	90,31	93,16	94,72	96,12	97,35	98,38	99,25	99,73	100,00

Легенда: ВБ – висина биљке, ДК – дужина класа, МК – маса класа, МЗК – маса зрна по класу, БЗК – број зрна по класу, МХЗ – маса 1000 зрна, ХМ – хектолитарска маса, ПРО – садржај протеина, ПЗ – принос зрна, DPPH – способност неутрализације слободног DPPH радикала, TPC – садржај укупних фенола у три фенофазе: I – бокорење, II – пораст у стабло, III – цветање