

НАСТАВНО – НАУЧНОМ ВЕЋУ
ПОЉОПРИВРЕДНОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Датум: 07. 11. 2025.

Београд - Земун

Предмет: Извештај Комисије за оцену урађене докторске дисертације Немање Нишавића, мастер инжењера пољопривреде

Одлуком Наставно-научног већа Пољопривредног факултета Универзитета у Београду број 32/10-5.2., од 24. 09. 2025. године, именовани смо у Комисију за оцену урађене и одбрану докторске дисертације под насловом: **„Асоцијативност молекуларних карактеристика родитељских линија кукуруза и стабилност приноса зрна њихових хибрида“**, кандидата Немање Нишавића, мастер инжењера пољопривреде.

Комисија у саставу: др Томислав Живановић, редовни професор, др Зоран Чамција, научни саветник, Институт за кукуруз „Земун Поље“, Славен Продановић, редовни професор, Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду, др Гордана Бранковић, редовни професор, Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду, др Софија Божиновић, научни саветник, Институт за кукуруз „Земун Поље“, на основу прегледа и анализе докторске дисертације, подноси Наставно-научном већу Пољопривредног факултета следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. ОСНОВНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ И ДИСЕРТАЦИЈИ

Основни подаци о кандидату: Немања Нишавић рођен је 21.05.1990. године у Лазаревцу, СФР Југославија (данас Република Србија). Средњу пољопривредну школу завршио је у Ваљеву 2009. године. Исте године уписује основне академске студије на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду, студијски програм: Биљна производња, модул: Ратарство и повртарство. Основне академске студије завршава 2013. године са просечном оценом 8,82 и одбрањеним завршним радом на тему „Технологија производње кантариона (*Hypericum perforatum* L.)“ са оценом 10. Тиме стиче звање дипломирани инжењер пољопривреде. Одмах након завршених основних академских студија уписује мастер академске студије на истом факултету, студијски програм: Пољопривреда, модул: Ратарство и повртарство. Мастер академске студије успешно завршава 2014. године одбраном мастер рада на тему „Утицај супстрата на квалитет расада босиљка (*Ocimum basilicum* L. cv. *Genovese*)“ (оцена 10), са просечном оценом 9,63. На тај начин стиче звање мастер инжењер пољопривреде. Исте године уписује докторске академске студије на истом факултету, студијски програм: Пољопривредне науке, модул: Ратарство и повртарство. Успешно је положио све испите предвиђене планом и програмом, са просечном оценом 9.25. Стипендиста је Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије за 2014/2015 школску годину, на основу чега је био укључен на пројекат „Побољшање својстава кукуруза и соје молекуларним и конвенционалним oplemeњивањем“ (ТР31068) при Институту за кукуруз „Земун Поље“.

Основни подаци о дисертацији: Докторска дисертација мастер инжењера пољопривреде Немање Ј. Нишавића под називом: „Асоцијативност молекуларних карактеристика родитељских линија кукуруза и стабилност приноса зрна њихових хибрида“ написана је у складу са захтевима који су прописани на основу „Упутства о облику и садржају докторске дисертације која се брани на Универзитету у Београду“. Дисертација је написана на укупно 134 странице су оквиру којих се налази 16 табела и 33 графика и садржи: насловну страницу на српском и енглеском језику, страницу са информацијама о менторима и члановима комисије, страницу са резимеом на српском и енглеском језику, две странице са садржајем, као и следећа поглавља: Увод (стр. 1–2); Циљ истраживања (стр. 3); Преглед литературе (стр. 4–28); Радна хипотеза (стр. 29); Материјал и методе рада (стр. 30–38); Резултати и дискусија (стр. 39–95); Закључак (стр. 96–98); Литература (стр. 99–129); Биографија (стр. 130); Изјаве о ауторству, о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и о коришћењу (стр. 131–134).

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Предмет истраживања докторске дисертације је процена адаптабилности и стабилности приноса зрна хибрида кукуруза у различитим агроеколошким условима за кукуруз најзначајнијих производних региона Србије. Истовремено, спроведена је и молекуларна карактеризација родитељских линија применом SNP маркера. Истраживањем су обухваћена укупно 22 хибрида кукуруза и 29 самооплодних линија које су коришћене као родитељске линије, а огледи су извођени у периоду од две године на пет локалитета. Овако спроведени вишелокацијски огледи представљају основу за сагледавање интеракције генотип $\times$ средина ($G \times E$) и омогућавају идентификацију хибрида широке адаптабилности, чији је принос зрна стабилан у различитим производним условима, као и откривање хибрида који су уже адаптирани, тј. који у специфичним условима гајења остварују боље приносе зрна. С обзиром да се климатски услови у Србији одликују израженом варијабилношћу између година, са појавом сушних периода и високих температура као кључних ограничавајућих фактора за стабилност и висину приноса зрна кукуруза, један од циљева овог рада је идентификација хибрида који у таквим условима могу обезбедити стабилан принос зрна. На основу добијених резултата издвојени су хибриди који су перспективни за широку производњу, али и они који су погодни за комерцијализацију у одређеним регионима. Истовремено, генотипизација родитељских линија омогућила је препознавање оних линија које дају потомство стабилних перформанси, као и линија чије комбинације дају потомство уске адаптабилности. Стога, поред оцене приноса зрна у пољским условима, спроведена је и молекуларна карактеризација родитељских линија применом SNP маркера. SNP маркери, као најчешћа класа ДНК полиморфизама, омогућавају високу прецизност у процени генетичке дистанце између линија на основу чега се могу добити поуздане информације о потенцијалу за добијање потомства широке или уске адаптабилности. Комбинацијом резултата мутилокацијских огледа и SNP генотипизације могуће је повезати пољске перформансе хибрида са њиховом генетичком основом, што омогућава ефикаснији избор родитељских парова за будуће програме оплемењивања. Све наведено као последицу имаће смањење обима испитивања хибрида у посткомисијским огледима одабиром адекватних родитеља, тј. Родитељских парова и циљаним оплемењивањем на најзначајније рејоне гајења у Србији. Даље, ово ће водити смањењу трошкова маркетинга и комерцијално-финансијске делатности, те одрживој производњи како семенског, тако и меркантилног кукуруза.

3. ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ ОД КОЈИХ СЕ ПОЛАЗИЛО У ИСТРАЖИВАЊУ

Основне хипотезе у оквиру ове докторске дисертације су следеће:

- Полазна основа истраживања је да између испитиваних хибрида кукуруза постоје статистички значајне разлике у погледу приноса зрна што је испитано у мултилокацијским огледима у периоду од две године.
- У складу са тиме, очекује се да ће и локалитети, тј. окружења у којима је истраживање спроведено имати утицај на варирање приноса.
- Претпоставља се да ће се на основу обе претходно споменуте ставке моћи открити који хибриди имају широку адаптабилност, тј. који би били потенцијално интересантни за већину производних рејона у Србији. Са друге стране, такође се претпоставља да откривање оних хибрида који су уже адаптабилности, али потенцијално приноснији у специфичним производним условима. На тај начин, моћи ће да се обави одабир оних хибрида који су перспективни и направи предлог за увођење у производњу и комерцијализацију.
- На основу спроведене генотипизације детектоваће се линије које ће дати потомство широке адаптабилности, као и оне чије ће потомство бити уско адаптабилно и које ће боље резултате остварити у одређеним производним рејонима.
- Све претходно наведено омогућиће циљано оплемењивање кукуруза чиме ће се у будућности моћи смањити обим испитивања хибрида у посткомисијским огледима, а даље и смањење трошкова маркетинга и комерцијално-финансијске делатности.

4. КРАТАК ОПИС САДРЖАЈА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Увод

У оквиру уводног поглавља кандидат се осврнуо на значај кукуруза као једне од најважнијих биљних врста у светској пољопривреди. Посебно је наглашено да је кукуруз, захваљујући великој генетичкој варијабилности и броју генотипова, једна од култура која се успешно гаји на свим континентима и за различите намене. Кандидат је указао да је савремена производња кукуруза заснована на коришћењу хибрида, који настају укрштањем самооплодних линија. У Србији је већ у првим деценијама рада на оплемењивању постигнут значајан успех, јер су створени хибриди који су својим приносом и другим агрономским својствима премашивали тадашње сорте. Међу овим својствима посебно су издвојени толерантност на сушу, добро прилагођавање локалним климатским условима, раностасност и уједначено сазревање, што је допринело развоју и широј примени хибрида у домаћој производњи. Пажња је посвећена проблему суше и високих температура као кључних ограничавајућих фактора у гајењу кукуруза. Ова два стреса су све чешће присутна у условима производње и да постају један од главних критеријума за процену стабилности и адаптабилности хибрида. С тим у вези, кандидат је у уводном делу рада нагласио значај детекције генотипова који под стресним условима успевају да задрже висок принос зрна. У даљем излагању наглашено је да су крајем XX и почетком XXI века савремене технологије значајно унапредиле методологију оплемењивања. Посебан осврт је дат на примену SNP маркера, који су, због своје бројности и равномерне распоређености у геному кукуруза, постали најважнији молекуларни маркери у савременим истраживањима.

Преглед литературе

Ово поглавље подељено је у четири потпоглавља: *Опелемењивање на принос зрна*, *Вишелокацијски огледи и интеракција $G \times E$* , *Параметри стабилности приноса зрна кукуруза (непараметријске и параметријске статистике)*, и *Примена молекуларних маркера у опелемењивању кукуруза*. На почетку је дат кратак осврт на таксономију кукуруза, а представљени су и подаци о производњи кукуруза у зрну, како глобално, тако и на територији Републике Србије. Даље, кандидат указује на значај климатских промена на производњу кукуруза. У наставку овог поглавља, наведени су литерарни извори о опелемењивању кукуруза на принос зрна, почев од открића хетерозиса, преко формирања и коришћења хетеротичних група, до комбинационих способности. С обзиром на варирање услова спољашње средине, докторанд даље указује на значај интеракције $G \times E$ у селекцији кукуруза, као и постављања вишелокацијских огледа. У оквиру овог поглавља, кандидат се позива на релевантне изворе о адаптабилности и стабилности приноса зрна кукуруза. Такође, представљен је велики број, како параметријских, тако и непараметријских статистика које се користе у оцењивању стабилности приноса зрна кукуруза. За сваку од њих, истакнути су предности и недостаци за употребу у ове сврхе. Кандидат је такође успешно цитирао значајан број радова који примењују наведене статистике, а који су уско повезани са овим истраживањем. Последње потпоглавље посвећено је молекуларним маркерима и њиховој употреби у савременом опелемењивању кукуруза. Кандидат се истовремено осврнуо и на значај кукуруза као модел биљке. Представљен је кратак историјат употребе молекуларних маркера у опелемењивању кукуруза, и наведени су најзначајнији молекуларни маркери. Навођењем релевантних научних извора, кандидат је представио напредак у опелемењивању кукуруза употребом различитих молекуларних маркера.

Материјал и методе

Ово поглавље подељено је у шест потпоглавља: *Биљни материјал*, *Поставка пољских огледа*, *Метеоролошки показатељи*, *Биометријска анализа података*, *Статистичка анализа*, и *Молекуларне карактеристике*.

У првом потпоглављу, кандидат наводи да целокупан материјал коришћен у истраживању представљају хибриди кукуруза Института за кукуруз „Земун Поље“. За постављање огледа коришћена су укупно 22 хибрида кукуруза средње раних до касних група зрења (FAO 300–800). За родитељске компоненте наведених хибрида, коришћено је 29 инбред линија Института за кукуруз „Земун Поље“. Све наведене линије припадају Lancaster Sure Crop (LSC) или Iowa Stiff Stalk Synthetic (BSSS) хетеротичним групама. Хибриди су испитивани у пољским огледима, док су родитељске линије коришћене за генотипизацију помоћу SNP маркера.

У другом потпоглављу, детаљно је описана поставка пољских огледа. Наиме, изведени су у четири за кукуруз најзначајнија производна региона у Србији: Срем (Земун Поље), Банат (Панчево), Бачка (Бечеј, Бачка Топола) и Сиг (Пожаревац) у две узастопне године (2019. и 2020.). Оглед је постављен по типу случајног блок система у два понављања. Хибриди су сејани у осмореде елементарне парцеле, али приликом бербе су коришћена само четири унутрашња реда како би се елиминисао ефекат рубних редова.

У трећем потпоглављу, изнети су метеоролошки показатељи за наведене године и локалитете. Истакнуто је да је друга година истраживања (2020) била нарочито погодна са аспекта узгајања кукуруза.

У четвртм потпоглављу, објашњено је да ће се за анализирање просечних приноса зрна испитиваних хибрида користити трофакторијална анализа варијансе (ANOVA) и тест најмање значајне разлике на нивоу од 5% (LSD 5%), и то помоћу

статистичког програма *MSTAT-C*. Како би резултати били што репрезентативније приказани, кандидат се одлучује да интеракцију локалитета и године ($G \times E$) означи као „окружење“, у складу са истраживањима других аутора.

У петом потпоглављу, кандидат наводи статистичке методе које су употребљене за испитивање стабилности приноса зрна, као и интеракције између хибрида кукуруза и спољне средине. За испитивање интеракције, кандидат се одлучио за GGE биplot анализу, што је у складу са истраживањем и предностима ове методе наведеним у претходном поглављу. Резултати огледа су приказани графички, а ради лакше и прецизније интерпретације добијених графикона, анализа је извршена засебно за хибриде кукуруза раних и средњераних група зрења (FAO 300–500), а засебно за хибриде средње касних и касних група зрења (FAO 600–800). Даље, анализа стабилности приноса зрна испитиваних хибрида кукуруза изведена је употребом регресионог коефицијента (b_i) и варијансе девијације од регресије (S^2d_i), као и коефицијента варијације (CV). Наведене анализе извршене су помоћу програма *GEA-R*.

У шестом и последњем потпоглављу, докторанд наводи да је генотипизација родитељских линија кукуруза извршена применом генског чипа *Maize 25K XT Illumina Infinium array* који садржи 23.908 маркера (SNP) који су равномерно распоређени дуж целог генома кукуруза. Генотипизација је извршена услужно од стране *TraitGenetics GmbH*. Филтрирање сирових података извршено је помоћу скрипти у *R* програмском језику и *TASSEL 5.0* програму, помоћу кога су такође одређене генетичке дистанце између испитиваних линија, на основу којих је израђен дендрограм употребом *DendroUPGMA* програма.

Резултати и дискусија

Ово поглавље је највеће и састоји се од три потпоглавља у којима је кандидат на јасан и прецизан начин приказао резултате истраживања које је спроведено у оквиру докторске дисертације. Дискусија резултата је темељна и концизна, адекватно упоређена са резултатима сличних истраживања која су доступна у литератури. Употребом графика (32) и табела (10) омогућен је детаљан увид у добијене резултате.

У првом потпоглављу, *ANOVA*, кандидат се осврће на резултате остварене применом ове методе. Трофакторијална *ANOVA* је показала да је највећи утицај на принос зрна испитиваних хибрида имао фактор „генотип“, док су и остали фактори појединачно имали веома значајан утицај на остварени принос зрна. Интеракције фактора (осим интеракције година $\times$ генотип) такође су веома значајно утицале на остварени принос зрна кукуруза. Остварени резултати упоређени су са резултатима других аутора.

У другом потпоглављу, *Анализа параметара стабилности по Eberhart & Russell и Francis & Kannenberg*, докторанд је табеларно и графички приказао резултате остварене применом наведених параметара стабилности. На основу вредности регресионог коефицијента (b_i), утврђено је да хибриди Zombor, ZP 552b, ZP 555, ZP 560, ZP 6006b, ZP 6263, ZP 6364, ZP 6714, ZP 6715 и ZP 7072 захтевају боље услове производње (што је очекивано за хибриде средње касних и касних група зрења, али не и за хибриде раних и средње раних група зрења попут хибрида Zombor, ZP 555 и ZP 560). Остали хибриди су прилагођени и лошијим условима производње. Међу њима, кандидат издваја хибриде средње касних и касних група зрења, и то ZP 606, ZP 707, ZP 7357 и ZP 7777. Укупно гледајући, хибрид ZP 606 је најстабилнији на основу параметра b_i . На основу варијансе девијације од регресије (S^2d_i), најстабилнији принос остварио је хибрид Zombor, док је најнестабилнији хибрид ZP 6006b. На основу претходна два параметра, у дисертацији је приказан биplot на основу кога кандидат долази до закључака да је хибрид ZP 457 једини стабилан

хибрид, док су хибриди Zombor, ZP 6714, ZP 6715, ZP 6263 и ZP 7072 означени као адаптабилни. Ниједан испитивани хибрид није идентификован као стабилан и адаптабилан.

Да би се лакше увиделе вредности хибрида на основу коефицијента варијације, за потребе овог истраживања генерисан је PlotCV биplot. Хибриди који су означени као генотипови добрих перформанси и стабилног приноса су хибриди ZP 457, ZP 427, ZP 5550, ZP 606, ZP 6364, ZP 5090, ZP 707, и ZP 7072. Упоредивањем овог и претходног биплота, кандидат закључује да се од свих испитиваних хибрида једино хибрид ZP 457 може сматрати стабилним генотипом.

На самом почетку трећег потпоглавља, *Анализа GGE биплота и вредности генетичке дистанце (GD) родитељских компоненти испитиваних хибрида*, кандидат износи детаље везане за GGE биplot анализу, њене предности и недостатке, као и основна запажања везана за анализу биплота за све посматране хибриде (кластеровање хибрида, издвајање хибрида који су остварили натпросечан принос зрна, претпоставке о издвајању мегаоколина, корелација међу окружењима, интензитет интеракције генотип $\times$ спољашња средина). Кандидат се позива и на рејонизацију производње кукуруза у Републици Србији према различитим ауторима, која је од значаја за остатак дисертације и давање препорука за узгајање одређених хибрида у одређеним рејонима. Даље, ради лакше и прецизније интерпретације GGE биплота, кандидат је раздвојио биплоте за хибриде FAO група 300–500 од хибрида FAO група 600–800. Само потпоглавље састоји се од осам секција: *Анализа GGE биплота група FAO 300–500*, *Анализа GGE биплота група FAO 600–800*, *Рангирање генотипова у односу на идеалан генотип*, *Ко је где победник (Which-Won-Where)*, *Просечна вредност наспрам стабилности (Mean vs Stability)*, *Дискриминативност наспрам репрезентативности*, *Рангирање окружења у односу на идеално окружење*, и *Анализа молекуларних маркера посматраних родитељских компоненти испитиваних хибрида*.

У оквиру FAO групе зрења 300, наведена су три испитивана хибрида, међу којима се по својим перформансама издвојио хибрид Zombor, како по приносу зрна, тако и по другим карактеристикама, међу којима кандидат посебно истиче низак проценат влаге у зрну у моменту бербе. Даље, кандидат даје препоруку за употребу очинске линије хибрида Zombor у даљим програмима оплемењивања, будући да она утиче управо на низак садржај влаге у зрну.

Посебна пажња посвећена је хибридима кукуруза FAO групе зрења 400, будући да је ова група најтраженија на тржишту семенског кукуруза на територији Републике Србије. У истраживању су обухваћена два хибрида ове групе зрења, ZP 427 и ZP 457. Будући да је хибрид ZP 457 створен са намером да замени стандардни хибрид ZP 427, кандидат сматра да је остварен значајан напредак у селекцији. ZP 457 је остварио статистички значајно виши просечан принос зрна, уз изражену стабилност приноса према свим посматраним параметрима стабилности. Будући да су мајчинске компоненте ова два хибрида исте, кандидат закључује да је очинска линија хибрида ZP 457 (L74B049) заслужна за његове перформансе, те је препоручује за даље програме оплемењивања.

Међу хибридима FAO групе зрења 500, у овом истраживању нашло се шест хибрида: ZP 500, ZP 5550, ZP 5089, ZP 5090, ZP 560, и ZP 555 (од чега су последња два стандардни хибриди). Међу њима, статистички значајно виши принос зрна остварили су ZP 5550 и ZP 5090. Посебна пажња је дата хибриду ZP 5090 који се на основу GGE биплота може сматрати идеалним генотипом са изузетном стабилношћу приноса у оквиру хибрида раних и средње раних FAO група зрења намењених за бербу у зрну. Не само да га карактерише стабилан, већ и висок принос зрна, заправо највиши у оквиру FAO група зрења 300–500, и други највиши остварени принос зрна

у целокупном истраживању. Међутим, на основу испитивања помоћу параметара стабилности, ZP 5090 није класификован као хибрид стабилног приноса зрна. С обзиром да су обе посматране године биле повољне са аспекта производње кукуруза, кандидат препоручује даља испитивања стабилности приноса овог хибрида. Поред претходно издвојена два хибрида, докторанд издваја и хибрид ZP 560 који, иако хибрид старије генерације, одликује се високим приносом зрна и адаптираношћу на боље услове производње. По питању генетике хибрида, кандидат поново издваја очинске линије као заслужне за побољшане перформансе у односу на стандардне хибриде и даје им приоритет у даљим програмима селекције.

Како је претходно наглашено, у дисертацији кандидат се определио да хибриде раних и средње раних група зрења посматра одвојено од хибрида средње касних и касних група зрења, ради лакше и прецизније интерпретације, а и будући да се произвођачи често одлучују за избор хибрида на основу постојеће механизације. У том смислу, хибриди средње касних и касних група зрења (FAO 600–800) намењени су за бербу у клипу. Група зрења FAO 600 представљена је хибридима ZP 6714, ZP 6715, ZP 6263, ZP 6364, ZP 6006b, ZP 552b и ZP 606 (при чему су ZP 6006b и ZP 552b хибриди беле боје зрна које је кандидат засебно обрадио), и представио уз хибриде групе зрења FAO 600 као најтраженије хибриде Института за кукуруз „Земун Поље“. Стандардни хибрид ове групе зрења је ZP 606, који је према последњим подацима наведеним у раду, најпродаванији хибрид кукуруза на територији Републике Србије. У односу на њега, једино је хибрид ZP 6364 остварио виши просечан принос зрна, који није био статистички значајан. На основу GGE биплота, кандидат закључује да сви хибриди осим ZP 6364 формирају кластер који је погодан за локалитете Бачке и Стига и Браничева, тј. захтевају боље услове производње. Ово је у складу са претходно установљеним тврдњама других аутора које кандидат наводи. Насупрот њима, једино се хибрид ZP 6364 може сматрати хибридом који поседује широку адаптабилност и стабилност приноса, будући да је прилагођен и на неповољније услове производње. Ово је најприноснији хибрид у целом истраживању. Даље, кандидат констатује да се подаци за хибриде ZP 606 и ZP 6364 добијени путем GGE анализе и они добијени помоћу параметара стабилности незнатно разликују. С обзиром на то, дата је препорука за додатна истраживања како би се дефинитивно утврдило на којим специфичним локалитетима се ова два хибрида могу гајити. Поред ова два хибрида, кандидат издваја и ZP 6263 као хибрид добрих перформанси. Очинска компонента ова три хибрида је иста, те се разлике у оствареним перформансама могу тражити у мајчинским компонентама које су сестринске линије ниских вредности генетичких дистанци.

У истраживању су се нашле и два хибрида беле боје зрна при чему оба припадају FAO групи зрења 600, ZP 6006b и ZP 552b. Како је и иначе случај, приноси зрна ова два хибрида били су нижи у поређењу са хибридима жуте боје зрна. Од ова два хибрида, кандидат предност даје хибриду ZP 552b, који подноси неповољније услове производње. Код хибрида ZP 6006b забележен је изузетно висок проценат полеглих и сломљених биљака, па, иако је у просеку остварио виши принос зрна у поређењу са ZP 552b, кандидат не препоручује његово узгајање. У складу са тиме, од момента извођења огледа, ZP 6006b је искључен из производње, док је ZP 552b и даље заступљен. Даље, препоручује се и искључивање очинске линије ZP 6006b (L76B061) из даљих програма селекције.

Хибриди касних група зрења (FAO 700–800) обухваћени су у оквиру исте секције. У истраживању су испитивани хибриди ZP 7072, ZP 707 (FAO 700) ZP 7777 и ZP 7357 (FAO 800). Стандардни хибрид ZP 7777 остварио је најнижи принос зрна од свих касних хибрида, док су преостала три хибрида остварила више просечне приносе зрна, а једино је принос ZP 7072 био статистички значајно виши. Поред тога,

на основу GGE биplot анализе уочава се да је овај хибрид адаптабилан и самим тим се може препоручити за узгајање на свим испитиваним локалитетима. Коначно, ZP 7072 се може сматрати идеалним хибридом међу свим хибридика група FAO 700–800, иако на основу анализе стабилности кандидат долази до закључка да он ипак захтева нешто повољније услове производње у поређењу са осталим хибридика касних група зрења. С обзиром да је мајчинска линија иста за три наведена хибрида (ZP 707, ZP 7072, ZP 7357), за разлике у перформансама одговорна је очинска компонента. С обзиром на то, очинска линија хибрида ZP 7072 (L77B052) представља перспективну линију за даље програме оплемењивања.

У секцији *Рангирање генотипова у односу на идеалан генотип*, кандидат анализира GGE биplot свих испитиваних хибрида, будући да је претходно извршена анализа раних и средње раних, тј. средње касних и касних хибрида. Будући да се налази најближе хипотетичком идеалном генотипу, идеалним генотипом може се сматрати ZP 457. И ранијим анализама помоћу параметара стабилности, овај хибрид је издвојен као стабилан ($b_i = 0,8184$ и $S^2d_i = -0,3208$), тј. стабилан хибрид добрих перформанси ($CV = 5,0975\%$). Мимо тога, остварио је трећи највиши принос зрна у целокупном истраживању ($13,42 \text{ t ha}^{-1}$), који се статистички значајно не разликује од прва два. На основу ове анализе, идеално окружење за ZP 457 је PO19 (једно од најнеповољнијих окружења), што говори у прилог чињеници да је овај хибрид прилагођен на неповољније услове производње.

У секцији *Ко је где победник (Which-Won-Where)*, истоименом анализом дати су предлози који је генотип идеалан за који локалитет, тј. окружење. Наиме, за локалитете Панчево и Пожаревац и окружење ZP19, кандидат препоручује хибрид ZP 5090, док за локалитет Бачке Тополе препоручује хибрид ZP 6715. Он такође може бити добар избор и за Земун Поље и Бечеј, али на овим локалитетима фактор године може имати значајнији утицај на остварени принос. Најприноснији хибрид у овом истраживању идеалан је за окружење BC20. У овом окружењу владају оптимални услови за производњу кукуруза, и у таквим условима хибрид ZP 6715 остварује изванредне резултате.

У складу са претходним анализама, кандидат и овде спроводи анализу на основу FAO група зрења испитиваних хибрида. Међу хибридика за бербу у зрну, ZP 5090 се препоручује као идеалан за већину окружења, док међу хибридика за бербу у клипу се исто може рећи за хибрид ZP 6364.

На основу овог биplotа, потврђено је да се могу издвојити две потенцијалне мегаокоLINE: прва коју сачињавају Панчево и Пожаревац, и друга коју чине Бачка Топола и Бечеј. Да би се локалитет Земун Поље уврстио у неку од ове две мегаокоLINE, или издвојио као засебна, препоручују се додатна истраживања, што је у складу са ранијим радовима других истраживача на које се кандидат позива.

У секцији *Просечна вредност наспрам стабилности (Mean vs Stability)*, применом ове функције, кандидат потврђује претходно донете закључке о висини приноса хибрида ZP 6364 и стабилности приноса ZP 457. И овде су донети накнадни закључци за хибриде за бербу у зрну и бербу у клипу. Наиме, у првој групи, ZP 5090 је остварио највиши и стабилан принос, док је у другој групи исто остварио хибрид ZP 6364 (док се уз њега издваја и ZP 7072 чији је принос стабилнији, иако нижи).

У секцији *Дискриминативност наспрам репрезентативности*, кандидат се осврће на карактеристике тестних окружења по питању њихове репрезентативности и дискриминационе способности. Од 10 тестираних окружења, PA19 је најдискриминаторније (најинформативније), док је PO19 најмање дискриминаторно. Таква окружења нису толико корисна јер пружају мало дискриминаторних информација о перформансу генотипова те их треба избегавати у мултилокацијским огледима што заузврат може помоћи у смањењу трошкова тестирања фокусирањем на

погоднија окружења. Кандидат издваја окружење BC20 као информативно и репрезентативно, те се може сматрати погодним је за одабир опште прилагођених генотипова. Самим тим, хибриди ZP 6364, ZP 5090, ZP 6715 и ZP 457 могу се сматрати хибридима опште прилагођености будући да су остварили високе приносе зрна на локацији BC20 коју одликује информативност и репрезентативност. Са друге стране, дискриминаторна, али нерепрезентативна окружења (нпр. PA19, BT20, BC19) корисна су за одабир специфично прилагођених генотипова ако се тестна окружења могу раздвојити у мегаоколине. У наставку секције, кандидат даје препоруке за свако од наведених окружења које се могу применити и на остала окружења унутар исте мегаоколине.

У секцији *Рангирање окружења у односу на идеално окружење*, кандидат за циљ има да одреди идеално окружење које треба да буде најрепрезентативније за циљану средину, али и најдискриминаторније. BC20 је окружење најближе идеалном и стога је најбоље за селекцију генотипова прилагођених за цео регион, док је окружење PO19 најлошије. Међутим, и поред тога потребна су вишегодишња истраживања да би се потврдило да је једно окружење идеално за одабир хибрида који су опште адаптирани.

Последња секција овог потпоглавља, *Анализа молекуларних маркера посматраних родитељских компоненти испитиваних хибрида*, кандидат детаљно износи спроведену SNP анализу 29 родитељских линија испитиваних хибрида. Вредности генетичке дистанце испитиваног материјала крећу се од 0,023–0,465. На основу табеларног приказа, може се утврдити да се вредност генетичке дистанце за коришћене хибриде варира од 0,41 до 0,463 што указује на врло високу генетичку удаљеност родитеља за добијање нових хибрида. На основу остварених резултата, између вредности генетичких дистанци родитељских линија и оствареног просечног приноса зрна испитиваних хибрида кукуруза постоји умерено јака позитивна корелација. Међутим, то не значи да је хибрид са највећом генетичком дистанцом међу родитељским компонентама остварио и највиши принос, што је кандидат и објаснио наводећи вишеструке изворе на ову тему. Коначно, иако вредности генетичке дистанце добијене различитим молекуларним маркерима могу бити добар индикатор хетерозиса, оне нису коначан одговор на ово питање, те су вишелокацијски огледи и даље неопходни, и надопуњују се заједно са молекуларним маркерима, као што је потврђено и овим истраживањем.

Кандидат прилаже дендрограм на основу кога су све родитељске линије сврстане у три хетеротичне групе (LSC у једном кластеру, и BSSS и ID које се преклапају унутар другог кластера), што је у складу са емпиријским подацима на основу којих су формиране хетеротичне групе. Коначно, дата је препорука које линије би требало наставити користити у будућим програмима оплемењивања.

Закључци

Резултати истраживања довели су до испуњења циљева постављених у докторској дисертацији и омогућили доношење релевантних закључака. Трофакторијална анализа варијансе (ANOVA) показала је да су генотип, локалитет и година, као и њихове међусобне интеракције, имали веома значајан утицај на принос зрна хибрида, при чему је генотип остварио највећи утицај.

Анализом параметара стабилности потврђено је да се хибриди разликују по степену стабилности и адаптабилности. У овом истраживању ниједан хибрид није испунио све критеријуме идеалног генотипа (висок просечан принос, стабилност и широка адаптабилност), али су идентификовани хибриди изражене стабилности приноса (ZP 457) и адаптабилности (ZP 6714, ZP 6715, ZP 6263, ZP 7072).

GGE биplot анализа је показала постојање потенцијалне две мегаокоLINE: прву чине локалитети Панчево и Пожаревац, док другу чине Бачка Топола и Бечеј. Локалитет Земун Поље показао је различиту припадност у две посматране године, што указује на потребу даљих истраживања пре његове коначне класификације.

Анализа окружења показала је да су приноси у 2020. години били виши у поређењу са 2019. годином, што се може повезати са повољнијим метеоролошким условима. Најнижи просечни приноси забележени су на локалитету Панчево, док је Пожаревац остварио највише приносе, нарочито у 2020. години. Корелације међу локалитетима показале су да одређени локалитети могу бити сувишни у будућим огледима, чиме се отвара могућност рационализације постављања огледа и смањења трошкова, што је у директној вези са једним од циљева истраживања.

Дате су препоруке за гајење одређених истакнутих хибрида. На првом месту, истиче се хибрид ZP 6364, који је остварио највиши просечан принос и адаптабилност на различите услове производње, али се препоручује за производњу у првом и другом производном рејону у Републици Србији. Даље, хибрид ZP 457 се може сматрати сигурним избором у производњи те се, услед своје изражене стабилности приноса, може препоручити за широку примену у различитим производним рејонима. За нешто неповољније услове производње, предност је дата хибриду ZP 5090, док се за оптималне услове производње препоручује ZP 6715. Поред претходно наведених, важно је истаћи и хибрид Zombog који се карактерише ниским процентом влаге у зрну у моменту бербе, што га чини посебно погодним за бербу у зрну и за регионе где су трошкови сушења значајни. Препоручује се за локалитете у којима производни услови више варирају, на шта су хибриди FAO 300 групе отпорнији у поређењу са хибридама каснијих група зрења. Што се тиче хибрида беле боје зрна, хибрид ZP 552b остварио је нешто ниже просечне приносе у односу на ZP 6006b, али је показао бољу отпорност у неповољнијим агроеколошким условима, нарочито отпорност на полагање. Услед тога, хибрид ZP 552b се и даље налази у понуди ZP хибрида, док је на ZP 6006b искључен из продаје.

Помоћу SNP маркера, детектоване су самооплодне линије које дају потомство широке адаптабилности, као и оне које дају потомство уско прилагођено одређеним рејонима. Коначно, даје се препорука за употребу неколико линија у даљим програмима оплемењивања: L73B048 (у селекцији раних хибрида будући да води брзом отпуштању влаге из зрна), L74B049 (у оплемењивању на својства високог приноса зрна праћеног високом стабилношћу приноса и адаптабилношћу хибрида), L94B034 (представља значајно унапређење постојеће генетике које резултира адаптабилношћу и стабилношћу датог хибрида у свим испитиваним окружењима), L74L065 (линија чији се хибриди карактеришу добрим перформансама, првенствено по питању висине приноса, стабилности и адаптабилности), L76B051 (мајчинска линија хибрида ЗП 6364 који је остварио највише приносе у истраживању), L77B037 (толерантна на абиотички стрес, перспективна линија за даље програме оплемењивања хибрида касних FAO група зрења), L77B043 (погодна за стварање хибрида у циљу производње квалитетне силаже), L73B013, L-255/75-5, L-335/99 и L76B004 (препоручују за задржавање у програмима оплемењивања било у комбинацији са другим родитељским линијама, или као основа за даљу реселекцију и добијање бољих генотипова).

Литература

У дисертацији је наведено 407 референци. Литература је наведена на правилан начин и у потпуности одговара тематици истраживања и тумачењу добијених резултата. Значајан део наведене литературе објављен је у водећим међународним научним часописима.

5. ОСТВАРЕНИ РЕЗУЛТАТИ И НАУЧНИ ДОПРИНОС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Истраживање које је спроведено у оквиру ове докторске дисертације представља значајан подухват у области генетике и оплемењивања кукуруза, заснован на систематичном испитивању висине приноса зрна, стабилности и адаптабилности великог хибрида различитих FAO група зрења у производно најзначајнијим областима Републике Србије. Резултати трофакторијалне анализе варијансе показали су да је генотип имао највећи утицај на принос зрна, чиме је потврђено да генетички потенцијал представља основу перформанси код хибрида кукуруза.

Применом GGE анализе, поред разумевања односа међу генотиповима и окружењима, као и препоруке најперспективнијих хибрида, предложено је формирање две мегаоколине на територији Републике Србије, што је значајно за будућу оптимизацију програма испитивања хибрида и рационализацију трошкова.

Значајан научни допринос рада огледа се и у интеграцији класичних пољских метода са савременим молекуларним приступима уз повезивање са родитељским лимијама и препоруку истих за даљи процес оплемењивања.

Овим истраживањем омогућено је боље разумевање односа између генетике хибрида, стабилности приноса и адаптабилности хибрида кукуруза, што представља основу за унапређење селекције и производњу нових, приноснијих, прилагодљивијих и економски исплативијих генотипова. Рад је својим резултатима значајно допринео унапређењу сазнања о перформансу хибрида у различитим агроколошким условима и пружио смернице за будуће програме оплемењивања кукуруза у Републици Србији.

6. ОБЈАВЉЕНИ И САОПШТЕНИ РЕЗУЛТАТИ

1. **Nišavić, N.; Čamdžija, Z.; Živanović, T.; Božinović, S.; Grčić, N.; Radinović, I.; Božović, D.** Impact of Genotype × Environment Interactions on the Yield and Stability of Maize Hybrids in Serbia. *Romanian Agricultural Research*, 2025, 42, 233–245. doi:[10.59665/rar4221](https://doi.org/10.59665/rar4221).

7. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Комисија сматра да докторска дисертација Немање Нишавића, мастер инжењера пољопривреде, под насловом „Асоцијативност молекуларних карактеристика родитељских линија кукуруза и стабилност приноса зрна њихових хибрида“, представља самостално и оригинално дело аутора. Докторска дисертација је урађена у потпуности у складу са циљем и програмом који су дефинисани у оквиру одобрене Пријаве теме. Кандидат је у уводу и прегледу литературе на јасан и детаљан начин проучио резултате истраживања других аутора сходно тематици докторске дисертације. Истакао је значај оплемењивања кукуруза на принос зрна, примене вишелокацијских огледа и оцењивања стабилности и адаптабилности хибрида. Поред тога, указао је и на значај примене молекуларних маркера у оплемењивању кукуруза. Методе које су коришћене су у потпуности одговарајуће за спроведену студију. Добијени резултати потврђују постављене хипотезе и циљ истраживања. Они су приказани на детаљан и адекватан начин, а у оквиру дискусије је дат осврт на резултате других истраживања. На основу добијених резултата успешно су изведени одговарајући закључци. Имајући у виду практичан значај ове дисертације, комисија сматра да резултати ове студије имају велики значај за даљи рад у области оплемењивања кукуруза у условима климатских промена на

територији Републике Србије, и шире. Као значајни резултати овог истраживања, издвојени су хибриди широке адаптабилности који се могу гајити у различитим производним условима, као и уско адаптирани хибриди који ће остварити оптималне резултате у специфичним производним условима. Ови резултати ће довести до лакшег одабира перспективних хибрида који ће се уводити у производњу и комерцијализацију. Даље, значајно је откриће потенцијалних мегаоколина на територији Републике Србије, што ће дугорочно довести до смањења броја локалитета за постављање вишелокацијских огледа, а самим тим и смањења трошкова маркетинга и комерцијално-финансијске делатности. Генотипизацијом родитељских компоненти остварена је детекција самооплодних линија које дају шире, тј. уже адаптирано потомство, што ће олакшати и убрзати избор родитељских линија за стварање нових хибрида кукуруза.

Узевши у обзир све претходно изнето, укључујући добијене резултате, њихов обим, практични и научни допринос, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију Немање Ј. Нишавића, мастер инжењера пољопривреде, под насловом „Асоцијативност молекуларних карактеристика родитељских линија кукуруза и стабилност приноса зрна њихових хибрида“ и предлаже Наставно-научном већу Пољопривредног факултета Универзитета у Београду да прихвати позитивну оцену и тако омогући кандидату јавну одбрану ове докторске дисертације.

Београд, 07. 11. 2025. године

Чланови Комисије:

др Томислав Живановић, редовни професор
Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду
Ужа научна област: Генетика

др Зоран Чамџија, научни саветник,
Институт за кукуруз „Земун Поље“
Ужа научна дисциплина: Биотехничке науке –
Ратарство и повртарство

др Славен Продановић, редовни професор
Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду
Ужа научна област: Оплећењивање

др Гордана Бранковић, редовни професор
Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду
Ужа научна област: Генетика и оплећењивање

др Софија Божиновић, научни саветник
Институт за кукуруз „Земун Поље“
Ужа научна дисциплина: Биотехничке науке –
Ратарство и повртарство

ИЗВЕШТАЈ О ПРОВЕРИ ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма iThenticate којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације под насловом „Асоцијативност молекуларних карактеристика родитељских линија кукуруза и стабилност приноса зрна њихових хибрида“, аутора Немање Нишавића, констатујемо да је утврђено подударање текста које износи 11%. Овај степен подударности је последица употребе цитата, личних имена, библиографских података о коришћеној литератури, општих и стручних израза, као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из његове дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника. На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Ментори:

др Томислав Живановић, редовни професор
Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду
УНО: Генетика

др Зоран Чамција, научни саветник
Институт за кукуруз „Земун Поље“
УНО: Биотехничке науке – Ратарство и повртарство