



УНИВЕРЗИТЕТУ НОВОМ САДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ

Еколошки и агрономски изазови производње пшенице у АП Војводини



Еколошки и агрономски изазови производње пшенице у АП Војводини

Велимир Младенов, Борислав Бањац, Рада Шућур



РЕПУБЛИКА СРБИЈА
АУТОНОМНА ПОКРАЈИНА ВОЈВОДИНА
ПОКРАЈИНСКА ВЛАДА

Израда ове публикације је суфинансирана од стране
Покрајинског Секретаријата за пољопривреду, водопривреду и шумарство АПВ

др Велимир Младенов

др Борислав Бањац

MSc Рада Шућур

**ЕКОЛОШКИ И
АГРОНОМСКИ ИЗАЗОВИ
ПРОИЗВОДЊЕ ПШЕНИЦЕ
У АП ВОЈВОДИНИ**

Нови Сад, 2023.

Едиција монографска студија

Оснивач и издавач едиције

Универзитет у Новом Саду

Пољопривредни факултет

Трг Доситеја Обрадовића 8, Нови Сад, Србија

Година оснивања

1954.

Главни и одговорни уредник едиције

др Недељко Тица, редовни професор

Декан Пољопривредног факултета у Новом Саду

Чланови комисије за издавачку делатност

др Бранислав Влаховић, редовни професор – председник

др Дејан Беуковић, доцент – члан

др Ивана Давидов, ванредни професор – члан

др Ксенија Мачкић, ванредни професор – члан

Аутори:

др Велимир Младенов, ванредни професор

др Борислав Бањац, ванредни професор

мастер инж. Рада Шућур, асистент

Главни и одговорни уредник едиције

др Недељко Тица, редовни професор

Декан Пољопривредног факултета у Новом Саду

Уредник

др Ђорђе Крстић, редовни професор

Директор Департмана за ратарство и повртарство

Пољопривредни факултет у Новом Саду

Универзитет у Новом Саду

Рецензенти

др Срђан Шеремешкић, редовни професор

Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет

др Мирела Матковић Стојшин, научни сарадник

Истраживачко-развојни институт Тамиш д.о.о. Панчево

Издавач

Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет
Забрањено прештампавање и фотокопирање. Сва права задржава
издавач

Штампа: Одобрено од стране Комисије за издавачку делатност и
Наставно-научно веће Пољопривредног факултета у Новом Саду.

Тираж: 80 примерака

Место и година штампања: Нови Сад, 2023.

Израда ове публикације је суфинансирана од стране Покрајинског
Секретаријата за пољопривреду, водопривреду и шумарство АПВ



РЕПУБЛИКА СРБИЈА
АУТОНОМНА ПОКРАЈИНА ВОЈВОДИНА
ПОКРАЈИНСКА ВЛАДА

ПРЕДГОВОР

Пшеница је једна од пољопривредних култура која заузима највеће површине у свету. Као таква гаји се у разним агроколошким срединама, на различитим географским ширинама и на бројним типовима земљишта. Представља значајан и стратешки усев који подмирује дневне потребе за нутријентима већине светске популације. У овој монографској студији аутори су се трудили да представе, поред привредног значаја, значај особина од интереса за научно бављење овим пољопривредним усеvom. Анализоване су одвојене особине чијим деловањем може да дође до повећања особине од интереса за цео свет - приноса. Посебан осврт дат је управо на најважнију од свих особина и на оно због чега се у нашој земљи пшеница гаји на преко 600 000 хектара. Монографска студија има уобичајену структуру научних публикација при чему је у уводу истакнута важност усева у северној српској покрајини и пројекта под називом: “Еколошки и агрономски изазови производње пшенице у АП Војводини”. Аутори дугују захвалност Влади Војводине и Покрајинском секретаријату за пољопривреду, водопривреду и шумарство, што су препознали пројекат под истим називом и прихватили га за финансирање. Други део студије усмерен је на истраживање научне литературе, монографија, уџбеника, оригиналних и прегледних научних радова, где су аутори подробном анализом поставили заједничке темеље у истраживањима гајења пшенице и најчешће коришћених особина у оплемењивању пшенице, да би касније могли да се надовежу кроз сопствене резултате и прикажу на научно својствен начин анализе коришћења исте у различитим

агроеколошким условима. Једна од најважнијих наука у агрономској производњи, не само због предвиђања временске прогнозе, већ и због бројних каснијих анализа микроклиматског карактера, представља метеорологија. У свим својим научним публикацијама, аутори се у великој мери ослањају на значај и важност бројних метеоролошких параметара, па су одлучили да тако и овај пут посвете посебно поглавље метеоанализи у регионима од интереса за ову научну публикацију. У најобимнијем поглављу, резултатима и дискусији, кроз три сета података, у различитим агроеколошким условима, различитим годинама и кроз различите типове земљишта, су приказани одговори различитих сорти и линија пшенице. У Републичкој комисији за признавање сорти и хибрида, на сортној листи пшенице се налази преко стотину различитих генотипова, који су прихваћени и прошли све тестове ресорног министарства. Већина тих сорти је коришћена у овим испитивањима, уз бројне линије које су у поступцима признавања и тестирања, као и неколико локалних популација. На крају, истраживачи су одлучили да у књигу укључе и по један научни рад, већ објављен у престижним научним часописима од интереса у области генетике и оплемењивања биљака. Жеља им је била да на тај начин покажу млађим читаоцима и истраживачима, како је потребно резултате прикупити, обрадити, анализовати и графички приказати, не би ли рад био објављен у часопису са вишим импакт фактором. У радовима је назначено у којим часописима су приказани, укључујући ту и DOI број по ком могу да буду лакше нађени.

Циљ аутора је био да написаним текстом приближе читаоцима сву лепоту бављења оплемењивачким послом, али и агрономијом као науком од важности у прошлости, садашњости и будућности.

САДРЖАЈ

1. УВОД	7
2. ФЕНОТИПСКИ МАРКЕРИ ПРИНОСА ЗРНА ПШЕНИЦЕ	11
2. 1. Маса зрна по класу	11
2. 2. Висина биљке	14
2. 3. Број зрна по класу	16
2.4. Дужина класа	17
2.5. Маса хиљаду семена	18
2.6. Маса класа	19
3. ПРИНОС ЗРНА ПШЕНИЦЕ	21
3.1. Принос зрна пшенице у условима абиотичког стреса	26
3.2. Принос зрна пшенице у различитим агроколошким условима	49
4. НАУЧНЕ ПУБЛИКАЦИЈЕ АУТОРА МОНОГРАФИЈЕ	68
4.1. Agronomic performance of wheat cultivars and their molecular characterization. <i>Genetika</i>	68
4.2. Phenotypic Variability of Wheat and Environmental Share in Soil Salinity Stress [3S] Conditions. <i>Sustainability</i>	88
4.3. Phenotypic marker study of worldwide wheat germplasm. <i>Italian Journal of Agronomy</i>	130
5. ЛИТЕРАТУРА	156
АУТОРИ	166
ИЗВОДИ ИЗ РЕЦЕНЗИЈА	168

УВОД

У савременој пољопривредној производњи, оплемењивању биљака и семенарству је потребно стално проучавање сложених еколошких утицаја и одговора гајених биљака на њих. На овај начин, добијају се сорте и хибриди, који у различитим агроеколошким и економским условима, који су својствени појединим регионима гајења, дају најбоље резултате, а то све указује на добру стабилност ових генотипова. Међутим, одговарајући на изазове глобалних климатских промена, пре свега у погледу температурних услова и суше, али и сталне деградације земљишта, прилагођавање постојећих сорти овим условима говори о њиховој адаптабилној вредности. Из тог разлога, извођење огледа са стратешки важним пољопривредним врстама, у различитим производним рејонима, доприноси добијању веродостојних резултата. На тај начин, они постају темељ за давање препорука пољопривредним произвођачима шта је најбоље да гаје на својим газдинствима. Тиме би се задовољиле и потребе потрошача, учесника савремених, али сложених тржишних утакмица. Имајући у виду велики значај пшенице у АП Војводини, али и чињеницу да је код нас производња ове врсте, у поређењу са 2022. годином, смањена за 9,6%, научно-истраживачки императив је проналажење решења за превазилажење овог проблема.

Основни циљ пројекта је израда научно-популарне публикације „Еколошки и агрономски изазови производње пшенице у АП Војводини“. На основу резултата добијених из сложених пољских огледа са пшеницом, на различитим локалитетима у АП Војводини

(Нови Сад, Сремска Митровица и Кумане) биће приказане вредности најважнијих компоненти приноса и приноса зрна пшенице, различитих сорти. Вишелокацијски и вишегодишњи огледи даће јаснију слику о стабилности и адаптабилности проучаваних сорти. Посебна пажња биће усмерена на оне локалитете где су забележени екстремни температурни услови и где је земљиште ниже бонитетне класе. Тако ће се издвојити сорте са задовољавајућим нивоом толерантности на абиотички стрес, а стећи ће се потребна искуства у гајењу пшенице у условима абиотичког стреса, који је све више присутан у пољопривредној производњи услед климатских промена и деградације човекове околине. Очекивани резултати подразумевају ширење сазнања која су заснована на научним и истраживачким чињеницама потврђеним кроз експериментални рад чланова пројектног тима. С обзиром на то да су у току последње деценије забележене нагле климатске промене, које су се значајно одразиле на производњу свих усева, укључујући и пшеницу, реализацијом ове публикације пољопривредни произвођачи, као директни корисници ће моћи да се из поузданих и проверених извора информишу и науче на који начин треба правилно да приступе гајењу ове стратешки важне ратарске културе. Велики број сорти пшенице које су и данас заступљене у производњи на територији АП Војводине су креиране за другачије агроколошке услове од постојећих. Та чињеница представља ограничење, али и изазов већини пољопривредних произвођача који овај усев гаје у екстремнијим условима спољашње средине. Ова публикација ће понудити могућа решења како превазићи проблеме који настају када се пшеница гаји на земљиштима лошије бонитетне класе, или при екстремно високим температурама и недостатку падавина. Такође, читаоци публикације, као што су млади истраживачи и студенти, који проучавају оплемењивање биљака ће

моћи да се едукују на ову тему и прошире своја сазнања. Крајњи резултат представља стицање знања о стабилности и адаптабилности пшенице, а њиховом применом у оплемењивачким поступцима и производњи, допринеће се бољем искоришћавању генетичког потенцијала за принос постојећих сорти, али и креирању циљева за добијање новог сортимента пшенице, спремног да одговори на еколошке и агрономске изазове производње пшенице у АП Војводини у доба свеприсутних климатских промена. Пшеница се сматра стратешки значајном културом у пољопривредној производњи, јер њено зрно представља основ исхране великог дела светске популације, поготову у неразвијеним деловима планете. Има широк ареал гајења, обухватајући пределе који се налазе између северног поларног круга, до крајњих јужних области. Она је једна од најважнијих гајених пољопривредних култура и као таква одувек је заузимала централно место у светској пољопривредној производњи. У свакодневnoj исхрани користи је око 40% светске популације, што чини приближно 2.5 милијарде људи. Посматрајући укупну употребу пшенице, 95% производње чини хлебна пшеница (*Triticum aestivum L.*), док је производња осталих подврста сведена на минимум и унутар њих предњачи права тврда пшеница (*Triticum durum*). Пшеница припада реду *Poales*, породици трава *Poaceae*, подпородици класастих трава *Pooidea*, роду *Triticum*. Ова биљна врста у свету се гаји на око 218 милиона хектара са годишњом производњом од 713 милиона тона. Просечан принос пшенице у свету је 3.26 тона по хектару, док је просечан принос у Србији знатно виши и износи 4.77 тоне по хектару. У нашој земљи укупна годишња производња пшенице прелази 2.6 милиона тона. Генетичку структуру коју има данас, пшеница дугује природним процесима старим преко 300000 година, који су довели до повећања нивоа плоидности.

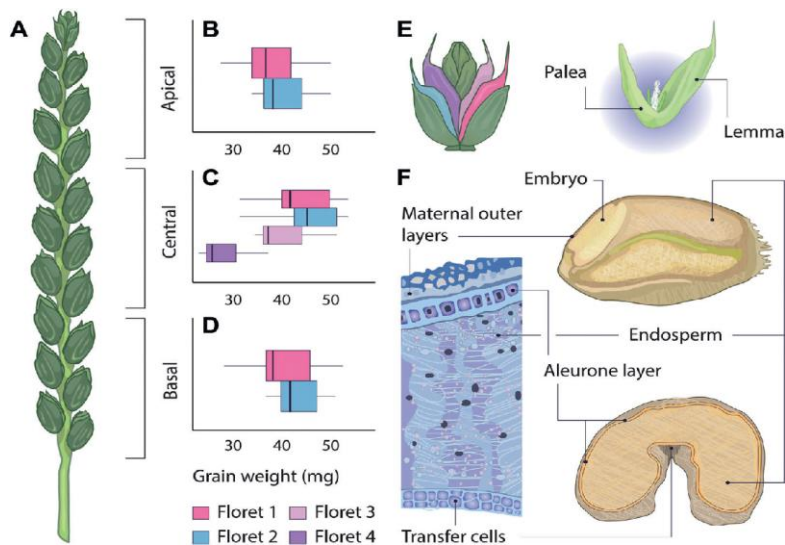
Данашња хлебна пшеница, као хексаплоидна врста има сложену генетичку структуру састављену од три групе морфолошки сличних хромозома, односно три генома (А, В и D). Сваки од ових генома има по седам парова хомологних хромозома ($2n=14$). Донор генома А је врста *Triticum urartu*, која се у природи спонтано укрштала са врстом *Aegilops speltoides*, донором генома В. Претпоставка је да је спонтаном хибридизацијом тетраплоидних пшеничних врста (геноми А и В, број хромозома $2n=28$) и дивљег сродника пшенице *Aegilops tauschii* (донором генома D), дошло до стварања хексаплоидних врста са геномима А, В и D и увећаним бројем хромозома на $2n=42$. Хексаплоидна пшеница испољила је супериорне карактеристике у односу на све претходне врсте и као таква је постигла високу популарност у гајењу широм света. Даљом интродукцијом пшенице од стране човека у различите агроеколошке услове, доказано је да је могуће гајити у широком ареалу, што је данас неоспорна чињеница. Новији покрети у оплемењивању пшенице највише се залажу за биофортификацију пшенице као биљне врсте, не би ли микро и макронутријентима могла да представља основни извор хране за већину човечанства у руралним крајевима. Веома је важно да та храна поседује висок квалитет. Код пшенице, директан показатељ технолошког квалитета зрна су вода, скроб, протеини, прехранбена влакна и масти (Бањац и сар., 2022).

2. ФЕНОТИПСКИ МАРКЕРИ ПРИНОСА ЗРНА ПШЕНИЦЕ

2.1 Маса зрна по класу

Маса зрна по класу представља важну компоненту приноса која се састоји се од многобројних подкомпоненти, као што су величина тучка, дужина, ширина и висина зрна и брзина наливања зрна.

Грађа семена код пшенице је специфична јер садржи одређене структуре које нису карактеристичне за остале културе. Свако семе је обавијено слојем ћелија које се називају skutelum (штитић). Оне воде порекло од интегумената мајчинске биљке. Зрно код пшенице представља уједно и плод. Овај плод код жита се назива кариопсис и карактеристичан је по томе што му је skutelum срастао са перикарпом, још једним ткивом насталим од мајчинске биљке, а који је изведен од зида плодника тучка. Кариопсис је сув, једносемени плод, који се не отвара и не ослобађа право семе у фази зрелости (**Brinton and Uauy, 2019**). Свака биљка производи многобројне цвасти које се називају класови (Слика 1). Сваки клас се састоји од цветова који су распоређени на специјалним гранчицама и заједно чине један класић. Ови класићи су наизменично распоређени на главној оси класа. Типичан клас садржи између 15-20 класића који се састоји од две спољашње плевне и између 4 и 6 фертилних цветова који имају потенцијал да формирају зрно. Сваки цвет је заштићен омотичима лемом и палеом, који формирају тучак и три прашника.



Слика 1. Приказ масе зрна изражена преко цвасти и структуре зрелог зрна: А - основни, централни и вршни делови класа; В,С,Д,- вредности масе зрна (mg) за сваки цвет; Е - положај цветова 1-4 у класићу; F – семењача (**Brinton and Uauy, 2019**)

Маса зрна је особина која је под већим утицајем фактора спољашње средине него под генетичким факторима (**Matković Stojšin et al., 2022**). Штавише, постоји висок ниво варирања масе зрна унутар једног генотипа па чак и између класова. Не развијају се сви класови и класићи у исто време, и некада се може десити да прође неколико дана, или чак недеља, да се сви класићи формирају. Неколико студија показује да је маса зрна већа у средишњим класићима него у оним који се налазе на врху и у дну класа. Генерално, цветови који касније крену са развојем имаће и мање зрно. Сваки класић ће иницирати развој између 8 и 12 цветова примордија, иако су обично само првих четири до шест цветова потенцијално плодни и имају могућност да формирају тучак. Уочена је јака корелација између величине тучка и коначне масе зрна, што сугерише да се особина маса зрна може одредити, по мајци, чак и пре него што је развој зрна сам по себи започео.

Локуси за квантитативне особине (*QTL - Quantitative Trait Loci* - места на којима се налазе гени за експресију квантитативних особина) за масу зрна су идентификовани на скоро сваком хромозому пшенице. Појединачни локуси често повећавају просечну масу зрна за <10%, а у још мањем степену за појединачну подкомпоненту. Ово је додатно отежано чињеницом да постоји варијација за особину маса зрна унутар једног генотипа, па је недвосмислена подела на индивидуалне линије са већом и мањом масом зрна веома тешка. Рашчлањавањем особине маса зрна на подкомпоненте које су под независном генетичком контролом, попут дужине и ширине зрна стечена су одређена знања и искуства, касније коришћена и у оплемењивању биљака (**Gegas *et al.*, 2010**). У данашње време све више оплемењивача пшенице важност поклања управо смештеним генима који условљавају поменућу особину (**Mladenov *et al.*, 2021**).

Коначна маса зрна је дефинисана серијом комплексних интеракција које су интегрисане током читавог животног циклуса зрна. Оне се протежу даље од традиционално дефинисаних компензационих ефеката између главних компоненти приноса (број класова по m^2 ; број зрна по класу; маса зрна) и укључују интеракције унутар сваке од ових компоненти. На пример, маса зрна је резултат удруживања више подкомпоненти, као што су, између осталог, деоба ћелије, ширење ћелије и брзина пуњења зрна. Ове интеракције се одигравају под утицајем различитих временских услова, биотичког стреса и различитим агротехничким мерама на пољу током сваке сезоне, што утиче на ове односе на различите начине и у различитом степену. Стога, када меримо коначну масу зрна, ми заправо меримо интеграцију свих ових сложених и динамичних догађаја у животном циклусу семена. Детаљнијим утврђивањем како одређени гени утичу на

појединачне компоненте приноса омогућава прецизније разумевање ових интеракција. Неки гени (нпр. *GW2- Grain Weight*) врше контролу над особином маса зрна тако што утичу на величину тучка, компоненту приноса која се формира током истих фаза раста као и особина броја зрна по класу (**Simmonds et al., 2016; Reale et al., 2017**). Стога, на особину масу зрна утичу процеси који се дешавају пре цветања (нпр. дефинисање броја зрна, величине тучка, резерве угљених хидрата растворљивих у води) и после цветања (нпр. издуживање ћелија зрна, брзина пуњења зрна).

Маса зрна се карактерише високом фенотипском стабилношћу и херитабилношћу. Упркос полигенској природи, фенотипска селекција за ову особину је ефикасна и препоручује се побољшање ове особине као компоненте приноса зрна пшенице (**Rasyad and Van Sanfold, 1992**).

Истраживање које су спровели **Kumar et al. (2006)** је показало да генотипови који су имали већу масу зрна су имали раније време класања, за разлику од генотипова са нижом вредношћу масе зрна и каснијем временом класања. Ово нам сугерише да постоји могућност да време класања има потенцијални утицај на масу зрна пшенице. У поменутој студији, утврђено је да се *QTL* за време класања налази на истом месту као и за масу зрна. Дакле, постоји могућност да су ово заправо исти *QTL*-ови који имају позитиван плејотропни ефекат.

2.2 Висина биљке

Висина биљке је сложена, квантитативна особина која се описује као растојање од чвора бокорења до врха класа, укључујући дужину класа и висину интернодија. Представља веома важну компоненту приноса пшенице јер висина стабљике директно одређује колико ће бити интензивна производња ове културе. Средином 40-их година XX

века током *Зелене револуције* коју је предводио амерички агроном и нобеловац Норман Борлаг, висина пшенице је са 130 cm, колико су биле високе тадашње сорте које су се налазиле у производњи, смањена на 60-90 cm. Циљ је био да се добије скраћена и крућа стабљика, како би се омогућило гајење у гушћем склопу, уз већу примену минералних ђубрива и воде. Производња се значајно интензификовала, а просечни приноси су повећани за 3-5 пута (Димитријевић *и сар.*, 2009; Денчић *и сар.*, 2006; Subira *et al.*, 2016; Agius *et al.* 2023).

Ова особина је условљена првенствено мајор *Rht* (reducing height) генима, који су одговорни за испољавање квантитативних (метричких) особина али и бројним минор генима који се налазе на свим хромозомима пшенице. За оплемењивање на скраћивање стабљике пшенице, важно је неколико гена: *Rht1*, *Rht2*, *Rht8* и *Rht9*. Старе јапанске сорте Норин 10 и Акакомуги су у прошлости послужиле као донори ових изузетно важних гена, при чему су *Rht1* и *Rht2* гени добијени из сорте Норин 10, док је за *Rht8* и *Rht9* носилац била сорта Акакомуги. Ове полу-патуљасте сорте су се интензивно користиле у претходних 60 година, како би се селекцијом створили генотипови отпорни на полегање. До скраћења интернодија долази смањивањем осетљивости репродуктивних органа и соматских ћелија на ендогени биљни хормон гиберелин. Такође, модерне сорте које садрже *Rht1* ген показују повећан капацитет за усвајање воде након фазе цветања у наводњаваним земљиштима, у односу на старе високе сорте.

Сматра се да ниске сорте пшенице заправо воде порекло из Кореје где су се гајиле као локална популација још од III или IV века. Међутим, током јапанско-корејског рата који се одиграо у XVI веку, долази до преноса одређених патуљастих генотипова из локалних популација на тло Јапана где се касније плански укрштају и стварају

поменуте сорте. Још једна значајна сорта која је искоришћена за стварање европских полу-патуљастих генотипова је сорта Саитама (**Cho et al., 1993; Nonaka, 1995; Ogihara et al., 2015**).

Пре Нормана Борлага, италијански оплемењивач Назарено Стрампели је почетком XX века у Италији био један од поборника покрета *Битка за зрно* чији је циљ био стварање нових, италијанских сорти пшенице које ће моћи да подмире домаће потребе за храном и производњом хлеба. Године 1932. серијом укрштања створена је сорта Сан Пасторе која је у свом педигреу имала сорту Акакомути, носиоца гена за скраћивање стабљике. Сан Пасторе је сорта која је у нашој земљи често коришћена као један од родитеља у оплемењивачким програмима (**Borojević and Borojević, 2005**).

2.3 Број зрна по класу

До побољшања приноса пшенице у протеклим деценијама дошло је у великој мери због повећања броја зрна по класу и броја класова по квадратном метру. Карактеристике класа, укључујући дужину класа, укупан број класића по класу, број фертилних класића по класу, број стерилних класића по класу, компактност класа као и број зрна по класићу, одређују број зрна по класу и тако у одређеној мери одређују потенцијал за принос (**Zhou et al., 2017**). Ова особина представља битну компоненту приноса на коју се често врши селекција у оплемењивачким програмима пшенице, а одликује се значајним утицајем на принос у условима абиотичког стреса (**Denčić et al., 2000**). Потенцијални број зрна по класу формираће се тек око три недеље пре цветања. Диференцијацијом апикалног меристема, која се одвија кроз неколико фаза, долази до формирања класића. С обзиром на то да све примордије не формирају класиће и да сви формирану класићи касније

неће дати зрно, веома је важно да се утврди број стерилних и број фертилних класића. Стерилни и фертилни класићи у многоме утичу на масу и број зрна по класу (**Šumaruna et al., 2022; Gonzales et al., 2005**).

Традиционално се сматра да су број зрна и величина зрна у негативној корелацији, због конкуренције за асимилате током пуњења зрна. Дакле, интеракције између броја зрна и величине зрна могу бити последица надметања за ресурсе пре самог цветња, а не нужно због било каквих догађаја после цветања који се односе на пуњење зрна (**Guo et al., 2017**).

2.4 Дужина класа

Клас је генеративни орган биљке у којем се налазе цветови са репродуктивним органима, где се након оплодње формира зрно. Овај орган пшенице се одликује низом особина које могу да се дефинишу као компоненте приноса а које укључују дужину класа, масу класа, масу зрна по класу, број зрна по класу итд. Сматра се да дужина класа нема директан утицај на формирање приноса, али да на посредан начин, преко броја класића, броја зрна по класићу, и броја зрна по класу, утиче на ову сложена особину (**Kumbhar et al., 1983**). Клас се одликује специфичном структуром која му омогућава боље искоришћавање светлости у односу на друге делове биљке. Управо због ове карактеристике, клас заједно са осјем, остаје дуже зелен и функционалан. Овај орган, осим свог удела у репродукцији биљке, има и значајну улогу у фотосинтетичкој активности. Дужи класови се одликују већом површином за одвијање фотосинтетичке активности па представљају веома важан извор код прикупљања асимилатива. Због ових карактеристика класа допринос је у просеку 40-50% суве материје која се нагомилава у зрну (**Mladenov et al., 2019; Zečević et al., 2004**,

Šučur et al., 2023). Особина дужина класа је у позитивној вези са бројем класића по класу. Теоретски, повећањем сваке од компоненти приноса доводи до повећања потенцијала за принос. Међутим, с обзиром да долази до појаве конкуренције у усвајању асимилатива током фазе у којој клас расте, свако повећање вредности компоненти приноса не доводи увек и до повећања самог приноса. Генетичко и физиолошко рашчлањивање ових компоненти и утврђивање веза између њих би олакшало постизање максималног потенцијала за принос пшенице (**Ma et al., 2007; Liebermann-Lazarovich et al., 2022**). Локуси одговорни за испољавање особине дужина класа мапирани су на 1A, 2D, 4A, 5A, 5B и 7D хромозомима.

2.5 Маса 1000 семена

Семе представља коначан резултат рада оплемењивача, где се разликују два значајна показатеља: маса 1000 семена и апсолутна маса. Ова особина се одређује при тренутној влази семена, док се појам апсолутна маса користи при мерењу масе 1000 семена, али при апсолутно сувом узорку. Ова компонента приноса представља функцију биљне врсте, оплемењивања, услова спољашње средине, агротехничких мера, састава и влаге самог семена као и сушења и процеса дораве (**Мирлић, 2006**).

У пољопривредној производњи ова особина служи приликом избора сетвених плоча, одређивање сетве норме, а значајна је и као показатељ квалитета других особина. Предност крупнијег семена (пречника преко 2,2 милиметра) се огледа у бољој клијавости, бржем порасту клице, уједначенијем ницању, што се директно одражава на формирање броја биљака по јединици површине, већег броја семена по биљци, а индиректно и већег приноса. Крупније семе се најчешће

карактерише и већим ембрионом што доводи до позитивне корелације са почетним порастом биљака (Nyachiro, 2002). Под утицајем неповољних услова спољашње средине може доћи до прекида наливања зрна што као директну последицу има снижење масе 1000 семена, хектолитарске масе, а на крају и самог приноса (Wardlaw and Moncur, 1995). Високе температуре ваздуха имају негативан утицај јер скраћују период наливања зрна, а такође смањују број и величину зрна код пшенице. Супротно, ниже температуре продужавају фазу наливања зрна што обезбеђује већи укупан принос (Warrington et al., 1977).

Геном пшенице има три хомеологна гена *GW2*, где је ген *TaGW-A1* до сада највише испитиван. Истраживања су показала негативну везу између нивоа транскрипције *TaGW2-A1* и ширине зрна. Утврђено је да се ефекат негативне регулације јавља пет дана пре почетка развоја тучка, указујући да *GW2* ген делује на мајчинско ткиво још пре цветања како би ограничио величину семена. Откривено је да мутација у гену *TaGW-A1* доводи до повећања масе 1000 семена код тетраплоидне и хексаплоидне пшенице, на тај начин што долази до стварања ширег и дужег зрна (Simonds et al., 2016).

2.6 Маса класа

Маса класа представља укупну масу генеративног дела биљке, а као иразито квантитативна особина наслеђује се системом минор гена. Овакав генски систем дозвољава значајну фенотипску варијацију под утицајем деловања фактора спољашње средине, а огледа се у значајној интеракцији генотип/спољашња средина (Бањац, 2015).

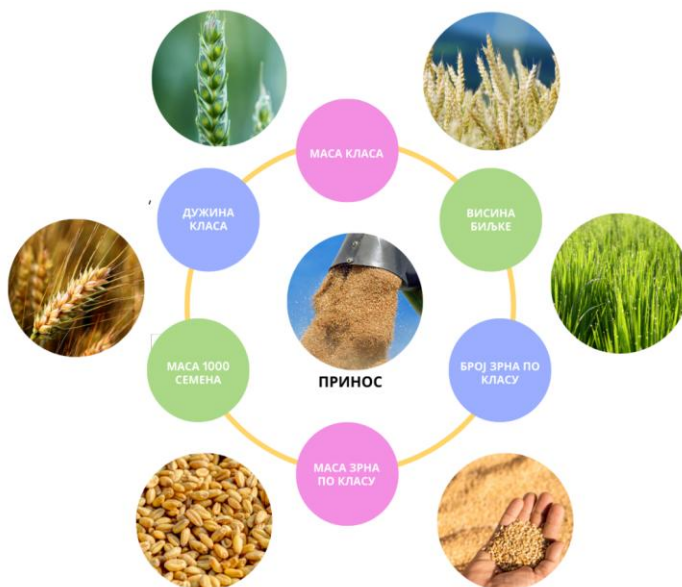
Све особине које су у вези са класом припадају квантитативним особинама и под контролом су *QTL* а подложне су и утицају спољашње средине (Zhou et al., 2017). Идентификацијом гена, који су у корелацији

са особинама класа, могао би се олакшати сам процес повећања потенцијала приноса зрна пшенице. Постоји неколико гена, као што су *Q*, *C* и *SI*, који су повезани са морфологијом класова пшенице и идентификовани су на хромозомима 5A, 2D и 3D (**Johnson et al., 2007**). Ген *Q* даје клас који се слободно врши и својим плејотропним ефектом утиче на многе друге особине укључујући висину биљке, боје плеве, типа класа и време формирања класова (**Sormacheva et al., 2014**). Ген *C* се налази на дугом краку хромозома 2D близу центромере и утиче на компактност класова, величину зрна, облик зрна и број зрна по класу (**Johnson et al., 2007**). *SI* ген утиче на формирање крутих кратких листова, правог листа заставичара, густих класова, полуокруглих плева и малих округлих зрна.

На пример, **Cui et al. (2012)** су детектовали 190 *QTL*-ова на свим хромозомима пшенице за седам особина које су у вези са класом у две рекомбинантне популације инбред линија. Откривено је 18 *QTL*-ова који су имали мајор ефекте. **Ma et al. (2007)** истраживали су адитивне, доминантне и епистатичне ефекте *QTL*-а на дужину класа, број фертилних класића, број стерилних класића, број класића по класу и компактност класа у популацији рекомбинантне инбред линије, као и у F_2 популацији која потиче од истих родитеља, и пронашли су 18 геномских региона на хромозомима 1A, 1B, 2D, 3B, 4A, 5A, 5B и 7A који су повезани са карактеристикама класа. Ови резултати су показали да вишеструки локуси са неједнаким ефектима могу утицати на особине класа и да ефекти епистазе и доминације такође могу утицати на генетску архитектуру карактеристика класа.

3. ПРИНОС ЗРНА ПШЕНИЦЕ

Да би оплемењивање пшенице било успешно, неопходно је познавање интеракција које се јављају између великог броја компоненти које заједно утичу на стварање високог и квалитетног приноса. Да би дошло до економске исплативости, процес стварања нових и побољшања постојећих особина неке врсте подразумева присуство генетичке варијабилности (**Šućur et al., 2022, Banjac et al., 2022**). Принос зрна је крајњи резултат свих животних процеса биљке, где већина гена, ако не и сви гени, дају свој допринос било на директан или индиректан начин. Само постизање повећања приноса није ни мало једноставан задатак, а кумулативно знање из оплемењивања пшенице указује на то да је потребно побољшање, како ткива која производе и „извозе” хранљиве материје и асимилативе, тако и ткива која их „увозе” и троше. За достизање ових циљева може се користити неколико стратегија, иако постоје фундаменталне разлике у образложењу ових приступа.



Слика 2. Илустрација неких од компоненти приноса пшенице: висина биљке, дужина класа, маса зрна по класу, време класања, маса 1000 семена, маса класа и принос (Шућур, 2023)

Неке стратегије су засноване на редукционистичком приступу (Слика 2), где је фокус на описивању коначног приноса зрна проучавањем и разумевањем појединачних саставних делова (нпр. број класова по m^2 , број зрна по класу и маса зрна). Међутим, сложеност биолошког система је таква да је интегрисани приступ оправдан, где коначни принос зрна треба проучавати у оквиру целог система, а не проучавањем појединачних компоненти. Редукционистички приступ је потребан као полазна тачка за разумевање генских мрежа и механизма који регулишу појединачне подкомпоненте које су основа сваког приноса. Ово захтева рашчлањавање изван традиционалних компоненти приноса, које су саме по себи веома сложене и полигене особине (Brinton and Uauy, 2019; Младенов, 2017).

QTL за принос су мапирани на истим местима као и они за масу 1000 семена, на крацима хромозома 1В1, 2А5, 3В5 и 7В1, а за број зрна по класу на крацима хромозома 1А5, 2А5 и 3В5 што сугерише да величина и број зрна могу директно допринети приносу у тим геномским регионима. *QTL* за принос, масу 1000 семена и број зрна по класу мапирани су на истим интервалима маркера на крацима хромозома 1В1, 2А5 и 3В5. *QTL* за повећање вредности масе 1000 семена и смањење масе зрна по класу мапирани су на интервалима маркера на 1В1 и 2А5 хромозомима, што указује на делимични компензациони ефекат на принос зрна.

Морфологија класа пшенице представља кључни фактор у одређивању приноса зрна. Компоненте класа као што су класићи, који су основне јединице цвасти, такође утичу једни на друге. Број и распоред ових компоненти класа утичу на дужину класа, масу класа, плеву (тј. биомасу која није део зрна а налази се у класу), број зрна по класу, масу зрна по класу и број класића по класу, што све доприноси коначном приносу зрна (**Guo et al., 2017**).

Да би се створиле сорте које у различитим срединама постижу изузетне приносе зрна, потребно је знати како манипулисати морфологијом класова пшенице. На пример, формирање бокора утиче на број зрна и масу зрна, те је стога уско повезано са приносом. Према **Donald, 1968**, пшеница, која не формира бокоре, има потенцијал за већи принос у поређењу са пшеницом са бокорима. Одсуство бокора се може користити за проучавање односа између бокорења и фактора морфологије класа о којима је било речи. Примећено је да је повећање приноса зрна након уклањања бокора углавном резултат повећања броја зрна по класићу.

Такође, утврђен је мали пораст броја зрна и значајно повећање масе зрна у преосталим класићима након уклањања одређеног броја класића код пшенице. Доказано је и да је тежина зрна одређена факторима који утичу на запремину зрна (**Millet and Pinthus, 1978**).

Иако фотосинтеза која се одиграва у класовима пшенице даје велики допринос коначном приносу зрна, прекомерни раст плева, лема и палеа доводи до повећања њихове конкурентности за асимилате, што може додатно смањити њихову расподелу усмерену на раст зрна, а на крају смањити и коначни принос зрна. Развој листова је критичан за одређивање приноса зрна, пошто су листови главни фотосинтетички орган. Такође, одржавање зелених листова током наливања зрна може довести до повећаног приноса зрна, пошто се показало да старење листова током пуњења зрна утиче и на расподелу и ремобилизацију угљеника и азота. Међутим, сувишни листови могу довести до повећања конкуренције за асимилате и на сличан начин смањују расподелу асимилата у односу на раст класова. То би могло објаснити негативан допринос броја листова приносу зрна (**Guo et al., 2018**).

Oury et al., (2003) наводе да је негативан однос између приноса и садржаја протеина често маскиран утицајима фактора спољашње средине. Када су утицаји на спољашњу средину били смањени у поређењу са ефектима генотипа, увек се откривала јака негативна веза. Негативна корелација које се јавља између приноса и садржаја протеина приписује се факторима спољашње средине, генетским компонентама, разблажењу азота у зрну са много већом акумулацијом биомасе зрна, или биоенергетским захтевима за синтезу угљених хидрата и протеина.

Један од критеријума селекције пшенице је смањење интеракције генотипа и спољашње средине. Тиме би се остварио

стабилнији и уједначенији принос. На овај начин биљке би мање реаговале на промене еколошких услова гајења. Могућа су два приступа у решавању овог проблема. Први би био подела хетерогених региона гајења на мање подрегионе који би се карактерисали хомогенијим условима производње. Сорте створене циљним оплемењивањем испољавају уску а не широку адаптабилност, па дају најбоље резултате управо у тим регионима за које су намењене. Други начин представља селекцију генотипова са бољом стабилношћу широком спектру окружења (Бањац, 2015).

3.1 Принос зрна пшенице у условима абиотичког стреса

С обзиром на сталан пораст броја светског становништва и раст потреба за храном, треба да се пронађу начини да се мање продуктивна земљишта искористе за интензивнију пољопривредну производњу. Из тог разлога, на путу повећања производње пшенице, али и хране уопште, веома је значајно да још увек постоји простор у бољем искоришћавању земљишних површина слабијег производног потенцијала, поправци оваквих површина и стварању сорти, које могу да се успешно гаје у таквим условима. У циљу сагледавања могућности да се слабије продуктивна земљишта АП Војводине искористе за гајење пшенице, спроведено је опсежно трогодишње истраживање на локалитету Кумане у Банату. Узорак је изабран на основу претходних истраживања постојеће генетичке варијабилности. Сорте (генотипови) који су одабрани за ово истраживање се одликују одређеним особинама. Ренесанса: средње рана, озима сорта пшенице из групе хлебна-побољшивач. Одликује се добром отпорношћу на ниске температуре и толерантношћу на полегање; Победа: озима сорта, хлебна-побољшивач. Карактерише је одлична отпорност на зиму и добра отпорност на пепелницу, лисну и стабљичну рђу.; Европа 90: озима, хлебна сорта, средње рана, отпорна на ниске температуре и житну пијавицу (*Lema melanopus*); НСР-5 (Новосадска рана 5): рана, озима, хлебна сорта, добро толерантна на полегање, високо отпорна на пепелницу, са врло добром отпорношћу на лисну рђу, (<http://www.nsseme.com>); Драгана: озима, хлебна, средње рана сорта. Одликује се врло добром отпорношћу на ниске температуре и лисну рђу. Добро је отпорна на пепелницу (Младенов и сар., 2008); Рапсодија: озима, средње рана сорта, отпорна на полегање, веома

толерантна на сушу и отпорна на пепелницу (Денчић и сар., 2007). Симонида: средње рана сорта озиме пшенице, добре толерантности на полагање и врло добре отпорности на болести (пепелница и лисна рђа), **Христов и сар., 2006**; Циповка: озима, рана сорта, добре отпорности на полагање. Врло добро је отпорна према најзаступљенијим болестима пшенице (<http://www.nsseme.com>); Банатка: озима пшеница, представља локалну популацију и највише коришћену пшеницу у оплемењивачком програму Института за ратарство и повртарство на почетку његовог развоја. Има одличну отпорност на ниске температуре, ваздушну и земљишну сушу, **Денчић, 2006**; Банкут 1205: озима сорта пшенице, у Војводину интродукована из Мађарске, око Другог светског рата. Изузетно је отпорна на лоше земљишне и климатске услове.; Невесињка: факултативна сорта, средње рана, добре отпорности на зиму, пепелницу и лисну рђу; Одисеј: средње рана сорта озимог тритикалеа, одличне отпорности на болести. Тритикале је одабран као *intergenus* хибрид, који је настао укрштањем пшенице и ражи са циљем да се обједине добар протеински састав зрна пшенице и толерантност ражи на неповољне услове животне средине (**Бањац, 2020**).

Оглед је постављен на халоморфном земљишту типа солоњец, на огледној површини од 2 ха, по случајном блок систему у три понављања. С обзиром да је оглед постављен на земљишту типа солоњец, поред резултата на контроли (земљиште без поправке-природни пашњак), обрађени су и резултати са земљишта на два нивоа поправке, од 25 t/ha и 50 t/ha фосфогипса. Земљиште на испитиваној парцели је дренирано, како би се омогућило испирање соли у околне одводне канале. Осим неповољних особина солоњеца у погледу хемијских, физичких и водно-физичких показатеља, у овом делу Баната, на локалитету Кумане владају и други услови абиотичког

стреса. Садејство степе, јасно изражених температурних промена и екстрема, јаким ветрова и задржавања воде на површини парцеле, утицали су да за постављање огледа буде одабран овај локалитет, јер је на тај начин обједињена већина абиотичких стресних услова овог производног рејона АП Војводине. Сетва сорти, у све три вегетационе сезоне, извршена је као у условима широке производње, како би резултати били што веродостојнији и примењивији. Машинским путем, сорте су посејане у редове дужине 155 m, са размаком између редова 12,5 cm. Свака сорта је посејана у 8 редова. Приликом сетве, примењено је минерално ђубриво NPK 15:15:15. Током вегетационих сезона, у зависности од временских прилика, усев је прихрањиван крајем марта или почетком априла минералним ђубривом KAN. У фази пуне физиолошке зрелости извршена је анализа 30 биљака, репрезентованих примарном влати (10 примарних влати x 3 понављања) у циљу праћења фенотипске варијације компоненти приноса: 1. висине биљке (cm); 2. дужине класа (cm); 3. масе класа (g); 4. масе зрна по класу (g); 5. броја зрна по класу и приноса зрна (t/ha).

Разумевање начина на који се кисеонични радикали стварају у биљном ткиву и нестају из њега, доприноси стварању нових сорти пшенице, које ће бити толерантније према стресу. Избор што боље адаптираних генотипова на услове гајења на солоњцу може да омогући економски оправдану производњу пшенице и интензивније искоришћење оваквог земљишта у пољопривредној производњи (Banjac *et al.*, 2020). Из тог разлога, испитивани су и биохемисјки параметри, који су показатељи оштећења биљака изазваног гајењем у стресним условима животне средине, а све са циљем да се процени њихова повезаност за приносом и произвођачима дају што боље препоруке о томе коју сорту да гаје на испитиваном локалитету.

Утврђивани параметри мера варијације и централне тенденције указују на релативну уједначеност приноса оствареног током три вегетационе сезоне, Табеле 1-4.

Табела 1. Средња вредност (\bar{x}) приноса зрна, стандардна девијација (σ) и коефицијент варијације (V) испитиваних генотипова гајених у 9 агроколошких средина, на нивоу целог огледа

<i>Третман фосфогипсом (ознака агроколошке средине)</i>												
	Контрола, без третмана (E1, E4, E7)			Примењено 25 t/ha (E2, E5, E8)			Примењено 50 t/ha (E3, E6, E9)			Просек		
<i>Генотип</i>	\bar{x} (t/ha)	σ (t/ha)	V (%)	\bar{x} (t/ha)	σ (t/ha)	V (%)	\bar{x} (t/ha)	σ (t/ha)	V (%)	\bar{x} (t/ha)	σ (t/ha)	V (%)
Ренесанса	2,9	0,3	8,8	3,2	0,1	4,5	3,6	0,2	6,2	3,2	0,2	6,5
Победа	3,5	0,4	10,3	3,4	0,2	5,2	3,5	0,3	8,2	3,5	0,3	7,9
Европа 90	2,8	0,7	25,2	4,1	0,3	7,2	3,7	0,3	7,4	3,5	0,4	13,3
НСР-5	2,3	0,2	8,9	3,5	0,0	0,7	3,8	0,1	2,4	3,2	0,1	4,0
Драгана	2,8	0,4	13,5	3,4	0,4	10,7	3,6	0,2	5,4	3,3	0,3	9,9
Рапсодија	3,2	0,3	10,1	3,4	0,0	1,3	2,9	0,0	1,5	3,2	0,1	4,3
Симонида	3,3	0,1	3,3	3,6	0,3	8,0	3,8	0,3	6,4	3,6	0,2	5,9
Циповка	3,5	0,0	0,7	3,1	0,4	11,9	3,2	0,4	11,2	3,3	0,3	7,9
Банатка	2,8	0,2	7,1	2,0	0,1	5,2	2,2	0,4	17,9	2,3	0,2	10,1
Банкут 1205	2,6	0,4	16,5	2,4	0,3	13,0	2,4	0,1	2,9	2,5	0,3	10,8
Невесиња	3,1	0,3	9,1	2,3	0,2	10,5	2,8	0,2	7,0	2,7	0,2	8,9
Одисеј	4,7	0,1	2,8	3,5	0,3	8,3	2,7	0,3	9,7	3,6	0,2	6,9
Просек	3,1	0,3	9,7	3,2	0,2	7,2	3,2	0,2	7,2			
										НЗР _{0,05} =0,347 НЗР _{0,01} =0,456		

Табела 2. Средња вредност (\bar{x}) приноса зрна, стандардна грешка аритметичке средине ($s_{\bar{x}}$) и коефицијент варијације (V) испитиваних генотипова на солоњецу без поправке фосфогипсом, по вегетационим сезонама

<i>Вегетациона сезона (ознака агроеколошке средине)</i>								
	2008/2009 (E1)		2009/2010 (E4)		2010/2011 (E7)		Просек	
<i>Генотип</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ (t/ha)	V (%)	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ (t/ha)	V (%)	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ (t/ha)	V (%)	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ (t/ha)	V (%)
Ренесанса	3,0±0,2	13,3	2,8±0,8	48,6	2,9±0,6	37,5	2,9±0,5	33,1
Победа	2,8±0,1	7,1	4,0±0,6	25,9	3,9±0,0	1,1	3,5±0,2	11,4
Европа 90	2,5±0,7	45,6	3,0±1,1	65,6	3,0±0,5	28,9	2,8±0,8	46,7
НСР-5	1,7±0,2	17,6	2,8±0,5	30,3	2,5±0,4	28,9	2,3±0,4	25,6
Драгана	2,3±0,4	30,4	3,2±0,5	25,1	2,8±0,5	31,2	2,8±0,5	28,9
Рапсодија	3,0±0,5	30,0	3,9±0,3	15,2	2,7±0,4	28,2	3,2±0,4	24,5
Симонида	3,3±0,2	9,1	3,1±0,3	18,0	3,7±0,2	8,6	3,3±0,2	11,9
Циповка	3,1±0,1	6,5	4,0±0,3	13,4	3,3±0,3	15,1	3,5±0,2	11,6
Банатка	1,8±0,2	16,7	4,2±0,4	16,7	2,5±0,2	11,1	2,8±0,2	14,8
Банкут 1205	2,1±0,1	4,8	3,8±0,6	26,1	2,0±0,2	12,5	2,6±0,3	14,4
Невесинька	2,7±0,2	11,1	4,3±0,3	13,3	2,4±0,2	13,0	3,1±0,2	12,5
Одисеј	4,4±0,3	11,4	5,3±0,4	13,8	4,3±0,3	13,7	4,7±0,4	13,0
<i>Просек</i>	2,7±0,3	17,0	3,7±0,5	26,0	3,0±0,3	19,1		
	НЗР _{0,05} =0,901 НЗР _{0,01} =1,220		НЗР _{0,05} =1,629 НЗР _{0,01} =2,208		НЗР _{0,05} =1,058 НЗР _{0,01} =1,433			

Табела 3. Средња вредност (\bar{x}) приноса зрна, стандардна грешка аритметичке средине ($s_{\bar{x}}$) и коефицијент варијације (V) испитиваних генотипова на солоњцу са поправком од 25 t/ha фосфогипса, по вегетационим сезонама

Вегетациона сезона (ознака агроеколошке средине)								
	2008/2009 (E2)		2009/2010 (E5)		2010/2011 (E8)		Просек	
Генотип	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ (t/ha)	V (%)	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ (t/ha)	V (%)	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ (t/ha)	V (%)	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ (t/ha)	V (%)
Ренесанса	3,2±0,1	5,4	3,2±0,2	12,4	3,2±0,2	8,0	3,2±0,2	8,6
Победа	3,3±0,5	24,2	3,7±0,2	10,4	3,1±0,2	9,7	3,4±0,3	14,8
Европа 90	4,0±0,1	2,5	5,0±0,5	18,0	3,3±0,2	9,1	4,1±0,3	9,9
НСР-5	3,9±0,1	2,6	3,6±0,5	24,5	3,1±0,4	22,6	3,5±0,3	16,6
Драгана	3,1±0,1	6,5	4,2±0,3	10,3	3,0±0,5	30,0	3,4±0,3	15,6
Рапсодија	2,8±0,1	7,1	4,4±0,3	11,5	3,1±0,2	12,9	3,4±0,2	10,5
Симонида	3,1±0,1	3,2	4,1±0,3	13,8	3,5±0,2	11,4	3,6±0,2	9,5
Циповка	2,8±0,1	7,1	3,8±0,4	19,8	2,7±0,2	11,1	3,1±0,2	12,7
Банатка	1,8±0,2	22,2	2,7±0,3	17,2	1,4±0,1	14,3	2,0±0,2	17,9
Банкут 1205	1,5±0,2	20,0	3,8±0,5	24,5	1,9±0,2	21,1	2,4±0,3	21,9
Невесинька	1,5±0,1	6,6	3,6±0,4	19,6	1,7±0,1	11,8	2,3±0,2	12,7
Одисеј	2,6±0,2	15,4	6,9±0,2	6,3	1,0±0,2	40,0	3,5±0,2	20,6
<i>Просек</i>	2,8±0,1	10,2	4,1±0,4	15,7	2,6±0,2	16,8		
	HЗP _{0,05} =0,542		HЗP _{0,05} =1,082		HЗP _{0,05} =0,746			
	HЗP _{0,01} =0,734		HЗP _{0,01} =1,467		HЗP _{0,01} =1,011			

Табела 4. Средња вредност (\bar{x}) приноса зрна, стандардна грешка аритметичке средине ($s_{\bar{x}}$) и коефицијент варијације (V) испитиваних генотипова на солоњцу са поправком од 50 t/ha фосфогипса, по вегетационим сезонама

Вегетациона сезона (ознака агроеколошке средине)								
	2008/2009 (E3)		2009/2010 (E6)		2010/2011 (E9)		Просек	
Генотип	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ (t/ha)	V (%)	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ (t/ha)	V (%)	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ (t/ha)	V (%)	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ (t/ha)	V (%)
Ренесанса	3,9±0,1	2,6	4,4±0,3	12,0	2,5±0,2	12,0	3,6±0,2	8,8
Победа	3,1±0,2	9,7	4,8±0,4	16,3	2,7±0,1	7,4	3,5±0,2	11,1
Европа 90	4,0±0,1	5,2	4,3±0,4	17,4	2,6±0,2	15,4	3,7±0,3	12,6
НСР-5	3,9±0,1	5,1	4,6±0,1	2,7	2,9±0,4	20,7	3,8±0,2	9,5
Драгана	3,3±0,2	9,1	5,2±0,6	18,3	2,3±0,4	30,4	3,6±0,4	19,3
Рапсодија	3,6±0,2	11,1	2,9±0,1	7,5	2,3±0,1	4,4	2,9±0,1	7,7
Симонида	3,9±0,1	2,6	4,7±0,2	6,5	2,9±0,2	13,8	3,8±0,2	7,6
Циповка	3,1±0,5	29,0	3,9±0,2	8,2	2,5±0,1	4,0	3,2±0,3	13,7
Банатка	1,8±0,2	20,0	2,4±0,3	23,1	2,3±0,2	17,8	2,2±0,3	20,3
Банкут 1205	1,6±0,1	8,5	3,9±0,0	0,8	1,7±0,1	10,8	2,4±0,1	6,7
Невесинька	2,6±0,2	15,4	4,1±0,4	15,3	1,6±0,2	18,8	2,8±0,3	16,5
Одисеј	2,1±0,1	11,2	3,5±0,3	12,3	2,7±0,2	11,1	2,7±0,2	11,5
<i>Просек</i>	3,1±0,2	10,8	4,1±0,3	11,7	2,4±0,2	12,1		
	НЗР _{0,05} =0,619		НЗР _{0,05} =0,908		НЗР _{0,05} =0,636			
	НЗР _{0,01} =0,838		НЗР _{0,01} =1,231		НЗР _{0,01} =0,862			

У циљу сагледавања интеракције одабраних сорти са спољашњом средином, али и утврђивања статистичке значајности извора варијације приноса зрна, урађена је АММИ (модел главних ефеката и вишеструке интеракције: Additive Main Effects and Multiplicative Interaction) анализа варијансе. Ова анализа је показала да је удео главних ефеката у укупној суми квадрата износи 45,28%. Од тога је удео агроеколошких средина износио 30,57%, док је 14,71% био утицај генотипа. Интеракција генотип/спољна средина је заступљена са 35,94% (Табела 5). Разлике у вегетационим сезонама и разноврсност третмана, условили су високу суму квадрата еколошких фактора у укупној варијацији огледа и довели до тога да су они најодговорнији за

варирање приноса зрна пшенице. Сума квадрата интеракције генотип/спољна средина је 2,4 пута већа од суме квадрата генотипа, што значи да је између генотипова било значајних разлика у понашању у различитим агроеколошким срединама.

У даљем току анализе из суме квадрата интеракције издвојено је шест главних компоненти, од којих прва објашњава око 63,4% структуре интеракције. У другој главној компоненти садржано је око 14,2% суме квадрата интеракције (Табела 5). Заједно, прва и друга главна компонента објашњавају 77,6% укупне интеракције генотип/спољна средина и обе су биле статистички високо значајне.

С обзиром на висок удео прве главне компоненте у проучаваној интеракцији, у даљем току анализе приказани су АММ1 1 и АММ1 2 графикон, како би се стекао визуелни ефекат интеракције генотип/спољна средина.

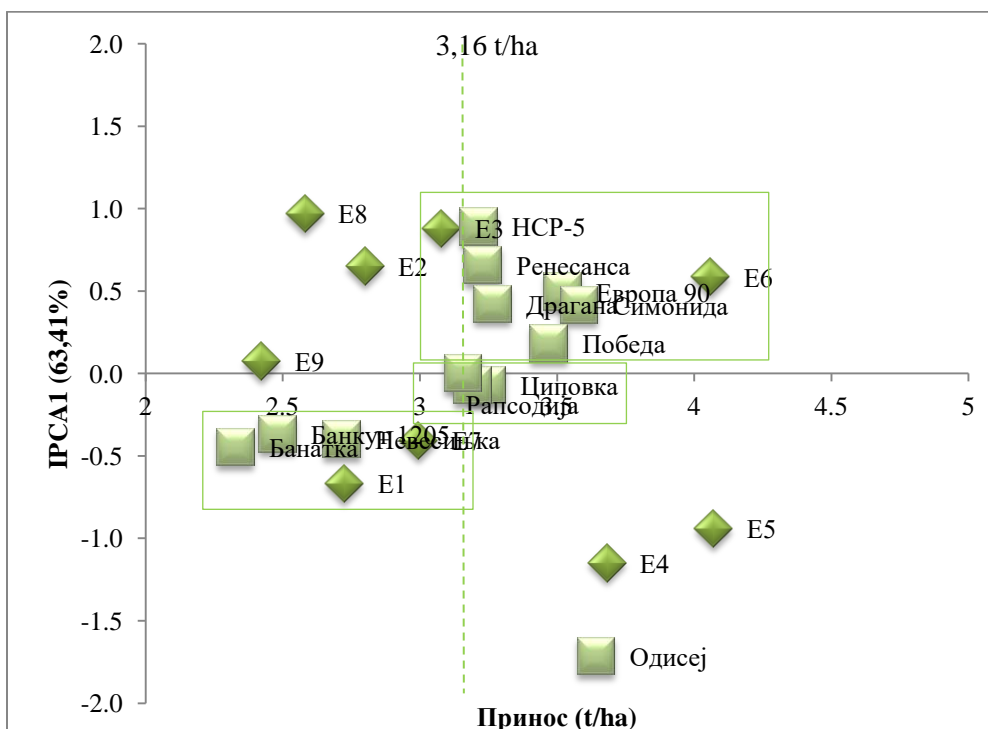
Табела 5. АММИ анализа варијансе за принос зрна (t/ha) 11 испитиваних генотипова пшенице и 1 генотипа тритикалеа у 9 агроколошких средина гајења

Извор варијације	Степени слободe	Средина квадрата	F вредност	F таблично		Удео у укупној варијацији %
				0,05	0,01	
Тотал	323	1,1	-	-	-	100
Третмани	107	2,8	**8,80	1,00	1,00	81,22
Генотипови	11	4,9	**15,51	1,83	2,32	14,71
Агро-еко средине	8	14,1	**40,34	1,94	2,51	30,57
Блокови	18	0,4	1,10	1,57	1,87	1,70
Интеракција	88	1,5	**4,74	1,00	1,00	35,94
IPCA₁	18	4,7	**14,68	1,57	1,87	63,41
IPCA₂	16	1,2	**3,71	1,57	1,87	14,26
IPCA₃	14	0,9	**2,85	1,75	2,18	9,56
IPCA₄	12	0,6	*1,96	1,75	2,18	5,64
IPCA₅	10	0,6	*1,92	1,83	2,32	4,60
IPCA₆	8	0,3	0,77	1,94	2,51	1,48
Остатак	10	0,1	0,44	1,83	2,32	-
Погрешка	198	0,3	-	-	-	-

Генотип Банатка имао је најмању просечну вредност приноса и једну од већих интеракцијских вредности (удаљеност од IPCA₁ осе). Ова појава се објашњава тиме да је принос ове сорте врло варијабилан у односу на посматране агроколошке средине. Дакле, ова сорта може да се сматра ниско приносном и врло нестабилном у погледу мелиоративних мера поправке солоњеца. Генотипови Банкут 1205 и Невесиња су се понашали слично као и сорта Банатка. Највиши принос остварила је сорта Одисеј. С обзиром да је Одисеј сорта тритикалеа, који је отпорнији на неповољне услове животне средине од пшенице, овакав резултат је био очекиван. Међутим, то не фаворизује ову сорту у поређењу са другима, с обзиром на његову велику

варијабилност у односу на спољну средину. Мале интеракцијске вредности и принос на нивоу просека огледа који су оствариле сорте Циповка и Рапсодија, условили су да се ови генотипови издвоје као најстабилнији и најпогоднији за гајење у условима солоњца. Сорта пшенице која је постигла највиши принос и добру стабилност је Победа. Посматрајући распоред сорти у односу на различите нивое поправке солоњца, закључује се да су током вегетационих сезона 2008/2009 и 2009/2010 на третману 50 t/ha фосфогипса постигнути највиши приноси већине генотипова (Победа, Симонида, Драгана, Европа 90, Ренесанса и НСР-5), График 1.

График 1. АММИ 1 биplot за процену интеракције генотип/спољна средина приноса зрна (t/ha) 11 испитиваних генотипова пшенице и 1 генотипа тритикалеа у 9 агроеколошких средина гајења



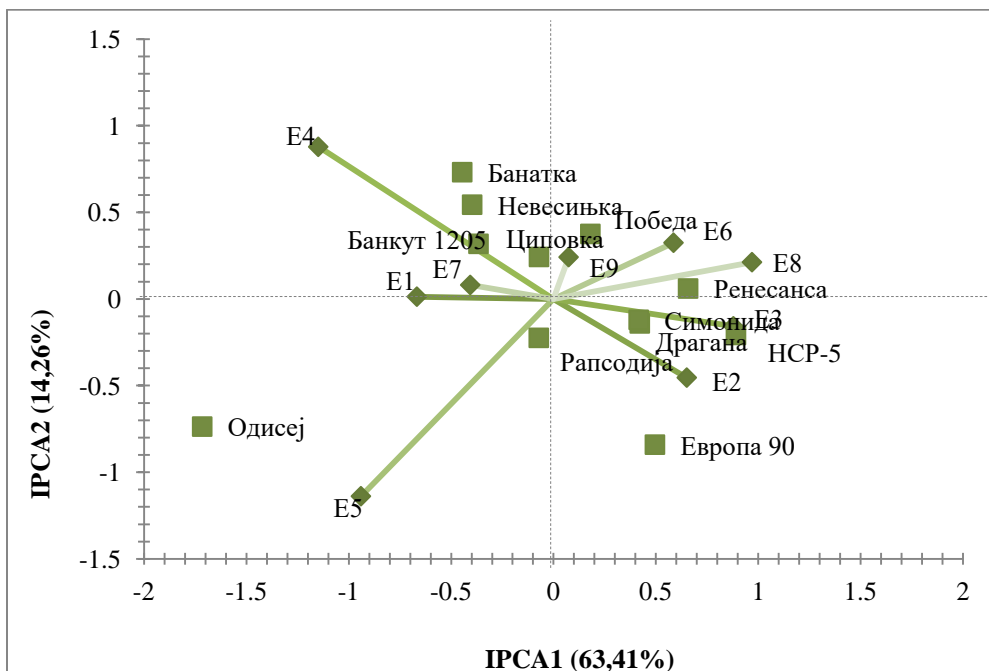
Када се посматра укупна варијација агроеколошких средина, у све три вегетационе сезоне извођења огледа, мултиваријациона компонента била је израженија од адитивне. То се уочава из начина на који су распоређене тачке по групама, које представљају вегетационе сезоне. Све три групе тачака: Е1, Е2 и Е3; Е4, Е5 и Е6, као и Е7, Е8 и Е9 су више расуте по ординати, него по апсциси. С обзиром да су генотипови Банатка и Банкут 1205 груписани око агроеколошке средине Е1 (солоњец без поправке, вегетациона сезона 2008/2009), то казује да су ова стара сорта и локална популација релативно најстабилнију реакцију испољили у неповољним условима гајења, График 1.

Резултати анализе АММИ 1 биплота за принос указују на правилност у груписању тачака агроеколошких средина које су репрезент солоњца без поправке (Е1, Е4 и Е7) и тачака које представљају услове мелиорисаног солоњца (Е2, Е3, Е6, Е8 и Е9). Све тачке контроле, којима теже генотипови Банатка, Банкут 1205 и Невесиња, се налазе у негативном делу ординате. Тачке за агроеколошке средине које су последица мелиорација солоњца налазе се изнад апсцисе, односно у позитивном делу ординате.

Према АММИ 2 биплоту за принос зрна, агроеколошке средине су показале одређене правилности у груписању. У првом квадранту биплота налазе се тачке које представљају контролну варијанту огледа, солоњец без поправке фосфогипсом (Е1, Е4 и Е7) у све три вегетационе сезоне испитивања. Позитивну интеракцију са овим срединама и добру прилагођеност најнеповољнијим условима солоњца показали су генотипови: Циповка, Банкут 1205, Невесиња и локална популација Банатка. Иако се генотип Циповка налази у поменутом квадранту, близина са тачком Е9 (третман са 50 t/ha фосфогипса у вегетационој

сезони 2010/2011) из другог квадранта биплота, упућује на то да је овај генотип добро искористио дати ниво поправке и управо на овом третману остварио најстабилнију реакцију за принос зрна, у поређењу са осталим испитиваним генотиповима. Уједно, тачка Е9 је најближа полазној тачки, па је ова агроколошка средина оцењена као најповољнија за постизање стабилне реакције за принос зрна пшенице. Услове солоњеца са поправком фосфогипсом у количинама од 50 t/ha у вегетационој сезони 2009/2010 (тачка Е6) и 25 t/ha у вегетационој сезони 2010/2011 (тачка Е8) добро су искористили генотипови Победа и Ренесанса, са којима су остварили и позитивну интеракцију, График 2.

График 2. АММИ 2 (IPCA₁ vs IPСА₂) биплот за процену интеракције генотип/спољна средина приноса зрна (t/ha) 11 испитиваних генотипова пшенице и 1 генотипа тритикалеа у 9 агроколошких средина гајења



Нивои поправке солоњца у вегетационој сезони 2008/2009 (тачке Е2 и Е3) погодовали су развоју генотипова: Симонида, Драгана, НСР-5 и Европа 90. Поред стабилне реакције генотипа Циповка, међу најстабилнијим издвојио се генотип Рапсодија, на третману са 25 t/ha у вегетационој сезони 2009/2010 (тачка Е5). Међутим, гледано на нивоу целог огледа, агроеколошка средина Е5 дала је најлошије услове за развој биљака и постизање стабилног приноса. Највећу удаљеност од полазне тачке биплота су имале тачке генотипова Европа 90 и тритикале Одисеј, што ове генотипове издваја као најнестабилније за остваривање приноса. Метеоролошке прилике током вегетационе сезоне 2009/2010, удружене са условима солоњца без поправке (тачка Е4) и са условима добијених поправком од 25 t/ha, генотиповима су најмање одговарали за постизање стабилног приноса, График 2.

Појединачан приказ биохемисјких параметар, тј. ензимских и неензимских компоненти антиоксидантног система, показао је да постоје значајне разлике између генотипова. Ради бољег прегледа реакције генотипова на стрес изазван својствима солоњца, резултати су приказани у табели (Табела 6). За већину испитиваних компоненти, генотипови Банатка и Банкут 1205 су најбоље поднели стрес. Генотип Рапсодија се, од осталих, издвојио са добром реакцијом када се посматра ензимска компонента, а генотип Ренесанса када се сагледа неензимска активност, Табела 6. Према резултатима DPPH-теста у фази цветања, генотипови пшенице су инактивни у погледу неутрализације радикала, изузев генотипова Невесиња и Одисеј који су сврстани у групу средње активних. У фази млечне зрелости, средње активни су били генотипови Банкут 1205, Одисеј и Рапсодија, остали генотипови припадају групи инактивних.

Најмања оштећења ћелијских мембрана имао је генотип Невесиња, док је интензитет липидне пероксидације био највећи код генотипова Банкут 1205 и Одисеј. По садржају растворљивих протеина, као маркеру интензитета метаболизма укупних ћелијских протеина, али и као показатељу разградње аминокиселина, најбољи резултат су остварили генотипови Циповка и Невесиња. Ниска вредност коефицијента варијације за ово својство, на нивоу општег просека ($V=3,09\%$), показала је веома хомоген генетички материјал.

Табела 6. Реакција испитиваних генотипова на стресне услове у зависности од компоненте антиоксидантног система

		Више толерантан према стресу	Мање толерантан према стресу
Ензимска компонента антиоксидантног система	SOD	Невесиња	Победа
	GPx	Циповка	Ренесанса
	PPx	Банатка и Рапсодија	Ренесанса
	PAL	Рапсодија, Банкут1205 и Банатка	Невесиња
Неензимска компонента антиоксидантног система	GSH	Банатка	Европа 90
	Укупни феноли	Ренесанса ^{ЦВ*}	Невесиња ^{ЦВ}
		Банкут 1205 ^{МЗ*}	НСР-5 ^{МЗ}
	Укупни танини	Ренесанса ^{ЦВ}	Невесиња ^{ЦВ}
Симонида ^{МЗ}		НСР-5 ^{МЗ}	
<i>*^{ЦВ} резултат у фази цветања; *^{МЗ} резултат у фази млечне зрелости</i>			

Изразита полигена природа приноса и његова зависност од других компоненти, али и хетерогеност метеоролошких услова током испитиваних вегетационих сезона и услова земљишта, довели су до израженог варирања приноса. Просечне вредности приноса кретале су се од 2,4 t/ha на третману са 50 t/ha фосфогипса у сезони 2010/2011 до 4,1 t/ha на мелиорисаном солоњцу (оба посматрана третмана) током вегетационе сезоне 2009/2010 АММИ анализом је потврђен висок удео

суме квадрата агроеколошких средина у укупној варијацији приноса зрна, што указује да су испитивани услови земљишта и вегетационих сезона, били различити у испољавању свог ефекта на принос. Овакав резултат сагласан је са резултатима **Naroui Rad et al. (2013)**, по којима чиниоци спољне средине у већој мери условљавају реализацију приноса, него што то чини генотип. Трећа вегетациона сезона истраживања била је једна од најуспешнијих за производњу стрних жита у протеклих 20 година у Републици Србији. Остварени су рекордни просечни приноси озиме пшенице (4,5 t/ha). Томе су допринели скоро идеални временски услови, али и боља обрада земљишта, примена минералних ђубрива, а било је и мањих губитака у жетви и транспорту зрна, него у ранијим производним годинама. Међутим, овакве прилике нису се пресликале на оглед постављен у селу Кумане, с обзиром да су приноси испитиваних генотипова били најнижи управо у овој вегетационој сезони, посебно на третманима са фосфогипсом. Разлог за овакву појаву је садејство абиотичких фактора којима су биљке биле изложене на датом локалитету. Наиме, после зимског периода мировања, усев се нормално развијао и започео фазу влатања, када је уследио период суше. У другој половини априла, нарочито током последње декаде, слабе падавине, релативно високе температуре ваздуха и јаки ветрови на овом подручју допринели су да се површински слој земљишта исуши, што је значајно оштетило усев. Стање влажности се поправило током маја, али у трећој декади уследили су интензивни пљускови. Количина падавина је била значајно виша од вишегодишњег просека. С обзиром да је солоњец земљиште са дубоким непропусним слојем глине, а конфигурација огледне парцеле је са микродепресијама посебно на деловима где је солоњец мелиорисан фосфогипсом, водолежине су биле доминантна појава на

том делу парцеле. То је значајно ослабило усев, а резултирало је ниским приносом. Ако се посебно упореде просечне вредности генотипова добијених на третману са 25 t/ha и третману са 50 t/ha фосфогипса, уочавају се мање разлике између њих, него када се упореде приноси добијени на земљишту без поправке фосфогипсом.

Када се посматрају тачке за агроеколошке средине које су последица мелиорација солоњеца уочава се да се налазе изнад апсцисе, односно у позитивном делу ординате. Значајно је то што се већина испитиваних генотипова груписала око ових средина, што упућује да су сорте добро реаговале на поправку солоњеца. Како су сорте реаговале на поправку, зависило је од године, што је и био разлог да прве две осе изнесу 77% варијације интеракције генотип/спољна средина, чија је детаљнија анализа спроведена тумачењем АММ12 биплота. Генотипови су најбоље реаговали на мере поправке солоњеца током сезоне 2009/2010 у којој су остварили највише приносе (4,1 t/ha). Међутим, уочава се и јасно раздвајање генотипова који су имали стабилну реакцију од оних са израженијом интеракцијом генотип/спољна средина. Генотипови са вишим приносима имали су и позитивну реакцију на боље услове средине. Неки генотипови су боље искористили редуковане услове плодности солоњеца да остваре најбољи принос. Варијабилност приноса испитиваних генотипова, на нивоу целог огледа, била је узрокована великом интеракцијом генотип/спољна средина (око 36%), која је била статистички високосначајна. Висок удео интеракције генотип/спољна средина утврђен је АММ1 анализом приноса пшенице (**Singh et al., 2009**). Узрок за овако велик удео мултиваријационе компоненте у укупној варијабилности је различита реакција генотипова на стресне услове солоњеца, али и на мере поправке. Последица великог удела

интеракције генотип/спољна средина за принос пшенице могла би да буде исказана у неправилном тумачењу резултата. То указује да је неопходно пронаћи мере које би довеле до смањења удела интеракције генотип/спољна средина, што би дало стабилније генотипове и боље прогнозе приноса. Овај закључак је у складу са истраживањима **Farshadfar et al. (2011)**. Једна од мера, која би решила овај проблем, могла би да буде циљна селекција генотипова, за специфичне услове гајења, којој би претходио одабир оних родитељских парова, који су у ранијим огледима издвојени као најстабилнији. Олакшавајућа околност у тумачењу великог утицаја интеракције генотип/спољна средина за принос пшенице је то што је највећи део интеракције (око 63%) објашњен првом главном компонентом (IPCA₁). Статистички значајан и висок удео ове компоненте у укупној интеракцији генотип/спољна средина потврђен је АММИ анализом приноса пшенице у раду **Mladenov et al. (2012)**, где је удео IPCA₁ износио око 57%. Положај тачака агроеколошких средина на биплоту упућује на закључак да је прва IPCA оса изнела варијабилност узроковану мерама поправке солоњца. Бољи увид у понашање генотипова у одређеним агроеколошким срединама и мања грешка у оцени стабилности добија се АММИ 2 анализом. У овом истраживању АММИ 2 анализа је објаснила 77,6% инетаркције генотип/спољна средина, остварене првом и другом интеракцијском осом. Оправданост коришћења ове анализе у процени стабилности приноса зрна пшенице потврђен је у радовима **Kaya et al. (2002)** и **Naroui Rad et al. (2013)**. Према АММИ 2 анализи приноса зрна, генотипови су стабилнију реакцију устварили у повољнијим условима животне средине (третмани фосфогипсом), него на солоњцу без поправке. Међутим, стабилност је у великој мери зависила и од услова метеоролошких параметара у испитиваним

сезонама. Испитијући стабилност приноса пшенице у наводњаваним и условима зависним само од атмосферских падавина, **Bavandpori et al. (2015)** су дошли до сличних закључака.

Неповољан утицај абиотичког стреса, изазваног повећаним концентрацијама соли у земљишту, на компоненте приноса и принос пшенице приказан је у радовима многих аутора. Према **Khan et al. (2014)** овај вид стреса значајно редукује дужину класа, број класића по класу, број зрна по класу и друге особине пшенице. Принос зрна пшенице под оваквим условима је ограничен слабијим бокорењем биљака, које дају мањи број класова и мање асимилатива у процесу фотосинтезе (**Al-Musa et al., 2014**).

Резултати анализе варијансе за испитивана својства пшенице, показали су да су сви извори варијације у огледу имали значајну улогу у експресији квантитативних својстава ове биљне врсте. Тачније, добијене су високозначајне вредности средине квадрата главног ефекта генотипа и ефекта агроекосредина, али и ефекта интеракције генотип/спољна средина код свих испитиваних својстава. Међу њима, појединачно главни ефекат генотипа био је предоминантан извор варијације код висине биљке (удео од 43,28% у суми квадрата укупне варијације огледа), што је разумљиво с обзиром на генетичку основу овог својства, где поред минор гена значајну улогу у наслеђивању имају и мајор *Rht* гени. Висок удео генотипа у варијацији висине пшенице својим истраживањима потврдили су и **Димитријевић и сар. (2009)**, као и **Бањац и сар. (2009)**.

Резултати испитиваних својстава пшенице показали су да је интеракција генотип/спољна средина била статистички високо значајна за сва својства, при чему је највећи удео имала за број зрна по класу (39,11% у укупној варијацији огледа). То указује да су генотипови

остварили мање стабилну реакцију када се посматра ово својство. Најмања стабилност је забележена код сорти креираних за интензивне услове ратарске производње (Драгана, Победа, Циповка и Рапсодија). Овакав резултат је у складу са истраживањима **Димитријевић и сар. (2005)** и **Petrović et al. (2010)**. Статистичка значајност интеракције генотип/спољна средина је и индикација да генотипови различито реагују на услове животне средине (земљиште и временске прилике) током испитиваних сезона. Овакав резултат је у сагласности са резултатима истраживања **Ayalneh et al. (2013)**, који су указали на различиту стабилност генотипова пшенице за принос зрна, испитивану на 5 локалитета.

С обзиром на сложеност метеоролошких параметара током вегетационих сезона у којима је извођен оглед, значајно је да се сагледа њихов утицај на фенотипску експресију компоненти приноса и приноса зрна испитиваних генотипова. На варијабилност већине анализираних својстава ефекат агроеколошких средина (године и третмани фосфогипсом), у односу на варијабилност огледа, имао је удела од 20-30%, изузев код висине биљке где је износио свега 3,55%.

Према **Peterson et al. (1992)** утицај спољне средине на генотип може да се сагледа из односа варијансе генотипа и варијансе интеракције генотип/спољна средина. Када је добијени однос већи од вредности 1,0 генетички фактори показују већу стабилност и јачи утицај на посматрано својство, него што има интеракција генотип/спољна средина. Најмањи однос добијен је за принос пшенице (0,41), из чега се закључује да је интеракција генотип/спољна средина имала велики утицај на ово својство. С обзиром да је принос комплексно својство чија је експресија условљена великим бројем компонената, појединачан допринос сваке компоненте може да буде

различит у разним условима агроеколошких средина. Релативно већи утицај интеракције генотип/спољна средина за принос указује да ово својство захтева тестирање у већем броју средина, да би се тачно проценио генетички потенцијал за то својство пшенице (**Христов, 2004**). Већи утицај интеракције генотип/спољна средина забележен је и за масу зрна по класу и за масу класа, где су односи између варијанси имали вредности 0,79 и 0,87. Већи удео варијансе генотипа од варијансе интеракције генотип/спољна средина за дужину класа (1,23), број зрна по класу (1,23) и за висину биљке (2,8), значи да су ове особине испољиле генетичку дивергентност у оквиру одабраног сета сорти.

Јаснији увид у утицај агроеколошких чинилаца на развој неког својства пружа херитабилност. Овај генетички параметар у однос поставља суму квадрата генотипа (варијанса генотипа) и укупну суму квадрата огледа, добијене анализом варијансе (**Младенов и сар., 2021**). Иако су сва испитивана својства, у овом огледу, квантитативна, што значи да имају нижу херитабилност и већу зависност од чинилаца спољне средине, разлике између њих постоје. Најмања зависност од деловања спољне средине је утврђена за висину биљке (утицај спољне средине 57%), док је највећа код приноса зрна (утицај спољне средине 85%), што се објашњава претходно описаним системима наслеђивања ових својстава пшенице.

Анализујући приносе зрна, као сублимате свих претходно анализованих компоненти, које су генотипови остварили на испитиваном локалитету Кумане, на земљишту без третмана фосфогипсом и на два нивоа поправке, уочавају се следеће тенденције, Табела 7.

Табела 7. Средња вредност (\bar{x}) приноса зрна (t/ha), ранг и генетички потенцијал за принос зрна (%) испитиваних генотипова пшенице и тритикалеа на локалитету Кумане (на нивоу целог огледа) у односу на локалитет Римски Шанчеви (вишегодишњи просеци)

Генотип	Римски Шанчеви *		Кумане								
			Контрола, без третмана			Примењено 25 t/ha фосфогипса			Примењено 50 t/ha фосфогипса		
	\bar{x} (t/ha)	Ранг	\bar{x} (t/ha)	Ранг	ГП** (%)	\bar{x} (t/ha)	Ранг	ГП** (%)	\bar{x} (t/ha)	Ранг	ГП** (%)
Ренесанса	7,2	4	2,9	6	40,3	3,2	5	44,4	3,6	3	50,0
Победа	7,3	3	3,5	2	48,3	3,4	4	46,9	3,5	4	48,3
Европа 90	6,8	7	2,8	7	41,2	4,1	1	60,3	3,7	2	54,4
НСР-5	6,9	6	2,3	9	33,3	3,5	3	50,7	3,8	1	55,1
Драгана	6,6	8	2,8	7	42,4	3,4	4	51,5	3,6	3	54,5
Рапсодија	7,1	5	3,2	4	45,1	3,4	4	47,9	2,9	6	40,8
Симонида	7,8	1	3,3	3	42,6	3,6	2	46,5	3,8	1	49,0
Циповка	7,6	2	3,5	2	46,4	3,1	6	41,1	3,2	5	42,4
Банатка	5,3	9	2,8	7	53,3	2,0	9	38,1	2,2	10	41,9
Банкут 1205	4,8	10	2,6	8	54,2	2,4	7	50,0	2,4	9	50,0
Невесиња	6,6	8	3,1	5	47,0	2,3	8	34,8	2,8	7	42,4
Одисеј	7,3	3	4,7	1	64,6	3,5	3	48,1	2,7	8	37,1

* Резултати представљају вишегодишње просеке приноса зрна испитиваних генотипова.

** ГП-генетички потенцијал за принос зрна, где се максималним генетичким потенцијалом (100%) сматра резултат приноса зрна остварен на локалитету Римски Шанчеви

Приметна је измена ранга генотипова, што је последица различите реакције генотипова на варијацију фактора спољне средине. Оваква реакција се одражава и повећаним уделом интеракције генотип/спољна средина у укупној варијацији огледа. Уочена измена ранга, оправдава употребу АММІ модела за процену стабилности сложеног својства, какво је принос зрна. С обзиром, да је ово истраживање укључивало неколико група генотипова, које су направљене према времену признавања од стране сортних Комисија, оне могу да буду и показатељи праваца одговарајућих оплемењивачких програма пшенице. Ово је утицало и на различиту реакцију генотипова на стресне услове солоњца. У циљу сагледавања ове реакције, извршена је упоредна анализа резултата са локалитета Кумане, са резултатима оствареним у повољним условима животне средине, какви владају на локалитету Римски Шанчеви. Ови услови подразумевају гајење пшенице на земљишту типа чернозем, које је најповољнији тип земљишта за ратарску производњу уопште, али и повољније услове климе и агротехничких мера, у поређењу са онима на локалитету Куамне.

3.2 Принос зрна пшенице у различитим агроеколошким срединама

У истраживањима које смо спровели је коришћено 96 генотипова озиме хексаплоидне пшенице ($2n=42$ хромозома), од којих је 93 створено у Институту за ратарство и повртарство у Новом Саду. Три генотипа (Обриј, Фундулеа 4 и Хејс 2) су стране сорте, коришћене као материјал у циљу провере квалитета и приноса зрна (Табела 8). При одабиру генотипова тежиште је на максималној разноликости у погледу генетичког порекла и стварању репрезентативног генетичког узорка. На овај начин би се приказао материјал заступљен у српском оплемењивању, као и раније коришћени генотипови, шире заступљени у производњи. Од 96 коришћених сорти, 94 су представници хлебне, хексаплоидне пшенице (*Triticum aestivum*), док су два генотипа представници крупника (*Triticum spelta*) и пшенице компактум (*Triticum compactum*). У даљем тексту за све сорте признате до 2000. године термин „старије“ сорте ће да буде коришћен.

Табела 8. Анализовани генотипови пшенице

<i>P. бр.</i>	<i>Генотип</i>	<i>Г пр.</i>	<i>P. бр.</i>	<i>Генотип</i>	<i>Г пр.</i>	<i>P. бр.</i>	<i>Генотип</i>	<i>Г пр.</i>
G1	Песма	1995	G36	НС 40С	2006	G71	НС3-7289	Ком
G2	Ренесанса	1994	G37	Теодора	2006	G72	НС Пударка	2013
G3	Обриј	1983	G38	Етида	2006	G73	НС3-6767/2	Ком
G4	НС рана 5	1991	G39	Исидора	2007	G74	Сава	1970
G5	Победа	1990	G40	Гордана	2008	G75	Партизанка	1973
G6	Европа 90	1990	G41	Гора	2009	G76	НС рана 2	1975
G7	Љиљана	2000	G42	Биљана	2009	G77	Балкан	1979
G8	Соната	2000	G43	Наталија	2009	G78	Посавка 2	1979
G9	Вила	2001	G44	НС Десетка	2010	G79	Југославија	1980
G10	Кантата	2001	G45	НС Нена	2010	G80	Ласта	1987
G11	Циповка	2002	G46	НС Дика	2010	G81	Родна	1988
G12	Драгана	2002	G47	НС Арабеска	2010	G82	Тамиш	1988
G13	Јефимија	2003	G48	НС Артемида	2010	G83	Даница	1990
G14	Балада	2003	G49	НС Емина	2010	G84	Протеинка	1990
G15	Рапсодија	2003	G50	НС Авангарда	2010	G85	Рана ниска	1990
G16	Арија	2003	G51	НС Футура	2010	G86	Милица	1992
G17	Симфонија	2003	G52	НС Илина	2010	G87	Хејс 2	19
G18	Симонида	2003	G53	НС Енигма	2010	G88	Дивна	1994
G19	Балерина	2003	G54	НС Тавита	2011	G89	Прима	1995
G20	Дива	2003	G55	НС 91/04	Ком	G90	Тера	1995
G21	Астра	2003	G56	НС 50/07	Ком	G91	Тиха	1995
G22	Хелена	2004	G57	НС 269/08	Ком	G92	Прва	1997
G23	Ода	2004	G58	НС 48/08	Ком	G93	Златка	1997
G24	Миљана	2004	G59	НС3-6954	Ком	G94	Мина	1997
G25	Нирвана	2004	G60	НС3-6741	Ком	G95	Делта	1998
G26	Бамби	2004	G61	НС3-6926	Ком	G96	Соња	1998
G27	Лана	2005	G62	НС 36/10	Ком			
G28	Звездана	2005	G63	НС 168/10	Ком			
G29	Јања	2005	G64	НС 55/10	Ком			
G30	Фундулеа 4	1987	G65	НС 176/10	Ком			
G31	Бастијана	2005	G66	НС 128/10	Ком			
G32	Дама	2006	G67	НС 151/10	Ком			
G33	Срма	2006	G68	НС3-7106	Ком			
G34	Ангелина	2006	G69	НС3-6706/2	Ком			
G35	Барбара	2006	G70	НС3-6939	Ком			

Оглед је постављен по случајном блок систему у четири понављања, на два локалитета: Нови Сад (45.323 с.г.ш. и 19.848 и.г.д.) и Сремска Митровица (45.008 с.г.ш. и 19.526 и.г.д.) у току 2011/2012 и 2012/2013. године. Примењена је уобичајена агротехника за производњу пшенице на свим парцелама где су огледи изведени. Предусев на свим локалитетима је била соја. Величина основне парцеле је износила 2m², размак између редова са континуираном

сетвом 10 cm, а размак између парцелица 25cm. Сетва огледа је обављена у Новом Саду и у Сремској Митровици у оптималним роковима, у другој половини октобра. Жетва је обављена у фази пуне зрелости и када је садржај влаге у зрну био мањи од 15%, крајем јуна. Жетва је обављена ручно, чупањем целих биљака са кореном, при чему су одмах на парцели формирани снопови, засебни за свако понављање унутар једног генотипа. Узорак за даља испитивања био је 50 x 50cm, при чему је одстрањен утицај рубних редова.

Принос

У циљу сагледавања варијабилности приноса испитиваних генотипова на нивоу целог огледа, извршена је основна статистичка анализа резултата огледа добијених по локалитетима где је оглед изведен и вегетационим сезонама обухваћеним испитивањем. Као показатељ мере централне тенденције приказана је средња вредност (\bar{x}), док је за квантификовање фенотипске варијабилности испитиван коефицијент варијације (V). Разлог за избор управо ова два статистичка параметра је био у томе што би праћењем средњих вредности по агроколошким срединама, добиле прелиминарне информације о делу варијације у огледу, која је адитивне природе, док коефицијент варијације омогућава да се стекне општи увид у мултиваријациону компоненту варирања огледа.

Табела 9. Табела средњих вредности (и коефицијената варијације (V) приноса 94 генотипова пшенице (*Triticum vulgare* L.) и по један генотип *T. spelta* L. (Нирвана) и *T. compactum* Host (Бамби) гајених у две године (2011/2012. и 2012/2013.) на два локалитета (Нови Сад и Сремска Митровица)

Генотип	Веgetациона сезона 2011/2012						Веgetациона сезона 2012/2013						Просек за све агроколошке средине	
	Нови Сад		Сремска Митровица		Просек		Нови Сад		Сремска Митровица		Просек			
	\bar{x}	V	\bar{x}	V	\bar{X}_G	\bar{V}_G	\bar{x}	V	\bar{x}	V	\bar{X}_G	\bar{V}_G	\bar{X}_G	V_G
Песма	6.9	3.6	5.9	4.2	6.4	3.9	10.5	2.4	9.0	2.8	9.8	2.6	8.1	3.3
Ренесанса	11.5	2.2	7.9	3.2	9.7	2.7	10.9	2.3	6.8	3.7	8.8	3.0	9.3	2.8
Обриј	9.4	2.7	4.7	5.3	7.1	4.0	6.7	3.7	8.7	2.9	7.7	3.3	7.4	3.6
НС рана 5	8.0	3.1	6.1	4.1	7.0	3.6	8.0	3.1	11.9	2.1	10.0	2.6	8.5	3.1
Победа	9.4	2.6	6.3	4.0	7.9	3.3	7.4	3.4	9.7	2.6	8.5	3.0	8.2	3.1
Европа 90	8.0	3.1	4.7	5.3	6.3	4.2	8.3	3.0	11.8	2.1	10.1	2.6	8.2	3.4
Љиљана	8.3	3.0	7.5	3.3	7.9	3.2	7.8	3.2	8.4	3.0	8.1	3.1	8.0	3.1
Соната	8.2	3.1	7.3	3.4	7.7	3.2	8.9	2.8	9.5	2.6	9.2	2.7	8.5	3.0
Вила	8.2	3.0	8.8	2.8	8.5	2.9	7.2	3.5	8.4	3.0	7.8	3.2	8.2	3.1
Кантата	7.5	3.3	6.6	3.8	7.1	3.5	9.2	2.7	7.7	3.3	8.4	3.0	7.8	3.3
Циповка	7.6	3.3	6.0	4.2	6.8	3.7	9.0	2.8	9.1	2.7	9.1	2.8	7.9	3.2
Драгана	8.8	2.8	9.7	4.2	9.2	3.5	7.0	2.8	9.6	2.7	8.3	2.8	8.8	3.1
Јефимија	9.0	2.8	10.8	2.9	9.9	2.9	8.5	2.8	10.0	2.5	9.2	2.6	9.6	2.8
Балада	9.1	2.7	6.8	3.7	8.0	3.2	11.0	2.7	15.1	1.7	13.0	2.2	10.5	2.7
Рапсодија	8.1	3.1	6.3	4.0	7.2	3.5	7.1	3.1	6.9	3.6	7.0	3.3	7.1	3.4
Арија	8.8	2.9	5.9	4.2	7.4	3.5	7.1	3.5	14.5	1.7	10.8	2.6	9.1	3.1
Симфонија	9.2	2.7	11.3	2.2	10.2	2.5	6.6	2.6	6.8	3.7	6.7	3.2	8.4	2.8
Симонида	8.8	2.9	6.0	4.1	7.4	3.5	6.7	3.0	8.7	2.9	7.7	2.9	7.6	3.2

Еколошки и агрономски изазови производње пшенице у АП Војводини

Балерина	9.3	2.7	4.8	5.2	7.0	4.0	7.3	3.3	8.2	3.0	7.7	3.2	7.4	3.6
Дива	8.3	3.0	7.5	3.3	7.9	3.2	8.1	3.1	8.1	3.1	8.1	3.1	8.0	3.1
Астра	10.8	2.3	6.1	4.1	8.4	3.2	7.8	3.2	9.3	2.7	8.5	3.0	8.5	3.1
Хелена	8.0	3.1	6.3	3.9	7.2	3.5	7.6	3.3	8.8	2.8	8.2	3.1	7.7	3.3
Ода	9.2	2.7	6.4	3.9	7.8	3.3	7.2	3.5	10.1	2.5	8.6	3.0	8.2	3.1
Милијана	8.1	3.1	6.6	3.8	7.3	3.4	8.4	3.0	9.9	2.5	9.2	2.7	8.2	3.1
Нирвана	3.7	6.7	5.0	5.0	4.4	5.8	8.0	3.1	5.0	5.0	6.5	4.1	5.4	5.0
Бамби	6.0	4.1	5.2	4.8	5.6	4.5	6.1	4.1	4.6	5.5	5.3	4.8	5.5	4.6
Лана	9.4	2.7	4.5	5.5	7.0	4.1	7.1	3.5	10.2	2.5	8.6	3.0	7.8	3.5
Звездана	7.5	3.3	6.5	3.8	7.0	3.6	6.3	4.0	7.3	3.4	6.8	3.7	6.9	3.6
Јања	9.2	2.7	6.9	3.6	8.0	3.2	7.6	3.3	10.3	3.6	8.9	3.5	8.5	3.3
Фундулеа 4	8.8	2.8	6.5	3.9	7.7	3.3	8.4	3.0	11.7	2.1	10.1	2.5	8.9	2.9
Басијана	10.3	2.4	8.5	3.0	9.4	2.7	9.2	2.7	8.4	3.0	8.8	2.8	9.1	2.8
Дама	8.4	3.0	6.9	3.6	7.6	3.3	10.1	2.5	8.9	2.8	9.5	2.6	8.6	3.0
Срна	9.0	2.8	7.5	3.3	8.2	3.1	9.9	2.5	9.3	2.7	9.6	2.6	8.9	2.8
Ангелина	8.1	3.1	4.5	5.6	6.3	4.3	9.8	2.6	10.3	2.4	10.0	2.5	8.2	3.4
Барбара	7.5	3.3	9.1	2.7	8.3	3.0	5.8	4.3	10.0	2.5	7.9	3.4	8.1	3.2
НС 40С	9.7	2.6	5.2	4.8	7.4	3.7	8.6	2.9	11.1	2.3	9.9	2.6	8.6	3.1
Теодора	6.6	3.8	6.1	4.1	6.3	4.0	10.6	2.4	7.9	3.2	9.3	2.8	7.8	3.4
Етида	7.0	3.6	7.5	3.3	7.2	3.5	11.1	2.3	8.6	2.9	9.8	2.6	8.5	3.0
Исидора	9.5	2.6	8.4	3.0	9.0	2.8	9.1	2.8	7.9	3.2	8.5	3.0	8.7	2.9
Гордана	6.5	3.9	7.2	3.5	6.8	3.7	8.6	2.9	9.8	2.6	9.2	2.7	8.0	3.2
Гора	7.3	3.4	6.3	4.0	6.8	3.7	7.4	3.4	11.0	2.3	9.2	2.8	8.0	3.3
Биљана	8.8	2.8	7.3	3.4	8.1	3.1	8.6	2.9	9.7	2.6	9.2	2.7	8.6	2.9
Нагалија	8.9	2.8	7.7	3.2	8.3	3.0	8.9	2.8	8.0	3.1	8.5	3.0	8.4	3.0
НС Десетка	8.9	2.8	5.1	4.9	7.0	3.9	6.2	4.0	11.0	2.3	8.6	3.2	7.8	3.5
НС Нена	11.8	2.1	8.0	3.1	9.9	2.6	8.1	3.1	10.0	2.5	9.0	2.8	9.5	2.7
НС Дика	8.0	3.1	5.3	4.8	6.6	3.9	8.7	2.9	8.3	3.0	8.5	3.0	7.5	3.4
НС Арабеска	9.3	2.7	5.5	4.8	7.4	3.7	5.4	2.9	11.9	3.0	8.7	3.0	8.0	3.3
НС Артемида	9.8	2.5	10.2	2.5	10.0	2.5	6.1	4.1	9.2	2.7	7.7	3.4	8.8	2.9
НС Емина	6.7	3.7	7.1	3.5	6.9	3.6	5.5	4.6	8.5	2.9	7.0	3.8	6.9	3.7
НС Авангарда	6.9	3.6	6.5	3.8	6.7	3.7	7.0	3.6	9.3	2.7	8.1	3.1	7.4	3.4

Еколошки и агрономски изазови производње пшенице у АП Војводини

НС Футура	9.9	2.5	10.1	3.8	10.0	3.2	8.2	3.6	8.6	2.7	8.4	3.1	9.2	3.2
НС Илина	9.3	2.7	6.5	3.9	7.9	3.3	8.9	2.8	10.9	2.3	9.9	2.6	8.9	2.9
НС Енигма	11.2	2.2	8.1	3.1	9.7	2.7	8.1	3.1	9.4	2.7	8.7	2.9	9.2	2.8
НС Тавита	9.5	2.6	7.9	3.2	8.7	2.9	6.3	4.0	9.2	2.7	7.8	3.3	8.2	3.1
НС 91/04	9.7	2.6	7.0	3.6	8.3	3.1	9.3	2.7	8.7	2.9	9.0	2.8	8.7	2.9
НС 50/07	11.5	2.2	4.2	6.0	7.8	4.1	8.5	2.9	9.5	2.6	9.0	2.8	8.4	3.4
НС 269/08	7.8	3.2	6.4	3.9	7.1	3.6	7.8	3.2	10.9	2.3	9.4	2.7	8.2	3.2
НС 48/08	10.1	2.5	9.8	2.5	10.0	2.5	9.6	2.6	10.0	2.5	9.8	2.6	9.9	2.5
НС3-6954	8.4	3.0	9.6	2.6	9.0	2.8	6.2	4.0	8.4	3.0	7.3	3.5	8.1	3.2
НС3-6741	10.4	2.4	6.8	3.7	8.6	3.0	8.1	3.1	8.5	3.0	8.3	3.0	8.4	3.0
НС3-6926	9.3	2.7	9.0	2.8	9.1	2.7	6.7	3.7	7.1	3.5	6.9	3.6	8.0	3.2
НС 36/10	11.9	2.1	5.6	4.4	8.8	3.3	9.5	2.6	9.2	2.7	9.4	2.7	9.1	3.0
НС 168/10	7.6	3.3	7.8	3.2	7.7	3.3	8.1	3.1	7.7	3.2	7.9	3.2	7.8	3.2
НС 55/10	8.9	2.8	8.4	3.0	8.7	2.9	8.4	3.0	8.4	3.0	8.4	3.0	8.5	2.9
НС 176/10	9.8	2.6	8.3	3.0	9.0	2.8	6.9	3.6	8.5	2.9	7.7	3.3	8.4	3.0
НС 128/10	9.6	2.6	5.5	4.5	7.6	3.6	7.3	3.4	7.2	3.5	7.3	3.4	7.4	3.5
НС 151/10	8.3	3.0	6.7	3.7	7.5	3.4	6.7	3.7	8.1	3.1	7.4	3.4	7.5	3.4
НС3-7106	9.9	2.5	8.3	3.0	9.1	2.8	9.0	2.8	12.5	2.0	10.7	2.4	9.9	2.6
НС3-6706/2	9.4	2.7	5.4	4.6	7.4	3.6	8.2	3.0	9.4	2.7	8.8	2.9	8.1	3.2
НС3-6939	8.7	2.9	9.4	2.6	9.1	2.8	9.4	2.6	7.6	3.3	8.5	3.0	8.8	2.9
НС3-7289	7.8	3.2	8.7	2.9	8.3	3.0	7.8	3.2	10.8	2.3	9.3	2.8	8.8	2.9
НС Пударка	10.0	2.5	7.4	3.4	8.7	3.0	5.9	4.3	9.5	2.6	7.7	3.4	8.2	3.2
НС3-6767/2	7.2	3.5	7.1	3.5	7.2	3.5	10.0	2.5	8.8	2.8	9.4	2.7	8.3	3.1
Сава	7.0	3.6	6.9	3.5	6.9	3.5	6.1	2.5	7.7	2.8	6.9	2.7	6.9	3.1
Партизанка	9.4	2.7	7.8	3.2	8.6	2.9	10.2	2.5	8.8	2.8	9.5	2.7	9.0	2.8
НС рана 2	8.5	2.9	5.8	4.3	7.2	3.6	6.7	3.7	9.3	2.7	8.0	3.2	7.6	3.4
Балкан	9.0	2.8	5.7	4.4	7.4	3.6	4.2	5.9	11.0	2.3	7.6	4.1	7.5	3.8
Посавка 2	8.8	2.8	6.6	3.8	7.7	3.3	6.9	3.6	11.8	2.1	9.4	2.9	8.5	3.1
Југославија	7.5	3.3	6.6	3.8	7.1	3.5	6.9	3.6	7.1	3.5	7.0	3.6	7.0	3.6
Ласта	8.8	2.8	7.5	3.3	8.2	3.1	7.5	3.3	7.0	3.6	7.2	3.5	7.7	3.3
Родна	7.5	3.3	7.3	3.4	7.4	3.4	5.9	4.2	10.8	2.3	8.3	3.3	7.9	3.3
Тамиш	9.8	2.5	4.9	5.1	7.4	3.8	6.7	3.8	13.0	1.9	9.8	2.8	8.6	3.3

Еколошки и агрономски изазови производње пшенице у АП Војводини

Даница	8.1	3.1	9.2	2.7	8.6	2.9	6.3	4.0	9.8	2.5	8.0	3.3	8.3	3.1
Протейнка	6.8	3.7	6.9	3.6	6.9	3.6	6.3	3.9	11.7	2.1	9.0	3.0	7.9	3.3
Рана ниска	8.8	2.8	5.9	4.2	7.3	3.5	6.3	4.0	6.8	3.7	6.5	3.8	6.9	3.7
Милица	5.9	4.2	6.6	3.8	6.3	4.0	9.4	2.7	11.0	2.3	10.2	2.5	8.3	3.2
Хејс 2	5.3	4.7	4.6	5.4	5.0	5.0	4.2	6.0	7.0	3.6	5.6	4.8	5.3	4.9
Дивна	8.1	3.1	7.0	3.6	7.6	3.3	8.2	3.1	7.8	3.2	8.0	3.1	7.8	3.2
Прима	9.0	2.8	6.3	4.0	7.6	3.4	8.1	3.1	7.9	3.1	8.0	3.1	7.8	3.2
Тера	7.3	3.4	6.6	3.8	7.0	3.6	8.4	3.0	7.4	3.4	7.9	3.2	7.4	3.4
Тиха	12.2	2.1	10.9	2.3	11.6	2.2	8.2	3.1	12.8	2.0	10.5	2.5	11.0	2.3
Прва	8.4	3.0	6.5	2.3	7.5	2.6	9.9	3.1	8.0	2.0	9.0	2.5	8.2	2.6
Златка	8.8	2.8	9.5	2.3	9.1	2.6	7.6	3.1	9.6	2.0	8.6	2.5	8.9	2.5
Мина	8.1	3.1	5.3	4.7	6.7	3.9	9.2	2.7	9.0	2.8	9.1	2.7	7.9	3.3
Делта	7.9	3.2	8.6	2.9	8.2	3.0	8.1	3.1	6.8	3.7	7.4	3.4	7.8	3.2
Соња	9.3	2.7	8.4	3.0	8.8	2.8	8.8	2.9	7.7	3.2	8.3	3.0	8.5	2.9
\bar{X}_E	8.6		7.0		7.8		7.9		9.2		8.5		8.2	
\bar{V}_E		3.0		3.7		3.4		3.2		2.8		3.0		3.2
													НЗР _{0.05} = 0.2	
													НЗР _{0.01} = 0.3	
Параметри основне статистике коришћени у табели: \bar{x} -просек (cm); V-коэффициент варијације (%); НЗР-тест најмањих заједничких разлика														

Просечна вредност приноса у различитим агроеколошким срединама се кретала од 7.0 t/ha на локалитету Сремска Митровица у жетвеној 2012. години до 9.2 t/ha, што је био двогодишњи просек приноса зрна на локалитету Сремска Митровица 2013-е године (Табела 9). На основу основних статистичких показатеља се уочава да су године биле примарни извор варијације средњих вредности приноса. Коefицијенти варијације су били ниски, од $V=2.8\%$ Сремска Митровица у вегетационој сезони 2012/13., до $V=3.7\%$ за локалитет Сремска Митровица у вегетационој сезони 2011/12. Генотипским просечним вредностима и коefицијентима варијације је праћено индивидуално понашање појединих генотипова у узорку током периода извођења огледа на одабраним локалитетима. Статистички високо значајно су се издвојиле средње вредности генотипова Прва, Рапсодија и НС 6706/2, са највишим вредностима приноса зрна ($11.0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, $10.5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ и $9.9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, по редоследу). Минималне вредности приноса зрна су оствариле сорте Дивна и Бамби ($5.3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ и $5.4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Варирање унутар испитиване особине приноса зрна је било највише код сорте Бамби, док је код хексаплоидних, обичних пшеница било код сорте Дивна ($V=5.0\%$, односно $V=4.9\%$). Минимално варирање у двогодишњем огледу је остварила сорта Прва ($V=2.3\%$), која је уједно остварила и највиши принос од свих испитиваних генотипова. Сорта Мина забележила је, такође, низак коefицијент варијације ($V=2.5\%$).

АММИ анализа варијансе приноса испитиваних генотипова је показала да удео главних ефеката у укупној суми квадрата износи 44.9%. Од тога је удео генотипа већи и износи 24.84%, док је удео агроеколошких средина 21.06%. Интеракција генотипа и спољашње средине је такође статистички високо значајна и њен удео у укупној варијацији је 51.58% (Табела 10). Велике разлике између локалитета и

година су условиле високу суму квадрата еколошких фактора у укупној варијацији огледа и довели су до чињенице да су они најодговорнији за варирање приноса пшенице. У даљем току анализе из суме квадрата интеракције издвојене су две значајне осе, које објашњавају и највећи део интеракције.

Табела 10. АММИ анализа варијансе за принос за 94 генотипа пшенице (*Triticum vulgare* L.) и по један генотип *T. spelta* L. (Нирвана) и *T. compactum* Host (Бамби) гајених у две године (2011/2012. и 2012/2013.) на два локалитета (Нови Сад и Сремска Митровица)

Извор варијације	Степени слободе	Сума квадрата	Средина квадрата	F вредност	F таблично		Удео у укупној варијацији %
					0,05	0,01	
Тотал	1535	4895	3.19	-	-	-	100
Третмани	383	4772	12.46	117.03**	1,00	1,00	97.49
Генотипови	95	1216	12.8	120.18**	1,00	1,00	24.84
Агроeko.средине	3	1031	343.8	2685.09**	2.6	3.78	21.06
Блокови	12	2	0.13	1.2	1.75	2.18	0.04
Интеракција	285	2525	8.86	83.22**	1,00	1,00	51.58
IPCA₁	97	1152	11.88	111.58**	1,00	1,00	45.62*
IPCA₂	95	781	8.22	77.16**	1,00	1,00	30.93
Остатак	93	592	6.37	59.82**	1,00	1,00	-
Погрешка	1140	121	0.11	-	-	-	-

* Удео суме квадрата главних компоненти (PCA) је исказан у односу на суму квадрата GE интеракције (100%) и представља учешће главних компоненти у варијацији GE интеракције.

Посматрајући АММИ1 биplot примећује се велика дисперзија тачака, како генотипова, тако и агроekoлошких средина. За генотипове се уочавају веће разлике у адитивном, него у мултиваријационом делу варијације (График 3). Расутост тачака које представљају агроekoлошке средине указује да је реч о различитим локалитетима и годинама, у погледу услова за остваривање приноса зрна, те да је утицај локалитета у укупној варијацији приноса велик. Само је локалитет Нови Сад 2012.

године остварио ниску вредност интеракције, док су преостале три агроеколошке средине оствариле високе вредности интеракције.

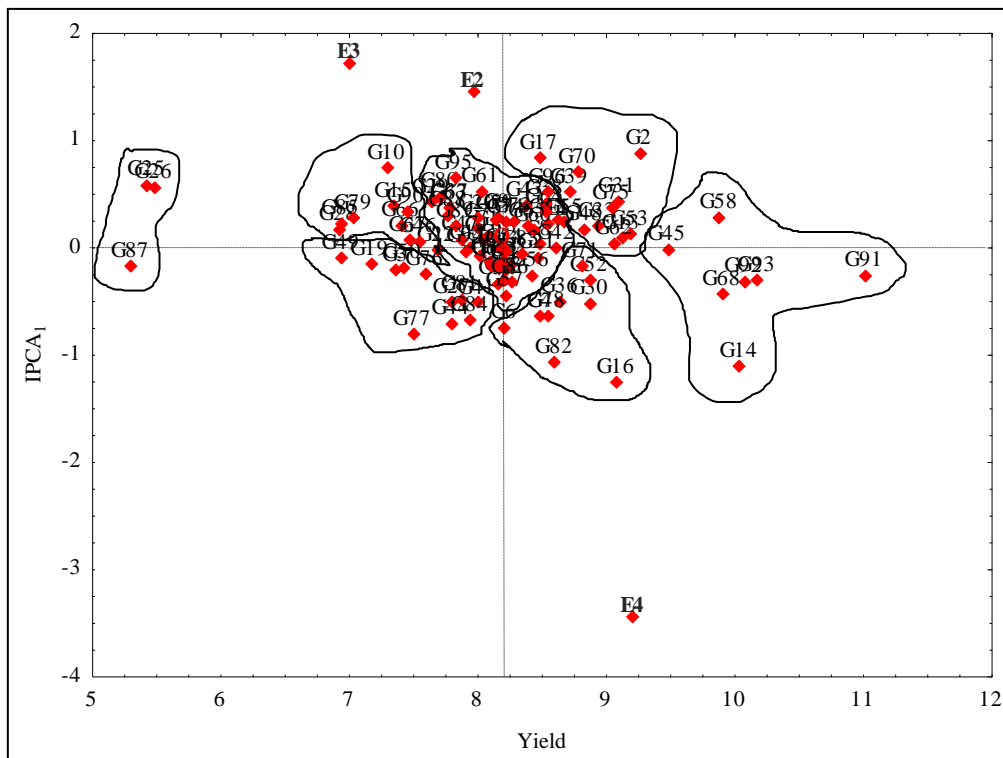


График 3. АММИ биplot са главним ефектом стављеним у однос са првом главном компонентом ГЕ интеракције (IPCA1) за 94 генотипа пшенице (*Triticum vulgare* L.) и по један генотип *T. spelta* L. (Нирвана) и *T. compactum* Host (Бамби), гајених у две године (2011/2012. и 2012/2013.) на два локалитета (Нови Сад и Сремска Митровица), при чему је Е1 - Нови Сад 2011/12., Е2 - Нови Сад 2012/13., Е3- С. Митровица 2011/12. и Е4 - С. Митровица 2012/13.

Генотипови су на АММИ биplotу подељени у седам различитих група. Сорте Нирвана, Бамби и Хејс 2 су оствариле најниже приносе

зрна у читавом огледу и сврстане у групу 1. Представници ове групе су генотипови који нису креирани за интензивну пољопривредну производњу, те остварују мање просечне вредности приноса зрна у поређењу са интензивним сортама пшенице. Сорте и линије које су оствариле највише приносе се налазе у групи 7 и предвођене су сортом Тиха, затим Златка, НС 7106, Балада, НС 48/08 и НС Нена. Групу четири чине сорте које су оствариле најнижу интеракцију, а биле су на нивоу просека огледа посматрајући испитивану особину. Сорте и линије које су оствариле најниже вредности (испод 0.1) су: Соната, Циповка, Драгана, Јефимија, Симонида, Астра, Хелена, Гордана, НС Нена, НС Тавита, НС36/10, НС 151/10 и Мина. Највише вредности интеракције и најнестабилнију реакцију испољиле су сорте Тамиш, Арија, Балада и Ренесанса, График 3.

Већи број генотипова је имао најниже вредности у првој години огледа, у којој је преовладала суша у целој Србији и то на локалитету који је се карактерише земљиштем лошијег квалитета у поређењу са земљиштем у Новом Саду. Оно чему се заправо тежи у оплемењивању пшенице, поред високог приноса јесте и стварање сорте која ће у различитим спољашњим срединама да да стабилан принос. Модел сорте који је **Donald (1968)** назвао идеотипом је она која даје максималан принос у одређеним условима спољашње средине. Дефинисати особине идеотипа за широк ареал распрострањености је тешко, без обзира на биљну врсту. Овај проблем је још тежи уколико се жели да се то уради на пшеници, с обзиром да постоје јари и озими типови, а такође и већи број врста пшенице које се међусобно разликују по физиолошким, биохемијским и морфолошким особинама. Сваки идеотип пољопривредне биљке треба да буде такав да се одликује морфобиолошким особинама, које ће да му омогуће да максимално

реализује свој биолошки потенцијал и приближи се свом генетичком потенцијалу за принос у одређеним условима гајења (**Сарић и Ковачевић, 1981**). Међутим, поставља се питање шта све чини и утиче на формирање приноса зрна пшенице да би се дошло до жељеног идеотипа? Генетичари, оплемењивачи и физиолози настоје да прикажу принос зрна, као *супер-особину*, која је резултат деловања више компоненти приноса, на које у великој мери утичу фактори спољашње средине (**Вањас *et al.*, 2014**). Коначан принос зрна пшенице изражен у $g \cdot m^{-2}$, представља производ броја класова/ m^2 , броја зрна по класу и просечне масе зрна. Број класова по m^{-2} је резултат густине сетве, односно броја биљака/ m^2 , генетичког потенцијала бокорења и броја продуктивних класова (**Пржуљ, 2016**). Ова тврдња показала се тачном, уколико се посматра однос броја зрна по класу и масе хиљаду семена, где је добијен неочекивано велик број зрна у лошијим агроеколошким условима, али и мања маса хиљаду семена. У овом случају, то би представљало очигледну негативну корелацију, која је јасна иако није рађена, ни приказана у раду. Ова међузависност две особине тумачи се ређим склопом, односно мањим бројем биљака по јединици површине. Услед веће конкурентности за асимилатима и осталим хранљивим материјама у периоду формирања зрна, дошло је до пада у маси хиљаду семена. Број класова по јединици површине се налази у негативној корелацији са бројем зрна, приносом зрна и просечном масом класа (**Брдар *и сар.*, 2006; Rattey *et al.*, 2011; Slafer *et al.*, 2014**). То значи да ако оплемењивач повећа једну компоненту приноса, неке друге ће се смањити и резултоваће нежељеним падом приноса. Особине као што су број класова по m^2 и број зрна по класу варирају под различитим агроеколошким условима, али и у великој мери и од густине сетве (**Cossani *et al.*, 2011**). Међутим, ефекте ниске сетвене норме и ретког

склопа могуће је надокнадити повећањем броја укупних и продуктивних класова по самој биљци. Као последица тога, број зрна по класу одређује потенцијални принос, а агроколошки услови су они који утичу на формирање коначног приноса. Удео агроколошких средина у анализи варијансе од 21.06% је потврда тога.

С обзиром да је АММИ 1 анализа квантификовала генотипове као примарни извор варијације, остало је да се одреде и остали извори у укупној варијацији, што је и урађено АММИ 2 анализом.

Према АММИ2 графику, уочава се неправилност у груписању тачака које представљају агроколошке средине. То упућује на неопходност да се посебно за сваку средину идентификује специфичност која је могла да доведе до приказане дистрибуције и остварених интеракцијских вредности у огледу. Позитивне вредности интеракције констатују се за агроколошке средине Е3 (Сремска Митровица, 2011/2012.), Е1 (Нови Сад, 2011/2012.) и Е4 (Сремска Митровица, 2012/2013.), док је негативна вредност забележена за агроколошку средину Е2 (Нови Сад, 2012/2013.). При томе, генотипови су остварили принос виши од просека огледа у срединама Е4 и Е1, за разлику од друге две агроколошке средине Е3 и Е2. Мале интеракцијске вредности, које упућују на стабилну реакцију генотипова у испитиваним условима, добијене су за агроколошке средине Е1 и Е4. Супротно њима, највећу интеракцију и уједно неповољну средину за успостављање стабилне реакције генотипова су имале агроколошке средине Е3 и Е2. Метеоролошке прилике које су владале на локалитету Нови Сад током 2012/2013., које је карактерисао мањак падавина и земљишна суша, су били узроци за добијање мањег приноса зрна и нестабилну реакцију генотипова. Најмање вредности приноса, уз високу вредност интеракције, сорте и линије су имале на локалитеу

Сремска Митровица у 2011/2012.. години (тачка Е3). С обзиром на временске прилике које су ометале жетву у овој сезони, било је неопходно да се узорци биљног материјала са огледне парцеле транспортују у оближњи магацин, што је довело до губитака зрна приликом транспорта и нижих вредности приноса, График 4.

Подаци добијени мерењем и оценом фенотипских особина указали су на постојање варијабилности између испитиваних генотипова (График 5). На основу дендрограма је урађена подела свих испитиваних генотипова на 5 различитих кластера. На основу *еуклидовог растојања* из дендрограма при удаљености од 8

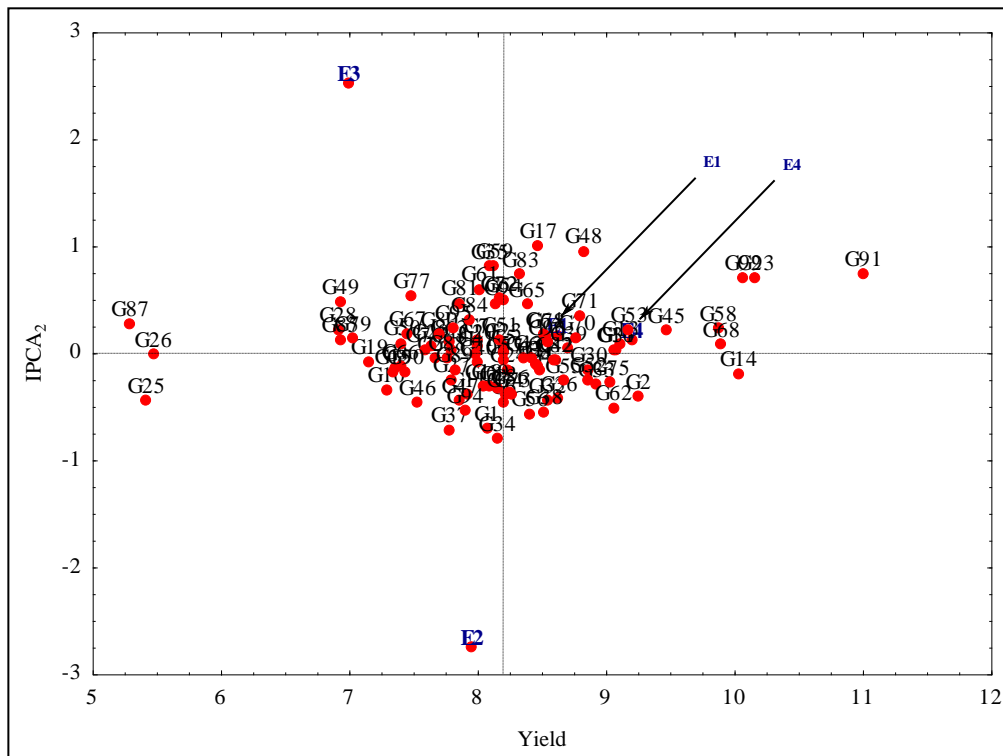


График 4. АММИ2 биplot са главним ефектом стављеним у однос са другом главном компонентом ГЕ интеракције (IPCA2) за 94 генотипа пшенице (*Triticum vulgare* L.) и по један генотип *T. spelta* L. (Нирвана) и *T. compactum* Host (Бамби), гајених у две године (2011/2012 и 2012/2013) на два локалитета (Нови Сад и Сремска Митровица), при чему је Е1 - Нови Сад 2011/12, Е2 - Нови Сад 2012/13, Е3- С. Митровица 2011/12 и Е4 - С. Митровица 2012/13.

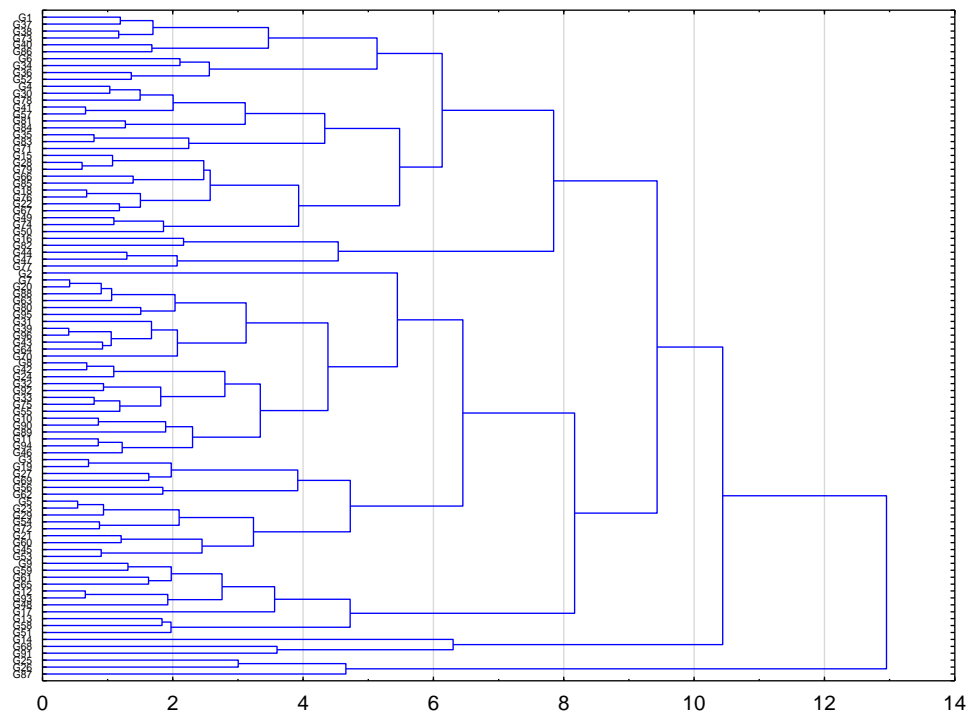


График 5. Кластер анализа за 94 генотипова пшенице (*Triticum vulgare* L.) и по један генотип *T. spelta* L. (Нирвана) и *T. compactum* Host (Бамби), гајених у две године (2011/2012. и 2012/2013.) на два локалитета (Нови Сад и Сремска Митровица)

Посматрајући параметре основне статистике може да се примети да су варирања унутар кластера по различитим агроеколошким срединама била врло значајна, што се поклапа са АММИ анализом (Табела 11).

Табела 11. Параметри основне статистике појединачних кластера за принос за 94 генотипа пшенице (*Triticum vulgare* L.) и по један генотип *T. spelta* L. (Нирвана) и *T. compactum* Host (Бамби), гајених у две године (2011/2012. и 2012/2013.) на два локалитета (Нови Сад и Сремска Митровица)

Кластер 1 (n=23)	\bar{x} [cm]	V[%]
Нови Сад 2011/12 (E1)	9.4	1.1
Нови Сад 2012/13 (E2)	7.6	1.1
С. Митровица 2011/12 (E3)	9.2	0.9
С. Митровица 2012/13 (E4)	9.0	1.3
Кластер 2 (n=17)		
Нови Сад 2011/12 (E1)	9.6	1.0
Нови Сад 2012/13 (E2)	7.5	0.8
С. Митровица 2011/12 (E3)	5.8	0.8
С. Митровица 2012/13 (E4)	9.0	0.8
Кластер 3 (n=17)		
Нови Сад 2011/12 (E1)	8.6	0.9
Нови Сад 2012/13 (E2)	7.4	1.5
С. Митровица 2011/12 (E3)	6.1	0.9
С. Митровица 2012/13 (E4)	11.9	1.2
Кластер 4 (n=15)		
Нови Сад 2011/12 (E1)	7.1	1.3
Нови Сад 2012/13 (E2)	6.8	1.1
С. Митровица 2011/12 (E3)	6.5	1.0
С. Митровица 2012/13 (E4)	7.1	1.1
Кластер 5 (n=24)		
Нови Сад 2011/12 (E1)	8.0	1.1
Нови Сад 2012/13 (E2)	9.3	0.9
С. Митровица 2011/12 (E3)	6.7	0.8
С. Митровица 2012/13 (E4)	8.8	0.9
	НЗР _{0.05} =0.2	НЗР _{0.01} =0.3
Параметри основне статистике коришћени у табели: \bar{x} -просек; V-коэффициент варијације; n-број генотипова по појединачном кластеру; НЗР-тест најмањих заједничких разлика за степене поверења 5% и 1%		

На графику који приказује понашање испитиване особине кроз различите агроколошке услове може да се примети јасно присуство крос-овер интеракције. С обзиром да на први поглед не постоји јединствен образац понашања, нити заједнички тренд који су кластери следили, сваки понаособ ће да буде објашњен (График 6). Генотипови смештени у кластер један су остварили виши принос на оба локалитета у првој години огледа, док је најнижи принос забележен на локалитету Нови Сад у другој години огледа. Кластер под редним бројем два најнижи принос бележи у првој години огледа на локалитету Сремска Митровица. Кластер под редним бројем пет највише одступа од осталих, управо због чињенице да је највиши принос остварио у другој години огледа на локалитету Сремска Митровица (Е4), док је најнижи остварио као и претходни у Е3. Иако кластер 4 делује прилично уједначен и стабилан у својој реакцији, приметан је доњи пик забележен такође у Е3. Кластер под редним бројем пет остварује најбољи резултат у Е2, док најниже вредности бележи слично као и остали у Е3.

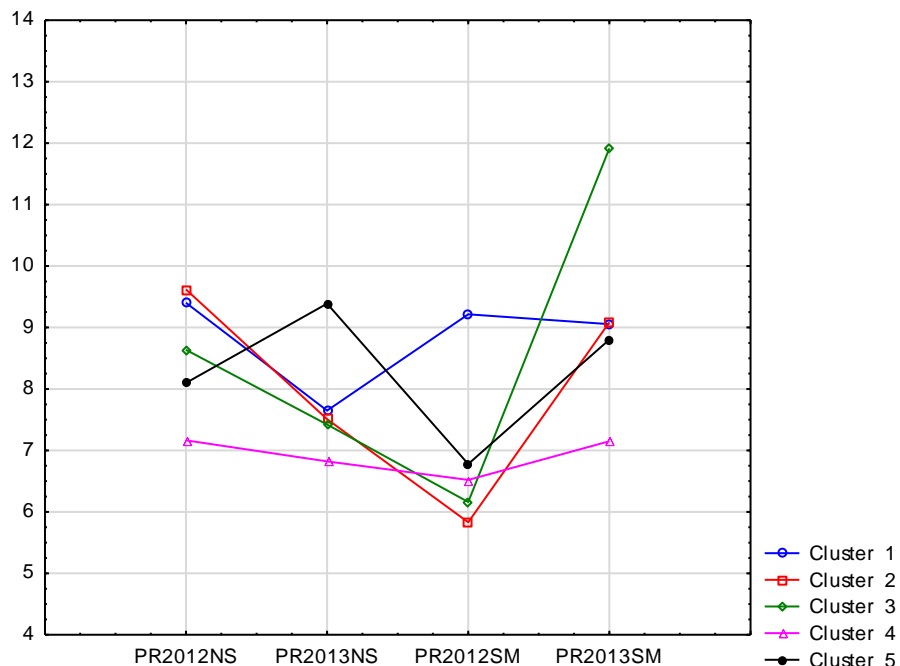


График 6. Приказ понашања испитиване особине приноса за 94 генотипа пшенице (*Triticum vulgare* L.) и по један генотип *T. spelta* L. (Нирвана) и *T. compactum* Host (Бамби), гајених у две године (2011/2012. и 2012/2013.) на два локалитета (Нови Сад и Сремска Митровица), кроз различите агроеколошке услове спољашње средине

4. НАУЧНЕ ПУБЛИКАЦИЈЕ АУТОРА

4.1 AGRONOMIC PERFORMANCE OF WHEAT CULTIVARS AND THEIR MOLECULAR CHARACTERIZATION

Genetika 2018 , 50(2), 591-602;

<https://doi.org/10.2298/GENSR1802591M>

Velimir MLADENOV¹, Miodrag DIMITRIJEVIĆ¹, Sofija PETROVIĆ¹,
Jan BOĆANSKI¹, Ankica KONDIĆ-ŠPIKA², Dragana TRKULJA², Borislav
BANJAC^{1*}

¹University of Novi Sad, Faculty of Agriculture Novi Sad

²Institute for Field and Vegetable Crops, Novi Sad

ABSTRACT

Creation of new higher yield cultivars, adaptation of existing germplasm to a global climate change, increasing resistance to diseases in new genotypes are some of the tasks that breeding have in front of it. The objectives of this research were to assess GE interaction in two different environments across two vegetation seasons and to do association analysis based on the results of the phenotypic and molecular evaluation. Grain samples were obtained from 96 winter wheat cultivars grown in 2011/12 and 2012/13 at two locations in the South Pannonia Basin region and population was profiled with 28 microsatellites. The share of genotype is high and amounts 24.84%, while the share of environments was 21.06%, when yield was evaluated. The GE interaction was also statistically significant and amounts 51.58% of the total variance. Microsatellites that exhibited a relation with yield by GLM and MLM model were: gwm357, gwm339, cfa2114, gwm631, gwm495, gwm190, barc1121 and gwm437. Markers that

have demonstrated the stability of the relationship with yield in different environments can be recommended as potentially useful in wheat breeding.

Key words: *AMMI, GE interaction, microsatellites, yield, wheat.*

INTRODUCTION

Plant breeding as a science has many tasks in front of it. Creation of new higher yield cultivars, adaptation of existing germplasm to a global climate change, increasing resistance to diseases in new genotypes is only some of them. In fulfilling these goals necessity is the introduction of new techniques in conventional breeding. Yield is a super trait consisted of many individual components whose action is united where all genes in one plant, directly or indirectly, lead to the final result (MIROSAVLJEVIĆ et al., 2016). It presents the result of plants effort to reproduce and complex gene interaction within the genome, along with the interaction of the genome with biotic and abiotic factors (MLADENOV, 2016; KHAN et al., 2017). Combination among monitoring of phenotypic traits from the field with molecular characterization obtains results which represent associative analysis. In phenotyping total variance is divided into three different shares: the share of genotype, share of environment and share of genotype x environment (GE) interaction (KOSEV and GEORGIEVA, 2016; BANJAC et al., 2014; DIMITRIJEVIĆ et al., 2011). When molecular analysis is parsed, the situation is vastly different, due to the fact that some author claims that the environment share can be fully excluded (XU and CROUCH, 2007; BERTRAND and MACKILL, 2008; SCORZZARI et al., 2014). Associative analysis is tasked with expressing the statistical significance among investigated traits and selected microsatellites in different environments (KALIA et al., 2011). Nevertheless, only microsatellites that are closely related to a certain trait will achieve statistically significant

relationship marker-trait, which will be recognized by associative analysis (WALL and STEVISON, 2016). Due to their accessibility microsatellites or Simple Sequence Repeat (SSR) are one of the most commonly used molecular markers in plant breeding (NIELSEN et al., 2014; HAO et al., 2011).

The objectives of this research were two folded (i) to assess GE interaction in two different environments across two vegetation seasons (ii) to perpetrate association analysis based on the results of the phenotypic and molecular evaluation.

MATERIALS AND METHODS

Field exams

Grain samples were obtained from 96 winter wheat cultivars grown in 2011/12 and 2012/13 at two locations: Novi Sad and Sremska Mitrovica (E1- Novi Sad 2012, E2 - Novi Sad 2013, E3 - Sremska Mitrovica 2012, E4 - Sremska Mitrovica 2013). The large majority of these cultivars (93) was designed in Institute of Field and Vegetable Crops, Novi Sad, Serbia (Tab. 1). When selecting genotypes focus was on maximum diversity in terms of genetic origin and creation of the representative genetic sample. The wheat cultivars were planted in a randomized complete block design with four replications. Sowing in both growing seasons was completed by the end of October, while the harvest was ended in the last ten days of June.

Table 1. . Used genotypes of winter wheat.

<i>No.</i>	<i>Genotype</i>	<i>Y.r.</i>	<i>No.</i>	<i>Genotype</i>	<i>Y.r.</i>	<i>No.</i>	<i>Genotype</i>	<i>Y.r.</i>
G1	Pesma	1995	G36	NS40 S	2006	G71	NS3-7289	Ком
G2	Rebensana	1994	G37	Teodora	2006	G72	NS Pudarka	2013
G3	Obrij	1983	G38	Etida	2006	G73	NS3-6767/2	Ком
G4	NS rana 5	1991	G39	Isidora	2007	G74	Sava	1970
G5	Pobeda	1990	G40	Gordana	2008	G75	Partizanka	1973
G6	Evropa 90	1990	G41	Gora	2009	G76	NS rana 2	1975
G7	Ljiljana	2000	G42	Biljana	2009	G77	Balkan	1979
G8	Sonata	2000	G43	Natalija	2009	G78	Posavka 2	1979
G9	Vila	2001	G44	NS Desetka	2010	G79	Jugoslavija	1980
G10	Kantata	2001	G45	NS Nena	2010	G80	Lasta	1987
G11	Cipovka	2002	G46	NS Dika	2010	G81	Rodna	1988
G12	Dragana	2002	G47	NS Arabeska	2010	G82	Tamiš	1988
G13	Jefimija	2003	G48	NS Artemida	2010	G83	Danica	1990
G14	Balada	2003	G49	NS Emina	2010	G84	Proteinka	1990
G15	Rapsodija	2003	G50	NS Avangarda	2010	G85	Rana niska	1990
G16	Arija	2003	G51	NS Futura	2010	G86	Milica	1992
G17	Simfonija	2003	G52	NS Ilina	2010	G87	Hejs 2	N/A
G18	Simonida	2003	G53	NS Enigma	2010	G88	Divna	1994
G19	Balerina	2003	G54	NS Tavita	2011	G89	Prima	1995
G20	Diva	2003	G55	NS 91/04	Kom	G90	Tera	1995
G21	Astra	2003	G56	NS 50/07	Kom	G91	Tiha	1995
G22	Helena	2004	G57	NS 269/08	Kom	G92	Prva	1997
G23	Oda	2004	G58	NS 48/08	Kom	G93	Zlatka	1997
G24	Milijana	2004	G59	NS3-6954	Kom	G94	Mina	1997
G25	Nirvana	2004	G60	NS3-6741	Kom	G95	Delta	1998
G26	Bambi	2004	G61	NS3-6926	Kom	G96	Sonja	1998
G27	Lana	2005	G62	NS 36/10	Kom			
G28	Zvezdana	2005	G63	NS 168/10	Kom			
G29	Janja	2005	G64	NS 55/10	Kom			
G30	Fundulea 4	1987	G65	NS 176/10	Kom			
G31	Bastijana	2005	G66	NS 128/10	Kom			
G32	Dama	2006	G67	NS 151/10	Kom			
G33	Srna	2006	G68	NS3-7106	Kom			
G34	Angelina	2006	G69	NS3-6706/2	Kom			
G35	Barbara	2006	G70	NS3-6939	Kom			

Out of 96 used genotypes, 94 were represented hexaploid bread wheat (*Triticum aestivum*), while two genotypes were representing *Triticum spelta* (Nirvana) and *Triticum compactum* (Bambi). Yield ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) was determined in the field. Tests were performed on the harvested seed of each cultivar for each replication.

Molecular exams

Genomic DNA from all genotypes was isolated from fresh leaves using the CTAB protocol DOYLE & DOYLE (1990). The wheat genotype population was profiled with 28 microsatellites. The sequences of SSR markers were taken from the GrainGenes (2016) database. The additional cultivar Chinese Spring was used as a positive control and it was placed on 87 spot, instead of cultivar Heys 2. Microsatellites were positioned along almost all three genomes (Tab. 2). PCR amplifications were carried out according to the protocols given by RÖDER et al. (2008). The reaction in 10 μL volume contained 30 ng of DNA template, 1x buffer solution, 2 mmol L⁻¹ dNTPs, 1.5 mmol L⁻¹ MgCl₂, 10 pmol of fluorescently labeled forward and unlabeled reverse primers, and 1 unit of *Taq* polymerase. PCR started with an initial denaturation at 94°C for 5 min, followed by 40 cycles of 94°C for 30 s, 52–62°C for 45 s, and 72°C for 45 s. The final extension was 10 min at 72°C. The PCR amplicons were separated by size using capillary electrophoresis on an ABI Prism 3130 genetic analyzer (Applied Biosystems). The reaction volume of 10 μL consisted of 2 μL of mixed differently-labeled PCR products, 0.2 μL of GeneScan 500 LIZ size standard (Applied Biosystems), and 7.8 μL of Hi-Di formamide.

The dye-labeled products were identified by fluorescence detection, and microsatellite analysis was performed using the GeneMapper software, version 4.0 (Applied Biosystems).

Table 2. Used molecular markers (microsatellites)

<i>Microsatellite</i>	<i>Color</i>	<i>Chromosome</i>	<i>Sequence</i>
wmc 656	ned	3D	F:AAGTAGGCGAGCGTTGT R:TTCCCTGGCGAGATG
wmc 553	ned	6A	F:CGGAGCATGCAGCTAGTAA R:CGCCTGCAGAATCAACAC
wmc 18	ned	2D	F:5' CTGGGGCTTGGATCACGTCATT 3' R:5' AGCCATGGACATGGTGTCTTC 3'
wmc 457	6 fam	4D	F:5' CTT CCA TGA ATC AAA GCA GCA C 3' R:5' CAT CCA TGG CAG AAA CAA TAG C3'
barc 1047	pet	4A	F:5' GCG CAG ACC GTA CCC AAC CAG ATA G 3' R:5' CAT GCC TTG CCC TTG GTT TCA 3'
barc 1121	vic	6D	F:5' GCG AGC AAA CTG ATC CCA AAA AG 3' R:5' TAT CGG TGA GTA CGC CAA AAA CA 3'
barc 5	6 fam	2A	F:5' GCGCTGGACCGT1TTTCTATTT 3' R:5' GCGTTGGGAATTCCTGAACATTTT 3'
barc 65	6 fam	7B	F:5' CCCATGGCCAAGTATAATAT 3' R:5' GCGAAAAGTCCATAGTCCATAGTCTC 3'
barc 12	ned	3A	F:5' CGACAGAGTGATCACCCAAATATAA 3' R:5' CATCGGTCTAATTGTCAATGTA 3'
barc 158	pet	1A,5A	F:5' TGTGTGGGAAGAAACTGAGTCATC 3' R:5' AGGAATACCAAAAAGAAGCAAACCAAC 3'
barc 110	ned	5B	F:5' CCCGAACAATGGCTTTGGTGTGCTAAT 3' R:5' CATGGTGACGGCAAGTGTGAGGT 3'
gwm 339	vic	2A	F:AATTTTCTTCCTCACTTATT R:5' AAACGAACAACCACTCAATC 3'
gwm 160	vic	4A	F:5' TTCAATTCAGTCTTGGCTTGG 3' R:5' CTGCAGGAAAAAAGTACACCC 3'
gwm 458	6 fam	1D	F:AAT GGC AAT TGG AAG ACA TAG C R:TTC GCA ATG TTG ATT TGG C
gwm 631	pet	7A	F:GGT GAA GCA AGT TAG GCC TG R:GCG GGA GTA AGT TCT CAC GT
gwm 619	ned	2B	F:CAT CAT CGG TTC TTG GA F:AAA AGA AGC AAG AAA GAA AC
gwm 261	pet	2D	F:CTC CCT GTA CGC CTA AGG C R:CTC GCG CTA CTA GCC ATT G
gwm 636	vic	2A	F:5' CGGTAGTTTTTAGCAAAGAG 3' R:5' CTTACAGTCTTGGCAGAA 3'
gwm 11	6 fam	1B	F:5' GGATAGTCAGACAATTCTTGTG3' R:5' GTGAATTGTGTCTTGTATGCTTCC3'
gwm 357	vic	1A	F:TAT GGT CAA AGT TGG ACC TCG R:AGG CTG CAG CTC TTC TTC AG
gwm 495	6 fam	4B	F:5' GAGAGCCTCGCGAAATATAGG 3' R:5' TGCTTCTGGTGTTCCTTCG 3'
gwm 389	vic	3B	F:ATC ATG TCG ATC TCC TTG ACG R:TGC CAT GCA CAT TAG CAG AT
gwm 680	6 fam	6B	F:GGA AAA GAA TTC TCT TGC TT R:TTT GTG CAC CTC TCT CTC CC
gwm 437	6 fam	7D	F:GAT CAA GAC TTT TGT ATC TCT C R:GAT GTC CAA CAG TTA GCT TA
gwm 190	pet	5D	F:GTG CTT GCT GAG CTA TGA GTC R:GTG CCA CGT GGT ACC TTT G
gpw 3017	pet	4B	F:GTTTGTGCGTCTGTAAGGTT R:TGCGTTGGTTTGTCTACTGG
cfa 2114	ned	6A	F:5' ATTGGAAGGCCACGATACAC 3' R:5' CCCGTCGGGTTTTATCTAGC 3'
cfa 2155	pet	5A	F:5' TTT GTT ACA ACC CAG GGG G 3' R:5' TTG TGT GGC GAA AGA AAC AG 3'

Statistical tools

Minimum, maximum, mean values and variance were calculated as indicators of trait variability (data not shown). These statistical calculations were done using StatSoft, Inc. (2011), STATISTICA (data analysis software system), version 10 (www.statsoft.com). Genotype by environment interaction (GE) was tested using AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction) analysis by ZOBEL et al. (1998). Data processing was performed in GenStat 9th Edition VSN International Ltd (www.vsn-intl.com). Results of AMMI analysis have been shown through AMMI1 and AMMI2 biplot.

The population structure based on genetic data was estimated by the Bayesian algorithm implemented in the Structure software, version 2.3.4 (PRITCHARD et al., 2000). The hypothetical number of clusters was set ranging from 1 to 10, whereas the length of the burn-in and the Markov chain Monte Carlo were determined at 100.000. The real number of subpopulations was obtained by comparing log probabilities of data $Pr [X|K]$. Corrections were done according to EVANNO et al. (2005). The marker-trait associations were analyzed in the Tassel software, version 2.1. (BRADBURY et al., 2007) using two models: GLM and MLM (YU et al., 2006). The Q matrix for further association analysis was determined based on the average value of three iterations of log probability of data obtained by the Structure software (PRITCHARD et al., 2000).

RESULTS AND DISCUSSION

Within a single genetic system, two basic genetic systems which control the yield formation can be defined: (1) the gene system responsible for adaptability (2) the gene system responsible for potential productivity

(yield *per se*) (ELEKHDAR et al., 2017). The genetic basis of traits which determine adaptability and yield potential is quantitative and qualitative. Although some important processes which control yield are inherited qualitatively, most of these traits are influenced by minor genes. Method of determining the genetic potential for yield per unit is consisted in studying the genetic basis of individual yield components their interaction as well as interaction with the environment (DIMITRIJEVIĆ et al., 2011). By some authors yield variability depends on the environmental performance rather than the effect of genotype (DIMITRIJEVIĆ et al 2011; BANJAC et al., 2014; MITROVIĆ et al., 2016). On the other side the complexity of the yield as a trait is also indicated by the results of MLADENOV et al. (2011) and LJUBIĆIĆ et al. (2016) where the largest share of variability of this trait belongs to the GE interaction.

AMMI analysis of yield variance revealed that the share of the main effects in total was 44.9%. Therefore share of genotype is higher and amounts 24.84%, while the share of environments was 21.06%. The GE interaction was also statistically significant and amounts 51.58% of the total variance (Tab. 3).

Table 3. AMMI analysis of variance for yield for 94 genotype of wheat (*Triticum vulgare* L.) and by one genotype of *T. spelta* L. (Nirvana) and *T. compactum* Host (Bambi) grown in two years (2011/2012. i 2012/2013.) across two locations (Novi Sad i Sremska Mitrovica)

Source of variation	Degrees of freedom	Sum of square	Middle of square	F value	F table		Share in variation %
					0,05	0,01	
Total	1535	4895	3.19	-	-	-	100
Treatmens	383	4772	12.46	117.03**	1,00	1,00	97.49
Genotypes	95	1216	12.8	120.18**	1,00	1,00	24.84
Environments	3	1031	343.8	2685.09**	2.6	3.78	21.06
Blocks	12	2	0.13	1.2	1.75	2.18	0.04
Interaction	285	2525	8.86	83.22**	1,00	1,00	51.58
IPCA ₁	97	1152	11.88	111.58**	1,00	1,00	45.62
IPCA ₂	95	781	8.22	77.16**	1,00	1,00	30.93
Residue	93	592	6.37	59.82**	1,00	1,00	-
Error	1140	121	0.11	-	-	-	-

** $p < 0,01$

Large differences among sites and vegetation seasons have caused a high sum of environmental factors in the overall variation of the experiment and led to the fact that they are the most responsible for variations in yield. In the further stream of analysis, sum of square of the GE interaction was parsed on two significant IPCA axes, which explain the majority of multivariate effect. Observing the AMMI1 biplot, large dispersion of genotype and environment points is observed. For genotypes there are larger differences in the additive effect than in multivariate part of the variance (Fig. 1a). Dispersion of environmental points indicates that there was a noticeable difference among sites and vegetation seasons and that influence of sites in the overall variance of yield was high. Only in E1 low value of

interaction was achieved, while the remaining three environments (E2, E3 and E4) expressed high values of interaction.

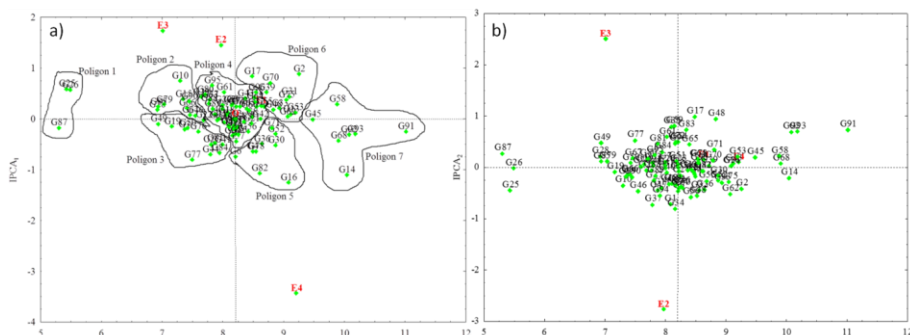


Figure 1. AMMI1 (a) and AMMI2 (b) biplot of 94 genotype of wheat (*Triticum vulgare* L.) and by one genotype of *T. spelta* L. (Nirvana) and *T. compactum* Host (Bambi) grown in two years (2011/2012. i 2012/2013.) across two locations (Novi Sad i Sremska Mitrovica)

The genotypes were divided into seven groups on AMMI1 biplot. Cultivars from first group; Nirvana, Bambi and Heys2 have achieved the lowest yield in the entire experiment. Representatives of this group have not been designed for intensive agricultural production and understandable is that they achieve less average grain yield compared to intensive wheat cultivars. Cultivars and lines that achieved the highest yield were in group seven and were led by Tiha, Zlatka, NS 706, Balada, NS 48/08 and NS Nena. In group four genotypes that achieved lowest values of interaction (under 0.1) were placed (Sonata, Cipovka, Dragana, Jefimija, Simonida, Astra, Helena, Gordana, NS Nena, NS Tavita, NS36/10, NS 151/10 and Mina). Highest values of the interaction and most unstable reaction expressed cultivars Tamiš, Arija, Balada and Renesansa. It is cognized that AMMI1 analysis quantified genotypes as a primary source of variance, but other source of variation was left to determine and it was done by AMMI2

analysis. According to AMMI2 biplot, there was an irregularity in groups of environment points (Fig. 1b). That indicates on necessity to identify specifically for each environment that could lead to displayed distribution and realized interaction. Positive values of interaction were noted for environments E3, E1 and E4. In addition to this, genotypes achieved a higher yield than the experiment average in the environments E1 and E4. Small interaction values which indicates a stable reaction of genotypes in these conditions were obtained for environments E1 and E4. Contrary to that, highest interactions were noted in environments E3 and E2, most unfavorable environments for achieving high yield.

Large number of genotypes expressed lower yield in the first year of experiment, in which drought prevailed in South Pannonian Basin, on Sremska Mitrovica, where quality of land structure is bellow quality in Novi Sad (data not shown). What wheat breeding is tending to achieve, in addition to high yield, is the creation of a stable cultivar in different environments. The model od the cultivar that DONALD (1968) called idetype is the one that gives maximum yield in certain environments. Geneticist, breeders and physiologist seek to present yield as a *super*-trait which is the result of the action of multiple yield components. The final yield of wheat expressed in $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ presents multiplication of number of spikes per m^2 , number of kernels per spike and average grain weight. Number of spikes per m^2 is the result of sowing density i.e. number of plants per m^2 , genetic potential of spawning and number of productive spikes (MIROSAVLJEVIĆ, 2016). The number of spikes per unit area is in negative correlation with the number of grains per spike, yield and the average mass of spike (BRDAR et al., 2006; RATTEY et al., 2011; SLAFER et al., 2014). This means that if the breeder increases one of the yield components some other will decrease and result in an unwanted yield fall. Traits like number of spikes per m^2 and the number of kernels per

spike vary in different agroecological environments, but also from sowing density (COSSANI *et al.*, 2011). However, the effects of low sowing standard and rare assembly can be compensated by increasing number of total and productive spikes per plant. The share of environments in the AMMI analysis of 21.06% is a confirmation of that assumption.

Distribution of 96 investigated genotypes in two groups was based on the polymorphism of 28 microsatellites tested (Fig. 2).

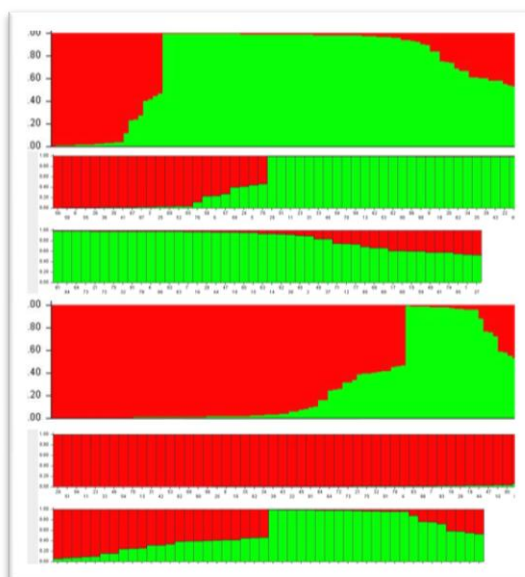


Figure 2. Members of two subpopulations (Q1 and Q2) for 94 genotype of wheat (*Triticum vulgare* L.) and by one genotype of *T. spelta* L. (Nirvana) and *T. compactum* Host (Bambi). Q1 green colour; Q2 red colour.

Subpopulation 1 counts more members (73) while subpopulation Q2 is composed of 23 genotypes. Division into groups was performed on the basis of the lineage. Association analysis is a unified mathematical model, which simultaneously processes data from phenotypic and molecular markers. The use of this model allows one to determine which molecular

marker is in the relation to phenotype trait and it shows the strength of their interrelation. Two models were used, the GLM (*General Linear Model*) and MLM (*Mixed Linear Model*). Both of these models have the same purpose, but analyzes have been done to increase accuracy. In used models „rare alleles“ were excluded (frequency below 5%). Selection of microsatellites used in this study was made on the basis of the previous data in the literature (RODER et al., 2002; BRBAKLIĆ et al., 2015; TRKULJA 2015).

Table 4. Relation marker-trait among 28 microsatellites and wheat yield of 94 genotypes of winter wheat (*Triticum vulgare* L.) and by one genotype of *T. spelta* L. (Nirvana) and *T. compactum* Host (Bambi) using *GLM* (*General Linear Model*) and *MLM* (*Mixed Linear Model*) across four environments (E1 – Novi Sad 2011/12.; E2 – Novi Sad 2012/13.; E3 – Sremska Mitrovica 2011/12.; E4 – Sremska Mitrovica 2012/13.)

Chromosome	Microsatellite	Environment	GLM <i>p</i> marker	MLM <i>p</i> marker
1A	gwm357	E2	0.0237	0.0313
2A	gwm339	E4	0.0076	0.0092
2A	gwm339	E1	0.0434	-
2A	gwm636	E1	0.0333	-
6A	cfa2114	E1	0.006	0.0316
6A	wmc553	E1	0.0325	-
7A	gwm631	E1	0.0069	0.0456
1B	gwm11	E1	-	0.0488
2B	gwm619	E4	0.0332	-
4B	gwm495	E1	2.11E-04	0.0009
5D	gwm190	E1	2.85E-04	0.0488
6D	barc1121	E4	0.0084	0.0220
6D	barc1121	E1	0.0144	0.0439
7D	gwm437	E1	0.011	0.0154

Using GLM model 13 positive relationships among traceability and molecular markers were recorded, while using MLM model, this number was 10 (Tab. 4). Microsatellites that exhibited a relation with yield in both models were: gwm357, gwm339, cfa2114, gwm631, gwm495, gwm190, barc1121 and gwm437, which is in partial accordance with ALSALEH et al., (2015);

ZHANG et al., (2015); BRBAKLIĆ et al., (2015); TRKULJA (2015); JOSHI and KNECHT (2013).

Markers assisted selection and use of new techniques in wheat breeding have largely changed access to a scientific research centers around the world. However, it is often a matter of attribution too much importance to the use of molecular technologies in breeding programs, to the limit that some authors claims that the environment share can be fully excluded, when microsatellites are used (XU and CROUCH, 2007; BERTRAND and MACKILL, 2008; SCORZZARI et al., 2014). Such assertions are in the opposite to the results of this study, where markers were not exhibit links at a level of statistical significant lower than 5% in all environments, but only in some. Markers that have demonstrated the stability of the relationship with yield in different environments can be recommended as potentially useful in wheat breeding.

CONCLUSION

AMMI analysis of yield variance revealed that the share of the main effects in total was 44.9%. Thereof share of genotype is higher and amounts 24.84%, while the share of environments was 21.06%. The GE interaction was also statistically significant and amounts 51.58% of the total variance. Using GLM model 13 positive relationships among traceability and molecular markers were recorded, while using MLM model, this number was 10. Microsatellites that exhibited a relation with yield in both models were: gwm357, gwm339, cfa2114, gwm631, gwm495, gwm190, barc1121 and gwm437. The results of this and similar researches need to be expanded and directed towards most important step in future crossings, which is choice of parents.

REFERENCES:

ALSALEH, A., BALOCH, F.S., DERYA, M., AZRAK, M., KILIAN, B., OZKAN, H. (2015): Genetic linkage map of Anatolian durum wheat derived from a cross of kunduru 1149 x Cham1. *Plant Molecular Biology Reporter*. 33(2):209-220.

BANJAC, B., MLADENOV, V., DIMITRIJEVIĆ, M., PETROVIĆ, Sofija, BOĆANSKI, J. (2014): Genotype x environment interactions and phenotypic stability for wheat grown in stressful conditions. *Genetika*, 46 (3): 799-806.

BERTRAND, C.Y. and MACKILL, D.J. (2008): Marker assisted selection: an approach for precision plant breeding in the twenty-first century. *Philosophical transaction of the royal society b*. 363; 1491.

BRADBURY, P.J., ZHANG, Z., KROON, D.E., CASSTEVENS, T.M., RAMDOSS, Y., BUCKLER, E.S. (2007): TASSEL: software for association mapping of complex traits in diverse samples. *Bioinformatics* 23: 2633-2635.

BRBAKLIĆ, Lj., TRKULJA, D., KONDIĆ-ŠPIKA, A., MIKIĆ, A., TOMIČIĆ, M., KOBILJSKI, B. (2015): Determination of population structure of wheat core collection for association mapping. *Cereal Research Communication* 43(1): 45-54.

BRDAR, M., KOBILJSKI, B., KRALJEVIĆ-BALALIĆ, M. (2006): Relations of grain filling parameters and wheat yield components. *Zbornik radova Insituta za ratarstvo i povrtarstvo* 42:213-218.

COSSANI, C.M., SLAFER, G.A., SAVIN, R (2011): Do barley and wheat (bread and durum) differ in grain weight stability through seasons and water-nitrogen treatments in Mediterranean location? *Field Crop Research* 121:240-247.

DIMITRIJEVIĆ, M., KNEŽEVIĆ, D., PETROVIĆ, S., ZEČEVIĆ, V., BOŠKOVIĆ, J., BELIĆ, M., PEJIĆ, B., BANJAC, B. (2011): Stability of yield components in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genetika*, 43(1): 29-39.

DONALD, C.M. (1968): The breeding of crop ideotypes. *Euphytica* 17(3):385-403.

DOYLE, J.J. and DOYLE, J.L. (1990): Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus* 12: 13-15.

ELEKHDAR, A., KUMAMARU, T., SMITH, K., BRUEGGEMAN, R., LUDOVIC, J.A., CAPO., C., SOLANKI, S. (2017): Genotype by Environment Interactions (GEIs) for Barley Grain Yield Under Salt Stress Condition. *J. Crop Sci. Biotech.* 20 (3) :193-204

EVANNO, G., REGNAUT, S., GOUDET, J. (2005): Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Mol. Ecol.* 14: 2611-2620.

HAO, C., WANG, L., GE., H., DONG, Y., ZHANG, X. (2011): Genetic diversity and linkage disequilibrium in Chinese bread wheat (*Triticum aestivum* L.) revealed by SSR markers. *PLoS ONE* 6(2): e17279.

JOSHI, G.N. and KNECHT, D.A. (2013): Silica phagocytosis causes apoptosis and necrosis by different temporal and molecular pathways in alveolar macrophages. *Apoptosis*. 18(3): 271-285.

KALIA, R.K., RAI, M.K., KALIA, S., SINGH, R., DHAWAN, A.K. (2011): MICROSATELLITE MARKERS: an overview of the recent progress in plants. *Euphytica* 177: 309-334.

KOSEV, V. and GEORGIEVA, N. (2016): Evaluation of genotypic and genetic variances of quantitative traits in pea (*Pisum sativum* L.). *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 28(11): 755-763

KHAN F.U., MOHAMMAD F., RAZIUDDIN, SHAH Z., AHMAD M. and Shah Z. (2017) : Genotypic differences and genotype x nitrogen interactions for yield traits in bread wheat. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 27(4): 1264-1268.

LJUBIĆIĆ, N., PETROVIĆ, S., DIMITRIJEVIĆ, M., HRISTOV, N. (2016): Gene actions involved in the inheritance of yield related traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 28(7):477-484.

MIROSAVLJEVIĆ, M. MOMČILOVIĆ, V., PRŽULJ, N., HRISTOV, N., AĆIN, V., ČANAK, P., DENČIĆ, S. (2016): The variation of agronomic traits associated with breeding progress in winter barley cultivars. *Zemdirbyste-Agriculture*, 103(3):267–272.

MITROVIĆ, B., STOJAKOVIĆ, M., ZORIĆ, M., STANISAVLJEVIĆ, D., BEKAVAC, G., NASTASIĆ, A., MLADENOV, V. (2016): Genetic gains in

grain yield, morphological traits and yield stability of middle-late maize hybrids released in Serbia between 1978 and 2011. *Euphytica* 211(3):321-330.

MLADENOV, N., HRISTOV, N., KONDIĆ-ŠPIKA, Ankica, ĐURIĆ, Veselinka, JEVTIĆ, R., MLADENOV, V. (2011): Breeding progress in grain yield of winter wheat cultivars grown at different nitrogen levels in semiarid conditions. *Breeding Sci.*, 61: 260-268.

MLADENOV, V., BANJAC, B., DIMITRIJEVIĆ, M., LATKOVIĆ, D., JOCKOVIĆ, B. (2016): Phenotypic analysis of agronomic traits in bread wheat. *Contemporary Agriculture*. 65(3-4):32-38.

NIELSEN, N.H., BACKES, G., STOUGAARD, J., ANDERSEN, S.U., JAHOOOR, A. (2014): Genetic diversity and population structure analysis of european hexaploid bread wheat (*Triticum aestivum L.*) varieties. *PLoS ONE* 9(4): e94000.

PRITCHARD, J.K., STEPHENS, M., DONNELLY, P. (2000): Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* 155: 945-959.

RATTEY, A.R., SHORTER, R., CHAPMAN, S.C. (2011): Evaluation of CIMMYT conventional and synthetic spring wheat germplasm in rainfed sub-tropical environments. *Field Crops Research* 124:195-204.

ROEDER, M.S, HUANG, X.Q., BOERNER, A. (2008): Fine mapping of the region on wheat chromosome 7D controlling grain weight. *Funct. Integr. Genomics* 8: 79-86.

ROEDER, M.S., WENDEHAKE, K., KORZUN, V., BREDEMEIJER, G., LABORIE, D., BERTRAND, L., ISAAC, P., RENDELL, S., JACKSON, J., COOKE, R.J., VOSMAN, B., GANAL, M.W. (2002): Construction and analysis of a microsatellite-based database of European wheat varieties. *Theor. Appl. Genet.* 106: 67-73.

SCOZZARI, R., MASSAIA, A., TROMBETTA, B., BELLUSCI, G., MYRES, N., NOVELLETTO, A., and CRUCIANI F. (2014): An unbiased resource of novel SNP markers provides a new chronology for the human Y chromosome and reveals a deep phylogenetic structure in Africa. *Genome Research* 535-544.

SLAFER, G.A., SAVIN, R., SADRAS, O.V. (2014): Course and fine regulation of wheat yield component in response to genotype and environment. *Field Crops Research* 157:71-83.

TRKULJA, D. (2015): Associative analysis relation agronomic traits and SSR in wheat. Ph.D. dissertation, University of Belgrade, Serbia.

WALL, J and STEVINSON, L. (2016): Detecting recombination hotspots from patterns of linkage disequilibrium. *Genes, Genomes and Genetics* 8(7):1-31.

XU, Y. and CROUCH, J.H. (2007): Marker assisted selection in plant breeding: from publication to practice. *Crop Sci.* 48(2):391-407.

YU, J., PRESSOIR, G., BRIGGS, W.H., BI, I.V., YAMASAKI, M., DOEBLEY, J.F., MCMULLEN, M.D., GAUT, B.S., NIELSEN, D.M., HOLLAND, J.B., KRESOVICH, S., BUCKLER, E.S. (2006): A unified

mixed-model method for association mapping that accounts for multiple levels of relatedness. *Nat. Genet.* 38(2): 203-208.

ZHANG, J., ZHANG, J., WEIHUA L., HAN, H., LU., YANG, X., XIUQUAN, L., LI, L. (2015): Introgression of *Agropyron cristatum* 6P chromosome segment into common wheat for enhanced thousand-grain weight and spike length. *Theor. Appl. Genet.* 128 (9):1827-1837.

ZOBEL, R. W, WRIGHT, M. J., GAUCH, H. G. (1998): Statistical analysis of yield trial. *Agron. J.*, 80: 388-393.

4.2 PHENOTYPIC VARIABILITY OF WHEAT AND ENVIRONMENTAL SHARE IN SOIL SALINITY STRESS [3S] CONDITIONS

Sustainability 2022, 14(14), 8598;

<https://doi.org/10.3390/su14148598>

Borislav BANJAC ¹, Velimir MLADENOV ^{1,*}, Sofija PETROVIĆ ¹, Mirela MATKOVIĆ STOJŠIN ², Đorđe KRSTIĆ ¹, Svetlana VUJIĆ ¹, Ksenija MAČKIĆ ¹, Boris KUZMANOVIĆ ¹, Dušana BANJAC ³, Snežana JAKŠIĆ ³, Danilo BEGIĆ ¹ and Rada ŠUĆUR ¹

1. University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Novi Sad
2. Institute Tamiš, Pančevo
3. Institute for Field and Vegetable Crops, Novi Sad

ABSTRACT

Through choosing bread wheat genotypes that can be cultivated in less productive areas, one can increase the economic worth of those lands, and increase the area under cultivation for this strategic crop. As a result, more food sources will be available for the growing global population. The phenotypic variation of ear mass and grain mass *per ear*, as well as the genotype \times environment interaction, were studied in 11 wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars and 1 triticale (*Triticosecale* W.) cultivar grown under soil salinity stress (3S) during three vegetation seasons. The results of the experiment set on the control variant (solonetz) were compared to the results obtained from soil reclaimed by phosphogypsum in the amount of 25 t \times ha⁻¹ and 50 t \times ha⁻¹. Using the AMMI analysis of variance, there was found to be a statistically significant influence of additive and non-additive sources of variation on the phenotypic variation of the analyzed traits. Although the

local landrace Banatka and the old variety Bankut 1205 did not have high enough genetic capacity to exhibit high values of ear mass, they were well-adapted to 3S. The highest average values of grain mass per ear and the lowest average values of the coefficient of variation were obtained in all test variants under microclimatic condition B. On soil reclaimed by $25 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ and $50 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ of phosphogypsum, in microclimate C, the genotypes showed the highest stability. The most stable genotypes were Rapsodija and Renesansa. Under 3S, genotype Simonida produced one of the most stable reactions for grain mass per ear.

Keywords: soil salinity stress; adaptation; environmental share; interaction; plant breeding; wheat

INTRODUCTION

Wheat (*Triticum* sp.) is one of the most significant plant species worldwide. It has played an important role in the development of mankind, participating not only in human nutrition, but in the development of many human activities as well. There is a crucial need to improve the production of wheat for a growing population [1]. Wheat grain yield is a so-called super-trait, a highly quantitative trait that depends on many components that determine it, as well as on environmental factors [2–5].

Soil, as the medium for crop production, can be the limiting factor in crop establishment and in achieving an adequate yield [6]. This is mostly in reference to soils with high concentrations of different salt types. Representatives of such soils belong to halomorphic soils, among which is solonetz [7]. Due to their poor chemical and physical properties, these soils limit plant growth, and lead to reduced yields in arid and semi-arid areas [8–

10]. For these reasons, there is a need to increase crop productivity in this type of soil, with the application of different management practices (primarily fertilization) by analyzing plants' responses to applied measures. These actions would lead to increased wheat production and the development of cultivars that could be grown successfully in such conditions. Sairam, et al. [11], emphasized that there are a few identified bread wheat genotypes tolerant to 3S. In Serbia, however, there is a lack of commercial wheat cultivars for production on salt-affected soils. Some of the responses to abiotic stress include chromatin changes; possible phenotypic alterations are temporary, and sometimes return to baseline levels when non-stress conditions have been restored, if possible [12].

Considering that grain is the result of the plant's tendency to reproduce, it can be said that the yield is a consequence of the total phenotype variation of a certain genotype for the purpose of reproduction. Since selection per yield is not possible in early generations of selection per se, phenotypic markers become more important in indirect selection per yield under abiotic stress conditions. This applies in particular to those traits that are highly quantitative, where the application of selection based on molecular markers (MAS—Marker-Assisted Selection) is difficult. Therefore, the successful breeder's choice depends on the information on the genetic variability of each yield component [13]. Testing ear traits has a significant place in wheat breeding. Ear mass is the total mass of wheat generative plant part and, as a highly quantitative trait, it is inherited by the minor genes. This genes system allows significant phenotypic variation under the effect of environmental factors, which is most often reflected in significant genotype \times environment interaction [4,14,15]. Grain mass per ear is a highly quantitative component of wheat phenotypic variability, and is a consequence of the minor genes'

activity [16,17]. Therefore, the degree of their activity is conditioned by mutual interaction and the effect of the environment [18]. Grain mass per ear is an influential component of wheat yield when grown on solonetz. Generally, salt stress affects plant metabolic processes by impairing cell water potential, membrane function, and uptake of nutrients, and in total reduces predicted crop yields [19].

Wheat grain yield and its components are under not only the influence, but also the interaction, of genotype and environmental factors ($G \times E$ interaction). A widely used multivariate method for studying $G \times E$ interaction is AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction) [4,20–22]. This multivariate data analysis firstly calculates genotype and environmental effects (additive source of variation), using analysis of variance (ANOVA), and then analyzes residual effects ($G \times E$ interaction), using principal component analysis (PCA) [23]. Therefore, the AMMI method is an effective tool, because it considers a large part of the $G \times E$ sum of the squares, and provides an adequate interpretation of the genotypes' stability [24].

Conducting the AMMI analysis in different agro-ecological environments, Petrović, et al. [25], Banjac, et al. [26], and Neisse, et al. [27], concluded that the multiplicative variation of ear characteristics and total grain yield was more pronounced than the additive variation, whereby genotypes with high specific stability in the given agro-ecological environments could be singled out as favorable. Therefore, experiments set up in different agro-ecological environments are of great importance in evaluating the stability of genotypes under varying environmental conditions [20,28].

The breeding process aims to improve the traits of existing cultivars, and to develop new genetic variability which will achieve the best possible economic effect. Therefore, the present study investigates the evaluation of the yield of wheat genotypes as a response to 3S. The objectives of this study were: (i) to evaluate ear mass and grain mass per ear of 11 wheat genotypes grown on salinity soil; (ii) to evaluate ear traits of those genotypes under different levels of reclamation; (iii) to compare the responses of important grain yield components to different growing conditions, and to identify genotypes with adequate traits for cultivation under stressed environments.

The findings of this research help to increase the economic worth of lower grade land by taking into account the ongoing degradation of arable lands caused by numerous variables of the modern age. This study helps to consider the possibility of growing wheat on solonetz after its repair by appropriate reclamation measures, and improves our understanding of how crops react to these types of stress, because solonetz does not provide favorable conditions for growing wheat, and is primarily used as a pasture. The study's findings painted a clear picture of wheat behavior under the influence of climate change. These findings could help to produce new genetic diversity, but they also suggest that growing wheat in a low bonitet class of soil has a bioremediation function that increases the land's economic worth, and also increases the area used for cultivating wheat.

MATERIAL AND METHODS

Plant Material and Field Exams

Twelve genotypes were studied, including 10 cultivars, one local population of hexaploid ($2n = 6 \times = 42$) wheat (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum* L.), and

one cultivar of triticale (*Triticosecale* W.). The tested wheat cultivars included eight winter cultivars (Renesansa, Pobeda, Evropa 90, Novosadska rana 5, Dragana, Rapsodija, Simonida and Cipovka), while cultivar Nevesinjka was optional. Newer cultivars were also considered, in order to assess their utility in abiotic stress situations, which are mostly induced by soil type. Two older wheat genotypes, that were present in the Serbian area, were used in the experiment (Banatka and Bankut 1205, which originated from Hungary), as shown in Table 1. The sample was selected based on previous studies of the existing genetic variability [15,29,30]. Triticale cultivar Odisej was sown. Triticale was used as a test plant to determine how wheat tolerated the abiotic stress conditions, because it is a synthetic hybrid with a high degree of resistance to abiotic stress factors.

Table 1. Pedigree of examined genotypes
(11 wheat genotypes and 1 triticale genotype).

Genotype Description	Genotype Name	Genotype Pedigree
Winter wheat cultivar	Renesansa	Jugoslavija/NS 55–25
Winter wheat cultivar	Pobeda	Sremica/Balkan
Winter wheat cultivar	Evropa 90	Talent/NSR2
Winter wheat cultivar	Novosadska rana 5	NSR1/Tisa/Partizanka/3/Mačvanka 1
Winter wheat cultivar	Dragana	Sremka 2/Francuska
Winter wheat cultivar	Rapsodija	Agri/Nacozari F76/Nizija
Winter wheat cultivar	Simonida	NS 63–25/Rodna//NS-3288
Winter wheat cultivar	Cipovka	NS 3288/Rodna
Local population; old winter wheat	Banatka	LV-Banat
Winter wheat cultivar; old winter wheat	Bankut 1205	Bankut 5/Marquis
Optional wheat cultivar	Nevesinjka	Dugoklasa/Jarka
Triticosecale cultivar	Odisej	LT 338.75/BL. 517

The experiment was set up in Banat (Autonomous Province of Vojvodina, Republic of Serbia) at Kumane site (45,539° N, 20,228° E, 72 m altitude), on stressed halomorphic soil of solonetz type, on an experimental area of 2 ha. The experiment was performed during three vegetation periods, marked as microclimate conditions A, B and C. A field trial was conducted according to randomized complete block design (RCBD), with three replications. The cultivars were sown in 155 m-long rows, using machines, with an interrow distance of 12.5 cm. Every cultivar was sown in 8 rows. During sowing, 134 kg × ha⁻¹ of mineral fertilizer NPK 15:15:15 was applied. Depending on weather conditions, the crops were fertilized during vegetation seasons in late March or early April, using mineral fertilizer KAN in the amount of 200 kg × ha⁻¹. A total of 30 plants per treatment were analyzed. They were represented by the primary stem (10 primary stems × 3 repetitions) in order to evaluate the phenotypic variation of the yield components: ear mass and grain mass per ear. In all vegetation seasons, the harvest was performed and samples were taken when caryopsis was hard (could no longer be dented by thumb-nail) at physiological maturity, Zadoks growth stage 92 [31]. Solonetz is a halomorphic soil with more than 15% sodium ion-Na⁺ adsorbed in the exchange complex. As a result, it is alkalized (pH > 9) and unfavorable for crops. The heavy mechanical composition of the compacted and impermeable Bt_{na} horizon severely limits solonetz's production capability, as shown in Table 2, Figure 1.

Table 2. Adsorbed cations content and salinity properties of solonetz at Kumane

Horizon (Depth cm)	Adsorbed Cations				Salinity Properties				
	Ca⁺⁺ (mg/100 g Soil)	Mg⁺⁺ (mg/100 g Soil)	K⁺ (mg/100 g Soil)	Na⁺ (mg/100 g Soil)	Ca⁺⁺ (%) *	Na⁺ (%) *	ECe 25 °C ** (mS/cm)	Total Salts (%)	pH Soil Extr act
Aoh/E, na (0–15)	128.26	37.92	74.68	20.69	53.14	7.91	0.62	0.03	5.41
Bt, na (15–111)	392.98	136.74	26.98	269.67	58.92	32.90	2.16	0.15	7.72
Bt, na C, na (111–156)	707.81	143.79	19.16	214.04	61.16	18.06	1.10	0.17	8.89
C, na (156–200)	658.51	136.50	15.64	152.65	63.80	14.49	1.03	0.12	8,79

* percentage in relation to the total ions content in the exchange complex of soil, ** ECe 25 °C = electrical conductivity of soil extract (ECe at 25 °C).

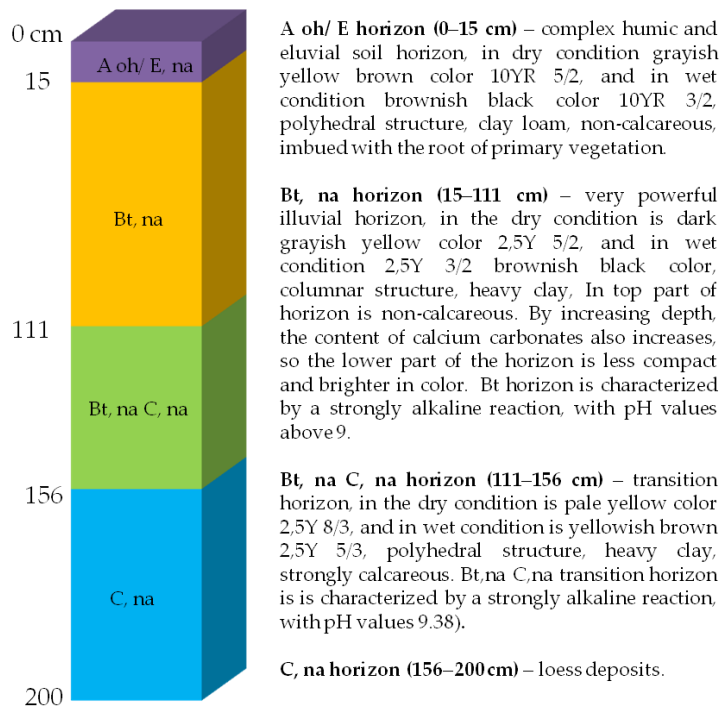


Figure 1. Soil profile description of solonetz soil type in Kumane.

The results from soil with two reclamation levels, from $25 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ and $50 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ of phosphogypsum, were processed in addition to the control results (soil without reclamation—natural pasture). The soil in the investigated plot was drained, to allow salts to leak into the neighboring drainage canals.

Each treatment was studied as a separate agro-ecological habitat for plant growth and development for one growing period. As a result, 9 alternative agro-ecological growing conditions were obtained, all of which were similar in terms of agro-technical circumstances, but differed in terms of phosphogypsum treatments (Table 3).

Table 3. Description of examined environments.

Environments	
Microclimate condition A	code E1 solonetz; natural pasture
	code E2 Soil reclaimed by 25 t × ha ⁻¹ phosphogypsum
	code E3 Soil reclaimed by 50 t × ha ⁻¹ phosphogypsum
Microclimate condition B	code E4 solonetz; natural pasture
	code E5 Soil reclaimed by 25 t × ha ⁻¹ phosphogypsum
	code E6 Soil reclaimed by 50 t × ha ⁻¹ phosphogypsum
Microclimate condition C	code E7 solonetz; natural pasture
	code E8 Soil reclaimed by 25 t × ha ⁻¹ phosphogypsum
	code E9 Soil reclaimed by 50 t × ha ⁻¹ phosphogypsum

Apart from the unfavorable characteristics of solonetz soil, there were other abiotic stress conditions at the Kumane site. The joint action of the steppes, clearly expressed temperature changes and extremes, strong winds and water retention on the plot surface had an effect on the selection of this site. Weather conditions at the Kumane experimental field throughout the vegetation season, when wheat was produced, were, for the most part, typical of that environment. Sowing wheat was accompanied by a deficit of precipitation. Winters were marked by very cold weather, strong ground frosts and lack of snow cover. The extreme minimum temperature was -17.8 °C. May set a record for precipitation (microclimate condition B, 162.1 mm). Weak precipitation, relatively high air temperatures and frequent winds caused the drying of the surface layer of the soil, as shown in Figure 2.

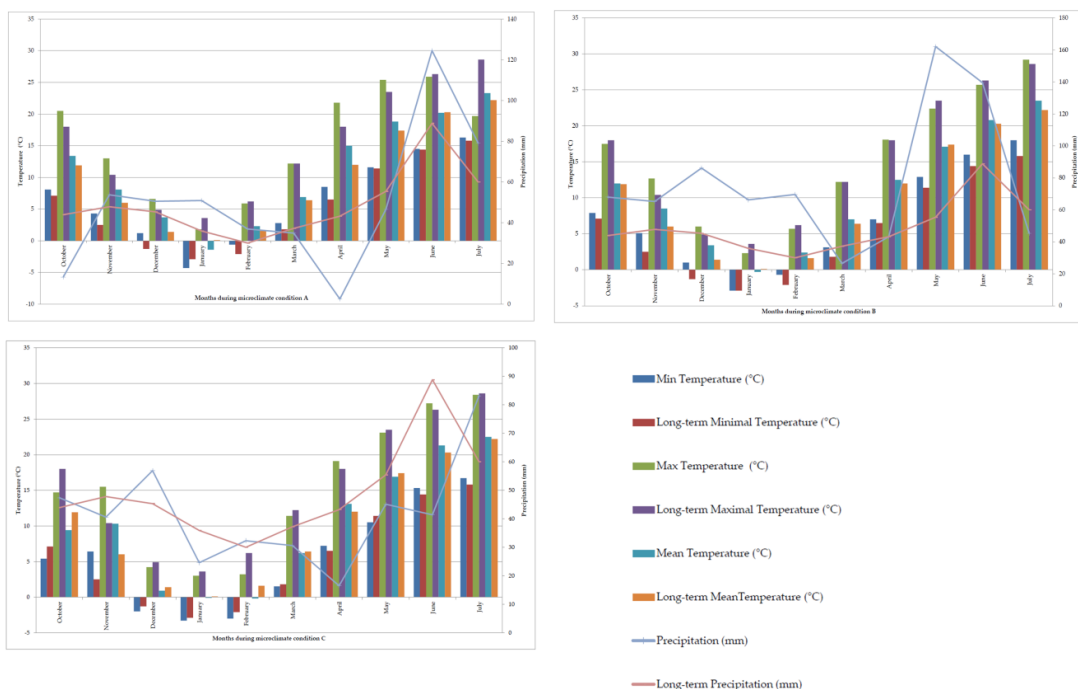


Figure 2. Minimum, maximum and mean values monthly temperature (°C) and monthly precipitation (mm) during the field trial at microclimate conditions A, B and C in the Kumane site.

Statistical Tools

For each investigated trait, the parameters of the descriptive statistics were calculated: mean value and coefficient of variation. Analysis of variation in the experiment, its quantification, and identification of sources of variation were performed using the AMMI model (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction). Thus, AMMI ANOVA presented the main additive components, and then the multivariate source of variation (non-additive component of variance) was reflected. The genotype x environment interaction was further decomposed by a multivariate model PCA analysis [24].

Genotype \times environment interaction was tested using the AMMI analysis by [23]. Data processing was performed in GenStat 9th Edition (trial ver.) VSN International Ltd., (www.vsn-intl.com/ accessed on 12 June 2022) [32]. All biplots were generated in Microsoft Excel, 2013.

The mean squares (MS) from analysis of variance were used to estimate components of the variance (genotypic variance σ_g^2 , phenotypic variance σ_p^2 , interaction variance $\sigma_{g \times y \times t}^2$, and ecological variance σ_e^2), as follows [33]:

Genotypic variance:

$$\sigma_g^2 = \frac{MS1 - MS2}{r \times y \times t}$$

Ecological variance:

$$\sigma_e^2 = MSe$$

Variance of interaction:

$$\sigma_{g \times y \times t}^2 = \frac{MS2 - MS3}{r}$$

Phenotypic variance:

$$\sigma_p^2 = \sigma_g^2 + \sigma_{g \times y \times t}^2 + \sigma_e^2$$

where: $MS1$ = mean square for genotype; $MS2$ = mean square for genotype \times year \times treatment; $MS3$ = mean square for error; r = replications; y = years; t = treatments.

Mean values (\bar{x}) were used for genetic analyses, to determine the genotypic coefficient of variation (CV_g) and the phenotypic coefficient of variation (CV_p), according to Singh and Chaudhary [34]:

$$CV_g(\%) = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{x}} \times 100; CV_p(\%) = \frac{\sqrt{\sigma_p^2}}{\bar{x}} \times 100$$

Heritability in broad sense (h^2) for all traits was computed using the formula given as [35]:

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_p^2} \times 100$$

Heatmap analysis of Pearson moment correlation coefficients and correlation matrix analysis by the principal components method (PCA) were performed, in order to express the relationships between examined traits and grain yield, using the R Project for Statistical Computing, Version 4.2.0, 22 April 2022 ucrt [36].

RESULTS

Ear Mass

The average value of ear mass per agro-ecological environments was 1.41 g, i.e., on soil without reclamation and two treatments during the experiment. The highest deviations from that average were recorded in cultivars Banatka ($\bar{x} = 0.90$ g) and Odisej ($\bar{x} = 2.25$ g), Table 4, Figure 2.

Table 4. Average values (\bar{x}) and coefficient of variation (V) of ear mass for examined genotypes (11 wheat genotypes and 1 triticale genotype) in nine agro-ecological growing conditions.

Genotype	Environments						Average Value	
	Solonetz;		Soil Reclaimed by Phosphogypsum					
	Natural Pasture		25 t × ha ⁻¹		50 t × ha ⁻¹		\bar{x} (g)	V (%)
	Codes E1; E4 and E7	Codes E2; E5 and E8	Codes E3; E6 and E9	\bar{x} (g)	V (%)			
Renesansa	1.4	13.6	1.6	2.8	1.4	10.2	1.5	8.9
Pobeda	1.6	6.9	1.6	25.4	1.2	11.0	1.5	14.4
Evropa 90	1.7	5.3	1.3	3.0	1.6	15.8	1.5	8.0
NSR5	1.5	6.8	1.2	12.0	1.4	6.3	1.4	8.4
Dragana	1.8	9.5	1.0	9.8	1.1	17.8	1.3	12.4
Rapsodija	1.5	11.0	1.4	13.3	1.2	10.9	1.4	11.7
Simonida	1.4	11.0	1.3	10.4	1.3	7.5	1.3	9.6
Cipovka	1.5	9.6	1.3	13.2	1.3	5.3	1.4	9.4
Banatka	0.8	8.6	0.8	7.0	1.0	3.8	0.9	6.5
Bankut 1205	1.1	7.4	1.1	6.4	1.2	7.7	1.1	7.2
Nevesinjka	1.3	5.1	1.6	13.3	1.7	11.8	1.5	10.1
Odisej	2.1	5.5	2.2	12.9	2.4	4.4	2.2	7.6
Average value	1.5	8.4	1.4	10.8	1.4	9.4		
							LSD _{0.05} = 0.180	
							LSD _{0.01} = 0.236	

The analysis of variance showed that environmental share had a great influence on phenotype formation. This was a result of the significant share of the environment sum of squares as an additive effect and the genotype × environment interaction which had a multivariate nature in the total variation of the experiment. The genotype response to variations in the actions of environmental factors was reflected in a statistically highly significant value of mean squares of genotype × environment interaction. This interaction was 26.64% of the share of total variation in the experiment sum of squares (Table 5).

Table 5. AMMI analysis of variance for the ear mass of 11 wheat and 1 triticale cultivars examined across nine environments.

Source of Variation ₁	df ²	MS ³	F Value	F Table		The Share of Total Variation
				0.05	0.01	
Total	323	0.4	-	-	-	100
Treatments	107	1.1	** 13.03	1.00	1.00	86.60
Genotypes	11	2.7	** 33.93	1.83	2.32	23.19
Environments	8	5.9	** 75.54	1.94	2.51	36.78
Blocks	18	0.1	0.98	1.57	1.87	1.10
Interactions	88	0.4	** 4.87	1.00	1.00	26.64
IPCA ₁ ⁴	18	0.7	** 8.74	1.57	1.87	36.71
IPCA ₂	16	0.5	** 6.39	1.57	1.87	23.85
IPCA ₃	14	0.4	** 4.98	1.75	2.18	16.26
IPCA ₄	12	0.3	** 3.22	1.75	2.18	9.00
IPCA ₅	10	0.3	** 3.28	1.83	2.32	7.64
IPCA ₆	8	0.2	* 2.45	1.94	2.51	4.56
IPCA ₇	6	0.1	1.32	2.09	2.80	1.85
Residuals	4	0.01	0.13	2.37	3.32	-
Error	198	0.08	-	-	-	-

¹ All sources were tested in relation to the error; ² degree of freedom; ³ mean of square; ⁴ extracted interaction axes; *, F value is statistical significant at 0.05 possibility; **, F value is statistical significant at 0.01 possibility.

In addition to this significance, the variance analysis of ear mass for the total sample showed high significances of mean squares value for both genotypes and environments. Thereby, in the experiment total variation, the main effects of the variance analysis, genotype and environments, had a 59.97% share of the experiment sum of squares. A large share of the sum of squares within the main effects of the variance analysis belonged to agro-ecological factors (36.78%), while a smaller share belonged to the genotype sum of squares (23.19%), Table 5.

Although most of the total variability was explained by the first major component (IPCA₁ 36.71%), the statistical significance of the remainder indicated that, after the isolation of its influence, part of the variance

remained unexplained; the other main components were therefore also analyzed. A total of six statistically significant main axes were distinguished, the second of which covered the largest part.

Almost all genotypes showed a stable reaction for the ear mass. Genotype Dragana showed less stability than the others. Triticale Odisej, with the largest ear mass, had the highest genotype \times environment interaction, i.e., the lowest stability of all the genotypes. Although the local population, Banatka, proved to be one of the most stable, and the old cultivar, Bankut 1205, a fairly stable genotype, their average values of ear mass were the lowest, compared to the others. The position of the points for these two genotypes, which were grouped around the middle E1, indicated that these old cultivars were well-adapted to the unfavorable conditions of solonetz soil, but without any potential for high ear mass in tested conditions (Figure 3).

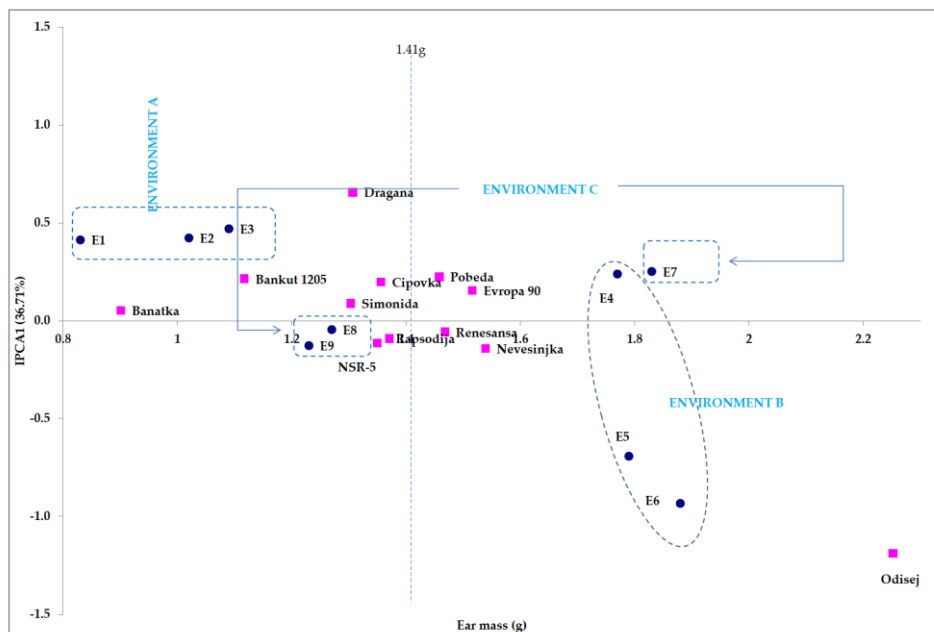


Figure 3. AMMI 1 biplot of 11 wheat and 1 triticale cultivars across nine environments for the estimation of $G \times E$ interaction for ear mass. Legend: codes E1, E4 and E7 = solonetz; natural pasture in microclimate conditions A, B and C; codes E2, E5 and E8 = soil reclaimed by $25 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ phosphogypsum in microclimate conditions A, B and C; codes E3, E6 and E9 = soil reclaimed by $50 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ phosphogypsum in microclimate conditions A, B and C.

The biplot clearly shows the group of points that represent different microclimate conditions. Points E1 (solonetz without reclamation), E2 (solonetz with applied $25 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ of phosphogypsum) and E3 (solonetz with applied $50 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ of phosphogypsum) form one group (Environment A). Microclimate condition A was characterized by low genotype \times environment interaction and the great effect of the additive component. In this group, the lowest trait value was on solonetz without reclamation, so that it increased slightly with increasing doses of phosphogypsum. This indicated the visible

effect of repaired solonetz in that season. During the second year of the experiment (points E4, E5 and E6), difference in the multivariate part of the variation was manifested, while it was absent in the additive part. This was the reason why the average values of ear mass in all treatments were approximately the same. In the third vegetation season, similar to the previous season, the predominant source of variation was in the additive component. During this season, the genotypes had the best results of the ear mass on solonetz without repair (E7). Considering the positions of points E8 and E9, it can be concluded that the cultivars were most stable on the soil with applied $25 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ of phosphogypsum and $50 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ phosphogypsum in microclimate condition C. The first vegetation season did not contribute to the decrease of genotype \times environment interaction for the ear mass. During this season, regardless of treatment, the genotypes had the lowest ear mass averages, as shown in Figure 3.

Grain Mass per Ear

The average value of grain mass per ear during the three-year experiment ranged from $\bar{x} = 1.0 \text{ g}$ in the treatment of $25 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ phosphogypsum to $\bar{x} = 1.1 \text{ g}$ in the soil without repair and in the treatment of $50 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ phosphogypsum. The uniformity of variation of grain mass per ear was indicated by similar values of average coefficient of variation ($V = 10.2\text{--}10.7\%$) during the three experimental seasons, as shown in Table 6.

Table 6. Average value (\bar{x}) and coefficient of variation (V) of grain mass per ear for examined genotypes (11 wheat genotypes and 1 triticale genotype) in nine agro-ecological growing conditions.

Genotype	Environments						Average Value	
	Solonetz; Natural Pasture		Soil Reclaimed by Phosphogypsum					
	Codes E1; E4 and E7		25 t × ha ⁻¹ Codes E2; E5 and E8		50 t × ha ⁻¹ Codes E3; E6 and E9		\bar{x} (g)	V (%)
	\bar{x} (g)	V (%)	\bar{x} (g)	V (%)	\bar{x} (g)	V (%)		
Renesansa	1.1	12.4	1.2	12.3	1.2	15.3	1.2	13.3
Pobeda	1.3	5.3	1.2	21.2	0.9	9.4	1.1	12.0
Evropa 90	1.3	5.1	0.9	3.7	1.3	13.9	1.2	7.6
NSR5	1.1	12.5	1.0	10.7	1.2	9.1	1.1	10.8
Dragana	1.4	9.6	0.6	5.3	0.8	10.2	0.9	8.4
Rapsodija	1.1	13.3	1.1	9.8	1.0	14.1	1.1	12.4
Simonida	1.1	14.6	1.0	6.0	0.9	8.0	1.0	9.5
Cipovka	1.0	22.6	0.8	13.1	1.0	4.0	0.9	13.2
Banatka	0.6	10.0	0.6	8.9	0.7	19.7	0.6	12.9
Bankut 1205	0.8	2.1	0.8	7.7	0.8	8.2	0.8	6.0
Nevesinjka	1.0	6.4	1.3	14.3	1.3	11.6	1.2	10.8
Odisej	1.5	8.2	1.7	15.8	1.9	2.0	1.7	8.7
Average value	1.1	10.2	1.0	10.7	1.1	10.5		

LSD_{0.05} = 0.142
LSD_{0.01} = 0.187

In addition to the highly significant mean of squares of the environments, high statistical significance of the mean of squares of the genotype × environment interaction was also recorded. By analyzing the variance of grain mass per ear for the total sample, it was calculated that the main effects, genotype and environments, had a 55.74% share of the experiment sum of squares in the total experiment variation. Within the main effects of the variance analysis, most of the sum of squares belonged to the environmental share (31.89%), while a smaller share belonged to the genotype sum of squares (23.85%). Genotype × environment interaction had

a 30.30% share in the experiment sum of squares, and showed high statistical significance. A total of six main components were distinguished, out of which the first five were statistically significant, as shown in Table 7. The $IPCA_1$ accounted for most of the interaction (37.58%), which is why the AMMI 1 biplot is also shown, in Figure 4.

Table 7. AMMI analysis of variance for the grain mass per ear of 11 wheat and 1 triticale cultivars, examined across nine environments.

Source of Variation ¹	df ²	MS ³	F Value	F Table		The Share of Total Variation
				0.05	0.01	
Total	323	0.3	-	-	-	100
Treatments	107	0.7	** 13.10	1.00	1.00	86.04
Genotypes	11	1.8	** 35.31	1.83	2.32	23.85
Environments	8	3.4	** 39.55	1.94	2.51	31.89
Blocks	18	0.1	* 1.64	1.57	1.87	1.82
Interactions	88	0.3	** 5.61	1.00	1.00	30.30
$IPCA_1$ ⁴	18	0.5	** 10.30	1.57	1.87	37.58
$IPCA_2$	16	0.4	** 8.41	1.57	1.87	27.26
$IPCA_3$	14	0.3	** 5.28	1.75	2.18	14.95
$IPCA_4$	12	0.2	** 3.77	1.75	2.18	9.15
$IPCA_5$	10	0.2	** 2.84	1.83	2.32	5.76
$IPCA_6$	8	0.1	1.90	1.94	2.51	3.08
Residuals	10	0.06	1.08	1.83	2.32	-
Error	198	0.05	-	-	-	-

¹ All sources were tested in relation to the error; ² degree of freedom; ³ mean of square; ⁴ extracted interaction axes; * F value is statistical significant at 0.05 possibility; **. F value is statistical significant at 0.01 possibility.

According to the achieved interaction values, i.e., the distance from zero axis, the genotypes were grouped towards stability. Genotypes Rapsodija, Renesansa, Bankut 1205 and Banatka showed the most stable response, relative to the first main component, and after them: Pobeda, Simonida, Cipovka and Evropa 90. Medium stable genotypes were Novosadska rana 5

and Nevesinjka, while genotypes Dragana and triticale Odisej were evaluated as the least stable, as shown in Figure 4.

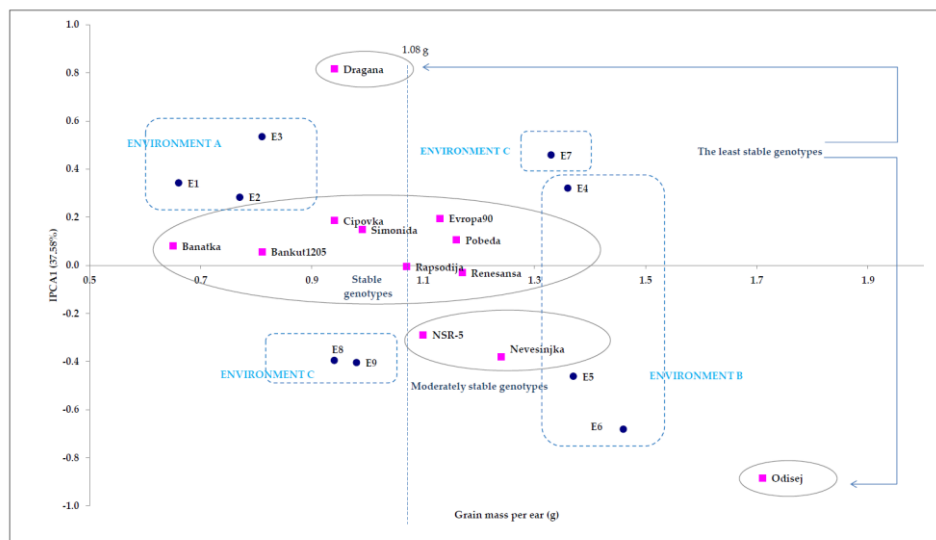


Figure 4. AMMI 1 biplot of 11 wheat and 1 triticale cultivars across nine environments for the estimation of $G \times E$ interaction for grain mass per ear.

Legend: codes E1, E4 and E7= solonetz; natural pasture in microclimate conditions A, B and C; codes E2, E5 and E8 = soil reclaimed by $25 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ phosphogypsum in microclimate conditions A, B and C; codes E3, E6 and E9 = soil reclaimed by $50 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ phosphogypsum in microclimate conditions A, B and C

The distribution of points of the agro-ecological environments indicates a great similarity in conditions for achieving grain mass stability per ear. However, E2 was singled out as the most stable. Even so, this does not make this environment the most favorable in relation to the others, since the genotypes that were part of it had a mean value of grain mass per ear lower than the total mean value of the experiment for this trait. Agro-ecological

environment E6 had the highest interaction score, i.e., it was the environment where genotypes could not show their stable response.

Cultivars Rapsodija and Renesansa stood out as the most stable, compared to the first interaction axis, and with average values higher than the general average (Figure 4).

Genetic Parameters

The phenotypic coefficient of variation (CV_p) was higher than the genotypic coefficient of variation (CV_g) for both analyzed traits. This indicates that the present variation was not only due to genotypes, but also due to the influence of the environment. For all tested microclimates combined, low broad sense heritability values were observed for both traits (31.98% for ear mass and 29.69% for grain mass per ear), as shown in Table 8.

Table 8. The mean value, estimates of variance components, genotypic and phenotypic variance, and heritability of ear mass and grain mass per ear.

Traits ^a	Mean Values	Estimates of Variance Components ^b				Genotypes Mean of Square	CV _g (%)	CV _p (%)	h ² (%)
		σ^2_g	σ^2_p	σ^2_i	σ^2_e				
All tested microclimates combined									
EM	1.41	0.087	0.272	0.104	0.081	2.744 **	20.9 2	36.98	31.98
GMpE	1.08	0.057	0.192	0.079	0.056	1.837 **	22.1 1	40.57	29.69
Microclimate A									
EM	0.98	0.021	0.074	0.008	0.045	0.256 **	14.8 4	27.84	28.38
GMpE	0.75	0.008	0.054	0.014	0.032	0.150 **	12.0 0	31.19	14.81
Microclimate B									
EM	1.82	0.233	0.390	0.116	0.041	2.484 **	26.5 9	34.41	59.74
GMpE	1.40	0.155	0.262	0.079	0.028	1.665 **	28.1 4	36.59	59.16
Microclimate C									
EM	1.44	0.072	0.353	0.125	0.156	1.176 **	18.5 9	41.17	20.40
GMpE	1.08	0.046	0.256	0.105	0.105	0.837 **	19.8 2	46.76	17.97

^a EM = ear mass (g); GMpE = grain mass per ear (g); ^b σ^2_g -genotypic variance, σ^2_p -phenotypic variance, σ^2_i -interaction variance, σ^2_e -ecological variance; CV_g = genotypic coefficient of variation; CV_p = phenotypic coefficient of variation; h² = heritability in broad sense. **. Tested value is statistical significant at 0.01 possibility.

Lower genotypic than phenotypic variance values are often present when genetic factors are examined in connection to microclimates. This outcome

also contributed to the lower-than-expected heritability values in a more general sense. This was due to the significant treatment differences (solonetz, natural pasture and treatments by phosphogypsum), which resulted in high interaction values that were considered when evaluating heritability. However, microclimate B stood out, due to having the most favorable conditions for plant development and the expression of the examined traits. As a result, it can be inferred that more favorable microclimate conditions minimized the differences between the investigated treatments. Higher heritability values for the ear mass (59.74%) and the grain mass per ear (59.16%) were calculated in microclimate B than in microclimates A and C.

Correlations between Studied Parameters and Grain Yield of Wheat under 3S Conditions

In wheat breeding, analyzing the correlation dependency across yield components is crucial, as selection within one feature influences the change of another variable. Single Pearson coefficients are most frequently calculated for correlation analysis, and are shown in the heatmap (Figure 5). The association assessment is also shown by the biplot obtained by PCA analysis, as shown in Figure 6.

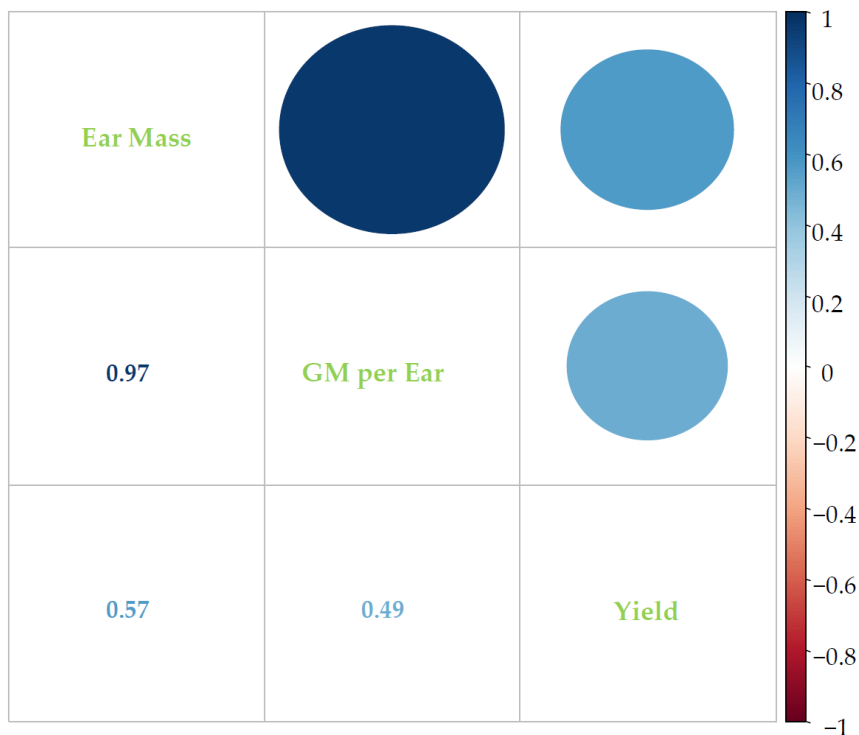


Figure 5. Heatmap of Pearson correlation coefficient for ear mass (EarMass), grain mass per ear (GM per Ear) and grain yield (Yield) for examined genotypes grown under 3S, during microclimate conditions A, B and C.

Given that there was a positive correlation between the studied parameters and grain yield, this indicates that there was a tendency for an increase in one component to result in an increase in another component—in this case, grain yield, which is important for breeding efforts. This is particularly important because the experiment was conducted in 3S conditions brought on by an increase in the amount of sodium ions in the soil.

The association between analyzed parameters and grain yield was estimated in more detail through the principal components method, presented by a biplot (Figure 6).

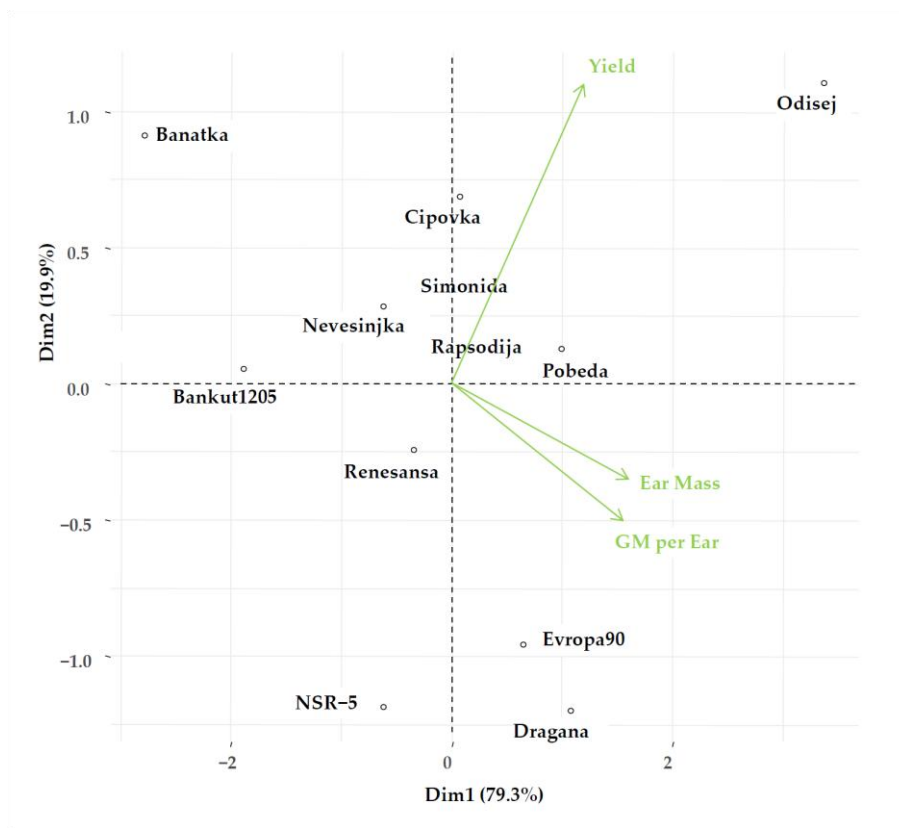


Figure 6. Principal component analysis for ear mass (EarMass), grain mass per ear (GM per Ear) and grain yield (Yield) for examined genotypes grown under 3S, during microclimate conditions A, B and C.

By comparing the values of the first (Dim1) and second (Dim2) principal components of PCA for ear parameters and grain yield, as well as genotypes, a biplot analysis was conducted to explore multivariate associations between the examined variables. The importance of the acquired data is shown by the fact that the first two axes together explained 99.2% of the variation. Acute

angles that overlapped the vectors of the investigated traits indicated that there were positive correlations between them, which is also consistent with the reported correlation study (Figures 5 and 6).

DISCUSSION

Point Distribution of Genotype and Environmental Share: Markers of Genotype Stability

An assessment of the stability of different wheat genotypes, in terms of their grain yield and grain yield components, provides valuable information about genotype adaptation to specific environments, such as environments with increased soil salinity [25,37,38]. The results of this three-year experiment showed the extremely complex nature of the tested traits of phenotypic variation, which were considered components of the wheat grain yield. Besides the high level of monitored phenotypic characteristics in the tested cultivars, the stability of their reaction was also observed. However, when discussing stable reaction, i.e., the level of genotype \times environment interaction, it is necessary to emphasize that this interaction was observed in two ways. A low level of genotype \times environment interaction was observed and evaluated favorably, with the highest mean value of the observed trait, which indicated stability. At the same time, the nature of this interaction at high level was also assessed in cases where a marked change in rank occurred (“cross over” interaction). This was because the experiment was set up in the conditions of control and two levels of solonetz repair, so in some cases the high level of genotype \times environment interaction indicated a favorable reaction of the cultivar to land reclamation measures. Therefore, in addition to accepting a stable reaction at average trait values higher than the average of the experiment, some cases of so-called unstable reaction were

evaluated as favorable, if that reaction meant that the cultivar reacted violently to land reclamation measures by increasing the mean value of the observed trait. In that way, cultivars with low interaction and stable reaction to variation of agro-ecological conditions were separated. This research confirms that the local population, Banatka, and the ancient variety, Bankut 1205, have successfully adapted to 3S, which accords with Gharib, et al. [39], who found that local populations and old varieties of wheat could be a useful genetic resource for increasing genetic variability and specific adaptation to 3S conditions, as well as suitable parental material in breeding programs.

Still, a priori is not dismissed without detailed analysis, as with any reaction that would be assessed as unstable and unfavorable in normal growing conditions. The aspiration follows, from the above, to obtain the most complete and realistic variation scores, as well as the source of the experiment variation, especially on the level and the nature of genotype \times environment interaction. This would describe the total or average stability of the genotype, so it is of utmost importance to analyze the complex nature of genotype \times environment interaction in more details. Over the last few decades, several studies have been carried out to understand plant biology in response to 3S, with a major emphasis on genetic and other hereditary components [9,12,29]. Based on the outcome of these studies, several approaches are being followed, to enhance plants' ability to tolerate salt stress while still maintaining reasonable levels of crop yields [40,41]. This research indicates the importance of studying the correlations between yield components and wheat grain yield in 3S, which is in accordance with Matković Stojšin, et al. [42].

The complex nature of genotype \times environment interaction was reflected in the large number of interaction axes, i.e., main axes from the main components analysis, which were applied in the AMMI model for more detailed analysis of genotype \times environment interaction. The larger number of main interaction axes, which proved to be statistically significant, meant that the variance of the genotype \times environment interaction was influenced by several agronomically significant and explanatory sources of variation. Due to this, the tested yield components showed a genotype \times environment interaction that could not be explained only by the first interaction axis (IPCA₁).

The External Environment: Sculptor of Genetic Expression of Examined Traits

The ear mass showed a great dependence on the action of environmental factors, as the genetic share in the phenotypic variation was not high, nor the calculated heritability. This result was expected, given the distinct quantitative basis of this wheat yield component—for the expression of which, polygene groups are responsible—but also its dependence on grain mass per ear and number of grains per ear. The genotypes had the lowest averages of ear mass in microclimate condition A, regardless of treatment. Although this season was characterized by certain deviations in terms of climatic parameters, it was still observed as a whole, and had more favorable climate conditions. This resulted in a reduction of the differences in genotype response to the measures of solonetz repair for the ear mass. However, the average values of ear mass had a tendency to increase from control to treatment, with 50 t \times ha⁻¹ of phosphogypsum. The effect of reclamation measures was absent in the third vegetation season, because the highest average value of ear mass was obtained on the control variant of solonetz

($\bar{x} = 1.8$ g). Thus, during the second vegetation season, the highest average value of this trait was achieved ($\bar{x} = 1.9$ g on treatment with $50 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ of phosphogypsum). This indicated that the high average value of the ear mass in such conditions could only be achieved due to the favorable reaction of genotypes to the measures of solonetz repair. Similar results were obtained by Ljubičić, et al. [43], who found that the basic source of ear mass variation is reclamation measure.

Ear mass stability analysis showed that there were differences between the genotypes, which were quantified by a statistically highly significant value of mean squares of genotype \times environment interaction. However, the distribution points of the genotypes, and considerable agro-ecological environments that were more scattered by abscissa than by ordinate on the biplot, could lead to the conclusion that variation of the additive part of the total variance was more pronounced than the multivariate for the ear mass. This resulted in a stable reaction of almost all genotypes for the ear mass. Measures to repair solonetz contributed to the increase in stability and the decrease in interaction values. The highest genotype \times environment interaction was observed in triticale cultivar Odisej, so this genotype was characterized as the least stable, which is consistent with the results of Purchase, et al. [44].

The grain mass per ear was characterized by low heritability and significant phenotypic variation, depending on the variation of environmental factors. The lower genotype \times environment interaction of this trait was a good basis for selection for stable wheat yield. By analyzing the grain mass per ear, a high variability of this wheat yield component could be noticed, in relation to the examined microclimate conditions and different phosphogypsum treatments. The grain mass per ear showed complex genotype \times environment

interaction, whereby it was possible to group genotypes according to stability. The highest average values of grain mass per ear ($\bar{x} = 1.5$ g on treatment with $50 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ of phosphogypsum) were achieved by genotypes in the season when the most unfavorable environmental conditions prevailed, especially in stages crucial for ear formation and grain filling. Differences in the mean values of the examined trait during different vegetation seasons were in accordance with the previous results, where the speed and completeness of the flowering, pollination and fertilization processes were determined by environmental conditions, above all by temperatures and humidity [26,45]. Microclimate condition A did not favor the development of grain mass per ear, as with the ear mass, just as the solonetz repair measures did not have a significant impact. However, the AMMI analysis determined that this season, in all three variants of the experiment, was the most favorable for achieving a stable reaction for grain mass per ear. In the same location, seed yield was tested, and its expression, controlled with multiple genes and traits, suffered decrease, compared to non-stressed conditions [26]. The great influence of the external environment on the grain mass per ear, and the number of grains per ear, has been confirmed by the research of [43,46], as has the high difference between the phenotypic and genotypic coefficient of variation, especially for grain mass per ear, indicating the greater influence of the environment. Dimitrijević, et al. [47], Knežević, et al. [16], Knežević, et al. [17], and Matković Stojšin, et al. [48], found a high share of the environment in the variation of grain mass per ear. Similar results were obtained by Matković Stojšin, et al. [42], for ear mass.

For both examined traits, values of genetic variance were almost equal to values of environmental variance. The consequence of this phenomenon was low heritability of these yield components, which could indicate that

environmental factors could be attributed as epigenetics. Testing genotypes under abiotic stress is critical, because it allows researchers to analyze their first response to a particular situation, i.e., to primary stress [49]. Assessment of a genotype's tolerance to abiotic stress, in situ, is of great importance for forming a realistic picture because, in addition to 3S, all other abiotic factors also affect the plant [42,50–52].

When genotypes are tested at different phases of development, determining the response to primary stress makes sense. Better epigenetic mechanisms, which allow them to recall stress, are defined by varieties that respond best to primary stress with the least harm in the early stages of development, and then give the same response to the source of abiotic stress in the later stages of development. Because genotypes are not formed for specific growing circumstances, this response is not encoded in their genetic code, so it is hypothesized that DNA methylation and/or histone modification are responsible for this reaction, which is the focus of new research. In this research, phenotypic evaluation of genotypes was carried out at various phases of development, in order to show that genotypes with the best assessment of primary stress had the greatest mean values of the attributes studied in the whole physiological maturity phase.

Through three separate stages of plant cultivation, the memory of stress at the vertical level was examined in this experiment. This brings up the prospect of answering the question: “Can a seed remember?”—that is to say—“Can epigenetic factors be fixed in the genome?”—which will be a good parent for developing new genetic variability specific for growing under stressful conditions.

CONCLUSION

In experiments where the interaction of climate conditions, soil conditions and appropriate treatments is examined, it is important to consider the genetic potential of selected cultivars and factors that interfere. This is particularly important if the environmental conditions are the sources of abiotic stress as well, because this gives a clearer picture of the potential breeding usability of the cultivars. In this investigation, the stability of wheat genotypes, grown in the stressful conditions of solonetz soil type and steppe microclimate, was assessed. By comparing the results that analyzed genotypes had on the control treatment (without application of phosphogypsum) with the results that genotypes achieved on the treatments with phosphogypsum, potential gene donors for the creation of new genetic variability were selected from the existing germplasm.

Regardless of treatment, the genotypes in microclimate A had the lowest averages of ear mass. The genotype Odisej, on solonetz reclaimed by $50 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ of phosphogypsum, in microclimate B, recorded the greatest ear mass values. Agro-ecological factors significantly controlled how ear mass was expressed. Genotypes Banatka, Renesansa, Rapsodija and Simonida demonstrated the most stable reactions. The effect of the applied amelioration measure depended on the meteorological conditions of the growing season. On solonetz reclaimed by $25 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ and $50 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ of phosphogypsum, in microclimate C, the genotypes showed the highest stability. It was found that the local population, Banatka, and the ancient variety, Bankut 1205, had successfully adapted to 3S, and that they could be good parents for new wheat cultivars for growing under those conditions. In all of the experiment's versions, microclimate B produced the greatest average values of grain mass per ear and the lowest average values of the

coefficient of variation. In the microclimate A, solonetz reclaimed by $25 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ of phosphogypsum came out as the ideal setting for obtaining a stable reaction of the genotypes. The most stable genotypes were Rapsodija and Renesansa. In less favorable circumstances, under 3S, genotype Simonida produced one of the most steady reactions for grain mass per ear.

The results obtained by this research may be important for the further process of creating stable wheat genotypes, both for 3S conditions and abiotic stress in general.

Author Contributions: Conceptualization, Methodology, Software, Validation, Investigation, Resources, Writing—original draft, Writing—review & editing, Visualization, Funding acquisition, B.B.; Validation, Visualization, Funding acquisition, V.M.; Methodology, Validation, Visualization, Funding acquisition, S.P.; Software, Validation, Visualization, Funding acquisition, M.M.S.; Validation, Data curation, Visualization, Funding acquisition, Đ.K.; Validation, Visualization, Funding acquisition, S.V.; Validation, Visualization, Funding acquisition, K.M.; Validation, Visualization, Funding acquisition, B.K., Validation, Visualization, Funding acquisition, D.B. (Dušana Banjac); Validation, Visualization, Funding acquisition, S.J.; Validation, Visualization, Funding acquisition, D.B. (Danilo Begić), Validation, Visualization, Funding acquisition, R.Š. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: Ministry of Education, Science and Technological Development, Serbia, 451-03-68/2022-14/200117.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

1. Shiferaw, B.; Smale, M.; Braun, H.J.; Duveiller, E.; Reynolds, M.; Mauricho, G. Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Secur.* **2013**, *5*, 291–317.
2. Knežević, D.; Zečević, V.; Dukić, N.; Dodig, D. Genetic and phenotypic variability of grain mass per spike of winter wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). *Kragujev. J. Sci.* **2008**, *30*, 131–136.
3. Li, T.; Deng, G.; Tang, Y.; Su, Y.; Wang, J.; Cheng, J. Identification and Validation of a Novel Locus Controlling Spikelet Number in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Front. Plant Sci.* **2021**, *12*, 611106.
4. Popović, V.; Ljubičić, N.; Kostić, M.; Radulović, M.; Blagojević, D.; Ugrenović, V.; Popović, D.; Ivošević, B. Genotype × Environment Interaction for Wheat Yield Traits Suitable for Selection in Different Seed Priming Conditions. *Plants* **2020**, *9*, 1804.
5. Sheoran, S.; Jaiswal, S.; Raghav, N.; Sharma, R.; Sabhyata; Gaur, A.; Jaisri, J.; Gitanjali, T.; Singh, S.; Sharma, P.; et al. Genome-Wide Association Study and Post-genome-Wide Association Study Analysis for Spike Fertility and Yield Related Traits in Bread Wheat. *Front. Plant Sci.* **2022**, *12*, 820761.
6. Delvet, A. Crop Production and Yield Limiting Factors. *MAS J. Appl. Sci.* **2021**, *6*, 325–349.
7. Tóth, G.; Montanarella, L.; Stolbovoy, V.; Máté, F.; Bódis, K.; Jones, A.; Panagos, P.; Van, M.; Liedekerke, M. *Soils of the European Union*; Office for Official publications of the European Communities: Luxembourg, 2008; p. 85.

8. Bai, R.; Zhang, Z.; Hu, Y.; Fan, M.; Schmidhalter, U. Improving the salt tolerance of Chinese spring wheat through an evaluation of genotype genetic variation. *Aust. J. Crop Sci.* **2011**, *5*, 1173–1178.
9. Borzouei, A.; Kafi, M.; Akbari-Ghogdi, E.; Mousavi-Shalmani, M. Long term salinity stress in relation to lipid peroxidation, superoxide dismutase activity and proline content of saltsensitive and salt-tolerant wheat cultivars. *Chil. J. Agric. Res.* **2012**, *72*, 476–482.
10. Liu, X.; Chen, D.; Yang, T.; Huang, F.; Fu, S.; Li, L. Changes in soil labile and recalcitrant carbon pools after land-use change in a semi-arid agro-pastoral ecotone in Central Asia. *Ecol. Indic.* **2020**, *110*, 105925.
11. Sairam, R.K.; Rao, K.V.; Srivastava, G.C. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Sci.* **2002**, *163*, 1037–1046.
12. Mladenov, V.; Fotopoulos, V.; Kaiserli, E.; Karalija, E.; Maury, S.; Baranek, M.; Segal, N.; Testillano, P.S.; Vassileva, V.; Pinto, G.; et al. Deciphering the Epigenetic Alphabet Involved in Transgenerational Stress Memory in Crops. *Int. J. Mol. Sci.* **2021**, *22*, 7118:1–7118:20. <https://doi.org/10.3390/ijms22137118>.
13. Ullah, K.; Khan, S.J.; Muhammad, S.; Irfaq, M.; Muhammad, T. Genotypic and phenotypic variability, heritability and genetic diversity for yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm. *Afr. J. Agric. Res.* **2011**, *6*, 5204–5207.
14. Azarbad, H.; Tremblay, J.; Giard-Laliberté, C.; Bainard, L.D.; Yergeau, E. Four decades of soil water stress history together with host genotype constrain the response of the wheat microbiome to soil moisture. *FEMS Microbiol Ecol.* **2020**, *96*, fiae098:1–fiae098:12. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiae098>.

15. Petrović, S.; Dimitrijević, M.; Kraljević-Balalić, M. Stabilnost mase klasa divergentnih genotipova pšenice [Stability of spike weight of divergent wheat genotypes]. *Letop. Naučnih Rad. Poljopr. Fak.* **2001**, 25, 32–39.
16. Knežević, D.; Zečević, V.; Kondić, D.; Marković, S.; Šekularac, A. Genetic and phenotypic variability of grain mass per spike in wheat under different dose of nitrogen nutrition. *Tur. J. Agric. Nat. Sci.* **2014**, 1, 805–810.
17. Knežević, D.; Radosavac, A.; Zelenika, M. Variability of grain weight per spike of wheat grown in different ecological conditions. *Acta Agric. Serb.* **2015**, 20, 85–95.
18. Jiang, T.; Dou, Z.; Liu, J.; Gao, Y.; Malone, R.W.; Chen, S.; Feng, H.; Yu, Q.; Xue, G.; He, J. Simulating the Influences of Soil Water Stress on Leaf Expansion and Senescence of Winter Wheat. *Agric. For. Meteorol.* **2020**, 291, 108061:1–108061:14. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108061>.
19. Arzani, A.; Ashraf, M. Smart engineering of genetic resources for enhanced salinity tolerance in crop plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* **2016**, 35, 146–189. <https://doi.org/10.1080/07352689.2016.1245056>.
20. Mohammadi, R.; Armion, M.; Zadhasan, E.; Ahamdi, M.M.; Amir, A. The use of AMMI model for interpreting genotype × environment interaction in durum wheat. *Exp. Agric.* **2018**, 54, 670–683.
21. Verma, A.; Singh, G.P. AMMI with BLUP analysis for stability assessment of wheat genotypes under multi locations timely sown trials in Central Zone of India. *J. Agric. Sc. Food Technol.* **2021**, 7, 118–124.
22. Sime, B.; Tesfaye, S.M. Stability performance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotype for yield and yield components in Oromia, Ethiopia. *J. Agric. Res. Dev.* **2021**, 12, 625.

23. Zobel, R.W.; Wright, M.J.; Gauch, H.G. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* **1988**, *80*, 388–393.
24. Gauch, H.G. A simple protocol for AMMI analysis of yield trials. *Crop. Sci.* **2013**, *53*, 1860.
25. Petrović, S.; Dimitrijevic, M.; Belić, M.; Banjac, B.; Boškovic, J.; Zečević, V.; Pejić, B. The variation of yield components in wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to stressful growing conditions of alkaline soil. *Genetika* **2010**, *42*, 545–555.
26. Banjac, B.; Mladenov, V.; Dimitrijević, M.; Petrović, S.; Boćanski, J. Genotype x environment interactions and phenotypic stability for wheat grown in stressful conditions. *Genetika* **2014**, *46*, 799–806. <https://doi.org/10.2298/GENSR1403799B>.
27. Neisse, A.C.; Kirch, J.L.; Hongyu, K. AMMI and GGE Biplot for genotype × environment interaction: A medoid-based hierarchical cluster analysis approach for high-dimensional data. *Biom. Lett.* **2018**, *55*, 97–121.
28. Hongyu, K. Adaptability, stability and genotype by environment interaction using the AMMI model for multienvironmental trials. *Biodiversity* **2018**, *17*, 10–21.
29. Dimitrijević, M.; Petrović, S.; Belić, M.; Mladenov, N.; Banjac, B.; Vukosavljev, M.; Hristov, N. Utjecaj limitirajućih uvjeta solonjeka na variranje uroda krušne pšenice [The influence of solonetz soil limited growth conditions on bread wheat yield]. In *Proceedings of the 45th Croatian & 5th International Symposium on Agriculture, Opatija, Croatia, 15–19 February 2010*; Faculty of Agriculture, University of Josip Juraj Strossmayer: Osijek, Croatia, 2010; pp. 394–398.
30. Petrović, S.; Dimitrijević, M.; Kraljević-Balalić, M.; Crnobarac, J.; Lalić, B.; Arsenić, I. Uticaj genotipova i spoljne sredine na komponente

- prinosa novosadskih sorti pšenice [The effect of genotype and the environment on yield components in Novi Sad wheat varieties]. *Zbornik radova Naučnog instituta za ratarstvo i povrtarstvo* **2005**, *41*, 199–206.
31. Zadoks, J.C.; Chang, T.T.; Konzak, C.F. A decimal code for the growth stage of cereals. *Weed Res.* **1974**, *14*, 415–421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>.
32. *GENSTAT 9th Edition*, Trial Version; VSN International Ltd.: Indore, India, 2009.
33. Comstock, R.R.; Robinson, H.F. Genetic parameters, their estimation and significance. In Proceedings of the 6th International Grassland Congress, State College, PA, USA, 17–23 August 1952; National Publishing Company: Washington, DC, USA, 1952; Volume 1, pp. 248–291.
34. Singh, R.K., Chaudhary, B.D. *Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis*; Kalyani Publishers: New Delhi/Ludhiana, India, 1985; pp. 39–78.
35. Falconer, D.S. *Introduction to Quantitative Genetics*, 3rd ed.; Longman Scientific and Technical: New York, NY, USA, 1989; p. 438.
36. *R Project for Statistical Computing*, Version 4.2.0 (2022-04-22 ucrt); R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, 2022. Available online: <https://www.R-project.org/> (accessed on 03 July 2022).
37. Banjac, B.; Dimitrijević, M.; Petrović, S.; Mladenov, V.; Banjac, D.; Kiprovska, B. Antioxidant variability of wheat genotypes under salinity stress. *Genetika* **2020**, *52*, 1145–1160. <https://doi.org/10.2298/GENSR2003145B>.
38. Matković Stojšin, M.; Petrović, S.; Dimitrijević, M.; Šućur Elez, J.; Malenčić, Đ.; Zečević, V.; Banjac, B.; Knežević, D. Effect of salinity stress on antioxidant activity and grain yield of different wheat

- genotypes. *Turk. J. Field Crops* **2022**, *27*, 33–40.
<https://doi.org/10.17557/tjfc.1002061>.
39. Gharib, M.; Qabil, N.; Salem, A.; Ali, M.; Awaad, H.; Mansour, E. Characterization of wheat landraces and commercial cultivars based on morpho-phenological and agronomic traits. *Cereal Res. Commun.* **2020**, *49*, 149–159.
40. Saradadevi, G.P.; Das, D.; Mangrauthia, S.K.; Mohapatra, S.; Chikkaputtaiah, C.; Roorkiwal, M.; Solanki, M.; Sundaram, R.M.; Chirravuri, N.N.; Sakhare, A.S.; et al. Genetic, Epigenetic, Genomic and Microbial Approaches to Enhance Salt Tolerance of Plants: A Comprehensive Review. *Biology* **2021**, *10*, 1255:1–1255:31.
<https://doi.org/10.3390/biology10121255>.
41. Denčić, S.; Kastori, R.; Kobiljski, B.; Duggan, B. Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. *Euphytica* **2000**, *113*, 43–52.
<https://doi.org/10.1023/A:1003997700865>.
42. Matković Stojšin, M.; Petrović, S.; Banjac, B.; Zečević, V.; Roljević Nikolić, S.; Majstorović, H.; Đorđević, R.; Knežević, D. Assessment of genotype stress tolerance as an effective way to sustain wheat production under salinity stress conditions. *Sustainability* **2022**, *14*, 6973.
43. Ljubičić, N.; Popović, V.; Ćirić, V.; Kostić, M.; Ivošević, B.; Popović, D.; Pandžić, M.; El Musafah, S.; Janković, S. Multivariate Interaction Analysis of Winter Wheat Grown in Environmen of Limited Soil Conditions. *Plants* **2021**, *10*, 604.
<https://doi.org/10.3390/plants10030604>.
44. Purchase, J.L.; Hatting, H.; van Deventer, C.S. 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. <https://doi.org/10.1080/02571862.2000.10634878>.
45. Hagos, H.G.; Abay, F. AMMI and GGE biplot analysis of bread wheat genotypes in the northern part of Ethiopia. *J. Plant Breed. Genet.* **2013**, *1*, 12–18.
46. Zhao, C.; Liu, B.; Piao, S.; Wang, X.; Lobell, D.B.; Huang, Y.; Huang, M.; Yao, Y.; Bassu, S.; Ciaia, P.; et al. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2017**, *114*, 9326–9331. <https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114>.
47. Dimitrijević, M.; Petrović, S.; Banjac, B. Wheat breeding in abiotic stress conditions of solonetz. *Genetika* **2012**, *44*, 91–100.
48. Matković Stojšin, M.; Zečević, V.; Petrović, S.; Dimitrijević, M.; Mićanović, D.; Banjac, B.; Knežević, D. Variability, correlation, path analysis and stepwise regression for yield components of different wheat genotypes. *Genetika* **2018**, *50*, 817–828.
49. Kakoulidou, I.; Avramidou, E.V.; Baranek, M.; Brunel-Muguet, S.; Farrona, S.; Johannes, F.; Kaiserli, E.; Lieberman-Lazarovich, M.; Martinelli, F.; Mladenov, V.; et al. Epigenetics for crops improvement of global change. *Biology* **2021**, *10*, 766:1–766:46, <https://doi.org/10.3390/biology10080766>.
50. El-Hendawy, S.E.; Hassan, W.M.; Al-Suhaibani, N.A.; Refay, Y.; Abdella, K.A. Comparative performance of multivariable agrophysiological parameters for detecting salt tolerance of wheat cultivars under simulated saline field growing conditions. *Front. Plant Sci.* **2017**, *8*, 435.
51. El-Hendawy, S.; Al-Suhaibani, N.; Mubushar, M.; Tahir, M.U.; Refay, Y.; Tola, E. Potential use of hyperspectral reflectance as a high-

- throughput nondestructive phenotypic tool for assessing salt tolerance in advanced spring wheat lines under field conditions. *Plants* **2021**, *10*, 2512.
52. Mansour, E.; Moustafa, E.S.; Desoky, E.S.M.; Ali, M.; Yasin, M.A.; Attia, A.; Alsuhaibani, N.; Tahir, M.U.; El-Hendawy, S. Multidimensional evaluation for detecting salt tolerance of bread wheat genotypes under actual saline field growing conditions. *Plants* **2020**, *9*, 1324.

4.3 PHENOTYPIC MARKER STUDY OF WORLDWIDE WHEAT GERMPLASM

Italian Journal of Agronomy 2023, (Early Access).

<https://doi.org/10.4081/ija.2023.2194>

Rada ŠUĆUR¹, Velimir MLADENOV^{1*}, Borislav BANJAC¹, Dragana TRKULJA², Sanja MIKIĆ², Maja ŠUMARUNA², Andreas BÖRNER³

¹University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Novi Sad

²Institute of Field and Vegetable Crops, Novi Sad

³Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben

HIGHLIGHTS

- Correlation analysis showed significant positive connections between yield and grain weight per spike. Also, heading time had positive correlation with plant height.
- A negative correlation occurred between plant height and yield, as well as between heading time and grain yield.
- Principal component analysis confirmed that the varieties Apache, Pobeda, and Svilena were the most successful with the components that are closely related to achieving high yields

ABSTRACT

The goal of this research is to test breeding material of different geographical origin, and material that is adapted to different agro-climatic regions. This

research examines how different wheat genotypes behave in the climatic conditions of the Pannonian Plain, where environmental stress occur more and more frequently. Fifteen divergent wheat genotypes were evaluated for grain yield, heading time and yield components (spike length, grain weight per spike and plant height) across seasons 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020. By applying the ANOVA model, significant differences between tested traits were recorded among the analyzed genotypes. Among the genotypes there was a variability that ranged widely for all tested traits. The coefficient of variation ranged from 5.48% for plant height to 41.03% for grain weight per spike. Correlation analysis showed strong positive relationships between grain yield and grain weight per spike ($r = 0.87$), as well as between plant height and heading time ($r = 0.65$). Principal Component Analysis (PCA) was also applied in order to determine the differences between wheat genotypes. This yield marker study, which was carried out in the Western Balkans, could be very valuable in providing breeders with the information they need to evaluate their breeding programs.

Key words: correlations, phenotypic, variability, wheat, yield components

INTRODUCTION

Increasing world population urges for provision of enough food for to human race. Global climate change is marked by increases in average annual temperature, drought stress, moisture stress, rising levels of pollution, and frequent outbreaks of crop diseases and pests, most of them concurring (Tadesse et al., 2019). Wheat is a major and versatile field crop, contributing importantly to the nutrient supply of the global population and showing wide adaptation to diverse agro-ecological conditions and cropping technologies (Mladenov et al., 2021).

One of the main goals in plant breeding is to create uniform varieties and, reduce the interaction between the created genotype and environment. Due to the global climate change, stressful environmental conditions are becoming common thus the plasticity, GEI and diversity of the individual yield-related agronomic traits are becoming increasingly important for obtaining stable grain yield per unit area. In the process of identifying the sources of variation, the total phenotypic variance could be partitioned into variance due to genotype influence, environment influence, their interactions, errors, and variance that had no agronomic explanation (Ljubičić et al., 2021). Genotype \times environment interaction produces many different phenotypes, where variation is produced by the combined effects of genotype and environment. Their interaction is defined as the difference between phenotypic value and value expected from the appropriate genotype and environmental values. Understanding the causes of the genotype \times environment interaction is important to identify superior genotypes. It often happens that there are difficulties in determining the genotypic performance across environments, and the cause is mainly numerous tests of many traits in several localities and seasons (Mladenov et al., 2012).

Genetic wheat diversity has the main role in breeding success, improvement, and increasing genetic yield potential. Genetic variability is a basic prerequisite in creating a visible and successful breeding program, and is essential for adaptation to new environmental changes. Genetic variability is different from genetic variation, which is the actual amount of phenotypic variation seen in a particular population. (Balkan, 2018; Wani et al., 2018). For wheat breeding to be successful, it is necessary to know the interrelationship of a large number of components which together affect the yield and quality. The change in yield components directly affects the grain

yield, because the yield is a cumulative output of separate contributions of each of the components. The degree of association between these components is important for wheat breeding programs, considering the existence of interrelationship between traits. Therefore, the selection of one trait can cause changes in another trait. Quantitative grain traits depend on genetic factors, environmental factors, and their mutual interaction (Ayranci 2020). This study aims to examine the phenotypic variability of heading time, grain yield and its components, to determine the correlation degree of wheat yield components and to group and visually present the relationship between selected wheat varieties using the multivariate analysis method.

MATERIAL AND METHODS

Plant material

Fifteen divergent wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars, namely Acciaio, Ai-bian, Akteur, Apache, Caheme 71, Florida, Mironovskaya 808, Nizija, Norin 10/Brev.14, NS 55-25, Pobeda, Red Coat, Sava, Svilena, Triple Dirk B (Table 1), were selected with the intention to cover the time period after World War II until today, and to originate from different parts of the world.

Table 1. Name, origin, year of production and pedigree of examined wheat genotypes

Genotype	Country	Year	Pedigree
Acciaio	Italy	1970	Mara,ita//Mara,ita/0,10
Ai-bian	China	N/A	Tom-Thumb/?
Akteur	Germany	2004	87-308/Astron//Astron
Apache	France	1998	Axial/NRPB-84-4233
Cajeme 71	Mexico	1971	Ciano-67(sib)/3/Sonora-64/Klein-Rendidor//(sib)Siete Cerros-66;Ciano-67(sib)//Sonora-64/Klein-Rendidor/3/II-8156
Florida	United States	1984	N/A

	of America		
Mironovskaya 808	Ukraine	1963	(T)Artemovka
Nizija	Serbia	1979	Argelato/KS-56-R-386//2*Bezostaya-1/3/NS-422;T-22,ita/KS-56-R-386/Bezostaya-1/NS-435
Norin 10/Brev. 14	United States of America	N/A	Norin10/Brevor
NS 55-25	Serbia	1985	Novosadska-Crvena/Panonija
Pobeda	Serbia	1990	Sremica/Balkan,yug
Red Coat	United States of America	1960	Suppresa(P1-193833)/(CI-11845) Fultz//PO-4126-A-9-32-2-2
Sava	Serbia	1967	Fortunato*2/(CI-13170) Red Coat
Svilena	Bulgaria	1994	Super-Zlatna/863-A-31//76-24-5
Triple Dirk B	Australia	1970	Winter-Minflor/n*Triple Dirk; Winter-Minflor/3* Triple Dirk

Experiment design

The cultivars were tested across seasons 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020 in the region of Western Balkan, on the experimental station of the Institute of Field and Vegetable Crops, Rimski Šančevi, Serbia. Wheat was sown in October 2017, 2018 and 2019 in three replications in a completely randomized design. The size of the plot was 2 m², and the sowing density was 550 germinating grains per square meter. The experiment was set on the soil type of chernozem, where the soybean was the previous crop. Before sowing, complete agricultural practices were applied, which includes fertilization with 50 kg nitrogen per ha, 60 kg phosphorus per ha and 60 kg potassium per ha. Later in the spring, another 50 kg nitrogen per ha in the form of ammonium nitrate was added. In April, the crop was treated with herbicides and insecticides, and weeds were removed by hand as needed. The harvest was carried out in the optimal time, July 2018, 2019 and 2020 at the stage of physiological maturity.

The heading time was recorded as the number of days from 1 January until the date when spikes emerged on 50% of plants on the plot. Plant height was measured as a length of plant from the bottom of the stem to the tip of the spike, excluding awns or scurs. Samples were formed by selecting ten representative spikes, which are later analyzed for the following traits: grain yield, spike length and grain weight per spike (Figure 1). In this study tested elite genotypes were: Acciaio, Ai-bian, Akteur, Apache, Cajeme 71, Florida, Mironovskaya 808, Nizija, Norin10/Brev.14, NS 55-25, Pobeda, Red Coat, Sava, Svilena, Triple Dirk B.

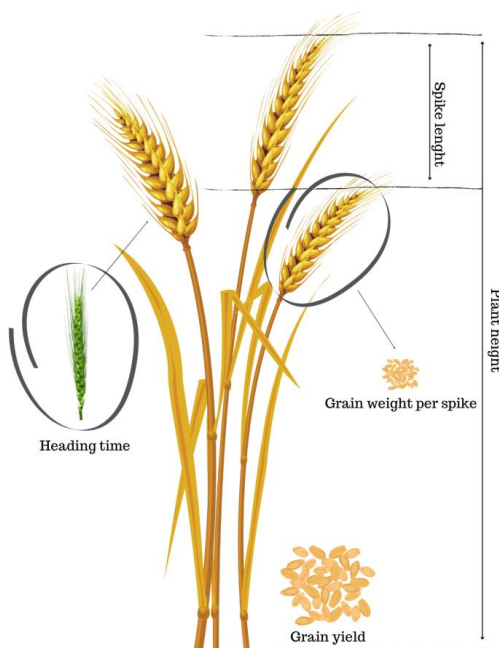


Figure 1. Illustration of wheat plant and analyzed traits across year 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020 on the environment of Novi Sad, Serbia.

Statistical analysis

For the data obtained from the experiment, the following parameters were calculated: mean, minimum, maximum value, coefficient of variation and standard deviation. Also, analysis of variance (ANOVA), correlation coefficient and Principal Component Analysis (PCA) were calculated. In order to compare the mean values of the examined traits, the Duncan test of multiple comparisons was applied. The degree of the linear relationship between two variables was measured with Pearson's coefficient and the degree of the correlation was estimated by the scale proposed by Dawson and Trapp (2014). In order to reduce the data dimensionality, a multivariate PCA model was applied. The analyses were done in the software system STATISTICA version 14 (www.statsoft.com) while the program R, version 4.2.0 (www.r-project.org), was used for the graphical display of data.

Growing season conditions

The meteorological elements of the site were obtained from the electronic publications "Meteorological Yearbook-Climatological Data", of the Republic Hydrometeorological Institute of Serbia. The average annual air temperature in the season 2017/2018 was 11.5 °C while the total amount of precipitation was 675.1 mm (Figure 2a). October precipitation significantly improved humidity of deeper layers of agricultural land (39.9 mm), and also allowed uniformly wheat germination. During the winter, the snow cover was important as protection of winter crops from low temperature, and later its melting affected the improvement of moisture reserves in the deeper layers of soil. By mid-May, air temperatures were mostly above the perennial average for May, with a measured average air temperature of 20.4 °C compared to the multi-year average for this month of 17.3 °C, which led

to a further acceleration of the flow of wheat phenological stages. At the experimental site where the trial was conducted, there were unfavorable humidity conditions, due to deficit of water in the surface and deeper layers.

The beginning of growing season 2018/2019 characterized significantly warmer weather than usual and without significant amounts of precipitation (Figure 2b). The average temperature in October was 14.8 °C which is 3 °C more than the multi-annual average for this month. The very end of January and the whole of February were characterized by warmer weather with less precipitation. Warmer weather than usual did not interfere wheat dormancy. The changeable and warmer weather than the average marked April and the beginning vegetation period. The average temperature was 13.4 °C while the long-term mean temperature was 11.8 °C. During May, the maximum and minimum daily temperatures were usually below or about a long-term average. This month was significantly characterized by precipitation, when a total of 147.6 mm of rain was measured, which is twice as much as long-term precipitation. The average annual air temperature in the season 2018/2019 was 11.3 °C while the total amount of precipitation was 456.2 mm.

As in the previous two seasons, the beginning of 2019/2020 was exceptional warm weather (13.8 °C) for this time of year with significantly less precipitation (20 mm) than usual for this one period of time (Figure 2c). The total amount of precipitation for the growing season 2019/2020 was 554.6 mm, which is almost the same as long-term precipitation (536.2 mm). The average air temperature was 11.6 °C. During the whole autumn and winter, the average monthly air temperatures exceeded the long-term average. In June, the amount of precipitation significantly exceeded the values typical for this month, so a total of 161.9 mm of precipitation was measured.

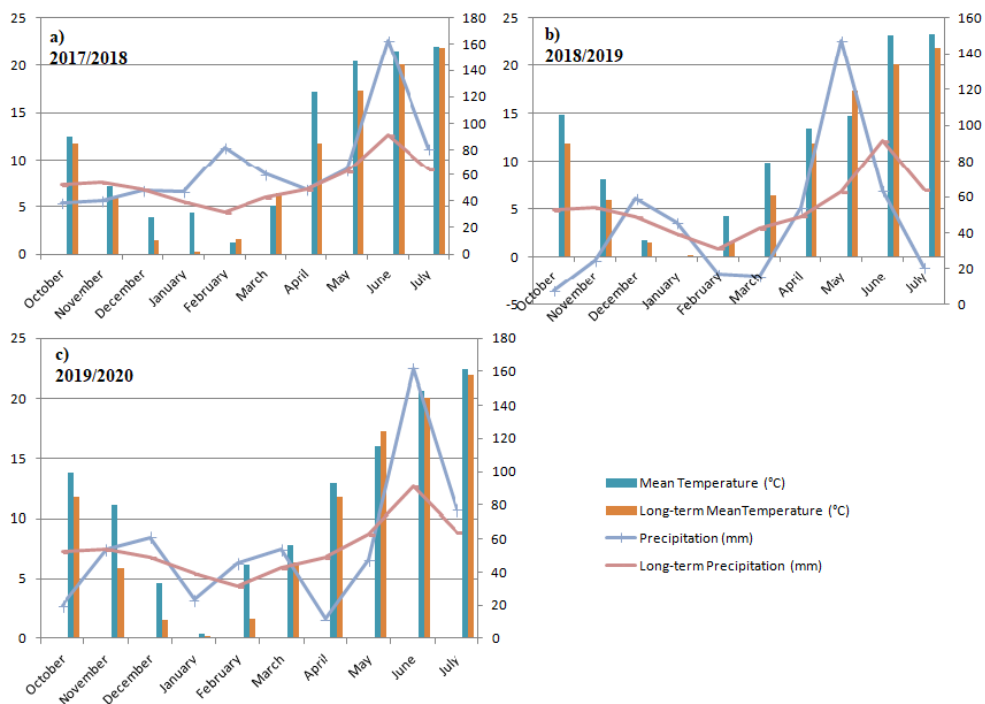


Figure 2. Mean and long-term mean temperature and precipitation values for growing seasons 2017/2018, 2018/2019, 2019/2020 on Rimski Šančevi, Serbia.

RESULTS AND DISCUSSION

Descriptive statistic and analysis of variance

To identify genotypes ideal for production, researchers must test as many genotypes as possible under various conditions and treatments over several years on various environments due to different genotype reaction to environmental conditions and genotype by environment interaction. Yield as a complex trait depends on several components that together affect its expression, height, and stability. It is the result of the interaction of biotic and abiotic factors that affect the entire population, but also each individual

separately. Wheat yield potential is the result of the influence of region, year of production and other sources of variation (Khan and Mohammad, 2018). One way to improve wheat selection is to reduce and control the genotype \times environment interaction because, plants would react less to the ecological growing conditions. The first method to solve this problem would be to divide heterogeneous growing regions into sub-regions, and the second method to select genotypes with better stability in wider areas of cultivation (Banjac, 2015). The results of this study indicate a wide range for the values for grain yield from 1.78 t/ha to 10.35 t/ha (Table 2). The lowest yield was achieved by the variety Nizija with an average value of 3.20 t/ha, and the most productive proved to be the Apache variety, were an average yield of 9.05 t/ha was recorded. An important indicator of data dispersion is the coefficient of variation, which in this study was 23.99% which is largely significant variability between genotypes. Similar value obtained Jocković et al. (2014) analyzing 20 winter wheat genotypes of different origin during two vegetation seasons as well as Ali et al. (2008) and Nukasani et al. (2013).

Table 2. All genotypes descriptive statistic for tested traits (GY (t/ha) - grain yield, PH(cm) - plant height, SL (cm) - spike length, HT (days) - heading time, GWS (g) - grain weight per spike)

Tested traits	Min. value	Mean value	Max. value	Coefficient of variation (%)	Standard deviation
HT	120	131	150	5.48	7.19
SL	5.00	10.21	15.30	18.42	1.88
PH	66.00	98.42	166.00	23.47	23.10
GY	3.00	7.32	10.35	23.99	1.76
GWS	0.58	1.89	4.00	41.02	0.77

The analysis of variance showed significant differences among genotypes for grain yield (Table 3). These data are following the research of several

authors: Devesh et al. (2018), Atiq et al. (2018), and Tarakanovas and Ruzgas (2006). In contrast to other traits, genotype \times year interaction for GY was not significant.

Table 3. ANOVA (Analysis of Variance) results of world wheat genotypes and analyzed traits (GY (t/ha) - grain yield, PH (cm) - plant height, SL (cm) - spike length, HT (days) - heading time, GWS (g) - grain weight per spike) across years 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020 on the environment of Novi Sad, Serbia.

Source of Variation	DF	GY		PH		SL		HT		GWS	
		SS	P	SS	P	SS	P	SS	P	SS	P
Genotype	14	374.50	0.0*	60639	0.0*	238.20	0.0*	3513	0.0*	23.16	0.0*
Year	2	20.75	0.0*	2691	0.0*	37.63	0.0*	2936	0.0*	19.84	0.0*
Genotype\timesYear	28	15.07	0.18	7252	0.0*	71.34	0.02*	458	0.0*	23.67	0.0*
Error	90	37.23		929		126.90		18		13.75	
Total	134	447.50		71510		474.10		6925		80.48	

*statistically significant difference between genotypes (P<0.05)

Plant height is one of the essential yield components and depends on the set of major *Rht* genes, but also on a large number of minor genes distributed on all chromosomes of the wheat genome. With the introduction of semi-dwarf Japanese wheat varieties, stem height has been significantly reduced from about 130 cm in old varieties, to about 60-90 cm modern intensive varieties. The occurrence of semi-dwarf genotypes increased the interaction between the genotype and the environment (Banjac, 2015; Ljubičić et al., 2021). The average value for this trait was 98.42 cm. The variety with the longest stem was Mironovskaya 808, while the lowest was measured in genotype NS 55-25. The coefficient of variation was significant and amounted to 23.47%. Several authors confirmed the high variability for this trait, so Arya et al. (2017) stated that the coefficient of variation was 38.89%. By applying

analysis of variance, statistical significance for a given trait for both levels of significance was confirmed (Table 3). Several authors, Kumar et al. (2013), Nukasani et al. (2013), Kaddem et al. (2014), cite results that support this claim.

Spike length has no direct impact on grain yield because it depends on the number of spikelets, number of grain per spikelets and number of grain per spike, and is highly correlated with these components (Ljubičić et al., 2021). Longer spikes have a larger surface area for photosynthetic activities and consequently become an important source in the collection of assimilates, which reflects on plant production. Wheat spike together with axis has a specific structure that allows it to stay longer green and functional. Due to these spike characteristics, the contribution is on average 40-50% of the dry matter that accumulates in the grain (Zečević et al., 2014; Mladenov et al., 2019).

The shortest spike was 5 cm long, while the longest spike is measured for the cultivar Mironovskaya 808, 15.30 cm long. The average value of this trait was 10.21 cm. By applying the ANOVA model, statistically significant differences were confirmed for both levels of significance. These results comply with the research of Kumar et al. (2013), Kaddem et al. (2014) and Çifci (2012).

Heading time is one of the indicators of the suitability of wheat varieties to different environments, where frost, high temperatures and drought stress are present. Rise of the average temperature by 2.0-4.9°C until the end of 21st century due to climate changes will further disturb quality wheat's high and stable production. Frequent dry periods, heat stress, and heavy rainfall will become more frequent occurrences, especially in the

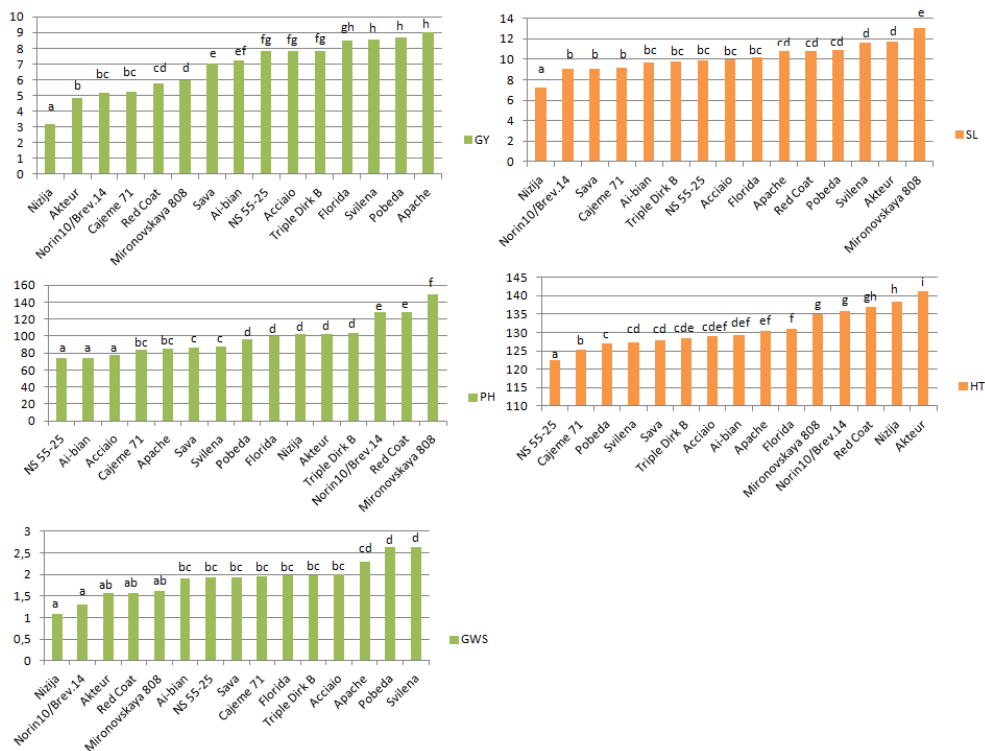
Pannonian region. This trait was influenced by three groups of genes responding to average temperatures (earliness *per se*, *EPS* gene), cold temperatures (vernalization, *VRN* gene), and day length (photoperiod, *PDP* gene). Phenology phases are a response to temperatures, day length, and the interaction of their effects (Živančev et al., 2022; Zheng et al., 2013). Wheat demands a certain day-length to promote heading. However, in wheat photoperiod insensitive alleles were detected at the *Ppd* locus that can induce heading regardless of the day length. In bread wheat, *Ppd-1* locus on the shorter arm of the group 2 chromosomes with *Ppd-D1* gene has the largest influence on heading time. In addition, photoperiod insensitivity occurs together with *Ppd-B1* gene, where higher copy number variants were associated with earlier heading (Würschum et al., 2019).

The NS 55-25 genotype needed 120 days to enter the heading, while the variety Akteur had the longest period to enter heading (150 days). From all of the examined traits, heading time is the trait that had the lowest coefficient of variation, so the variability between genotypes was only 5.48%. The low coefficient was also calculated by Kaddem et al. (2014) with 6.30%. Naik et al. (2015) stated that the coefficient of variation for this trait was 9.84%. By comparing the F- table values with the values for the levels of significance 0.05, it was found that there was a statistically significant difference. These results are consistent with research conducted by Khan (2013).

Grain weight per spike is a yield component that is conditioned by the action of minor genes, apropos mutual interaction and the influence of the environment, and can be defined as a quantitative component of the phenotypic variability of wheat. Grain weight per spike is characterized by low heritability and significant phenotypic variation, which depends on the variation of environmental factors (Banjac, 2015). Grain weight per spike

has a direct positive contribution to increasing grain yield, because the number of spikelets per spike as well as the number of sterile spikelets per spike are in direct relation to yield and determines it more closely than the spike length. High temperatures during the vegetation shorten the grains watering period and induce early maturation, resulting in shrinkage and low grain weight (Knežević et al., 2015). By calculating the basic parameters of descriptive statistics, it was obtained that the lowest value of this trait, only 0.58 g, was achieved by the cultivar Nizija. The maximum value had genotypes Pobeda and Cajeme 71, whose weight was 4.00 g. The highest coefficient of variation was calculated for this trait and was 41.02%. Studies that are consistent with these results are the papers by Jocković et al. (2014) and Hristov et al. (2011) where genotype variation was 30% and 21.6% respectively. Analysis of variance showed the existence of statistically significant differences between genotypes.

Figure 3 shows that varieties Apache, Pobeda and Svilena achieved the highest results and there is no statistically significant difference between them for traits GY and GWS. Variety Mironovskaya 808 achieved the highest result for traits SL and PH and compared to all other genotypes achieved a statistically significant difference. The most different groups were formed for HT, and the variety with the longest time of heading was Akteur.



*the same letters next to different genotypes indicate that there is no statistically significant difference between them

Figure 3. Duncan test for all tested traits of wheat cultivars across years 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020 on the environment of Novi Sad, Serbia.

Correlation among analyzed traits

Analysis of traits that have a potential impact on yield increasing requires determining the correlation between them. A very strong positive correlation (Figure 4.) was observed between grain weight per spike and yield ($r = 0.87$), and between heading time and plant height ($r = 0.65$). A strong negative value occurred between heading time and yield ($r = -0.67$) and grain weight

per spike and heading time ($r = -0.70$), while moderate negative correlation was calculated between grain weight per spike and plant height ($r = -0.50$). No significant correlation was observed between heading time and spike length. The results of the correlation analysis showed that heading time did not have a positive effect on the yield itself as well as on its components which directly affect its overall increase, while with the spike length it was a very weak relationship with almost no relationship between them. Many research showed that in the Serbian agro-climatic region early varieties had higher yields. This is explained by the drought and temperature stress escape, in the summer period in the Southeast Europe (Snape et al., 2001). For these reasons during the wheat selection process genotypes that mature earlier were favored, which is consistent with the results of Trkulja et al. (2019). In their research conducted at the site of Rimski Šančevi, it was found that wheat varieties originating from region of Southeast Europe had an average value of heading time of 136.80 days, while genotypes from Western Europe achieved an average value of 143.10 days. The agro-climatic conditions of Western Europe in the summer period are characterized by lower temperatures with higher humidity, which leads to later maturation.

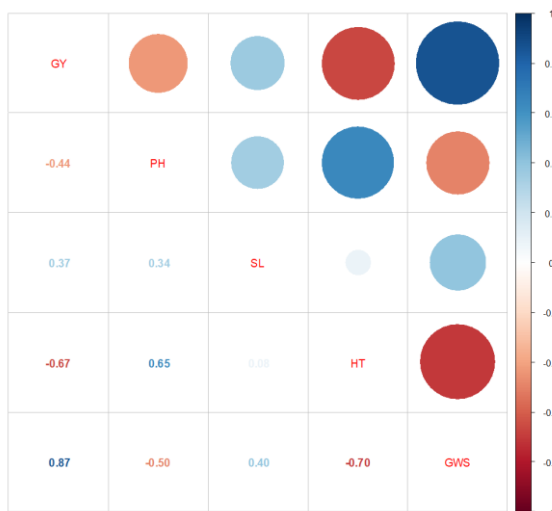


Figure 4. Graphical presentation of correlation analysis for all tested traits (GY - grain yield, PH - plant height, SL - spike length, HT - heading time, GWS - grain weight per spike) of wheat cultivars across years 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020 on the environment of Novi Sad, Serbia. A smaller circle indicates weak correlation, while a larger one indicates a stronger correlation between traits.

Hristov et al. (2011) cited data in which yield is significantly correlated with grain weight per spike and where the correlation coefficient was as high as 0.97, while with spike length and plant height did not correlate. The same authors also stated that the grain weight per spike had no relation to the plant height and the spike length achieved a minimal correlation. A study conducted by Kaddem et al. (2014) noted that the heading time and yield were not correlated ($r = -0.03$), while with spike length and plant height this trait was weakly related. Yield and spike length and plant height and spike length, as in this study, achieved non significant correlation.

Principal component analysis

In this research, only the first two components will be used to show results, because the first component includes 59.02% and together with the second component composes 87.93% of the total phenotypic variance. In addition to this, eigenvalues also indicate which components are retained, which is in this experiment for the first component 2.95, and the second 1.45 (Table 4).

Table 4. Principal Component Analysis results for all tested traits (GY (t/ha) - grain yield, PH (cm) - plant height, SL (cm) - spike length, HT (days) - heading time, GWS (g) - grain weight per spike) of wheat cultivars across years 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020 on the environment of Novi Sad, Serbia, where Dim1, Dim2, Dim3, Dim4 and Dim5 are the extracted components.

	Dim1	Dim2	Dim3	Dim4	Dim5
GY	-0.90	0.26	0.04	-0.31	0.14
PH	0.69	0.60	0.39	-0.09	-0.07
SL	-0.20	0.94	-0.14	0.21	0.09
HT	0.87	0.27	-0.36	-0.22	-0.06
GWS	-0.93	0.24	-0.06	-0.01	-0.26
Eigenvalue	2.95	1.45	0.30	0.19	0.11
Variability (%)	59.02	28.91	6.05	3.87	2.14
Cumulative variability (%)	59.02	87.93	93.98	97.86	100.00

The diagram shows the two axes, Dim1 and Dim 2, in which the first two main components are composed (Figure 5). The first axis was formed under the influence of the values of all analyzed traits, where the results of the achieved yield and grain weight per spike contributed the most, and spike length contributed the least. In the second component, spike length had the largest contribution, while the grain weight per spike and grain yield had the lowest contribution. By further analyzing the biplot diagram, a certain

arrangement of genotypes in the coordinate system is observed. Those genotypes that are in the lower half of the diagram realized below average results and those grouped in the upper part achieve high average values of analyzed traits. Those genotypes that are found around coordinate origin achieved average results.

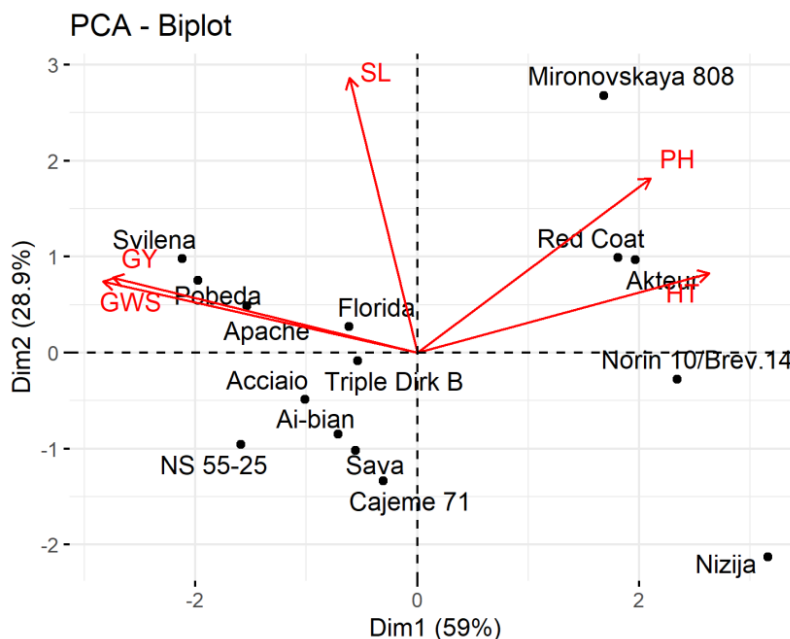


Figure 5. PCA values on the biplot diagram for all tested traits of wheat cultivars across years 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020 on the environment of Novi Sad, Serbia.

The varieties Apache, Pobeda and Svilena are positioned very close to the GY and GWS axes, while Nizija is the variety that is farthest in the coordinate system in relation to these two axes. These results can be explained by the time when the varieties originated, taking considering that Nizija was created in 1979, and Apache is a newer variety that has been adapted to current environmental factors. Also, Pobeda is a highly adaptable

variety adapted to Serbian agro-climatic conditions and was grown on large areas.

When, it comes to the spike length vector, the closest variety is Mironovskaya 808 with a spike length of 13.01 cm and the most distant was the genotype Nizija. The closest to the plant height vector are genotypes Akteur and Red Coat, but the highest variety is Mironovskaya 808. Most days to heading had the genotypes Akteur, and opposite to them, it took the least time for the line NS 55-25 and variety Cajeme 71. In this study, there was an extremely high positive correlation between yield and grain weight per spike which is confirmed by overlapping vectors. The vectors of these two traits with plant height and heading time vectors form an obtuse angle, which is following the results of correlation analysis, where grain yield had significant negative correlation with plant height ($r = - 0.44$) and heading time ($r = - 0.67$), while grain weight per spike with plant height and heading time achieved significant negative correlation too ($r = - 0.50$, $r = - 0.70$ respectively). The spike length vector formed an approximately right angle with all other traits, while the heading time and plant height vectors formed an acute angle.

CONCLUSION

Among the genotypes for all tested traits there was a variability that widely ranged. The coefficient of variation was the highest at the grain weight per spike as much as 41.03%, while for the heading time was 5.48%. A significant difference for each of the traits was found. The genotypes with the highest yield values were the varieties Apache, Pobeda and Svilena. The same varieties recorded the highest values for trait grain weight per spike, which is related to the height achieved yield.

Correlation analysis showed that significant positive connections were achieved between yield and grain weight per spike and heading time and plant height. A negative correlation occurred between plant height and yield and heading time and grain yield. Principal component analysis confirmed that the varieties Apache, Pobeda, and Svilena were the most successful with the components that are closely related to achieving high yields. In this study, genotypes were examined at only one locality which means that only the influence of genotype and season on the resulting is known, while the influence of locality is unknown. For these reason, in the following research, it is necessary to include one more source of variation, to examine with greater precision the wheat varieties that will be used in a further breeding program.

ACKNOWLEDGEMENTS

The Ministry of Education, Science and Technological Development (Grant no. 451-03-68/2022-14/200032) of the Republic of Serbia financially supported this research. This work was done as a part of activities of Center of Excellence for Innovations in Breeding of Climate Resilient Crops - Climate Crops, Institute of Field and Vegetable Crops, Novi Sad, Serbia.

CONTRIBUTIONS

All authors contributed equally.

DECLARATION OF INTEREST STATEMENT

We confirm that there are no known conflicts of interest associated with this publication and there has been no significant financial support for this work that could have influenced its outcome. We confirm that the manuscript has

been read and approved by all named authors and that there are no other persons who satisfied the criteria for authorship but are not listed.

REFERENCES

1. Ali Y, Atta BM, Akhter J, Monneveux P, Lateef Z, 2008. Genetic variability, association and diversity studies in wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm. Pak. J. Bot. 40:2087-2097.
2. Arya VK, Singh J, Kumar L, Kumar R, Kumar P, Chand P, 2017. Genetic variability and diversity analysis for yield and its components in wheat (*Triticum aestivum* L.). Indian J. Agric. Res. 51:128-134.
3. Atiq M, Khan U, Mohammad F, 2018. Effect of Genotype x Environment Interaction on Grain Yield Determinants in Bread Wheat. SJA. 34:54-62.
4. Ayranci R, 2020. Yield performances of winter wheat (*T. aestivum*) genotypes improved for dry environmental region of Turkey. Turk. J. Field Crops. 25(1):74-82.
5. Balkan A, 2018. Genetic variability, heritability and genetic advance for yield and quality traits in M2-M4 generations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. Turk. J. Field Crops. 23(2):173-179.
6. Banjac B, 2015. The Yield Potential of Wheat and Adaptation of Stress Conditions to Solonetz Soil. Doctoral dissertation. University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Serbia.
7. Cifci EA, 2012. Estimate of heterosis, correlation and path analysis for grain yield per spike and some agronomic traits on durum wheat (*Triticum durum* Desf.). J Anim. Plant Sci. 22:747-752.
8. Dawson B, Trapp RG, 2004. Basic and Clinical Biostatistics, Lange Medical Books, McGraw-Hill, New York, USA.

9. Devech P, Moitra PK, Shukla RS, Shukla SS, Pandey S, Arya G, 2018. Analysis of Variability, Heritability and Genetic Advance of Yield its Components and Quality Traits in Wheat. IJAEB. 855-858.
10. Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale, 2021. Available from: <http://wheatpedigree.net/>
11. Hristov N, Mladenov N, Kondić-Špika A, Marjanović-Jeromela A, Jocković B, Jaćimović G, 2011. Effects of environmental and genetic factors on the correlation and stability of grain yield components in wheat. Genetika. 43: 141-152.
12. Jocković B, Mladenov N, Hristov N, Aćin V, Djalović I, 2014. Interrelationship of grain filling rate and other traits that affect the yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). Rom. Agric. Res. 31:81-87.
13. Kaddem WK, Marker S, Lavanya GR. 2014. Investigation of genetic variability and correlation analysis of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for grain yield and its Component traits. EAR. 11: 6529-6538.
14. Khan MAU, Mohammad F, 2018. Effect of Genotype x Environment Interaction on Grain Yield Determinates in Bread Wheat. SJA. 34:54-62.
15. Khan SA, 2013. Genetic Variability and Heritability Estimates in F2 wheat Genotypes. Int. J. Agric. Crop Sci. 5:983-986.
16. Knežević D, Radosavac A, Zelenika M, 2015. Variability of grain weight per spike in wheat grown in different ecological conditions. Acta Agriculture Serbica. 39:85-95.
17. Kumar B, Singh CM, Jaiswal KK, 2013. Genetic variability, association and diversity studies in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) BioScan. 8:143-147.

18. 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.
19. Mladenov V, Banjac B, Milošević M, 2012. Evaluation of yield and seed requirements stability of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) via AMMI model. *Turk. J. Field Crops*. 17(2):203-207.
20. Mladenov V, Dimitrijević M, Petrović S, Boćanski J, Banjac B, Kondić-Šipka A, Trkulja D, 2019. Genetic analysis of spike length in wheat. *Genetika*. 51:167-178.
21. Mladenov V, Fotopoulos V, Kaiserli E, Karalija E, Maury S, Baranek M, Segal N, Testillano PS, Vassileva V, Pinto G, Hoeniccka HN, Miladinović D, Gallusci P, Vergata C, Kapazoglou A, Abraham E, Tani E, Gerakari M, Sarri E, Avramidou VE, Gašparović M, Martinelli F, 2021. Deciphering the epigenetic alphabet involved in transgenerational stress memory in crops. *Int. J. Mol. Sci*. 22(13): 7118.
22. Naik VR, Biradar SS, Yadawad A, Desai SA, Veeresha BA. 2015. Study of Genetic Variability Parameters in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. *Res. J. Agric. Sci*. 6:123-125.
23. Nukasani V, Potdukhe NR, Bharad S, Deshmukh S, Shinde SM, 2013. Genetic variability, correlation and path analysis in wheat. *J. Wheat Res*. 5:48-51.
24. Republic Hydrometeorological Service of Serbia, 2022. Available from: <http://www.hidmet.gov.rs/>
25. Snape JW, Butterworth K, Whitechurch E, Worland AJ, 2001. Waiting for fine times: genetic of flowering time in wheat. *Euphytica*. 119:185-190.

26. Tadesse W, Sanchez-Garcia M, Assefa SG, Amri A, Bishaw Z, Ogbonnaya FC, Baum, 2019. Genetic Gains in Wheat Breeding and Its Role in Feeding the World. *Crop Breed. Genet. Genom.* 1-28.
27. Tarakanovas P, Ruzgas V, 2006. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of grain yield of wheat varieties in Lithuania. *Agron. Res.* 4:91-98.
28. Trkulja D, Kondić-Špika A, Brbaklić L, Kobiljski B, Mikić S, Mirosavljević M, Glogovac S, Šurlan-Momirović G, 2019. Genetic structure and allelic richness of the wheat core collection for association mapping of yield. *Zemdirbyste-Agriculture.* 106(3): 257-264.
29. Wani SH, Sheikh FH, Najeeb S, Sofi M, Iqbal AM, Kordrostami M, Parray GA, Jeberson MS, 2018. Genetic variability study in Bread Wheat (*Triticum Aestivum* L.) under Temperate Conditions. *Curr. Agric. Res. J.* 6:268-277.
30. Würschum T, Rapp M, Miedaner T, Longin CFH, Leiser WL, 2019. Copy number variation of Ppd-B1 is the major determinant of heading time in durum wheat. *BMC Genetics.* 20:64.
31. Zečević V, Knežević D, Kraljević-Balalić M, Mićanović D, 2004. Genetic and fenotypic variability of yield components in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genetika.* 36:151-159.
32. Zheng B, Biddulph B, Li D, Kuchel H, Chapman S, 2013. Quantification of the effects of VRN1 and Ppd-D1 to predict spring wheat (*Triticum aestivum*) heading time across diverse environments. *JXB.* 64:3747-3761.
33. Živančev D, Mirosavljević M, Aćin V, Momčilović V, Mikić S, Torbica A, Jocković B, 2022. Variation in quality traits of newly

developed Serbian wheat cultivars under different environmental conditions of Pannonian plain. Ital. J. Agron. 17: 1911.

ЛИТЕРАТУРА

1. Agius D, Kapazoglou A, Avramidou E, Baranek M, Carneros E, Caro E, Castiglione S, Ciatelli A, Radanovic A, Ebejer JP, Gackowski D, Guarino F, Gulyás A, Hidvégi N, Hoenicka H, Inácio V, Johannes F, Karalija E, Lieberman-Lazarovich M, Martinelli F, Maury S, Mladenov V, Morais-Cecilio L, Pecinka A, Tani E, Testillano P, Todorov D, Valledor L and Vassileva V (2023): Exploring the crop epigenome: a comparison of DNA methylation profiling techniques. *Frontiers in Plant Science* 14:1181039.
2. Al-Musa MAA, Islam MS, Moniruzzaman MM, Islam MS, Nasrin S (2014). Performance of BARI ghom-26 Under Saline Stressed Conditions. *Journal of Environmental Sciences & Natural Resources* 7(1):127-130.
3. Ayalneh T, Letta T, Abinasa M (2013). Assessment of stability, adaptability and yield performance of bread wheat (*Triticum aestivum* L) cultivars in south Ethiopia. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 13(7):885-890.
4. Bavandpori F, Ahmadi J, Hossain SM (2015). Yield stability analysis of bread wheat lines using AMMI model. *Agriculture Communications* 3(1):8-15.
5. Бањац Б (2015). Потенцијал за принос и адаптација пшенице на стресне услове солоњеца. Докторска дисертација, Универзитет у Новом Саду. Пољопривредни факултет.
6. Бањац Б (2020). Збирка питања и задатака из генетике. Помоћни уџбеник. Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет, Нови Сад.

7. Бањац Б, Димитријевић М, Петровић С, Белић М (2009). Варијација висине биљке и масе класа пшенице гајене на солоњцу. *Летопис научних радова Пољопривредног факултета, Нови Сад* 33(1):93-101.
8. Banjac B, Mladenov V, Dimitrijević M, Petrović S, Boćanski J (2014). Genotype x environment interactions and phenotypic stability for wheat grown in stressful conditions. *Genetika* 46(3): 799-806.
9. Бањац Б, Младенов В, Петровић С, Војновић Ђ, Бегић Д, Шућур Р, Јоцковић Б (2022). Варијабилност показатеља технолошког квалитета генотипова пшенице у различитим микроклиматским условима. *Селекција и семенарство* 28(1):43-54.
10. Banjac B, Dimitrijević M, Petrović S, Mladenov V, Banjac D, Kiprovski B (2020). Antioxidant variability of wheat genotypes under salinity stress. *Genetika* 52:1145–1160.
11. 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*
12. Borojević K Borojević K (2005). The transfer and history of „reduced height genes“ (Rht) in wheat from Japan to Europe. *Journal of Heredity* 96(49):455-459.
13. Брдар М, Кобиљски Б, Краљевић-Балалић М (2006). Односи параметара наливања зрна и компоненти приноса пшенице. *Зборник радова Института за ратарство и повртарство* 42:213-218.
14. Brinton J, Uauy C (2019). A reductionist approach to dissecting grain weight and yield in wheat. *Journal of Integrative Plant Biology* 61(3):337–358.

15. Cossani CM, Slafer GA, Savin R (2011). Do barley and wheat (bread and durum) differ in grain weight stability through season and water-nitrogen treatments in Mediterranean location? *Field Crops Research* 121:240-247.
16. Cho CH, Kyu HO, Lee SH (1993). Origin, dissemination and utilization of semi dwarf genes in Korea In: *Proc 7th Int. Wheat Genetic Symp.* (Miller TE, Koeber RMD, eds.) Bath:Bath Press; 223-231.
17. Gegas VC, Nazari A, Griffiths S, Simmonds J, Fish L, Orford S, Sayers L, Doonan JH, Snape JW (2010). A genetic framework for grain size and shape variation in wheat. *Plant Cell* 22: 1046–1056.
18. Gonzales FG, Slafer GA, Miralles DJ (2005). Floret development and survival in wheat plants exposed to contrasting photoperiod and radiation environments during stem elongation. *Functional Plant Biology* 32:189-197.
19. Guo Z, Chen Z, Alqudah AM, Röder MS, Ganai MW, Schnurbusch T (2017). Genome-wide association analyses of 54 traits identified multiple loci for the determination of floret fertility in wheat. *New Phytologist* 214: 257–270.
20. Guo Z, Zhao Y, Röder MS, Reif JC, Ganai MW, Chen D, Schnurbusch T (2018). Manipulation and prediction of spike morphology traits for the improvement of grain yield in wheat. *Scientific reports* 8(1):14435.
21. Денчић С, Младенов Н, Кобиљски Б, Христов Н, Рончевић, Ђурић В (2006). Резултати 65-огодишњег рада на оплемењивању пшенице у научном институту за ратарство и повртарство Нови Сад. Зборник радова.

22. Денчић С (2006). Генетика и оплемењивње срних жита. Зборник радова Научног института за ратарство и повртарство 42:377-394.
23. Denčić S, Kastori R, Kobiljski B, Duggan B (2000). Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. *Euphytica* 113(1):43-52.
24. Димитријевић М, Петровић С, Белић М, Хаџи В, Краљевић-Балалић М, Нешић Љ, Капор З, Бељански Н, Вуковић Н (2005). Генетичка варијабилност сорти пшенице на солоњцу у условима поправке земљишта. Летопис научних радова Пољоприведног факултета, Нови Сад. 29(1): 100-112.
25. Dimitrijević M, Petrović S, Mladenov N, Belić M, Hristov N, Banjac B, Vukosavljev M (2009). Phenotypic reaction of wheat grown on different soil types. *Genetika* 41(2):169-177.
26. Димитријевић М, Петровић С, Бањац Б, Вукосављевић М (2009). Фенотипска варијабилност својстава пшенице (*Triticum aestivum* L.) и спонтаних сродника. 44. хрватски и 4. међународни симпозиј агронома. Генетика, оплемењивање биља и сјеменарство. 313-316.
27. Donald CM (1968). The breeding of crop ideotypes. *Euphytica* 17:385-403
28. Zečević V, Knežević D, Kraljević-Balalić M, Mićanović D (2004). Genetic and phenotypic variability of yield components in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genetika* 36:151-159.
29. Zhou Y, Conway B, Miller D, Marshall D, Cooper A, Murphy P, Chao S, Brown-Guedira G, Costa J (2017). Quantitative Trait Loci Mapping for Spike Characteristics in Hexaploid Wheat. *Plant Genome* 10(2):1-15.

30. Johnson EB, Nalam VJ, Zemetra RS, Riera-Lizarazu O (2007). Mapping the compactum locus in wheat (*Triticum aestivum* L.) and its relationship to other spike morphology genes of the Triticeae. *Euphytica* 163:193–201.
31. Kaya YK, Palta E, Taner S (2002). Additive main effects and Multiplicative Interactions Analysis of Yield Performances in Bread Wheat Genotypes across Environments. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 26:275-279.
32. Kumar N, Kulwal PL, Gaur A, Tyagi AK, Khurana JP, Khurana P, Balyan HS, Gupta PK (2006). QTL analysis for grain weight in common wheat. *Euphytica* 151:135-44.
33. Kumbhar MB, Larik AS, Hafiz HMI, Rind MJ (1983). Interrelationship of polygenic traits affecting grain yield in *Triticum aestivum* L. *Wheat Information Service* 57:42-45.
34. Khan MA, Shirazi MU, Mahboob SM, Mutjaba SM, Khan MA, Mumatz S, Shereen A (2014). Morpho-physiological adaptations of wheat genotypes to salinity stress. *Pakistan Journal of Botany* 46(6):1981-1985.
35. Liebermann-Lazarovich M, Kaiserli E, Bucher E, Mladenov V (2022). Natural and induced epigenetic variation for crop improvement. *Current Opinion in Plant Biology* 70:102297.
36. Ma Z, Zhao D, Zhang C, Zhang Z, Xue S, Lin F, Kong Z, Tian D, Luo Q (2007). Molecular genetic analysis of five spike-related traits in wheat using RIL and immortalized F2 populations. *Molecular Genetics and Genomics* 277:31-42.
37. Matković Stojšin M, Petrović S, Banjac B, Zečević V, Roljević Nikolić S, Majstorović H, Đorđević R, Knežević D (2022). Assessment of genotype stress tolerance as an effective way to

- sustain wheat production under salinity stress conditions. Sustainability 14:6973.
38. Millet E, Pinthus MJ (1984). The association between grain volume and grain weight in wheat. Journal of Cereal Science 2:31–35.
39. Мирић М (2006). Семенарски параметри, YUSEA – Семенарско пословно удружење. Нови Сад.
40. Младенов В (2017): Фенотипска и молекуларна анализа агрономских особина пшенице. Докторска дисертација. Универзитет у Новом Саду. Пољопривредни факултет.
41. Mladenov V, Dimitrijević M, Petrović S, Boćanski J, Banjac B, Kondić-Šipka A, Trkulja D (2019). Genetic analysis of spike length in wheat. Genetika 51:167-178.
42. Mladenov V, Banjac B, Milošević M (2012). Evaluation of yield and seed requirements stability of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). via AMMI model. Turkish Journal of Field Crops 17(2):203-207.
43. Младенов В, Боћански Ј, Бањац Б, (2021). Оплемењивање биљака-практикум. Помоћни уџбеник. Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет, Нови Сад.
44. Mladenov V, Fotopoulos V, Kaiserli E, Karalija E, Maury S, Baranek M, Segal N, Testillano P, Vassileva V, Pinto G, Nagel M, Hoenicka H, Miladinović D, Gallusci P, Vergata C, Kapazoglou A, Abraham E, Tani E, Gerakari M, Sarri E, Avramidou E, Gašparović M, Martinelli F (2021). Deciphering the epigenetic alphabet involved in stress transgenerational memory in crops. International Journal of Molecular Sciences 22(13):7118.
45. Младенов Н, Христов Н, Малешевић М, Младеновић Г, Ковачевић Н (2008). Драгана – нова сорта озиме пшенице. Зборник радова Института за ратарство и повртарство 45(2):5-14.

46. Naroui Rad MR, Abdul Kadir M, Rafi MY, Jaafar Hawa ZE, Naghavis MR, Ahmadi F (2013). Genotype x 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 12:213-222.
47. Nonaka S (1995). Breeding off semi-dwarf wheat. Rec. Adv. Plant Breed 27:69-79
48. Nyachiro JM, Clarke FR, DePauw RM, Knox RE, Armstrong KC (2002). Temperature effects on seed germination and expression of seed dormancy in wheat. Euphytica 126:123-127.
49. Ogihara Y, Takumi S, Handa H (2015). Advances in Wheat Genetics: From Genome to Field. Springer Tokyo Heidelberg New York Dordrecht London 13-19.
50. Oury FX, Berard P, Brancourt-Hulmel M, Depatureaux C, Doussignault G, Galic N, Giraud A, Heumez E, Lecompte C, Pluchard P, Rolland B, Rousset M, Trottet M (2003). Yield and grain protein concentration in bread wheat: a review and a study of multi-annual data from a French breeding program. Journal of Genetics and Breeding 57:59–68.
51. Peterson CJ Graybosch RA, Shelton DR, Baenziger PS, Grombacher AW (1992). Genotype and environment effects on quality characteristics of hard red winter wheat. Crop Science 32:98-103.
52. Petrović S, Dimitrijević M, Belić M, Banjac B, Bošković 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. Journal of Food, Agriculture and Environment 10(2):480-484.

53. Пржуљ Н (2016). Принос срних жита. Монографија, књига 19, Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука.
54. Rasyad A, Van Sanford DA (1992). Genetic and maternal variances and covariances of kernel growth traits in winter wheat. *Crop Science* 32:1139–1143.
55. Rattey AR Shorter R, Chapman SC (2011). Evaluation of CIMMYT conventional and syntetic spring wheat germplasm in rainfed subtropical environments. *Field Crops Research*. 124:195-204.
56. Reale L, Rosati A, Tedeschini E, Ferri V, Cerri M, Ghitarrini S, Timorato V, Ayano BE, Porfiri O, Frenguelli G, Ferranti F, Benincasa P (2017). Ovary size in wheat (*Triticum aestivum*L.) is related to cell number. *Crop Science* 57:914–925.
57. Сарић М, Ковачевић Б (1981). Физиолошке и морфолошке особине идиотипа пшенице. Физиологија пшенице, САНУ, посебна издања, Београд. 53:233-250.
58. Simmonds J, Scott P, Brinton J, Mestre TC, Bush M, Blanco A, Dubcovsky J, Uauy C (2016). A splice acceptor site mutation in TaGW2-A1 increases thousand grain weight in tetraploid and hexaploid wheat through wider and longer grains. *Theoretical and Applied Genetics* 129:1099–1112.
59. Singh D, Singh SK, Singh KN (2009). AMMI analysis for salt tolerance in bread wheat genotypes. *Wheat Information Service* 108:1117.
60. Slafer GA, Savin R, Sadras OV (2014). Coarse and fine reulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Research* 157:71-83.
61. Sormacheva IK, Golovnina V, Vavilova K, Kosuge N, Watanabe A, Blinov NP, Goncharov (2014). Q gene variability in wheat species

- with different spike morphology. Genetic Resources and Crop Evolution 62.
62. Subira J, Ammar K, Álvaro F, García del Moral LF, Dreisigacker S, Royo C (2016). Changes in durum wheat root and aerial biomass caused by the introduction of the Rht-B1b dwarfing allele and their effects on yield formation. Plant Soil 403:291–304.
63. Farshadfar E, Mahmodi N, Yaghotipoor A (2011). AMMI stability value and simultaneous estimation of yield and yield stability in bread wheat (*Triticum aestivum*). Australian Journal of Crop Science 5(13):1837-1844.
64. Христов Н (2004). Утицај генотипова и спољне средине на стабилност приноса и технолошки квалитет пшенице (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*). Докторска дисертација, Универзитет у Новом Саду, Пољоприведни факултет Нови Сад.
65. Христов Н, Младенов Н (2006). Симонида – нова сорта озиме пшенице. Зборник радова Института за ратарство и повртарство. 42(2):203-212.
66. Cui F, Ding A, Li J, Zhao C, Wang L, Wang X, Qi X, Li G, Li X, Gao J, Wang H (2012). QTL detection of seven spike-related traits and their genetic correlations in wheat using two related RIL populations. Euphytica 186:177–192.
67. Šumaruna M, Mikić S, Mladenov V, Boćanski J, Šučur R, Trkulja D (2022). Evaluation of and variability in yields and yields components of wheat cultivars in Northern Serbia. Contemporary Agriculture 17(1-2):127-136.
68. Šučur R, Mladenov V, Boćanski J, Trkulja D, Mikić S, Šumaruna M (2022). Yield components variability and interrelationship of European wheat cultivars. The book of abstract, XIII International

Scientific Agricultural Symposium “Agrosym 2022”, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 6-9. October.

69. Šućur R, Mladenov V, Banjac B, Trkulja D, Mikić S, Šumaruna M, Börner A (2023). Phenotypic marker study of worldwide wheat germplasm. *Italian Journal of Agronomy*.
70. Wardlaw IF, Moncur L (1995). The response of wheat to high temperatures following anthesis, I. The rate and duration of kernel filling. *Australian Journal of Plant Physiology* 22:391-397.
71. Warrington IJ, Dunstone RL, Green LM (1997). Temperature effects at three development stages on yield of the wheat ear. *Australian Journal of Agricultural Research* 28:11-27.

АУТОРИ

Др Велимир Младенов

Велимир Младенов је рођен 1982. године у Земуну. Основно и средње образовање је стекао у Новом Саду. Пољопривредни факултет је завршио на Универзитету у Новом Саду. Дипломирао је, мастерирао и докторирао у ужој научној области Генетика, оплемењивање биљака и семенарство. Посвећен је и предан оплемењивању биљака и њеном унапређењу кроз броје европске пројекте на пшеници, кукурузу и другим ратарским и повртарским усевима. Унутар области ратарске производње поклања своју неподељену пажњу оплемењивању биљака, делу пољопривреде који сматра најзахтевнијим. На предмету *Оплемењивање биљака* је ангажован од 2011. године. Аутор је бројних научних и стручних радова у међународним и домаћим часописима. Члан је бројних стручних агрономских друштава, међу којима се истиче његов рад у *Семенарској асоцијацији Србије*. Члан је комисије за признавање сорти и хибрида унутар Министарства пољопривреде, шумарства и водопривреде и председник Савета Пољопривредног факултета. Ожењен је и отац једног детета.

Др Борислав Бањац

Борислав Бањац је рођен 7.4.1982. у Кикинди. После завршене Гимназије „Душан Васиљев“ у Кикинди, уписао је Пољопривредни факултет Универзитета у Новом Саду, смер за ратарство и повртарство. Након тога, одбранио је мастер рад из области Генетике, оплемењивања биљака и семенарства. Из исте области је одбранио докторску дисертацију 2015. Запослен је на Пољопривредном факултету у Новом

Саду од 2009. године. У звање ванредног професора је изабран 2021. Бави се наставним и научним радом на свим предметима из области Генетике. Ожењен је и отац је једног детета. Живи у Новом Саду.

Мастер инж. Рада Шућур

Рада Шућур је рођена 7. јануара 1996. године у Зрењанину. Похађала је гимназију у Зрењанину, коју је завршила као одличан ученик. Школске 2014/2015. године уписује Пољопривредни факултет, Универзитета у Новом Саду где се опредељује за ратарско-повртарски смер. Након основних студија уписује мастер из уже научне области Генетика, оплемењивање биљака и семенарство. Тренутно је студент треће године докторских студија на Пољопривредном факултету, где је и запослена као асистент на предметима *Оплемењивање биљака* и *Семенарство*. У свом досадашњем раду обавила је једно стручно усавршавање у Немачкој.

ИЗВОДИ ИЗ РЕЦЕНЗИЈА

Допринос ове монографије се огледа у томе што доказује постојање специфичности производње пшенице у агроеколошким условима Војводине која је током дужег временског периода успешно интегрисана кроз технологију гајења. Монографско дело се одликује детаљним приказом, јасним и утемељеним научним приступом, који кореспондира са сличним публикацијама у свету. Сходно томе предлаже се њена категоризација као монографска студија.

Др Срђан Шеремешкић, редовни професор

Монографија „Еколошки и агрономски изазови производње пшенице у АП Војводини“ представља оригинално ауторско научно дело, написано на јасан начин, разумљив ширем читатељству. Поред тога, монографија има јасну и организовану структуру са раздвојеним поглављима и потпоглављима, који објашњавају различите аспекте проучаваних тема, повезаних у целину. Ово научно дело није само преглед научних достигнућа у разматраној области, већ садржи и значајна сопствена истраживања аутора, који кроз свој вишегодишњи научноистраживачки рад настоје у изналажењу решења за успешну производњу пшенице у неповољним условима спољашње средине, карактерисаним високим температурама, недостатком падавина и нарушеним физичко-хемијским особинама земљишта. пољопривредне произвођаче. Монографија представља важан допринос разумевању и унапређењу производње пшенице у АП Војводини и шире и водич је за примену научних сазнања у пракси.

Др Мирела Матковић Стојшин, научни сарадник

ISBN:978-86-7520-595-1