Heritabilnost otpornosti pšenice na fuzarijsku palež klasa u uvjetima umjetne i prirodne infekcije

Polić, Dinko

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:204:328161

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

AGRONOMSKI FAKULTET

Dinko Polić

HERITABILNOST OTPORNOSTI PŠENICE NA FUZARIJSKU PALEŽ KLASA U UVJETIMA UMJETNE I PRIRODNE INFEKCIJE

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij: Biljne znanosti

Dinko Polić

HERITABILNOST OTPORNOSTI PŠENICE NA FUZARIJSKU PALEŽ KLASA U UVJETIMA UMJETNE I PRIRODNE INFEKCIJE

DIPLOMSKI RAD

MENTOR: Prof. dr. sc. Hrvoje Šarčević

Zagreb, 2016.

Ovaj diplomski rad je ocijenjen i obranjen dana _____ s ocjenom _____ pred Povjerenstvom u sastavu:

1. prof.dr.sc. Hrvoje Šarčević_____

2. prof.dr.sc. Ana Pospišil _____

3. prof.dr.sc. Jerko Gunjača _____

SAŽETAK

Fusarijska palež klasa (FHB), uzrokovana gljivom Fusarium graminearum (teleomorf Gibberella zeae (Schw.) Petch) trenutno je jedna od najopasnijih bolesti pšenice u svijetu. Štete od zaraze se očituju u smanjenju prinosa zrna te nakupljanju za zdravlje ljudi i životinja štetnih mikotoksina. Razvoj otpornih kultivara se smatra najučinkovitijim načinom kontrole. U oplemenjivanju na otpornost na FHB koriste se različite metode umjetne inokulacije klasa među kojima je najčešće korištenja metoda nanošenja inokuluma na klasove pšenice prskanjem u fazi cvatnje (sprej metoda). Ova metoda je tehnički i radno zahtjevna pa se kao alternativa predlaže površinsko razbacivanje zaražene kukuruzovine nakon nicanja pšenice (inokulacija kukuruzovinom). Kod izbora prikladne metode umjetne inokulacije oplemenjivaču je osim cijene i vremena potrebnog za njenu implementaciju važna i visoka heritabilnost metode radi dobivanja pouzdanih i ponovljivih rezultata. Cilj rada je bio u usporediti heritabilnost dviju metoda umjetne infekcije i metode prirodne infekcije uzročnikom fuzarijske paleži klasa pšenice te procijeniti fenotipske korelacije između navedenih metoda. U 2014/2015. vegetacijskoj sezoni 18 oplemenjivačkih linija iz Bc instituta Zagreb i 5 standarda različite otpornosti na FHB uzgajano je u uvjetima umjetne infekcije uzročnicima FHB kao i uvjetima prirodne infekcije. Signifikantne razlike među genotipovima utvrđene se za indeks zaraženosti klasa (VRI) kod sve tri metode infekcije dok su za Fuzarijem oštećena zrna (FDK) razlike bile signifikantne samo za dvije metode umjetne infekcije. Za obje ocjene VRI i FDK utvrđena je signifikantna interakcija između metode i genotipa. Nekoliko oplemenjivačkih linija pokazivalo je otpornost na FHB na razini otpornih standarda. Za VRI utvrđene su jake pozitivne korelacije (0,85-0,91) između svih triju metoda, dok je u slučaju FDK jaka korelacija utvrđena samo između dviju metoda umjetne infekcije (0,86). Kod sve tri metode infekcije heritabilnost je bila znatno veća za VRI (0,59-0,95) nego za FDK (0,04-0,54). Također, heritabilnost kako za VRI tako i FDK bila je znatno veća kod dviju metoda umjetne infekcije u usporedbi s heritabilnošću u uvjetima prirodne infekcije.

Ključne riječi: pšenica, fuzarijska palež klasa, heritabilnost, korelacije

ABSTRACT

Fusarium blight (FHB), caused by the fungus Fusarium graminearum (Gibberella zeae teleomorph (Schw.) Petch) is currently one of the most dangerous diseases of wheat in the world. The damage caused by the infection manifests in the reduction of grain yield and accumulation of mycotoxins harmful for human and animal health. The development of resistant cultivars is considered to be the most effective method of disease control. In breeding for resistance to FHB different methods of artificial ear inoculation have been used including the most common method of spraying of inoculum on wheat ears in the flowering stage (spray method). This method is technically and labor demanding and as an alternative a surface scattering of infected maize stalks on the soil surface after the emergence of wheat have also been proposed (maize stalk method). When choosing an appropriate method of artificial inoculation in addition to cost and time required for its implementation, ahigh heritability of the method is required to obtain reliable and reproducible results. The aim of the study was, in a field experiment including 18 breeding lines from Bc Institute Zagreb and 5 checks with different levels of FHB resistance, to compare the heritability of two methods of artificial inoculation (spray and maize stalk methods) and a method of natural infection with fungi that causes FHB of wheat and to assess the phenotypic correlation between these methods. Significant differences among genotypes was determined for Visual Rating Index (VRI) for all three methods of infection while for the percent Fusarium damaged kernels (FDK) differences were significant only for two methods of artificial inoculation. For both ratings VRI and FDK a significant interaction between method and genotype was determined. The level of resistance to FHB in several breeding lines was similar to the resistant standards. For VRI a strong positive correlation (0.85 to 0.91) between all three methods was found, whereas in the case of FDK strong correlation was observed only between the two methods of artificial inoculation (0.86). For all three methods heritability was significantly higher for VRI (0.59 to 0.95) than for FDK (0.04 to 0.54). Also, the heritability for both SAI and FDK was significantly higher for the two methods of artificial inoculation than for natural infection.

Keywords: wheat, Fusarium head blight, heritability, correlation

SADRŽAJ

1. UVOD I CILJ ISTRAŽIVANJA 4
2. PREGLED LITERATURE 5
2.1.1. FUZARIJSKA PALEŽ KLASA I EPIDEMIOLOGIJA BOLESTI (FHB) 5
2.1.2. Rasprostranjenost fuzarioza pšenice 7
2.1.3. Fusarioze pšenice 8
2.2.1. Fuzarijska palež klasova 9
2.2.2. Razlozi povećanja incidencije fuzarioza 11
2.2.3. Mjere za kontrolu fuzarijske paleži klasa 11
2.3.1.Kemijska kontrola 12
2.3.2. Biološka zaštita 13
2.3.3. Oplemenjivanje na FHB 14
2.4.1. Tipovi otpornosti pšenice na FHB 15
3. MATERIJAL I METODE 17
4. REZULTATI I RASPRAVA 19
5. ZAKLJUČAK 27
6. POPIS LITERATURE 28

1. UVOD I CILJ ISTRAŽIVANJA

Pšenica (*Triticum aestivum L.*) jedna je od najvažnijih prehrambenih sirovina i danas ima jednu od vodećih uloga među žitaricama te zauzima ključno mjesto u prehrambenom lancu proizvodnje i prerade u druge visoko kvalitetne proizvode (za ljude, životinje i mikroorganizme). Glavni cilj proizvođača pšenice je postići visoke prinose zrna dobre kvalitete. Na prinos kao i na kvalitetu zrna pšenice utječu vremenske prilike kao i agrotehnički postupci (obrada, gnojidba, zaštita od štetnika i bolesti i dr.)

Na zrnu pšenice se može naći veliki broj mikorganizama, što se najprije odnosi na gljivice koje naseljavaju klas i zrno tijekom cijele vegetacije. Njihova se brojnost najčešće povećava nakon berbe, ali i tijekom transporta i loših uvjeta u skladištu (povišena vlaga i temperatura), (Cvjetković i Jurjević, 1997.; Jurjević i sur., 1997.), što dokazuje da je to jedan od preduvjeta za gubitak vrijednosti na samom tržištu a samim time za razvoj ekstracelularnih toksičnih metabolita različitih plijesni mikotoksina. Jedan je od glavnih ograničavajućih faktora u proizvodnji pšenice je fuzarijska palež klasa (FHB), uzrokovana gljivicom *Fusarium graminearum* Schw. Ova bolest smanjuje prinos i tehnološku kvalitetu zrna, kao i njegovu zdravstvenu ispravnost, zbog akumulirajnja mikotoksina, koji su štetni za ljude i životinje (Ruckenbauer i sur., 2001.). Stvaranje sorti koje posjeduju genetski uvjetovanu otpornost jedna je od najisplativijih metoda za kontrolu ove bolesti. U oplemenjivačkim programima usmjerenim na povećanje otpornosti genotipova pšenice na FHB redovito se koriste metode umjetne infekcije, koje se provode u staklenicima ili na polju. Rezultati umjetne infekcije trebali bi dobro koreliratiu s otpornošću pojedinih genotipava uzgojenih u uvjetima prirodne infekcije na ciljanom području uzgoja novih kultivara.

Cilj rada je bio u usporediti heritabilnost dviju metoda umjetne infekcije i metode prirodne infekcije uzročnikom fuzarijske paleži klasa pšenice te procijeniti fenotipske korelacije između navedenih metoda.

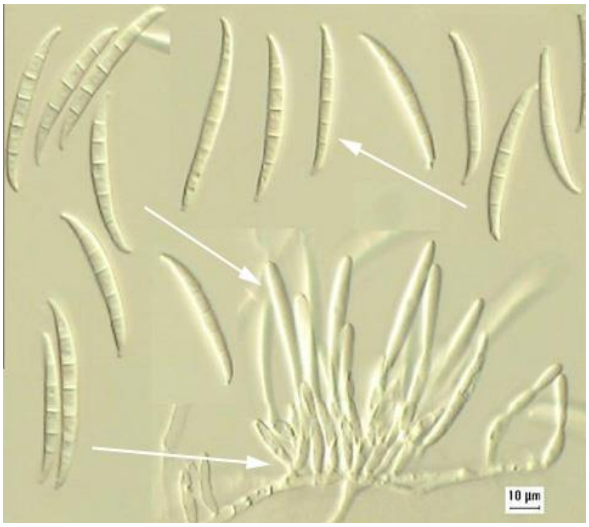
2. PREGLED LITERATURE

2.1.1. FUZARIJSKA PALEŽ KLASA I EPIDEMIOLOGIJA BOLESTI (FHB)

Fusarijska palež klasa (FHB) je visoko destruktivna bolest pšenice (*Triticum aestivum L.i Triticum durum L.*) i ječma (*Hordeum vulgare L.*) uzrokovana gljivom *Fusarium graminearum* Schwabe [teleomorph = Gibberella zeae (Schw.) Petch]. Prvi opis FHB je napravljen 1884. godine u Engleskoj, a smatralo se da je glavna opasnost za proizvodnju strnih žitarica tijekom ranih godina 20. stoljeća (Stack, 1999.; 2003.). Teške FHB epidemije zabilježeni su diljem SAD-a, Kanade, Južne Amerike, Europe i Azije tijekom 20. stoljeća (McMullen i sur., 1997.). Jedna od najstarijih zapisa o postojanju roda *Fusarium* seže još od vremena starih Asteka, koji su opisali propadanje klipa kukuruza kojeg je u Meksiku pronašao jedan franjevac u 16. stoljeću. Genus *Fusarium* pripada klasi *Hyphomycetes*, red *Hyphales* i uključuje više od 1000 vrsta, i saprofitskih i fitopatogenih. *Fusarium* vrste su prisutne u svim dijelovima svijeta, neki od njih su ubikvisti, dok drugi mogu živjeti samo u određenim klimatskim uvjetima. Oni su izolirani od vječnog leda na Arktiku do pijeska Sahare (Booth, 1971.). Patogene *Fusarium* vrste uzrokuju bolesti, mikoze biljaka i mikotoksikoze životinja i ljudi. Mnogi smatraju da je ovaj gljivični rod jedna od najvažnijih vrsta koji mogu značajno utjecati na prinos i kvalitetu kultiviranih biljaka. *Fusarium* rod sadrži veliki broj vrsta koji su uglavnom saprofitske prirode, a fitoparazitne pripadaju u grupu fakulatativnih parazita. Izvor inokuluma može biti zaraženo tlo, sjeme i alternativni domaćini poput korova. Zaraza putem sjemena je većinom dubinska ili površinska. Plijesni iz roda *Fusarium* uglavnom napadaju veliki broj kultiviranih i korovskih vrsta iz različitih porodica i izazivaju različite bolesti poput paleža klijanaca (pšenica, kukuruz, ječam), truleži korijena (pšenica, ječam, kukuruz), lukovice (luk, narcisi, tulipani), i gomolja (krumpir), trulež stabljike (kukuruz), trulež klipa (kukuruz), palež klasova (pšenica) i sl. Također mogu izazvati uvenulost biljaka u provodnim snopovima (rajčice, krastavci, karanfili) te govorimo o traheomikozama. Štetnost se prvenstveno ispoljava u smanjenju prinosa i kvalitete zrna kod pšenice. U našim klimatskim uvjetima zabilježene su zaraze čak do 50%, te se tijekom niza godina smatra da zaražena zrna produciraju mikotoksine, a poseban problem predstavljaju kod sjemenskih usjeva. Kod zaraženih zrna pored značajnog smanjenja klijavosti, opada i energija klijanja. Klica koja se razvija iz zaraženog sjemena, obično gubi orijentaciju rasta i propada u manje povoljnim zemljišnim uvjetima.

Razlike između izolata su nepoznate kao i dokazi o interakcijama između kultivara i izolata. Početni izvor *Fusariuma* je iz ostatka usjeva, tj od ostatka askospora, makrokonidija (Slika 1.) ili kalmidiospora (Sturz i Johnston, 1985., Parry i sur., 1995.). Sjetva sjemena u zaraženo tlo može rezultirati interakcijom biljaka i razvojem bolesti. U prirodi hife, fragmenti su važan izvor inokuluma za razvoj infekcije na korijenu. Kasnije tijekom vegetacije spore nošene vjetrom mogu biti izvor zaraze biljaka. Težina bolesti varira od godine do godine, ovisno o okolinskim uvjetima u periodu od cvatnje do formiranja klasa (Mcmullen i Stack, 1999.). Makrokonidije se distriburiraju na male udaljenosti nošene kišnim kapljicama, koje predstavljaju idealne uvjete za razvoj inokuluma (Bai i Shanner, 1994.). Primarni izvor inokuluma potječe od ostataka u tlu zaraženih biljaka i sjemena, biljnih krhotina, starih biljaka, zaraženih vrhova klipa kukuruza, slame od pšenice, i ostalih žitarica koje osiguravaju velike izvore inokuluma u obliku konidija i askospora (Atanasoff, 1920., Sutton, 1982., Scott i sur., 1988.). Saprofitski oblik patogena može biti značajan izvor zaraze od sezone do sezone, dok neke *Fusarium* vrste mogu preživjeti veoma dugi period u tlu (Shaner, 2003.). Putem se vjetra i insekata također mogu prenositi od jedne na drugu biljku, a zaražena sjemena mogu smanjiti klijavost sjemena i povećati učestalost truleži korijena i paleži sadnica (Steffenson, 2003.). Najčešći uzrok fuzarijskih bolesti u proizvodnji žitarica su vrste poput *F. graminearum*, a također se javljaju i *F. avenaceum, F. culmonorum, F. sublugutinans i Microdochim nivale*. Pregledom znastvene litarature utvrđeno je da se najveće zaraze događaju na temperaturama iznad 25 stupnjeva i uz visoku vlagu zraka, iznad 85%. Bolesna zrna su sitna, smežurana i često gube klijavost. Međutim, ako je do zaraze došlo u kasnijem periodu tijekom vegetacije, zrna imaju normalniji izgled i masu, ne gube klijavost i dobro su nalivena. Nekoliko čimbenika određuje zarazu klasa *Fusariumom,* zaraza se odvija na mekim dijelovima i osjetljivim poput antera (Parry i sur., 1995.). Askospore se prenose zračnim strujama i odlažu se unutar jednog ili više klasića. Ove spore mogu prilično učinkovito proklijati u roku 3 sata na 28 stupnjeva (Shaner, 2003.). Vrijeme je inkubacije od dana inokulacije do pojave simptoma pod utjecajem tumperature i vlažnosti zraka, gdje su temperature uglavnom od 25 do 30 stupnjeva. Tipični simptomi zaraze klasa su slamkasto uspravni i žuti klasovi, dok su zdravi klasovi zelene boje i nešto povijeniji zbog težine zrna, a ako je relativna vlaga zraka visoka, pojavljuju se narančaste odnosno ružičaste sporodohije, skupine razgranatih konidiofora s obiljem konidija, koje vjetar ili insekti raznose unutar usjeva. Također je utvrđeno da mogu biti zaraženi pojedini klasići, dio klasa ili cijeli klas. Zrna zaražena Fusariumom su obično zlatno žute boje, smeđe, narančaste ili tamno smeđe boje i tanka te spljoštena zbog nedostatka vode i hranjivih tvari (Mcmullen i Stack 1999, Tekauz i sur., 2000.). Kod uznapredovale infekcije pojavljuju se crne peritecije te je FHB lako prepoznati

na terenu, jer nijedna druga bolest ne stvara jednake simptome ili bijele glave klasa koje su izražene u zelenom polju (Mathre, 1997.).



Slika 1: Fuzarijska palež klasa, Anamorfna reprodukcija (aseksualni stadij) Makrokonidije

(Izvor:http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/ascomycetes/Pages/Fusarium.aspx)

2.1.2. Rasprostranjenost fuzarioza pšenice

Fuzarioze pšenice kao jedne od najvažnijih kultura za prehranu čovječanstva rasprostranjena su u gotovo svim područjima, gdje se ova kultura uzgaja. Uzročnici fuzarioza su polifagni paraziti. Može se pojaviti na pšenici tijekom cijele godine. Prema literaturnim podacima, jači napad u Hrvatskoj zapažen je davne 1975. godine, kada je potvrđeno da se radi o napadu FHB, a sporadično su se napadi pojavljivali i u ranijim godinama (Perišić, 1963.). Postoje dvije kategorije zaraženosti zrna, najprije jače napadnuto zrno (Slika 2.), čija je vitalnost jako smanjena te sudjeluje sa 10,3 - 54,7 % zaraze što pokazuje da je to posljedica ranijega napada *Fusariuma*, kako navodi Mesterhazy (1974.).



Slika 2: Razlika izmedju zaraženog i zdravog zrna pšenice

(Izvor: http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/ascomycetes/Pages/Fusarium.aspx)

2.1.3. Fusarioze pšenice

Pod imenom fusarioze pšenice podrazumijevamo skup bolesti koje uzrokuju gljive iz roda *Fusarium*. Mogu se podijeliti prema načinu promjena koje uzrokuju na domaćinu u tri skupine:

1. Uzročnike biljnih bolesti
2. Uzročnike kvarenja proizvoda u skladištima
3. Uzročnike bolesti čovijeka i životinja

Također je poznato da neke vrste *Fusariuma* produciraju sekudarne i toksične metabolite pod imenom mikotoksini, a koje mogu prouzročiti bolesti kod ljudi i životinja te negativno utjecati na rast, razvoj i razmnožavanje životinja kao i na zdravlje ljudi (Jurjević i sur, 2002.). Mikotoksini koje stvara *Fusarium* spp. pronadjeni su u jajima, mesu, mliječnim proizvodima, te konzumacija tih zaraženih proizvoda prestavlja ozbiljnu prijetnju zdravlju ljudi. Bolesti koje izaziva rod *Fusarium* mogu se manifestirati kao: palež klijanaca, sniježna plijesan, trulež korijena i palež klasova. Također je utvrđeno da ova zaraza ovisi o vrstama i patogenosti samog uzročnika, toleratnosti kultivara, razvojnog stadija biljke i okolišnih čimbenika.

2.2.1. Fuzarijska palež klasova

Jedna je od značajnijih bolesti s velikim posljedicama na kakvoću i prirod biljke, a do zaraze može doći od cvjetanja do kraja vegetacije. Najčešći uzročnici fuzarijske palaži klasa su *Fusarium graminearum i Fusarium moniliforme*. Prvi simptomi često prolaze neopaženi, ali nakon 4 do 5 dana možemo pažljivim pregledom uočiti prve simptome nakon infekcije. Pojedini zaraženi klasovi gube zelenu boju, a uslijed nekroze tkiva bivaju slamkastožuti. Ako su uvjeti povoljni za razvoj parazita, micelija preko pljevica i sjemena ovojnice prodire u endosperm zrna. U zaraženom klasu formiraju se zrna različitog stupnja nalivenosti i zahvaćenosti samim micelijom gljive. Štura zrna koja su zahvaćena parazitom bivaju bijela do ružičasta, ova zrna gube težinu pri kombajniranju, odnosno pri vršidbi bivaju izbačena. Kod nekih zrna poput polušturih bez jasno vidiljivih simptoma može postojati unutrašnja zaraza. Pojava bolesti javlja se kao blijeđenje klasova (Slika 3.), (bijeli klasovi), u umjerno humidnim i humidnim područjima. *Fusarium graminearum* je konidijski stadij, a obično je bolest uzrokovana aseksualnim i konidijskim stadijom. U vlažnim se uvjetima ostvaruje sekundarna zaraza, tj zaraza klasa, a u polusuhim uvjetima dolazi do primarne zaraze, tj do obojenje krune korijena, baze stabljike i podnožja busa (Wiese, 1977.; Čizmić: Marić, 1983.). Sekundarnoj infekciji pogoduje vlažno i toplo vrijeme te se lako uočavaju promjene na klasovima i konidije koje se prenose zrakom. Pri osnovi kao i na pljevama formiraju se narandžansto-crvenkaste navlake od micelija i sporonosnih organa samog parazita. Krajem vegetacije nekrotizirane klasove naseljavaju saprofitni mikrorganizmi, ličeći na čađavu prevlaku. Napad fusarioza može biti uočen i ako je vrijeme toplo, suho i vjetrovito od cvatnje do mliječne zriobe. Sekundarne infekcije prestavljaju veću opasnost od primarne infekcije, jer već na primarno zaraženoj stabljici, gljiva se vegetativno razmnožava i može zaraziti puno više klasova, a da biljka ostane zelena. Infekcija samog klasa izaziva smanjenje broja i težine zrna, razgradnju granula škroba, uskladištenog proteina i stanične stijenke. Ako infekcija nastupi kasnije, ovako zaraženo sjeme može se prenositi u sljedeću vegetaciju. Osim toga, brojne vrste mogu producirati mikotoksine koji mogu biti pogubni za ljudsko i životinjsko zdravlje (Marasas i sur., 1984.). Gljive iz roda *Fusarium* najčešći su kontaminanti kukuruza i drugih žitarica. *Fusarium* vrsta može preživjeti i na ostacima kukuruza, koji ostaju nakon žetve. Gljivične strukture, kao i micelija, klamidiospore (*F. graminearum*) i obložene hifa (*F. verticillioides*), može preživjeti nepovoljne ekološke uvjete duži period. Ostaci usjeva, kao i nepožete biljke mogu biti izvor inokuluma za

infekciju tla, sjemena, korijena, stabljike ili svile biljaka. Tijekom sazrijevanja zaraženo sjeme kukuruza na bazi klipa postaje smežurano i može promijeniti boju s bijelim, ružičastim ili svijetlo smeđim izgledom zbog micelijskog rasta Fusariuma. Fusarium je često izoliran od kukuruza. U mediteranskim su zemljama raširene *F. verticillioides (syn. Moniliforme) i F. Graminearum,* što odgovara prema pregledanim literaturnim radovima. Rjeđe izolirane vrste F. *equiseti, F. poae, F. sporotrichoides, F. kondilom, F. solani i F. Oxysporum.* Prema istraživanjima, podaci potkrepljuju zaključak o našim fumonizinima za proizvodnju *F. Verticillioides.* Razlozi mogu biti nepovoljni vremenski uvjeti (temperatura ispod nule, učestali snijeg, dugo razdoblje hladnoće), kukuruz, genotip i kontaminacija s kvasaca i antrakoid bakterija koje mogu imati neki utjecaj na fusariuma na samu proizvodnju mikotoksina.



Slika 3: Fuzarijska palež klasova (FHB)
(Izvor: http://news.ca.uky.edu/image/fusarium-head-blight)

2.2.2. Razlozi povećanja incidencije fuzarioza

Fuzarijska palež može sniziti prinos čak do 50% pa i više prema nekim podacima čak do 80% ovisno o utjecaju okoline i samog genotipa (Dimitrijević i sur., 1985.). Razlozi povećanja incidencije fusarioza iz godine u godinu mogu biti; monokultura, uzak plodored pšenica-kukuruz, osjetljivost sorti, zdrastveno stanje sjemenskog materijala, sjetva „tavanuše", primjena velike količine dušičnih mineralnih gnojiva preko 200 kg/ha (Kišpatić, 1980.). Sa oplemenjivačke strane programi unašanja otpornosti na fuzarioze klasa su veoma kompleksni. Predstavnici roda *Fusarium*, najčešće *Fusarium graminearum schw*., nalaze se u tlu i imaju male hranidbene zahtjeve kao saprofiti, a u slučaju povoljnih uvijeta nanose značajne štete (Tomasović, 1981.). Nositelji otpornosti, izvori gena za otpornost na fuzarioze klasa posjeduju niz nepoželjnih svojstava: ekstezivni genotipovi, viši habitus rasta, slaba otpornost na druge bolesti. Zbog tih razloga postavlja se zadatak da se oplemenjivanjem u novonastalim sortama pšenice adaptiranih na intezivne uvjete uzgoja poboljša otpornost na fuzarioze.

2.2.3. Mjere za kontrolu fuzarijske paleži klasa

Agrotehničke mjere kontrole bolesti kojima se može utjecati na smanjenje količine i raspršivanja inokuluma i samim time na spriječavanje potencijane infekcije, uključuju prvenstveno plodored, pripremu samoga zemljišta i suzbijanje korova (Parry i sur., 1995.). Obrada tla ili spaljivanje žetvenih ostataka mogu znatno smanjiti količinu inokuluma na terenu. Nažalost, ponekad pozitivnim čimbenicima možemo prouzročiti i negativne, npr., čestom obradom tla možemo prouzročiti eroziju tla, gubitak vlage u tlu što postaje samim time dugotrajan i skup proces (Steffensen, 2003.). Budući da je spaljivanje žetvenih ostataka u EU zabranjeno, obrada tla je jedina opcija koja preostaje kada se govori o zbrinjavanju ostataka usjeva (Mcmullen i Stack, 1999.). Tamo gdje je korištena reducirana obrada tla, npr. kod kukuruza inokuluma se i dalje može naći u izobilju tijekom dugog proljeća nakon berbe kukuruza jer ostaci kukuruzovine ostaje znatno dulje na polju od ostatka strnih žitarica (Shaner, 2003.). Količina inokuluma ovisi i o tome koliko su dugo žetveni ostaci ostali netaknuti nakon žetve i koliko dobro gljiva može preživjeti u samim ostacima (Shaner, 2003.). Za bolju kontrolu FHB preporučuje se ranija obrada tla, gdje je god to moguće jer peritecija može pustiti inokulum iz ostataka koji se zadržavaju na površini tla (Cook, 1981; Jones i Clifford, 1983.). Rotacije

usjeva u vremenskom periodu od 3 godine također mogu smanjiti količinu inokuluma, jer se pokazalo da je sporulacija same gljive znatno samanjena nakon 3 godine te predstavlja jednu od mjera zaštite od FHB (Shaner, 2003.). Zarazu može smanjiti i učinkovito suzbijanje korova, posebno jednogodišnjih širokolisnih korova budući da incidencija FHB raste s povećanjem korovske flore. Trave poput *Paradoxa* trave *Phalaris paradoxa* L. I divlje zobi *Avena sativa* su domaćini *F.graminearum* i pridonose povećanoj incidenciji same bolesti (Anasoff, 1920; Jekinson i Parry, 1994.). Jedna od metoda, tretiranje sjemena, podrazumijeva korištenje i primjenu mehaničkih, fizičkih, te kemijskih ili bioloških metoda i tehnika aplikacije koje osiguravaju sjemenu/biljci zaštitu i zdrav porast. Zaštita se prvenstveno odnosi na bolesti koje se prenose sjemenom i tlom (*Tilletia sp., Fusarium sp., Rhizoctonia, Septoria sp*.). Mehaničkim tretiranjem (selektriranje, četkanje) odstranjuje se zaraženo sitnije i lakše sjeme, te primjese. Neke bolesti (*Pyrenophora graminea, P. teres, Ustilago nuda i Fusarium sp.)* mogu se kontrolirati selektriranjem po krupnoći i masi sjemena, iako neka istraživanja (Borgen, 2005.) ukazuju da učinak četkanja može biti usporediv s kemijskim tretiranjem, ovom se metodom ne uklanjaju svi patogeni organizmi s površine sjemena niti se postiže zadovoljavajuća zaštita od naknadne infekcije patogenima iz tla. Stoga mehanički tretirano sjeme zahtijeva dodatni kemijski tretman.

2.3.1.Kemijska kontrola

Vrijeme i brzina su jedni od ključnih čimbenika u sprječavanju infekcije fusariozama na polju. Najranije je vrijeme za tretiranje kada su se svi klasovi na vrijeme oblikovali glave i za vrijeme cvjetanja (Mesterhazy, 2004.; Mcmullen i sur., 2008.). Međutim iako tebukonazol pokazao vrlo učinkovitimt u suzbijanju FHB, neke aktivne tvari poput metkonazola i prorokonazola pojedinačno ili u kombinaciji s tebukonazolom bili su učinkovitiji od samog tebukonazola (Mcmullen i sur., 2008.; Paul i sur., 2008.).

Studije su pokazale da je nadzor nad bolesti poboljšan ako su raspršivači usmjereni pod kutem ili oba prema naprijed, prema glavi klasa zrna ili s jednom mlaznicom usmjerenom prema glavi zrna pod kutem od 30 stupnjeva (Mcmullen i sur., 2008.). Najefikasnija je zaštita da se proivođači pridržavaju djelotvornih fungicida, prskanje izvesti prije ostvarivanja moguće infekcije (u vrijeme cvjetanja i formiranja zrna), uporaba traktorskih prskalica uz utrošak najmanje 200 do 300 litara vode po hektaru sa odgovarajućim rasprskivačima „TwinJet“ koji

osiguravaju kvalitetnu pokrivenost klasova samim fungicidom (Balaž 1989b, Balaž i sur., 2008., 2010.). Fungicid prosaro registriran je na FHB te bolesti poput hrđa, septorioza i tan spota. Kasna primjena fungicida može dovesti do pojave njegovih ostataka na požetim zrnima, a ako sjeme sadrži te ostatke industrije za proizvodnju kruha, niti za proizvodnju piva ga neće prihvatiti. Tretiranje samog sjemena aktivnim tvarima poput mankozeba, benomila i tirama pokazuje djelotvornost u sprječavanju zaraze sjemena i sadnog materijala i samim time u sprječavanju širenja inokuluma što će poboljšati klijavost i energiju klijanja sjemena i povećati prinose (Gibert i Tekauz, 1995.).

2.3.2. Biološka zaštita

Biološka sredstva za zaštitu bilja osnivaju se na upotrebi mikroorganizama poput bakterija i gljivica. Biološka kontrola biljnih štetočina u tlu je potencijalna alternativa upotrebi kemijskih pesticida, koji su već pokazali štetan učinak za okoliš. *Trichoderma spp*. je gljivično sredstvo za biološko suzbijanje biljnih patogena.

Alginat formulacije biološkog sredstva, konidija i/ili micelija ili askospora (npr. *Trichoderma spp., Talaromyces spp., Gliocladium spp*.), dovode do brzog porasta gljivica i razmnožavanja u tlu, što omogućava uspješnu biološku kontrolu nekoliko biljnih bolesti. Alginat formulacije *Trichoderma spp.* su bolji za proliferaciju i preživljavanje od konidija, dodanih izravno u isto tlo nakon 3 mjeseca inkubacije. Osim toga, ti pripravci imaju inhibicijski učinak na neke patogene (*Fusarium spp., Rhizoctonia spp. i Sclerotium spp, A. terreus i Alternaria spp.*). Nekoliko antagonista *F. graminearum* mogu se koristiti u kombinaciji s kemijskim sredstvima i znatno smanjiti jačinu infekcije kao i DON kontaminacije (Da Luz i sur., 2003.). Uključujući bakterije poput *Baciils spp*., kvasce kao što su *Cryptococcus* i nitaste gljivice poput *Trichoderma spp*. (Kahn i sur. 1998.). Biološka metoda djelomično može igrati važnu ulogu u integriranoj proizvodnji žitarica protiv FHB. Biološki se agensi proizvode u većim količinama, imaju dug rok trajanja, učinkovitu ulogu, značajan potencijal da smanje FHB, i samim tim imaju duži rok trajanja i u skladu su s dobrom poljoprivrednom praksom (da Luz i sur., 2003., Gilbert i Fernando, 2004.).

2.3.3. Oplemenjivanje na FHB

Oplemenjivanje na fuzarijsku palež klasa (FHB) koje rezultira otpornim sortama jedna je od najisplativijih metoda kontrole bolesti (Mesterhazy, 1995. i Miedaner, 1997.). Otpornost na FHB kvantitativne je prirode, a potpuno otporan genotip još nije pronađen. Većina sadašnjih sorti pšenice u središnjoj Europi umjereno je osjetljiva na FHB, a i tetraploidna pšenica *Triticum durum* ima određenu tendenciju osjetljivosti (Buerstmayr i sur., 1996a). U posljednih nekoliko godina veliki se napori ulažu u stvaranje sorti otpornih na FHB što su uspješno i najavili (Buerstmayr i sur., 2000.), (Chen i sur., 1997.), podrijetlom iz Austrije, Mađarske (Mestehazy, 1995.,1997.), Kine, SAD i Kanade (Gilbert i sur., Rudd, 1997 Stack i sur.,1997.). Opisano je nekoliko izvora otpornosti na FHB podrijetlom iz germplazme poput kineske i japanske proljetne pšenice (npr., Suspecions #3 i Nobeokabozu), iz južno-američke germlazne npr. (Fontana u Encruzilhada) i germlplazme Europske ozime pšenice (npr. Arina i Praah-8) (Snijders, 1990.; Wang i Liu, 1991.; Buerstmayr i sur., 1996a), koje samim time predstavljaju ozbiljnu potencijalnu opasnost uzgoja na otpornost (FHB) za koje se sada široko koriste za samo nekoliko izvora otpornosti kao npr. Japanski izvor otpornosti Suspicions 3# i njegovih srodnika; ova uska genetska baza može veoma brzo postati jako osjetljiva na patogene te se samim time preporučuje širenje genetske osnove za otpornost. Istraživački centar CIMMYT stvara i koristi genetske varijacije u novim genetskim haploidima (Gilchrist i sur., 1997.). Pokušaji introdukcije genetske otpornosti na (FHB) u pšenicu iz drugih vrsta kao što su Elymus giganteus, Roenger Kamojima i R. Cilijame (Chen i sur., 1997.). Otpornost na fusarium je horizontalna i nespecifična otpornost (van Eeuwijk i sur., 1995.). Čak otpornost i na različite vrste F. *culmorum*, F. *graminearum i* F. *avenaceum*, čini se da dijele zajedničku genetsku pozadinu (Mesterhazy, 1987.; Lemmens i sur., 1993., van Eeuwijk i sur., 1995.). Nasljeđivanje otpornosti predstavlja poligeni sustav otpornosti. Singh i sur. (1995.)., procjenjuju da geni za rezistenciju na FHB sadrže najmanje 3 gena za rezistenost, pronađena kod brazilske sorte Frontana, u kultivara Ning 7840 2 gena a kod Sumei # 3 (Van Ginkel i sur., 1996.)., više od tri gena (Bai, 1995.). Kod nekoliko vrsta pšenica na kromosomima pojavljuju se geni za rezistenciju na FHB, koji se mogu kombinirati u poboljšanih linija (Van Ginkel i sur., 1996.; Buerstmayr i sur., 1999b.). Umjetna infekcija je neophodna da bi se osigurala minimalna jačina bolesti te da bi optimizirali genotipsku diferencijaciju domaćina i kako bi se smanjio utjecaj morfoloških čimbenika. Okolina i interakcija genotip-okolina imaju snažan utjecaj na patosistem.

2.4.1. Tipovi otpornosti pšenice na FHB

Tipovi otpornosti pšenice na FHB:

1. Otpornost na početnu infekciju
2. Otpornost na širenje gljivice unutar tkiva
3. Otpornost na infekciju zrna

Izvori otpornosti su na najviše zastupljeni u pšenici Sumai # 3 križana između Funo i Tajvan Xiaomai (Rudd i sur., 2001.; McCartney i sur., 2004.), i NUY Bay (Bai i Shaner, 1994., Fedak i sur., 2007.). U konvencionalnom uzgoju potrebno je čak i do 15 godina da bi se razvila otporna sorta dobrih agronomskih i kvalitativnih svojstava zbog dugotrajnosti postupka, a samim time i troška (Steffenson, 2003.). Druga sorta po otpornosti je Frontana nastala predigre metodom u Brazilu, također otporna na lisnu hrđu (Singh i sur., 1995., Jiang i sur., 2006.). Otpornost na FHB je pronadjena i u europskim sortama kao što je Renan i Arina (Gervais i sur., 2003.; Paillard i sur., 2004.), kao i u sortama u SAD-u kod sorti, kao što su Ernie, Sloboda i Truman (Bai i Shaner, 2004.).

Primjena molekularnih markera može upotpuniti klasično oplemenjivanje bilja. Niz uspješnih izvješća je objavljeno o razvoju i primjeni molekularnih markera u poboljšanje otpornosti pšenice; na primjer otpornosti na pepelnicu, lisne hrđe, cistolike nematode i mraz (Langridge i Chalmers, 1998.; Gupta i sur., 1999.). Samo je nekoliko rezultata dostupno na molekularnom mapiranju otpornosti na FHB, iako je u cijelome svijetu u tijeku nekoliko takvih projekata (Bai i sur, 1999.; Waldron i sur., 1999,; Ban, 2000; Gilbert i Tekauz, 2000.;. Anderson i sur., 2001.). U 1995. godini, taj je rad započeo s ciljem da se identificiraju i lokaliziraju pojedinačni geni (QTL-i), koji su odgovorni za ekspresiju otpornosti na FHB i samim time poboljšati i stvoriti bolji genotip. Krajnji cilj analize markera je razviti alate koji su korisni za selekciju potpomognutu markerima (MAS) u praktičnim programima oplemenjivanja. Treba koristiti QTL s velikim učinkom (tj. glavni QTL) i QTL s manjim učinkom. U slučaju većih QTL-a (npr Fhb1), postoji "pirimidiranje gena". Otpornost na FHB je pod kontrolom nekoliko glavnih gena i većeg broja gena s manjim učincima (Snijders, 1990.; Waldron i sur., 1999.; Gervais i sur., 2003.). Izvori otpornosti na (FHB) kao što je ('Sumai # 3 "i njegovih derivata, imaju previše neželjene agronomske značajke (nizak prinos, niske kvalitete, osjetljivost na druge bolesti). Upotreba QTL-a uz pomoć povratnog-unakrsnog uzgoja, zatim upotreba molekularnih markera, razvoj FHB-otpornosti će omogućiti dobivanje agronomski poboljšanih linija u puno

kraćem vremenu nego u konvencionalnom uzgoju (H. Buerstmayr, M. Lemmens, L. Hartl, L. Doldi, B. Steiner, M. Stierschneider, P. Ruckenbauer, 2001.). Značajno postignuće u tom pogledu bio je razvoj otpornosti na FHB otpornih sorata W14 i CJ 9306, i njihovih derivata takvih kao što je VA01W476. Pšenice W14 i CJ 9306 su razvijene u Kini pomoću 15 različitih izvora za otpornosti na FHB, uključujući: 'Sumai-3', 'Wangshuibai "," Ning-7840 "i" Frontana' (Jiang i sur., 2006.). Oni imaju znatno bolju otpornost na FHB od Sumai-3 (Jiang i sur., 2006.). Osim toga, oni sadrže nonSumai-3QTL koji se nalazi u 2DL kromosomu i zove se QFhs.nau-2DL (Jiang i sur. 2007.). Ovaj alel je vjerojatno izveden iz Wangshuibai (Mardi i sur., 2005; Jiang i sur., 2007a), i razlikuje se jer je prisutan u istom kromosomu u Wuhan 1, poznat kao QFhs.crc-2D (Somers i sur., 2003.; Jiang i sur., 2007a.; Jiang i sur. (2007a; 2007b). Nekoliko je razloga zašto otpornost na FHB treba usmjeriti na više gena a ne samo na Fhb1: otpornost gena Fhb1 nije dovoljna pod teškom epidemijom patogena, a interakcija između Fhb1 i genetske pozadine može smanjiti ili poništiti sami učinak Fhb1 (Pumphrey i sur., 2007.), i zbog visoke selekcije tj. pritiska na gljivu, otpornost može biti prevladana (Ruckenbauer i sur., 2001.; Yu i sur., 2006.). Epistaze također sudjeluju u kontroli otpornosti na FHB. Epistaza komplicira postupak fiksiranja poželjnih gena u pogodnim sortama.

3. MATERIJAL I METODE

Dvadeset i tri genotipa ozime pšenice, uključujući 18 oplemenjivačkih linija Bc instituta Zagreb i pet standarda različite otpornosti na FHB (RENAN, PONCHEAU, ROAZON, ŽITARKA i LUCIJA) posijano je u jesen 2015. na pokusnom polju Bc instituta Zagreb u tri poljska pokusa (dva u uvjetima umjetne i jedan u uvjetima prirodne infekcije gljivicama iz roda *Fusarium*) postavljena prema slučajnom bloknom rasporedu u četiri ponavljanja. Pokusna parcelica u svim pokusima uključivala je tri reda duljine 1,2 m s međurednim razmakom od 0,2 m. U svaki red posijano je 80 zrna. Agrotehnički postupci uključujući obradu tla, gnojidbu i tretman herbicidima bili su kao što je uobičajeno u intenzivnoj proizvodnji pšenice u Hrvatskoj osim što pokusi nisu tretirani fungicidima. U vegetaciji je za sve pokusne parcelice utvrđen datum prosječne cvatnje, kada je 50% klasova u parcelici započelo s cvatnjom na osnovi čega je izračunat broj dana od 1. svibnja do prosječne cvatnje. Prosječna visina biljke po parcelici (mjerena kao udaljenost od površine tla do vrha klasa isključujući osje), slika 4., utvrđena je u početku mliječne zriobe.



Slika 4: Umjerena udaljenost od površine tla do vrha klasa uključujući osje

Prva metoda umjetne infekcije slika 5a., (sprej metoda) uključivala je proizvodnju inokuluma pomoću "bubble breeding" metode (Mesterházy, 1995.)., korištenjem najagresivnijeg soja *Fusariuma* razvijenog na PDA mediju. Inokulacija je provedena prskanjem klasova pomoću ručne leđne prskalice kada je 50% biljaka u parcelici počelo cvasti, i tretman je ponovljen dva dana kasnije. Drugi tip umjetne infekcije slika 5b., (infekcija kukuruzovinom) proveden je pomoću Fuzarijumom inficiranih stabljika kukuruza. Stabljike su prikupljene u zaraženom polju kukuruza, isjeckane i razbacane po površini tla unutar pokusnih parcelica u kasnu jesen

kada su biljke dostigle fazu dva lista (Zadoks stadij 12). Treći tip infekcije (prirodna infekcija) dogodio se u prirodnim uvjetima, tj. nije primjenjena umjetna infekcija.

a  b 

Slika 5. Infekcija sprej metodom (a) i kukuruzovinom (b)

Radi procjene otpornosti genotipova na FHB, 21 dan nakon klasanja izvršena je vizualna ocjena postotka zaraženosti klasa (VRI), a nakon žetve i ocjena postotka oštećenih zrna (FDK). Odvojena analiza varijance (ANOVA) provedena je za svaku metodu infekcije korištenjem PROC GLM statističkog programa SAS/STAT (SAS Institute Inc., 1999.). Komponente varijance su dobivene izjednačavanjem opaženih srednjih kvadrata (MS) iz ANOVA s njihovim očekivanjima (EMS). Heritabilnost je izračunata kao omjer genotipske i fenotipske varijance pomoću formule: $h^2 = \sigma^2_G / (\sigma^2_G + \sigma^2_\varepsilon)$, pri čemu je σ^2_G genotipska varijanca a σ^2_ε varijanca pogreške. Pearsonovi koeficijenti korelacije između metoda infekcije za za dvije ocjene otpornosti na FHB (VRI i FDK), između VRI and FDK za svaku od triju metoda infekcije kao i između FHB ocjena i broja dana do cvatnje i visine biljke su izračunati pomoću PROC CORR statističkog programa SAS/STAT (SAS Institute Inc., 1999.).

4. REZULTATI I RASPRAVA

Kombinirana analiza varijance (prosječni kvadrat) za 23 genotipa i tri metode infekcije uzročnikom fuzarijske paleži klasa (FHB) pokazala je postojanje značajnih razlika između metoda infekcije, genotipova kao i postojanje signifikantne interakcije metoda x genotip za oba ispitivana svojstva indeks zaraženosti klasa i Fuzarijem oštećena zrna (tablica 1).

Tablica 1. Kombinirana analiza varijance za svojstva indeks zaraženosti klasa (VRI, %) i Fuzarijem oštećena zrna (FDK, %) za 23 genotipa pšenice uzgajanih kod tri metode infekcije uzročnicima fuzarijske paleži klasa

Učinak	Df	Indeks zaraženosti klasa (%)		Fuzarijem oštećena zrna (%)	
Blok	3	219,8		60,3	
Metoda	2	10315,4	**	10979,9	**
Pogreška Metoda	6	330,9		86,0	
Genotip	22	3674,7	**	659,6	**
Metoda x Genotip	44	278,1	**	175,0	**
Pogreška	198	63,8		73,0	
Ukupno	275	469,0		215,7	

**prosječni kvadrat signifikantan kod P<0,01

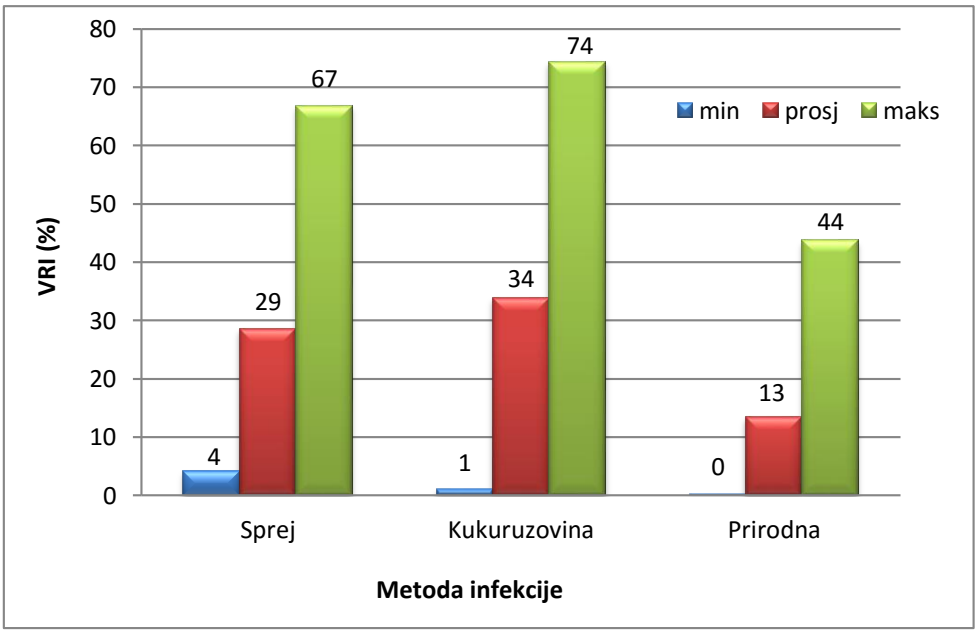
Pojedinačna analiza varijance za tri metode infekcije (tablica 2) pokazala je postojanja signifikantnih razlika između genotipova za indeks zaraženosti klasa (VRI, %) kod sve tri metode infekcije dok su za Fuzarijem oštećena zrna (FDK, %) utvrđene signifikantne razlike samo za dvije metode umjetne infekcije (sprej i kukuruzovina).

Tablica 2. Analiza varijance (prosječni kvadrat) za svojstva indeks zaraženosti klasa (VRI, %) i Fuzarijem oštećena zrna (FDK, %) za 23 genotipa pšenice uzgajanih kod tri metode infekcije uzročnikom fuzarijske paleži klasa (sprej, kukuruzovina i prirodna infekcija).

Učinak	Df	Indeks zaraženosti klasa (%)						Fuzarijem oštećena zrna (%)					
		Sprej		Kukuruzovina		Prirodna infekcija		Sprej		Kukuruzovina		Prirodna infekcija	
Blok	3	128		69		684		684		179		22	
Genotip	22	1329	**	2304	**	598	**	598	**	365	**	11	ns
Pogreška	66	69		33		89		89		99		10	
Ukupno	91	375		583		232		232		166		10	

**prosječni kvadrat signifikantan kod P<0,01, ns prosječni kvadrat nije signifikantan

Signifikantne genotipske razlike za obje ocjene (VRI I FDK) utvrđene u ovom istraživanju su u skladu s tvrdnjom (Rudd i sur., 2001.), da oplemenjivači redovito nalaze genetsku varijabilnost za otpornost na fuzarijsku palež klasa u postojećoj germplazmi.

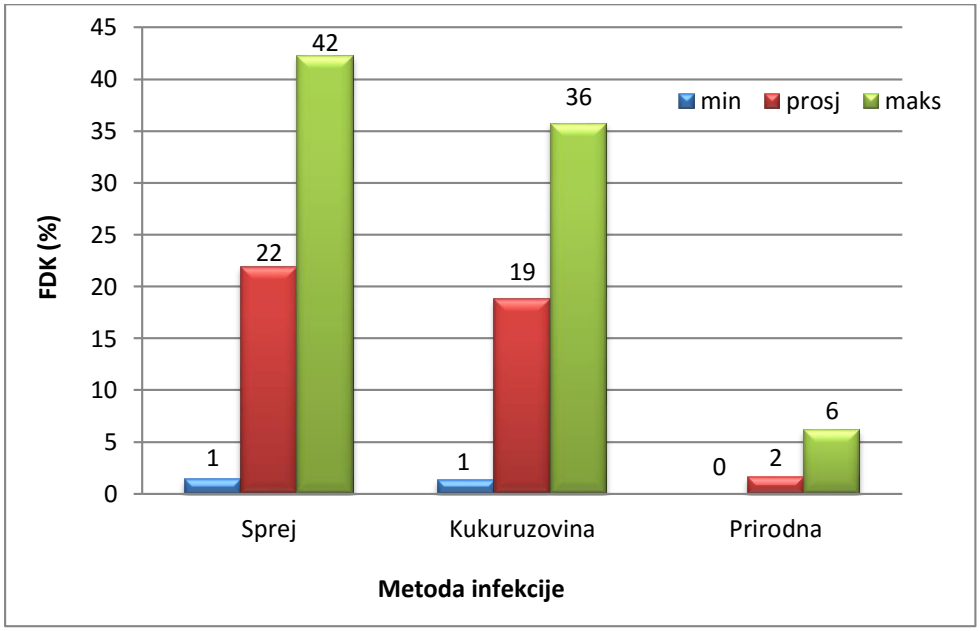


Grafikon 1. Prosječne vrijednosti indeksa zaraženosti klasa (VRI, %) za tri metode infekcije uzročnikom fuzarijske paleži klasa

Na grafikonu 1 prikazane su prosječne vrijednosti indeksa zaraženosti klasa (VRI, %) za tri metode infekcije uzročnicima fuzarijske paleži klasa. Najveći raspon vrijednosti (1 do 74%) kao i najveća prosječna vrijednost (34%) za VRI utvrđeni su za metodu infekcije

kukuruzovinom. Prosječna vrijednost VRI za sprej metodu (29%) nije se signifikantno razlikovala od prosječna vrijednost metode infekcije s kukuruzovinom. Prosjek VRI u uvjetima prirodne infekcije (13%) bio je signifikantno niži u usporedbi s objema metodama umjetne infekcije.

Na grafikonu 2. su prikazane prosječne vrijednosti fuzarijem oštećenih zrna (FDK , %) za tri metode infekcije uzročnicima fuzarijske paleži klasa. Najveći raspon vrijednosti (1 do 42%) kao i najveća prosječna vrijednost (22%) za FDK utvrđeni su za umjetnu infekciju sprej metodom. Prosječna vrijednost FDK za metodu kukuruzovine (19%) nije se signifikantno razlikovala od prosječna vrijednosti FDK za metodu infekcije kukuruzovinom. Prosjek VRI u uvjetima prirodne infekcije (2%) bio je signifikantno niži u usporedbi s objema metodama umjetne infekcije.



Grafikon 2. Prosječne vrijednosti fuzarijem oštećenih zrna (FDK , %) za tri metode infekcije uzročnikom fuzarijske paleži klasa

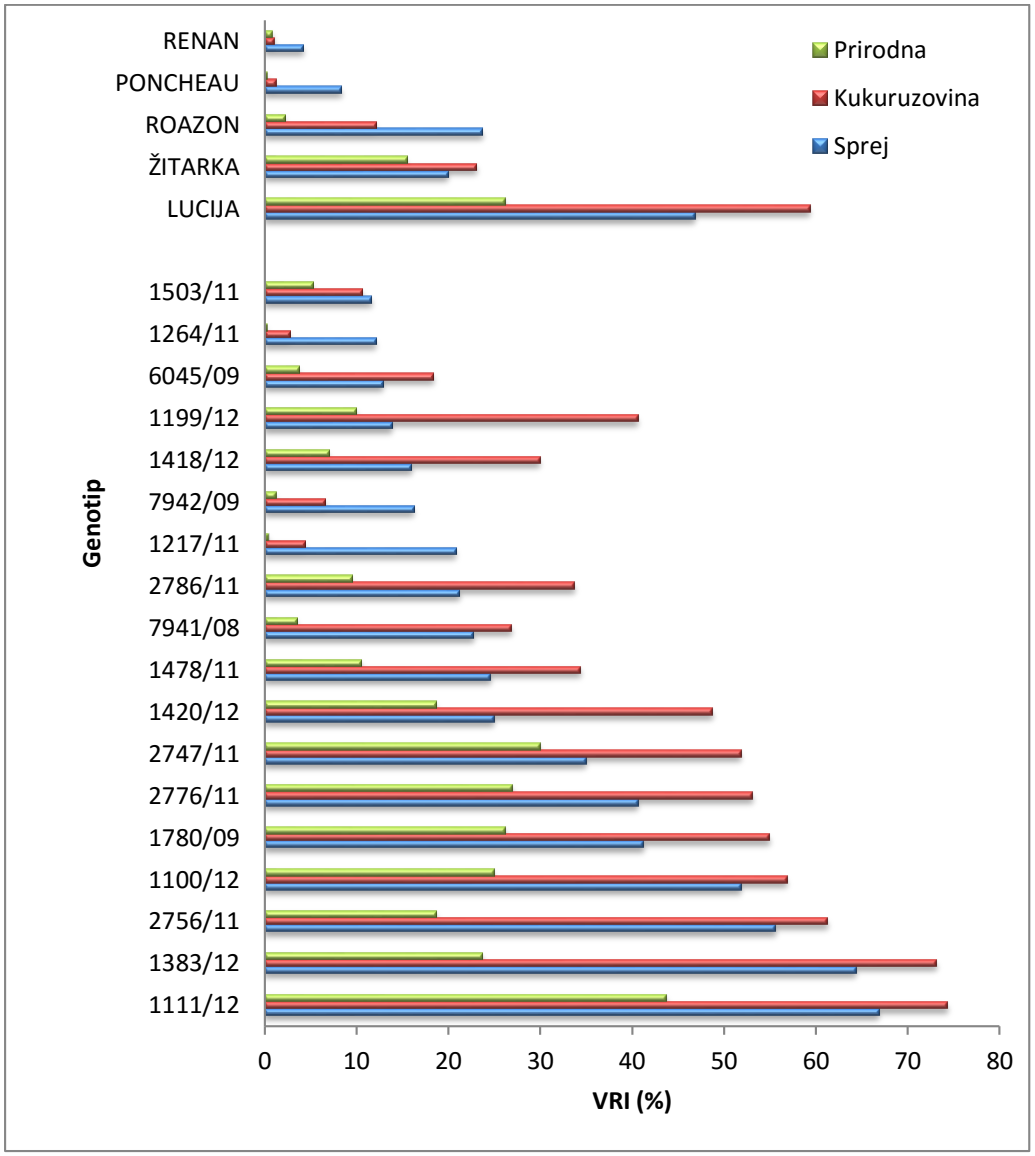
Između triju korištenih metoda infekcije utvrđene su jake pozitivne korelacije za indeks zaraženosti klasa (VRI, %) (tablica 3). Za Fuzarijem oštećena zrna (FDK, %) jaka pozitivna korelacija je utvrđena samo između dviju metoda umjetne infekcije, dok su korelacije prirodne infekcije s obje umjetne bile osrednje.

Tablica 3. Korelacije između triju metoda infekcije za indeks zaraženosti klasa (VRI, %) i Fuzarijem oštećena zrna (FDK, %)

	Kukuruzovina		Prirodna	
	VRI /%)			
Sprej	0,90	**	0,85	**
Kukuruzovina			0,91	**
	FDK /%)			
Sprej	0,86	**	0,56	**
Kukuruzovina			0,42	*

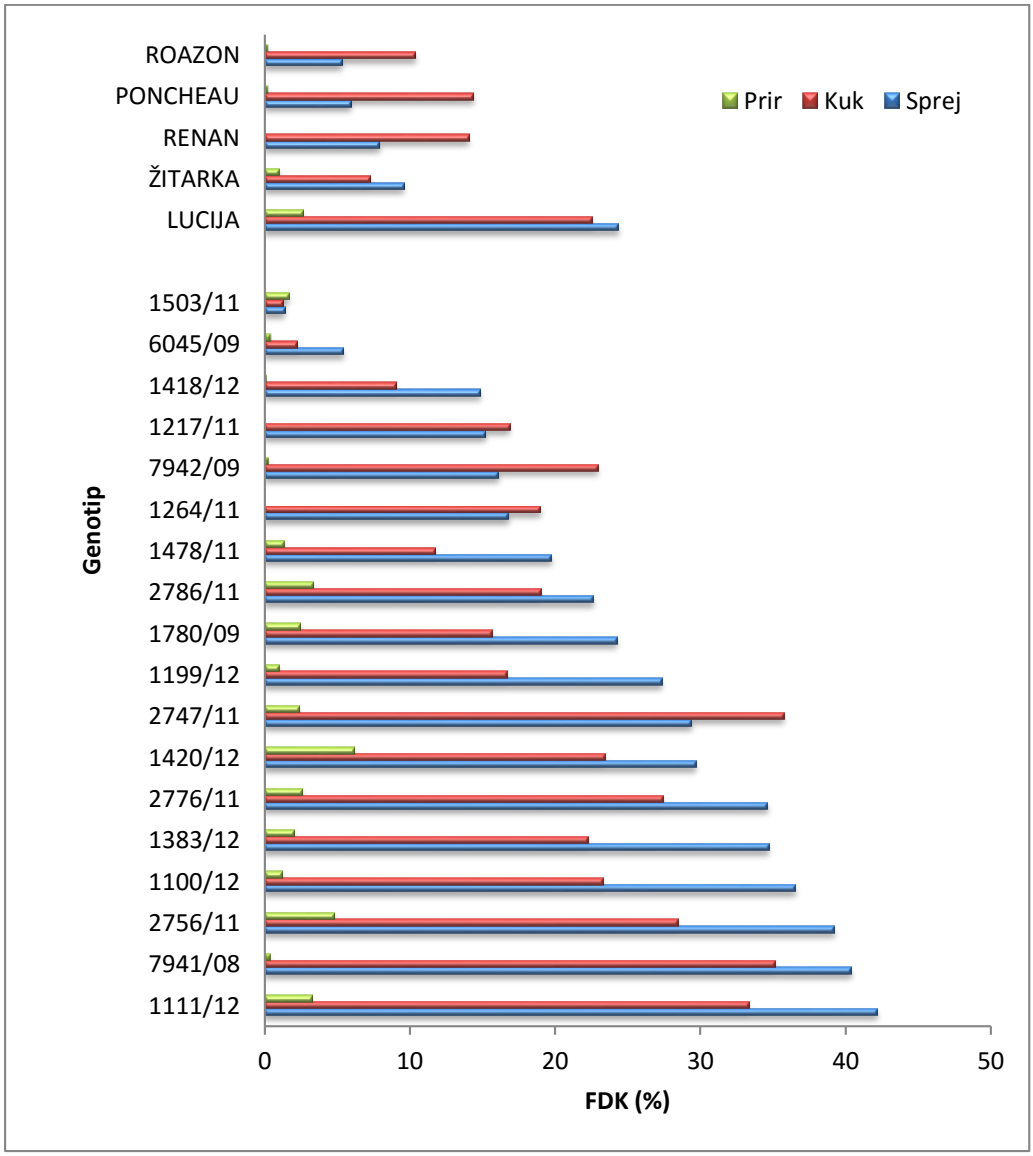
*, * korelacijski koeficijent signifikantan kod P<0,05 odnosno P<0,01, ns prosječni kvadrat nije signifikantan

Sprej metoda je standardna metoda umjetne infekcije koja se koristi u proučavanju otpornosti genotipova pšenice na fuzarijsku palež klasa (Buertsmeyr i sur., 2009.). U provedenom istraživanju metoda umjetne infekcije kukuruzovinom dala je slične rezultate sprej metodi što osim sličnih prosječnih vrijednosti upućuje i visoka korelacija između ove dvije metode kako za VRI tako i za FDK. Metoda s kukuruzovinom je u usporedbi sa sprej metodom jednostavnija i manje radno zahtjevna budući da ne pretpostavlja postojanje laboratorijske opreme i pripremu inokuluma. Stoga se pokusi za ocjenu otpornosti mogu provoditi na lokacijama udaljenim od laboratorija i nije potrebno pratiti vrijeme cvatnje (klasanja). Ova metoda simulira čestu proizvodnu praksu gdje pšenica dolazi nakon kukuruza u plodoredu kada zbog neadekvatne obrade ostaci fuzarijem zaražene kukuruzovine predstavljaju izvor infekcije fuzarijskom paleži klasa. Prosječne vrijednosti indeksa zaraženosti klasa (VRI, %) za 23 genotipa kod triju metoda infekcije uzročnikom fuzarijske paleži klasa prikazane su na Grafikonu 3. Genotipovi su sortirani prema rastućoj vrijednosti VRI u uvjetima sprej metode.



Grafikon 3. Prosječne vrijednosti ocjene zaraženosti klasa (VRI, %) za 23 genotipa i tri metode infekcije uzročnikom fuzarijske paleži klasa (prirodna, kukuruzovina, sprej)

Kod standarda najotporniji genotip na VRI je RENAN, a najosjetljivijija LUCIJA. Među testiranim linijama najotpornijima su se pokazale 1503/11 i 1264/11, a kao najosjetljivije 1383/12 i 1111/12. Ukupno je kod 10 genotipova u uvjetima prirodne infekcije te kod 4 genotipa u uvjetima oba tipa umjetne infekcije utvrđena razina otpornosti za VRI na razini otpornog standarda RENAN (LSD kod $P<0,05 = 11,1\%$). Neki genotipovi su različito reagirali na dvije korištene metode umjetne infekcije. Tako npr. PONCHEAU, RENAN i 247/11 imaju znatno veće vrijednosti FDK kod infekcije kukuruzovinom dok većina genotipova ima veće vrijednosti FDK kod infekcije sprej metodom.



Grafikon 4. Prosječne vrijednosti ocjene zaraženosti klasa (FDK, %) za 23 genotipa i tri metode infekcije uzročnikom fuzarijske paleži klasa (prirodna, kukuruzovina, sprej)

Prosječne vrijednosti ocjena zaraženosti klasa za 23 genotipa na FDK kod standarda najotporniji genotip se pokazao RENAN a najosjetljivija LUCIJA. Kod testiranih linija najotpornije su se pokazale 1271/11 i 1264/11 a medju najosjetljivijim linijama su se pokazale 1420/12 i 2756/11 testirane linije. Ukupno je kod 16 genotipova u uvjetima prirodne infekcije te kod 11 odnosno 6 genotipova u uvjetima umjetne infekcije kukuruzovinom odnosno sprej metodom utvrđena razina otpornosti za FDK na razini otpornog standarda Renan (LSD kod $P<0,05$ = 11,9%). Signifikantno manja ocjena za FDK (veća otpornost na fuzarijsku palež klasa) utvrđena je samo kod linije 1503/11, u uvjetima umjetne infekcije kukuruzovinom najveća otpornost na fuzarijsku palež pokazale su linije 1503/11 i 6045/09.

Korelacije indeksa zaraženosti klasa (VRI, %) i Fuzarijem oštećenih zrna (FDK, %) s visinom biljke i brojem dana do cvatnje su bile osrednje do jake negativne, u prosjeku s većim vrijednostima za broj dana do cvatnje (tablica 4). Negativne korelacije broja dana do cvatnje s obje ocjene otpornosti na FHB bile su signifikantne kod sprej metode ukazujući na slabije simptome bolesti kod kasnijih genotipova iako je datum inokulacije prilagođen datumu cvatnje svakog pojedinog genotipa. Dobiveni rezultati su u skladu s prethodnim izvještajima da visina biljke (Buerstmayr i sur., 2000.; Liu i sur., 2010.), i datum klasanja (Gervais i sur., 2003.) mogu utjecati na reakciju genotipa na inokulaciju patogenom u poljskim uvjetima.

Tablica 4. Korelacije indeks zaraženosti klasa (VRI, %) i Fuzarijem oštećena zrna (FDK, %) s visinom biljke i brojem dana do cvatnje

	Sprej		Kukuruzovina		Prirodna	
VRI (%)						
Visina biljke	-0.363	n.s.	-0.454	*	-0.447	*
Broj dana do cvatnje	-0.582	**	-0.805	**	-0.713	**
FDK (%)						
Visina biljke	-0.469	*	-0.370	n.s.	-0.412	*
Broj dana do cvatnje	-0.535	**	-0.203	n.s.	-0.569	**

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

Heritabilnost (h^2) indeksa zaraženosti klasa (VRI, %) i Fuzarijem oštećenih zrna (FDK, %) kod triju metoda infekcije (prirodna, kukuruzovina, sprej) prikazana je u tablici 5. Za VRI infekcija pomoću kukuruzovine imala je najveću heritabilnost (h^2=0.95), koja je bila nešto veća od heritabilnosti sprej metode infekcije (h^2= 0.82). Heritabilnost VRI u prirodnim uvjetima je bila znatno manja (h^2=0,59) u usporedbi s dvjema metodama umjetne infekcije. Heritabilnost FDK je bila signifikantna samo za metode umjetne infekcije, s vrijednostima 0,54 i 0,40 za sprej metodu odnosno kukuruzovinu.

Tablica 5. Heritabilnost (h^2) indeksa zaraženosti klasa (VRI, %) i Fuzarijem oštećenih zrna (FDK, %) kod triju metoda infekcije (prirodna, kukuruzovina, sprej) uzročnikom fuzarijske paleži klasa.

Metoda	Heritabilnost (h^2)			
	VRI (%)		FDK (%)	
Sprej	0,82	**	0,54	**
Kukuruzovina	0,95	**	0,40	**
Prirodna	0,59	**	0,04	

Procjene heritabilnosti za otpornost na FHB su zabilježene i u nekoliko prethodnih studija. Miedaner i sur. (2003.) su kod 20 europskih sorti pšenice procijenili heritabilnost postotka zaraženih klasića nakon inokulacije sprej metodom na 0,81 za FHB. Buerstmayr i sur. (2000.) su procijenili heritabiliteta za VRI na 0,80 odnosno 0,73 u dvije RIL populacije pšenice. Agostinelli (2009.) je procijenio heritabilnost ZA FDK u F2:3 populaciji iz križanja otporne i neotporne sorte pšenice na 0,775.

5. ZAKLJUČAK

1. Značajne razlike među genotipovima utvrđene se za indeks zaraženosti klasa (VRI) kod sve tri metode infekcije dok su za Fuzarijem oštećena zrna (FDK) razlike bile signifikantne samo za dvije metode umjetne infekcije.
2. Za obje ocjene VRI i FDK utvrđena je signifikantna interakcija između metode i genotipa upućujući na raličitu reakciju genotipova na primjenjene metode
3. Nekoliko oplemenjivačkih linija pokazivalo je otpornost na fuzarijsku palež klasa (FHB) na razini otpornih standarda
4. Ocjene VRI i FDK su bile u umjerenoj do jakoj negativnoj korelaciji s brojem dana do klasanja i visinom biljke
5. Za VRI utvrđene su jake pozitivne korelacije (0,85-0,91) između svih triju metoda, dok je u slučaju FDK jaka korelacija utvrđena samo između dviju metoda umjetne infekcije (0,86).
6. Kod sve tri metode infekcije heritabilnost je bila znatno veća za VRI (0,59-0,95) nego za FDK (0,04-0,54). Također, heritabilnost kako za VRI tako i FDK bila je znatno veća kod dviju metoda umjetne infekcije u usporedbi s heritabilnošću u uvjetima prirodne infekcije.
7. Relativno visoka heritabilnost metode infekcije kukuruzovinom kao i jaka korelacija sa sprej metodom upućuje na mogućnost korištenja ostataka kukuruzovine kao alternative u testiranju otpornosti pšenice na FHB

6. POPIS LITERATURE

1. Agostinelli, A., (2009.). Phenotypic and genotypic selection for head scab resistance in wheat. Dissertation, University of Kentucky, Lexington, USA
2. Anderson J. A., Stack R. W., Liu S., Waldron B. L., Fjeld A. D., Coyne C., i dr. (2001.). DNA markers for Fusarium head blight resistance QTLs in two wheat populations. Theor Appl Genet. 102(8): 1164-1168. http://dx.doi.org/10.1007/s001220000509.
3. Atanasoff, D. (1920**).** Fusarium head blight (scab) of wheat and other cereals. Journal of Agricultural Research XX: 1-32.
4. Bai, G., Shaner, G. (1994.). Scab in wheat: Prospects for control. Plant Dis 78:760-766.
5. Bai, G., (1995.). Scab of wheat: epidemiology, inheritance of resistance and molecular markers linked to cultivar resistance. Ph.D. thesis. Purdue University, W. Lafayette, IN, USA.
6. Bai G., Kolb F. L., Shaner G., Domier L. (1999.). Amplified fragment lenght polymorphism markers linked to a major quantitative trait locus controlling scab resistance in wheat**.** Phytopathology 89:343–348.
7. Bai, G. H., Shaner, G. A. (2004.). Management of wheat and barley to Fusarium head blight. Annual Review of Phytopathology 42:135-161.
8. Balaž, F., (1989.). The influence of weather and number of treatments by some fungicides over efficiency m decrease of molds which cause important diseases of wheat, Plant protection, 40, 3, 189.
9. Balaž, F., Bagi, F., Stojšin, V., and Mastilović, J. (2008.). Efficacy of chemical control against wheat head blight and impact on yield and technological quality. Proceedings of the 3 rd international symposium on fusarium head blight, Szeged, Hungary, 2008. Poster presentation. Cereal Research Communications 36 (Supplement 6), 701-702.
10. Ban, T. (2000.). Analysis of quantitative trait loci associated with resistance to Fusarium head blight caused by Fusarium graminearum Schwabe and of resistance mechanisms in wheat (Triticum aestivum L.). Breed. Sci. 50:131-137. 3.
11. Booth, C. (1971.). The Genus Fusarium. Commonwealth Mycological Institute Kew, Surrey, England
12. Borgen A. (2005.). Renoval of bunt spores from wheat seed lots by brush cleaning. Seed Info, ICARDA 29.

13. Buerstmayr H, Lemmens M, Grausgruber H, Ruckenbauer P (1996a.). Scab resistance of international wheat germplasm. Cereal Res Commun 24:195–202.
14. Buerstmayr H., Lemmens M., Patschka G., Grausgruber H., Ruckenbauer P. (1996b.). Head blight (Fusarium spp.) resistance of wheat cultivars registered in Austria. Die Bodenkultur 47:183–190.
15. Buerstmayr H, Lemmens M, Fedak G, Ruckenbauer P (1999.) Backcross monosomic analysis of Fusarium head blight resistance in wheat (*Triticum aestivum L.*). Theor Appl Genet 98:76–85.
16. Buerstmayr, H., Steiner, B., Lemmens, M., Ruckenbauer, P. (2000.). Resistance to Fusarium head blight in winter wheat: Heritability and trait associations. Crop Sci. 40:1012–1018.
17. Buerstmayr, H., Lemmens, M., Hartl, L., Doldi, L., Steiner, B., Stierschneider, B., Ruckenbauer, P. (2001.). Molecular mapping of QTLs for Fusarium head blight resistance in spring wheat. I. Resistance to fungal spread (Type II resistance) Theor Appl Genet (2002) 104:84–91.
18. Buerstmayr H., Ban T., Anderson J. A. (2009.). QTL mapping and marker assisted selection for Fusarium head blight resistance in wheat: a review. Plant Breed 128:1–26
19. Chen, P., Liu, D., Sun, W. (1997.). New countermeasures of breeding wheat for scab resistance, pp. 59–65. In: J. Dubin et al. (ed.), Fusarium head scab: global status and future prospects. Proc. Workshop, El Batan, Mexico. 13–17 Oct. 1996. CIMMYT, Mexico, D.F
20. Cook, R. J. (1981.). Fusarium diseases in The Peoples Republic of China. Pages 53-55 in: Fusarium: Diseases, Biology and Taxonomy. P.E. Nelson, T.A. Toussoun & R.J. Cook, eds. University Park: Pennsylvania State University Press
21. Da Luz, W. C., Stockwell, C. A. & Bergstrom, G. C. (2003.). Biological control of Fusarium graminearum. Pages 381-394 in: Fusarium Head Blight of wheat and barley. K.J. Leonard & W.R. Bushnell, eds. APS Press
22. Dimitrijević, M., Jurković, D., Kondić Đ. (1985.). Fusarium spp. na pšenici području Baranje. Agronomski glasnik, Br. 5-6, Zagreb
23. Fedak, G., Cao, W., Xue, A., Savard, A., Clarke, J., Somers, D.J. (2007.). Enhancement of Fusarium head blight resistance in bread wheat and durum by means of wide crosses. Pages 91-95 in: Wheat production in stressed environments. Proceedings of the 7 th International Wheat Conference, 27 November– 2 December 2005, Mar del Plata, Argentina. Eds. H. T. Buck, J. E. Nisi & N. Salamón, N. Springer, London

24. Gilbert, J., Fernando, W. G. D. (2004.). Epidemiology and biological control of Gibberella zeae/Fusarium graminearum. Canadian Journal of Plant Pathology 26:464-472.
25. Gilbert, J. & Tekauz, A. (1995.). Effects of Fusarium head blight and seed treatment on germination, emergence and seedling vigour of spring wheat. Canadian Journal of Plant Pathology 17:252-259.
26. Gilbert J, Tekauz A (2000.). Review: recent developments in research on Fusarium head blight of wheat in Canada. Can J Plant Pathol 22:1–8.
27. Gervais, L., Dedryver, F., Morlais, J.Y., Bodusseau, V., Negre, S., Bilous, M., Groos, C., Trottet, M. (2003.). Mapping of quantitative trait loci for field resistance to Fusarium head blight in an European winter wheat. Theor. Appl. Genet. 106:961-970.
24. Gupta, P. K., Varshney, R. K., Sharma, P. C., Ramesh, B. (1999.). Molecular markers and their applications in wheat breeding. Plant Breed 118:369–390.
25. Gilchrist-Saavedra, L., Fuentes-Dávila, G., Martínez-Cano, C. (1997.). Practical guide to the identification of selected disease of wheat and barley. Mexico, D.F.: CIMMYT. 64 pp
26. Jenkinson, P., Parry, D. W. (1994.). Splash dispersal of conidia of Fusarium culmorum and Fusarium avenaceum. Mycol. Res. 98, 5.
27. Jiang, G., Hunag, D., Shen, Q., Yang, Z., Lu, W., Shi, J., Zhu, H., Chen, Z & Ward, R. (2006.). Registration of wheat germplasms CJ W14 and CJ 9306 highly resistant to Fusarium head blight. Crop Science 46:23262328.
28. Jiang, G., Wu, Z., Chen, Z., Wu, J., Xia, Q., Yu, S., Wie, X., Shen Y. & Xu, Y. (2007.). Registration of CJ 8809 wheat germplasm with Fusarium head blight resistance. Journal of Plant Registrations 1:72-74.
29. Jiang, G. L., Shi, J., Ward, R. (2007a.). QTL analysis of resistance to Fusarium head blight in the novel wheat germplasm CJ 9306. I. Resistance to fungal spread. Theor. Appl. Genet. 116:3-13.
30. Jiang, G. L., Dong, Y., Shi, J., Ward, R. (2007b.). QTL analysis of resistance to Fusarium head blight in the novel wheat germplasm CJ 9306. II. Resistance to deoxinivalenol accumulation and grain yield loss. Theor. Appl. Genet. 115:1043-1052.
31. Jones, D. G., Clifford, B. C. (1983.). Cereal diseases: Their pathology and control, 2nd Edition. Wiley-Interscience Publication, England. 309 pp.

32. Jurjević, Ž., Cvjetković, B., Jurjević, Veronika, Č., Stjepan. Occurence of Fusarium spp. on corn in the region of endemic nephropathy in Croatia., *Cereal research communications*. 25 (1997.). , 3 part 1; 455-456.
33. Jurjević, Ž., Solfrizzo, M., Cvjetković, B., De Girolamo, A., Visconti, A. (2002.). Occurrence of beauvericin in corn from Croatia. Food Technol Biotechnol. 40:91-94
34. Kahn, N. I., Schisler, D. A., Boehm, M. J., Lipps, P. E., Slininger, P. J., Bothast, R. J. (1998.) Biological control of scab of wheat incited by Gibberella zeae. Pages 45-46 in: Proceedings: National Fusarium Head Blight Forum, 2627 October 1998, East Lansing, MI
35. Kišpatić, J. (1980.). Bolesti biljaka "visokog standarda Bilten. "Poljodobra", Br. 1, 21-27, Zagreb
36. Langridge P, Chalmers K. (1998.). Techniques for marker development. In: Slinkard AE (ed) Proc 9th Int Wheat Genet Symp Vol1, Univ Extension Press, Univ of Saskatchewan, Saskatoon, Canada, pp 107–117.
37. Lemmens M, Buerstmayr H, Ruckenbauer P (1993.). Variation in Fusarium head blight susceptibility of international and Austrian wheat breeding material. Die Bodenkultur 44:65–78.
38. Ma, J., Li, H. B., Zhang, C. Y., Yang, X. M., Liu, Y. X., Yan, G. J., and Liu, C. J. (2010.). Identification and validation of a major QTL conferring crown rot resistance in hexaploid wheat. Theor. Appl. Genet. 120:1119-1128.
39. Maric A., (1983.). Fusarium spp. Fuzarioze pšenice, iz priručnika izvještajne prognozne sluzbe zaštite poljopriprednih kultura. Savez društava za zaštitu bilja, Beograd, 195-197.
40. Mardi, M., Buerstmayr, B., Ghareyazie, B., Lemmens, M., Mohemmadi, S.A., Nolz, R., Lemmens, M., Buerstmayr. H. (2005.). QTL analysis of resistance to Fusarium head blight in wheat using a 'Wanshuibai'-derived population. Plant Breed. 124:329-333 .
41. Marasas, W. F. O., Nelson, P. E., Toussoun, T. A. (1984.). Toxigenic Fusarium species: identity and mycotoxicology. University Park (PA). Pennsylvania State University Press; 16.
42. Mathre, D. E. (1997.). Compendium of barley diseases. 2nd Edition. APS Press. 90 pp
43. McCartney C.A., D.J. Somers, G. Fedak, and W. Cao. (2004.). Haplotype diversity at Fusarium head blight resistance QTLs in wheat. Theor. Appl. Genet. 109:261-271.

44. McMullen, M., Jones, R., Gallenberg, D. (1997.). Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact. Plant Dis; 81:1340-8.
45. McMullen, M. P., Stack, R. W. (1999.). Fusarium head blight (scab) of small grains. Bulletin no 804. Extension Service in NDSU
46. McMullen, M., Zhong, S., Neate, S. (2008.). Fusarium head blight (scab) of small grains. Bulletin no 804 (revised), Extension Service, North Dakota State University and US Department of Agriculture. Fargo, North Dakota
47. Mesterházy, Á., (1974.). Juvenile susceptibility of corn to Fusarium spp, with special regard to F. graminearum Schwabe [In Hungarian]. Növénytermelés 23: 273-281.
48. Mesterhazy, A., (1987.) Selection of head blight resistant wheats through improved seedling resistance. Plant Breeding 98: 25–36.
49. Mesterhazy, A. (1995.). Types and components of resistance to Fusarium head blight. Plant Breed 114:377–386.
50. Mesterhazy, A. (1997.). Breeding for resistance to Fusarium head blight of wheat. In: Dubin HJ, Gilchrist L, Reeves J, McNab A (eds) Fusarium head scab: global status and future prospects. CIMMYT Int, Mexico DF, pp 79–85.
51. Mesterházy A., Kászonyi G., Tóth B., Bartók T., Varga M. (2004.). Prothioconazole fungicides against FHB in wheat, 2003/2004 results. In: Canty S.M., Boring T., Wardwell J., Ward R.W. (eds.): Proc. 2nd Int. Symp. on Fusarium Head Blight; incorporating the 8th European Fusarium Seminar, December 11–15, 2004, Orlando, 355–358.
52. Miedaner, T. (1997.). Review: breeding wheat and rye for resistance to Fusarium disease. Plant Breed 116:201–22.
53. Miedaner, T., Moldovan, M., Ittu, M. (2003.). Comparison of spray and point inoculation to assess resistance to Fusarium head blight in a multienvironment wheat trial. Phytopathology 93:1068-1072.
54. Paillard, S., T. Schnurbusch, R. Tiwari, M. Messmer, M. Winzeler, B. Keller, and G. Schachermayr. (2004.). QTL analysis of resistance to Fusarium head blight in Swiss winter wheat (Triticum aestivum L.) . Theor. Appl. Genet.109:323-332.
55. Parry, D. W., Jenkinson, P., McLeod, L. (1995.). Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals – a review. Plant Pathol 44: 207–238.
56. Paul, P.A., Lipps, P.E., Hershman, D.E., McMullen, M.P., Draper, M.A. & Madden, L.V. (2008.). Efficacy of triazole-based fungicides for Fusarium head blight and

deoxynivalenol control in wheat: A multivariate metaanalysis. Phytopathology 98:999-1011.

57. Perišić, M. (1963.). Fusarium graminearum Schwabe - Parazit pšenice u Slavoniji i podravine zaštita bilja, 14, 527,-532, Beograd
58. Pumphrey, M. O., Bernardo, R., Anderson, J. A. (2007.). Validationg the Fhb1 QTL for Fusarium head blight Resistance in near-isogenic wheat lines developed from breeding populations. Crop Sci. 47:200-206.
59. Ruckenbauer, P., Buerstmayr, H., Lemmens, M. (2001.). Present strategies in resistance breeding against scab (Fusarium spp.) IFA-TULLN, Department of Biotechnology in Plant Production, A-3430 Tulln, Austria
60. Rudd**,** J. (1997.). Breeding spring wheat for scab resistance in the United R. C. States. p.66–70.InJ.Dubinetal.(ed.).Fusarium head scab: Global status and future prospects. Proc. Workshop, El Batan, Mexico. 13–17 Oct. (1996.). CIMMYT, Mexico, D. F.
61. Rudd, J. C., Horsley, R. D., McKendry, A. L., Elias, E. M. (2001.). Host plant resistance genes for Fusarium head blight: Sources, mechanisms, and utility in conventional breeding systems. Crop Science 41:620-627.
62. SAS Institute Inc. (1999.). SAS/STAT User's Guide, Version 7-1. SAS Institute Inc, Cary, North Carolina
63. SAS Institute Inc. (2003.). SAS/STAT user's guide version 9.1. SAS Institute Inc., Cary
64. Scott, D.B., De Jager, E.J.H. & Van Wyk, P.S. (1988.). Head blight of irrigated wheat in South Africa. Phytophylactica 20:317-319.
65. Singh, R. P., Ma, H., Rajaram, S. (1995.). Genetic analysis of resistance to scab in spring wheat cultivar Frontana. Plant Dis 79: 238–240.
66. Shaner, G. E. (2003.). Epidemiology of Fusarium head blight of small grain cereals in North America. Pages 84-119 in: Fusarium Head Blight of Wheat and Barley. K. J. Leonard, W. R. Bushnell eds. APS Press
67. Snijders, C. H. A. (1990.). The inheritance of resistance to head blight caused by Fusarium culmorum in winter wheat. Euphytica 50:11–18.
68. Somers, D. J., Fedak, G., Savard, M. (2003.). Molecular mapping of novel genes controlling Fusarium head blight resistance and deoxynivalenol accumulation in spring wheat . Genome 46:555-564 .
69. Stack, R. W. (1997.). Fusarium head blight of wheat and barley – an Overview. USWBSI

70. Stack, R. (1999.). Return of an old problem: Fusarium Head Blight of small grains. American Pathology Society. www.scisoc.org APSnet Feature
71. Steffenson, B. J. (2003.). Fusarium head blight of barley: Impact, epidemics, management, and strategies for identifying and utilizing genetic resistance. Pages 241-295 in: Fusarium Head Blight in Wheat and Barley. K.J. Leonard & W.R. Bushnell eds. APS Press
72. Sturz, A. V., Johnston, H. W. (1985.). Characterization of Fusarium colonization of spring barley and wheat produces on stubble or fallow soil. Canadian Journal of Plant Pathology 7:270-276.
73. Sutton, J. C., (1982.). Epidemiology of wheat bUght and maize ear rot caused by Fusarium graminearum. Can. J. PI. Pathol. 4, 195—20.
74. Tomasović, S. (1981.). Breeding of wheat for resistance to Fusarium diseases, especially to Fusarium graminearum and creating a model for inheritance of resistance in new wheat cultivars. Genetika, Vol. 13, No. 2: 177-187, Beograd
75. Tekauz, A., McCallum, B., Gilbert, J. (2000.). Review: Fusarium head blight of barley in Western Canada. Canadian Journal of Plant Pathology 22:9-16.
76. Van Eeuwijk, F. A., Mesterhazy, A., Kling, C.I., Ruckenbauer, P., Saur, L., Buerstmayr, H., Lemmens, M., Keizer, L. C. P., Maurin N., Snijders, C. H. A. (1995.). Assessing non-specificity of resistance of wheat to head blight caused by inoculation with European strains of Fusarium culmorum, F. graminearum and F. nivale, using a multiplicative model for interaction. Theor Appl Genet 90: 221– 228.
77. Van Ginkel, M., Van der Schaar, W., Zhuping, Y., Rajaram, S. (1996.). Inheritance of resistance to scab in two wheat cultivars from Brazil and China. Plant Disease 80:863-867.
78. Waldron, B. L., Moreno-Sevilla, B., Anderson, J. A., Stack, R. W., Frohberg, R.C. (1999.). RFLP mapping of QTL for Fusarium head blight resistance in wheat. Crop Sci 39: 805–811.
79. Wiese, M. V. (1987.). Compendium of Wheat Diseases. 2 nd Edition. St. Paul, Minnesota. 112 pp
80. Wiese, M.V., (1977.). Compendium of wheat diseases. APS Press, Minnesota, USA. Pp 52-53.
81. Wang E., Norred W. P., Bacon, C. W., Riley, R. T., Merrill, A. H. Jr. 8 1991.). Inhibition of sphingolipid biosynthesis by fumonisins. Implications for diseases associated with Fusarium moniliforme. J Biol Chem; 266:14486-90.

82. Yu, J. B., Bai, G.H., Cai, S.B., Ban, T. (2006.). Marker-assisted characterization of Asian wheat lines for resistance to Fusarium head blight. Theor. Appl. Genet. 113:308-320.

ŽIVOTOPIS AUTORA

Dinko Polić rođen je 29. kolovoza 1992. godine u Splitu. Osnovnu školu je završio u Vrgorcu, u malom gradu dalmatinskog zaleđa, a nakon završene osnovne škole upisao je Opću gimnaziju u Vrgorcu 2005/2006. godine. Nakon maturiranja srednje škole upisuje Agronomsko-Prehrambeno tehnološki fakultet u Mostaru, gdje je završio prve tri godine studija na temu rada ″Fusarium spp : Značaj i pojava filomentoznih gljiva kod pšenice na području BiH", kod profesorice dr. Višnje Vasilj. Odradio je stručnu praksu na Federalnom agromediteranskom institutu u Mostaru na zavodu za Nematologiju. Upisao je 2010/2011. godine Agronomski fakultet u Zagrebu, smjer Biljne znanosti (Oplemenjivanje i Genetika). U veljači 2014. god. dobio je stipendiju u sklopu CEEPUS programa i otišao je mjesec dana u Poljsku, grad Wroclaw i radio je u Zavodu za fitopatologiju na identifikaciji različitih fusarium vrsta. Tijekom ljeta 2014. godine otišao je u Beograd u kompaniju Superior- seeds gdje je odradio stručnu praksu i stekao dodatna znanja iz područja oplemenjivanja i biotehnologije.

U drugoj godini diplomskog studija otišao je tri mjeseca na Siciliju i odradio je stručni projekt u suradnji s dr. Ferdinandom Brancom na temu „ Morfološka i polifenolska karakterizacija Beta sp. kultiviranih na području Sicilije i Portugala. Nakon mjesec dana u sklopu ERASMUS programa otišao je na tri mjeseca u zavod za fitopatologiju u Firenci i radio je na bolestima drva vinove loze u suradnji sa specijalisticom dr. Laura Mugnai. Tijekom tri mjeseca u Firenci proveo je jedno vrijeme na zavodu za mikotoksine i fusarium u Bariju ISPA-CNR. U sklopu ERASMUS programa otišao je tri tjedna na Institut CeRSAA za fitopatološka istraživanja u suradnji sa dr. Andrea Minutom.