

Dialelna analiza otpornosti ozime pšenice na fuzarijski palež klasa (*Fusarium* spp.)

Maričević, Marko

Doctoral thesis / Disertacija

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:408300>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

AGRONOMSKI FAKULTET

Marko Maričević

**Dialelna analiza otpornosti ozime
pšenice na fuzarijski palež klasa
(*Fusarium spp.*)**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2019.



University of Zagreb

FACULTY OF AGRICULTURE

Marko Maričević

**Diallel analysis of Fusarium head blight
resistance in winter wheat**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2019.



Sveučilište u Zagrebu

AGRONOMSKI FAKULTET

Marko Maričević

**Dialelna analiza otpornosti ozime
pšenice na fuzarijski palež klasa
(*Fusarium spp.*)**

DOKTORSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Hrvoje Šarčević

Zagreb, 2019.



University of Zagreb

FACULTY OF AGRICULTURE

Marko Maričević

**Diallel analysis of Fusarium head blight
resistance in winter wheat**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: Hrvoje Šarčević, Ph. D.

Zagreb, 2019.

Bibliografska stranica

Bibliografski podatci:

- Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
- Znanstveno polje: Poljoprivreda (agronomija)
- Znanstvena grana: Genetika i oplemenjivanje bilja, životinja i mikroorganizama
- Institucija: Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zavod za oplemenjivanje bilja, genetiku i biometriku
- Voditelj doktorskog rada: prof. dr. sc. Hrvoje Šarčević
- Broj stranica: 96
- Broj slika: 5
- Broj tablica: 27
- Broj grafikona: 12
- Broj literaturnih referenci: 128
- Datum obrane doktorskog rada: 28.11.2019.
- Sastav povjerenstva za obranu doktorskog rada:
Prof. dr. sc. Jerko Gunjača
Doc. dr. sc. Ivanka Habuš Jerčić
Dr. sc. Valentina Španić

Rad je pohranjen u:

Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, Ulica Hrvatske bratske zajednice 4 p.p. 550, 10 000 Zagreb,

Knjižnici Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog Fakulteta, Svetošimunska cesta 25, 10 000 Zagreb.

Tema rada prihvaćena je na sjednici Fakultetskog vijeća Agronomskog Fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, održanoj dana 11.09.2018., te odobrena na sjednici Senata Sveučilišta u Zagrebu, održanoj dana 11.12.2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA O IZVORNOSTI

Ja, **Marko Maričević**, izjavljujem da sam samostalno izradio doktorski rad pod naslovom:

Dialelna analiza otpornosti ozime pšenice na fuzarijski palež klasa (*Fusarium spp.*)

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedini autor ovoga dokorskog rada;
- da je doktorski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni;
- da sam upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

Zagreb, 28.11.2019. godine.

Potpis doktoranda

Ovu disertaciju je ocijenilo povjerenstvo u sastavu:

1. Prof. dr. sc. Jerko Gunjača, _____
Redoviti profesor u trajnom zvanju Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

2. Doc. dr. sc. Ivanka Habuš Jerčić, _____
Docent Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

3. Dr. sc. Valentina Španić, _____
Znanstveni savjetnik u trajnom zvanju Poljoprivrednog instituta Osijek

Disertacija je obranjena na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, 28.11.2019. godine.

Mentor: prof. dr. sc. Hrvoje Šarčević

Prof. dr. sc. Hrvoje Šarčević redoviti je profesor u trajnom zvanju Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Diplomirao je 1991. godine na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, a na istom fakultetu, 1994. godine upisuje poslijediplomski studij "Genetika i oplemenjivanje bilja" i završava ga u ožujku 1998. godine obranivši magistarski rad naslova "Procjena dormantnosti i proklijavanja u klasu pšenice (*Tr.aestivum* L.)". U srpnju 2003. godine obranio je doktorsku disertaciju naslova "Genetske promjene u M3 sintetičkoj populaciji kukuruza (*Zea mays* L.) izloženoj rekurentnoj selekciji". Najvažnija područja znanstvenog interesa prof. Šarčevića su kvantitativna i populacijska genetika, te oplemenjivanje pšenice, soje i kukuruza. Autor je 25 znanstvenih radova citiranih u bazama podataka Current Contents i Science Citation Index Expanded te 19 radova citiranih u bazi CAB Abstracts. Od 2007. do 2013. godine vodio je znanstveni projekt "Efikasnost korištenja dušika i pekarska kakvoća pšenice", a bio je suradnik na sedam znanstvenih projekata financiranih od strane Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta te Hrvatske zaklade za znanost. Od 2007. do 2011. godine bio je nacionalni koordinator na međunarodnom projektu "Evaluation of Natural and Mutant Genetic Diversity in Cereals Using Nuclear and Molecular Techniques (RER/5/013)" financiranom od strane Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA), a od 2009. do 2010. godine bio je suradnik na regionalnom projektu "Collecting local landraces of maize and cereals (wheat, barley, rye, oat, millet and buckwheat) in South Eastern Europe" financiranog od strane Swedish International Development Cooperation Agency. Od 2018. sudjeluje u projektu Znanstvenog centra izvrsnosti za bioraznolikost i molekularno oplemenjivanje bilja (CroP-BioDiv). Koordinator je jednog modula na diplomskim studijima Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta ("Populacijska genetika u oplemenjivanju bilja") i jednog modula na poslijediplomskom studiju istog fakulteta ("Populacijska i kvantitativna genetika u oplemenjivanju bilja"). Bio je mentor jednog magistarskog rada i pet doktorskih disertacija, te član povjerenstva za ocjenu i obranu većeg broja doktorskih disertacija i magistarskih radova.

ZAHVALA

Najveću zahvalu upućujem mentoru prof. dr. sc. Hrvoju Šarčeviću koji me je uspješno vodio tijekom izrade ovog doktorskog rada.

Zahvalnost upućujem članovima povjerenstva za obranu dr. sc. Valentini Španić, doc. dr. sc. Ivanki Habuš Jerčić i prof. dr. sc. Jerku Gunjači, koji su mi svojim savjetima pomogli da ovaj doktorski rad bude bolji.

Zahvaljujem Bc Institutu za oplemenjivanje i proizvodnju bilja što mi je omogućio financijska sredstva za potrebe ovoga istraživanja.

Posebna zahvala kolegama dr. sc. Branku Palaveršiću, dr.sc. Slobodanu Tomasoviću, mr. sc. Radi Mlinaru, dr. sc. Ivici Ikiću, dr. sc. Miroslavu Bukanu i dr. sc. Katarini Jukić na savjetima i stručnoj pomoći tijekom provođenja istraživanja i pisanja doktorskog rada.

Zahvalio bih se prof. dr. sc. Hermannu Buerstmayru s Odjela za agrobiotehnologiju na IFA-Tulln u Austriji koji mi je pomogao pri učenju metodologije koju sam koristio prilikom provođenja istraživanja. Također zahvaljujem i na germplazmi oplemenjivačkih materijala pšenice koje mi je ustupio za provođenje istraživanja.

Velika zahvala i djelatnicima Zavoda za strne žitarice Bc Instituta na pomoći i potpori pri provođenju istraživanja.

Na kraju posebnu zahvalu upućujem svojoj obitelji, supruzi Andrei i kćerki Elizabeti na podršci i strpljivosti koje su pokazali tijekom izrade doktorskog rada.

SAŽETAK

Fuzarijski palež klasa (FHB) je jedna od najdestruktivnijih gljivičnih bolesti pšenice diljem svijeta. Bolest uzrokuje smanjenje uroda zrna te negativno utječe na svojstva kvalitete. *Fusarium* vrste proizvode i mikotoksine koji su štetni za zdravlje ljudi i životinja, a najzastupljeniji su deoksinivalenol (DON) i zearalenon (ZEN). Najučinkovitija metoda u borbi protiv FHB je stvaranje otpornih genotipova. Dialelnom analizom dobivamo informacije o općim i specifičnim kombinacijskim sposobnostima pojedinih roditelja kao i informaciju o prirodi djelovanja gena na testirano svojstvo. Cilj ovoga istraživanja je bio kroz dialelno križanje procijeniti heritabilnost te opće (GCA) i specifične (SCA) kombinacijske sposobnosti odabranih roditelja na FHB, a kod F1 križanaca utvrditi heterozis u odnosu na prosjek roditelja (MPH) te u odnosu na boljeg roditelja (BPH). Između testiranih svojstava cilj je bio odrediti korelacije, dok se sjetvom kontrolnog pokusa bez umjetne inokulacije željelo utvrditi smanjenje vrijednosti agronomskih svojstva nastalih uslijed umjetne inokulacije. U istraživanje je bilo uključeno osam homozigotnih roditelja koji se razlikuju u otpornosti na FHB i njihovih 28 F1 potomstava proizvedenih prema shemi dialelnog križanja bez reciproka. Istraživanje se provodilo na lokaciji Botinec tijekom tri uzastopne godine u dva odvojena pokusa od kojih je jedan bio u uvjetima umjetne inokulacije gljivom vrste *F. graminearum*, a drugi u uvjetima prirodne infekcije gljivama iz roda *Fusarium* (kontrola). Za procjenu otpornosti genotipova na FHB koristili smo ocjenu intenziteta zaraze klasa (VRI) i intenziteta zaraze zrna (FDK). Također, praćena su agronomska svojstva u oba pokusa, a na uzorcima iz umjetne inokulacije određen je sadržaj mikotoksina, DON-a i ZEN-a. Analizom varijance za umjetnu inokulaciju utvrđen je signifikantan učinak genotipa za svojstva vezana za otpornost na FHB kao što su VRI, FDK, sadržaj DON-a i sadržaj ZEN-a, što upućuje na veliku genetsku varijabilnost testiranih genotipova za navedena svojstva. Utvrđeni su signifikantni GCA i SCA učinci za sva svojstva povezana s otpornosti genotipova. Signifikantan GCA ukazuje na važnost aditivnog učinka gena u kontroli otpornosti na FHB, dok signifikantan SCA ukazuje na postojanje dominacijskog ili epistatičnog učinka gena kod pojedinih kombinacija križanja. Visoke negativne vrijednosti za GCA za svojstva povezana s otpornosti na FHB kod pojedinih roditelja ih čine perspektivnim za kombinacijska križanja provedena s ciljem poboljšanja otpornosti na FHB. Aditivna komponenta varijance je u oba tipa infekcije za sva svojstva bila znatno viša u odnosu na dominacijsku varijancu pa se može očekivati da se izborom otpornih roditelja može osigurati dobra otpornost na FHB. Negativni MPH za VRI u umjetnoj inokulaciji utvrđen je kod 22 od 28 križanaca, a negativni BPH kod 6 križanaca. Za FDK negativni MPH zabilježen je kod svih 28 križanaca, a negativni BPH kod 15 križanaca. Negativni MPH za sadržaj DON-a je utvrđen kod 26 od 28 križanaca, a negativni BPH kod 6 križanaca, dok je negativni MPH za sadržaj ZEN-a utvrđen kod 26 od 28 križanaca, a negativni BPH kod 10 križanaca. Utvrđeni negativni heterotični učinci daju perspektivu za povećanje otpornosti na FHB putem klasičnog oplemenjivanja pšenice stvaranjem novih sorata, a svakako u oplemenjivanju hibridne pšenice. Visoke pozitivne korelacije u uvjetima umjetne inokulacije u provedenom istraživanju utvrđene su između svih svojstava povezanih s otpornosti na FHB. Visoke negativne korelacije u uvjetima umjetne inokulacije utvrđene su između svojstava vezanih za otpornost na FHB i uroda zrna te komponenti uroda zrna kao što su masa 1000 zrna, hektolitarska masa i masa zrna po klasu. Također, u provedenom istraživanju utvrđene su vrlo visoke negativne korelacije između visine genotipova i svojstava povezanih s otpornosti FHB, što upućuje na veću otpornost viših genotipova. Utvrđeno je prosječno smanjenje uroda od 27,2% u uvjetima umjetne inokulacije u odnosu na prirodne uvjete, dok je smanjenje mase 1000 zrna iznosilo 10,9%, mase zrna po klasu 22,4%, hektolitarske mase 10,5%, te broja zrna po klasu 13,5%.

Ključne riječi: pšenica, fuzarijski palež klasa, mikotoksini, heterozis, opće kombinacijske sposobnosti, specifične kombinacijske sposobnosti, korelacije

EXTENDED ABSTRACT

Diallel analysis of *Fusarium* head blight resistance in winter wheat

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important crops in the world. Wheat diseases are a major problem in the production of this cereal, among which fungal diseases cause the greatest damage. Fungi of the genus *Fusarium* are one of the most common wheat pathogens, which can infect various plant organs, but most commonly they infect the spike. The *Fusarium* Head Blight (FHB) is one of the most destructive fungal diseases of wheat all over the world, which reduces grain yield through increased flower sterility and poor grain filling and negatively affects the quality properties. In addition, *Fusarium* species produce mycotoxins which can be harmful for human and animal health, of which the most widespread are deoxynivalenol (DON) and zearalenone (ZEN). Agricultural management practices such as crop rotation, soil tillage and fungicide application are only partially effective in preventing this disease. The most effective method against FHB is to create resistant genotypes. Diallel analysis provides information about general and specific combining abilities of individual parents as well as information on the nature of gene effects for tested traits.

The aim of this study was to evaluate the general (GCA) and specific (SCA) combining abilities for visual scores of FHB symptoms as well as for DON and ZEN content, to determine heterosis in F1 crosses and to estimate variance components and heritability for these traits, to determine correlations among traits and to estimate the decrease in the value of agronomic traits in the studied genotypes due to artificial infection.

Eight homozygous parents, differing in their resistance to FHB, and their 28 F1 crosses, produced according to the diallel mating design without reciprocals, were included in the study. Field trials were carried out in the breeding nursery of the Bc Institute for Breeding and Production of Field Crops Zagreb at the location Botinec, Croatia during three consecutive years. The trials were conducted each year under artificial inoculation with the fungus *F. graminearum* and under natural infection (control).

For assessing visual symptoms of FHB under artificial and natural infection the percentage of infected spikelets (visual rating index, VRI) and percentage of *Fusarium* damaged kernels (FDK) were used. In addition, morphological and agronomic traits such as number of days to flowering, plant height, grain yield per plot, 1000 kernel weight, number of grains per spike, grain weight per spike as well as the protein content of the grain were determined. Quantitative analysis of the mycotoxin content by the HPLC-MS/MS multi-analytical method in the infected wheat grain was carried out on samples taken from artificially inoculated trials.

Diallel analysis using Griffing approach Method 2 was performed to estimate general (GCA) and specific (SCA) combining ability effects as well as variance components and heritability of visual symptoms of FHB as well as DON and ZEN content. For all analyzed traits, mid-parent heterosis (MPH) as well as better parent heterosis (BPH) were determined. The correlation among traits under both natural and artificial infections was estimated by computing phenotypic and genetic correlations. Relative efficiency of selection conducted under artificial vs. natural infection to improve resistance to FHB was calculated on the basis of estimated heritability of resistance ratings and genetic correlations between the resistance ratings under artificial and natural infection.

Analysis of variance for artificial inoculation showed significant effect of genotype for VRI, FDK, DON content, and ZEN content, significant year effect for FDK, DON content and ZEN content and significant genotype $\times$ year interaction for FDK.

Diallel analysis revealed significant GCA and SCA effects for all traits associated with the resistance of genotypes to FHB under artificial infection, whereas under natural infection significant effect was found only for GCA. Significant GCA points to the importance of the additive gene effects in the control of FHB resistance, while significant SCA indicates the existence of a dominant or epistatic gene effects in some cross-combinations. The additive variance component in the present study was in both types of infections for all traits substantially higher than the dominant variance component. Therefore, it can be expected that the choice of resistant parents can provide an efficient response to selection. High negative GCA values for FHB-resistance associated traits in individual parental lines make them desirable parents in future cross-combinations within the breeding programs aimed at improving FHB resistance.

The results of the present study revealed negative MPH for VRI in artificial inoculation in 22 and negative BPH in 6 out of 28 crosses. For FDK, negative MPH was found in all 28 crosses and negative BPH in 15 crosses. Negative MPH for DON content was determined in 26 and negative BPH in 6 crosses while negative MPH for ZEN content was determined in 26 and negative BPH in 10 crosses. Negative heterotic effects, determined both in relation to mid-parent and better parent, provide a perspective for classical wheat breeding by creating resistant line varieties, especially in hybrid wheat breeding.

Under artificial inoculation high positive correlations were observed among all traits associated with resistance to FHB (VRI, FDK, DON content and ZEN content). Therefore, by monitoring the visual symptoms of the disease in the spike, as fast and inexpensive method, it would be possible to predict the degree of grain contamination as well as the content of mycotoxins. High negative correlations under artificial inoculation were observed between the visual FHB symptoms and both grain yield and its components, such as grain number per spike, 1000 kernel weight, grain weight per spike and test weight. The present study also revealed a high negative correlations between plant height and traits associated with FHB resistance, indicating that taller genotypes are more resistant to the disease. High negative correlations between the traits related to visual symptoms of FHB and grain yield and its components indicated the importance of genotypic resistance to FHB to maintain the yield stability in environments favorable for the development of FHB.

In the present study a reduction of grain yield and its components was observed under artificial inoculation relative to the natural infection. As an average over 36 genotypes a relative reduction of 27,2%, 10,9%, 22,4%, 10,5% and 13,5% was observed for grain yield, 1000 kernel weight, grain weight per spike, test weight and the number of grains per spike, respectively.

The estimates of heritability for visual FHB symptoms (VRI and FDK), as an important component affecting the relative efficiency of indirect vs. direct selection, were in all three experimental years considerably higher under artificial inoculation than under natural infection. The efficiency of indirect selection under artificial inoculation was higher than efficiency of direct selection under natural infection in all three experimental years for VRI but only in one year for FDK as the consequence of differences in natural disease incidences among years.

Key words: wheat, fusarium head blight, mycotoxins, heterosis, general combining ability, specific combining ability, correlations

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Hipoteze i ciljevi istraživanja	2
1.1.1. Hipoteze	2
1.1.2. Ciljevi istraživanja	2
2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	3
2.1. Fuzarijski palež klasa (FHB)	3
2.2. Klasifikacija <i>Fusarium</i> vrsta	3
2.2.1. Morfologija najzastupljenijih <i>Fusarium</i> vrsta koje uzrokuju FHB	4
2.2.2. Životni ciklus <i>Fusarium</i> vrsta koje uzrokuju FHB	5
2.3. Simptomi i štetnost fuzarijskog paleža klasa	7
2.4. Mikotoksini	8
2.5. Mjere borbe protiv FHB	10
2.6. Oplemenjivanje na otpornost na FHB	11
2.6.1. Povezanost otpornosti na FHB s drugim svojstvima	11
2.6.2. Dialelna analiza u oplemenjivanju ne otpornost na FHB	12
2.6.3. Oplemenjivanje na otpornost na FHB primjenom DNA markera	14
2.6.3.1. Genski lokusi za otpornost na FHB i njihovi markeri	14
2.6.3.2. Vezana svojstva s FHB	16
3. MATERIJAL I METODE RADA	18
3.1. Biljni materijal	18
3.2. Dizajn poljskih pokusa i provedena agrotehnika	19
3.3. Proizvodnja inokuluma i umjetna inokulacija	20
3.4. Vremenski uvjeti od perioda početka cvatnje do žetve	21
3.5. Ocjena svojstava	24
3.6. Statistička analiza	26
3.6.1. Griffingova dialelna analiza varijance	26
3.6.2. Procjena komponenti varijance i heritabilnosti	26
3.6.3. Procjena heterozisa	27

3.6.4.	Korelacije.....	28
3.6.5.	Kombinirana ANOVA za umjetnu inokulaciju i prirodnu infekciju	28
4.	REZULTATI ISTRAŽIVANJA	29
4.1.	Kombinirana analiza varijance za umjetnu inokulaciju	29
4.2.	Varijabilnost genotipova i godina u umjetnoj inokulaciji	30
4.3.	Kombinirana analiza varijance za prirodne uvjete	35
4.4.	Varijabilnost genotipova u prirodnim uvjetima	35
4.5.	Opće kombinacijske sposobnosti u uvjetima umjetne inokulacije	38
4.6.	Opće kombinacijske sposobnosti u prirodnim uvjetima	40
4.7.	Specifične kombinacijske sposobnosti u uvjetima umjetne inokulacije	42
4.8.	Specifične kombinacijske sposobnosti u prirodnim uvjetima	45
4.9.	Heritabilnost.....	47
4.10.	Relativna učinkovitost indirektne selekcije.....	48
4.11.	Heterozis u umjetnoj inokulaciji	49
4.12.	Korelacije između svojstava u uvjetima umjetne inokulacije	55
4.13.	Korelacije između svojstava u prirodnim uvjetima	58
4.14.	Korelacije između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta	60
4.15.	Razlika u svojstvima između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta.....	61
4.16.	Visina genotipova i broj dana do cvatnje	72
5.	RASPRAVA	75
5.1.	Variranje u umjetnoj inokulaciji.....	75
5.2.	Opće i specifične kombinacijske sposobnosti	76
5.3.	Varijance i heritabilnost.....	76
5.4.	Heretozis u umjetnoj inokulaciji.....	77
5.5.	Korelacije između testiranih svojstava	78
5.6.	Razlike u svojstvima između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta	82
6.	ZAKLJUČCI	84
7.	POPIS LITERATURE	85
8.	ŽIVOTOPIS	95

POPIS KRATICA

ANOVA	Analiza varijance
BPH	Heterozis u odnosu na boljeg roditelja
BPH%	Relativni heterozis u odnosu na boljeg roditelja
DON	Deoksinivalenol
FDK	Postotak fuzariumom zaraženih zrna
FHB	Fuzarijski palež klasa
GCA	Opće kombinacijske sposobnosti
MPH	Heterozis u odnosu na prosjek roditelja
MPH%	Relativni heterozis u odnosu na prosjek roditelja
PDA	Krumpirov dekstrozni agar
SCA	Specifične kombinacijske sposobnosti
SNA	Sintetički agar sa smanjenom količinom hranjiva
VRI	Vizualna ocjena postotka površine klasa zaražene s FHB
ZEN	Zearalenon

POPIS TABLICA

Tablica 1. Popis mikotoksina koje produciraju <i>Fusarium</i> vrste koje se javljaju na pšenici u našem uzgojnom području (Mesterhazy i sur., 2012)	9
Tablica 2. Porijeklo, rodoslovlje i otpornost roditelja na FHB.	18
Tablica 3. Način vizualnog ocjenjivanja postotka površine klasa zaražene s FHB (VRI). .	25
Tablica 4. ANOVA za VRI (%), FDK (%), sadržaj DON-a (µg/kg) i sadržaj ZEN-a (µg/kg) u umjetnoj inokulaciji.	29
Tablica 5. ANOVA za VRI (%) i FDK (%) u prirodnim uvjetima.	35
Tablica 6. Prosječne vrijednosti roditelja i GCA za VRI (%), FDK (%), sadržaj DON-a (µg/kg) i sadržaj ZEN-a (µg/kg) u umjetnoj inokulaciji.	38
Tablica 7. Prosječne vrijednosti roditelja i GCA za VRI (%) i FDK (%) u prirodnim uvjetima.	40
Tablica 8. SCA za F1 križance za VRI (%) i FDK (%) u umjetnoj inokulaciji.	42
Tablica 9. SCA za F1 križance za sadržaj DON-a (µg/kg) i sadržaj ZEN-a (µg/kg) u umjetnoj inokulaciji.	44
Tablica 10. SCA za F1 križance za VRI (%) i FDK (%) u prirodnim uvjetima.	46
Tablica 11. σ^2_A , σ^2_D , $\sigma^2_A / (\sigma^2_A + \sigma^2_D)$, h^2_b i h^2_n za VRI, FDK, sadržaj DON-a i sadržaj ZEN-a u umjetnoj inokulaciji te za VRI i FDK u prirodnim uvjetima.	47
Tablica 12. Prikaz r_G , heritabilnosti za UI i PI i efikasnosti indirektne selekcije.	48
Tablica 13. Prosjek, heterozis u odnosu na roditeljski prosjek (MPH), MPH(%), heterozis u odnosu na boljeg roditelja (BPH) i BPH(%) za VRI u umjetnoj inokulaciji.	49
Tablica 14. Prosjek, heterozis u odnosu na roditeljski prosjek (MPH), MPH(%), heterozis u odnosu na boljeg roditelja (BPH) i BPH(%) za FDK u umjetnoj inokulaciji.	51
Tablica 15. Prosjek, heterozis u odnosu na roditeljski prosjek (MPH), MPH(%), heterozis u odnosu na boljeg roditelja (BPH) i BPH(%) za DON u umjetnoj inokulaciji.	52
Tablica 16. Prosjek, heterozis u odnosu na roditeljski prosjek (MPH), MPH(%), heterozis u odnosu na boljeg roditelja (BPH) i BPH(%) za ZEN u umjetnoj inokulaciji.	54
Tablica 17. Korelacije između svojstava u uvjetima umjetne inokulacije.	57
Tablica 18. Korelacije između testiranih svojstava kroz tri godine u prirodnim uvjetima. ..	59
Tablica 19. Korelacije između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta za osam svojstava ..	60
Tablica 20. Kombinirana ANOVA za 36 genotipova za dva tipa infekcije kroz tri godine. .	62
Tablica 21. Prosječni urod (kg/parcelici) roditelja i njihovih križanaca u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji te razlika uroda između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije.	64
Tablica 22. Prosječna masa 1000 zrna (g) roditelja i njihovih križanaca u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji te razlika mase 1000 zrna između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije.	65

Tablica 23. Prosječna hektolitarska masa (kg/hl) roditelja i njihovih križanaca u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji te razlika hektolitarske mase između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije.....	67
Tablica 24. Prosječni broj zrna po klasu roditelja i njihovih križanaca u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji te razlika broja zrna po klasu između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije.....	68
Tablica 25. Prosječna masa zrna po klasu (g) roditelja i njihovih križanaca u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji te razlika u masi zrna po klasu između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije.	70
Tablica 26. Prosječni sadržaj proteina (%) roditelja i njihovih križanaca u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji te razlika u sadržaju proteina između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije.....	71
Tablica 27. Kombinirana analiza varijance za 36 genotipova kroz tri godine za svojstva visine (cm) i broj dana do cvatnje.....	72

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Količina oborina po godinama za mjesece svibanj i lipanj prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda za mjernu postaju Zagreb – Pleso aerodrom.	22
Grafikon 2. Usporedba srednje dnevne temperatura zraka za 2014. godinu s prosjekom od 1961 – 1991. godine za mjernu postaju Zagreb – Grič.....	22
Grafikon 3. Usporedba srednje dnevne temperatura zraka za 2015. godinu s prosjekom od 1961 – 1991. godine za mjernu postaju Zagreb – Grič.....	23
Grafikon 4. Usporedba srednje dnevne temperatura zraka za 2016. godinu s prosjekom od 1961 – 1991. godine za mjernu postaju Zagreb – Grič.....	24
Grafikon 5. Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti za VRI u umjetnoj inokulaciji po testiranim godinama.....	31
Grafikon 6. Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti za FDK u umjetnoj inokulaciji po testiranim godinama.....	32
Grafikon 7. Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti za sadržaj DON-a ($\mu\text{g/kg}$) u umjetnoj inokulaciji po testiranim godinama.	33
Grafikon 8. Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti za sadržaj ZEN-a ($\mu\text{g/kg}$) u umjetnoj inokulaciji po testiranim godinama.	34
Grafikon 9. Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti za VRI u prirodnim uvjetima po testiranim godinama.....	36
Grafikon 10. Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti za FDK u prirodnim uvjetima po testiranim godinama.....	37
Grafikon 11. Prosječna visina (cm) roditelja i F1 križanaca kroz tri godine ispitivanja.....	73
Grafikon 12. Prosječan broj dana do cvatnje roditelja i F1 križanaca kroz tri godine ispitivanja.....	74

POPIS SLIKA

Slika 1. Periteciji razvijeni na ostacima stabljike kukuruza	6
Slika 2. Simptomi FHB na klasiću	7
Slika 3. Simptomi FHB na zrnu	7
Slika 4. 20812.2.8 (najotporniji roditelj)	18
Slika 5. Golubica (najosjetljiviji roditelj)	18

1. UVOD

Pšenica (*Triticum aestivum* L.) je po proizvodnji druga najvažnija ratarska kultura u svijetu, odmah nakon kukuruza. Osnovna je namirnica u prehrani ljudi te ima veliki gospodarski značaj. Koristi se za proizvodnju kruha, tjestenine, grisa, ulja iz klica, škroba, alkohola itd. Upotrebljava se u pivarskoj i farmaceutskoj industriji te za ishranu stoke. Odlikuje se širokim arealom rasprostranjenosti zbog visokog stupnja polimorfizma (velik broj varijeteta i sorata). Prema FAO podacima za 2017. godinu u svijetu se pšenica proizvodila na 218 543 071 hektara s prosječnim urodom od 3,53 tone po hektaru čime je svjetska proizvodnja pšenice iznosila 771 718 579 tona (<http://www.fao.org>). Najveći svjetski proizvođači pšenice su Kina, Rusija i SAD. Na području Europske Unije najveći proizvođač sa zasijanom površinom od 5 464 689 hektara i proizvodnjom od 36 924 938 tona je Francuska, a slijede je Njemačka, Velika Britanija i Poljska. U Republici Hrvatskoj je 2017. godine bilo zasijano 116 150 hektara. Ostvaren je prosječni urod od 5,9 tona po hektaru te je proizvedeno 682 322 tona pšenice.

Bolesti pšenice predstavljaju veliki problem u proizvodnji ove žitarice. Od uzročnika biljnih bolesti gljive su od najveće važnosti jer mogu prouzročiti gubitke uroda i do 30%, a preko sekundarnih produkata mogu reducirati i kvalitetu (Oldrach i sur., 2001). Najvažnije gljivične bolesti koje napadaju pšenicu su fuzarijski palež klasa (*Fusarium spp.*), smeđa pjegavost lista (*Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt.), pepelnica (*Blumeria graminis* (DC.) Speer), smeđa pjegavost pljevica (*Parastagonospora nodorum* (Berk.) Quaedvl., Verkley & Crous), žuta ili crtičava hrđa (*Puccinia striiformis* Westend.), smeđa ili lisna hrđa (*Puccinia recondita* Roberge ex Desm.) te crna ili stabljična hrđa (*Puccinia graminis* Pers.).

1.1. Hipoteze i ciljevi istraživanja

1.1.1. Hipoteze

- Uvjeti testiranja otpornosti genotipova pšenice na fuzarijski palež klasa utjecat će na procjenu heritabilnosti kao i općih i specifičnih kombinacijskih sposobnosti roditeljskih linija.
- Uvjeti infekcije kao i genotip utjecat će na procijenjenu vrijednost heterozisa.
- Očekuje se utvrđivanje genetske varijabilnosti za gubitak prinosa kao posljedica umjetne infekcije.

1.1.2. Ciljevi istraživanja

U uvjetima prirodne i umjetne infekcije pšenice:

- Procijeniti heritabilnost te opće i specifične kombinacijske sposobnosti roditeljskih linija za fuzarijski palež klasa.
- Procijeniti heterozis za otpornost na fuzarijski palež klasa kod F1 križanaca.
- Utvrditi genotipske razlike u gubitku prinosa u uvjetima umjetne infekcije u odnosu na prirodnu infekciju.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

2.1. Fuzarijski palež klasa (FHB)

Gljive iz roda *Fusarium* inficiraju pšenicu na različitim biljnim organima, ali najčešće dolazi do zaraze klasa. Fuzarijski palež klasa je jedna od najdestruktivnijih gljivičnih bolesti pšenice diljem svijeta (Steiner i sur., 2008). Bolest uzrokuje najmanje 17 vrsta iz roda *Fusarium* (Browne i Cooke, 2004), a najzastupljenije vrste su *Fusarium graminearum* Schwabe, *Fusarium culmorum* (Wm.G. Sm.) Sacc., *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc. i *Fusarium poae* (Peck) Wollenw. (Parry i sur., 1995). Različite vrste dominantne su u različitim geografskim područjima što ovisi o mnogobrojnim čimbenicima, ali prije svega klimatskim uvjetima, prvenstveno temperaturi (Miraglia i sur., 2009). Vrsta *F. graminearum* preferira tople i vlažne uvjete, *F. culmorum* i *F. avenaceum* hladnija i vlažna područja, dok *F. poae* zahtjeva suhe i tople uvjete (Xu i sur., 2008). Vrsta *F. graminearum* je dominantna na području Hrvatske, dok se u manjem intenzitetu pojavljuju *F. culmorum*, *F. avenaceum* i *F. poae* (Španić i sur., 2010).

2.2. Klasifikacija *Fusarium* vrsta

Rod *Fusarium* unutar carstva gljiva kao taksonomsku kategoriju uveo je njemački botaničar Link 1809. godine (Ivić, 2010). Rod *Fusarium* karakteriziraju srpaste višestanične konidije s izbočenom bazalnom stanicom ili bazalnom stanicom u obliku stopala. Sukladno definiciji Linka (1809), u rod *Fusarium* svrstavaju se isključivo nesavršeni, anamorfn stadiji pojedinih vrsta. Teleomorfi (savršeni stadij) vrsta iz roda *Fusarium* većinom spadaju u rod *Gibberella* (Ivić, 2010).

Rodovi *Fusarium* i *Gibberella* pripadaju carstvu *Fungi*, odjelu *Ascomycota*, razredu *Sordariomycetes*, redu *Hypocreales* i porodici *Nectriaceae* (Leslie i Summerell, 2006). U prošlosti je glavni kriterij za klasifikaciju *Fusarium* vrsta bila morfologija koja često nije dovoljno pouzdana te se u novije vrijeme primjenjuju molekularne metode determinacije.

Primarno svojstvo prema kojem se vrsta svrstava u rod *Fusarium* je pojavljivanje srpaste bespolne spore (Moretti, 2009). *Fusarium* vrste proizvode tri vrste spora: mikrokonidije, makrokonidije i hlamidospore.

Mikrokonidije su najčešće ovalnog oblika, jednostanične, ali mogu imati 1, 2 ili rjeđe 3 septe, nastaju na jednostavnim, nerazgranatim konidioforima, pojedinačno, u nizovima ili u

tzv. lažnim glavicama. Makrokonidije su srpasto povijene, s izduženom vršnom i bazalnom stanicom koja ima oblik stopala, uvijek su višestanične i uglavnom imaju 3 do 7 septi, te najčešće nastaju na razgranatim konidioforima u sporodohijama. Pojedine vrste stvaraju hlamidospore kao organe za konzervaciju, te služe za preživljavanje u nepovoljnim uvjetima, a nastaju pojedinačno, u paru ili nizu (Nelson i sur., 1994).

2.2.1. Morfologija najzastupljenijih *Fusarium* vrsta koje uzrokuju FHB

Anamorfni stadij gljive *F. graminearum* proizvodi bespolne spore, makrokonidije, dok mikrokonidije nisu utvrđene. Makrokonidije su umjereno srpaste, jednoliko savijene i debelih stjenki. Obično imaju pet ili šest poprečnih pregrada ($28,0-72,0 \times 3,2-6,0 \mu\text{m}$), manje su učestale s tri ili četiri pregrade, a izuzetno rijetke od sedam do devet pregrada. Vršne stanice su sužene u vidu „njuške“, dok su bazalne karakterističnog oblika stopala (Lević, 2008). Zajedno se grupiraju u nakupine zvane sporodohiji (Schmale i Bergstrom, 2003). Na ovaj način gljiva se nespolno razmnožava i širi zarazu tijekom vegetacije (Tomasović i sur., 1994). Hlamidospore ove vrste su loptaste ($8,0-12,0 \mu\text{m}$), glatkih stjenki, bezbojne do blijedo smeđe, ponekad dvostanične, pojedinačne, u nizovima i izuzetno u grupama.

Savršeni stadij gljive predstavlja *Gibberella zeae* (Schwein.) Petch. Karakteriziraju ga jajasti periteciji promjera $140,0-250,0 \mu\text{m}$ koji u zrelosti poprimaju tamno plavu boju. Unutar peritecija razvijaju se askusi oblika palice ($60,0-85,0 \times 8,0-11,0 \mu\text{m}$) koji sadrže četiri do šest askospora. U vršnom dijelu askusa nalaze se askospore s jednom poprečnom pregradom, dok prema osnovi askusa imaju tri pregrade. Askospore su bezbojne, ponekad svijetlosmeđe, savijene i zaobljenih krajeva, veličine $17,0-25,5 \times 3,0-5,0 \mu\text{m}$ (Lević, 2008). Na ovaj način se gljiva spolno razmnožava i održava na mrtvoj organskoj tvari (Tomasović i sur., 1994).

Vrsta *F. culmorum* proizvodi kratke i krupne makrokonidije najčešće s pet poprečnih pregrada ($23,0-74,0 \times 4,0-9,0 \mu\text{m}$). Vršne stanice su tupaste ili zaobljene, dok su bazalne oblika zareza ili neizraženog oblika stopala. Mikrokonidije za ovu vrstu nisu utvrđene. Hlamidospore su loptaste do ovalne ($8,0-16,0 \mu\text{m}$), najčešće glatkih stjenki, uglavnom smeđe, pojedinačne, u nizovima i grupama. Teleomorfni stadij je nepoznat (Lević, 2008).

Makrokonidije vrste *F. avenaceum* su savijene, igličaste, tankih i paralelnih stjenki, najšire u gornjoj trećini, najčešće s pet poprečnih pregrada ($31,0-98,0 \times 2,0-5,5 \mu\text{m}$). Vršne stanice su šiljate, a bazalne su u vidu zareza ili stopala. Mikrokonidije, kao i hlamidospore, nisu utvrđene. Teleomorf ove vrste je *Gibberella avenacea* R.J. Cook koji tvori peritecije

tamnocrvene do crne boje, pojedinačne ili u grupama. Askusi su valjkasti do oblika palice, veličine $70,0-100,0 \times 9,0-12,0 \mu\text{m}$ te sadrže osam askospora. Askospore su bezbojne, vretenaste, sužene kod središnje poprečne pregrade i s nešto dužom vršnom stanicom, veličine $13,0-19,0 \times 4,0-5,0 \mu\text{m}$, ponekad s dvije pregrade i veličine $17,0-25,0 \times 5,0-6,5 \mu\text{m}$ (Lević, 2008).

Vrsta *F. poae* tvori mikrokonidije ovalnog ili loptastog oblika nakupljene u grupe ili grozdove, neseptirane ($5,0-16,0 \times 4,0-9,0 \mu\text{m}$) ili s jednom poprečnom pregradom ($8,0-21,0 \times 3,5-9,9 \mu\text{m}$). Makrokonidije su rijetko savijene, s brojnim vakuolama, relativno su kratke, s dvije do tri ($13,0-38,0 \times 3,6-8,0 \mu\text{m}$) ili četiri do pet poprečnih pregrada ($26,0-56,0 \times 4,0-7,0 \mu\text{m}$). Vršne stanice su savijene i šiljate, a bazalne su u vidu stopala ili zareza. Teleomorfni stadij nije poznat (Lević, 2008).

2.2.2. Životni ciklus *Fusarium* vrsta koje uzrokuju FHB

Glavni uzročnici fuzarijskog paleža klasa prezimljuju na zaraženim biljnim ostacima (stabljike kukuruza, slama pšenice i drugim zaraženim dijelovima biljaka). Gljiva može proizvesti obilan micelij s konidijama, a pojedine vrste stvaraju hlamidospore na biljnim ostacima ili u tlu. Spolnim načinom razmnožavanja gljiva stvara peritecije s askosporama. Stoga konidije i askospore predstavljaju glavni potencijalni inokulum za nastanak infekcije (Osborne i Stein, 2007).

U slučaju fuzarijskog paleža klasa uzrokovanog vrstom *F. graminearum* gljiva proizvodi bespolne spore (makrokonidije) koje se na druge biljke ili biljne ostatke prenose vjetrom ili kapljicama kiše. Optimalna temperatura za razvoj micelija s makrokonidijama je 25°C uz visoku relativnu vlagu zraka (Ramirez i sur., 2006). Iako *F. graminearum* može preživjeti na ostacima zaoranim 20 do 25 cm više od 4 godine, razvija se samo na onima koji su pri površini tla (Champeil i sur., 2004). Kada su povoljni vremenski uvjeti spolni stadij gljive (*Gibberella zeae*) se razvija na zaraženim biljnim ostacima (Slika 1). Plavkasto-crni periteciji formirani na površini biljnih ostataka izbacuju spolne spore (askospore) u zrak. Askospore strujom vjetra mogu preći velike udaljenosti te stvoriti uvjete za infekciju (Schmale i Bergstrom, 2003). Glavni okolišni čimbenici koji utječu na formiranje peritecija i askospora su svjetlost, temperatura i visoka relativna vlažnost zraka. Svjetlost valne duljine 300 do 320 nm je neophodna za početak razvoja peritecija i askospora (Tschanz i sur., 1976). Minimalna temperatura za razvoj peritecija je 9°C , a askospore se pojavljuju na 20°C . Optimalni raspon temperature za sazrijevanje peritecija je između 15°C i $28,5^{\circ}\text{C}$, dok

je za askospore taj raspon nešto uži (25°C do 28°C) (Sutton, 1982). U ovakvim uvjetima periteciji sazriju za 2-3 tjedna.

Infekcija nastaje kada askospore ili makrokonidije dođu u kontakt s osjetljivim klasovima pšenice u fazi cvatnje. Primarna infekcija se ostvaruje putem prašnika koji izlaze izvan cvijeta tijekom oprašivanja. Infekcija se može širiti unutar klasa, a zrna zaražena u toj fazi razvoja ostaju štura (Schmale i Bergstrom, 2003). Visoka temperatura zraka (20°C do 30°C) uz stalnu prisutnost površinske vlage (48-60 sati) stvara idealne uvjete za nastanak infekcije s *F. graminearum*. Također, period inkubacije je kraći pri višim temperaturama i duljem razdoblju vlažnosti klasa nakon infekcije (Sutton, 1982).



Slika 1. Periteciji razvijeni na ostatcima stabljike kukuruza

2.3. Simptomi i štetnost fuzarijskog paleža klasa

Fuzarijski palež klasa smanjuje urod zrna preko sterilnosti cvijeta i slaboga nalijevanja zrna što utječe na veličinu, masu i oblik zrna pa su zaražena zrna često štura i nepravilnog oblika (Argyris i sur., 2003). Simptomi bolesti se očituju dok su klasovi još zeleni uz smeđe izblijeđene lezije na pljevicama i rahili, što rezultira blijedenjem dijelova klasa. Prevlake crvene i ružičaste boje, koje potječu od micelija, pojavljuju se na rubovima pljevica ili na bazi klasića (Slika 2). Inficirana zrna postaju štura i izblijeđena (Slika 3), siva, ponekad s ružičastim prevlakama, te unutrašnjost poprima brašnjavu konzistenciju (Bushnell i sur., 2003). Osim što smanjuju urod zrna pšenice i negativno utječu na svojstva kvalitete, *Fusarium* vrste proizvode i mikotoksine koji su štetni za zdravlje ljudi i životinja.



Slika 2. Simptomi FHB na klasiću



Slika 3. Simptomi FHB na zrnju

Značajni gubici uroda mogu se pojaviti tijekom epidemijskih godina praćenih povoljnim vremenskim uvjetima za nastanak i razvoj bolesti. Rizik od epidemije je visok kada su povišene količine inokuluma (konidije ili askospore na biljnim ostacima na površini tla) tijekom toploga i vlažnoga vremena u periodu cvatnje pšenice (Parry i sur., 1995). Promjene u praksi gospodarenja tlom, kao što je uvođenje minimalne ili reducirane obrada tla kao i povećana zastupljenost kukuruza u plodoredu potiču povećanje intenziteta bolesti (McMullen i sur., 2012). Osim toga, povećanje vlažnosti i viših temperatura tijekom cvatnje

koje su učestale zadnjih godina su optimalni uvjeti za pojavu epidemije bolesti (Juroszek i Tiedemann, 2015). Gubitci uroda od 6-39% zabilježeni su u pokusima s preko 500 linija pšenice inokuliranih sa sporama vrsta *F. graminearum* i *F. culmorum* (Saur, 1991). Parry i sur. (1995) izvještavaju o gubitcima uroda preko 60% u pokusima inokuliranim s *F. culmorum*, dok McMullen i sur. (1997) izvještavaju da prosječni gubitci uroda na komercijalnim usjevima tijekom godina s jakim intezitetom zaraze mogu biti i do 45%. Također, sjetvom zaraženog sjemena može doći do razvoja paleži klijanaca što može prouzročiti gubitke u uroda zrna na usjevu posijanom s takvim sjemenom (Jones i Mirocha, 1999). Prilikom jake FHB infekcije, javljaju se štetni učinci na kvalitetu zrna i brašna što ih čini neprikladnim za njihovu krajnju upotrebu. Dolazi do smanjenja hektolitarske mase, degradacije proteina, glutena i škrobnih zrnaca endosperma, što rezultira lošijim svojstvima tijesta i nezadovoljavajućom kvalitetom kruha (Nightingale i sur., 1999).

2.4. Mikotoksini

Mikotoksini su sekundarni metaboliti gljiva koji su štetni za zdravlje ljudi i životinja (Nelson i sur., 1994). Određene *Fusarium* vrste redovito proizvode mikotoksine tijekom vegetacije u polju (Logrieco i sur., 2003), no njihova proizvodnja se može nastaviti i tijekom skladištenja, dokle god su gljive aktivne. Različite *Fusarium* vrste proizvode različite vrste mikotoksina. Različiti izolati pojedinih *Fusarium* vrsta mogu se razlikovati u potencijalu i količini proizvodnje pojedinih mikotoksina (Cumagun i Miedaner, 2004). Osim vrste gljive, proizvodnja mikotoksina znatno ovisi o brojnim čimbenicima okoliša i supstratu na kojem gljiva raste (Vismer i sur., 2004). Utvrđeno je da znatan utjecaj na količinu proizvedenih mikotoksina pojedinog *Fusarium* izolata može imati temperatura (Kostecki i sur., 1999), količina primijenjenog dušika (Shim i Woloshuk, 1999), pH (Keller i sur., 1997) te interakcija s drugim mikroorganizmima, prvenstveno gljivama (Marin i sur., 1999).

Žitarice zaražene *Fusarium* vrstama mogu sadržavati širok raspon mikotoksina. Najčešće izoliran *Fusarium* mikotoksin u Europi je deoksinivalenol (DON), dok je zearalenon (ZEN) češći u hladnijim uvjetima u zemljama sjeverne Europe (Bottalico i Perrone, 2002). Kontaminacija nivalenolom (NIV) je obično povezana s DON-om i njegovim derivatima (mono-acetildeoksinivalenoli) (Bottalico i Perrone 2002; Quarta i sur., 2005).

Tablica 1. Popis mikotoksina koje produciraju *Fusarium* vrste koje se javljaju na pšenici u našem uzgojnom području (Mesterhazy i sur., 2012)

<i>Fusarium</i> vrsta	Mikotoksin
<i>F. graminearum</i>	deoksinivalenol, zearalenon, nivalenol, fuzarenon-X (=4-Acetyl-NIV), mono-acetildeoksnivalenoli (3-AcDON, 15-AcDON), di-acetildeoksnivalenol (3,15-AcDON), diacetilnivalenol (4,15-AcNIV)
<i>F. culmorum</i>	deoksinivalenol, zearalenon, nivalenol, fuzarenon-X (=4-Acetyl-NIV), zearalenoli (α and β izomeri), mono-acetildeoksnivalenoli (3-AcDON, 15-AcDON)
<i>F. avenaceum</i>	moniliformin, eniatiini, beauvericin
<i>F. poae</i>	diacetoksiscirpenol, nivalenol, fuzarenon-X (=4-Acetyl-NIV), moniliformin, T-2 toxin, HT2 toxin, neosolaniol, beauvericin

Neki mikotoksini proizvedeni od *Fusarium* vrsta su kancerogeni i promotori tumora (fumonizini ili moniliformin) ili su inhibitori sinteze proteina (DON, NIV). Mogu nastati i mnogi drugi koji su uključeni u estrogene akcije (Bai i Shaner, 2004). Stoga mikotoksini koji se akumuliraju u zrnju čine ozbiljnu prijetnju sigurnosti hrane. Najčešće zabilježeni mikotoksini u zrnju pšenice su tip-B trihotecena kao što je DON te lakton rezorcilne kiseline poput ZEN-a, a produkti su vrsti *F. graminearum* i *F. culmorum* (Goswami i Kistler, 2004). Mnoga istraživanja upućuju na postojanje snažne povezanosti između vizualne ocjene otpornosti genotipa na FHB i sadržaja mikotoksina u zrnju. Akumulacija DON-a u zrnju pšenice, osim o genotipu, ovisi i o agresivnosti *Fusarium* izolata kao i okolišnim uvjetima (temperatura i vlaga) tijekom razvoja bolesti. Također, pravovremena žetva i adekvatno skladištenje zrna pšenice mogu smanjiti sadržaj mikotoksina.

Da bi se potrošače zaštitilo od štetnih utjecaja mikotoksina, mnoge zemlje, uključujući Republiku Hrvatsku, odredile su maksimalno dopuštene granice za sadržaj mikotoksina u žitaricama i proizvodima od žitarica. Prema regulaciji Republike Hrvatske (NN 114/18), maksimalno dopušteni sadržaj DON-a u neprerađenoj pšenici je 1250 $\mu\text{g/kg}$, pšenici namijenjenoj za neposrednu prehranu ljudi, pšeničnom brašnu, mekinjama i klicama stavljenim na tržište za neposrednu ljudsku prehranu te tjestenini (suhoj) 750 $\mu\text{g/kg}$, u kruhu (uključujući male pekarske proizvode), pecivu, keksu, snack proizvodima od žitarica i žitaricama za doručak 500 $\mu\text{g/kg}$, dok u prerađenoj hrani na bazi žitarica i dječjoj hrani za dojenčad i malu djecu 200 $\mu\text{g/kg}$. Maksimalno dopušteni sadržaj ZEN-a u neprerađenoj pšenici je 100 $\mu\text{g/kg}$, pšenici namijenjenoj za neposrednu prehranu ljudi, pšeničnom brašnu, mekinjama i klicama stavljenim na tržište za neposrednu ljudsku prehranu 75 $\mu\text{g/kg}$, u kruhu (uključujući male pekarske proizvode), pecivu, keksu, snack proizvodima od žitarica i žitarice za doručak 50 $\mu\text{g/kg}$, a u prerađenoj hrani na bazi žitarica i dječjoj hrani za dojenčad i malu djecu 20 $\mu\text{g/kg}$.

2.5. Mjere borbe protiv FHB

Agrotehničke mjere poput plodoreda i obrade tla ili kemijske mjere poput primjene fungicida su samo djelomično djelotvorne u sprječavanju ove bolesti. Zbog bolje kontrole bolesti u plodoredu za predusjev bi trebalo izbjegavati kukuruz, pogotovo ako je na kukuruzu bilo razvoja bolesti uzrokovanih gljivama iz roda *Fusarium*. Ipak, zbog strukture sjetve, kako u Hrvatskoj, tako i drugim područjima gdje se uzgaja pšenica, kukuruz je predusjev na više od 50% površina pod pšenicom. Na površinama gdje je predusjev kukuruz, bolest se može djelomično kontrolirati zaoravanjem žetvenih ostataka jer se na taj način smanjuje koncentracija potencijalnog inokuluma koji bi doveo do nastanka FHB. Također, na takvim površinama treba izbjegavati sjetvu osjetljivih sorata pšenice, a ukoliko se pojave povoljni vremenski uvjeti za nastanak bolesti pokušati je kontrolirati upotrebom fungicida.

Suzbijanje bolesti fungicidima je vrlo zahtjevno, a učinkovitost fungicida u kontroli FHB je vrlo promjenjiva i vrlo često nezadovoljavajuća. Kratak je period kada se može provesti tretiranje koje bi pomoglo u sprječavanju nastanka bolesti. Tretiranje bi trebalo provesti tokom perioda cvatnje, koji obuhvaća vremenski period od par dana. Najbolji rezultati se postižu kada se tretiranje obavi dva dana nakon početka cvatnje, dok se ranijim ili kasnijim tretmanima smanjuje učinkovitost tretmana (D'Angelo i sur., 2014). Na učinkovitost fungicida utječe nekoliko čimbenika kao što su vrijeme početka i intenzitet infekcije, agresivnost izolata te razina otpornosti genotipa (Mesterhazy i sur., 2003). Nekada je aktivna tvar karbendazim bila najzastupljenija u fungicidnim pripravcima u kontroli FHB. Pojavljivanjem triazola povećala se učinkovitost fungicida, a tebukonazol se pokazao kao najučinkovitiji. Ipak, najbolja učinkovitost fungicida dobije se miješanjem dvije ili više aktivnih tvari (Mesterhazy i sur., 2003). U novije vrijeme protiokonazol te njegove kombinacije s drugim aktivnim tvarima se najviše upotrebljavaju za suzbijanje FHB (Amarasinghe i sur., 2013). Učinkovitost tretmana fungicidom na suzbijanje fuzarijskog paleža klasa, ovisno o vrsti fungicida i uvjetima okoline, može biti do 70%, te se bolest fungicidima ne može u potpunosti kontrolirati. U svakom slučaju, primjenom odgovarajućih fungicida smanjuju se intenzitet zaraze klasa i zrna te sadržaj mikotoksina, a povećava urod zrna te je njihova primjena neizostavna kod osjetljivih sorata i kada postoje povoljni agroekološki uvjeti za razvoj bolesti.

2.6. Oplemenjivanje na otpornost na FHB

Najučinkovitija metoda u borbi protiv fuzarijskog paleža klasa je stvaranje otpornih genotipova (Buerstmayr i sur., 2000). Genetska varijabilnost za otpornost na FHB je u velikoj mjeri dokumentirana za pšenicu i ostale srodne vrste (Mesterhazy, 1995). Kvantitativna priroda nasljeđivanja otpornosti na FHB (Paillard i sur., 2004) i znatan utjecaj okoline, kao što su temperatura, vlažnost, stadij razvoja biljke i količina inokuluma, koji utječu na ekspresiju otpornosti na FHB (Klahr i sur., 2007) dodatni su izazov razvoju otpornih sorata pšenice. Uspjeh oplemenjivačkih programa kojima je cilj povećati otpornost sorata u velikoj mjeri ovisi o dostupnosti otporne germplazme, genetskoj raznolikosti korištene germplazme te pouzdanosti metoda procjene otpornosti dobivenih linija.

Kompleksna priroda otpornosti podijeljena je u nekoliko komponenti: tip I - otpornost na početnu infekciju; tip II - otpornost na širenje patogena unutar klasa; tip III - otpornost na akumulaciju mikotoksina u zrnu; tip IV otpornost na infekciju zrna; tip V - otpornost koja se očituje kao tolerantnost na gubitak uroda (Schroeder i Christensen, 1963; Mesterhazy, 1995). Od navedenih tipova otpornosti, tip II otpornost je u većini slučajeva najzaslužnija za ukupnu otpornost sorte.

2.6.1. Povezanost otpornosti na FHB s drugim svojstvima

Morfološka i razvojna svojstva kao što su visina biljke (Mesterhazy, 1995; Paillard i sur., 2004; Schmolke i sur., 2005; Draeger i sur., 2007; Klahr i sur. 2007), kompaktnost klasa (Schmolke i sur., 2005) ili datum klasanja (Miedaner i sur., 2006; Klahr i sur. 2007; Wilde i sur., 2007) mogu neizravno utjecati na infekciju u prirodnim uvjetima. Utvrđena je povezanost otpornosti na FHB s prisutnošću osja na klasu te se smatra da je ova osobina povezana s pasivnom otpornosti (Mesterhazy, 1995). Također, i sam proces cvatnje pšenice ima ulogu u otpornosti na FHB. Tako, ubrzan i kratak period cvatnje, povećavaju otpornost na FHB (Gilsinger i sur., 2005), kao i kleistogamija (Kubo i sur., 2010). Osim toga, prašnici i pelud koji se nalaze unutar klasića potiču razvoj gljive i nastanak infekcije (Buerstmayr i Buerstmayr, 2016).

Mnoga istraživanja otkrivaju snažnu povezanost između ocjene otpornosti na FHB i sadržaja mikotoksina u zrnu te upućuju da genotipovi s većom otpornošću imaju manju koncentraciju mikotoksina (Buerstmayr i Lemmens, 2015). Međutim, utvrđeno je i postojanje razlika u otpornosti na nakupljanje mikotoksina u zaraženom zrnu između genotipova s jednako izraženim vizualnim simptomima bolesti (Kubo i sur., 2014).

Mesterhazy (1995) izvještava o genotipskim razlikama u otpornosti na FHB kao i genotipskim razlikama u tolerantnosti na FHB gdje naglašava da se genotipovi koji pokazuju slične simptome za FHB na klasu mogu razlikovati u FHB simptomima na zrnju ili sadržaju mikotoksina. Mesterhazy i sur. (1999) ukazuju da se korelacije između simptoma bolesti na klasu i simptoma bolesti na zrnju te sadržaja DON-a razlikuju ovisno o agresivnosti izolata i godini testiranja. Šip i sur. (2011) također dobivaju različite korelacije za ista svojstva s različitim izolatima *Fusarium* vrsta. Ipak, razlike u korelacijama između navedenih svojstava nastale pod utjecajem okolišnih uvjeta nisu velike te im se ne pridaje velika važnost. Važnija je činjenica da su za navedena svojstva gotovo uvijek utvrđene visoke pozitivne korelacije što upućuje na mogućnost indirektno selekcije na sadržaj mikotoksina ukoliko pratimo FHB simptome na klasu i zrnju (Buerstmayr i sur., 1999).

2.6.2. Dialelna analiza u oplemenjivanju ne otpornost na FHB

Dialelna analiza pruža oplemenjivaču informacije o općim kombinacijskim sposobnostima (GCA) i specifičnim kombinacijskim sposobnostima (SCA) odabranih roditelja kao i informaciju o prirodi djelovanja gena na testirano svojstvo. Dialelna križanja su korištena u proučavanju nasljeđivanja otpornosti na FHB kod ozime pšenice (Snijders, 1990; Buerstmayr i sur., 1999; Hall i Van Sanford, 2003; Zwart i sur., 2008; Šip i sur., 2017), jare pšenice (Mardi i sur., 2004; Khorzoghi i sur., 2010), ječma (Takeda i Wu, 1996), ozime pšenoraži (Oettler i sur., 2004) i ozime raži (Miedaner i sur., 1993).

Buerstmayr i sur. (1999) su sa ciljem proučavanja nasljeđivanja otpornosti na FHB proveli dialelno križanje na sedam genotipova ozime pšenice uključujući reciproke. Genotipovi su bili porijeklom iz četiri različita europska oplemenjivačka programa od kojih je šest imalo visoku razinu, a jedan nisku razinu otpornosti na FHB. Recipročni učinci u tom istraživanju nisu imali utjecaj na otpornost na FHB, što ukazuje na beznačajan majčinski učinak u nasljeđivanju otpornosti na FHB. Van Ginkel i sur. (1996) također izvještavaju o slabom majčinskom učinku u nasljeđivanju otpornosti na FHB.

Mardi i sur. (2004) su proveli analizu kombinacijskih sposobnosti za otpornost na FHB osam genotipova jare pšenice tijekom dvije godine prateći FHB simptome na klasu. Analiza kombinacijske sposobnosti pokazala je visoko signifikantne učinke općih kombinacijskih sposobnosti (GCA) i nesignifikantne učinke specifičnih kombinacijskih sposobnosti (SCA) ukazujući na važnost aditivnih genetskih komponenti u kontroli otpornosti na FHB. Značajna interakcija GCA × godina, utvrđena u provedenom istraživanju, upućivala je na ulogu čimbenika okoliša u reakciji genotipova pšenice na FHB reakciju. Usporedba križanaca s

izraženom FHB otpornosti i GCA učincima njihovih roditelja pokazala je da u takvim križancima sudjeluje barem jedan roditelj s visokim ili prosječnim negativnim GCA. Rezultati provedenog istraživanja su pokazali da je moguće postići genetsko poboljšanje otpornosti na FHB kod jare pšenice korištenjem visoko ili umjereno otpornih genotipova konvencionalnim metodama oplemenjivanja.

Šip i sur. (2017) su proveli dialelno križanje na osam sorata ozime pšenice s ciljem procjene GCA i SCA učinaka te su pored praćenja FHB simptoma na klasu, odredili sadržaj DON-a. Istraživanjem su utvrdili niži prosječni sadržaj DON-a kod F1 križanaca dobivenih križanjem roditelja s umjerenim sadržajem DON-a, a zanimljiva je činjenica da su niži prosječni sadržaj DON-a imali i pojedini F1 križanci dobiveni križanjem roditelja s umjerenim sadržajem DON-a i roditelja s visokim sadržajem DON-a. Kod takvih križanaca je došlo do dominacijskog ili epistatičnog učinka gena na što upućuje i signifikantan SCA učinak za sadržaj DON-a u ovom istraživanju.

Miedaner i sur. (2017) su analizirali otpornost ozime pšenice na FHB kod 1604 hibrida i njihovih 120 ženskih i 15 muških roditeljskih linija umjetno inokuliranih izolatima vrste *F. culmorum* u sedam poljskih pokusa. Otpornost na FHB su procijenili na osnovu simptoma na klasu te su utvrdili signifikantnu varijancu GCA učinaka dok varijanca uzrokovana SCA učincima nije bila signifikantna. Varijanca interakcije GCA učinaka s okolinom je također bila visoko signifikantna i po iznosu veća od varijance GCA što je utjecalo na procijenjenu heritabilnost u širem smislu koja je bila umjereno visoka. Prosječni relativni heterozis u odnosu na roditeljski prosjek za FHB simptome na klasu iznosio je -9%, varirajući od -36 do +35%. Prosječni relativni heterozis u odnosu na boljeg roditelja je iznosio 2% pri čemu je za 78 hibrida utvrđena signifikantno veća otpornost na FHB od najbolje komercijalne sorte uključene u pokus kao standard. Zbog izraženog heterozisa kod proučavanih hibrida autori upućuju na korištenje hibridnih sorata kao poželjnu alternativu za poboljšanje otpornosti na FHB.

U ovim studijama je zaključeno da se, u pravilu, variranje u otpornosti na FHB prvenstveno može pripisati aditivnom učinku gena. Međutim, moraju se uzeti u obzir i visokosignifikantni učinci interakcije genotip × okolina (Mardi i sur., 2004).

2.6.3. Oplemenjivanje na otpornost na FHB primjenom DNA markera

2.6.3.1. Genski lokusi za otpornost na FHB i njihovi markeri

Krajem 20. stoljeća, primjena DNA markera uvelike je ubrzala istraživanje otpornosti na FHB kod pšenice. Trenutačno je dokumentirano više od 250 lokusa za kvantitativna svojstva (QTL-a) distribuiranih na sva 21 kromosoma pšenice (Jia i sur., 2018). Kao što se i očekivalo, većina QTL-a ima male učinke i tek treba biti potvrđena. Od svih mapiranih QTL-a samo je sedam s većim učinkom na fenotip koji su formalno nazvani kao: *Fhb1*, *Fhb2*, *Fhb3*, *Fhb4*, *Fhb5*, *Fhb6* i *Fhb7* (Lemes, 2018).

Fhb1 je najpoznatiji QTL i zaslužan je za umjerenu razinu otpornosti na FHB (osobito tip II otpornosti) u različitim genetskim pozadinama. Nalazi se na kratkom kraku kromosoma 3B i lako se može otkriti pomoću čvrsto povezanih markera *unm10* (Liu i sur., 2008) i/ili *Xsnp3BS-8* (Bernardo i sur., 2012). Ovaj QTL prvi put je identificiran i mapiran u kineskoj sorti jare pšenice Sumai#3, a kasnije je pronađen i u drugim kineskim materijalima. Trenutno je *Fhb1* unesen u nekoliko oplemenjivačkih programa, ali manje u komercijalne sorte te se dovodi u povezanost sa smanjenjem uroda, osobito kod ozime pšenice.

Drugi poznati QTL identificiran u Sumai#3 je *Fhb2*. Povezan je s ograničenim stupnjem otpornosti (tipa II) i slabom akumulacijom DON-a. Ovaj QTL se nalazi na kratkom kraku 6B kromosoma, a okružen je s mikrosatelitima *gwm133* i *gwm644* u intervalima od 2 cM u blizini centromere (Cuthbert i sur., 2007). Nekoliko je studija identificiralo QTL u istoj genomskoj regiji, što upućuje na to da je *Fhb2* stvarni QTL. Ovaj QTL objašnjava do 56% varijabilnosti u polju, ovisno o genetskoj pozadini (Yang i sur., 2003; Cuthbert i sur., 2007). Nedavno je u *Fhb2* intervalu identificirano šest pretpostavljenih gena koji otkrivaju temeljne mehanizme otpornosti, koristeći integrirane metabolonske transkriptoze (Dhokane i sur., 2016). Ti su geni uključeni u armaturnu staničnu stijenu (smanjenje širenja patogena unutar klasa) i detoksikaciju DON-a.

Fhb3 je unesen introgresijom od *L. racemosus*, a prenesen je na kratki krak kromosoma 7A pšenice. Razina otpornosti na FHB koju pruža ova translokacija može biti slična onoj kod sorte Sumai#3 (Qi i sur., 2008). Translokacije, kao što je slučaj s *Fhb3*, imaju prednost izazivanja velikog utjecaja na fenotip s jednostavnom nasljednošću koja olakšava njegovu primjenu u programima oplemenjivanja pšenice. Međutim, kombiniranje više stranih segmenata može imati štetne učinke na kvalitetu krajnjeg produkta. Korištenjem markerima potpomognute selekcije pristupom povratnih križanja, Brar i sur. (2015) izvijestili su da piramidiziranje *Fhb1* + *Fhb2* + *Fhb3* smanjuje osjetljivost na FHB za skoro 50% dokazujući aditivnu prirodu navedenih QTL-a kada su kombinirani zajedno.

Fhb4 je još jedan QTL s velikim učinkom, koji je prvi put bio identificiran i mapiran u kineskoj lokalnoj sorti Wangshuibai (Lin i sur., 2006), a zaslužan je za tip I otpornosti (sprječavanje početne infekcije). Ovaj QTL nalazi se na dugom kraku kromosoma 4B u intervalu od 1.7 cM između markera *Xhbg226* i *Xgwm149* (Xue i sur., 2010). Koristeći populaciju dobivenu jednostrukim križanjem dvije sorte ozime pšenice Everest × Art, Clinesmith (2016) je pronašao QTL iz sorte Art u istoj regiji *Fhb4* objašnjavajući 8,31 - 17,80% varijacija simptoma na klasu. Ipak, u istoj studiji, mikrosatelit *Xgwm149* bio je smješten unutar QTL intervala ukazujući da bi to zapravo bio *Fhb4*. Nekoliko drugih istraživanja opetovalo je mapirani QTL na intervalu *Fhb4*, što ukazuje da je ovaj QTL prisutan u relativno visokoj frekvenciji u sortama pšenice kao što su Ernie, Chockwang, Wuhan1 i Haiyanzhong (Cai, 2016).

Fhb5 je QTL velikog učinka pronađen u kineskoj sorti Wangshuibai povezan s otpornošću tipa I. Nalazi se u regiji centromere 5AS kromosoma u intervalu od 0,3 cM, a okružen je markerima *Xgwm304* i *Xgwm415* (Xue i sur., 2011). Isti su autori također potvrdili da je genetska varijabilnost dobivena ovim QTL-om bila znatno veća od varijabilnosti uzrokovane interakcijama genotip × okolina. Steiner i sur. (2004) također su mapirali QTL iz sorte Frontane koji je povezan s otpornosti na FHB, a koji je vjerojatno *Fhb5*. Budući da regije bliže centromere obično imaju nižu rekombinaciju, kloniranje ove regije predstavlja izazov (Xue i sur., 2011), kao i prenošenje malog genetičkog bloka od donora u elitne oplemenjivačke materijale.

Fhb6 je nedavno prebačen iz *E. tsukushiensis* u proksimalni dio kromosoma 1AS putem *ph1b*-inducirane homoeološke rekombinacije i može se pratiti kompetitivnim alelnim specifičnim PCR (KASP) markerom *wg1S_snp* (Cainong i sur., 2015). Ovaj segment pridonosi otpornosti tipa I i tipa II i proglašen je novim izvorom otpornosti nazvan KS14WGRC61 (Cainong i sur., 2015). Trenutno se radi na nekoliko kombinacija *Fhb6* s drugim QTL-om s ciljem poboljšanja otpornosti na FHB.

Fhb7 je alelna introgresija prebačena iz *T. ponticum* u 7D kromosom pšenice i mapiranjem se pokazala tijesna povezanost s markerom *Xcfa2240* te je zaslužan za otpornost tipa II (Guo i sur., 2015). Osim mapiranja *Fhb7*, također je istražen i učinak piramidiziranja *Fhb1* + *Fhb7*. Međutim, niti jedna linija koja sadrži oba QTL-a nije bila značajno otpornija od roditelja donora Ning 7840 (*Fhb1*) ili genotipova nedavno dobivenih introgresijom s *Fhb7*. Ipak, druge QTL kombinacije trebaju biti napravljene i testirane kako bi se poboljšala otpornost na FHB.

2.6.3.2. Vezana svojstva s FHB

Vezana svojstva imaju važnu ulogu u postizanju otpornosti na FHB osobito za otpornost koja se testira u polju. Za nekoliko morfoloških i fenoloških svojstava je utvrđena visoka korelacija s učinkovitom otpornošću na FHB i mnogi QTL-i za takva svojstva se preklapaju (Buerstmayr i sur., 2009). Među njima visina biljke i stupanj zadržavanja prašnika u cvijetu nakon cvatnje imaju važnu ulogu (Buerstmayr i sur., 2012).

Polu-patuljasti aleli *Rht-D1b* i *Rht-B1b* su u velikoj mjeri korišteni u oplemenjivanju pšenice i oba alela pokazuju slične učinke na smanjenje visine biljke, ali se razlikuju u njihovom utjecaju na otpornost na FHB. *Rht-D1b* na kromosomu 4D je povezan sa smanjenjem otpornosti na početnu infekciju, dok je uloga alela *Rht-B1b* na kromosomu 4B manje jasna (Draeger i sur., 2007; Holzapfel i sur., 2008; Voss i sur. 2008; Miedaner i sur. 2011). Osim toga, prašnici i pelud zaostali unutar cvijeta potiču rast gljive i razvoj bolesti te su genotipovi s ovim svojstvom manje otporni na FHB u usporedbi s genotipovima s brzim i potpunim izbacivanjem prašnika. O ovom odnosu prije gotovo 100 godina izvješćuju Dickson i sur. (1921) te Pugh i sur. (1933), a ova tematika postaje predmet interesa nekoliko istraživačkih skupina (Skinnes i sur., 2008; Graham i Browne, 2009; Kubo i sur., 2013; Lu i sur., 2013; Buerstmayr i Buerstmayr, 2015; Buerstmayr i Buerstmayr, 2016).

Genetskom analizom pomoću molekularnih markera otkrivena je kvantitativna priroda zadržavanja/izbacivanja prašnika i otkrivena genetska osnova za fenotipske korelacije s osobinama otpornosti na FHB. Kod umjereno otporne švicarske sorte Arina dva QTL-a za otpornost na FHB su u koincidenciji s QTL-om za izbacivanje prašnika (Buerstmayr i Buerstmayr, 2015). U križanju CIMMYT-ove linije SHA3/CBRD s njemačkom sortom Naxos svih pet QTL-a za izbacivanje prašnika preklapljeno je s QTL-ima za FHB (Lu i sur., 2013).

Ranije spomenuti učinci polu-patuljastih lokusa *Rht-B1* i *Rht-D1* na visinu biljke, osjetljivost na FHB i zadržavanje prašnika unutar cvijeta su istovremeno analizirani u nedavnom istraživanju Buerstmayr i Buerstmayr (2016). Oba polu-patuljasta alela *Rht-B1b* i *Rht-D1b* smanjili su visinu biljke i povećali udio zadržanih prašnika i bili su povezani s manjom otpornosti na FHB.

Rht-D1b alel ima značajniji učinak na zadržavanje prašnika i osjetljivost na FHB nego *Rht-B1b* alel što upućuje da se razlike u otpornosti na bolest povezane s dva polu-patuljasta alela mogu djelomično objasniti njihovim različitim učinkom na izbacivanje prašnika. Djelomično zajedničku genetsku kontrolu izbacivanja prašnika i visine biljke također su pronašli Lu i sur. (2013). U tom istraživanju, zajednički QTL-ovi za obje osobine su povezane s otpornosti na FHB i zanimljivo je da je jedan od lokusa bio *Rht-B1*. Kao

zaključak ovih istraživanja može se pretpostaviti da kod oplemenjivanja na otpornost na FHB prednost treba imati polu-patuljasti alel *Rht-B1b* ispred *Rht-D1b*.

Istraživanja posebno ističu izbacivanje prašnika kao relevantno morfološko svojstvo koje se treba razmotriti u oplemenjivanju na otpornost na FHB. Budući da je to visoko nasljedno svojstvo (Langer i sur., 2014; Buerstmayr i Buerstmayr, 2015), vizualni odabir za izbacivanje prašnika u kraćem roku i u potpunosti, može doprinijeti neizravnom odabiru za poboljšane pasivne otpornosti na FHB.

3. MATERIJAL I METODE RADA

3.1. Biljni materijal

U istraživanje je bilo uključeno osam homozigotnih roditelja iz različitih domaćih i inozemnih oplemenjivačkih programa, koji se razlikuju u otpornosti na FHB i njihovih 28 F1 potomstava proizvedenih prema shemi dialelnog križanja bez reciproka. Izborom roditelja u istraživanje su uključena četiri roditelja s dobrom otpornošću na FHB te četiri osjetljiva roditelja. Roditelji dobre otpornosti su sorta Bc Renata te linija Bc 6121/09 proizašle iz oplemenjivačkog programa Bc Instituta za oplemenjivanje i proizvodnju bilja Zagreb (Bc Institut). Otporne linije Fr1E1_4 i 20812.2.8 (Slika 4.) su kreirane na Odjelu za agrobiotehnologiju (Department of Agrobiotechnology) (IFA- Tulln) iz Austrije, a nastale su križanjima s dobro poznatim izvorima otpornosti na FHB (Frontana i Sumai#3). Osjetljivi roditelji su registrirane sorte Marina i Tina s Bc instituta te sorte Golubica (Slika 5.) i Lela s Poljoprivrednog instituta Osijek (PIO).

Tablica 2. Porijeklo, rodoslovlje i otpornost roditelja na FHB.

Genotip	Porijeklo	Rodoslovlje	Otpornost na FHB ^a
Bc Renata	Bc Institut	Bc 1304-83/Slavonija/Bc 87-87/3/Kite	otporna
Marina	Bc Institut	3231-90/3629-89//8288-95	osjetljiva
Bc 6121/09	Bc Institut	Soissons/Renan	otporna
Fr1E1_4	IFA-Tulln	Apache/Frontana//2*Apache	otporna
20812.2.8	IFA-Tulln	Capo/Sumai#3	otporna
Tina	Bc Institut	Sana/Gala	osjetljiva
Golubica	PIO	Slavonija/Gemini	osjetljiva
Lela	PIO	Srpanjka/Super Žitarka	osjetljiva

^a otpornost na FHB utvrđena u preliminarnim pokusima provedenim na selekcijskom polju Bc instituta na lokaciji Botinec od 2009. do 2011. godine



Slika 4. 20812.2.8 (najotporniji roditelj)



Slika 5. Golubica (najosjetljiviji roditelj)

3.2. Dizajn poljskih pokusa i provedena agrotehnika

Istraživanje se provodilo na selekcijskom polju Bc Instituta na lokaciji Botinec tijekom tri uzastopne godine u dva odvojena pokusa od kojih je jedan bio u uvjetima umjetne inokulacije (infekcije) gljivom vrste *F. graminearum*, a drugi u uvjetima prirodne infekcije gljivama iz roda *Fusarium spp.* (kontrola). Pokusi su postavljeni tijekom vegetacijskih godina 2013./2014., 2014./2015. i 2015./2016. F1 potomstva proizvedena prema shemi dialelnog križanja bez reciproka su također razvijena na selekcijskom polju Bc Instituta uvijek u prethodnoj vegetacijskoj godini za pokus koji je bio postavljan naredne vegetacijske godine. Pokus u uvjetima umjetne inokulacije, kao i onaj u uvjetima prirodne infekcije, su postavljeni prema shemi redno-stupičastog dizajna u dvije repeticije. Pokusna parcelica se sastojala od dva reda duljine 1 m s međurednim razmakom 0,25 m. Pokus se sijao ručno sa sjetvenom normom od 25 klijavih zrna po redu. Predusjev je u sve tri godine bila uljana repica. Sjetva se obavljala u optimalnom roku sjetve za ovo područje. Tako je sjetva vegetacijske godine 2013./2014. obavljena 24. listopada, vegetacijske godine 2014./2015. je obavljena 25. listopada, a 2015./2016. sjetva se obavila 24. listopada. Gnojidba je bila prilagođena intenzivnoj proizvodnji pšenice. U osnovnoj gnojidbi zaorano je 300 kg/ha N:P:K 7:20:30 te 150 kg/ha UREA-e (46% N). Kroz dvije prihrane u proljeće dodano je 50 kg/ha čistog dušika u fazi početka vegetacije te 30 kg/ha čistog dušika u fazi intenzivnog porasta kada je većina genotipova bila u fenofazi razvoja između prvog i drugog koljenca. Za prihrane se koristilo dušično gnojivo KAN (27% N). Za tretiranje korova su se koristili pripravci Axial 50 EC (pinoksaden 50 g/l) u količini od 0,8 l/ha i Starane 250 (fluroksipir 360 g/l) u količini od 0,8 l/ha te su isti primijenjeni u fenofazi kada je pšenica imala razvijeno prvo koljence. Primijenjen je tretman fungicidnim pripravkom Amistar Opti (klortalonil 480 g/l, azoksistrobin 80 g/l) u količini 2,5 l/ha za bolesti lista. Fungicid je primijenjen u fazi pojave lista zastavičara, a odabrani pripravak u ovoj fazi primjene ne suzbija FHB te je tako vremenom primjene i obabirom pripravka izbjegnut utjecaj fungicida na pojavu zaraze s FHB u umjetnoj inokulaciji i kontroli, dok je primjenom fungicida za bolesti lista izbjegnut utjecaj drugih bolesti na gubitke u prinosu i kvaliteti. Od insekticida je primijenjen pripravak Karate Zeon (lambda cihalotrin 50g/l) u količini 0,15 l/ha u fazi klasanja pšenice kako bi se spriječio utjecaj insekata na simptome povezane s FHB.

3.3. Proizvodnja inokuluma i umjetna inokulacija

Glijiva vrste *F. graminearum* izolirana je iz zrna ozime pšenice zaraženih s *Fusarium spp.* u fitopatološkom laboratoriju Zavoda za strne žitarice Bc Instituta. Zaražena zrna su površinski sterilizirana s 1% otopinom natrijevog hipoklorita (NaOCl) u trajanju od 1-2 minute, zatim tri puta isprana u sterilnoj vodi (McGee, 1995). Površinskom sterilizacijom sjemena nastojao se smanjiti broj potencijalnih sekundarnih organizama koji bi se mogli razviti na hranjivoj podlozi. Nakon sušenja u sterilnoj komori, zrna su postavljena na ranije pripremljeni krumpirov dekstrozni agar (PDA) u Petrijeve zdjelice. PDA je pripremljen na sljedeći način: u 500 ml destilirane vode kuhano je 200 grama krumpira s bijelom kožicom oguljenog i narezanog na kockice veličine oko 1 cm³. Paralelno je u drugoj staklenoj posudi u 500 ml vode kuhano 12 grama agara. Nakon što je krumpir skuhan, u posudu s agarom je dodana voda u kojoj je kuhan krumpir, 10 grama d-(+) glukoze, tri kapi mliječne kiseline te destilirana voda do volumena od 1 litre, te je sve dobro promiješano i autoklavirano. Nakon autoklavliranja u trajanju od 40 minuta otopina je izlivena u sterilizirane Petrijeve zdjelice (Ø 90 mm). U ohlađene Petrijeve zdjelice na podlogu u krutom stanju je stavljeno po jedno površinski sterilizirano zrno i izvršena je inkubacija na temperaturi od 25°C i dnevnom osvjetljenju od osam sati. Nakon sedam dana na temelju karakteristične boje odabrani su određeni izolati *F. graminearum* te su precijepljeni na sintetički agar sa smanjenom količinom hranjiva (eng. *Synthetic nutrient-poor agar*, SNA) zbog bolje sporulacije te jednostavnije i preciznije morfološke detekcije vrste kontrolom izgleda spora. Za dobivanje SNA korištena je modificirana metoda prema Nirenberg, (1981). Za pripravljanje 1 litre ovog medija korišteno je: 1,0 g KH₂PO₄, 1,0 g KNO₃, 0,5 g MgSO₄×7H₂O, 0,5 g KCl, 0,2 g glukoze, 0,2 g saharoze, 20,0 g agara, 1 l dva puta destilirane H₂O i 0,5 ml 1 NaOH. Nakon autoklavliranja u trajanju od 40 minuta medij je izliven u Petrijeve zdjelice. Nakon sedam dana je obavljena morfološka identifikacija vrste *F. graminearum* prema identifikacijskim ključevima Nelsona i sur., (1983). Odabrano je 12 izolata *F. graminearum* koji su potvrđeni morfološkom identifikacijom pod mikroskopom na SNA pomoću morfologije spora te je od svakog posebno proizveden tekući inokulum u '*Vigna radiata*' suspenziji u svrhu provođenja testa agresivnosti prema Mesterházy, (1984). Test je proveden na način da je u Petrijevu zdjelicu (Ø 120 mm) na dvostruki sloj filter papira dodavano 10 ml tekućeg inokuluma od svakog izolata te postavljeno 25 zrna neinficirane pšenice. Za svaki izolat postavljene su 4 repeticije, a u kontrolu je umjesto inokuluma dodano 10 ml sterilne vode. Zrna su prethodno sterilizirana s 1% otopinom natrijevog hipoklorita (NaOCl) u trajanju od 20 minuta, zatim tri puta isprana u sterilnoj destiliranoj vodi. Broj zdravih klijanaca utvrđivan je treći i šesti dan nakon naklijavanja. Izolati s najmanjim brojem zdravih klijanaca su ujedno determinirani i kao najagresivniji.

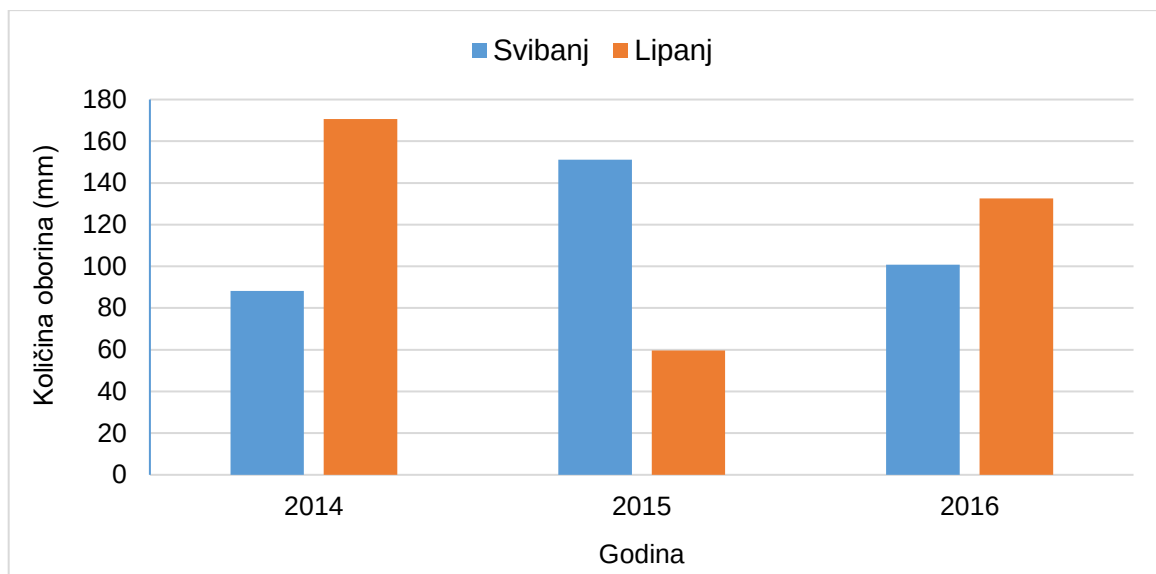
Tekući inokulum za umjetnu inokulaciju proizveden je „bubble breeding” metodom (Mesterházy, 1977). Za 1 litru tekuće suspenzije za proizvodnju inokuluma bilo je potrebno 10 grama graha (*Vigna radiata* [L.] R. Wilczek). Stoga je 40 grama graha kuhano u 2 litre destilirane vode 20-tak minuta, dok se opne na prvim zrnima nisu počele raspucavati. Skuhani grah je procijeđen kroz sito, a otopina nalivena u bocu od 5 l koja je nadopunjena s destiliranom vodom do količine od 4 l. Uslijedilo je autoklaviranje 60 minuta na 121°C. Na takav način su pripremljene 4 boce. U svaku bocu precijepljen je komad sa SNA agara (1×1 cm) s konidijama. Odabrana su 4 najagresivnija izolata *F. graminearum* determinirana ranije opisanim testom agresivnosti te je u svaku bocu stavljen po jedan izolat. U boce se uvodio sterilni zrak, koji je omogućio miješanje sadržaja unutar boce. Nakon pet dana konstantnog miješanja sa sterilnim zrakom, pod mikroskopom je provjerena prisutnost konidija. Tekući inokulum je proizveden 5-10 dana prije početka umjetne inokulacije te je čuvan na temperaturi od 2-4°C. Koncentracija konidija u inokulumu je određena pomoću hemacitometra kako bi se odredilo potrebno razrjeđivanje s vodom do koncentracije od 500 000 konidija/ml, koja je korištena za umjetnu inokulaciju.

Umjetna inokulacija je provedena metodom rasprskivanja u ranim jutarnjim satima ručnom prskalicom. Svaka pokusna parcelica je inokulirana u dva navrata. Prva inokulacija je bila početkom cvatnje, a druga dva dana nakon prve, što se poklapalo s punom cvatnjom. Korišten je inokulum koncentracije od 500 000 konidija/ml s utroškom od 40 ml inokuluma po parcelici. Inokulacija je 2014. godine provedena u vremenskom periodu od 09.05 do 21.05., 2015. godine od 11.05. do 21.05., a 2016. godine od 13.05. do 25.05.

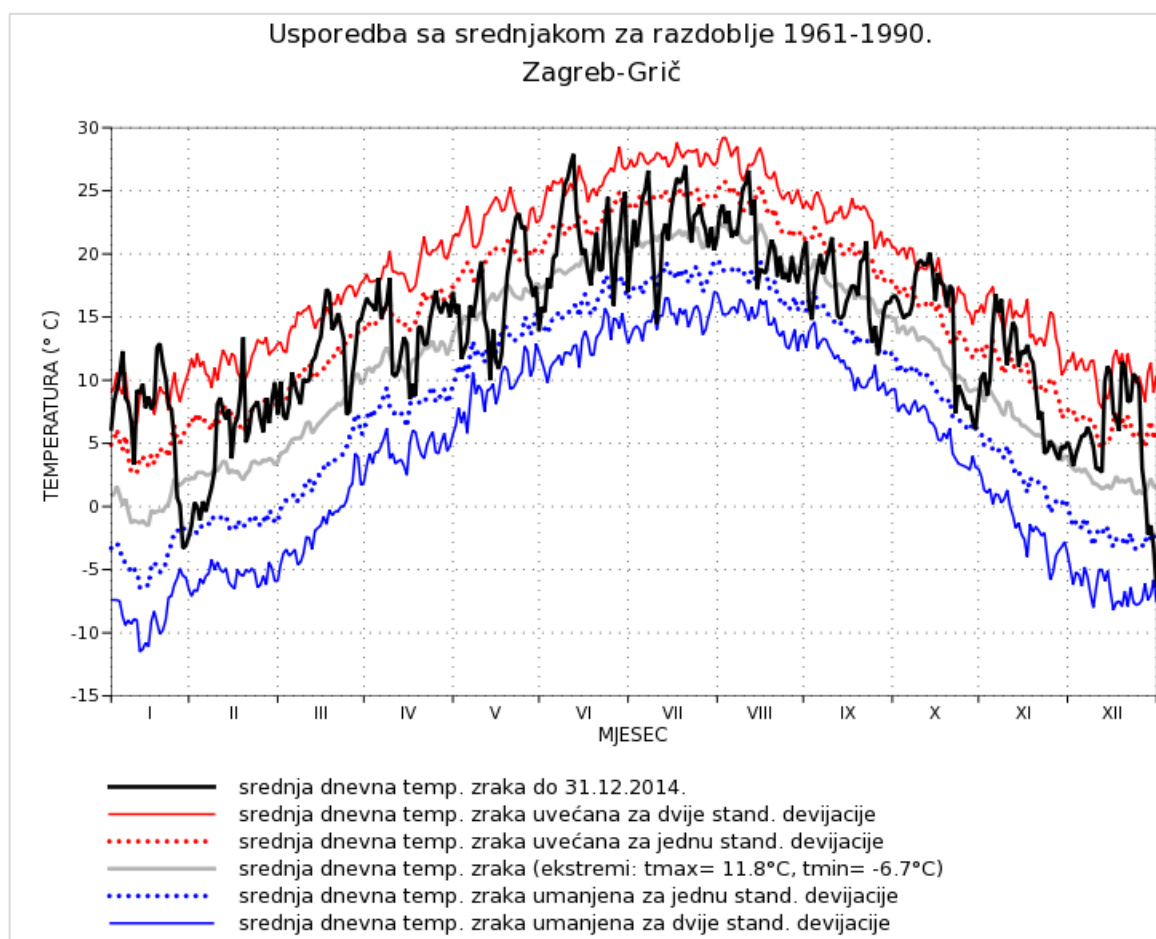
3.4. Vremenski uvjeti od perioda početka cvatnje do žetve

Period cvatnje od najranijeg do najkasnijeg genotipa u pokusu je 2014. godine trajao 13 dana, 2015. godine 11 dana, a 2016. godine 13 dana. Od toga je 2014. godine za vrijeme cvatnje bilo 6 dana s oborinama, 2015. godine 4 dana, a 2016. godine 7 dana.

Količine oborina prikazane u Grafikonu 1 su podatci Državnog hidrometeorološkog zavoda za mjernu postaju Zagreb – Pleso aerodrom koja je u neposrednoj blizini lokacije na kojoj su provedeni pokusi. Prema navedenim podacima najveća količina oborina u periodu prije cvatnje, tokom cvatnje i neposredno nakon cvatnje, odnosno za mjesec svibanj, zabilježena je 2015. godine, a najmanja 2014. godine. Najveće količine oborine u fazi mliječne i voštene zriobe, odnosno za mjesec lipanj, zabilježene su 2014. godine, dok su 2015. godine bile najmanje.



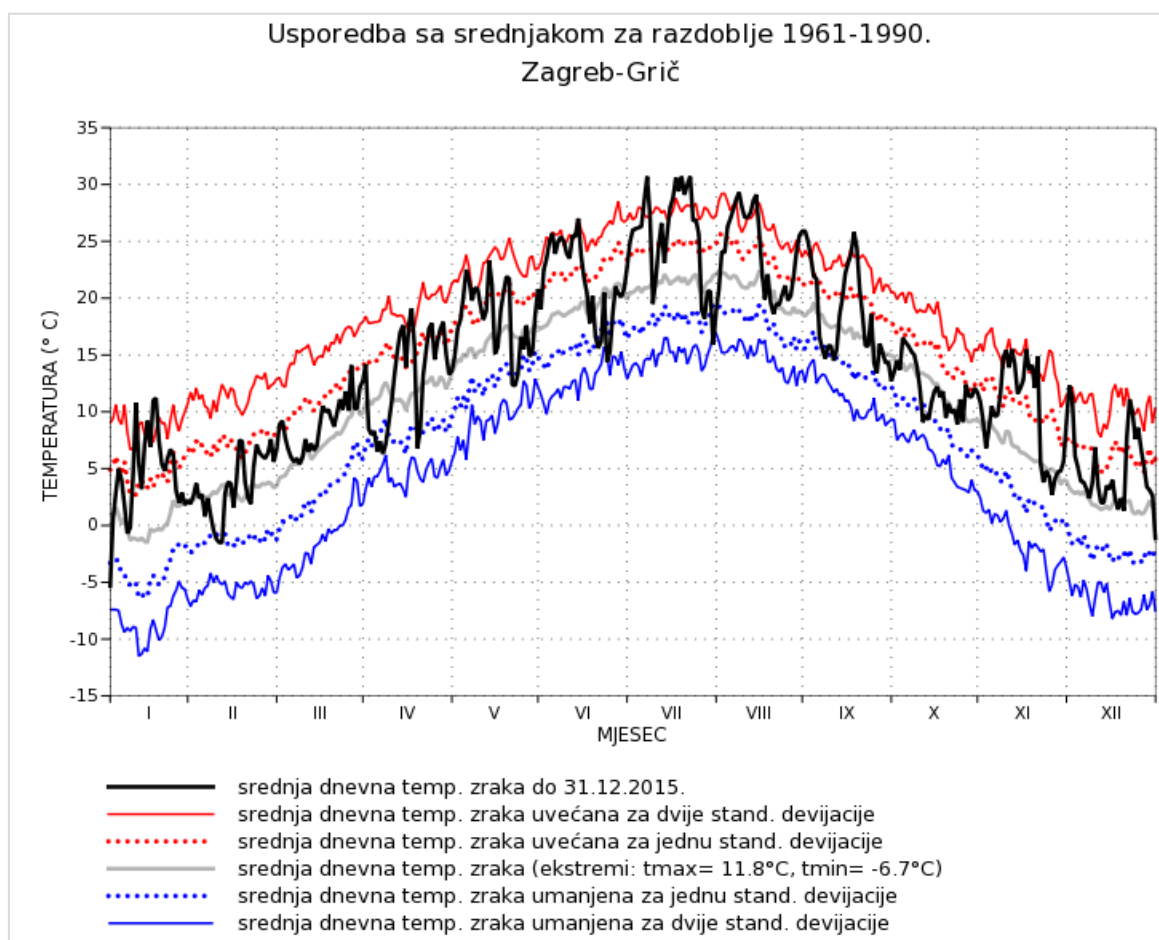
Grafikon 1. Količina oborina po godinama za mjesec svibanj i lipanj prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda za mjernu postaju Zagreb – Pleso aerodrom.



Grafikon 2. Usporedba srednje dnevne temperatura zraka za 2014. godinu s prosjekom od 1961 – 1991. godine za mjernu postaju Zagreb – Grič.

(preuzeto s: https://klima.hr/k2/2014/zg_sred_30_2014.png; 19.09.2019.)

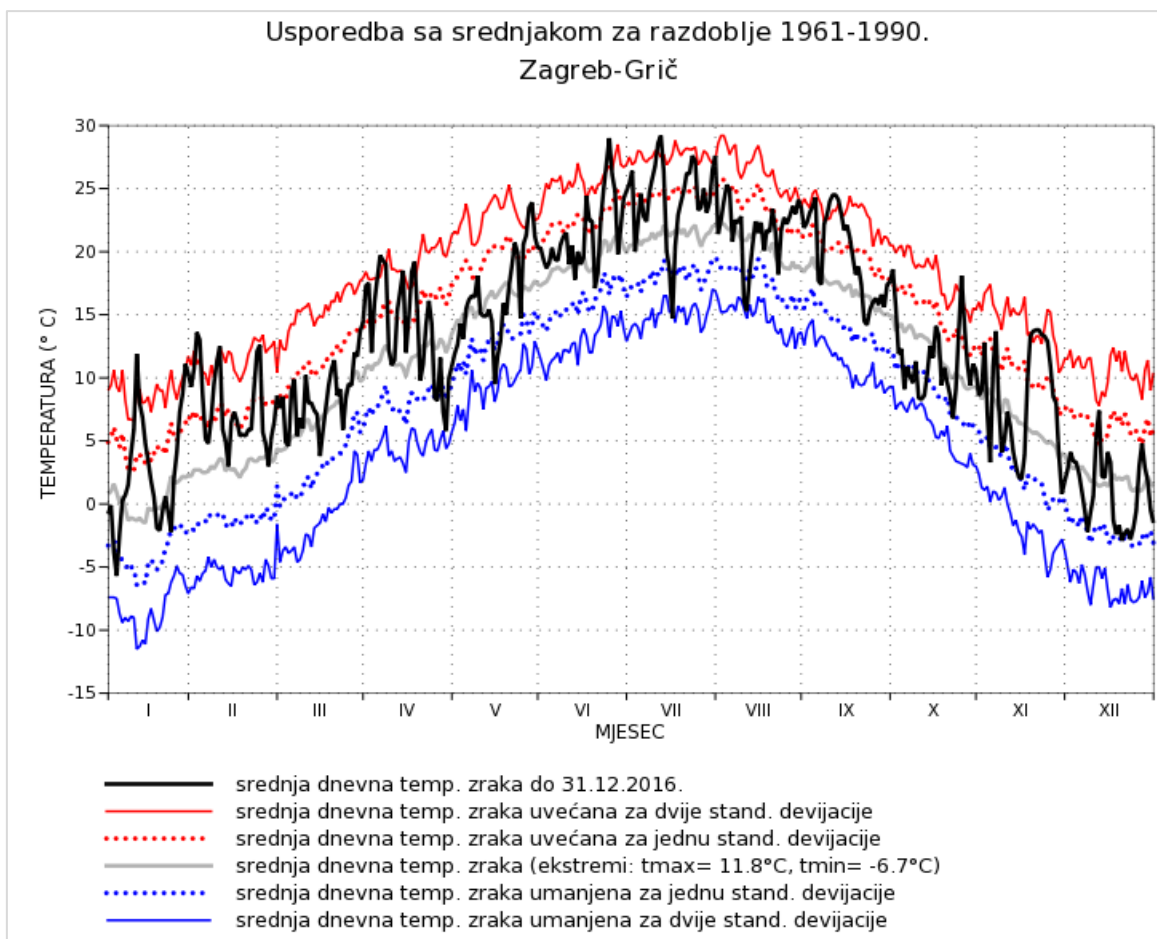
Grafikon 2 prikazuje srednje dnevne temperature zraka za 2014. godinu u usporedbi s prosjekom od 1961 – 1991. za mjernu postaju Zagreb – Grič koja je najbliža postaja lokaciji provođenja pokusa. Prema prikazanim podatcima primjećujemo da je temperatura zraka u vrijeme početka cvatnje pšenice navedene godine bila ispod višegodišnjeg prosjeka nakon čega je uslijedilo toplo razdoblje koje nije dugo potrajalo. Početak mjeseca lipnja je također bio ispod višegodišnjeg prosjeka, a nakon toga je uslijedilo razdoblje ekstremno visokih temperatura koje se poklapa s fazom mliječne i voštene zriobe. Ostatak perioda do žetve bio je u skladu s višegodišnjim prosjekom.



Grafikon 3. Usporedba srednje dnevne temperatura zraka za 2015. godinu s prosjekom od 1961 – 1991. godine za mjernu postaju Zagreb – Grič.

(preuzeto s: https://klima.hr/k2/2015/zg_sred_30_2015.png; 19.09.2019.)

Grafikon 3 prikazuje srednje dnevne temperature zraka za 2015. godinu. Analizirajući mjesec svibanj primjećujemo iznadprosječne temperature u vrijeme perioda cvatnje te je nevedene godine period cvatnje i najkraće trajao. Nakon cvatnje uslijedio je hladniji period. Kraj svibnja te veći dio lipnja pratile su iznadprosječne temperature zraka, a hladniji period uslijedio je tek u zadnjoj dekadi mjeseca lipnja.



Grafikon 4. Usporedba srednje dnevne temperatura zraka za 2016. godinu s prosjekom od 1961 – 1991. godine za mjernu postaju Zagreb – Grič.

(preuzeto s: https://klima.hr/k2/2016/zg_sred_30_2016.png; 19.09.2019.)

Grafikon 4. prikazuje srednje dnevne temperature zraka za 2016. godinu. Period cvatnje navedene godine pratile su temperature zraka koje su bile ispod višegodišnjeg prosjeka. Period mliječne i voštane zriobe bio je nešto topliji od višegodišnjeg prosjeka uz povremene kratkotrajne ekstremno tople periode.

3.5. Ocjena svojstava

Za procjenu otpornosti genotipova na FHB u pokusima umjetne i prirodne infekcije koristile su se ocjene intenziteta zaraze klasa i zrna. Intenzitet zaraze klasa ocjenjivao se 18, 22, 26 i 30 dana nakon prve inokulacije (početak faze cvatnje) vizualnom ocjenom postotka površine klasa zaražene s FHB (eng. *Visual rating index*, VRI) te je određena prosječna ocjena za svaku parcelicu. Promatrana je cijela parcelica te vizualno ocijenjen

intenzitet zaraze pomoću linearne skale s vrijednostima od 0 (bez prisustva zaraze) do 100 (100% zaraženosti) kako je opisano u Tablici 3.

Tablica 3. Način vizualnog ocjenjivanja postotka površine klasa zaražene s FHB (VRI).

Postotak zaraze po parcelici	Prosječan broj zaraženih klasića
0	Nema vidljivih simptoma zaraze
0,1	1 klasić po parceli zaražen
0,2	2 klasića po parceli zaražena
0,5	5 klasića po parceli zaraženo
1	10 klasića po parceli zaraženo
2	0,4 klasića po klasu zaraženo
3	0,6 klasića po klasu zaraženo
5	1 klasić po klasu zaražen
10	2 klasića po klasu zaraženo
15	3 klasića po klasu zaraženo
20	4 klasića po klasu zaraženo
25	5 klasića po klasu zaraženo
30	6 klasića po klasu zaraženo
40	8 klasića po klasu zaraženo
50	10 klasića po klasu zaraženo
60	12 klasića po klasu zaraženo
70	14 klasića po klasu zaraženo
80	16 klasića po klasu zaraženo
90	18 klasića po klasu zaraženo
100	Svi klasići na parceli zaraženi

U žetvenoj zriobi (oko 13% vlage) je ubrano 10 slučajno odabranih klasova iz svake parcelice, koji su ručno ovršeni i na njima je utvrđen postotak fuzariumom zaraženih zrna (eng. *Fusarium damaged kernels*, FDK) izražen kao postotak od ukupnog broja zrna po klasu te utvrđen broj i masa zrna po klasu.

U oba pokusa u sve tri godine istraživanja su u svakoj parcelici ocijenjena i druga morfološka i agronomska svojstva kao što su datum prosječne cvatnje, visina biljke, urod zrna po parcelici te masa 1000 zrna. Prosječna cvatnja je zabilježena na dan kada su primijećeni prašnici na 50% klasova u parcelici i izražena kao broj dana od 1. siječnja. Visina biljke mjerena je kao udaljenost u cm od tla do vrha klasa bez osja. Urod zrna u kg po parcelici je utvrđen na način da su u tehnološkoj zriobi ručno pobrani svi klasovi s parcelice te ovršeni na vršalici „Wintersteiger LD 350“ te je utvrđena masa ovršenog uzorka. Također je određen sadržaj proteina (%) na svakom uzorku pomoću NIR uređaja (IM 9500, Pereten).

Iz umjetno inokuliranih pokusa uzorci zrna iz svake parcelice iz sve tri godine su pojedinačno samljeveni na mlinu „Perten Laboratory Mill 3100“ te je provedena kvantitativna

analiza sadržaja mikotoksina deoksinivalenola (DON-a) i zearalenona (ZEN-a) pomoću HPLC-MS/MS multianaliitičke metode (Botha i sur., 2018). Analize su provedene na Odjelu za agrobiotehnologiju (Department of Agrobiotechnology) (IFA- Tulln) u Austriji.

3.6. Statistička analiza

3.6.1. Griffingova dialelna analiza varijance

Za četiri svojstva (VRI, FDK, sadržaj DON-a i ZEN-a) ocjenjivana i određena u pokusima postavljenim u uvjetima umjetne inokulacije te za dva svojstva (VRI i FDK) ocjenjivana u pokusima postavljenim u prirodnim uvjetima provedena je kombinirana dialelna analiza varijance (ANOVA) za tri godine i $p(p + 1)/2$ kombinacije genotipova (metoda 2, Griffing, 1956) prema modelu:

$$y_{ijkd} = \mu + E_d + REP_k(E_d) + G_{ij} + E_d \times G_{ij} + \varepsilon_{ijkd}$$

gdje je

y_{ijk} opažena vrijednost

μ ukupni prosjek

E_d učinak godine d ($d = 1; 2; \dots; s$)

$REP_k(E_d)$ učinak k -te repeticije unutar godine d ($k = 1; 2; \dots; r$)

G_{ij} učinak genotipa ij te

ε_{ijkd} ostatak

odnosno nakon rastavljanja genotipa i njegove interakcije s godinom na komponente:

$$y_{ijkd} = \mu + E_d + REP_k(E_d) + GCA_i + SCA_{ij} + E_d \times GCA_i + E_d \times SCA_{ij} + \varepsilon_{ijkd}$$

gdje je

GCA_i učinak opće kombinacijske sposobnosti ($i = 1; 2; \dots; p$), a

SCA_{ij} učinak specifične kombinacijske sposobnosti ($i = 1; 2; \dots; p$ i $j = 1; 2; \dots; p$).

U modelu je učinak genotipa smatran fiksnim, a učinci repeticije i godine slučajnim.

3.6.2. Procjena komponenti varijance i heritabilnosti

Iz očekivanih srednjih kvadrata (mean squares, MS) dobivenih u kombiniranoj ANOVA procijenjene su slijedeće komponente varijance: varijanca opće kombinacijske sposobnosti (σ^2_{GCA}), varijanca specifične kombinacijske sposobnosti (σ^2_{SCA}), varijanca interakcije genotip $\times$ godina ($\sigma^2_{G \times E}$) te varijanca pogreške (σ^2_e) prema formulama:

$$\sigma^2_{GCA} = (1/[er(p+2)])(MS_{GCA} - MS_{SCA})$$

$$\sigma^2_{SCA} = (1/er)(MS_{SCA} - MS_e)$$

$$\sigma^2_{G \times E} = (1/e)(MS_{G \times E} - MS_e)$$

$$\sigma^2_e = MS_e$$

gdje su MS_{GCA} , MS_{SCA} , $MS_{G \times E}$ i MS_e srednji kvadrati za GCA, SCA, interakciju genotip $\times$ godina odnosno ostatak, a e i r broj godina odnosno repeticija.

Iz ovih komponenti izračunate su aditivna (σ^2_A) i dominacijska (σ^2_D) komponenta varijance te ukupna fenotipska varijanca (σ^2_P) prema formulama:

$$\sigma^2_A = 2 \sigma^2_{GCA}$$

$$\sigma^2_D = \sigma^2_{SCA}$$

$$\sigma^2_P = \sigma^2_A + \sigma^2_D + (\sigma^2_{G \times E})/e + (\sigma^2_e)/er$$

Iz komponenti varijanci izračunate su heritabilnost u širem smislu (h^2_b) i heritabilnost u užem smislu (h^2_n) prema formulama:

$$h^2_b = (\sigma^2_A + \sigma^2_D) / \sigma^2_P$$

$$h^2_n = \sigma^2_A / \sigma^2_P$$

Dialelna analiza varijance, procjena komponenti varijance i izračun heritabilnosti provedeni su pomoću statističkog programa AGD-R (Rodríguez i sur. 2015).

Da bi se dobio uvid u relativnu važnost aditivne komponente varijance u ukupnoj genetskoj varijanci izračunat je Bakerov omjer (Baker, 1978) prema formuli $\sigma^2_A / (\sigma^2_A + \sigma^2_D)$.

3.6.3. Procjena heterozisa

Na osnovi prosječne vrijednosti svojstava iz tri godine kod F_1 križanaca i roditelja (P_1 i P_2) izračunat je apsolutni i relativni heterozis u odnosu na prosjek roditelja (MPH i MPH%), kao i apsolutni i relativni heterozis u odnosu na boljeg roditelja (BPH i BPH%) prema formulama:

$$MPH = F_1 - MP$$

$$MPH\% = [(F_1 - MP)/MP] \times 100$$

$$BPH = F_1 - BP$$

$$BPH\% = [(F_1 - BP)/BP] \times 100$$

gdje je MP prosjek roditelja izračunat kao $(P_1 + P_2)/2$, a BP bolji roditelj.

3.6.4. Korelacije

Fenotipske korelacije između prosječnih vrijednosti svojstava u pokusima postavljenim u uvjetima umjetne inokulacije, kao i između prosječnih vrijednosti svojstava u pokusima postavljenim u prirodnim uvjetima, su procijenjene računanjem Pearsonovog korelacijskog koeficijenta. Isti je također izračunat i između prirodne i umjetne infekcije za proučavana svojstva.

Za vizualne ocjene bolesti VRI i FDK izračunate su i genetske korelacije između umjetne i prirodne infekcije. Za izračun fenotipskih i genetskih korelacija korišten je statistički program META-R (Alvarado i sur. 2015).

Relativna učinkovitost indirektna selekcije u uvjetima umjetne inokulacije (UI) u odnosu na direktnu selekciju u prirodnim uvjetima (PI) za svojstva VRI i FDK izračunat je prema Falconeru i Mackayevoj (1996) prema formuli:

$$CR_{PI}/R_{PI} = r_G (h^2_{UI} / h^2_{PI})^{1/2}$$

gdje je r_G genetska korelacija između prosjeka svojstva u UI i PI, a h^2_{UI} and h^2_{PI} su heritabilnosti kod UI odnosno PI.

3.6.5. Kombinirana ANOVA za umjetnu inokulaciju i prirodnu infekciju

Za svojstva vizualne ocjene bolesti (VRI i FDK) kao i za agronomska svojstva provedena je i kombinirana analiza varijance (ANOVA) kroz dva tipa infekcije, tri godine i 36 genotipova pomoću procedure GLM u statističkom programu SAS/STAT (SAS Institute Inc. 2009) prema modelu:

$$y = \mu + Y + I + REP(Y \times I) + G + Y \times G + I \times G + G \times I \times Y + \varepsilon$$

gdje je

y opažena vrijednost

μ ukupni prosjek

Y učinak godine

I učinak tipa infekcije

$REP(Y \times I)$ učinak repeticije unutar okoline (godina $\times$ tip infekcije)

G učinak genotipa te

ε ostatak.

U modelu je učinak genotipa i tipa infekcije smatran fiksnim, a učinci repeticije i godine slučajnim.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

4.1. Kombinirana analiza varijance za umjetnu inokulaciju

Rezultati kombinirane analize varijance (ANOVA) za 8 × 8 dialel bez reciproka za svojstva vizualne ocjene postotka površine klasa zaražene s FHB (VRI), postotak fuzariumom zaraženih zrna (FDK), sadržaj deoksinivalenola (DON-a) i zearalenona (ZEN-a) u umjetnoj inokulaciji prikazani su u Tablici 4.

Tablica 4. ANOVA za VRI (%), FDK (%), sadržaj DON-a (µg/kg) i sadržaj ZEN-a (µg/kg) u umjetnoj inokulaciji.

Izvor varijabilnosti	Stupnjevi slobode	Sredina kvadrata	p-vrijednost	Sredina kvadrata	p-vrijednost
			VRI	FDK	
Godina (E)	2	93	0,274	2560	0,000
Genotip (G)	35	1823	0,000	829	0,000
GCA	7	7701	0,000	3175	0,000
SCA	28	354	0,000	242	0,000
E × G	70	70	0,531	79	0,017
E × GCA	14	144	0,022	151	0,008
E × SCA	56	51	0,910	61	0,196
Ostatak	105	71		50	
			DON	ZEN	
Godina (E)	2	223842786	0,000	16820	0,000
Genotip (G)	35	56845916	0,000	12798	0,000
GCA	7	246464980	0,000	40768	0,000
SCA	28	9441150	0,000	5805	0,000
E × G	70	3864765	0,269	1246	0,592
E × GCA	14	10915178	0,000	2122	0,081
E × SCA	56	2102162	0,971	1026	0,829
Ostatak	105	3339403		1294	

Kombiniranom analizom varijance za 8 × 8 dialel bez reciproka za VRI u uvjetima umjetne inokulacije utvrđene su signifikantne razlike između genotipova te općih (GCA) i specifičnih (SCA) kombinacijskih sposobnosti, dok razlike između godina za navedeno svojstvo nisu bile signifikantne. Interakcija godina (E) × genotip (G) kao i interakcija godina (E) × SCA nisu bile signifikantne, dok je interakcija godina (E) × GCA bila signifikantna.

Kombiniranom analizom varijance za FDK u uvjetima umjetne inokulacije utvrđena je signifikantna razlika između godina, testiranih genotipova, općih kombinacijskih sposobnosti (GCA) i specifičnih kombinacijskih sposobnosti (SCA). Interakcije godina (E) × genotip (G) i godina (E) × GCA su također bile signifikantne jedino interakcija godina (E) × SCA nije bila signifikantna.

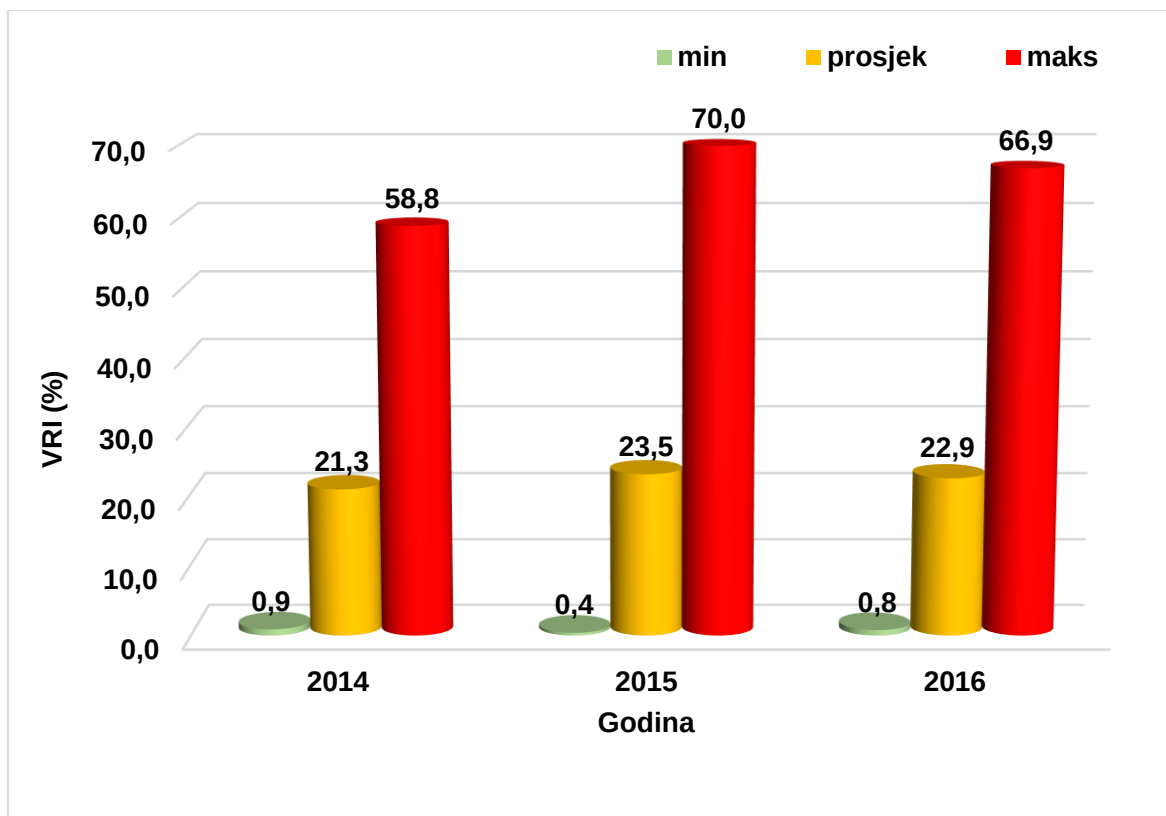
Utvrđene su signifikantne razlike za sadržaj deoksinivalenola (DON-a) u uvjetima umjetne inokulacije između godina, testiranih genotipova, općih kombinacijskih sposobnosti (GCA) i specifičnih kombinacijskih sposobnosti (SCA). Kada su u pitanju interakcije za ovo svojstvo signifikantna je bila interakcija godina (E) × GCA, dok interakcije godina (E) × genotip (G) i godina (E) × SCA nisu bile signifikantne.

Za sadržaj zearalenona (ZEN-a) u uvjetima umjetne inokulacije također su utvrđene signifikantne razlike za godine, testirane genotipove, opće kombinacijske sposobnosti (GCA) i specifične kombinacijske sposobnosti (SCA). Za ovo svojstvo interakcije godina (E) × genotip (G), godina (E) × GCA i godina (E) × SCA nisu bile signifikantne.

4.2. Varijabilnost genotipova i godina u umjetnoj inokulaciji

Kombiniranom analizom varijance za 8 × 8 dialel bez reciproka u umjetnoj inokulaciji utvrđena je signifikantna razlika između testiranih genotipova za VRI, dok razlike između godina za navedeno svojstvo nisu bile signifikantne. Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti genotipova za VRI po godinama prikazane su u Grafikonu 5.

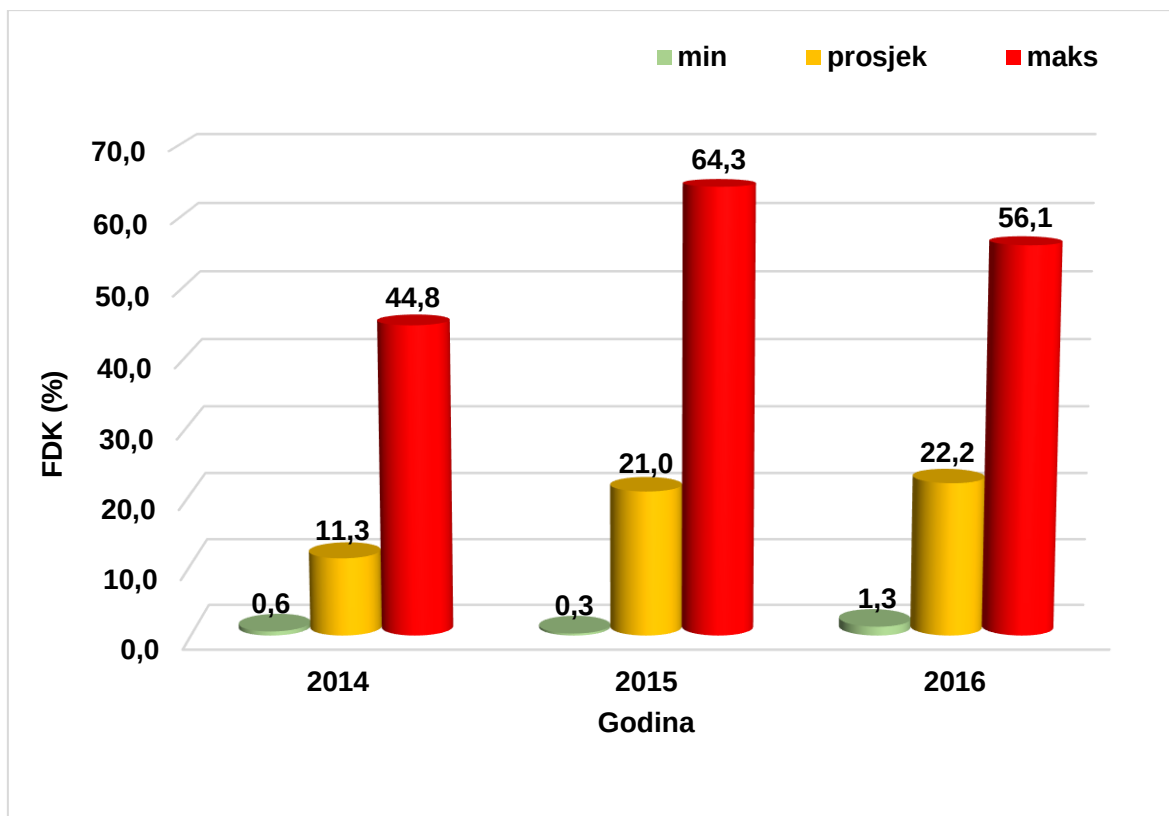
Vrijednosti genotipova za VRI u umjetnoj inokulaciji pokazuju da je 2014. godine minimalna vrijednost iznosila 0,9, maksimalna 58,8, dok je prosječna vrijednost bila 21,3. Navedene godine zabilježena je najmanja prosječna vrijednost kao i najmanja maksimalna vrijednost za VRI uspoređujući tri testirane godine. Slijedeće, 2015. godine, prosječna vrijednost za VRI je iznosila 23,5, maksimalna vrijednost 70,0, a minimalna 0,4. Iste godine utvrđena je najviša prosječna ocjena za VRI, kao i najviša maksimalna, ako uspoređujemo tri testirane godine što znači da je 2015. godine bio najveći intenzitet zaraze klasa. U posljednjoj, 2016. godini testiranja, prosječna vrijednost za VRI iznosila je 22,9, minimalna 0,8, a maksimalna vrijednost 66,9. Veliki raspon vrijednosti između minimalne i maksimalne u sve tri godine ispitivanja ukazuje na vrlo visoku varijabilnost za VRI između testiranih genotipova.



Grafikon 5. Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti za VRI u umjetnoj inokulaciji po testiranim godinama.

Signifikantne razlike između genotipova u umjetnoj inokulaciji utvrđene su i za FDK. Za ovo svojstvo su utvrđene i signifikantne razlike između godina. Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti genotipova za FDK po godinama prikazane su u Grafikonu 6.

Vrijednosti genotipova za FDK u umjetnoj inokulaciji u 2014. godini kretale su se od 0,6 do 44,8 uz prosječnu vrijednost od 11,3. Slično kao i za VRI, navedene godine su zabilježene najmanja prosječna i maksimalna ocjena za FDK. Najviša maksimalna ocjena za FDK u umjetnoj inokulaciji s vrijednosti od 64,3 zabilježena je 2015. godine. Ove godine prosječna ocjena za FDK iznosila je 21,0, a minimalna 0,3. Također, 2015. godine raspon ocjena za FDK je bio najveći, dok prosječna vrijednost nije bila najviša, ako uspoređujemo tri testirane godine. Promatrajući prosječne vrijednosti za FDK u umjetnoj inokulaciji vidimo da je najviša bila 2016. godine s iznosom od 22,2. Minimalna vrijednost zabilježena u ovoj godini iznosila je 1,3, a maksimalna 56,1.

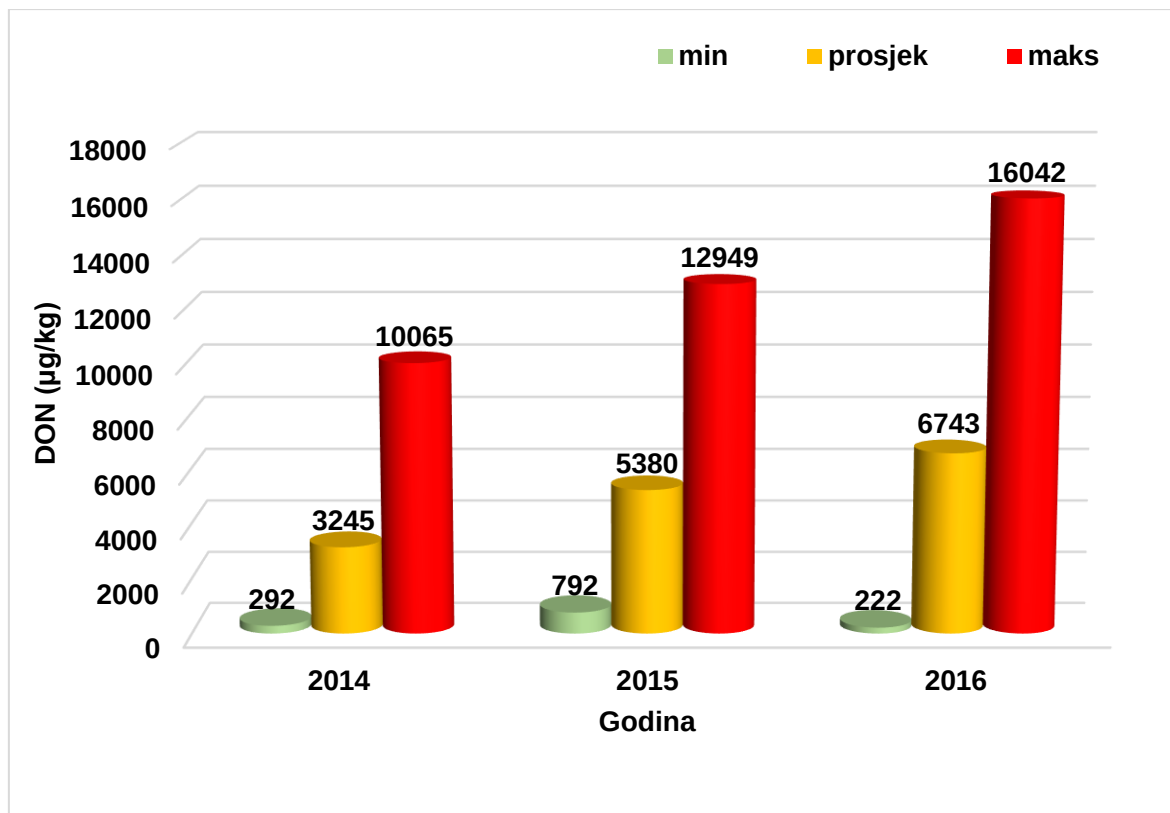


Grafikon 6. Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti za FDK u umjetnoj inokulaciji po testiranim godinama.

Testirani genotipovi također su se signifikantno razlikovali i za sadržaj DON-a čije su vrijednosti, izražene u $\mu\text{g/kg}$, dobivene analizom uzoraka brašna samljevenog od kompletnog uroda požetog s testne parcelice. Za sadržaj DON-a signifikantne razlike utvrđene su i između testiranih godina. Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti po godinama za sadržaj DON-a ($\mu\text{g/kg}$) prikazane su u Grafikonu 7.

Minimalna vrijednost genotipa za sadržaj DON-a ($\mu\text{g/kg}$) u umjetnoj inokulaciji u 2014. godini iznosila je 292 $\mu\text{g/kg}$, maksimalna 10065 $\mu\text{g/kg}$, a prosječna 3245 $\mu\text{g/kg}$. Prve godine testiranja su ujedno izmjerene i najmanja prosječna i maksimalna vrijednost za sadržaj DON-a. Vrijednosti za sadržaj DON-a $\mu\text{g/kg}$ u umjetnoj inokulaciji u 2015. godini su se kretale od minimalne vrijednosti od 792 $\mu\text{g/kg}$ do maksimalne od 12949 $\mu\text{g/kg}$ uz prosječnu vrijednost od 5380 $\mu\text{g/kg}$. Posljednje, 2016. godine ispitivanja, izmjerene su najviša prosječna i maksimalna vrijednost za sadržaj DON-a. Tako se je raspon vrijednosti za sadržaj DON-a ($\mu\text{g/kg}$) u umjetnoj inokulaciji u 2016. godini kretao od minimalne vrijednosti od 222 $\mu\text{g/kg}$ do maksimalne od 16042 $\mu\text{g/kg}$. Prosječna vrijednost iznosila je visokih 6743 $\mu\text{g/kg}$.

Utvrđene vrijednosti za sadržaj DON-a ($\mu\text{g/kg}$) u sve tri godine istraživanja su bile vrlo visoke. Uzevši u obzir vrijednosti iz pravilnika o najvećim dopuštenim količinama određenih kontaminanata u hrani, prema kojem je najveća dopuštena količina DON-a u pšeničnom brašnu $750 \mu\text{g/kg}$, a naša istraživanja su provedena na uzorcima pšeničnog brašna, vidimo da su izmjerene vrijednosti za količinu DON-a na analiziranim uzorcima i nekoliko puta premašile najveće dopuštene količine. Također primjećujemo da je u 2015. godini čak i minimalna vrijednost bila veća od najveće dopuštene granice za sadržaj DON-a.

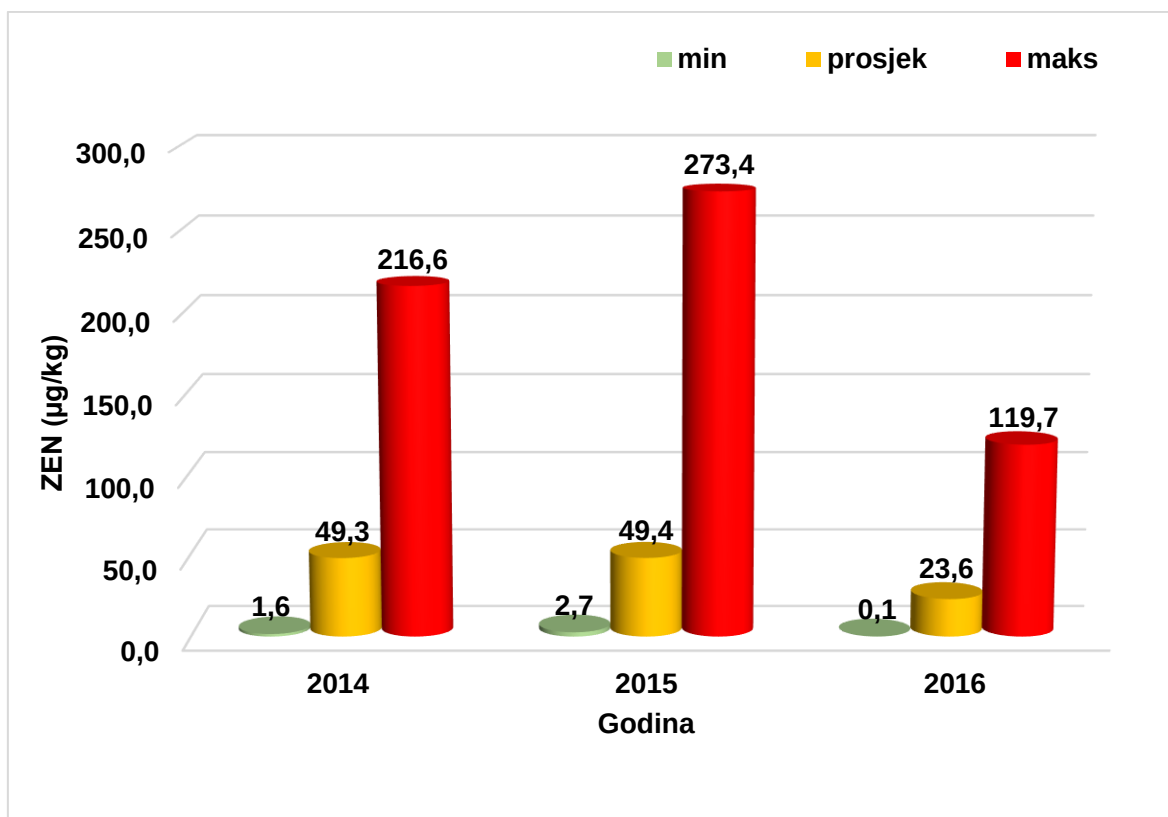


Grafikon 7. Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti za sadržaj DON-a ($\mu\text{g/kg}$) u umjetnoj inokulaciji po testiranim godinama.

Signifikantne razlike između genotipova u umjetnoj inokulaciji utvrđene su i za sadržaj ZEN-a. Vrijednosti za sadržaj ZEN-a, izražene u $\mu\text{g/kg}$, dobivene su također analizom uzoraka brašna samljevenog od kompletnog uroda požetog s testne parcelice. Godine za ovo svojstvo su se također signifikantno razlikovale. Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti po godinama za sadržaj ZEN-a ($\mu\text{g/kg}$) prikazane su u Grafikonu 8.

Prema rezultatima za 2014. godinu sadržaj ZEN-a ($\mu\text{g/kg}$) kod testiranih genotipova u umjetnoj inokulaciji varirao je od $1,6 \mu\text{g/kg}$ do $216,6 \mu\text{g/kg}$. Prosječna vrijednost za sadržaj ZEN-a navedene godine iznosila je $49,3 \mu\text{g/kg}$. Prosječna vrijednost za sadržaj ZEN-a ($\mu\text{g/kg}$) u 2015. godini bila je vrlo slična onoj iz prethodne godine, a iznosila je $49,4 \mu\text{g/kg}$.

Minimalna vrijednost za sadržaj ZEN-a u 2015. godini iznosila je 2,7 µg/kg, dok je maksimalna vrijednost u iznosu od 273,4 µg/kg ujedno i najveća izmjerena vrijednost za sadržaj ZEN-a u sve tri godine. Posljednje, 2016. godine, dobivene su nešto manje vrijednosti za sadržaj ZEN-a. Tako je minimalna vrijednost iznosila 0,1 µg/kg, maksimalna 119 µg/kg, a prosječnu vrijednost 23,6 µg/kg.



Grafikon 8. Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti za sadržaj ZEN-a (µg/kg) u umjetnoj inokulaciji po testiranim godinama.

Utvrđene vrijednosti za sadržaj ZEN-a (µg/kg) u sve tri godine istraživanja su bile umjereno visoke. To možemo zaključiti uspoređujući vrijednosti iz pravilnika o najvećim dopuštenim količinama određenih kontaminanata u hrani, prema kojem je najveća dopuštena količina ZEN-a u pšeničnom brašnu 75 µg/kg. Prosječni sadržaj ZEN-a u sve tri godine ispitivanja je bio ispod granice od 75 µg/kg, dok su maksimalne vrijednosti bile iznad dopuštene granice.

4.3. Kombinirana analiza varijance za prirodne uvjete

Rezultati kombinirane analize varijance (ANOVA) za 8 × 8 dialel bez reciproka za VRI i FDK u prirodnim uvjetima prikazani su u Tablici 5.

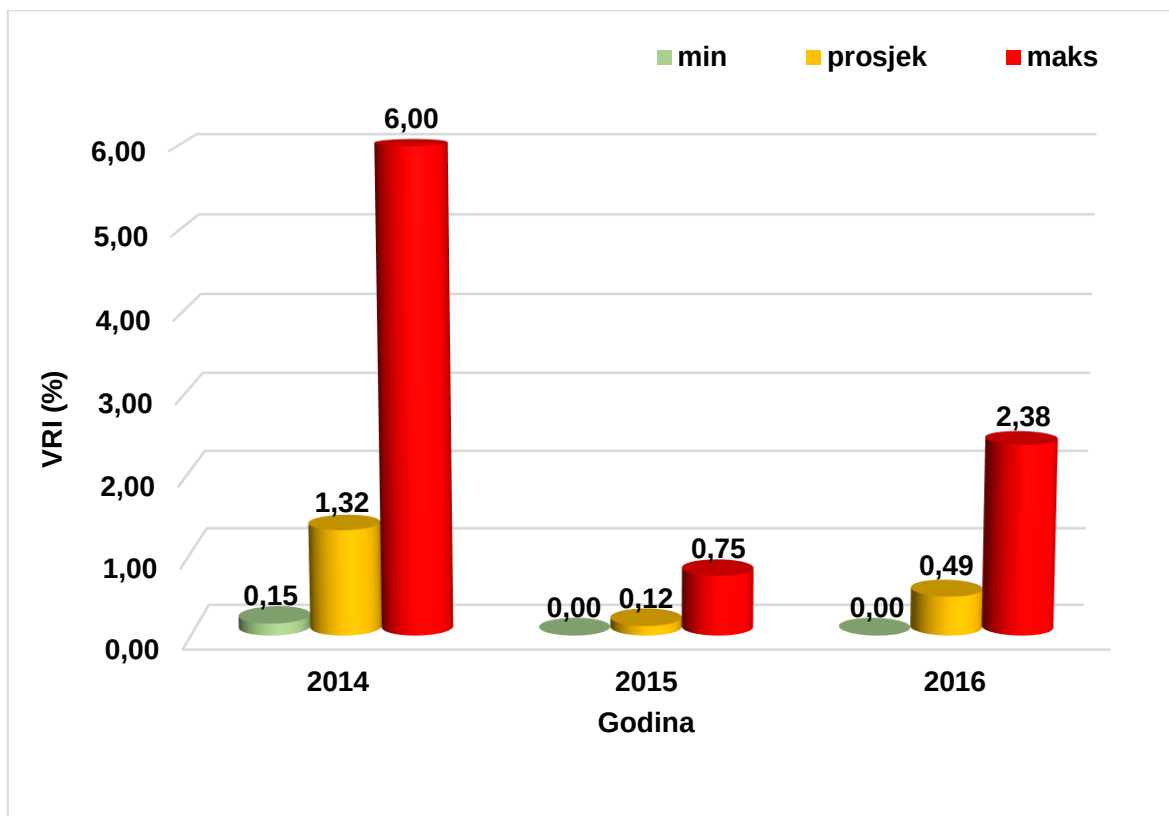
Tablica 5. ANOVA za VRI (%) i FDK (%) u prirodnim uvjetima.

Izvor varijabilnosti	Stupnjevi slobode	Sredina kvadrata	p-vrijednost	Sredina kvadrata	p-vrijednost
		VRI		FDK	
Godina (E)	2	27,14	0,000	1,239	0,005
Genotip (G)	35	3,01	0,000	0,517	0,018
GCA	7	10,32	0,000	1,307	0,000
SCA	28	1,19	0,025	0,320	0,086
E × G	70	1,10	0,014	0,299	0,071
E × GCA	14	3,04	0,000	0,305	0,168
E × SCA	56	0,62	0,668	0,298	0,086
Ostatak	105	0,69		0,218	

Kombiniranom analizom varijance za 8 × 8 dialel bez reciproka za VRI u prirodnim uvjetima utvrđene su signifikantne razlike između genotipova te općih (GCA) i specifičnih (SCA) kombinacijskih sposobnosti. Razlike između godina za navedeno svojstvo također su bile signifikantne. Interakcije godina (E) × genotip (G) kao i interakcija godina (E) × GCA su bile signifikantne, dok jedino interakcija godina (E) × SCA nije bila signifikantna. Za FDK u prirodnim uvjetima utvrđena je signifikantna razlika između godina, testiranih genotipova te općih kombinacijskih sposobnosti (GCA). Specifične kombinacijskih sposobnosti (SCA) nisu bile signifikantne kao i interakcije godina (E) × genotip (G), godina (E) × GCA i godina (E) × SCA.

4.4. Varijabilnost genotipova u prirodnim uvjetima

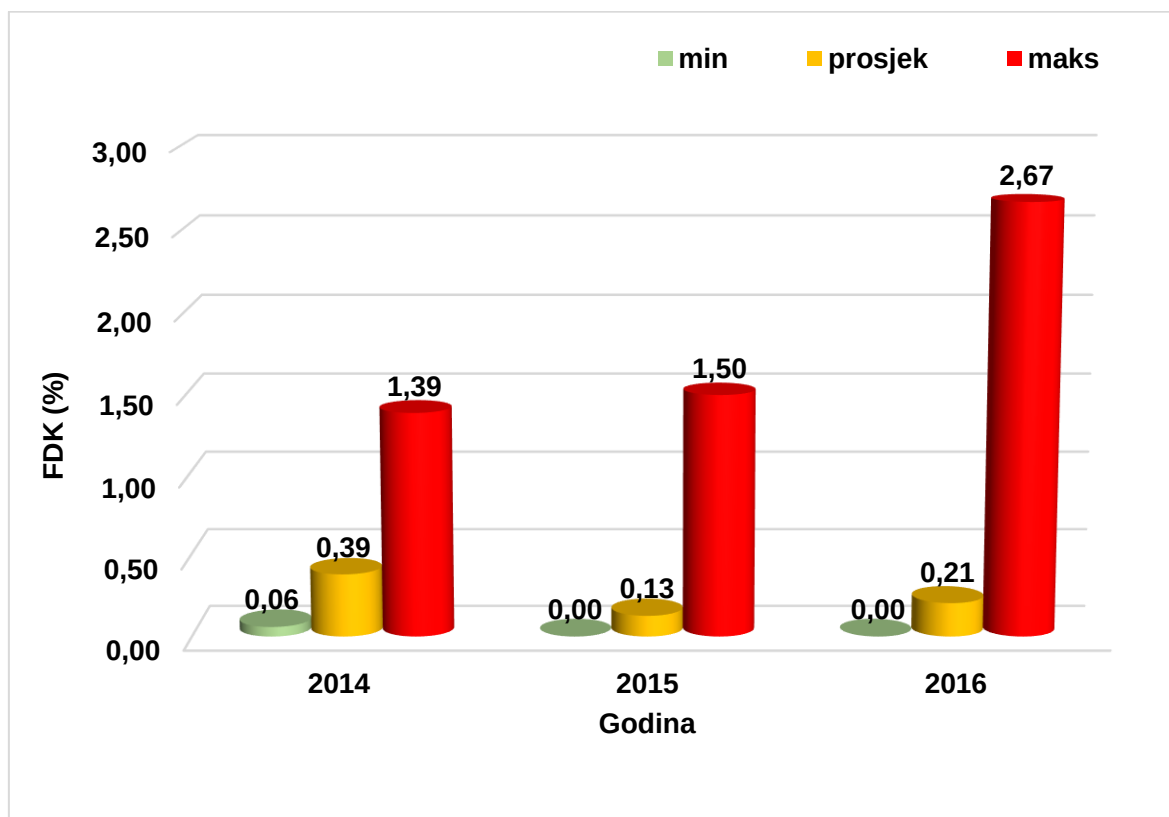
Testirani genotipovi su se signifikantno razlikovali za VRI u prirodnim uvjetima. Učinak godine je također bio signifikantan. Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti genotipova za VRI po godinama prikazane su u Grafikonu 9.



Grafikon 9. Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti za VRI u prirodnim uvjetima po testiranim godinama.

Vrijednosti genotipova za VRI u prirodnim uvjetima u 2014. godini kretale su se od 0,15 do 6,00, dok je prosječna vrijednost iznosila 1,32. Ove godine zabilježene su najveća maksimalna i prosječna vrijednost za VRI u prirodnim uvjetima gledajući sve tri testirane godine. Razlog tome su povoljni vremenski uvjeti u vidu povećane količine oborina u vrijeme cvatnje pšenice koji su potakli razvoj bolesti. Najniže vrijednosti za VRI u prirodnim uvjetima zabilježene su u 2015. godini, a kretale su se od 0 do 0,75 uz vrlo nizak prosjek od 0,12. Razlog ovako niskih vrijednosti za VRI su nepovoljni uvjeti za razvoj bolesti u periodu kada dolazi do njenog nastanka. Nešto veće vrijednosti za VRI u prirodnim uvjetima utvrđene su 2016. godine. Tako su one iznosile od 0 do 2,38 s prosječnom vrijednosti od 0,49. Iz priloženih rezultata vidimo da u pojedinim godinama na otpornim genotipovima neće doći do razvoja bolesti prirodnom infekcijom, no ipak kada su uvjeti povoljni kao 2014. godine simptomi na klasu mogu biti vrlo izraženi. Također, ukoliko uspoređujemo umjetnu inokulaciju i prirodne uvjete primjećujemo znatno veća variranje VRI između godina u prirodnim uvjetima, dok se u uvjetima umjetne inokulacije godine nisu signifikantno razlikovale.

Utvrđene su i signifikantne razlike između genotipova i između godina u prirodnim uvjetima za FDK, a minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti za ovo svojstvo po godinama prikazane su u Grafikonu 10.



Grafikon 10. Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti za FDK u prirodnim uvjetima po testiranim godinama.

Minimalna vrijednost za FDK u prirodnim uvjetima u 2014. godini iznosila je 0,06, maksimalna 1,39, a prosječna 0,39. Iako navedene godine nije zabilježena najveća maksimalna ocjena u prirodnim uvjetima za FDK, prosječna vrijednost je bila najviša ako promatramo sve tri testirane godine. Naredne, 2015. godine, vrijednosti za FDK u prirodnim uvjetima kretale su se od minimalne vrijednosti bez simptoma bolesti do maksimalne vrijednosti od 1,50. Prosječna vrijednost u ovoj godini bila je niskih 0,13. Dakle gledajući prosječnu vrijednost, 2015. godina je bila s najmanje simptoma bolesti na zrnju. Najveća vrijednost za FDK u prirodnim uvjetima zabilježena je 2016. godine i iznosila je 2,67. Iste godine bilo je i genotipova bez simptoma bolesti, dok je prosječna vrijednost iznosila 0,21. Slično kao i za VRI tako i za FDK u prirodnim uvjetima u pojedinim godinama kada nisu povoljni uvjeti za razvoj bolesti nema simptoma na klasu odnosno zrnju izrazito otpornih genotipova. Ovo nije slučaj u umjetnoj inokulaciji gdje i kod najotpornijih genotipova postoje određeni simptomi kako na klasu tako i na zrnju.

4.5. Opće kombinacijske sposobnosti u uvjetima umjetne inokulacije

Opće kombinacijske sposobnosti (GCA) kao i prosječne vrijednosti roditelja uključenih u dialelno križanje 8 × 8 bez reciproka, kroz tri godine ispitivanja za VRI, FDK, sadržaj DON-a i sadržaj ZEN-a u uvjetima umjetne inokulacije prikazani su u Tablici 6.

Tablica 6. Prosječne vrijednosti roditelja i GCA za VRI (%), FDK (%), sadržaj DON-a (µg/kg) i sadržaj ZEN-a (µg/kg) u umjetnoj inokulaciji.

Roditelj	Prosjek	GCA	p-vrijednost	Prosjek	GCA	p-vrijednost
VRI				FDK		
Bc Renata	11,26	-9,27	0,000	11,48	-8,07	0,000
Marina	56,79	14,16	0,000	47,08	10,66	0,000
Bc 6121/09	13,56	-0,55	0,460	21,59	2,26	0,002
Fr1E1_4	9,60	-8,74	0,000	21,15	-2,51	0,001
20812.2.8	0,92	-16,39	0,000	1,64	-11,66	0,000
Tina	46,08	8,52	0,000	34,72	3,88	0,000
Golubica	65,21	13,84	0,000	44,76	5,40	0,000
Lela	25,58	-1,57	0,046	25,24	0,04	0,954
DON				ZEN		
Bc Renata	2331	-2320	0,000	6,6	-29,8	0,000
Marina	12375	2841	0,000	167,2	30,9	0,000
Bc 6121/09	7414	1199	0,000	30,3	-5,0	0,124
Fr1E1_4	4087	-747	0,000	19,3	-19,5	0,000
20812.2.8	436	-3250	0,000	2,5	-33,1	0,000
Tina	7969	960	0,000	100,0	15,9	0,000
Golubica	10178	1350	0,000	194,9	33,3	0,000
Lela	5751	-32	0,840	60,2	7,3	0,032

Prosječne vrijednosti roditelja za VRI u umjetnoj inokulaciji varirale su od 0,92 do 65,21. Najniža vrijednost utvrđena je kod roditelja 20812.2.8 što ga čini izrazito otpornom na FHB ako gledamo simptome bolesti na klasu. Nešto više vrijednosti koje upućuju na nižu otpornost utvrđene su za roditelje Fr1E1_4, Bc Renatu i Bc 6121/09. Lela s vrijednosti za VRI od 25,28 spada u skupinu srednje otpornih roditelja za FHB. Roditelji Tina s vrijednosti od 46,08, Marina s vrijednosti od 56,79 i Golubica s vrijednosti od 65,21 spadaju u skupinu roditelja osjetljivih na FHB.

Analizom općih kombinacijskih sposobnosti (GCA) roditelja za VRI u umjetnoj inokulaciji dobivene su vrijednosti od -16,39 za 20812.2.8 do 14,16 za Marinu. Viša negativna vrijednost predstavlja bolju, a viša pozitivna vrijednost lošiju GCA za VRI kada je u pitanju

oplemenjivanje na otpornost na FHB. Uz roditelja 20812.2.8, negativna GCA za VRI utvrđena je kod Bc Renate, Fr1E1_4, Lele i Bc 6121/09. Pozitivna GCA, uz već ranije spomenutog roditelja Bc Marinu, utvrđena je za Tinu i Golubicu. Za sve roditelje, osim za Bc 6121/09, GCA za VRI je bila signifikantna.

Variranje prosječnih vrijednosti roditelja za FDK u umjetnoj inokulaciji bilo je od 1,64 do 47,08. Najniža vrijednost za FDK kao i za VRI utvrđena je kod roditelja 20812.2.8. Nešto viša vrijednost od 11,48 utvrđena je kod Bc Renate, dok su Fr1E1_4, Bc 6121/09 i Lela roditelji sa srednje visokim vrijednostima za FDK. Vrlo visoke vrijednosti zabilježene su kod Tine i Golubice, a najviša kod Marine. Zanimljivo je istaknuti roditelje Fr1E1_4 i Bc 6121/09 kod kojih su utvrđene nešto više vrijednosti za FDK u odnosu na VRI što nije slučaj s drugim roditeljima.

Vrijednosti općih kombinacijskih sposobnosti (GCA) roditelja za FDK u umjetnoj inokulaciji kretale su se od -11,66 do 10,66. Najviša negativna vrijednost utvrđena je kod roditelja 20812.2.8, a negativne vrijednosti zabilježene su kod Bc Renate (-8,07) i Fr1E1_4 (-2,51). Marina je roditelj s najvećom vrijednosti za GCA od 10,66, znatno niže su kod Golubice (5,40) i Tine (3,88). Opća kombinacijska sposobnost za navedeno svojstvo kod Lele je iznosila 0,04 te je jedina koja nije bila signifikantna.

Prosječni sadržaj DON-a u uzorcima brašna za roditelje u umjetnoj inokulaciji kretao se od 436 do 12375 µg/kg. Najveći sadržaj izmjeren je kod roditelja Marine, nešto niži kod Golubice (10178 µg/kg), Tine (7969 µg/kg) i Bc 6121/09 (7414 µg/kg). Slijedili su roditelji Lela sa sadržajem od 5751 µg/kg, Fr1E1_4 od 4087 µg/kg te Bc Renata od 2331 µg/kg. Znatno niži, a ujedno i najniži sadržaj DON-a utvrđen je za roditelja 20812.2.8. Iz prikazanih rezultata vidimo vrlo velike razlike između roditelja za sadržaj DON-a. Tako je najviša vrijednost kod roditelja Marina 28 puta veća od najniže vrijednosti kod roditelja 20812.2.8. Zanimljiva je i činjenica da je gotovo identičan odnos navedenih roditelja za svojstvo FDK.

Opće kombinacijske sposobnosti roditelja za sadržaj DON-a u umjetnoj inokulaciji varirale su od 2841 kod Marine do -3250 kod roditelja 20812.2.8. Negativne vrijednosti za GCA zabilježene su i kod Bc Renate (-2320), Fr1E1_4 (-747) i Lele (-32). Pozitivne vrijednosti za GCA, uz ranije spomenutu Marinu, imali su roditelji Golubica (1350), Bc 6121/09 (1199) i Tina (960). Osim za Lelu, GCA za sadržaj DON-a su bile signifikantne za sve roditelje.

Variranje roditelja za prosječni sadržaj ZEN-a u umjetnoj inokulaciji kretalo se od 2,5 µg/kg kod 20812.2.8 do 194,9 µg/kg kod Golubice. Sadržaj ZEN-a kod Bc Renate iznosio je 6,6 µg/kg, 13,3 µg/kg kod Fr1E1_4, kod Bc 6121/09 iznosio je 30,3 µg/kg, Lele 60,2

µg/kg, Tine 100,0 µg/kg, a Marine 167,2 µg/kg. Također se primjećuje velika razlika u sadržaju ZEN-a između roditelja, a čak 78 puta je veći kod Golubice u odnosu na 20812.2.8.

Vrijednosti GCA za sadržaj ZEN-a u umjetnoj inokulaciji varirale su od -33,1 do 33,3. Najviša vrijednost zabilježena je za Golubicu (33,3), a slijede Marina (30,9), Tina (15,9) i Lela (7,3). Negativne GCA vrijednosti za sadržaj ZEN-a zabilježene su kod roditelja Bc 6121/09 (-5,0), Fr1E1_4 (-19,5), Bc Renate (-29,8) te najniža kod 20812.2.8 (-33,1). Signifikantna GCA za ovo svojstvo nije bila samo za Bc 6121/09.

Iz provedenih analiza za GCA u uvjetima umjetne inokulacije za 8 roditelja uključenih u dialelno križanje bez reciproka kroz tri godine ispitivanja za VRI, FDK, sadržaj DON-a i sadržaj ZEN-a primjećujemo da je roditelj 20812.2.8 za sva svojstva imao najvišu negativnu vrijednost za GCA. Negativnu vrijednost za GCA za sva svojstva imali su roditelji Bc Renata i Fr1E1_4. Visoke pozitivne vrijednosti za GCA za sva svojstva imale su Marina, Golubica i Tina. Roditelji Lela i Bc 6121/09 ovisno o svojstvu imali su nisku negativnu ili nisku pozitivnu vrijednost za GCA koja u pojedinim svojstvima nije bila signifikantna.

4.6. Opće kombinacijske sposobnosti u prirodnim uvjetima

Opće kombinacijske sposobnosti (GCA) kao i prosječne vrijednosti roditelja uključenih u dialelno križanje 8 × 8 bez reciproka, kroz tri godine ispitivanja za VRI i FDK u prirodnim uvjetima prikazani su u Tablici 7.

Tablica 7. Prosječne vrijednosti roditelja i GCA za VRI (%) i FDK (%) u prirodnim uvjetima.

Roditelj	Prosjek	GCA	p-vrijednost	Prosjek	GCA	p-vrijednost
VRI				FDK		
Bc Renata	0,35	-0,32	0,000	0,07	-0,14	0,003
Marina	2,30	0,76	0,000	0,73	0,31	0,000
Bc 6121/09	0,11	-0,11	0,144	0,09	-0,03	0,460
Fr1E1_4	0,20	-0,36	0,000	0,15	0,00	0,968
20812.2.8	0,05	-0,50	0,000	0,04	-0,14	0,003
Tina	1,14	0,18	0,020	0,08	-0,05	0,211
Golubica	2,03	0,32	0,000	0,68	0,10	0,021
Lela	1,08	0,02	0,828	0,10	-0,04	0,295

Prosječna ocjena roditelja za VRI u prirodnim uvjetima varirala je od 0,05 kod 20812.2.8 do 2,3 kod Marine. Vrijednosti ostalih roditelja počevši od nižih bile su 0,11 za 6121/09, 0,2 za Fr1E1_4, 0,35 za Bc Renatu, 1,08 za Lelu, 1,14 za Tinu i 2,03 za Golubicu. Primjećujemo znatno manji raspon između roditelja i vrlo niske vrijednosti za VRI u prirodnim uvjetima u odnosu na umjetnu inokulaciju. Vrijednosti u umjetnoj inokulaciji su i do 30 puta veće od onih u prirodnim uvjetima. Razlog tome je što u testiranim godinama uvjeti za razvoj FHB u prirodnim uvjetima nisu bili povoljni.

Variranje GCA vrijednosti roditelja za VRI u prirodnim uvjetima kretalo se od -0,5 za 20812.2.8 do 0,76 za Marinu. Negativne vrijednosti još su utvrđene su kod Fr1E1_4 (-0,36), Bc Renate (-0,32) i Bc 6121/19 (-0,11). Pozitivne vrijednosti uz Marinu imali su roditelji Golubica (0,32), Tina (0,18) i Lela (0,02). Signifikantna GCA nije bila za Lelu i Bc 6121/09, dok je za ostale roditelje bila signifikantna.

Prosječne FDK vrijednosti roditelja u prirodnim uvjetima kretale su se od 0,04 do 0,73. Najniža i najviša vrijednost kao i za VRI utvrđene su kod roditelja 20812.2.8 i Marine. Vrijednosti ostalih roditelja iznosile su 0,07 za Bc Renatu, 0,08 za Tinu, 0,09 za 6121/09, 0,1 za Lelu, 0,15 za Fr1E1_4 i 0,68 za Golubicu. Slično kao i za VRI, ponovno primjećujemo znatno niži iznos i raspon vrijednosti za FDK u prirodnim uvjetima u odnosu na umjetnu inokulaciju.

Vrijednosti GCA za roditelje za FDK u prirodnim uvjetima kretale su se od -0,14 za 20812.2.8 i Bc Renatu do 0,31 za Marinu. Negativne vrijednosti utvrđene su još kod Tine (-0,05), Lele (-0,04) i Bc 6121/09 (-0,03). Roditelj Fr1E1_4 imao je GCA vrijednost 0, a pozitivnu vrijednost uz Marinu imala je Golubica (0,10). Signifikantnu GCA imali su Bc Renata, Marina, 20812.2.8 i Golubica, dok GCA za Bc 6121/09, Fr1E1_4, Tinu i Lelu nisu bile signifikantne.

4.7. Specifične kombinacijske sposobnosti u uvjetima umjetne inokulacije

Specifične kombinacijske sposobnosti (SCA) za F1 križance dobivene dialelnim križanjem 8 × 8 bez reciproka, za tri godine ispitivanja za VRI i FDK uvjetima umjetne inokulacije prikazani su u Tablici 8.

Tablica 8. SCA za F1 križance za VRI (%) i FDK (%) u umjetnoj inokulaciji.

Križanac	SCA	p-vrijednost	SCA	p-vrijednost
	VRI		FDK	
Bc Renata × Marina	-2,42	0,441	0,04	0,989
Bc Renata × Bc 6121/09	1,71	0,586	-1,74	0,509
Bc Renata × Fr1E1_4	2,63	0,402	0,04	0,988
Bc Renata × 20812.2.8	7,59	0,018	4,59	0,085
Bc Renata × Tina	-3,64	0,248	-5,26	0,049
Bc Renata × Golubica	-14,68	0,000	-10,95	0,000
Bc Renata × Lela	-5,65	0,075	-5,57	0,038
Marina × Bc 6121/09	3,94	0,211	-2,50	0,343
Marina × Fr1E1_4	0,06	0,986	-3,53	0,183
Marina × 20812.2.8	-9,36	0,004	-5,09	0,057
Marina × Tina	-4,17	0,187	-2,04	0,440
Marina × Golubica	5,81	0,068	0,12	0,965
Marina × Lela	-5,66	0,075	-2,14	0,417
Bc 6121/09 × Fr1E1_4	-0,71	0,820	-0,48	0,854
Bc 6121/09 × 20812.2.8	-0,85	0,787	0,19	0,941
Bc 6121/09 × Tina	2,25	0,474	0,81	0,757
Bc 6121/09 × Golubica	7,48	0,020	5,07	0,058
Bc 6121/09 × Lela	2,01	0,522	0,85	0,747
Fr1E1_4 × 20812.2.8	3,94	0,212	-0,86	0,744
Fr1E1_4 × Tina	-0,64	0,839	-0,61	0,816
Fr1E1_4 × Golubica	-8,99	0,006	-8,64	0,002
Fr1E1_4 × Lela	-5,34	0,092	-1,93	0,464
20812.2.8 × Tina	-9,72	0,003	-4,81	0,068
20812.2.8 × Golubica	-14,34	0,000	-5,34	0,046
20812.2.8 × Lela	0,47	0,882	-2,24	0,397
Tina × Golubica	-2,05	0,514	-7,24	0,008
Tina × Lela	5,02	0,113	1,61	0,540
Golubica × Lela	-3,17	0,314	-4,60	0,084

Vrijednosti specifičnih kombinacijskih sposobnosti (SCA) kod F1 križanaca za VRI u umjetnoj inokulaciji kretale su se od -14,68 kod križanca Bc Renata × Golubica do 7,59 kod

križanca Bc Renata × 20812.2.8. Visoke negativne vrijednosti, osim kod križanca Bc Renata × Golubica, zabilježena su i kod križanaca 20812.2.8 × Golubica (-14,34), 20812.2.8 × Tina (-9,72), Marina × 20812.2.8 (-9,36) i Fr1E1_4 × Golubica (-8,99). Negativne SCA vrijednosti za navedene križance su bile signifikantne. Primjećujemo da su visoke negativne vrijednosti za SCA utvrđene kod križanja između roditelja s izrazito niskim i visokim prosječnim vrijednostima za VRI prikazanim u Tablici 6. Pozitivna signifikantna SCA vrijednost utvrđena je kod ranije spomenutog križanja Bc Renata × 20812.2.8, gdje su križana dva roditelja s niskom vrijednosti za VRI, te kod križanja Bc 6121/09 × Golubica (7,48), gdje su križana dva roditelja srednje i visoke vrijednosti za VRI. Kod drugih križanaca SCA vrijednost za VRI nije bila signifikantna.

Variranje vrijednosti za SCA kod F1 križanaca u umjetnoj inokulaciji za FDK kretalo se od -10,95 do 5,07. Najviša negativna SCA utvrđena je za križanac Bc Renata × Golubica, a slijede križanci Fr1E1_4 × Golubica s vrijednosti za SCA od -8,64, Tina × Golubica s vrijednosti od -7,24, Bc Renata × Lela s vrijednosti -5,57, križanac 20812.2.8 × Golubica s vrijednosti od -5,34 te Bc Renata × Tina s vrijednosti od -5,26. Za navedene križance SCA vrijednosti su bile signifikantne. Ovdje se može izdvojiti križanac Tina × Golubica kod kojeg je utvrđena signifikantno visoka negativna SCA, a radi se o križanju dvaju roditelja s visokim vrijednostima za FDK. Kod ostalih križanaca s visokim negativnim SCA jedan roditelj je bio s visokom, a drugi s niskom vrijednosti za FDK. Najviše pozitivne vrijednosti za SCA utvrđene su za križance Bc 6121/09 × Golubica (5,07) i Bc Renata × 20812.2.8 (4,59), ali nisu bile signifikantne, kao ni one kod većine drugih križanaca. Uspoređujući SCA vrijednosti za VRI i FDK primjećujemo da su za isti križanac utvrđene maksimalne negativne vrijednosti, dok kod pozitivnih vrijednosti na prva dva mjesta su bili isti križanci samo sa zamijenjenim pozicijama.

Specifične kombinacijske sposobnosti (SCA) za F1 križance dobivene dialelnim križanjem 8 × 8 bez reciproka za tri godine ispitivanja za sadržaj DON-a i sadržaj ZEN-a u umjetnoj inokulaciji prikazani su u Tablici 9.

Križanac s najvišom negativnom signifikantnom SCA vrijednosti za sadržaj DON-a (µg/kg) u umjetnoj inokulaciji bio je Marina × 20812.2.8 (-1848). Negativne signifikantne vrijednosti utvrđene su još kod križanaca Bc Renata × Golubica (-1570), Fr1E1_4 × Golubica (-1568), 20812.2.8 × Tina (-1478) i 20812.2.8 × Golubica (-1441). Navedeni križanci dobiveni su križanjem roditelja s visokim i niskim vrijednostima za sadržaj DON-a. Križanac s najvišom pozitivnom signifikantnom SCA vrijednosti za sadržaj DON-a bio je Tina × Lela (1947).

Tablica 9. SCA za F1 križance za sadržaj DON-a ($\mu\text{g/kg}$) i sadržaj ZEN-a ($\mu\text{g/kg}$) u umjetnoj inokulaciji.

Križanac	SCA	p-vrijednost	SCA	p-vrijednost
	DON		ZEN	
Bc Renata × Marina	-1288	0,062	-22,2	0,101
Bc Renata × Bc 6121/09	-660	0,334	3,7	0,780
Bc Renata × Fr1E1_4	671	0,325	14,8	0,270
Bc Renata × 20812.2.8	1222	0,076	23,3	0,085
Bc Renata × Tina	-787	0,250	-19,1	0,157
Bc Renata × Golubica	-1570	0,024	-38,1	0,006
Bc Renata × Lela	-1286	0,063	-12,5	0,350
Marina × Bc 6121/09	742	0,277	-8,2	0,540
Marina × Fr1E1_4	90	0,895	-17,2	0,202
Marina × 20812.2.8	-1848	0,008	-30,0	0,028
Marina × Tina	-961	0,161	-29,9	0,029
Marina × Golubica	354	0,603	-13,0	0,335
Marina × Lela	-231	0,734	-8,0	0,549
Bc 6121/09 × Fr1E1_4	-248	0,715	1,2	0,929
Bc 6121/09 × 20812.2.8	-389	0,568	4,9	0,713
Bc 6121/09 × Tina	-42	0,951	-6,6	0,623
Bc 6121/09 × Golubica	978	0,154	-0,5	0,973
Bc 6121/09 × Lela	-170	0,803	7,1	0,594
Fr1E1_4 × 20812.2.8	581	0,394	13,8	0,305
Fr1E1_4 × Tina	-350	0,607	-1,2	0,929
Fr1E1_4 × Golubica	-1568	0,024	-32,3	0,019
Fr1E1_4 × Lela	-92	0,892	-13,1	0,330
20812.2.8 × Tina	-1478	0,033	-18,8	0,163
20812.2.8 × Golubica	-1441	0,038	-38,6	0,005
20812.2.8 × Lela	-274	0,687	-9,3	0,486
Tina × Golubica	-183	0,788	-28,6	0,036
Tina × Lela	1947	0,006	50,3	0,000
Golubica × Lela	-1279	0,064	-23,0	0,090

Vrijednosti specifičnih kombinacijskih sposobnosti (SCA) za sadržaj ZEN-a ($\mu\text{g/kg}$) u umjetnoj inokulaciji kretale su se od -38,6 do 50,3. Najviša i jedina signifikantna pozitivna SCA utvrđena je za križanac Tina × Lela. Najviša negativna vrijednost zabilježena je kod križanca 20812.2.8 × Golubica. Negativne SCA vrijednosti utvrđene su i kod križanaca Bc Renata × Golubica (-38,1), Fr1E1_4 × Golubica (-32,3), Marina × 20812.2.8 (-30,0), Marina × Tina (-29,9) i Tina × Golubica (-28,6). Sve navedene negativne vrijednosti za SCA su bile signifikantne. Ovdje treba izdvojiti križance Marina × Tina i Tina × Golubica kod kojih je

utvrđen visoki negativni SCA unatoč visokim vrijednostima roditelja za sadržaj ZEN-a. Kod ostalih križanaca nije utvrđena signifikantna SCA.

Analizirajući rezultate za SCA za sadržaj DON-a i ZEN-a u umjetnoj inokulaciji primjećujemo da je križanac s najvišom pozitivnom signifikantnom vrijednosti za oba svojstva bio Tina × Lela. Gledajući negativne vrijednosti, signifikantne SCA za oba svojstva imali su križanci Marina × 20812.2.8, Bc Renata × Golubica, Fr1E1_4 × Golubica i 20812.2.8. × Golubica.

Ukoliko promatramo rezultate za SCA za VRI, FDK, sadržaj DON-a i ZEN-a u umjetnoj inokulaciji izdvajaju se tri križanca s negativnim signifikantnim SCA za sva četiri svojstva. Navedeni križanci su Bc Renata × Golubica, 20812.2.8 × Golubica i Fr1E1_4 × Golubica.

4.8. Specifične kombinacijske sposobnosti u prirodnim uvjetima

Specifične kombinacijske sposobnosti (SCA) za F1 križance dobivene dialelnim križanjem 8 × 8 bez reciproka, za tri godine ispitivanja za VRI i FDK u prirodnim uvjetima prikazani su u Tablici 10.

Vrijednosti specifičnih kombinacijskih sposobnosti (SCA) kod F1 križanaca za VRI u prirodnim uvjetima kretale su se od -0,30 do 0,75. Najviše negativne vrijednosti utvrđene su za križance Bc Renata × Marina (-0,30) i Fr1E1_4 × Golubica (-0,28), ali nisu bile signifikantne. Najviše pozitivne vrijednosti zabilježene su za križance Marina × Golubica (0,75) i Bc 6121/09 × Fr1E1_4 (0,41), a to su ujedno i jedine signifikantne vrijednosti za SCA za VRI u prirodnim uvjetima. Roditelji kod križanca Marina × Golubica, koji je imao najvišu pozitivnu SCA za VRI u prirodnim uvjetima, imali su i najviše prosječne vrijednosti za VRI u umjetnoj inokulaciji prikazane u Tablici 8.

Najviše negativne SCA vrijednosti za FDK u prirodnim uvjetima imali su križanci Marina × Fr1E1_4 (-0,74) i Marina × 20812.2.8 (-0,73). Navedene vrijednosti bile su signifikantne. Najviše pozitivne SCA vrijednosti utvrđene su za križance Marina × Tina (0,85) i Marina × Golubica (0,84) koje su također bile signifikantne. SCA vrijednosti ostalih križanaca nisu bile signifikantne.

Ukoliko promatramo SCA za VRI i FDK u prirodnim uvjetima izdvaja se križanac Marina × Golubica koji je za obadva svojstva imao signifikantnu pozitivnu SCA vrijednost.

Uspoređujući SCA za VRI i FDK između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta primjećujemo da su kod različitih križanaca utvrđene najviše negativne i pozitivne SCA

vrijednosti. Također primjećujemo da je kod je kod umjetne inokulacije puno više križanaca imalo signifikantnu SCA.

Tablica 10. SCA za F1 križance za VRI (%) i FDK (%) u prirodnim uvjetima.

Križanac	SCA	p-vrijednost	SCA	p-vrijednost
	VRI		FDK	
Bc Renata × Marina	-0,30	0,091	-0,29	0,344
Bc Renata × Bc 6121/09	-0,04	0,805	0,14	0,646
Bc Renata × Fr1E1_4	0,21	0,237	0,17	0,572
Bc Renata × 20812.2.8	0,11	0,538	0,25	0,426
Bc Renata × Tina	-0,03	0,881	-0,31	0,315
Bc Renata × Golubica	-0,14	0,425	-0,51	0,102
Bc Renata × Lela	-0,03	0,856	-0,13	0,665
Marina × Bc 6121/09	-0,01	0,946	0,12	0,689
Marina × Fr1E1_4	-0,16	0,368	-0,74	0,020
Marina × 20812.2.8	-0,22	0,202	-0,73	0,021
Marina × Tina	0,01	0,976	0,85	0,007
Marina × Golubica	0,75	0,000	0,81	0,010
Marina × Lela	0,19	0,281	-0,31	0,316
Bc 6121/09 × Fr1E1_4	0,41	0,021	-0,09	0,762
Bc 6121/09 × 20812.2.8	0,09	0,614	0,01	0,970
Bc 6121/09 × Tina	-0,09	0,596	0,06	0,837
Bc 6121/09 × Golubica	-0,22	0,202	0,03	0,918
Bc 6121/09 × Lela	0,06	0,727	0,36	0,249
Fr1E1_4 × 20812.2.8	-0,06	0,747	0,27	0,384
Fr1E1_4 × Tina	0,21	0,221	0,12	0,695
Fr1E1_4 × Golubica	-0,28	0,117	-0,41	0,186
Fr1E1_4 × Lela	-0,17	0,322	0,13	0,669
20812.2.8 × Tina	-0,01	0,975	-0,17	0,591
20812.2.8 × Golubica	-0,16	0,354	-0,35	0,262
20812.2.8 × Lela	0,08	0,649	-0,08	0,795
Tina × Golubica	-0,19	0,273	-0,55	0,076
Tina × Lela	0,21	0,239	-0,26	0,397
Golubica × Lela	-0,21	0,229	-0,50	0,107

4.9. Heritabilnost

Aditivna varijanca (σ^2_A), dominacijska varijanca (σ^2_D), Bakerov omjer ($\sigma^2_A/(\sigma^2_A + \sigma^2_D)$), heritabilnost u širem smislu (h^2_b) i heritabilnost u užem smislu (h^2_n) za VRI, FDK, sadržaj DON-a i sadržaj ZEN-a u umjetnoj inokulaciji te za VRI i FDK u prirodnim uvjetima prikazane su u Tablici 11.

Tablica 11. σ^2_A , σ^2_D , $\sigma^2_A/(\sigma^2_A + \sigma^2_D)$, h^2_b i h^2_n za VRI, FDK, sadržaj DON-a i sadržaj ZEN-a u umjetnoj inokulaciji te za VRI i FDK u prirodnim uvjetima.

Svojstvo	σ^2_A	σ^2_D	$\sigma^2_A/(\sigma^2_A + \sigma^2_D)$	h^2_b	h^2_n
Umjetna inokulacija					
VRI	241,8	50,4	0,83	0,96	0,80
FDK	95,7	29,4	0,77	0,90	0,69
Sadržaj DON-a	7607027	1223165	0,86	0,93	0,80
Sadržaj ZEN-a	1117	772	0,59	0,91	0,54
Prirodni uvjeti					
VRI	0,223	0,095	0,70	0,86	0,60
FDK	0,033	0,004	0,90	0,52	0,46

Aditivna varijanca je bila viša za sva svojstva u odnosu na dominacijsku varijancu kako u umjetnoj inokulaciji tako i za prirodne uvjete. Udio aditivne varijance u ukupnoj genetskoj varijanci najbolje nam prikazuje Bakerov omjer. Najveći Bakerov omjer u umjetnoj inokulaciji je bio za sadržaj DON-a (0,86), zatim za VRI (0,83), za FDK (0,77), a najniži za sadržaj ZEN-a (0,59). U prirodnim uvjetima Bakerov omjer iznosio je 0,70 za VRI i 0,90 za FDK.

Heritabilnost u širem smislu je bila visoka za sva svojstva u umjetnoj inokulaciji, dok je za prirodne uvjete bila znatno niža. Najviša vrijednost za heritabilnost u širem smislu u umjetnoj inokulaciji utvrđena je za VRI (0,96), a slijede heritabilnosti za sadržaj DON-a (0,93), sadržaj ZEN-a (0,91) te za FDK (0,90). U prirodnim uvjetima heritabilnost u širem smislu za VRI (0,86) je bila veća od one za FDK (0,52).

Najviša heritabilnost u užem smislu u umjetnoj inokulacije utvrđena je za VRI (0,80) i sadržaj DON-a (0,80), dok je za FDK (0,69) i sadržaj ZEN-a (0,54) bila niža. U prirodnim uvjetima heritabilnost u užem smislu za VRI (0,60) je bila veća od one za FDK (0,46).

4.10. Relativna učinkovitost indirektne selekcije

Genetski korelacijski koeficijenti (r_G) između dva tipa infekcije, umjetne inokulacije (UI) i prirodnih uvjeta (PI), heritabilnost za dva tipa infekcije te relativna učinkovitost indirektne selekcije (CR_{UI}/R_{PI}) u uvjetima umjetne inokulacije (UI) u odnosu na direktnu selekciju u prirodnim uvjetima (PI) za VRI i FDK po testiranim godinama prikazani su u Tablici 12.

Tablica 12. Prikaz r_G , heritabilnosti za UI i PI i efikasnosti indirektne selekcije.

Svojstvo	Godina	r_G	h^2_{UI}	h^2_{PI}	CR_{UI}/R_{PI}
VRI	2014	0.97**	0.90	0.68	1,1
	2015	1.00**	0.84	0.67	1,1
	2016	1.00**	0.93	0.16	2,4
FDK	2014	0.62	0.91	0.85	0,6
	2015	0.36	0.79	0.55	0,4
	2016	0.97**	0.89	0.20	2,0

*, ** korelacijski koeficijent signifikantan kod $P < 0,05$ odnosno $P < 0,01$

Genetski korelacijski koeficijenti (r_G) između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta u sve tri godine ispitivanja bili su viši za VRI u odnosu na FDK. Procijenjene heritabilnosti u uvjetima umjetne inokulacije kretale su se za VRI od 0,84 do 0,93 te za FDK od 0,79 do 0,91 ovisno o godini. U prirodnim uvjetima procijenjene heritabilnosti su se kretale od 0,16 u 2016. godini do 0,68 u 2014. godini za VRI te od 0,20 u 2016. godini do 0,85 u 2014. godini za FDK. Procjene heritabilnosti za VRI i FDK, kao važne komponente, koje utječu na učinkovitost direktne odnosno indirektne selekcije, u sve tri godine istraživanja su bile znatno veće u uvjetima umjetne inokulacije u odnosu na prirodne uvjete. Relativna učinkovitost indirektne selekcija u uvjetima UI u odnosu na direktnu selekciju u PI za VRI u 2014. i 2015. godini je iznosila 1,1 upućujući na podjednaku učinkovitost indirektne i direktne selekcije. Zbog niske procijenjene heritabilnosti u PI za VRI u 2016. godini indirektna selekcija u uvjetima UI bila je 2,4 puta učinkovitija u odnosu na direktnu selekciju u PI. Za FDK učinkovitost indirektne selekcije u odnosu na direktnu selekciju je varirala ovisno o godini. Slabe genetske korelacije između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta u 2014. i 2015. godini rezultirala je slabom relativnom učinkovitošću indirektne selekcija u uvjetima UI u odnosu na direktnu selekciju u PI. Prikazani rezultati upućuju na važnost provođenja umjetne inokulacije pri procjeni otpornosti genotipova na FHB. Infekcija u prirodnim uvjetima u pojedinim godinama može izostati ili biti vrlo mala te na osnovi takvih rezultata ne možemo sa sigurnošću procijeniti otpornost genotipa i provoditi selekciju.

4.11. Heterozis u umjetnoj inokulaciji

Prosječna vrijednost, apsolutni heterozis u odnosu na prosjek roditelja (MPH), relativni heterozis u odnosu na prosjek roditelja (MPH(%)), apsolutni heterozis u odnosu na boljeg roditelja (BPH) te relativni heterozis u odnosu na boljeg roditelja (BPH(%)) za F1 križance dobivene dialelnim križanjem 8 × 8 bez reciproka za tri godine ispitivanja za VRI u umjetnoj inokulaciji prikazani su u Tablici 13.

Tablica 13. Prosjek, heterozis u odnosu na roditeljski prosjek (MPH), MPH(%), heterozis u odnosu na boljeg roditelja (BPH) i BPH(%) za VRI u umjetnoj inokulaciji.

Križanac	Prosjek	MPH	MPH(%)	BPH	BPH(%)
Bc Renata × Marina	25,04	-8,99	-26,41	13,78**	122,35
Bc Renata × Bc 6121/09	14,46	2,05	16,48	3,20	28,38
Bc Renata × Fr1E1_4	7,18	-3,25	-31,15	-2,42	-25,21
Bc Renata × 20812.2.8	4,50	-1,59	-26,13	3,58	388,69
Bc Renata × Tina	18,18	-10,49*	-36,60	6,92	61,41
Bc Renata × Golubica	12,45	-25,79**	-67,44	1,19	10,54
Bc Renata × Lela	6,08	-12,35*	-67,02	-5,19	-46,06
Marina × Bc 6121/09	40,13	4,95	14,07	26,56**	195,85
Marina × Fr1E1_4	28,04	-5,16	-15,53	18,44**	191,97
Marina × 20812.2.8	10,98	-17,88**	-61,95	10,06*	1092,31
Marina × Tina	41,08	-10,35*	-20,13	-5,00	-10,85
Marina × Golubica	56,38	-4,63	-7,58	-0,42	-0,73
Marina × Lela	29,50	-11,69*	-28,38	3,92	15,31
Bc 6121/09 × Fr1E1_4	12,56	0,98	8,45	2,96	30,80
Bc 6121/09 × 20812.2.8	4,78	-2,46	-33,95	3,86	419,46
Bc 6121/09 × Tina	32,79	2,97	9,95	19,23**	141,78
Bc 6121/09 × Golubica	43,33	3,95	10,02	29,77**	219,51
Bc 6121/09 × Lela	22,46	2,89	14,74	8,90	65,59
Fr1E1_4 × 20812.2.8	1,37	-3,89	-73,95	0,45	48,87
Fr1E1_4 × Tina	21,71	-6,14	-22,04	12,10*	126,03
Fr1E1_4 × Golubica	18,67	-18,74**	-50,10	9,06	94,36
Fr1E1_4 × Lela	6,92	-10,68*	-60,69	-2,69	-27,98
20812.2.8 × Tina	4,98	-18,53**	-78,83	4,05	440,27
20812.2.8 × Golubica	5,68	-27,39**	-82,84	4,75	516,29
20812.2.8 × Lela	5,07	-8,18	-61,74	4,15	450,68
Tina × Golubica	42,88	-12,77*	-22,95	-3,21	-6,96
Tina × Lela	34,54	-1,29	-3,60	8,96	35,02
Golubica × Lela	31,67	-13,73**	-30,24	6,08	23,78
LSD (P<0.05)	9,66				

*, ** MPH i BPH signifkantni kod P<0,05 odnosno P<0,01

Prosječne vrijednosti F1 križanaca za VRI u umjetnoj inokulaciji kretala se od 1,37 kod križanca Fr1E1_4 × 20812.2.8 do 56,38 kod križanca Marina × Golubica. Prema dobivenim rezultatima za heterozis za VRI u umjetnoj inokulaciji negativni MPH utvrđen je za 22 od 28 križanaca. Negativni heterozis predstavlja smanjenje vrijednosti za VRI kod križanca u odnosu na prosjek roditelja kod MPH ili u odnosu na boljeg roditelja kod BPH. Najviši negativni MPH zabilježen je kod križanca 20812.2.8 × Golubica s iznosom od -27,39 odnosno MPH(%) s iznosom od -82,84%. Visoki negativni MPH zabilježen je i kod križanaca Bc Renata × Golubica (-25,79), Fr1E1_4 × Golubica (-18,74), 20812.2.8 × Tina (-18,53), Marina × 20812.2.8 (-17,88) te Golubica × Lela (-13,73). Vrijednosti za MPH svih navedenih križanaca bile su signifikantne, a signifikantnost za negativni MPH utvrđena je još kod 6 križanaca. Promatrajući rezultate za MPH(%) visoki negativni heterozis, uz ranije navedene, utvrđen je i za križance Fr1E1_4 × 20812.2.8 (-73,95%) i 20812.2.8 × Lela (-61,74%), iako kod ovih križanaca MPH nije velik zbog niskih vrijednosti roditelja za VRI. Negativni BPH za VRI u umjetnoj inokulaciji zabilježen je kod 6 križanaca. Bolji roditelj u ovom slučaju je onaj s nižom vrijednosti za VRI, a negativni BPH predstavlja smanjenje vrijednosti za VRI kod križanca u odnosu boljeg roditelja. Negativni BPH utvrđeni su kod križanaca Bc Renata × Lela s vrijednosti od -5,19, Marina × Tina (-5,00), Tina × Golubica (-3,21), Fr1E1_4 × Lela (-2,69), Bc Renata × Fr1E1_4 (-2,42) i Marina × Golubica (-0,42). Navedene negativne vrijednosti za BPH nisu bile signifikantne.

Prosječna vrijednost, MPH, MPH(%), BPH te BPH(%) za F1 križance dobivene dialelnim križanjem 8 × 8 bez reciproka, za tri godine ispitivanja za FDK u umjetnoj inokulaciji prikazani su u Tablici 14.

Prosječne vrijednosti križanaca za FDK u umjetnoj inokulaciji kretale su se od 3,02 do 34,34. Najniža vrijednost utvrđena je kod križanca Bc Renata × 20812.2.8, a najviša kod križanca Marina × Golubica koji je imao najveću vrijednost i za VRI. Negativni MPH za FDK u umjetnoj inokulaciji utvrđen je kod svih križanaca, što znači da je kod svih križanaca njihov prosjek bio manji od prosjeka roditelja. Visoki negativni MPH utvrđeni su kod križanaca Bc Renata × Golubica (-23,58), Fr1E1_4 × Golubica (-20,54), Tina × Golubica (-19,53), 20812.2.8 × Golubica (-16,65) te Golubica × Lela (-16,00). Uključujući navedene, kod ukupno 19 križanaca MPH je bio signifikantan. Primjećujemo da je visoko negativni apsolutni MPH većinom zabilježen kod križanaca dobivenih križanjem roditelja s visokim i roditelja niskim vrijednostima za FDK prikazanim u Tablici 6. Također uočavamo da kod križanaca s niskim vrijednostima roditelja za FDK, MPH križanca nije bio visoko negativan, dok je MPH(%) visoko negativan. Takav primjer je križanac Bc Renata × 20812.2.8 s vrijednosti za MPH od -3,02, dok je vrijednosti MPH(%) bila -53,99%, što ga svrstava u skupinu križanaca s visoko negativnim MPH(%). Negativni heterozis u odnosu na boljeg

roditelja, kojeg predstavlja roditelj s nižom vrijednosti za FDK, utvrđen je kod 15 križanaca. Najviše negativne signifikantne vrijednosti za BPH zabilježene su kod križanaca Tina × Golubica (-14,51), Marina × Golubica (-10,43) te Fr1E1_4 × Golubica (-8,74), dok ostale negativne vrijednosti za BPH nisu bile signifikantne. Iako zbog niske vrijednosti za FDK boljeg roditelja, Bc Renate, za križance Bc Renata × Golubica i Bc Renata × Lela nisu zabilježene najviše negativne vrijednosti za BPH, vrijednosti BPH(%) ovih križanaca s vrijednostima od -60,45% i -60,32% su bile najviše negativne vrijednosti za BPH(%).

Tablica 14. Prosjek, heterozis u odnosu na roditeljski prosjek (MPH), MPH(%), heterozis u odnosu na boljeg roditelja (BPH) i BPH(%) za FDK u umjetnoj inokulaciji.

Križanac	Prosjek	MPH	MPH(%)	BPH	BPH(%)
Bc Renata × Marina	20,71	-8,57*	-29,28	9,23*	80,40
Bc Renata × Bc 6121/09	10,61	-5,92	-35,83	-0,87	-7,56
Bc Renata × Fr1E1_4	7,62	-8,70*	-53,31	-3,86	-33,64
Bc Renata × 20812.2.8	3,02	-3,54	-53,99	1,38	83,86
Bc Renata × Tina	8,71	-14,39**	-62,31	-2,77	-24,16
Bc Renata × Golubica	4,54	-23,58**	-83,85	-6,94	-60,45
Bc Renata × Lela	4,56	-13,80**	-75,19	-6,92	-60,32
Marina × Bc 6121/09	28,58	-5,76	-16,78	6,99	32,36
Marina × Fr1E1_4	22,78	-11,33**	-33,22	1,63	7,72
Marina × 20812.2.8	12,07	-12,30**	-50,48	10,42*	634,92
Marina × Tina	30,66	-10,24*	-25,03	-4,06	-11,68
Marina × Golubica	34,34	-11,59**	-25,23	-10,43*	-23,29
Marina × Lela	26,71	-9,45*	-26,12	1,48	5,85
Bc 6121/09 × Fr1E1_4	17,43	-3,94	-18,42	-3,72	-17,57
Bc 6121/09 × 20812.2.8	8,96	-2,66	-22,90	7,31	445,48
Bc 6121/09 × Tina	25,12	-3,04	-10,78	3,53	16,35
Bc 6121/09 × Golubica	30,90	-2,28	-6,87	9,31*	43,11
Bc 6121/09 × Lela	21,31	-2,11	-8,99	-0,28	-1,30
Fr1E1_4 × 20812.2.8	3,13	-8,27*	-72,53	1,49	90,66
Fr1E1_4 × Tina	18,92	-9,01*	-32,26	-2,23	-10,53
Fr1E1_4 × Golubica	12,41	-20,54**	-62,34	-8,74*	-41,31
Fr1E1_4 × Lela	13,76	-9,44*	-40,68	-7,39	-34,95
20812.2.8 × Tina	5,51	-12,67**	-69,70	3,87	235,53
20812.2.8 × Golubica	6,56	-16,65**	-71,74	4,92	299,39
20812.2.8 × Lela	4,30	-9,14*	-68,03	2,66	161,73
Tina × Golubica	20,21	-19,53**	-49,15	-14,51**	-41,79
Tina × Lela	23,69	-6,29	-20,97	-1,55	-6,13
Golubica × Lela	19,00	-16,00**	-45,72	-6,24	-24,73
LSD (P<0.05)	8,18				

*, ** MPH i BPH signifikantni kod P<0,05 odnosno P<0,01

Prosječna vrijednost, MPH, MPH(%), BPH te BPH(%) za F1 križance dobivene dialelnim križanjem 8 × 8 bez reciproka, za tri godine ispitivanja za sadržaj DON-a u umjetnoj inokulaciji prikazani su u Tablici 15.

Tablica 15. Prosjek, heterozis u odnosu na roditeljski prosjek (MPH), MPH(%), heterozis u odnosu na boljeg roditelja (BPH) i BPH(%) za DON u umjetnoj inokulaciji.

Križanac	Prosjek	MPH	MPH(%)	BPH	BPH(%)
Bc Renata × Marina	4356	-2997**	-41	2024	87
Bc Renata × Bc 6121/09	3342	-1531	-31	1011	43
Bc Renata × Fr1E1_4	2727	-482	-15	395	17
Bc Renata × 20812.2.8	774	-609	-44	339	78
Bc Renata × Tina	2975	-2175*	-42	644	28
Bc Renata × Golubica	2583	-3672**	-59	252	11
Bc Renata × Lela	1485	-2556*	-63	-846	-36
Marina × Bc 6121/09	9904	10	0	2490*	34
Marina × Fr1E1_4	7306	-925	-11	3219**	79
Marina × 20812.2.8	2865	-3540**	-55	2429*	558
Marina × Tina	7961	-2211*	-22	-8	0
Marina × Golubica	9667	-1610	-14	-511	-5
Marina × Lela	7700	-1363	-15	1949	34
Bc 6121/09 × Fr1E1_4	5326	-425	-7	1239	30
Bc 6121/09 × 20812.2.8	2682	-1243	-32	2246*	516
Bc 6121/09 × Tina	7239	-453	-6	-175	-2
Bc 6121/09 × Golubica	8649	-147	-2	1235	17
Bc 6121/09 × Lela	6119	-463	-7	368	6
Fr1E1_4 × 20812.2.8	1706	-556	-25	1270	291
Fr1E1_4 × Tina	4985	-1043	-17	899	22
Fr1E1_4 × Golubica	4157	-2975**	-42	70	2
Fr1E1_4 × Lela	4251	-668	-14	164	4
20812.2.8 × Tina	1353	-2849**	-68	918	211
20812.2.8 × Golubica	1781	-3526**	-66	1345	309
20812.2.8 × Lela	1566	-1528	-49	1130	259
Tina × Golubica	7249	-1824	-20	-720	-9
Tina × Lela	7997	1137	17	2246*	39
Golubica × Lela	5161	-2804**	-35	-590	-10
LSD (P<0.05)	2108				

*,** MPH i BPH signifikantni kod P<0,05 odnosno P<0,01

Prosječne vrijednosti križanaca za sadržaj DON-a u umjetnoj inokulaciji kretale su se od 774 µg/kg kod križanca Bc Renata × 20812.2.8 do 9904 µg/kg kod Marina × Bc 6121/09.

Najviše negativne vrijednosti za MPH za DON u umjetnoj inokulaciji utvrđene su za križance Bc Renata × Golubica (-3672), Marina × 20812.2.8 (-3540) te 20812.2.8 × Golubica (-3526). Negativne vrijednosti za MPH utvrđene su kod 26 od 28 križanaca, a kod 10 križanaca negativni MPH je bio signifikantan. Pozitivne vrijednosti za MPH utvrđene su samo za križance Tina × Lela (1137) i Marina × Bc 6121/09 (10). Promatrajući MPH(%) za DON možemo izdvojiti dva križanca koji su imali nisku negativnu vrijednost za MPH, a visoku za MPH(%). To su križanci 20812.2.8 × Lela s vrijednosti za MPH(%) od -49% i Bc Renata × 20812.2.8 s vrijednosti od -44%. Vrijednosti križanaca za BPH za sadržaj DON-a kretale su se od -846 do 3219. Bolji roditelj predstavlja onoga s nižom vrijednosti za sadržaj DON-a. Kod 6 križanaca utvrđena je negativna vrijednost za BPH, a to su Bc Renata × Lela (-846), Tina × Golubica (-720), Golubica × Lela (-590), Marina × Golubica (-511), Bc 6121/09 × Tina (-175) te Marina × Tina (-8). Najviši pozitivni BPH utvrđen je za križance Marina × Fr1E1_4 (3219), Marina × Bc 6121/09 (2490) te Marina × 20812.2.8 (2429). Primjećujemo da je kod sva tri križanca jedan od roditelja Marina koja je imala najviši sadržaj DON-a od svih roditelja (Tablica 6), dok su vrijednosti za sadržaj DON-a drugog roditelja bile one najniže. Također primjećujemo da što je sadržaj DON-a drugog roditelja niži to je viša vrijednost za BPH(%).

Prosječna vrijednost, MPH, MPH(%), BPH te BPH(%) za F1 križance dobivene dialelnim križanjem 8 × 8 bez reciproka, za tri godine ispitivanja za sadržaj ZEN-a u umjetnoj inokulaciji prikazani su u Tablici 16.

Križanac s najmanjom prosječnom vrijednosti za sadržaj ZEN-a u umjetnoj inokulaciji bio je Bc Renata × 20812.2.8 (1,71), dok je najveću prosječnu vrijednost imao križanac Tina × Lela (98,08). Negativne vrijednosti za MPH za sadržaj ZEN-a u umjetnoj inokulaciji utvrđene su kod 26 križanaca od kojih je 15 bilo signifikantnih. Najviše negativne vrijednost za MPH zabilježene su kod križanca 20812.2.8 × Golubica (-95,84), Bc Renata × Golubica (-94,19), Marina × Golubica (-88,62), Tina × Golubica (-85,64) i Fr1E1_4 × Golubica (-84,29). Treba također istaknuti i visoke negativne BPH(%) kod križanaca 20812.2.8 × Tina (-89,68%), Marina × 20812.2.8 (-89,37%), Bc Renata × Tina (-84,52%), Bc Renata × Lela (-81,41%) te 20812.2.8 × Lela (-80,30%). Pozitivne vrijednosti za MPH utvrđene su kod križanaca Tina × Lela (17,94) i Bc 6121/09 × Lela (5,43). Najviše negativne vrijednosti za BPH za sadržaj ZEN-a utvrđene su kod križanaca Marina × Golubica (-74,78) i Marina × Tina (-41,90). Bolji roditelj i u ovom slučaju je onaj s manjom vrijednosti za sadržaj DON-a. Ukupno je utvrđeno 10 negativnih vrijednosti za BPH, a samo su za dva ranije navedena križanca bile signifikantne.

Tablica 16. Prosjek, heterozis u odnosu na roditeljski prosjek (MPH), MPH(%), heterozis u odnosu na boljeg roditelja (BPH) i BPH(%) za ZEN u umjetnoj inokulaciji.

Križanac	Prosijek	MPH	MPH(%)	BPH	BPH(%)
Bc Renata × Marina	20,06	-66,88**	-76,93	13,43	202,54
Bc Renata × Bc 6121/09	10,14	-8,33	-45,10	3,51	52,96
Bc Renata × Fr1E1_4	6,78	-6,16	-47,61	0,15	2,27
Bc Renata × 20812.2.8	1,71	-2,87	-62,67	-0,81	-32,12
Bc Renata × Tina	8,26	-45,08*	-84,52	1,63	24,52
Bc Renata × Golubica	6,57	-94,19**	-93,48	-0,06	-0,84
Bc Renata × Lela	6,22	-27,21	-81,41	-0,41	-6,25
Marina × Bc 6121/09	58,87	-39,90*	-40,40	28,56	94,20
Marina × Fr1E1_4	35,42	-57,83**	-62,02	16,16	83,94
Marina × 20812.2.8	9,02	-75,85**	-89,37	6,51	258,92
Marina × Tina	58,15	-75,49**	-56,49	-41,90*	-41,88
Marina × Golubica	92,45	-88,62**	-48,94	-74,78**	-44,72
Marina × Lela	71,42	-42,31*	-37,20	11,19	18,58
Bc 6121/09 × Fr1E1_4	17,92	-6,87	-27,70	-1,33	-6,93
Bc 6121/09 × 20812.2.	8,08	-8,33	-50,76	5,57	221,51
Bc 6121/09 × Tina	45,56	-19,62	-30,10	15,25	50,29
Bc 6121/09 × Golubica	69,07	-43,54*	-38,66	38,76*	127,84
Bc 6121/09 × Lela	50,70	5,43	11,99	20,39	67,25
Fr1E1_4 × 20812.2.8	2,48	-8,41	-77,22	-0,03	-1,38
Fr1E1_4 × Tina	36,49	-23,16	-38,83	17,23	89,50
Fr1E1_4 × Golubica	22,79	-84,29**	-78,71	3,54	18,37
Fr1E1_4 × Lela	16,01	-23,73	-59,72	-3,25	-16,86
20812.2.8 × Tina	5,29	-45,99**	-89,68	2,78	110,43
20812.2.8 × Golubica	2,87	-95,84**	-97,09	0,36	14,15
20812.2.8 × Lela	6,18	-25,19	-80,30	3,67	145,84
Tina × Golubica	61,83	-85,64**	-58,07	-38,22	-38,20
Tina × Lela	98,08	17,94	22,39	37,85	62,85
Golubica × Lela	58,89	-68,68**	-53,84	-1,34	-2,23
LSD (P<0.05)	38,64				

*, ** MPH i BPH signifikantni kod P<0,05 odnosno P<0,01

Prema rezultatima za MPH za VRI, FDK, sadržaj DON-a i sadržaj ZEN-a visoke negativne vrijednosti su utvrđene kod križanaca Bc Renata × Golubica, 20812.2.8 × Golubica i Fr1E1_4 × Golubica. Kod navedenih križanaca MPH za sva svojstva je bio visokosignifikantan. Također, izdvajaju se križanci 20812.2.8 × Tina, Bc Renata × Lela i 20812.2.8 × Lela s visokim negativnim MPH(%) za sva svojstva. Visoko negativna vrijednost za BPH za sva testirana svojstva zabilježena je kod križanca Tina × Golubica te za vrijednost BPH(%) kod križanca Bc Renata × Lela.

4.12. Korelacije između svojstava u uvjetima umjetne inokulacije

Korelacije između VRI, FDK, agronomskih svojstava, sadržaja proteina te sadržaja mikotoksina (DON-a i ZEN-a) kroz tri godine ispitivanja u uvjetima umjetne inokulacije prikazane su u Tablici 17.

Visoka pozitivna korelacija (0,93**) utvrđena je između VRI i FDK. Također, visoke pozitivne korelacije utvrđene su između VRI i sadržaja DON-a (0,91**) te VRI i sadržaja ZEN-a (0,91**). Korelacija između VRI i uroda zrna bila je izrazito negativna (-0,84**), kao i korelacija između VRI i hektolitarske mase (-0,91**). Za komponente uroda zrna najviša negativna korelacija utvrđena je između VRI i mase 1000 zrna (-0,75**), slijedi korelacija između VRI i mase zrna po klasu (-0,59**), dok korelacija između VRI i broja zrna po klasu s iznosom od -0,11 nije bila signifikantna. Zanimljiva je visoka negativna korelacija između VRI i visine genotipa (-0,74**) koja ukazuje da je visina genotipa znatno utjecala na vrijednost za VRI. Vrlo niska negativna i nesignifikantna je bila korelacija između VRI i broja dana do cvatnje (-0,06) te možemo zaključiti da kod testiranih genotipova nije bilo povezanosti između dužine vegetacije genotipa sa simptomima pojave zaraze na klasu. Sadržaj proteina je bio u vrlo niskoj pozitivnoj korelaciji sa VRI (0,04) što upućuje da otpornost genotipa na FHB ne utječe na genetski potencijal genotipa za sadržaj proteina.

Vrlo visoka pozitivna korelacija utvrđena je između FDK i sadržaja mikotoksina. Tako je korelacija između FDK i sadržaja DON-a bila 0,96**, dok je nešto niža bila između FDK i sadržaja ZEN-a (0,91**). Izrazito visoka negativna korelacija utvrđena je između FDK i hektolitarske mase (-0,95**) te FDK i uroda zrna (-0,84**). Korelacije između FDK i komponenti uroda bile su slične onima između VRI i komponenti uroda. Tako je najviša negativna korelacija zabilježena između FDK i mase 1000 zrna (-0,78**), FDK i mase zrna po klasu (-0,61**), dok korelacija između FDK i broja zrna po klasu (-0,11) nije bila signifikantna. Visina genotipa je i s FDK bila u negativnoj korelaciji (-0,82**), dok su vrlo niske korelacije utvrđene između FDK i broja dana do cvatnje (0,09) te FDK i sadržaja proteina (0,02). Budući da je korelacija između VRI i FDK bila vrlo visoka, tako su i korelacije ova dva svojstva sa svim drugima bile vrlo slične.

Urod zrna u uvjetima umjetne inokulacije bio je u visokoj pozitivnoj korelaciji s hektolitarskom masom (0,80**). Od komponenti uroda najveća pozitivna korelacija utvrđena je između uroda zrna i mase 1000 zrna (0,84**). Nešto niža je korelacija između uroda zrna i mase zrna po klasu (0,82**), dok je najniža korelacija bila između uroda zrna i broja zrna po klasu (0,34*). Visoka pozitivna korelacija utvrđena je između uroda zrna i visine genotipa (0,83**), a visoka negativne korelacije između uroda zrna i sadržaja DON-a (-0,80**) te

uroda zrna i sadržaja ZEN-a (-0,87**). Vrlo niska negativna korelacija zabilježena je između uroda zrna i broj dana do cvatnje (-0,05), dok je između urod zrna i sadržaja proteina (-0,27) bila nešto viša.

Masa 1000 zrna bila je u jakoj pozitivnoj korelaciji s hektolitarskom masom (0,77**), masom zrna po klasu (0,76**) i visinom genotipa (0,72**). Vrlo slaba pozitivna korelacija utvrđena je između mase 1000 zrna i broja zrna po klasu (0,07). U negativnoj korelaciji bila je masa 1000 zrna sa sadržajem DON-a (-0,71**) te nešto jačoj sa sadržajem ZEN-a (-0,82**). Niske korelacije utvrđene su između mase 1000 zrna i broja dana do cvatnje (-0,12) te mase 1000 zrna i sadržaja proteina (-0,22).

Visoka negativna korelacija utvrđena je između hektolitarske mase i sadržaja DON-a (-0,94**) te hektolitarske mase i sadržaja ZEN-a (-0,84**). U pozitivnoj korelaciji hektolitarska masa je bila s masom zrna po klasu (0,56**) te visinom (0,77**). Slabe korelacije utvrđene su između hektolitarske mase i broja zrna po klasu (0,04), hektolitarske mase i broja dana do cvatnje (-0,16) te hektolitarske mase i sadržaja proteina (0,03).

Broj zrna po klasu je bio u visokoj pozitivnoj korelaciji s masom zrna po klasu (0,69**) te negativnoj sa sadržajem proteina (-0,41*). Slabe korelacije utvrđene su između broja zrna po klasu i visine genotipa (0,26), broja zrna po klasu i broja dana do cvatnje (-0,01), broja zrna po klasu i sadržaja DON-a (-0,13) te broja zrna po klasu i sadržaja ZEN-a (-0,14). Negativna korelacija utvrđena je između mase zrna po klasu i sadržaja proteina (-0,45**), mase zrna po klasu i sadržaja DON-a (-0,57**) te mase zrna po klasu i sadržaja ZEN-a (-0,67**). Masa zrna po klasu bila je u pozitivnoj korelaciji s visinom (0,69**). Između mase zrna po klasu i broja dana do cvatnje korelacija je bila vrlo slaba (-0,10).

Jaka negativna korelacija utvrđena je između visine i sadržaja DON-a (-0,82**) te visine i sadržaja ZEN-a (-0,75**). Korelacija između visine i broja dana do cvatnje (0,07) kao i između visine i sadržaja proteina (-0,18) su bile vrlo slabe. Korelacije između broja dana do cvatnje i sadržaja proteina (0,31), broja dana do cvatnje i sadržaja DON-a (0,15) te broja dana do cvatnje i sadržaja ZEN-a (-0,01) su bile vrlo niske. Niske korelacije utvrđene su između sadržaja proteina i sadržaja DON-a (0,04) te sadržaja proteina i sadržaja ZEN-a (0,12).

Korelacija između sadržaja DON-a i sadržaja ZEN-a (0,86**) je bila vrlo visoka.

Tablica 17. Korelacije između svojstava u uvjetima umjetne inokulacije.

Svojstvo	FDK	Urod zrna	Masa 1000 zrna	Hektolitarska masa	Broj zrna po klasu	Masa zrna po klasu	Visina genotipa	Broj dana do cvatnje	Sadržaj proteina	Sadržaj DON-a	Sadržaj ZEN-a
VRI	0,93**	-0,84**	-0,75**	-0,91**	-0,11	-0,59**	-0,74**	-0,06	0,04	0,91**	0,91**
FDK		-0,84**	-0,78**	-0,95**	-0,11	-0,61**	-0,82**	0,09	0,02	0,96**	0,91**
Urod zrna			0,84**	0,80**	0,34*	0,82**	0,83**	-0,05	-0,27	-0,80**	-0,87**
Masa 1000 zrna				0,77**	0,07	0,76**	0,72**	-0,12	-0,22	-0,71**	-0,82**
Hektolitarska masa					0,04	0,56**	0,77**	-0,16	0,03	-0,94**	-0,84**
Broj zrna po klasu						0,69**	0,26	-0,01	-0,41*	-0,13	-0,14
Masa zrna po klasu							0,69**	-0,10	-0,45**	-0,57**	-0,67**
Visina genotipa								0,07	-0,18	-0,82**	-0,75**
Broj dana do cvatnje									0,31	0,15	-0,01
Sadržaj proteina										0,04	0,12
Sadržaj DON-a											0,86**

*,** korelacijski koeficijent (r) signifikantan kod $P < 0,05$ odnosno $P < 0,01$

4.13. Korelacije između svojstava u prirodnim uvjetima

Korelacije između VRI, FDK, agronomskih svojstava te sadržaja proteina kroz tri godine ispitivanja u prirodnim uvjetima prikazane su u Tablici 18.

Visoka pozitivna korelacija (0,73**) u prirodnim uvjetima utvrđena je između VRI i FDK. Visoke negativne korelacije utvrđene su između VRI i uroda zrna (-0,49**), VRI i hektolitarske mase (-0,46**) te VRI i visine genotipa (-0,62**). U prirodnim uvjetima VRI je bio u vrlo slaboj korelaciji s masom 1000 zrna (0,02), brojem zrna po klasu (0,26), masom zrna po klasu (0,21), sadržajem proteina (0,02) i brojem dana do cvatnje (-0,05). Negativne korelacije utvrđene su između FDK i uroda zrna (-0,38*), FDK i hektolitarske mase (-0,41*) te FDK i visine genotipa (-0,39*). Primjećujemo da su ista svojstva u negativnoj korelaciji sa VRI i sa FDK, samo što su kod FDK korelacije nešto slabije. Korelacije FDK s masom 1000 zrna (0,07), brojem zrna po klasu (0,23), masom zrna po klasu (0,20), sadržajem proteina (-0,08) te brojem dana do cvatnje (0,09) su bile vrlo slabe.

Urod zrna bio je u pozitivnoj korelaciji s masom 1000 zrna (0,54**), masom zrna po klasu (0,52**) te visinom genotipa (0,52**). U prirodnim uvjetima primjećujemo negativnu korelaciju između uroda zrna i sadržaja proteina (-0,42*). Slabe korelacije utvrđene su između uroda zrna i hektolitarske mase (0,28), uroda zrna i broja zrna po klasu (0,20) te uroda zrna i broja dana do cvatnje (-0,30). Pozitivne korelacije utvrđena je između mase 1000 zrna i mase zrna po klasu (0,71**), a negativna između mase 1000 zrna i sadržaja proteina (-0,44**). Masa 1000 zrna je bila u slaboj korelaciji s hektolitarskom masom (-0,15), brojem zrna po klasu (0,03), visinom genotipa (0,08) i brojem dana do cvatnje (-0,18). Visoka negativna korelacija zabilježena je između hektolitarske mase i broja dana do cvatnje (-0,49**). Slabe pozitivne korelacije utvrđene su između hektolitarske mase i visine genotipa (0,37*) te hektolitarske mase i sadržaja proteina (0,33*). Vrlo slabe negativne korelacije bile su između hektolitarske mase i mase zrna po klasu (-0,25) te hektolitarske mase i broja zrna po klasu (-0,23). Broj zrna po klasu je u visokoj pozitivnoj korelaciji s masom zrna po klasu (0,72**), dok su korelacije između broja zrna po klasu i sadržaja proteina (-0,20), visine genotipa (0,11) te broja dana do cvatnje (-0,05) vrlo slabe. Masa zrna po klasu je u negativnoj korelaciji sa sadržajem proteina (-0,46**), dok su korelacije između mase zrna po klasu i visine genotipa (0,14) kao i mase zrna po klasu i broja dana do cvatnje (-0,18) vrlo niske. Korelacije između sadržaja proteina i visine genotipa (-0,07), sadržaja proteina i broja dana do cvatnje (-0,18) kao i korelacija između visine genotipa i broja dana do cvatnje također su vrlo niske.

Tablica 18. Korelacije između testiranih svojstava kroz tri godine u prirodnim uvjetima.

Svojstvo	FDK	Urod zrna	Masa 1000 zrna	Hektolitarska masa	Broj zrna po klasu	Masa zrna po klasu	Sadržaj proteina	Visina genotipa	Broj dana do cvatnje
VRI	0,73**	-0,49**	0,02	-0,46**	0,26	0,21	0,02	-0,62**	-0,05
FDK		-0,38*	0,07	-0,41*	0,23	0,20	-0,08	-0,39*	0,09
Urod zrna			0,54**	0,28	0,20	0,52**	-0,42*	0,52**	-0,30
Masa 1000 zrna				-0,15	0,03	0,71**	-0,44**	0,08	-0,18
Hektolitarska masa					-0,23	-0,25	0,33*	0,37*	-0,49**
Broj zrna po klasu						0,72**	-0,20	0,11	-0,05
Masa zrna po klasu							-0,46**	0,14	-0,18
Sadržaj proteina								-0,07	0,23
Visina genotipa									0,07

*,** korelacijski koeficijent (r) signifikantan kod $P < 0,05$ odnosno $P < 0,01$

4.14. Korelacije između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta

Korelacije između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta za osam svojstava testiranih u oba tipa infekcije po godinama i za sve tri godine zajedno prikazane su u Tablici 19.

Tablica 19. Korelacije između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta za osam svojstava

Svojstvo	Godina			
	2014	2015	2016	2014-2016
VRI	0.76 **	0.77 **	0.79 **	0.86 **
FDK	0.55 **	0.24	0.41 *	0.62 **
Urod zrna	0.79 **	0.54 **	0.73 **	0.76 **
Masa zrna po klasu	0.63 **	0.03	0.50 **	0.50 **
Broj zrna po klasu	0.62 **	0.36 *	0.65 **	0.70 **
Masa 1000 zrna	0.70 **	0.29	0.53 **	0.54 **
Hektolitarska masa	0.70 **	0.50 **	0.65 **	0.70 **
Sadržaj proteina	0.75 **	0.73 **	0.87 **	0.87 **

*, ** korelacijski koeficijent (r) signifikantan kod $P < 0,05$ odnosno $P < 0,01$

Korelacije između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta za VRI kretale su od 0,76** do 0,79** za pojedinačne godine, a ako promatramo sve tri godine zajedno korelacija je iznosila 0,86**. Za svojstvo FDK korelacija između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta za sve godine iznosila je 0,62**, a po godinama je varirala od 0,24 do 0,55**. Primjećujemo da je najslabija korelacija utvrđena 2015. godine kada su vrijednosti za FDK u prirodnim uvjetima (Grafikon 10.) bili najniže. U godinama kada su vrijednosti za FDK u prirodnim uvjetima bile više i korelacija između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta je bila viša. Visoka korelacija između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta za pojedinačne godine i sve godine zajedno utvrđena je i za urod zrna. Korelacije su se kretale od 0,54** do 0,79** po godinama, a za sve godine zajedno korelacija je bila 0,76**. Korelacija za masu zrna po klasu 2014. godine je iznosila 0,63**, 2015. godine 0,03, a 2016. godine 0,50**, dok je za sve tri godine iznosila 0,50**. Za broj zrna po klasu korelacija po godinama je varirala od 0,36* do 0,70**, a za sve godine iznosila je 0,70**. Korelacija za masu 1000 zrna se kretala od 0,29 do 0,70** po godinama, a za sve testirane godine vrijednost korelacije je bila 0,54**. Korelacija za hektolitarsku masu između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta je 2014. godine iznosila 0,70**, 2015. godine 0,50**, a 2016. godine 0,65**, dok je za sve tri godine korelacija bila 0,70**. Za sadržaj proteina utvrđena je visoka korelacija između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta kako za pojedinačne godine tako i za sve testirane godine zajedno. Tako je 2014. godine iznosila 0,75**, 2015. godine 0,73**, 2016. godine 0,87**, a za sve tri godine zajedno 0,87**.

4.15. Razlika u svojstvima između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta

Kombinirana analiza varijance (ANOVA) za 36 genotipova ozime pšenice za dva tipa infekcije (umjetna inokulacija i prirodni uvjeti) kroz tri godine ispitivanja za svojstva VRI, FDK, urod, sadržaj proteina, masu zrna po klasu, broj zrna po klasu, masu 1000 zrna i hektolitarsku masu prikazana je u Tablici 20.

Genotipovi su se signifikantno razlikovali za sva testirana svojstva. Signifikantne razlike između tipova infekcije utvrđene su za VRI, FDK i masu zrna po klasu, dok razlike za ostala svojstva nisu bile signifikantne. Godine su se signifikantno razlikovale za urod, sadržaj proteina, masu zrna po klasu, broj zrna po klasu, masu 1000 zrna i hektolitarsku masu. Signifikantne razlike između godina za VRI i FDK nisu utvrđene.

Interakcija godina $\times$ infekcija ($E \times I$) kao i interakcija genotip $\times$ godina ($G \times E$) je bila signifikantna za sva svojstva osim za VRI. Interakcija genotip $\times$ infekcija ($G \times I$) je bila signifikantna za sva svojstva osim za broj zrna po klasu. Za sva svojstva, osim za VRI i sadržaj proteina, signifikantna je bila interakcija genotip $\times$ infekcija $\times$ godina ($G \times I \times E$).

Tablica 20. Kombinirana ANOVA za 36 genotipova za dva tipa infekcije kroz tri godine.

Izvor varijabilnosti	Stupnjevi slobode	Sredina kvadrata	p- vrijednost	Sredina kvadrata	p- vrijednost	Sredina kvadrata	p- vrijednost	Sredina kvadrata	p- vrijednost
		VRI		FDK		Urod		Sadržaj proteina	
Infekcija (I)	1	51903	0,0021	34851,4	0,0365	1,7091	0,0815	130,84	0,1492
Godina (E)	2	10	0,9884	1243,2	0,0519	0,1222	<0.0001	199,29	<0.0001
E × I	2	111	0,0577	1347,2	<0.0001	0,1585	<0.0001	24,96	<0.0001
Genotip (G)	35	977	<0.0001	428,4	<0.0001	0,0587	<0.0001	7,08	<0.0001
G × I	35	849	<0.0001	402,7	<0.0001	0,0094	0,0003	0,49	0,0272
G × E	70	34	0,6185	40,4	0,0030	0,0069	<0.0001	0,67	<0.0001
G × I × E	70	37	0,4173	40,5	0,0029	0,0035	0,0227	0,29	0,5650
Pogreška	210	36		24,2		0,0024		0,30	
		Masa zrna po klasu		Broj zrna po klasu		Masa 1000 zrna		Hektolitarska masa	
Infekcija (I)	1	54,289	0,0231	9411,7	0,0879	2765,4	0,2077	7418,1	0,0887
Godina (E)	2	26,201	<0.0001	9130,2	<0.0001	425,2	<0.0001	616,9	0,0003
E × I	2	1,300	0,0002	951,3	<0.0001	820,1	<0.0001	757,0	<0.0001
Genotip (G)	35	0,790	<0.0001	204,6	0,0028	110,8	<0.0001	175,1	<0.0001
G × I	35	0,250	0,0111	35,2	0,7164	33,2	<0.0001	67,8	<0.0001
G × E	70	0,189	<0.0001	93,6	P<0.0001	11,9	<0.0001	12,3	0,0232
G × I × E	70	0,131	0,0017	42,2	0,0168	10,2	<0.0001	12,1	0,0301
Pogreška	210	0,076		28,4		4,7		8,5	

Prosječni urodi izraženi u kg po parcelici za 36 genotipova u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji za tri godine te razlike prosječnih uroda između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije prikazani su u Tablici 21.

Najviši prosječni urod u prirodnim uvjetima utvrđen je kod genotipa Bc Renata × Tina (0,610), a najniži kod Marine (0,340). U uvjetima umjetne inokulacije najviši urod ostvario je genotip Bc Renata × Fr1E1_4 (0,466), a najniži Golubica (0,157). Kod svih 36 genotipova došlo je do smanjenja uroda u umjetnoj inokulaciji u odnosu na prirodne uvjete, a kod 33 genotipa smanjenje je bilo signifikantno. Najveće smanjenje uroda u kg/parcelici u umjetnoj inokulaciji u odnosu na prirodne uvjete zabilježeno je kod genotipova Tina × Lela (-0,258), Tina (-0,217), Tina × Golubica (-0,193) te Marina × Golubica (-0,190), dok je najveće relativno smanjenje zabilježeno kod genotipa Golubica (-54,7%). Prosječno smanjenje uroda između dva tipa infekcije je bilo -0,126, odnosno -27,2%. Najniže smanjenje uroda utvrđeno je kod genotipova 20812.2.8 (-0,008), Fr1E1_4 × 20812.2.8 (-0,028) te Fr1E1_4 × Tina (-0,043).

Prosječna masa 1000 zrna za 36 genotipova u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji za tri godine te razlike u masi 1000 zrna između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije prikazani su u Tablici 22.

Najveću masu 1000 zrna u prirodnim uvjetima imao je genotip Bc 6121/09 × Tina (51,1), dok je najmanju imao 20812.2.8 (38,7). U umjetnoj inokulaciji najveća masa 1000 zrna bila je kod genotipa 20812.2.8 × Tina (48,7), a najmanja kod Golubice (30,5). Smanjenje mase 1000 zrna u umjetnoj inokulaciji u odnosu na prirodne uvjete utvrđeno je kod 34 genotipa, a kod 26 je bilo signifikantno. Neznatno i nesignifikantno povećanje masa 1000 zrna u umjetnoj inokulaciji u odnosu na prirodne uvjete bilo je kod genotipova 20812.2.8 (0,3) i Bc 6121/09 × 20812.2.8 (0,2). Genotip Marina imao je najveće apsolutno (-11,9) i relativno (-26,5%) smanjenje mase 1000 zrna. Prosječno smanjenje mase 1000 zrna u umjetnoj inokulaciji u odnosu na prirodne uvjete iznosilo je -5,1 odnosno -10,9%.

Tablica 21. Prosječni urod (kg/parcelici) roditelja i njihovih križanaca u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji te razlika uroda između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije.

Genotip	Prirodni uvjeti	Umjetna inokulacija	Razlika		Razlika (%)
Bc Renata	0,479	0,324	-0,154	**	-32,3
Bc Renata × Marina	0,560	0,406	-0,154	**	-27,5
Bc Renata × Bc 6121/09	0,558	0,442	-0,116	**	-20,7
Bc Renata × Fr1E1_4	0,559	0,466	-0,093	**	-16,7
Bc Renata × 20812.2.8	0,542	0,438	-0,105	**	-19,3
Bc Renata × Tina	0,610	0,433	-0,177	**	-29,0
Bc Renata × Golubica	0,515	0,432	-0,083	**	-16,1
Bc Renata × Lela	0,548	0,449	-0,099	**	-18,1
Marina	0,340	0,182	-0,159	**	-46,7
Marina × Bc 6121/09	0,435	0,289	-0,146	**	-33,6
Marina × Fr1E1_4	0,479	0,337	-0,142	**	-29,6
Marina × 20812.2.8	0,473	0,413	-0,059	*	-12,6
Marina × Tina	0,454	0,284	-0,169	**	-37,3
Marina × Golubica	0,400	0,210	-0,190	**	-47,5
Marina × Lela	0,428	0,292	-0,136	**	-31,8
Bc 6121/09	0,442	0,342	-0,099	**	-22,5
Bc 6121/09 × Fr1E1_4	0,505	0,380	-0,125	**	-24,7
Bc 6121/09 × 20812.2.8	0,466	0,401	-0,065	*	-13,9
Bc 6121/09 × Tina	0,494	0,334	-0,160	**	-32,4
Bc 6121/09 × Golubica	0,444	0,259	-0,185	**	-41,7
Bc 6121/09 × Lela	0,471	0,365	-0,106	**	-22,5
Fr1E1_4	0,426	0,336	-0,090	**	-21,2
Fr1E1_4 × 20812.2.8	0,452	0,423	-0,028		-6,3
Fr1E1_4 × Tina	0,405	0,362	-0,043		-10,7
Fr1E1_4 × Golubica	0,470	0,376	-0,094	**	-20,0
Fr1E1_4 × Lela	0,487	0,383	-0,105	**	-21,5
20812.2.8	0,352	0,344	-0,008		-2,2
20812.2.8 × Tina	0,464	0,392	-0,072	*	-15,6
20812.2.8 × Golubica	0,447	0,366	-0,081	**	-18,2
20812.2.8 × Lela	0,460	0,382	-0,078	**	-17,0
Tina	0,432	0,216	-0,217	**	-50,1
Tina × Golubica	0,444	0,250	-0,193	**	-43,6
Tina × Lela	0,488	0,230	-0,258	**	-52,9
Golubica	0,346	0,157	-0,190	**	-54,7
Golubica × Lela	0,418	0,229	-0,189	**	-45,2
Lela	0,348	0,186	-0,162	**	-46,5
Prosjek	0,462	0,336	-0,126		-27,2

*, ** signifikantno kod $P < 0,05$ odnosno $P < 0,01$

Tablica 22. Prosječna masa 1000 zrna (g) roditelja i njihovih križanaca u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji te razlika mase 1000 zrna između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije.

Genotip	Prirodni uvjeti	Umjetna inokulacija	Razlika		Razlika (%)
Bc Renata	42,8	38,9	-3,9	**	-9,1
Bc Renata × Marina	48,5	42,0	-6,5	**	-13,5
Bc Renata × Bc 6121/09	48,2	43,3	-4,9	**	-10,2
Bc Renata × Fr1E1_4	46,0	42,4	-3,7	**	-8,0
Bc Renata × 20812.2.8	43,5	42,4	-1,1		-2,5
Bc Renata × Tina	49,6	45,6	-4,0	**	-8,1
Bc Renata × Golubica	46,4	44,8	-1,6		-3,4
Bc Renata × Lela	46,2	44,5	-1,7		-3,8
Marina	44,9	33,0	-11,9	**	-26,5
Marina × Bc 6121/09	48,7	39,7	-9,0	**	-18,4
Marina × Fr1E1_4	48,1	41,8	-6,3	**	-13,2
Marina × 20812.2.8	47,5	45,9	-1,5		-3,2
Marina × Tina	50,1	41,3	-8,8	**	-17,6
Marina × Golubica	47,2	36,3	-10,9	**	-23,1
Marina × Lela	47,2	41,9	-5,3	**	-11,2
Bc 6121/09	44,7	40,1	-4,6	**	-10,3
Bc 6121/09 × Fr1E1_4	49,5	41,7	-7,8	**	-15,7
Bc 6121/09 × 20812.2.8	46,2	46,4	0,2		0,4
Bc 6121/09 × Tina	51,1	43,2	-7,9	**	-15,4
Bc 6121/09 × Golubica	46,7	38,4	-8,3	**	-17,8
Bc 6121/09 × Lela	47,1	42,0	-5,1	**	-10,8
Fr1E1_4	41,4	38,5	-2,9	*	-6,9
Fr1E1_4 × 20812.2.8	45,5	44,4	-1,1		-2,5
Fr1E1_4 × Tina	48,1	42,4	-5,7	**	-11,9
Fr1E1_4 × Golubica	47,0	43,1	-4,0	**	-8,4
Fr1E1_4 × Lela	47,2	43,8	-3,4	*	-7,1
20812.2.8	38,7	39,0	0,3		0,8
20812.2.8 × Tina	50,2	48,7	-1,5		-2,9
20812.2.8 × Golubica	48,1	46,8	-1,3		-2,7
20812.2.8 × Lela	44,7	43,8	-0,9		-2,1
Tina	46,9	38,4	-8,5	**	-18,0
Tina × Golubica	48,4	39,8	-8,7	**	-17,9
Tina × Lela	48,7	39,9	-8,7	**	-18,0
Golubica	40,6	30,5	-10,1	**	-24,9
Golubica × Lela	43,2	36,7	-6,5	**	-15,1
Lela	39,5	35,0	-4,5	**	-11,5
Prosjek	46,3	41,3	-5,1		-10,9

*, ** signifikantno kod $P < 0,05$ odnosno $P < 0,01$

Prosječna hektolitarska masa za 36 genotipova u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji za tri godine te razlike u hektolitarskoj masi između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije prikazani su u Tablici 23.

Najveću hektolitarsku masu u prirodnim uvjetima imao je genotip 20812.2.8 × Golubica (82,4), a u umjetnoj inokulaciji Bc Renata × Lela (80,1). Najmanju hektolitarsku masu u prirodnim uvjetima imao je genotip Bc 6121/09 (74,8), a u umjetnoj inokulaciji genotip Golubica (58,0). Prosječno smanjenje hektolitarske mase u umjetnoj inokulaciji u odnosu na prirodne uvjete iznosilo je -8,3, odnosno -10,5%. Smanjenje je zabilježeno kod svih genotipova, a kod 31 genotipa je bilo signifikantno. Najveće smanjenje zabilježeno je kod genotipova Golubica (-19,7), Marina × Golubica (-17,2), Marina (-14,9), a kod genotipa Golubica je bilo i najveće relativno smanjenje hektolitarske mase (-25,4). Najmanja i nesignifikantna smanjenja hektolitarske mase u umjetnoj inokulaciji u odnosu na prirodne uvjete zabilježena su kod genotipova 20812.2.8 (-0,8), Bc Renata × Lela (-2,1), Bc 6121/09 × 20812.2.8 (-2,4), Fr1E1_4 × 20812.2.8 (-2,7) i 20812.2.8 × Golubica (-3,2).

Prosječan broj zrna po klasu za 36 genotipova u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji za tri godine te razlika u broju zrna po klasu između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije prikazani su u Tablici 24.

Najveći broj zrna po klasu u prirodnim uvjetima utvrđen je kod genotipa Bc Renata × Marina (81,6), dok je najmanji bio kod Lele (60,5). U umjetnoj inokulaciji najveći broj zrna po klasu je imao genotip Marina × 20812.2.8, dok je Lela imala najmanji (51,2). Prosječno smanjenje broja zrna po klasu u umjetnoj inokulaciji u odnosu na prirodne uvjete je bilo -9,4 zrna po klasu, odnosno -13,5%. Smanjenje broja zrna po klasu u umjetnoj inokulaciji zabilježeno je kod svih 36 genotipova, a kod 30 genotipova smanjenje je bilo signifikantno. Najveće smanjenje broja zrna po klasu u uvjetima umjetne inokulacije u odnosu na prirodne uvjete utvrđeno je kod genotipova Marina × Golubica (-16,4), Marina × Tina (-16,0), Bc Renata × Marina (-14,8), Marina × Bc 6121/09 (-14,4) te genotipa Marina (-14,1). Najmanje smanjenje broja zrna po klasu utvrđeno je za genotipove Fr1E1_4 × Tina (-2,3) i Fr1E1_4 (-2,9).

Tablica 23. Prosječna hektolitarska masa (kg/hl) roditelja i njihovih križanaca u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji te razlika hektolitarske mase između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije.

Genotip	Prirodni uvjeti	Umjetna inokulacija	Razlika		Razlika (%)
Bc Renata	80,6	73,5	-7,1	**	-8,8
Bc Renata × Marina	78,5	66,4	-12,2	**	-15,5
Bc Renata × Bc 6121/09	80,0	74,1	-5,9	**	-7,4
Bc Renata × Fr1E1_4	79,5	74,4	-5,1	**	-6,4
Bc Renata × 20812.2.8	81,0	77,2	-3,8	*	-4,7
Bc Renata × Tina	80,3	75,5	-4,8	**	-6,0
Bc Renata × Golubica	81,5	77,0	-4,5	**	-5,5
Bc Renata × Lela	82,2	80,1	-2,1		-2,6
Marina	75,1	60,2	-14,9	**	-19,8
Marina × Bc 6121/09	76,4	61,7	-14,8	**	-19,3
Marina × Fr1E1_4	76,2	67,6	-8,7	**	-11,4
Marina × 20812.2.8	79,3	75,9	-3,4	*	-4,3
Marina × Tina	76,5	65,4	-11,2	**	-14,6
Marina × Golubica	78,8	61,5	-17,2	**	-21,9
Marina × Lela	79,5	68,5	-11,0	**	-13,9
Bc 6121/09	74,8	66,3	-8,5	**	-11,3
Bc 6121/09 × Fr1E1_4	78,2	70,6	-7,6	**	-9,7
Bc 6121/09 × 20812.2.8	79,9	77,5	-2,4		-3,0
Bc 6121/09 × Tina	77,3	67,9	-9,4	**	-12,2
Bc 6121/09 × Golubica	79,1	65,4	-13,6	**	-17,2
Bc 6121/09 × Lela	80,2	73,1	-7,1	**	-8,8
Fr1E1_4	77,4	70,8	-6,6	**	-8,5
Fr1E1_4 × 20812.2.8	80,7	78,0	-2,7		-3,3
Fr1E1_4 × Tina	76,4	69,6	-6,8	**	-8,8
Fr1E1_4 × Golubica	80,6	73,8	-6,9	**	-8,5
Fr1E1_4 × Lela	81,6	76,5	-5,1	**	-6,2
20812.2.8	80,0	79,2	-0,8		-1,0
20812.2.8 × Tina	80,3	75,5	-4,8	**	-6,0
20812.2.8 × Golubica	82,4	79,2	-3,2		-3,9
20812.2.8 × Lela	82,5	79,1	-3,4	*	-4,1
Tina	76,0	65,6	-10,4	**	-13,7
Tina × Golubica	79,7	67,0	-12,7	**	-15,9
Tina × Lela	80,8	67,0	-13,8	**	-17,1
Golubica	77,7	58,0	-19,7	**	-25,4
Golubica × Lela	81,8	69,4	-12,4	**	-15,2
Lela	81,8	67,8	-14,0	**	-17,1
Prosjeck	79,3	71,0	-8,3		-10,5

*, ** signifikantno kod $P < 0,05$ odnosno $P < 0,01$

Tablica 24. Prosječni broj zrna po klasu roditelja i njihovih križanaca u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji te razlika broja zrna po klasu između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije.

Genotip	Prirodni uvjeti	Umjetna inokulacija	Razlika		Razlika (%)
Bc Renata	68,8	58,8	-9,9	**	-14,5
Bc Renata × Marina	81,6	66,9	-14,8	**	-18,1
Bc Renata × Bc 6121/09	71,8	60,2	-11,6	**	-16,1
Bc Renata × Fr1E1_4	74,7	66,6	-8,0	**	-10,8
Bc Renata × 20812.2.8	72,7	64,5	-8,2	**	-11,2
Bc Renata × Tina	68,5	60,7	-7,8	*	-11,4
Bc Renata × Golubica	74,1	65,9	-8,2	**	-11,1
Bc Renata × Lela	66,6	59,2	-7,4	*	-11,2
Marina	75,1	61,0	-14,1	**	-18,8
Marina × Bc 6121/09	71,0	56,7	-14,4	**	-20,2
Marina × Fr1E1_4	72,4	65,8	-6,6	*	-9,2
Marina × 20812.2.8	77,0	71,2	-5,8		-7,5
Marina × Tina	72,9	56,9	-16,0	**	-22,0
Marina × Golubica	70,9	54,5	-16,4	**	-23,1
Marina × Lela	67,1	59,0	-8,1	**	-12,0
Bc 6121/09	66,7	62,2	-4,5		-6,8
Bc 6121/09 × Fr1E1_4	67,0	58,1	-8,9	**	-13,2
Bc 6121/09 × 20812.2.8	67,9	58,9	-9,0	**	-13,3
Bc 6121/09 × Tina	66,0	60,9	-5,1		-7,8
Bc 6121/09 × Golubica	69,2	58,3	-10,9	**	-15,7
Bc 6121/09 × Lela	67,0	54,5	-12,6	**	-18,7
Fr1E1_4	67,7	64,9	-2,9		-4,3
Fr1E1_4 × 20812.2.8	67,3	59,2	-8,2	**	-12,1
Fr1E1_4 × Tina	64,4	62,2	-2,3		-3,5
Fr1E1_4 × Golubica	70,1	65,3	-4,8		-6,8
Fr1E1_4 × Lela	65,5	55,9	-9,7	**	-14,7
20812.2.8	65,8	56,2	-9,6	**	-14,6
20812.2.8 × Tina	62,6	53,4	-9,2	**	-14,8
20812.2.8 × Golubica	65,3	53,9	-11,4	**	-17,5
20812.2.8 × Lela	65,3	57,8	-7,5	*	-11,5
Tina	66,7	57,4	-9,3	**	-14,0
Tina × Golubica	68,2	56,6	-11,6	**	-17,0
Tina × Lela	65,6	57,1	-8,4	**	-12,9
Golubica	76,2	62,4	-13,8	**	-18,2
Golubica × Lela	74,1	64,5	-9,6	**	-12,9
Lela	60,5	51,2	-9,3	**	-15,4
Prosjek	69,3	60,0	-9,4		-13,5

*, ** signifikantno kod $P < 0,05$ odnosno $P < 0,01$

Prosječna masa zrna po klasu za 36 genotipova u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji za tri godine te razlike u masi zrna po klasu između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije prikazani su u Tablici 25.

Najveća masa zrna po klasu u prirodnim uvjetima utvrđena je kod genotipa Bc Renata × Marina (4,30), dok je kod Lele (2,38) bila najmanja. Najmanja masa zrna po klasu u umjetnoj inokulaciji je također bila kod Lele (1,80), dok je najveća bila kod genotipa Marina × 20812.2.8 (3,27). Prosječno smanjenje mase zrna po klasu u umjetnoj inokulaciji u odnosu na prirodne uvjete bilo je -22,4% ili -0,72 grama. Najveće smanjenje mase zrna po klasu utvrđeno je kod genotipova Marina (-1,28), Marina × Golubica (-1,25), Marina × Tina (-1,25) te Marina × Bc 6121/09 (-1,15). Smanjenje mase zrna po klasu u umjetnoj inokulaciji u odnosu na prirodne uvjete utvrđeno kod svih genotipova, a jedino nesignifikantno ujedno i najmanje smanjenje zabilježeno je kod genotipa Fr1E1_4 (-0,28).

Prosječan sadržaj proteina za 36 genotipova u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji za tri godine te razlike u sadržaju proteina između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije prikazani su u Tablici 26.

Najveći sadržaj proteina u prirodnim uvjetima zabilježen je kod genotipa Marina × Fr1E1_4 (14,26), a najmanji kod Marina × Golubica (11,25). U umjetnoj inokulaciji najveći sadržaj proteina bio je kod genotipa Bc 6121/09 × 20812.2.8 (15,38), dok je najmanji bio kod 20812.2.8 (12,26). Sadržaj proteina je svojstvo čije su vrijednosti bile više u umjetnoj inokulaciji u odnosu na prirodne uvjete. Tako je prosječno povećanje sadržaja proteina u umjetnoj inokulaciji u odnosu na prirodne uvjete bilo 8,8%, odnosno 1,10. Povećanje je utvrđeno kod svih genotipova, a kod njih 32 je bilo signifikantno. Najveće povećanje sadržaja proteina u umjetnoj inokulaciji u odnosu na prirodne uvjete bilo je kod genotipova Bc 6121/09 × Fr1E1_4 (2,08), 20812.2.8 × Tina (1,89) te Bc Renata × Marina (1,81). Najmanja i nesignifikantna povećanja utvrđena su kod genotipova Bc Renata × Tina (0,31), Fr1E1_4 × Tina (0,40), Bc Renata × Fr1E1_4 (0,60) i Marina × Bc 6121/09 (0,61).

Tablica 25. Prosječna masa zrna po klasu (g) roditelja i njihovih križanaca u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji te razlika u masi zrna po klasu između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije.

Genotip	Prirodni uvjeti	Umjetna inokulacija	Razlika		Razlika (%)
Bc Renata	2,93	2,30	-0,63	**	-21,6
Bc Renata × Marina	4,30	2,85	-1,45	**	-33,7
Bc Renata × Bc 6121/09	3,43	2,65	-0,78	**	-22,8
Bc Renata × Fr1E1_4	3,45	2,82	-0,63	**	-18,4
Bc Renata × 20812.2.8.	3,18	2,73	-0,45	**	-14,1
Bc Renata × Tina	3,38	2,77	-0,62	**	-18,2
Bc Renata × Golubica	3,43	2,93	-0,50	**	-14,6
Bc Renata × Lela	3,10	2,62	-0,48	**	-15,6
Marina	3,40	2,12	-1,28	**	-37,7
Marina × Bc 6121/09	3,40	2,25	-1,15	**	-33,8
Marina × Fr1E1_4	3,45	2,77	-0,68	**	-19,8
Marina × 20812.2.8.	3,65	3,27	-0,38	*	-10,5
Marina × Tina	3,67	2,42	-1,25	**	-34,1
Marina × Golubica	3,33	2,08	-1,25	**	-37,5
Marina × Lela	3,13	2,50	-0,63	**	-20,2
Bc 6121/09	2,93	2,52	-0,42	*	-14,2
Bc 6121/09 × Fr1E1_4	3,32	2,43	-0,88	**	-26,6
Bc 6121/09 × 20812.2.8.	3,13	2,72	-0,42	*	-13,3
Bc 6121/09 × Tina	3,37	2,63	-0,73	**	-21,8
Bc 6121/09 × Golubica	3,25	2,28	-0,97	**	-29,7
Bc 6121/09 × Lela	3,15	2,30	-0,85	**	-27,0
Fr1E1_4	2,80	2,52	-0,28		-10,1
Fr1E1_4 × 20812.2.8.	3,05	2,63	-0,42	*	-13,7
Fr1E1_4 × Tina	3,08	2,65	-0,43	*	-14,1
Fr1E1_4 × Golubica	3,30	2,83	-0,47	**	-14,1
Fr1E1_4 × Lela	3,10	2,45	-0,65	**	-21,0
20812.2.8	2,55	2,20	-0,35	*	-13,7
20812.2.8. × Tina	3,15	2,60	-0,55	**	-17,5
20812.2.8. × Golubica	3,13	2,52	-0,62		-19,7
20812.2.8. × Lela	2,92	2,55	-0,37	*	-12,6
Tina	3,13	2,23	-0,90	**	-28,7
Tina × Golubica	3,32	2,23	-1,08	**	-32,7
Tina × Lela	3,20	2,32	-0,88	**	-27,6
Golubica	3,10	1,97	-1,13	**	-36,6
Golubica × Lela	3,18	2,37	-0,82	**	-25,7
Lela	2,38	1,80	-0,58	**	-24,5
Prosjek	3,22	2,49	-0,72		-22,4

*, ** signifikantno kod $P < 0,05$ odnosno $P < 0,01$

Tablica 26. Prosječni sadržaj proteina (%) roditelja i njihovih križanaca u prirodnim uvjetima i umjetnoj inokulaciji te razlika u sadržaju proteina između prirodnih uvjeta i umjetne inokulacije.

Genotip	Prirodni uvjeti	Umjetna inokulacija	Razlika		Razlika (%)
Bc Renata	12,51	13,51	1,00	**	8,0
Bc Renata × Marina	13,05	14,86	1,81	**	13,9
Bc Renata × Bc 6121/09	13,44	14,58	1,14	**	8,5
Bc Renata × Fr1E1_4	14,12	14,71	0,60		4,2
Bc Renata × 20812.2.8	12,28	13,29	1,01	**	8,2
Bc Renata × Tina	13,40	13,71	0,31		2,3
Bc Renata × Golubica	12,06	12,83	0,76	*	6,3
Bc Renata × Lela	12,60	13,88	1,29	**	10,2
Marina	13,97	15,02	1,05	**	7,5
Marina × Bc 6121/09	12,74	13,35	0,61		4,8
Marina × Fr1E1_4	14,26	14,94	0,68	*	4,7
Marina × 20812.2.8	12,01	13,13	1,12	**	9,4
Marina × Tina	12,56	13,71	1,15	**	9,1
Marina × Golubica	11,25	12,47	1,22	**	10,9
Marina × Lela	12,23	12,94	0,71	*	5,8
Bc 6121/09	11,83	13,07	1,24	**	10,5
Bc 6121/09 × Fr1E1_4	12,68	14,76	2,08	**	16,4
Bc 6121/09 × 20812.2.8	13,61	15,38	1,78	**	13,1
Bc 6121/09 × Tina	12,51	14,08	1,57	**	12,6
Bc 6121/09 × Golubica	13,30	14,34	1,05	**	7,9
Bc 6121/09 × Lela	11,87	13,63	1,76	**	14,8
Fr1E1_4	13,37	14,39	1,01	**	7,6
Fr1E1_4 × 20812.2.8	13,02	13,95	0,92	**	7,1
Fr1E1_4 × Tina	12,99	13,39	0,40		3,1
Fr1E1_4 × Golubica	11,87	12,95	1,08	**	9,1
Fr1E1_4 × Lela	11,58	12,93	1,35	**	11,7
20812.2.8	11,41	12,26	0,85	**	7,4
20812.2.8 × Tina	12,29	14,18	1,89	**	15,4
20812.2.8 × Golubica	11,90	13,04	1,15	**	9,6
20812.2.8 × Lela	12,66	13,82	1,15	**	9,1
Tina	13,07	14,01	0,94	**	7,2
Tina × Golubica	11,65	12,88	1,24	**	10,6
Tina × Lela	12,64	13,37	0,73	*	5,8
Golubica	11,70	12,70	0,99	**	8,5
Golubica × Lela	12,47	13,58	1,12	**	8,9
Lela	11,58	12,45	0,87	**	7,5
Prosjek	12,57	13,67	1,10		8,8

*, ** signifikantno kod $P < 0,05$ odnosno $P < 0,01$

4.16. Visina genotipova i broj dana do cvatnje

Kombinirana analiza varijance za 36 genotipova ozime pšenice kroz tri godine ispitivanja za svojstva visine i broja dana do cvatnje prikazane je u Tablici 27.

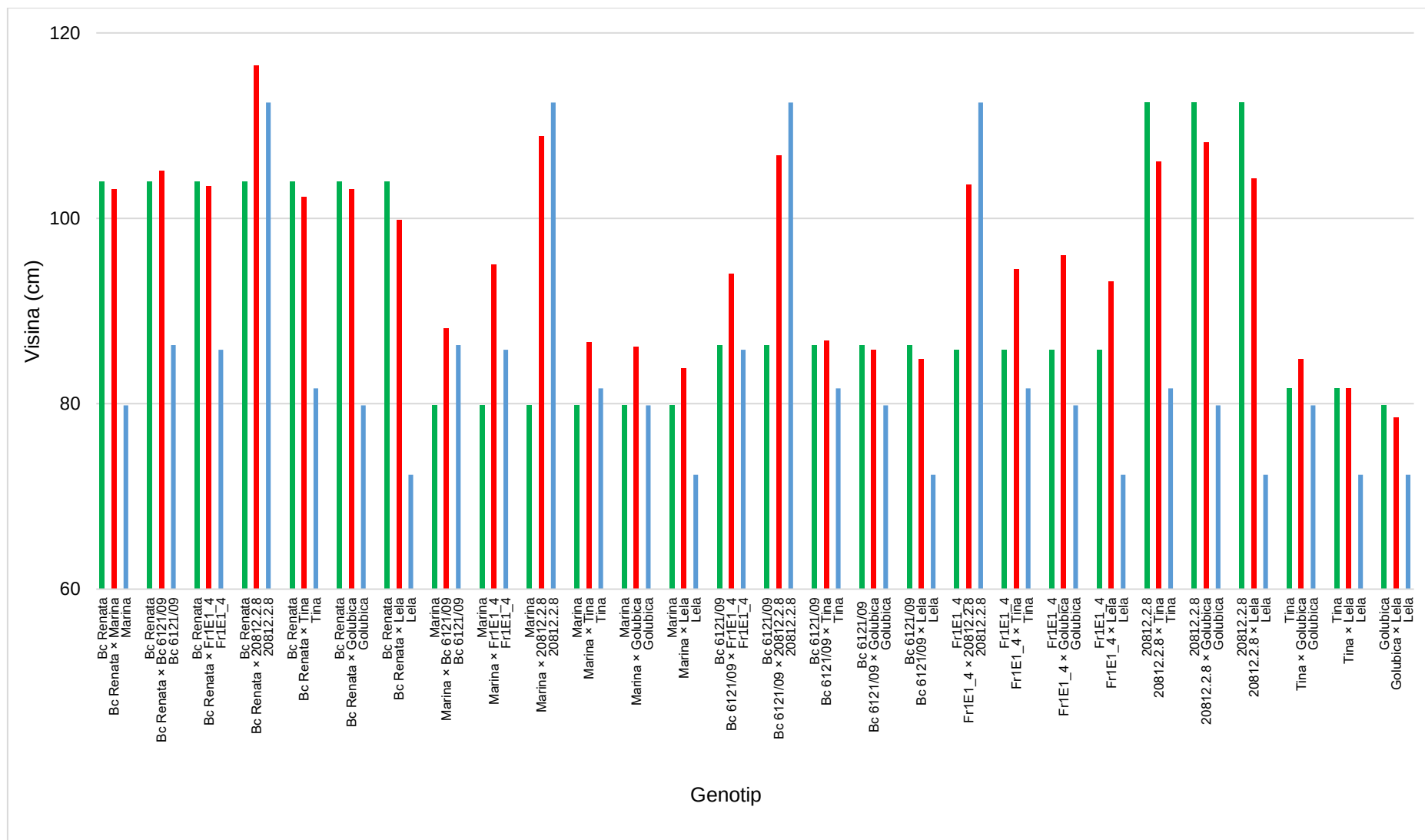
Tablica 27. Kombinirana analiza varijance za 36 genotipova kroz tri godine za svojstva visine (cm) i broj dana do cvatnje.

Izvor varijabilnosti	Stupnjevi slobode	Sredina kvadrata	p-vrijednost	Sredina kvadrata	p-vrijednost
		Visina		Broj dana do cvatnje	
Godina (E)	2	2101,4	0,0000	870,6	0,0000
Genotip (G)	35	763,1	0,0000	16,7	0,0000
G × E	70	16,3	0,0002	2,6	0,0017
Pogreška	105	7,6		1,4	

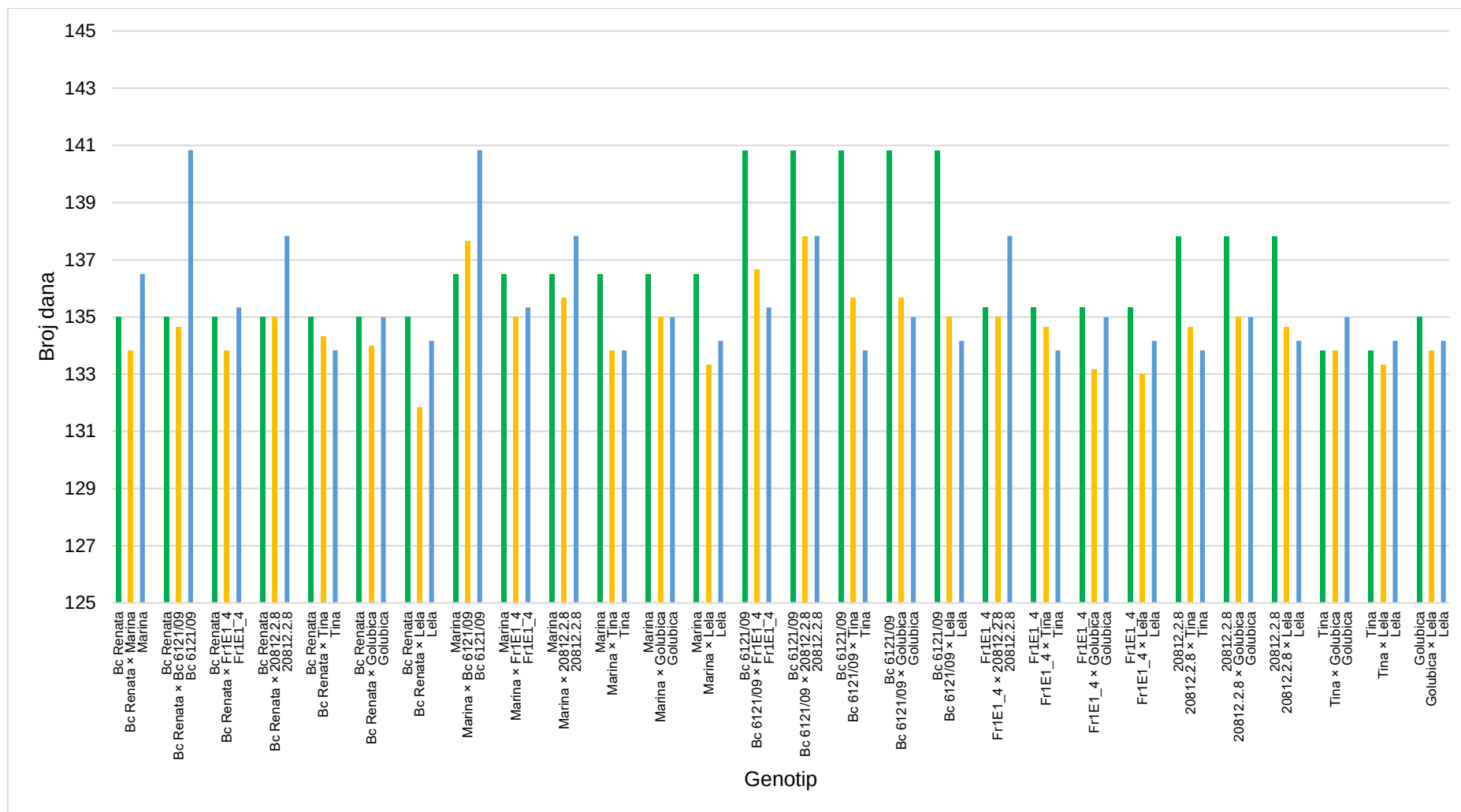
Kombiniranom analizom varijance za 36 genotipova ozime pšenice kroz tri godine ispitivanja za svojstvo visine genotipova utvrđene su signifikantne razlike između godina i između genotipova. Interakcija genotip × godina za ovo svojstvo je također bila signifikantna. Istom analizom utvrđene su signifikantne razlike u broju dana do cvatnje između godine i genotipova. Interakcija genotip × godina za svojstvo broja dana do cvatnje isto je bila signifikantna.

Prosječne visine roditelja i njihovih F1 križanaca prikazane su u Grafikonu 11. Kod roditelja prosječne visine su varirale od 72,3 cm kod Lele do 112,5 cm kod 20812.2.8. Visina kod križanaca se kretala od 78,5 kod Golubica × Lela do 116,5 kod Bc Renata × 20812.2.8.

Prosječan broj dana do cvatnje roditelja i njihovih F1 križanaca prikazan je u Grafikonu 12. Iz prikazanih rezultata vidimo da je prosječan broj dana do cvatnje varirao kod roditelja od 133,8 kod Tine do 140,8 kod Bc 6121/09. Najmanji broj dana do cvatnje imao je križanac Bc Renata × Lela (131,8), a najveći Bc 6121/09 × 20812.2.8 (137,8).



Grafikon 11. Prosječna visina (cm) roditelja i F1 križanaca kroz tri godine ispitivanja



Grafikon 12. Prosječan broj dana do cvatnje roditelja i F1 križanaca kroz tri godine ispitivanja

5. RASPRAVA

5.1. Variranje u umjetnoj inokulaciji

Analizom varijance za umjetnu inokulaciju utvrđena su variranja za VRI, FDK, sadržaj DON-a i ZEN-a. Genotipovi su se signifikantno razlikovali za sva svojstva, što upućuje na veliku genetsku varijabilnost testiranih genotipova za navedena svojstva. Kubo i sur. (2014) provodili su trogodišnja istraživanja na 31 genotipu ozime pšenice za navedena svojstva te su također za sva svojstva dobili signifikantne razlike između genotipova. Signifikantne razlike između genotipova u dialelnom križanju 7 roditelja dobili su i Buerstmayr i sur. (1999), ali u njihovom istraživanju nisu testirani sadržaj DON-a i ZEN-a. U dialelnom križanju 8 roditelja signifikantne razlike između genotipova dobili su Mardi i sur. (2004) za svojstvo intenziteta zaraze klasa, a u našem slučaju ovo svojstvo je iskazano kao VRI.

Godine su se u našem istraživanju signifikantno razlikovale za FDK, sadržaj DON-a i sadržaj ZEN-a, dok za VRI razlike nisu bile signifikantne. Na intenzitet zaraze, koja je u našem slučaju iskazana vrijednostima za VRI, FDK, sadržaj DON-a i sadržaj ZEN-a, utječe puno okolišnih čimbenika, a najznačajniji su vrsta i količina inokuluma, vlaga i temperatura (Parry i sur., 1995). Iz navedenih razloga u različitim godinama bilježe se razlike u vrijednostima za testirana svojstva. Prema tome razlike u svojstvima između godina uvelike ovise o vremenskim prilikama u periodu razvoja bolesti. U našem istraživanju za VRI nisu utvrđene signifikantne razlike između godina, dok za druga svojstva jesu. Razlog tome je vjerojatno činjenica da je VRI prva ocjena koja se bilježi, dok se sva druga svojstva ocjenjuju nakon žetve, odnosno duži je period od nastanka infekcije do ocjenjivanja svojstva. Tako je period koji je uslijedio nakon što je zabilježena ocjena za VRI bio različit u testiranim godinama što je uzrokovalo i signifikantne razlike za svojstva ocjenjivana nakon VRI između testiranih godina. Kobo i sur. (2014) su provodili trogodišnja istraživanja za svojstva VRI, FDK i sadržaj DON-a te su dobili signifikantne razlike za sva testirana svojstva. Isti autori navode da je u jednoj od tri godine vlaga, koja je direktno povezana s intenzitetom zaraze, bila najveća u periodu početka cvatnje i ranom nalijevanju zrna, dok su u slijedećoj godini takvi uvjeti bili u periodu voštane do potpune zriobe.

Interakcija godina (E) × genotip (G) u našem istraživanju bila je signifikantna samo za FDK, dok za VRI, sadržaj DON-a i ZEN-a nije bila signifikantna. U trogodišnjem istraživanju na 31 genotipu pšenice Kubo i sur. (2014) su dobili signifikantne interakcije godina × genotip za VRI, FDK i sadržaj DON-a. Mardi i sur. (2004) u dvogodišnjem istraživanju su proučavali samo VRI te su za 36 genotipova također dobili signifikantnu interakciju godina × genotip.

Navedeni rezultati nam ukazuju na važnost testiranja genotipova više godina, ukoliko želimo dobiti što preciznije rezultate.

5.2. Opće i specifične kombinacijske sposobnosti

Analizom varijance za umjetnu inokulaciju utvrđeni su signifikantni GCA i SCA učinci za sva svojstva. Signifikantne GCA i SCA učinke za VRI i FDK dobili su i Buerstmayr i sur. (1999) te Zwart i sur. (2008). Snijders (1990) je u dialelnom križanju 10 njemačkih oplemenjivačkih linija dobio signifikantan GCA, dok SCA nije bio signifikantan. Signifikantan GCA i nesignifikantan SCA dobili su i Mardi i sur. (2004). Signifikantan GCA ukazuje na važnost aditivnog učinka gena u kontroli otpornosti na FHB. U istraživanjima s dialelnim križanjima Miedaner i sur. (1993) te Hall i sur. (2001) ističu važnost GCA u odnosu na SCA. Signifikantan SCA ukazuje na postojanje dominacijskog ili epistatičnog učinka gena kod pojedinih kombinacija križanja. Najviši negativni GCA za sva svojstva u našem istraživanju utvrđen je za roditelje 20812.2.8 te Bc Renata. Pojedine kombinacije križanja navedenih roditelja s roditeljem s visokim pozitivnim GCA imali su visoki negativni signifikantan SCA za sva svojstva što upućuje na postojanje izraženog dominacijskog učinak gena kod navedenih križanaca. Navedeni križanci su Bc Renata × Golubica te 20812.2.8 × Golubica. Signifikantna interakcija godina × GCA za VRI, FDK te sadržaj DON-a u našem istraživanju ukazuje na utjecaj okolišnih čimbenika na reakciju genotipa.

5.3. Varijance i heritabilnost

Aditivna varijanca u našem istraživanju bila je znatno viša u odnosu na dominacijsku za sva svojstva koja su povezana s otpornosti na FHB, kako u umjetnoj inokulaciji tako i u prirodnim uvjetima. Najbolji pokazatelj udjela aditivne varijance u ukupnoj genetskoj varijanci je Bakerov omjer koji se u umjetnoj inokulaciji kretao od 0,86 za sadržaj DON-a do 0,59 za sadržaj ZEN-a. Bakerov omjer u uvjetima umjetne inokulacije u našem istraživanju za VRI je iznosio 0,83, a za FDK 0,77. Khorzogot i sur. (2010) su za dialelno križanje 7 roditelja dobili Bakerov omjer za VRI 0,99, a za FDK 0,97, naglašavajući važnost aditivnog učinka gena u otpornosti na FHB. Heritabilnost u širem smislu u uvjetima umjetne inokulacije kod našeg istraživanja kretala se od 0,90 za FDK do 0,96 za VRI, dok je heritabilnost u užem smislu za ista svojstva iznosila 0,69 za FDK te 0,80 za VRI. Soltanloo i sur. (2011) u dialelnom križanju 7 roditelja izvještavaju o procijenjenoj heritabilnosti u širem smislu od 0,86 za VRI i 0,86 za FDK, dok je heritabilnost u užem smislu iznosila 0,77 za

VRI te 0,73 za FDK. U sličnom istraživanju, Khorzogot i sur. (2010), su dobili heritabilnost u širem smislu za VRI 0,94 te za FDK 0,94, dok je heritabilnost u užem smislu iznosila 0,90 za VRI te 0,83 za FDK. Buerstmayr i sur. (2000) izvještavaju o heritabilnosti u širem smislu za VRI u istraživanju na dvije populacije ozime pšenice koje je bila veća od 0,75, dok su u novijem trogodišnjem istraživanju jedne populacije, Buerstmayr i Buerstmayr (2015) dobili heritabilnost u širem smislu za VRI od 0,86.

5.4. Heretozis u umjetnoj inokulaciji

Prema rezultatima našeg istraživanja negativni MPH za VRI u umjetnoj inokulaciji utvrđen je kod 22 od 28 križanaca. Najviši negativni MPH(%) iznosio je -82,84% kod križanca 20812.2.8 × Golubica. Negativni BPH utvrđen je kod znatno manjeg broja križanaca, točnije kod 6 od 28. Negativan MPH za VRI za sve križance u dialnom križanju 8 roditelja dobili su i Šip i sur. (2017), dok je u njihovom istraživanju 18 od 28 križanaca imalo negativan BPH. Khorzohht i sur. (2011) dobili su negativni MPH(%) kod 12 od 21 križanca s najveći negativnim MPH(%) od -42,17%, dok je BPH(%) bio negativan kod svega 5 križanaca. Negativni MPH kod 17 od 21 križanca dobili su Buerstmayr i sur. (1999). U istom istraživanju kod čak 15 od 21 križanca utvrđen je negativan BPH. Chrpova i sur. (2014) su kod svih 28 križanaca dobili negativan MPH dok je kod njih 13 bio negativan BPH.

Za FDK u našem istraživanju negativni MPH zabilježen je kod svih 28 križanaca, dok je BPH bio negativan kod njih 15. Najviši negativni MPH(%) u iznosu od -83,85% je bio kod križanca Bc Renata × Golubica, a BPH(%) kod Tina × Golubica (-41,79%). U svom istraživanju Khorzohht i sur. (2011) negativni MPH za FDK su dobili kod 16 od 21 križanca, a negativni BPH(%) kod 4 križanca. Najviša vrijednost negativnog MPH(%) u ovom istraživanju iznosila je -56,9%, a BPH% -26,0%. Buerstmayr i sur. (1999) u svom istraživanju su negativan MPH dobili kod 17 od 21 križanca, a kod 12 je bio negativan BPH.

Negativni MPH za sadržaj DON-a u našem istraživanju je bio kod 26 od 28 križanaca, a negativni BPH kod 5 križanaca. Šip i sur. (2017) su dobili sličan broj križanaca s negativnim MPH za sadržaj DON-a. U njihovom istraživanju 27 od 28 križanaca imali su negativa MPH, dok su negativan BPH zabilježeni kod 13 križanaca. Chrpova i sur. (2014) su dobili negativan MPH kod 27 od 28 križanaca te kod 13 od 28 dobili negativan BPH.

Za sadržaj ZEN-a utvrđena je najviša negativna vrijednost MPH% u iznosu od -97,09% kod križanca 20812.2.8 × Golubica te negativna vrijednost BPH% s vrijednosti -44,72% kod križanca Marina × Golubica. Utvrđeni negativni heterotični učinci kako u odnosu na prosjek

roditelja tako i u odnosu na boljeg roditelja daju perspektivu za klasično oplemenjivanje pšenice stvaranjem novih sorata, a svakako u oplemenjivanju hibridne pšenice.

5.5. Korelacije između testiranih svojstava

Visoka pozitivna korelacija u uvjetima umjetne inokulacije u provedenom istraživanju utvrđena je između VRI i FDK te je iznosila 0,93^{**}. Nešto niža korelacija između istih svojstava utvrđena je u prirodnim uvjetima, a iznosila je 0,73^{**}. Mnogobrojna istraživanja potvrđuju postojanje visokih korelacija između vizualnih simptoma bolesti na klasu i simptoma bolesti na zrnju. Kubo i sur. (2014) su provodili trogodišnje istraživanje u uvjetima umjetne inokulacije na 31 sorti pšenice te su dobili vrlo visoku signifikantnu pozitivnu korelaciju između simptoma bolesti na klasu i zrnju korelacijskog koeficijenta od 0,87^{**}. Mesterhazy i sur. (1999) navode da su u trogodišnjem istraživanju na 20 genotipova ozime pšenice dobili pozitivnu korelaciju između simptoma bolesti na klasu i simptoma bolesti na zrnju koja je iznosila 0,74^{**}. Navedeni autori naredne tri godine provodili su istraživanje na 25 genotipova ozime pšenice te dobili korelaciju između ova dva svojstva od 0,84^{**}. U četverogodišnjem istraživanju na populaciji nastaloj križanjem dvije linije jare pšenice He i sur. (2019) su dobili korelacije između simptoma bolesti na klasu i zrnju od 0,28^{**} do 0,42^{**}. Goral i sur. (2019) su provodili istraživanje na 27 linija ozime pšenice na dvije lokacije te dobili korelaciju od 0,78^{**}. Navedeni rezultati našeg istraživanja koji su u skladu s prethodnim istraživanjima mnogobrojnih autora ukazuju da na osnovu simptoma bolesti na klasu sigurno možemo očekivati sličnu pojavu simptoma bolesti na zrnju pšenice.

Visoka pozitivna korelacija u uvjetima umjetne inokulacije utvrđena je između FDK i sadržaja DON-a i ZEN-a. U našem istraživanju pozitivna korelacija između FDK i sadržaja DON-a iznosila je visokih 0,96^{**}, a nešto niža je bila pozitivna korelacija između FDK i sadržaja ZEN-a (0,91^{**}). Također je utvrđena visoka pozitivna korelacija od 0,86^{**} između sadržaja DON-a i ZEN-a. Budući da je utvrđena visoka pozitivna korelacija između FDK i VRI tako su i pozitivne korelacije između VRI i sadržaja DON-a (0,91^{**}) kao i između VRI i sadržaja ZEN-a (0,91^{**}) bile vrlo visoke. U uvjetima umjetne inokulacije u jednogodišnjem istraživanju na 25 genotipova ozime pšenice visoku pozitivnu korelaciju između sadržaja DON-a i FDK od 0,54^{**} dobili su Španić i sur. (2018). Pozitivnu korelaciju između FDK i sadržaja DON-a od 0,64^{**} dobili su Kubo i sur. (2014). Mesterhazy i sur. (1999) objavili su rezultate dva pokusa. U prvom trogodišnjem pokusu provedenom na 20 genotipova pšenice korelacija između FDK i sadržaja DON-a iznosila je 0,73^{**}, a u drugom na 25 genotipova ozime pšenice 0,84^{**}. He i sur. (2019) su kroz tri godine na populaciji jare pšenice utvrdili

pozitivne korelacije između sadržaja DON-a i FDK koje su se kretale od 0,35** do 0,47**. U istraživanju Snijders i Perkowski (1990) rezultati su dobiveni na 10 genotipova pšenice gdje je umjetna inokulacija provedena s tri različita soja vrste *F. culmorum*. Korelacije između VRI i sadržaja DON-a dobivene u ovom istraživanju ovisno o soju kretale su se od 0,55 do 0,96** te isti autori naglašavaju agresivnost soja kao važan čimbenik u nakupljanju DON-a u zrnu. Šip i sur. (2011) također provode istraživanja s različitim sojevima *Fusarium* vrsta. Prema dobivenim rezultatima korelacije između sadržaja DON-a i FDK za četiri različita izolata vrste *F. graminearum* su varirale od 0,48** do 0,67**. Miješanjem ova četiri soja dobili su korelaciju između ova dva svojstva od 0,58**, dok su sa sojom vrste *F. culmorum* dobili korelaciju od 0,60**. Visoke pozitivne korelacije između sadržaja DON-a i FDK dobivene su u gotovo svim istraživanjima što ukazuje da ukoliko imamo simptome fuzarijskog paleža klasa na zrnu možemo očekivati i pojavu DON-a kao i drugih mikotoksina. Kako je u našem istraživanju utvrđena visoka pozitivna korelacija između sadržaja DON-a i sadržaja ZEN-a tako je drugim istraživanjima utvrđena visoka pozitivna korelacija između DON-a i nekih drugih mikotoksina zastupljenih u manjim količinama. Kubo i sur. (2014) su uz sadržaj DON-a ispitivali i sadržaj Nivalenola (NIV) te utvrdili visoku korelaciju od 0,88** između sadržaja ova dva mikotoksina. Vrijednost za FDK kao i sadržaj mikotoksina ovise o više čimbenika. Iz navedenih istraživanja vidimo da je vrsta i agresivnost samog soja jedan od njih. Gautam i Dill-Macky (2011) navode i uvjete okoline kao čimbenik koji značajno utječe kako na simptome bolesti na klasu i zrnu tako i na sadržaj mikotoksina. Budući da smo u našem istraživanju miješali četiri agresivna izolata vrste *F. graminearum*, posljedica toga je i visok sadržaj mikotoksina kao i visoke korelacije između simptoma na zrnu i sadržaja mikotoksina.

Visoke negativne korelacije u uvjetima umjetne inokulacije u našem istraživanju utvrđene su između svojstava vezanih za otpornost na fuzarijski palež klasa i uroda zrna te komponenti uroda zrna kao što su masa 1000 zrna, hektolitarska masa i masa zrna po klasu. Negativna korelacija između VRI i uroda zrna je iznosila -0,84**, između FDK i uroda zrna -0,84**, između uroda zrna i sadržaja DON-a -0,80** te između uroda zrna i sadržaja ZEN-a -0,87**. Mesterhazy (1995) je u svom istraživanju s 29 različitih okolina dobio negativnu korelaciju između relativnog uroda zrna i vizualnih simptoma na klasu od -0,86**, dok je u istom istraživanju negativna korelacija između relativnog uroda zrna i FDK bila -0,70**. Kubo i sur. (2014) u trogodišnjem pokusu na 31 genotipu ozime pšenice u uvjetima umjetne inokulacije, također su dobili visoke negativne korelacije između svojstava vezanih za otpornost na fuzarijski palež klasa i uroda zrna. U njihovom istraživanju korelacija između VRI i uroda zrna je iznosila -0,78**, između FDK i uroda zrna -0,77**, a između sadržaja DON-a i uroda zrna -0,72**. U prirodnim uvjetima u našem istraživanju korelacije između

VRI i uroda zrna (-0,49**) te FDK i uroda zrna (-0,38*) su bile znatno niže. Visoke negativne korelacije u uvjetima umjetne inokulacije te znatno niže u prirodnim uvjetima nam sugeriraju da su genotipovi s visokim vrijednostima za VRI i FDK ostvarili niže urode zrna nastale kao posljedica gubitka uroda zrna uslijed infekcije s fuzarijskim paležom klasa. Tako su u pojedinim istraživanjima gdje je bio cilj utvrditi povezanost između intenziteta zaraze s fuzarijskim paležom klasa i uroda zrna utvrđivane korelacije između intenziteta zaraze i gubitka uroda. Navedene korelacije su većinom pozitivne budući da jača infekcija uzrokuje veći gubitak uroda. Mesterhazy i sur. (1999) su u dva odvojena pokusa dobili pozitivne korelacije između VRI i gubitka uroda od 0,86**, odnosno 0,95**, između FDK i gubitka uroda od 0,73**, odnosno 0,83** te između sadržaja DON-a i gubitka uroda od 0,67**, odnosno 0,85**. Snijders i Perkowski (1990) su istraživali utjecaj sojeva različite agresivnosti na gubitak uroda. Korelacije koje su dobili između VRI i gubitka uroda kretale su se od 0,39 do 0,96**, dok su se korelacije između sadržaja DON-a i gubitka uroda kretale od 0,73* do 0,97**. Isti autori su utvrdili i korelaciju između gubitka uroda i gubitka mase zrna po klasu koja je varirala od 0,67* do 0,91* ovisno o izolatu. Ova korelacija slična je korelaciji između uroda zrna i mase zrna po klasu koja je u našem istraživanju u uvjetima umjetne inokulacije iznosila 0,82**, a u prirodnim uvjetima 0,52**. Šip i sur. (2011) su proučavali utjecaj različitih sojeva *Fusarium* vrsta na gubitke komponenti uroda. Korelacije koje su dobili između FDK i gubitka u masi 1000 zrna kretale su se od 0,65** do 0,78** ovisno o vrsti i soju, dok su korelacije između FDK i gubitka mase zrna po klasu varirale od 0,33* do 0,52**. Isti autori su izračunali korelaciju između gubitka u masi 1000 zrna i gubitka mase zrna po klasu koja se kretala od 0,68** do 0,83**. Navedena korelacija je slična onoj između mase 1000 zrna i mase zrna po klasu koja je u našem istraživanju u uvjetima umjetne inokulacije iznosila 0,76**. Tomasović i sur (2011) izvijestili su o dvogodišnjim rezultatima dobivenim na 25 linija ozime pšenice. Korelacije između VRI i gubitka uroda koje su dobili iznose 0,48 odnosno 0,76, ovisno o godini. Također, prikazuju korelacije između VRI i gubitka u masi 1000 zrna koje su iznosile 0,58 i 0,42 te korelacije između VRI i gubitka hektolitarske mase koje su iznosile 0,70 odnosno 0,68, ovisno o godini. Rezultati našeg istraživanja potvrđuju druga mnogobrojna istraživanja te ukazuju na povezanost između intenziteta infekcije i uroda zrna. U svim istraživanjima dolazi do smanjenja komponenti uroda kao i samog uroda uslijed infekcije s fuzarijskim paležom klasa.

Vrlo male i nesignifikantne korelacije u našem istraživanju su utvrđene između broja zrna po klasu i intenziteta zaraze iz čega možemo zaključiti da genetski potencijal genotipa za broj zrna po klasu nije povezan s otpornosti na fuzarijski palež klasa. Također, možemo zaključiti da infekcija nije značajno utjecala na smanjenje broja zrna te stoga genotipovi s

višim vrijednostima za VRI i FDK nisu imali manji broj zrna po klasu. Wong i sur. (1992) u svom istraživanju također ukazuju da infekcija nije značajno utjecala na broj zrna po klasu.

Broj dana do cvatnje u našem istraživanju nije bio u korelaciji sa svojstvima koja su povezana s otpornosti genotipova na fuzarijski palež klasa. Slične rezultate u istraživanju na 24 genotipa ozime pšenice dobila je Španić (2010) gdje datum cvatnje također nije bio u korelaciji s intenzitetom zaraze na klasu. Kubo i sur. (2014) navode da su u trogodišnjem istraživanju na 31 genotipu ozime pšenice dobili nesignifikantne korelacije između datuma klasanja i VRI, FDK te sadržaja DON-a promatrajući pojedinačne godine. He i sur. (2019) su na populaciji jare pšenice od 197 individua u tri od četiri godine istraživanja dobili negativnu signifikantnu korelaciju između datuma klasanja i VRI. U istom istraživanju za jednu od tri godine je bila signifikantna korelacija između datuma klasanja i FDK te za dvije od tri godine signifikantna korelacija između datuma klasanja i sadržaja DON-a. U svom istraživanju Klahr i sur. (2007) izvještavaju o signifikantnoj korelaciji datuma klasanja s VRI, FDK i sadržajem mikotoksina te napominju da je razlika u datumu klasanja između testiranih genotipova bila vrlo mala.

U našem istraživanju utvrđene su visoke negativne korelacije između visine genotipova i svojstava povezanih s otpornosti na fuzarijski palež klasa. Negativna korelacija između visine genotipova i VRI u uvjetima umjetne inokulacije bila je $-0,74^{**}$, a između visine genotipova i FDK iznosila je $-0,82^{**}$. Nešto niže negativne korelacije između navedenih svojstava zabilježene su u prirodnim uvjetima gdje su bile znatno niže utvrđene vrijednosti za VRI i FDK, a kod pojedinih genotipova nije ni došlo do infekcije. Mesterhazy (1995) navodi da su niži genotipovi osjetljiviji na infekciju s fuzarijskim paležom klasa u prirodnim uvjetima budući da infekcija dolazi s površine tla te lakše i brže dođe do klasova nižih genotipova. Klahr i sur. (2007) na istraživanoj populaciji dobivaju negativnu korelaciju od $-0,42^{**}$ između visine genotipova i intenziteta zaraze klasa. Negativnu korelaciju u istraživanju provedenom na 24 sorte pšenice između ova dva svojstva dobiva i Španić (2010). He i sur. (2019) u četverogodišnjem istraživanju na populaciji jare pšenice dobivaju negativnu korelaciju između intenziteta zaraze klasa i visine genotipova koje su iznosile po godinama od $-0,32^{**}$ do $-0,56^{**}$. U istom istraživanju prikazani su i rezultati korelacija između FDK i visine genotipova za tri godine te su varirali od $-0,19^{*}$ do $-0,31^{**}$. Buerstmayr i Buerstmayr (2016) izvijestili su o vezanim svojstvima i učincima lokusa koji omogućavaju niži rast stabljike *Rht-B1* i *Rht-D1* na visinu biljke i osjetljivost na fuzarijski palež klasa. Polupatuljasti aleli *Rht-D1b* i *Rht-B1b* su široko rasprostranjeni u oplemenjivanju pšenice i oba alela pokazuju slične učinke na smanjenje visine biljke, a povezani su s povećanjem osjetljivosti na fuzarijski palež klasa.

5.6. Razlike u svojstvima između umjetne inokulacije i prirodnih uvjeta

Fuzarijski palež klasa umanjuje urod zrna preko sterilnosti cvijeta i slaboga nalijevanja zrna što utječe na veličinu, masu i oblik zrna (Argyris i sur., 2003), a dolazi i do smanjenja hektolitarske mase (Nightingale i sur., 1999). U našem istraživanju na 36 genotipova ozime pšenice došlo je do prosječnog smanjenja uroda od 27,2% u uvjetima umjetne inokulacije u odnosu na prirodne uvjete. Smanjenje mase 1000 zrna je iznosilo 10,9%, masa zrna po klasu se smanjila za 22,4%, hektolitarska masa za 10,5%, a broj zrna po klasu za 13,5%.

Najveće smanjenje uroda nakon umjetne inokulacije u našem istraživanju zabilježeno je kod genotipa Golubica (54,7%), a velika smanjenja utvrđena su i za genotip Tina (50,1%) te genotip Tina × Lela (52,9%). Španić (2010) je u svom istraživanju na 24 sorte ozime pšenice dobila prosječno smanjenje uroda od 21,0% nakon umjetne inokulacije u odnosu na kontrolu. U navedenom istraživanju također je bio testiran genotip Golubica za kojeg je utvrđeno najveće smanjenje uroda od 63,8%. Tomasović i sur (2011) prikazuju dvogodišnje rezultate na 25 genotipova ozime pšenice te utvrđuju gubitke uroda od 24,0% u prvoj godini istraživanja, odnosno 29,3% u drugoj godini istraživanja. Gubitci prinosa od 6 do 39% zabilježeni su u pokusima s preko 500 linija pšenice inokuliranih sa sporama vrsta *F. graminearum* i *F. culmorum* (Saur, 1991). Parry i sur. (1995) izvještavaju o gubitcima prinosa preko 60% u pokusima inokuliranim s *F. culmorum*, dok McMullen i sur. (1997) izvještavaju da prosječni gubitci prinosa na komercijalnim usjevima tijekom godina s jakim pritiskom bolesti mogu biti i do 45%. Mesterhazy (1999) iznosi trogodišnje rezultate na 20 genotipova ozime pšenice tretirane sa 7 različitih sojeva *Fusarium* vrsta. Smanjenja uroda ovisno o *Fusarium* izolatu su se kretala od 8,4% do 30,7%. U istom radu autor je iznijeo rezultate trogodišnjeg pokusa na 25 genotipova ozime pšenice tretiranih s 8 različitih sojeva *Fusarium* vrsta te dobio gubitke uroda od 21,4% do 35,6% ovisno o *Fusarium* izolatu. Snijders i Perkowski (1990) su istraživali utjecaj tri soja vrste *F. culmorum* različite agresivnosti na gubitak uroda. Dobiveni rezultati ukazuju da je gubitak uroda kod jednog soja rezultat smanjenja broj zrna po klasu, a kod druga dva smanjenja mase zrna po klasu. Mesterhazy i sur. (2003) su u trogodišnjem istraživanju testirali različite vrste fungicida primijenjene nakon umjetne inokulacije, odnosno u punoj cvatnji. Smanjenje uroda koje su dobili nakon provedene umjetne inokulacije bez primjene fungicida po testiranim godinama je iznosilo 58,7%, 59,1% i 50,4%, dok je smanjenje uroda nakon tretmana fungicidom s najboljim učinkom iznosilo 28,8%, 29,2% i 16,0%.

Najveće smanjenje mase 1000 zrna nakon umjetne inokulacije u odnosu na prirodne uvjete u našem istraživanju utvrđeno je kod genotipova Marina (26,5%) i Golubica (24,9%).

Prosječno smanjenje mase 1000 zrna od 16,1% u svom istraživanju dobila je Španić (2010), a u navedenom istraživanju genotip Golubica imala je najveće smanjenje mase 1000 zrna od 40,0%. Martin i sur. (2017) u istraživanju na sedam genotipova ozime pšenice provedenim na tri lokacije dobili su prosječno smanjenje mase 1000 zrna od 12,0%, a po lokacijama je variralo od 7,8% do 15,6%. U trogodišnjem istraživanju provedenom na 47 sorata ozime pšenice, Chrpova i sur. (2013), dobili su prosječan gubitak mase 1000 zrna od 39,9%, a po godinama je varirao od 33,4% do 47,6%.

Masa zrna po klasu u našem istraživanju je komponenta uroda kod koje je zabilježeno najveće smanjenje u umjetnoj inokulaciji u odnosu na prirodne uvjete. Smanjenje je variralo od 10,1% do 37,7%. Marina je genotip koji je i za ovu komponentu uroda bilježio najveće smanjenje. Smanjenje mase zrna po klasu kao komponente uroda je bilo najveće u odnosu na druge komponente i u istraživanju koje su proveli Chrpova i sur. (2013). U njihovom istraživanju smanjenje mase zrna po klasu kroz tri godine istraživanja iznosilo je čak 61,6%. Smanjenje hektolitarske mase u našem istraživanju kretalo se i do 25,4% koliko je zabilježeno za genotip Golubicu. Isti genotip imao je i najveće smanjenje hektolitarske mase u istraživanju Španić (2010), a iznosilo je 20,3%, dok je u istom istraživanju prosječno smanjenje hektolitarske mase za 24 genotipa iznosilo 6,9%.

Povećanje sadržaja proteina nakon provedene umjetne inokulacije u našem istraživanju zabilježeno je kod svih genotipova. Prosječno povećanje sadržaja proteina iznosilo je 1,1, odnosno 8,8%. Sadržaj proteina se kod pojedinih genotipova povećao i za 2,08. Kao uzrok povećanja sadržaja proteina možemo istaknuti činjenicu da su inficirana zrna štura i sitnija te imaju manji endosperm što utječe na povećanje sadržaja proteina. Također i sam patogen iskorištava škrob iz zrna pa u zrnu ostaje više proteina. Slične rezultate dobila je Španić (2010) u čijem istraživanju je također došlo do povećanja sadržaja proteina kod svih genotipova nakon umjetne inokulacije. U sličnim istraživanjima blago povećanje proteina nakon umjetne inokulacije dobili su Boyacioglu i Hettiarachchy (1995), dok su Haller Gartner i sur. (2008) dobili blago smanjenje sadržaja proteina. U svom istraživanju, Wang i sur. (2005) zaključuju da na sadržaj proteina ne utječe umjetna inokulacija *Fusarium* vrstama, ali da inficirana zrna imaju puno niži sadržaj glutena. Martin i sur. (2017) su provodili istraživanje na tri lokacije te utvrdili utjecaj umjetne inokulacije na sadržaj proteina. Navode da je utjecaj infekcije na sadržaj proteina zapravo pod kontrolom interakcije genotipa, okoline i infekcije te da je utjecaj same infekcije na sadržaj proteina zapravo vrlo mali ili neznatan.

6. ZAKLJUČCI

Signifikantan učinak genotipa za svojstva vezana za otpornost na FHB kao što su VRI, FDK, sadržaj DON-a i sadržaj ZEN-a upućuje na visoku genetsku varijabilnost testiranih genotipova za navedena svojstva. Signifikantan učinak godine ukazuje na velik utjecaj okoline na intenzitet FHB simptoma, dok nesignifikantna interakcija godine i genotipa za većinu svojstava ukazuje na stabilnost reakcije genotipa na FHB.

Signifikantni GCA učinci za uvjete umjetne inokulacije i prirodne uvjete ukazuju na važnost aditivnog učinka gena u kontroli otpornosti na FHB. Visoke negativne vrijednosti za GCA za svojstva povezana s otpornosti na FHB kod roditelja 20812.2.8, Bc Renata i Fr1E1_4 ih čine perspektivnim za kombinacijska križanja provedena s ciljem poboljšanja otpornosti na FHB.

Signifikantni SCA učinci u uvjetima umjetne inokulacije ukazuje na postojanje dominacijskog ili epistatičnog učinka gena kod pojedinih kombinacija križanja. Izdvajaju se križanci Bc Renata × Golubica, 20812.2.8 × Golubica i Fr1E1_4 × Golubica s utvrđenim negativnim signifikantnim SCA za sva svojstva povezana s otpornosti na FHB.

Znatno viša aditivna komponenta varijance u odnosu na dominacijsku varijancu utvrđena u oba tipa infekcije za sva svojstva povezana s otpornosti na FHB ukazuje nam da se izborom otpornih roditelja može osigurati dobra otpornost na FHB.

Učinkovitost indirektna selekcije u uvjetima umjetne inokulacije bila je veća od učinkovitosti direktne selekcije u uvjetima prirodne infekcije u sve tri godine za VRI, a za FDK samo u 2016. godini. Ipak, procjene heritabilnosti za VRI i FDK, koje su bile u sve tri godine znatno veće kod umjetne inokulacije nego kod prirodne infekcije, ukazuju na važnost provođenja umjetne inokulacije pri procjeni otpornosti genotipova na FHB.

Utvrđeni negativni heterotični učinci kako u odnosu na prosjek roditelja tako i u odnosu na boljeg roditelja daju perspektivu za povećanje otpornosti na FHB putem klasičnog oplemenjivanja pšenice stvaranjem novih sorata, a svakako u oplemenjivanju hibridne pšenice.

Visoke pozitivne korelacije utvrđene između svojstava povezanih s otpornosti na FHB pružaju nam mogućnost da praćenjem simptoma bolesti na klasu možemo pouzdano predvidjeti očekivani stupanj zaraženosti zrna, kao i sadržaj mikotoksina u samom zrnu.

Visoke negativne korelacije utvrđene između svojstava povezanih s otpornosti na FHB i uroda, kao i veliki gubitci uroda nastali uslijed infekcije, ukazuju na važnost genotipske otpornosti na FHB za održavanje stabilnosti uroda u uvjetima pogodnim za razvoj FHB.

7. POPIS LITERATURE

1. Alvarado G., Lopez M., Vargas M., Pacheco A., Rodriguez F., Burgueno J., Crossa J. (2015). "META-R (Multi Environment Trial Analysis with R for Windows) Version 6.03". hdl:11529/10201. CIMMYT Research Data & Software Repository Network. V21.
2. Amarasinghe C. C., Tamburic-Ilincic L., Gilbert J., Brule-Babel A. L., Fernando W. G. D. (2013). Evaluation of different fungicides for control of fusarium head blight in wheat inoculated with 3ADON and 15ADON chemotypes of *Fusarium graminearum* in Canada. Canadian Journal of Plant Pathol. 35(2). DOI:10.1080/07060661.2013.77394.
3. Argyris J., Van Sanford D., TeKrony D. (2003). *Fusarium graminearum* Infection during Wheat seed Development and Its Effect on Seed Quality. Crop Sci. 43: 1782-1788.
4. Bai G. H., Shaner G. (2004). Management and resistance in wheat and barley to *Fusarium* head blight. Annu Rev Phytopathol. 42: 135-161.
5. Baker R. J. (1978). Issues in Diallel Analysis. Crop Science 18(4): 533-536.
6. Bernardo A. N., Ma H., Zhang D., Bai G. (2012). Single nucleotide polymorphism in wheat chromosome region harboring *Fhb1* for *Fusarium* head blight resistance. Mol Breed. 29(2): 477-488.
7. Botha C. J., Truter M., Sulyok M. (2018). Multimycotoxin analysis of South African *Aspergillus clavatus* isolates. Mycotoxin Research 34: 91-97.
8. Bottalico A., Perrone G. (2002). Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. European Journal of Plant Pathology 108: 611-624.
9. Boyacioglu D., Hettiarachchy N. S. (1995). Changes in some biochemical components of wheat grain that was infected with *Fusarium graminearum*. Journal of Cereal Science 21: 57-62.
10. Brar G. S., Thomas J., Pozniak C. J., Ruan Y., Hucl P. J., Kutcher, H. R. (2015). "Fusarium head blight resistance QTLs *Fhb1*, *Fhb2*, and *Fhb3* reduce disease severity by up to 50% in near-isogenic wheat lines developed by marker-assisted selection.", Botany 2015, Shaw Convention Center, Edmonton, Alberta, Canada, July 25-29, 2015.
11. Browne R. A., Cooke B. M. (2004). Development and evaluation of an in vitro detached leaf assay for pre-screening resistance to *Fusarium* head blight in wheat. Euro J of Plant Pathol. 110: 91-102.
12. Buerstmayr H., Lemmens M., Berlakovich S., Ruckenbauer P. (1999). Combining ability of resistance to head blight caused by *Fusarium culmorum* (W.G. Smith) in the F1 of a seven parent diallel of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Euphytica 110: 199-206.

13. Buerstmayr H., Steine B., Lemmens M., Ruckenbauer P. (2000). Resistance to Fusarium head blight in two winter wheat crosses: heritability and trait associations. *Crop Sci.* 40: 1012-1018.
14. Buerstmayr H., Ban T., Anderson J. A. (2009). QTL mapping and marker-assisted selection for Fusarium head blight resistance in wheat: a review. *Plant Breeding* 128: 1-26.
15. Buerstmayr H., Adam G., Lemmens M. (2012). Resistance to Head Blight Caused by Fusarium spp. in Wheat. U: Sharma I (ed) Disease resistance in wheat. CABI. Wallingford. 236-276.
16. Buerstmayr M., Buerstmayr H. (2015). Comparative mapping of quantitative trait loci for Fusarium head blight resistance and anther retention in the winter wheat population Capo × Arina. *Theor Appl Genet.* 128: 1519-1530.
17. Buerstmayr M., Buerstmayr H. (2016). The semi-dwarfing alleles Rht-D1b and Rht-B1b show marked differences in their associations with anther-retention in wheat heads and with Fusarium head blight susceptibility. *Phytopathology* 106(12): 1544-1552.
18. Bushnell W. R., Hazen B. E., Pritsch C. (2003). Histology and Physiology of Fusarium head blight. U: Fusarium Head Blight of Wheat and Barley. (Leonard K. J., Bushnell W. R.). The American Phytopathological Society. Poglavlje 3: 44-83.
19. Cai, J. (2016). Meta-analysis of QTL for Fusarium head blight resistance in Chinese wheat landraces using genotyping by sequencing. Doktorska disertacija. Kansas State University.
20. Cainong J. C., Bockus W. W., Feng Y., Chen P., Qi L., Sehgal S. K., Danilova T. V., Koo D. H., Friebe B., Gill B. S. (2015). Chromosome engineering, mapping, and transference of resistance to Fusarium head blight disease from *Elymus tsukushiensis* into wheat. *Theor Appl Genet.* 128(6): 1019-1027.
21. Champeil A., Dore T., Fourbet J. F. (2004). Fusarium head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by Fusarium in wheat grains. *Plant Sci.* 166(6): 1389-1415.
22. Chrpova J., Šip V., Štočková L., Stehno Z. (2013). Ermittlung von Resistenzquellen gegen Ährenfusariose für Weizenzüchtung und -anbau. 4. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs 63-67.
23. Clinesmith M. (2016). Genetic mapping of QTL for Fusarium head blight resistance in winter wheat cultivars Art and Everest. Magistarski rad. Kansas State University, Manhattan Kansas.
24. Cumagun C. J., Miedaner T. (2004). Segregation for aggressiveness and deoxynivalenol production of a population of *Gibberella zeae* causing head blight of wheat. *European Journal of Plant Pathology* 110: 789-799.

25. Cuthbert P. A., Somers D. J., Brulé-Babel A. (2007). Mapping of Fhb2 on chromosome 6BS: a gene controlling Fusarium head blight field resistance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor Appl Genet.* 114(3): 429-437.
26. D'Angelo D. L., Bradley C. A., Ames K. A., Willyerd K. T., Madden L. V., Paul P. A. (2014). Efficacy of fungicide applications during and after anthesis against Fusarium head blight and deoxynivalenol in soft red winter wheat. *Plant Dis.* 98: 1387-1397.
27. Dhokane D., Karre S., Kushalappa A. C., McCartney C. (2016). Integrated Metabolo-Transcriptomics Reveals Fusarium Head Blight Candidate Resistance Genes in Wheat QTL-Fhb2. *PLoS ONE* 11(5): e0155851.
28. Dickson J., Johann H., Wineland G. (1921). Second progress report on the Fusarium blight (scab) of wheat. *Phytopathology* 35.
29. Draeger R., Gosman N., Steed A., Chandler E., Thomsett M., Schondelmaier J., Buerstmayr H., Lemmens M., Schmolke M., Mesterhazy A., Nicholson P. (2007). Identification of QTLs for resistance to Fusarium head blight, DON accumulation and associated traits in the winter wheat variety Arina. *Theor Appl Genet.* 115: 617-625.
30. Falconer D. S., MacKey T. F. C. (1996). *Introduction to quantitative genetics*, 4th edn. Longman, Harlow.
31. Gautam P., Dill-Macky R. (2011). Type I host resistance and trichothecene accumulation in Fusarium-infected wheat heads. *Am J Agric Biol Sci.* 6: 231-241.
32. Gilsinger J., Kong L., Shen X., Ohm H. (2005). DNA markers associated with low Fusarium head blight incidence and narrow flower opening in wheat. *Theor Appl Genet.* 110: 1218-1225.
33. Goral T., Wisniewska H., Ochodzki P., Nielsen L. K., Walentyn-Goral D., Stepień L. (2019). Relationship between Fusarium Head Blight, Kernel Damage, Concentration of Fusarium Biomass, and Fusarium Toxins in Grain of Winter Wheat Inoculated with *Fusarium culmorum*. *Toxins* 11 (2): doi:10.3390/toxins11010002
34. Goswami R. S., Kistler H. C. (2004). Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Mol Plant Pathol.* 5: 515-525.
35. Graham S., Browne R. A. (2009). Anther extrusion and fusarium head blight resistance in European wheat. *J Phytopathol.* 157: 580-582.
36. Griffing B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian J. Biol. Sci.* 9: 463-493.
37. Guo J., Zhang X., Hou Y., Cai J., Shen X., Zhou T., Xu H., Ohm H. W., Wang H., Li A., Han F., Wang H., Kong L. (2015). High-density mapping of the major FHB resistance gene Fhb7 derived from *Thinopyrum ponticum* and its pyramiding with Fhb1 by marker-assisted selection. *Theor Appl Genet.* 128(11): 2301-2316.

38. Hall M., Kennedy B., Van Sanford D. (2001). Diallel analysis of resistance to Fusarium head blight in soft red winter wheat. National Fusarium Head Blight Forum. Holiday Inn Cincinnati-Airport, Erlanger. KY. 239-243.
39. Hall M. D., Van Sanford D. A. (2003) Diallel analysis of Fusarium head blight resistance in soft red winter wheat. *Crop Sci.* 43: 1663-1670.
40. Haller Gartner B., Munich M., Kleijer G., Mascher F. (2008). Characterisation of kernel resistance against Fusarium infection in spring wheat by baking quality and mycotoxin assessments. *European Journal of Plant Pathology* 120: 61-68.
41. Hasan M. M., Rafii M. Y., Ismail M. R., Mahmood M., Rahim H. A., Alam M. A., Ashkani S., Malek M. A., Latif M. A. (2015). Marker-assisted backcrossing: a useful method for rice improvement. *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 29 (29): 237-254.
42. He X., Dreisigacker S., Singh R. P., Singh P. K. (2019). Genetics for low correlation between Fusarium head blight disease and deoxynivalenol (DON) content in a bread wheat mapping population. *Theor Appl Genet.* 132(8): 2401-2411.
43. Holzapfel J., Voss H. H., Miedaner T., Korzun V., Haberle J., Schweizer G., Mohler V., Zimmermann G., Hartl L. (2008). Inheritance of resistance to Fusarium head blight in three European winter wheat populations. *Theor Appl Genet.* 117: 1119-1128.
44. Ivić D. (2010). Karakterizacija vrsta roda *Fusarium* na sjemenu kultiviranih i samoniklih mahunarki (Fabaceae). Doktorska disertacija. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
45. Jia H., Zhou J., Xue S., Li G., Yan H., Ran C., Zhang Y., Shi J., Jia L., Wang X., Luo J., Ma Z. (2018). A journey to understand wheat Fusarium head blight resistance in the Chinese wheat landrace Wangshuibai. *The Crop Journal* 6: 48-59.
46. Jones R. K., Mirocha C. J. (1999). Quality parameters in smallgrains from Minnesota affected by Fusarium head blight. *Plant Disease* 83: 506–511.
47. Juroszek P., von Tiedemann A. (2015). Linking plant disease models to climate change scenarios to project future risks of crop diseases: a review. *J Plant Dis Protection* 122: 3-15.
48. Keller S. E., Sullivan T. M., Chirtel S. (1997). Factors affecting the growth of *Fusarium proliferatum* and the production of fumonisin B1: oxygen and pH. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 19: 305-309.
49. Khorzoght E. G., Soltanloo H., Ramezanpour S. S., Arabi M. K. (2010). Combining ability analysis and estimation of heterosis for resistance to head blight caused by *Fusarium graminearum* in spring wheat. *AJCS* 4(8): 626-632.
50. Klahr A., Zimmermann G., Wenzel G. (2007). Effects of environment disease progress, plant height and heading date on the detection of QTLs for resistance to Fusarium head blight in an European winter wheat cross. *Euphytica* 154: 17-28.

51. Kostecki M., Wisniewska H., Perrone G., Ritieni A., Golinski P., Chelkowski P., Logrieco A. (1999). The effects of cereal substrate and temperature on production of beauvericin, moniliformin and fusaproliferin by *Fusarium subglutinans* ITEM-1434. *Food Additives and Contaminants* 16: 361-365.
52. Kubo K., Kawada N., Fujita M., Hatta K., Oda S., Nakajima T. (2010). Effect of cleistogamy on *Fusarium* head blight resistance in wheat. *Breed Sci.* 60: 405-411.
53. Kubo K., Fujita M., Kawada N., Nakajima T., Nakamura K., Maejima H., Ushiyama T., Hatta K., Matsunaka H. (2013). Minor differences in anther extrusion affect resistance to *Fusarium* head blight in wheat. *J Phytopathol* 161: 308-314.
54. Kubo K., Kawada N., Nakajima T., Kazuyuhi H., Fujita M. (2014). Field evaluation of resistance to kernel infection and mycotoxin accumulation caused by *Fusarium* head blight in western Japanese wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Euphytica* 200: 81-93.
55. Langer S. M., Longin C. F. H., Wurschum T. (2014). Phenotypic evaluation of floral and flowering traits with relevance for hybrid breeding in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Breed.* 133: 433-441.
56. Lemes C. (2018). Genomic approaches for mapping and predicting disease resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.). Doktorska disertacija. Kansas State University, Manhattan Kansas.
57. Leslie J. F., Summerell B. A. (2006). *The Fusarium Laboratory manual*. Blackwell Publishing: Iowa, USA.
58. Lević J. T. (2008). Vrste roda *Fusarium* u oblasti poljoprivrede, veterinarske i humane medicine. Institut za kukuruz "Zemun Polje". Beograd. Srbija.
59. Lin F., Xue S. L., Zhang Z. Z., Zhang C. Q., Kong Z. X., Yao G. Q., Tian D. G., Zhu H. L., Li C. J., Cao Y., Wei J. B., Luo Q. Y., Ma Z. Q. (2006). Mapping QTL associated with resistance to *Fusarium* head blight in the Nanda2419 × Wangshuibai population. II: Type I resistance. *Theor Appl Genet.* 112(3): 528-535.
60. Link H. F. (1809). *Observationes in ordines plantarum naturalis. Dissertatio prima complectens Anandrarum ordines Epiphytas, Mucedines, Gastromycos et Fungos.* Gesellschaft fur Natur. 3: 3-42.
61. Liu S., Pumphrey M. O., Gill B. S., Trick H. N., Zhang J. X., Dolezel J., Chalhoub B., Anderson J. A. (2008). Towards position cloning of Fhb1, a major QTL for *Fusarium* head blight resistance in wheat. 3th Int. FHB Symposium. Szeged, Hungary.
62. Logrieco A., Bottalico A., Mule G., Moretti A., Perrone G. (2003). Epidemiology of toxigenic fungi and their associated mycotoxins for some Mediterranean crops. *European Journal of Plant Pathology* 109: 645-667.

63. Lu Q. X., Lillemo M., Skinnnes H., He X. Y., Shi J. R., Ji F., Dong Y. H., Bjornstad A. (2013). Anther extrusion and plant height are associated with Type I resistance to Fusarium head blight in bread wheat line 'Shanghai-3/Catbird'. *Theor Appl Genet.* 126: 317-334.
64. Mardi M., Buerstmayr H., Ghareyazie B. (2004). Combining ability analysis of resistance to head blight caused by *Fusarium graminearum* in spring wheat. *Euphytica* 139: 45-50.
65. Marin S., Magan N., Serra J., Ramos A. J., Canela R., Sanchis V. (1999). Fumonisin B1 Production and Growth of *Fusarium moniliforme* and *Fusarium proliferatum* on Maize, Wheat, and Barley grain. *Journal of Food Protection* 61: 1489-1496.
66. Martin C., Schonebreg T., Vogelgsang S., Vincenti J., Bertossa M., Mauch-Mani B., Mascher F. (2017). Factors of wheat grain resistance to *Fusarium* head blight. *Phytopathologia Mediterranea* 56(1): 154-166.
67. McGee D. C. (1995). Epidemiological approach to disease management through seed technology. *Annual Review Phytopathology* 10: 595-604
68. McMullen M., Jones R., Gallenberg D. (1997). Scab of wheat and barley: A re-emerging disease of devastating impact. *Plant Disease* 81: 1340-1348.
69. McMullen M., Bergstrom G., De Wolf E., Dill-Macky R., Hershman D., Shaner G., Van Sanford D. (2012). A unified effort to fight an enemy of wheat and barley: *Fusarium* head blight. *Plant Dis.* 96: 1712-1728.
70. Mesterhazy A. (1977). The effect of inoculation method on the expression of symptoms caused by *Fusarium graminearum* Schwabe on wheat in seedling stage. U: *Current Topics in Plant Pathology* 223-232. Akademiai Kiado, Budapest.
71. Mesterhazy A. (1984). A laboratory method to predict pathogenicity of *Fusarium graminearum* in field and resistance of wheat to scab. *Acta Phytopathologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 19: 205-218.
72. Mesterházy A. (1995). Types and composition of resistance to *Fusarium* head blight of wheat. *Plant Breed.* 114 :377-386.
73. Mesterhazy A., Bartok T., Mirocha C. G., Komoroczy R. (1999). Nature of wheat resistance to *Fusarium* head blight and the role of deoxynivalenol for breeding. *Plant Breeding* 118: 97-110.
74. Mesterhazy A., Bartok T., Lamper C. (2003). Influence of Wheat Cultivar, Species of *Fusarium* , and Isolate Aggressiveness on the Efficacy of Fungicides for Control of *Fusarium* Head Blight. *Plant Disease* 87(9): 1107-1115.
75. Mesterhazy A., Lemmens M., Reid L. M. (2012). Breeding for resistance to ear rots caused by *Fusarium* spp. in maize – a review. *Plant Breeding* 131: 1-19.

76. Miedaner T., Borchardt D. C., Geiger H. H. (1993). Genetic analysis of inbred lines and their crosses for resistance to head blight (*Fusarium culmorum*, *F. graminearum*) in winter rye. *Euphytica* 65: 123-133.
77. Miedaner T., Wilde F., Steiner B., Buerstmayr H., Korzun V., Ebmeyer E. (2006) Stacking quantitative trait loci (QTL) for *Fusarium* head blight resistance from non-adapted sources in an European elite spring wheat background and assessing their effects on deoxynivalenol (DON) content and disease severity. *Theor. Appl. Genet.* 112: 562-569.
78. Miedaner T., Wurschum T., Maurer H. P., Korzun V., Ebmeyer E., Reif J. C. (2011). Association mapping for *Fusarium* head blight resistance in European soft winter wheat. *Mol Breed.* 28: 647-655.
79. Miedaner T., Schulthess A. W., Gowda M., Reif J., Longin C. F. H. (2017). High accuracy of predicting hybrid performance of *Fusarium* head blight resistance by mid-parent values in wheat. *Theor Appl Genet.* 130: 461-470.
80. Miraglia M., Marvin H. J., Kleter G. A., Battilani P., Brera C., Coni E., Cubadda F., Croci L., De Santis B., Dekkers S., Filippi L., Hutjes R. W., Noordam M. Y., Pisante M., Piva G., Prandini A., Toti L., van den Born G. J., Vespermann A. (2009). Climate change and food safety: an emerging issue with special focus on Europe. *Food and Chemical Toxicology* 47(5): 1009-1021.
81. Mohan M., Nair S., Bhagwat A. (1997). Genome mapping, molecular markers and marker-assisted selection in crop plants. *Molecular breeding* 3(2): 87-103.
82. Moretti A. (2009). Taxonomy of *Fusarium* genus: A continuous fight between lumpers and splitters. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke* 117: 7-13.
83. Nelson P. E., Toussaun T. A., Marasas W. F. O. (1983). *Fusarium* species. The Pennsylvania State University Press.
84. Nelson P. E., Dignani M. C., Anaissie E. J. (1994). Taxonomy, biology, and clinical aspects of *Fusarium* species. *Clinical Microbiology Reviews* 7(4): 479-504.
85. Nightingale M. J., Marchylo B. A., Clear R. M., Dexter J. E., Preston K. R. (1999). *Fusarium* head blight: effect of fungal proteases on wheat storage proteins. *Cereal Chem.* 76(1): 150-158.
86. Nirenberg H. I. (1981). A simplified method for identifying *Fusarium* spp. occurring on wheat. *Can J Botany* 59: 1599-1609.
87. Oettler G., Wahle G. (2001). Genotypic and environmental variation of resistance to head blight in triticale inoculated with *Fusarium culmorum*. *Plant Breed.* 120: 297-300.
88. Oldrach K., Serazetdinova L., Becker D., Lorz H. (2001). Molecular Breeding for improved biotic stress resistance. *U: Developments in Plant Breeding* 9: 311-316.

89. Osborne L. E., Stein J. M. (2007). Epidemiology of *Fusarium* head blight on small-grain cereals. *Int J Food Microbiol.* 119(1-2) :103-108.
90. Paillard S., Schnurbusch T., Tiwari R. (2004). QTL analysis of resistance to *Fusarium* head blight in Swiss winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor Appl Genet.* 119: 323-332.
91. Parry D. W., Jenkinson P., McLeod L. (1995). *Fusarium* ear blight (scab) in small-grain cereals – a review. *Plant Pathol.* 44: 207-238.
92. Pugh G. W., Johann H., Dickson J. G. (1933). Factors affecting infection of wheat heads by *Gibberella saubinetii*. *J Agric Res.* 46: 771-779.
93. Qi L. L., Pumphrey M. O., Friebe B., Chen P. D., Gill. B. S. (2008). Molecular cytogenetic characterization of alien introgressions with gene *Fhb3* for resistance to *Fusarium* head blight disease of wheat. *Theor Appl Genet.* 117(7): 1155-1166.
94. Quarta A., Mita G., Haidukowski M., Santino A., Mulè G., Visconti A. (2005). Assessment of trichothecene chemotypes of *Fusarium culmorum* occurring in Europe. *Food Additives and Contaminants* 22: 309-315.
95. Rafalski J. A., Tingey S. V. (1993). Genetic diagnostics in plant breeding: RAPDs, microsatellites and machines. *Trends in Genetics* 9(8): 275-80.
96. Ramirez M. L., Chulze S., Magan N. (2006). Temperature and water activity effects on growth and temporal deoxynivalenol production by two Argentinean strains of *Fusarium graminearum* on irradiated wheat grain. *Int J Food Microbiol.* 106(3) :291-296.
97. Rodriguez F., Alvarado G., Pacheco A., Crossa J., Burgueno J. (2015). "AGD-R (Analysis of Genetic Designs with R for Windows) Version 5.0". hdl:11529/10202. CIMMYT Research Data & Software Repository Network. V13.
98. Saur L. (1991). Recherche de geniteurs de resistance a la fusariose de lepi causee par *Fusarium culmorum* chez le ble et les especes voisines. *Agronomie* 11: 535–541.
99. SAS Institute Inc. (2009). SAS/ STAT 9.2 Users Guide. SAS Inc. Cary. NC. USA.
100. Schmale III D. G., Bergstrom G. C. (2003). *Fusarium* head blight in wheat. The Plant Health Instructor.
101. Schmolke M., Zimmermann G., Buerstmayr H. (2005). Molecular mapping of *Fusarium* head blight resistance in the winter wheat population Dream/Lynx. *Theor Appl Genet.* 111: 747-756.
102. Schroeder H. W., Christensen J. J. (1963). Factors effecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology* 53: 831-838.
103. Shim W. B., Woloshuk C. P. (1999). Nitrogen repression of fumonisin B1 biosynthesis in *Gibberella fujikuroi*. *FEMS Microbiol Letters* 177: 109-116.

104. Skinnes H., Tarkegne Y., Dieseth J. A., Bjornstad A. (2008). Associations between anther extrusion and Fusarium Head Blight in European wheat. *Cereal Res Commun.* 36: 223-231.
105. Snijders C. H. A. (1990). Diallel analysis of resistance to head blight caused by *Fusarium culmorum* in winter wheat. *Euphytica* 50: 1-9.
106. Snijders C. H. A., Perkowski J. (1990). Effects of Head Blight Caused by *Fusarium culmorum* on Toxin Content and Weight of Wheat Kernels. *Phytopathology* 80(6): 566-570.
107. Soltanloo H., Khorzoghi E. G., Ramezani S. S., Arabi M. K. (2011). Genetic analysis of Fusarium head blight resistance in bread wheat. *Australasian Plant Pathol.* 40: 453-460.
108. Steiner B., Lemmens M., Griesser M., Scholz U., Schondelmaier J., Buerstmayr H. (2004). Molecular mapping of resistance to Fusarium head blight in the spring wheat cultivar Frontana. *Theor Appl Genet.* 109(1): 215-224.
109. Steiner B., Kurz H., Lemmens M., Buerstmayr H. (2008). Differential gene expression of related wheat lines with contrasting levels of head blight resistance after *Fusarium graminearum* inoculation. *Theor Appl Genet.* 118: 753-764.
110. Sutton J. C. (1982). Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Can J Plant Pathol Rev Can Phytopathol.* 4: 195-209.
111. Šip V., Chrpova J., Štočkova L. (2011). Evaluation of Resistance to Fusarium Head Blight in Wheat Using Different Sources of Inoculum. *Czech J. Genet. Plant Breed.* 47(4): 131-139.
112. Šip V., Chrpova J., Šterbova L., Palicova J. (2017). Combining Ability Analysis of Fusarium Head Blight Resistance in European Winter Wheat Varieties. *Cereal Research Communications* 45(2): 260-271.
113. Španić V. (2010). Varijabilnost genotipova pšenice (*Triticum aestivum* L.) obzirom na FHB otpornost i genetsku divergentnost. Doktorski rad. Poljoprivredni fakultet Osijek.
114. Španić V., Lemmens M., Drezner G. (2010). Morphological and molecular identification of *Fusarium* species associated with head blight on wheat in East Croatia. *European journal of plant pathology* 128(4): 511-516.
115. Španić V., Marček T., Abičić I., Šarkanj B. (2018). Effects of Fusarium head blight on wheat grain and malt infected by *Fusarium culmorum*. *Toxins* 10 (1): 17.
116. Takeda K., Wu J. R. (1996). Inheritance of resistance to fusarium head blight in F-1 hybrids of barley. *Breed Sci.* 46: 269-274.
117. Tschanz A. T., Horst R. K., Nelson P. E. (1976). The effect of environment on sexual reproduction of *Gibberella zeae*. *Mycologia* 68: 327-340

118. Tomasović S., Vlahović V., Sesar B. (1994). Fuzarioze pšenice sa težištem na zarazu klasa. *Sjemenarstvo* 11(94)6: 517-546.
119. Tomasović S., Palaveršić B., Mlinar R., Ikić I., Jukić K., Ivanušić T. (2011). Utjecaj fuzarijske paleži klasa pšenice na smanjenje uroda zrna. 46th Croatian & 6th 74 International Symposium on Agriculture. Book of Abstracts. 74.
120. Van Ginkel M., Van Der Schaar W., Yang Z. P., Rajaram S. (1996). Inheritance of Resistance to Scab in Two Wheat Cultivars from Brazil and China. *Plant Disease* 80: 863-867.
121. Vismer H. F., Snijman P. W., Marasas W. F. O., Schalkwyk D. J. (2004). Production of Fumonisin by *Fusarium verticillioides* Strains on Solid and in a Defined Liquid Medium – Effects of L-methionine and Inoculum. *Mycopathologia* 158: 99-106.
122. Voss H. H., Holzapfel J., Hartl L., Korzun V., Rabenstein F., Ebmeyer E., Coester H., Kempf H., Miedaner T. (2008). Effect of the Rht-D1 dwarfing locus on *Fusarium* head blight rating in three segregating populations of winter wheat. *Plant Breed.* 127: 333-339
123. Wilde F., Korzun V., Ebmeyer E., Geiger H. H., Miedaner T. (2007) .Comparison of phenotypic and marker-based selection for *Fusarium* head blight resistance and DON content in spring wheat. *Mol. Breed.* 19: 357-370.
124. Xu X.M., Nicholson P., Thomsett M. A., Simpson D., Cooke B. M., Doohan F. M., Brennan J., Monaghan S., Moretti A., Mule G., Hornok L., Beki E., Tatnell J., Ritieni A., Edwards S.G. (2008). Relationship between the fungal complex causing *Fusarium* head blight of wheat and environmental conditions. *Phytopathology* 98(1): 69-78.
125. Xue S., Li G., Jia H., Xu F., Lin F., Tang M., Wang Y., An X., Xu H., Zhang L., Kong Z., Ma Z. (2010). Fine mapping Fhb4, a major QTL conditioning resistance to *Fusarium* infection in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor Appl Genet.* 121: 147-156.
126. Xue S., Tang M., Zhou Y., Li G., An X., Lin F., Xu H., Jia H., Zhang L., Kong Z., Ma Z. (2011). Precise mapping Fhb5, a major QTL conditioning resistance to *Fusarium* infection in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor Appl Genet.* 123(6): 1055-1063.
127. Yang Z. P., Gilbert J., Somers D. J., Fedak G., Procunier J. D., McKenzie R. (2003). Marker-assisted selection of *Fusarium* head blight resistance genes in two doubled-haploid populations. of wheat. *Mol Breed.* 12: 309-317.
128. Zwart R. S., Muylle H., Van Huylenbroeck J., Van Bockstaele E., Roldán-Ruiz I. (2008). Combining ability analysis of *Fusarium* head blight resistance in western European wheat lines. *Euphytica* 162: 449-456.

8. ŽIVOTOPIS

Marko Maričević je rođen 8. lipnja 1986. godine u Slavonskom Brodu. Pohađao je osnovnu školu „Ivan Mažuranić“ u Sibirju te Prirodoslovno-matematičku gimnaziju „Matija Mesić“ u Slavonskom Brodu. Preddiplomski studij Biljne znanosti je završio 2008. godine na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Diplomski studij Biljne znanosti je završio 2010. godine također na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Od 1. listopada 2010. godine do danas radi kao stručni suradnik na oplemenjivanju u Bc Institutu za oplemenjivanje i proizvodnju bilja, d.d. u Zagrebu. Znanstveno usavršavanje u trajanju od četiri mjeseca iz područja oplemenjivanje strnih žitarica na otpornost na fuzarijski palež klasa prošao je 2011. godine na IFA-Tulln u Austriji. Trenutno sudjeluje na projektu „Genetsko poboljšanje i optimizacija potencijala rodosti pšenice“ (2178), Hrvatske zaklade za znanost. Sudjelovao je na nekoliko domaćih i međunarodnih znanstvenih skupova iz područja oplemenjivanja bilja, genetike i sjemenarstva. Kao autor i koautor ima objavljenih 7 radova, od čega jedan u kategoriji A1, tri u kategoriji A2 i tri u kategoriji A3. Kao koautor je sudjelovao i u jednom poglavlju u knjizi.

Popis objavljeni znanstvenih radova:

Znanstveni radovi iz skupine a1:

Ikić I., Maričević M., Tomasović S., Gunjača J., Šatović Z., Šarčević H. (2012). The effect of germination temperature on seed dormancy in Croatian-grown winter wheats. *Euphytica* 188(1): 25-34.

Znanstveni radovi iz skupine a2:

Bukan M., Maričević M., Ikić I., Mlinar R., Lovrić A., Gunjača J., Šarčević H. (2015). Utjecaj gnojidbe dušikom na prinos i kvalitetu zrna jare zobi pljevičastog i golog zrna. *Poljoprivreda* 21(1): 15-21.

Lovrić A., Jukić K., Ikić I., Maričević M., Bukan M., Gunjača J., Barić M., Šarčević H. (2015). Heritability of Indirect Bread-making Quality Traits in Segregating Generations of Two Winter Wheat Crosses. *ACS. Agriculturae conspectus scintificus* 80(2): 85-90.

Mlinar R., Maričević M., Ikić I., Jukić K., Bukan M. (2017). Bc Mandica - nova Bc sorta ozime pšenice. *Sjemenarstvo* 30(1-2): 35-43.

Znanstveni radovi iz skupine a3:

Jukić K., Burek Svetec N., Gunjača J., Bukan M., Ikić I., Tomasović S., Mlinar R., Maričević M., Šarčević H. (2011). Učinak gnojidbe dušikom na dormantnost zrna kod pšenice. Zbornik radova 46. hrvatskog i 6. međunarodnog simpozija agronoma, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, 14. – 18. veljače 2011., Opatija, Hrvatska, str. 399-403.

Lovrić A., Maretić R., Dujmić D., Ikić I., Maričević M., Bukan M., Jukić K., Barić M., Šarčević H. (2014). Utjecaj prisutnosti osja na neka svojstva klasa i zrna u F6 generaciji pšenice. Zbornik radova 49. hrvatskog i 9. međunarodnog simpozija agronoma, Poljoprivredni fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 16. – 21. veljače 2014., Dubrovnik, Hrvatska, str. 254-258.

Lovrić A., Šeremet J., Jukić K., Ikić I., Maričević M., Bolarić S., Gunjača J., Šarčević H. (2017). Vrijednost agronomskih svojstava i svojstava kvalitete kod F4 potomstava četiriju kombinacija križanja ozime pšenice. Zbornik radova 52. hrvatskog i 12. međunarodnog simpozija agronoma, Poljoprivredni fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 12. – 17. veljače 2017., Dubrovnik, Hrvatska, str. 232-236.

Poglavlja u knjizi:

Tomasović S., Mlinar R., Ikić I., Jukić K., Maričević M. (2012). Oplemenjivanje pšenice i pšenoraži u Bc Institutu d.d. Zagreb. U: Oplemenjivanje poljoprivrednog bilja u Hrvatskoj (ur. Kozumplik V., Pejić I.), Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb, Hrvatska, str. 43-47.