

Tamara SIBER^{*}, Tomislav DUVNJAK², Aleksandra SUDARIĆ^{2,3}, Karolina VRANDEČIĆ¹, Jasenka ČOSIĆ¹, Maja MATOŠA KOČAR²

¹ Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Hrvatska

² Poljoprivredni institut Osijek, Hrvatska

³ Znanstveni centar izvrsnosti za biološku raznolikost i molekularno oplemenjivanje bilja, CroP- BioDiv, Zagreb, Hrvatska
tsiber@fazos.hr

NOVE BOLESTI NA INDUSTRIJSKOJ KONOPLJI U HRVATSKOJ: ŠTO PROIZVOĐAČI TREBAJU ZNATI

SAŽETAK

Konoplja (*Cannabis sativa* L.) jedna je od najstarijih poznatih kultiviranih vrsta široko rasprostranjenih u cijelom svijetu. Posljednjih je godina liberalizacija zakona u Hrvatskoj povećala proizvodnju industrijske konoplje, što je donijelo nove izazove, uključujući pojavu biljnih bolesti. Ovaj se rad usredotočuje na dvije specifične bolesti koje su prvi put potvrđene na konoplji u Hrvatskoj 2019. godine: fuzarijsko venuće prouzročeno vrstom *Fusarium oxysporum* i suha trulež korijena i stabljike izazvana vrstom *Macrophomina phaseolina*. Fuzarijsko venuće ozbiljan je problem u proizvodnji konoplje jer uzrokuje venuće biljaka, smeđenje listova te smanjenje prinosa i kvalitete vlakana i sjemena. Širenju bolesti pogoduju više temperature zraka i visoka vlaga, a agrotehničke mjere uključuju plodored i duboku obradu tla. Suha trulež korijena i stabljike značajan je problem osobito u vrućim i sušnim godinama. Patogen uzrokuje prijevremeno sušenje biljaka, što može rezultirati ozbiljnim gubitcima u prinosu. Suzbijanje *M. phaseolina* uključuje korištenje fizikalnih mjera, poput solarizacije tla, i agrotehničkih mjera, kao što je plodored. Rad donosi smjernice za prepoznavanje bolesti te preporuke za njihovo suzbijanje i prevenciju s ciljem očuvanja proizvodnje konoplje.

Ključne riječi: industrijska konoplja, *F. oxysporum*, *M. phaseolina*

UVOD

Konoplja ili *Cannabis sativa* L. jednogodišnja je dvodomna biljka iz porodice Cannabaceae i reda Rosales, i smatra se jednom od najstarijih kultiviranih biljaka na svijetu. Ta je vrsta rasprostranjena diljem svijeta i uključuje različite sorte konoplje (Amaducci i sur., 2015.). Rod *Cannabis* obuhvaća vrste *Cannabis sativa* L., *Cannabis indica* Lam., i *Cannabis ruderalis* Janisch. (Liu i sur., 2017.). Unutar vrste *C. sativa* postoje različiti botanički varijeteti, od kojih su dva posebno značajna: *C. sativa* var. *sativa* i *C. sativa* var. *indica*. Ti varijeteti

prepoznaju se kao industrijska konoplja i medicinska konoplja (Small i Cronquist, 1976.; Zuk-Golaszewska i Golaszewski, 2018.). Arheološki nalazi sugeriraju da je Kina izvorno stanište ove biljke, a ujedno je i najstarija zemlja koja je koristila konoplju za različite svrhe. Tijekom povijesti konoplja je u Kini služila za proizvodnju tekstila, hrane, papira i u medicini. U Europu je stigla oko 1200 godina pr. Kr. i postala značajna kao izvor sirovine u proizvodnji papira te se koristila i u tiskanju prvih primjeraka Biblije (Ranalli i Venturi, 2004.; Thamae i sur., 2009.; Johnson, 2013.). Industrijska konoplja iznimno je prilagodljiva biljka koja omogućuje cjelogodišnji uzgoj. S obzirom na svoju otpornost pruža brojne koristi za poljoprivredu, uključujući minimalnu upotrebu sredstava za zaštitu u odnosu na druge usjeve, što je čini izvrsnim izborom za ekološku proizvodnju. Osim toga, smanjuje zakorovljenost te pozitivno utječe na poboljšanje tla u plodoredu (Amaducci i sur., 2008.; Tang i sur., 2022.; Ely i sur., 2022.). Izmjenama Zakona o suzbijanju zlouporabe droga (NN 39/2019.) u 2019. godini proširene su mogućnosti uzgoja konoplje. Ovim zakonom omogućen je uzgoj konoplje ne samo za sjeme već i korištenje cijele biljke za proizvodnju vlakana u industrijske svrhe. Industrijska konoplja zakonski je definirana kao *C. sativa* s THC sadržajem do 0,2 %, a dopuštene su sorte sa Zajedničke sortne liste Europske unije te nije klasificirana kao droga (Ministarstvo poljoprivrede, 2019.). Liberalizacija zakona povećala je proizvodnju konoplje u Hrvatskoj, što nas istodobno dovodi do novih izazova, uključujući moguću pojavu biljnih bolesti. Iako su bolesti konoplje do sada bile rijetke i uglavnom neprimijećene među proizvođačima, smanjena rotacija usjeva i plodored mogli bi povećati njihovu učestalost, uključujući infekcije uzrokovane patogenima iz roda *Fusarium*. Fuzarioze se često pojavljuju tijekom vlažnih i toplih proljetnih mjeseci, posebno u osjetljivijih sorata konoplje (Noviello i Snyder, 1962.). S druge strane, suha trulež, prouzročena patogenom *Macrophomina phaseolina*, sve je prisutnija tijekom vrućih i sušnih ljeta koja su postala česta u Hrvatskoj posljednjih deset godina (Lodha i Mawar, 2020.). Ovim će se radom informirati proizvođače o pojavi dviju bolesti na industrijskoj konoplji u Hrvatskoj, fuzarijskom venuću uzrokovanom *F. oxysporum* i suhoj truleži korijena i stabljike konoplje uzrokovanom *M. phaseolina*, koje su u Hrvatskoj prvi put potvrđene 2019. godine (Duvnjak i sur., 2023a.; Duvnjak i sur., 2023b.). Rad će pružiti osnovne smjernice za prepoznavanje tih bolesti, upravljanje njima i prevenciju.

PATOGENEZA I SIMPTOMATOLOGIJA UZROČNIKA FUZARIJSKOG VENUĆA

Različite *Fusarium* vrste parazitiraju velik broj biljnih vrsta, uključujući povrće, cvijeće, ratarske kulture, poput pšenice, ječma, kukuruza, pamuka, konoplje i duhana, te zeljaste višegodišnje ukrasne biljke i plantažne kulture, poput banana, kave i šećerne trske (Agrios, 2005.). U Hrvatskoj su osobito ugroženi

usjevi kukuruza i pšenice. Vrste roda *Fusarium* mogu preživjeti kao saprofiti ili paraziti na različitim dijelovima biljaka, uključujući korijen, stabljiku, listove, cvjetove i sjeme (Summerell i sur., 2003.). Održavaju se putem spora ili micelija u zaraženim tkivima i na sjemenu ili u njemu (Agrios, 2005.). Širenje patogena odvija se putem zraka, opreme i vode, a izvor zaraze može biti kontaminirano sjeme, zaraženo tlo ili alternativni biljni domaćini. Uzročnici fuzarijskog venuća biljaka pripadaju kompleksu *F. oxysporum*, specijaliziranu za različite domaćine (formae speciales). Vrsta *F. oxysporum* posebno je važna zbog svoje prisutnosti u tlu te je prema Lombard i sur. (2019.) najčešće izolirana i ekonomski najznačajnija vrsta iz roda *Fusarium*. Zaraza započinje u korijenu biljke, što uzrokuje začepljenje provodnog sustava i smanjenje protoka vode iz korijena prema nadzemnim dijelovima biljke (Zhang i sur., 2005.). Biljka tada trpi nedostatak vode i hranjivih tvari, što se očituje u nekrotizaciji, smanjenju prinosa plodova i općem venuću biljke (Baayen i sur., 2000.). Simptomi zaraze uključuju zaostajanje u rastu, žućenje i venuće lišća te crvenkaste promjene u ksilemu, koje su vidljive kao linije ili lezije na poprečnu presjeku stabljike. U vlažnim se uvjetima na vanjskoj strani zahvaćenih stabljika često razvije bijela, ružičasta ili narančasto-žuta micelarna prevlaka (Okungbowa i Shittu, 2012.).

Fuzarijsko venuće konoplje

Vrste roda *Fusarium* ekonomski su značajni uzročnici bolesti konoplje (Gwinn i sur., 2022.), a među njima izdvajaju se *Fusarium solani* i *Fusarium oxysporum* (Punja i sur., 2019.). Fuzarijsko venuće konoplje uzrokuju dvije vrlo slične vrste: *Fusarium oxysporum* Schlecht. f.sp. *vasinfectum* (G.F. Atkinson) Snyder & H.N. Hansen i *Fusarium oxysporum* f. sp. *cannabis*. Ta je bolest prvi put opisana na konoplji u istočnoj Europi prije oko 50 godina. Na konoplji se simptomi manifestiraju žućenjem i smeđenjem listova, njihovim odumiranjem, venućem biljke te smanjenjem broja cvjetova i njihovim propadanjem (McPartland i Hillig, 2004.). Prvi su simptomi bolesti male, tamne nepravilne pjege na donjim listovima (McPartland i Hillig, 2004.). Vrhovi listova uvijaju se prema licu, listovi se suše, javlja se promjena boje u žuto-smeđu te ostaju visjeti na biljci. Peteljke, grane, a ponekad i stabljike, također se mogu saviti, a stabljika poprima žuto-smeđu nijansu. Na poprečnu se prerezu stabljike u ksilemskom tkivu vidi crvenkasto-smeđa promjena (Noviello i Snyder, 1962.). Različiti klimatski i okolišni uvjeti imaju važnu ulogu u razvoju fuzarijskog venuća konoplje. Bolest se brzo širi za topla vremena kada je optimalna temperatura oko 26 °C, dok simptomi često postaju očiti tek s dolaskom visokih ljetnih temperatura. Razvoj bolesti dodatno pospešuju niske razine fosfora i dušika, kiseo pH tla te kratkotrajna svjetlost slabog intenziteta (Gwinn i sur., 2022.). Fuzarijsko venuće značajno narušava kvalitetu i prinos vlakana konoplje te ima nepovoljno djelovanje na proizvodnju i kvalitetu sjemena. Sjemenke zaražene

tim patogenom nisu prikladne za ljudsku potrošnju ili daljnji uzgoj (Gwinn i sur., 2022.). Osim toga, mikotoksini koje proizvode *Fusarium* vrste ozbiljan su agronomski izazov, jer mogu ograničiti dostupnost hrane i stočne hrane te prouzročiti ozbiljne zdravstvene probleme kod ljudi i životinja (Agostinelli i sur., 2012.).

Mjere zaštite

Konoplja je visoko vrijedan usjev, ali zbog ograničenih mogućnosti za suzbijanje bolesti postoji potreba za razvojem učinkovitih kemijskih i bioloških strategija kontrole. Iako konvencionalni fungicidi mogu smanjiti učestalost bolesti uzrokovane *Fusarium* sp. i biti korisni u slučaju infekcije, njihova učinkovitost varira ovisno o patogenu, a neki mogu biti fitotoksični za konoplju. Ostaci sredstava za suzbijanje patogena poseban su problem, osobito u nasadu konoplje koja se uzgaja u medicinske svrhe, zbog nedovoljna nadzora i korištenja neodobrenih preparata, što često rezultira kontaminacijom proizvoda (Akinrinlola i sur., 2021.). Proizvođači u Hrvatskoj do sada nisu prijavljivali probleme s bolestima konoplje, a prema podacima iz FIS baze (FIS, 2024.) trenutačno ne postoje registrirani fungicidi za zaštitu konoplje u Hrvatskoj. S obzirom na nedavno otkriveno fuzarijsko venuće, potrebna su daljnja istraživanja kako bi se pronašla odgovarajuća učinkovita sredstva za zaštitu toga vrijednog usjeva. Stoga, kontrola bolesti uzrokovanih vrstama roda *Fusarium* trebala bi se temeljiti na primjeni učinkovitih mjera zaštite. Ključne mjere uključuju rotaciju usjeva s biljkama koje nisu domaćini patogenu, duboku obradu tla radi smanjenja struktura kojima se patogen održava u tlu, te sjetva genski otpornih sorata (Rojas i sur., 2018.; Jeff i Williams, 2019.). Biološka kontrola korištenjem korisnih mikroorganizama, kao što su vrste iz roda *Trichoderma* i *Bacillus*, pokazala se vrlo učinkovitom. Ti mikroorganizmi sintetiziraju antimikrobne spojeve i aktiviraju obrambene mehanizme biljaka, čime značajno pridonose suzbijanju patogena i nisu toksični za agroekosustav (Baffoni i sur., 2015.; Pavlovskaya i sur., 2020.).

Patogeneza i simptomatologija uzročnika suhe truleži korijena i stabljike

Uzročnik suhe truleži korijena i stabljike, *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid., fakultativni je parazit i jedan od najštetnijih tlom i sjemenom prenosivih patogena. Pripada porodici *Botryosphaeriaceae* i uzrokuje prerano sušenje biljaka. Vrsta *M. phaseolina* naširoko je rasprostranjena i može inficirati više od 500 biljnih vrsta u više od 100 biljnih porodica, uključujući suncokret, soju, šećernu repu, lucernu, kukuruz, duhan i batat. Infekcija tim patogenom može se javiti u svim fazama razvoja domaćina uzrokujući raznolike simptome. Zbog simptoma koji se očituju na biljkama, često se naziva „suha“ ili „ugljenasta“ trulež. Štete koje uzrokuje u poljoprivrednim kulturama u vrućim i sušnim

godinama mogu biti značajne (Jurković i sur., 2017.). Gljiva *M. phaseolina* razvija micelij u provodno tkivo korijena i bazalnih internodija domaćina, narušavajući transport vode i hranjivih tvari do gornjih dijelova biljke. Od infekcije nastaju kloroze, naglo venuće te prerano odumiranje biljaka (Marquez i sur., 2021.). U blizini tla, na stabljikama i u njima uočava se velik broj sitnih okruglih do blago duguljastih crnih mikrosklerocija. Mikrosklerocije mogu biti toliko brojne da biljnom tkivu daju sivkasto-crnu nijansu. Te su strukture primaran izvor infekcije i mogu preživjeti u suhom tlu na zaraženim biljnim ostatcima do 15 godina. U vlažnim uvjetima, mikrosklerocije ostaju vijabilne 7 do 8 tjedana. Taj patogen postaje sve prisutniji zbog promjena klimatskih uvjeta, poput toplijih i sušnijih ljeta, u posljednjem desetljeću sve učestalijih u istočnoj Hrvatskoj. Klijanje mikrosklerocija događa se tijekom vegetacije kada su temperature tla između 28 i 35 °C, s optimalnim uvjetima oko 30 °C, što gljivu *M. phaseolina* svrstava među termofilne vrste (Kaur i sur., 2012.; Gupta i sur., 2012.).

Mjere zaštite

Istraživanja u svijetu potvrdila su određeni stupanj učinkovitosti ponekih djelatnih tvari u suzbijanju *M. phaseolina* (Khalikar i sur., 2011.; Parmar i sur., 2017.), no u Hrvatskoj nijedan fungicid nije registriran za tu namjenu. Stoga se za zaštitu usjeva od suhe truleži preporučuje provođenje svih mjera koje osiguravaju optimalan rast i razvoj biljaka kako bi se umanjio nepovoljan učinak okolinskih čimbenika. U te se mjere ubrajaju višegodišnji plodored, odabir kultivara tolerantnih na sušu i na uzročnika bolesti te sjetva zdravog i kvalitetnog sjemena. Također, solarizacijom tla moguće je značajno smanjiti količinu inokuluma u tlu. Solarizacija tla koristi sunčevu energiju za kontrolu patogena u tlu. Ta mjera uključuje malčiranje tla i prekrivanje velikom, obično prozirnom polietilenskom ceradom, što omogućava zadržavanje sunčeve energije i zagrijavanje tla. Istraživanja sugeriraju da solarizacija može biti jednako učinkovita u suzbijanju patogena kao i neki fungicidi (Israel i sur., 2005.; Yildiz i sur., 2010.).

ISTRAŽIVANJE POJAVE FUZARIJSKOG VENUĆA I SUHE TRULEŽI NA INDUSTRIJSKOJ KONOPLJI U HRVATSKOJ

U kolovozu 2019. godine na komercijalnim je poljima konoplje kultivara *Fibranova* u Vladislavcima pokraj Osijeka primijećeno venuće oko 15 % biljaka. Na prikupljenim uzorcima biljaka i korijenju uočeni su simptomi vanjskog i unutarnjeg smeđenja na bazi stabljika, međužilna kloroza listova te ugibanje izboja (slika 1a). Na korijenu zaraženih biljaka nakon uklanjanja vanjskog sloja kore uočene su zone tkiva crvenkasto-smeđe boje (slika 1b). Daljnjim

laboratorijskim analizama utvrđena je prisutnost gljive *F. oxysporum*.



Slika 1. Fuzarijsko venuće konoplje: a) simptomi na listovima, b) simptomi na korijenu (snimio: T. Duvnjak, 2019.)

Figure 1. Fusarium wilt of hemp: a) symptoms on leaves, b) symptoms on roots (photo: T. Duvnjak, 2019)

Osim simptoma fuzarijskog venuća, u istim poljima uočeni su i simptomi suhe truleži korijena i stabljike koja je izazvala prijevremeno venuće oko 1,5 %



Slika 2. Suha trulež korijena konoplje (snimio: T. Duvnjak, 2019.)

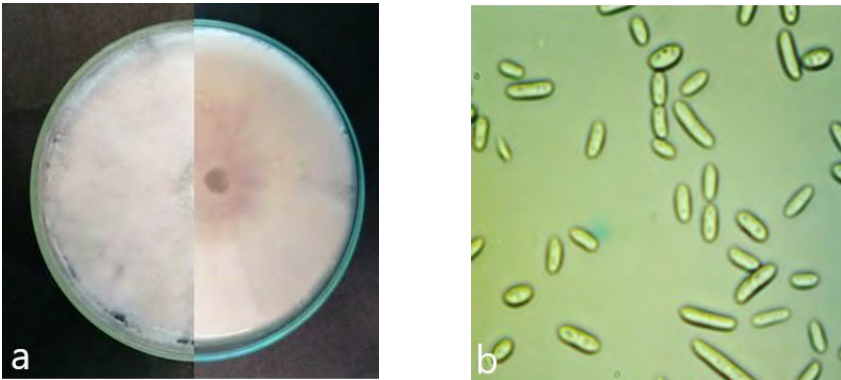
Figure 2. Dry root rot of hemp (photo: T. Duvnjak, 2019)

biljaka. Bolesne biljke pokazivale su klorozu, brzo venuće, nekrozu i klorozu i prerano odumiranje. Stabljike tih biljaka bile su potpuno isušene, dok su unutarnja tkiva postala spužvasta i mekana. Na dijelovima stabljika neposredno iznad površine tla uočena je diskoloracija tkiva s malim, okruglim do izduženim crnim mikrosklerocijama, dok su na korijenu uočena nekrotična smeđe-siva područja (slika 2).

Rezultati laboratorijske analize

Nakon sedmodnevne inkubacije na krumpir dekstroznom agaru (eng. Potato dextrose agar, PDA), kolonije *F. oxysporum* razvile su pamučno bijeli do svijetloružičasti zračni micelij s bezbojnom do svijetloružičastom donjom površinom (slika 3a). Hife su bile prozirne, glatke, razgranate i septirane. Makrokonidije su imale tipičan srpast oblik s bazalnom stanicom u obliku stopala, izduženom apikalnom stanicom te su imale tri do pet septi (slika 3b). Morfološke karakteristike kulture potvrdile su prisutnost patogena *F. oxysporum*.

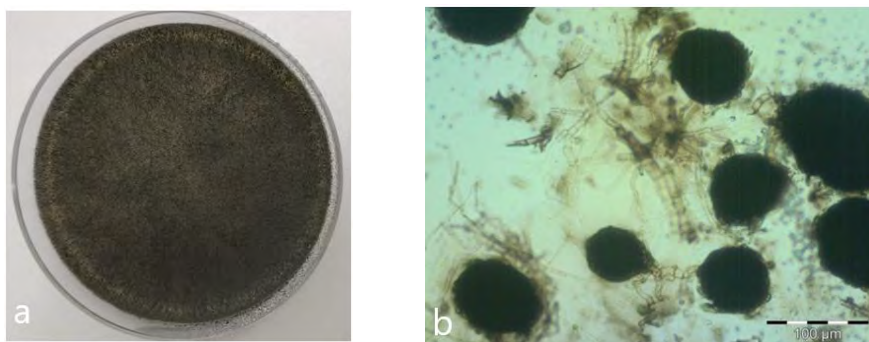
Konvencionalnom PCR metodom potvrđena je vrsta *F. oxysporum*, a identificiran je novi izolat HFox1. Sekvence izolata HFox1 (GenBank brojevi: OM475708 i OR149071) bile su u potpunosti usklađene s referentnim sekvencama *F. oxysporum* (GU724513, KX196809 i MK461973), što potvrđuje njegov identitet.



Slika 3. Prikaz kulture i konidija *F. oxysporum*: a) 12 dana stara kultura *F. oxysporum* na hranjivoj podlozi; b) mikroskopski prikaz mikrokonidija *F. oxysporum* (snimila: K. Vrandečić, 2019.)

Figure 3. Culture and conidia of *Fusarium oxysporum*: a) 12-day-old culture of *Fusarium oxysporum* on nutrient medium; b) microscopic view of *Fusarium oxysporum* microconidia (photo: K. Vrandečić, 2019)

Uzorci biljaka sa simptomima suhe truleži korijena uzeti su za laboratorijsku analizu. Dvadeset segmenata korijena i krune zaraženih biljaka površinski su sterilizirani i postavljeni na krumpir dekstroza agar (PDA) s dodatkom antibiotika. Nakon inkubacije u mraku na $28 \pm 2^\circ\text{C}$ tijekom sedam dana, izolirana je čista kultura koja je proizvela brojne tamne, tvrde, mikrosklerocije (slika 4). Na temelju morfoloških karakteristika kulture i mikrosklerocija potvrđena je prisutnost gljive *M. phaseolina*.

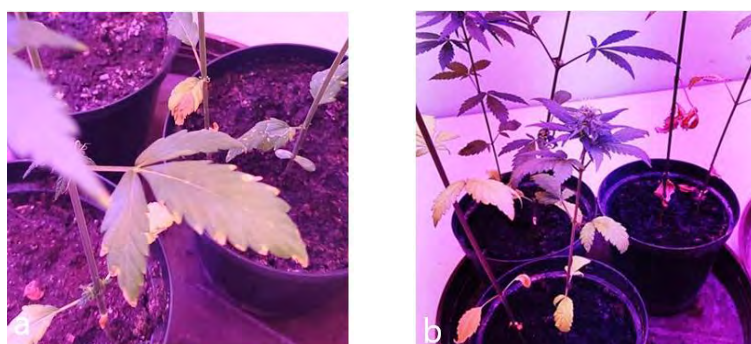


Slika 4. Prikaz kulture i mikrosklerocija *M. phaseolina*: a) 7 dana stara kultura *M. phaseolina* na hranjivoj podlozi; b) mikroskopski prikaz mikrosklerocija *M. phaseolina* (snimila: T. Siber, 2019.)

Figure 4. Culture and microsclerotia of *M. phaseolina*: a) 7-day-old culture of *M. phaseolina* on a nutrient medium; b) microscopic view of *M. phaseolina* microsclerotia (photo: T. Siber, 2019)

Test patogenosti

Nakon dobivanja čiste kulture *F. oxysporum* proveden je test patogenosti. Sterilno sjeme pšenice i ječma inokulirano je izolatom *F. oxysporum* te je tako umjetno inokulirano sjeme raspoređeno 3 do 4 cm ispod površine sterilnog supstrata u koji je posijana konoplja. Tako nacijepijene posudice inkubirane su u klima-komori na temperaturi 25 ± 2 °C u trajanju od 4 tjedna, uz svjetlosni režim od 12 sati svjetlosti i 12 sati tame. Četiri tjedna nakon inokulacije biljke su počele pokazivati simptome venuća jednake onima zabilježenima na polju (slika 4). Reizolacijom je potvrđena prisutnost *F. oxysporum*. Biljke u kontroli nisu pokazivale simptome fuzarioza.



Slika 5. Simptomi na konoplji nakon umjetne infekcije *F. oxysporum* u laboratorijskim uvjetima: a) simptomi venuća uvijanjem vrhova listova; b) uvenuli listovi se suše do žuto-smeđe boje i ostaju visjeti na biljci (snimio: T. Duvnjak, 2019.)

Figure 5. Symptoms on hemp after artificial infection with *Fusarium oxysporum* under laboratory conditions: a) wilting symptoms with curling of leaf tips; b) wilted leaves dry to a yellow-brown color and remain hanging on the plant (photo: T. Duvnjak, 2019).

Test patogenosti proveden je i za patogen *M. phaseolina*. Osamnaest biljaka konoplje inokulirano je s deset dana starom kulturom *M. phaseolina* (izolat MP1) u koncentraciji mikrosklerocija od 10^5 /ml. Biljke su držane na 28 °C i 70 % vlažnosti s 16-satnim svjetlosnim razdobljem. Nakon deset tjedana 77,8 % inokuliranih biljaka pokazalo je simptome venuća, dok kontrolne biljke nisu pokazivale simptome. Iz inokuliranih biljaka ponovno je izolirana vrsta *M. phaseolina*.

Na temelju simptoma na terenu, morfologije kolonija i konvencionalnom PCR metodom identificiran je novi izolat MP1. Sekvence izolata MP1 (OQ389757) bile su 100 % usklađene s referentnim sekvencama *M. phaseolina* (MG434668), čime je potvrđen njegov identitet.

ZAKLJUČCI

Povećanje proizvodnje konoplje, zahvaljujući liberalizaciji zakona, dovelo je do povećana rizika od učestalije pojave bolesti. Među njima je fuzarijsko venuće uzrokovano gljivom *Fusarium oxysporum* i suha trulež korijena i stabljike uzrokovana *Macrophomina phaseolina*, postaje značajna prijetnja za kvalitetu i prinos konoplje. Prisutnost tih patogena na konoplji u Hrvatskoj ističe potrebu za daljnjim praćenjem pojave bolesti, kao i za provođenjem učinkovitih mjera zaštite. Edukacija proizvođača o uzročnicima bolesti, simptomima i primjeni odgovarajućih mjera zaštite mogu značajno smanjiti rizik od zaraze i osigurati zdravlje usjeva.

NEW DISEASES IN INDUSTRIAL HEMP IN CROATIA: WHAT PRODUCERS NEED TO KNOW

SUMMARY

Hemp (*Cannabis sativa* L.) is one of the oldest known cultivated plants and is widely used worldwide. In recent years, the liberalisation of laws in Croatia has increased industrial hemp production, which has brought new challenges, including the emergence of plant diseases. This article focuses on two specific diseases that were detected for the first time on hemp in Croatia in 2019: Fusarium wilt, caused by *Fusarium oxysporum*, and charcoal rot of roots and stems, caused by *Macrophomina phaseolina*. Fusarium wilt is a serious problem in hemp production as it causes wilting of the plants, browning of the leaves and a reduction in fibre and seed yield and quality. The disease spreads most rapidly under warm conditions. Agricultural practices such as crop rotation and deep tillage must be used to control it. On the other hand, charcoal rot on roots and stems is a major problem, especially in hot and dry years. This pathogen causes the plants to dry out prematurely, which can lead

to severe yield losses. Control of *M. phaseolina* includes non-pesticidal methods such as soil solarisation and crop rotation. The paper provides guidelines for the identification of diseases and recommendations for their control and prevention with the aim of maintaining hemp production.

Keywords: industrial hemp, *F. oxysporum*, *M. phaseolina*

LITERATURA

Agostinelli, A.M., Clark, A.J., Brown-Guedira, G., Van Sanford, D.A. (2012.). Optimizing phenotypic and genotypic selection for Fusarium head blight resistance in wheat. *Euphytica*, 186, 115-126.

Agrios, G.N. (2005.). *Plant pathology* 5th ed. Amsterdam: Elsevier, 922.

Akinrinlola, R., Hansen, Z.R., Wang, T., Gwinn, K.D., Fei, T. (2021.). Fungicide efficacy against hemp powdery mildew in the greenhouse. *Phytopathology*, 111 (10), 131-131.

Amaducci, S., Scordia, D., Liu, F.H., Zhang, Q., Guo, H., Testa, G., Cosentino, S.L. (2015.). Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. *Industrial Crops and Products*, 68, 2-16.

Amaducci, S., Zatta, A., Pelatti, F., Venturi, G. (2008.). Influence of agronomic factors on yield and quality of hemp (*Cannabis sativa* L.) fibre and implication for an innovative production system. *Field crops research*, 107(2), 161-169.

Baayen, R.P., O'Donnell, K., Bonants, P.J., Cigelnik, E., Kroon, L.P., Roebroek, E.J., Waalwijk, C. (2000.). Gene genealogies and AFLP analyses in the *Fusarium oxysporum* complex identify monophyletic and nonmonophyletic formae speciales causing wilt and rot disease. *Phytopathology*, 90(8), 891-900.

Baffoni, L., Gaggia, F., Dalanaj, N., Prodi, A., Nipoti, P., Pisi, A., Biavati, B., Di Gioia, D. (2015.). Microbial inoculants for the biocontrol of *Fusarium* spp. in durum wheat. *BMC microbiology*, 15, 1-10.

Duvnjak, T., Vrandečić, K., Sudarić, A., Cosić, J., Siber, T., Matosa Kocar, M. (2023a). First report of hemp fusarium wilt caused by *Fusarium oxysporum* in Croatia. *Plants*, 12(18), 3305.

Duvnjak, T., Vrandečić, K., Sudarić, A., Čosić, J., Matoša Kočar, M. (2023b). First report of charcoal rot caused by *Macrophomina phaseolina* on hemp in Croatia. *Plant disease*, 107(9), 2861.

Ely, K., Podder, S., Reiss, M., Fike, J. (2022.). *Industrial hemp as a crop for a sustainable agriculture. Cannabis/hemp for sustainable agriculture and materials*, Springer Singapore, 1-28.

FIS (2024.). *Fitosanitarni informacijski sustav*. <https://fis.mps.hr/fis/javna-trazilica-szb/> (pristupljeno: 6. kolovoza 2024.).

Gupta, G.K., Sharma, S.K., Ramteke, R. (2012.). Biology, epidemiology and management of the pathogenic fungus *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid with special reference to charcoal rot of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Journal of Phytopathology*, 160(4), 167-180.

Gwinn, K.D., Hansen, Z., Kelly, H., Ownley, B.H. (2022.). Diseases of *Cannabis sativa* caused by diverse *Fusarium* species. *Frontiers in Agronomy*, 3, 796062.

-
- Israel, S., Mawar, R., Lodha, S.** (2005.). Soil solarisation, amendments and bio-control agents for the control of *Macrophomina phaseolina* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *cumini* in aridisols. *Annals of Applied Biology*, 146(4), 481-491.
- Jeff, K., DW, Williams.** (2019.). Hemp agronomy-grain and fiber production. *Industrial Hemp as a Modern Commodity Crop*, 58-72.
- Johnson, R.** (2013.). Hemp as an agricultural commodity. Washington, DC, USA: Congressional Research Service, 1-29.
- Jurković, D., Čosić, J., Vrandečić, K.** (2017.). Pseudogljive i gljive ratarskih kultura. Poljoprivredni fakultet Osijek.
- Kaur, S., Dhillon, G.S., Brar, S.K., Vallad, G.E., Chand, R., Chauhan, V.B.** (2012.). Emerging phytopathogen *Macrophomina phaseolina*: biology, economic importance and current diagnostic trends. *Critical Reviews in Microbiology*, 38(2), 136-151.
- Khalikar, P.V., Gholve, V.M., Adsul, A.K.** (2011.). *In vitro* management of *Macrophomina phaseolina* by chemicals. *International Journal of Plant Protection*, 4(1), 201-203.
- Liu, F.H., Hu, H.R., Du, G.H., Deng, G., Yang, Y.** (2017.). Ethnobotanical research on origin, cultivation, distribution and utilization of hemp (*Cannabis sativa* L.) in China. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 16 (2), 235-242.
- Lodha, S., Mawar, R.** (2020.). Population dynamics of *Macrophomina phaseolina* in relation to disease management: A review. *Journal of Phytopathology*, 168(1), 1-17.
- Lombard, L., Sandoval-Denis, M., Lamprecht, S.C., Crous, P.W.** (2019.). Epitypification of *Fusarium oxysporum*—clearing the taxonomic chaos. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 43(1), 1-47.
- Marquez, N., Giachero, M.L., Declerck, S. and Ducasse, D.A.** (2021.). *Macrophomina phaseolina*: General characteristics of pathogenicity and methods of control. *Frontiers in Plant Science*, 12, 634397.
- McPartland, J.M., Hillig, K.W.** (2004.). Cannabis clinic fusarium wilt. *Journal of Industrial Hemp*, 9(2), 67-77.
- Ministarstvo poljoprivrede** (2019.). Duhan i konoplja, dostupno na: <https://poljoprivreda.gov.hr/> (pristupljeno: 6. kolovoza. 2024.).
- Noviello, C., Snyder, W.C.** (1962.). Fusarium wilt of Hemp. *Phytopathology*, 52(12), 1315-1317.
- Okungbowa, F.I., Shittu, H.O.** (2012.). Fusarium wilts: An overview. *Environmental Research Journal*, 6(2), 83-102.
- Parmar, H.V., Kapadiya, H.J., Bhaliya, C.M.** (2017.). Efficacy of different fungicides against *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid causing castor root rot. *International Journal of Communication Systems*, 5, 1807-1809.
- Pavlovskaya, N., Gneusheva, I., Solokhina, I., Ageeva, N.** (2020.). The biological activity of subspecies *Trichoderma harzianum* against *Fusarium oxysporum*, the causative agent of fusarium wilt cucumber *in vitro*. *BIO Web of Conferences*, 21, 00021.
- Punja, Z.K., Collyer, D., Scott, C., Lung, S., Holmes, J., Sutton, D.** (2019.). Pathogens and molds affecting production and quality of *Cannabis sativa* L. *Frontiers in plant science*, 10, 1120.
- Ranalli, P., Venturi, G.** (2004.). Hemp as a raw material for industrial applications. *Euphytica*, 140(1), 1-6.
- Rojas, E.C., Jørgensen, H.J., Jensen, B., Collinge, D.B.** (2018.). *Fusarium* diseases:

biology and management perspectives University of Copenhagen, Denmark. Integrated disease management of wheat and barley, Burleigh Dodds Science Publishing 43-66.

Small, E., Cronquist, A. (1976.). A practical and natural taxonomy for *Cannabis*. Taxon, 405-435.

Summerell, B.A., Salleh, B., Leslie, J.F. (2003.). A utilitarian approach to *Fusarium* identification. Plant disease, 87(2), 117-128.

Tang, L., Fan, C., Yuan, H., Wu, G., Sun, J., Zhang, S. (2022.). The Effect of Rotational Cropping of Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) on Rhizosphere Soil Microbial Communities. Agronomy, 12(10), 2293.

Thamae, T., Aghedo, S., Baillie, C., Matovic, D. (2009.). Tensile properties of hemp and Agave americana fibres. In Handbook of tensile properties of textile and technical fibres Woodhead Publishing, 73-99.

Yildiz, A., Benlioğlu, S., Boz, Ö., Benlioğlu, K. (2010.). Use of different plastics for soil solarization in strawberry growth and time–temperature relationships for the control of *Macrophomina phaseolina* and weeds. Phytoparasitica, 38, 463-473.

Zhang, Z., Zhang, J., Wang, Y., Zheng, X. (2005.). Molecular detection of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* and *Mycosphaerella melonis* in infected plant tissues and soil. FEMS Microbiology Letters, 249(1), 39-47.

Zuk-Golaszewska, K., Golaszewski, J. (2018.). *Cannabis sativa* L.–cultivation and quality of raw material. Journal of Elementology, 23(3).

izvorni znanstveni rad