

HMELJEVA PERONOSPORA (*Pseudoperonospora humuli*): BIOLOGIJA, STRATEGIJA VARSTVA NASADOV IN OSNOVE PROGNOZE

Sebastjan RADIŠEK¹, Gregor LESKOŠEK², Magda RAK CIZEJ³,
Alenka FERLEŽ RUS⁴

UDK / UDC 633.791:632.9:582.244(045)

strokovni članek / professional article

prispelo / received: 3. oktober 2012

sprejeto / accepted: 13. november 2012

Izveleček

Hmeljeva peronospora (*Pseudoperonospora humuli*) je gospodarsko najpomembnejša bolezen hmelja, saj lahko brez ustreznega varstva rastlin popolnoma uniči pridelek ali celo povzroči odmiranje korenike hmelja. Varstvo nasadov temelji na integriranih pristopih, ki vključujejo vzgojo odpornih sort, fitosanitarne ukrepe, spremljanje in napovedovanje optimalnega časa škropljenja, ter upoštevanje tehnologij pridelave, ki ne stimulirajo razvoj bolezni. V prispevku podrobno predstavljamo biologijo te nevarne plesnivke, varovanje nasadov in izvajanje prognoze v Sloveniji.

Ključne besede: oomicete, bolezni rastlin, prognoza, hmelj, *Humulus lupulus* L., hmeljeva peronospora, *Pseudoperonospora humuli*, varstvo rastlin

HOP DOWNY MILDEW (*Pseudoperonospora humuli*): BIOLOGY, PLANT PROTECTION STRATEGY AND DISEASE FORECASTING

Abstract

Hop downy mildew (*Pseudoperonospora humuli*) is economically the most important hop disease. Without an appropriate disease management it could cause a serious yield loss or even decay of the hop rootstock. Disease management is based on integrated approaches which include breeding for resistance, phytosanitary measures, forecasting service and application of technologies which reduce

¹ Dr., univ. dipl. inž. agr., Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, Cesta Žalskega tabora 2, 3310 Žalec, e-pošta: sebastjan.radisek@ihps.si

² Univ. dipl. inž. agr., prav tam, e-pošta: gregor.leskosek@ihps.si

³ Dr., univ. dipl. inž. agr., prav tam, e-pošta: magda.rak-cizej@ihps.si

⁴ Univ. dipl. inž. agr., prav tam, e-pošta: alenka.ferlez@ihps.si

infection potential. In this paper biology of this dangerous oomycete, the protection of hop plantations and forecasting activities in Slovenia are present.

Key words: oomycetes, plant diseases, disease forecasting, hop, *Humulus lupulus* L., hop downy mildew, *Pseudoperonospora humuli*, plant protection

1 UVOD

Hmeljeva peronospora je najpomembnejša bolezen hmelja, ki jo povzroča oomiceta *Pseudoperonospora humuli* (Miyabe & Takah.) G.W. Wilson. Povzroča lokalizirane infekcije listja, cvetov in storžkov, ter sistemične infekcije, katerih posledica je moten razvoj poganjkov (kuštravci) in propadanje koreninskega sistema. Hmeljevo peronosporo so prvič odkrili leta 1905 na Japonskem, leta 1909 v ZDA, 1920 pa v Angliji in Italiji. Po Evropi se je nato naglo razširila. Leta 1923 so jo potrdili v Nemčiji (na Bavarskem), leta 1924 v Franciji, leto kasneje pa v Belgiji (Royle in Kremheller, 1981). V Savinjski dolini je bila potrjena leta 1925. V obdobju 1920–1930 je v Evropi povzročila hudo gospodarsko škodo in vplivala na opuščanje pridelave občutljivih sort, kot je na primer Würtnberški hmelj. V tem času so se kot odporne predvsem na primarno okužbo izkazale sorte tipa Golding iz Anglije, ki so se uveljavile tudi v Sloveniji in kasneje s klonsko selekcijo postali sorta Savinjski golding. Preprečevanje hmeljeve peronospore danes temelji na integriranih pristopih, ki vključujejo vzgojo odpornih sort, fitosanitarne ukrepe in uporabo fungicidov na osnovi opazovalno-napovedovalne službe.

2 TAKSONOMIJA IN POIMENOVANJA

Taksonomsko je *Pseudoperonospora humuli* uvrščena v kraljestvo Chromista, deblo Peronosporomycotina, razred Peronosporomycetes (Oomycetes), red Peronosporales in družino Peronosporaceae. V starejši literaturi lahko njene opise najdemo tudi pod sinonimi kot so *Peronoplasmopara humuli* Miyabe & Takah., (1905), *Peronospora humuli* (Miyabe & Takah.) Skalický, (1966), *Plasmopara humuli* (Miyabe & Takah.) Sacc., (1912) (Index Fungorum, 2012).

3 BOLEZENSKA ZNAMENJA

Hmeljeva peronospora se lahko razvija na vseh organih rastline hmelja, pri čemer povzroča sistemične in lokalne okužbe. Značilno sistemično okužbo, ki omogoča prezimitev te plesnivke, lahko opazimo na prerezu korenike hmelja in na podzemnem stebelu. Obolelo tkivo je vijolično rdeče barve, ki se koncentrično širi in zajema prevodno tkivo. Prizadeta korenika lahko daje tudi do 30 % nižji

pridelek, v primeru občutljivih sort pa prihaja do propadanja in odmiranja celotne rastline. Iz sistemsko okuženih korenin in brstov spomladi poženejo okuženi poganjki (primarni bazalni kuštravci), ki jih prepoznamo po skrajšanih in odebeljenih med-členkih ter rumenkastih navzdol obrnjenih listih. Ob ugodnih razmerah se na spodnji strani listov razvije vijolično-sivkasta prevleka tronoscev s sporami, ki predstavljajo vir nadaljnjih sekundarnih okužb v nasadu. V primeru kasnejših sekundarnih okužb rastnega vršička poganjkov lahko nastanejo tudi sekundarni kuštravci, ki jih glede na lego okuženega poganjka imenujemo lateralni ali terminalni kuštravci. Sekundarne okužbe nastanejo kot rezultat lokalnih okužb listja, cvetja in storžkov. Na okuženih listih se na zgornji strani listne ploskve pojavijo blede rumene pege, ki se kasneje spremenijo v nekroze, omejene z listnimi žilami. Na spodnji strani listov se na pegah razvije temno sivkasta prevleka, ki ji sestavljajo tronosci in trosovniki. Oboleli cvetovi porjavijo in otrdijo ter kasneje odpadejo. Okužba na storžkih se razvije na braktejah in brakteolah, ki prav tako porjavijo. Če so okuženi mladi storžki, se le-ti deformirajo, pri starejših že razvitih storžkih pa porjavijo le posamezni krovni lističi (Johnson in sod., 2009; Royle in Krehmeller, 1981).

4 GOSTITELJSKE RASTLINE IN GEOGRAFSKA RAZŠIRJENOST

Primarni in glavni gostitelj *Pseudoperonospora humuli* je navadni hmelj (*Humulus lupulus*), v manjšem obsegu pa lahko okuži tudi japonski hmelj (*Humulus japonicus*), nekatere vrste kopriv (*Urtica* spp.), kumare (*Cucumis sativus*) in plevelni vrsti rdečejagodasti bluščec (*Bryonia dioica*) ter divjo bučko (*Sicyos angulatus*) (Runge in Thines, 2011). Hmeljeva peronospora je razširjena v večini hmeljarskih dežel in območij rastišč divjega hmelja, razen Avstralije, Nove Zelandije in Južne Afrike, kamor se do sedaj zaradi strogih fitosanitarnih ukrepov še ni prenesla (Johnson in sod., 2009).

5 RAZVOJNI CIKEL IN EPIDEMIOLOGIJA

Pseudoperonospora humuli spada med obligatne parazite, ki za svoj razvoj nujno potrebujejo živo tkivo gostitelja. Prezimi kot medcelični micelij v okuženi koreniki in brstih, ki se večinoma okužijo v jesenskem času pred nastopom dormance. Vloga spolnih spor (oospor), ki se jeseni razvijejo na obolelem tkivu, pri prezimitvi in razvojnem krogu še ni docela razjasnjena, saj do sedaj raziskovalcem še ni uspelo inducirati njihovega kaljenja. Oospore so okrogle in gladke oblike premera 22-42 µm (Johnson in sod., 2009). Iz okuženih brstov in korenike poženejo bazalni kuštravci, ki so vir primarne okužbe in imajo moteno rast zaradi okuženega apikalnega meristema. Ob vlažnem in deževnem vremenu na spodnji strani listov iz

listnih rež poženejo množice trosonoscev s trosovniki, ki skupaj ustvarijo plesnivo prevleko. Trosonosci so dihotojno razvejani velikosti 190–430 μm . Na konicah trosonoscev se razvijajo posamezni trosovniki, ki so jajčaste oziroma elipsaste oblike velikosti 22–26 μm x 15–18 μm z izrazito papilo. Trosovniki se prenašajo z vetrom in vodo, v kateri kalijo in sprostijo 4–8 zoospor, premera 7–8 μm . Zoospore imajo dva bička, ki jim omogočata premik do listne reže, kjer se encistirajo, odvržejo bičke in skozi odprtino listne reže poženejo klični mešiček. Na posamezno listno režo se pri *P. humuli* encistira samo ena zoospora, za razliko od na primer peronospor vinske trte (*Plasmopara viticola*), kjer se encistira več zoospor na listno režo. Iz kličnega mešička požene v rastlinsko tkivo penetracijska hifa, s čimer je ustvarjena okužba. Kolonizacija okuženega lista poteka preko medceličnega micelija, ki se večinoma razvija v mezofilu in delno v palisadnem tkivu, pri čemer s sesalnimi bradavicami (havstoriji) iz posameznih celic črpa hranila (Johnson in sod., 2009; Royle in Kremheller, 1981).

Sporulacija trosonoscev poteka izključno v temni fazi pri visoki relativni vlagi, ki mora biti vsaj 90 %, pri optimalni temperaturi 16–20°C in minimalni temperaturi 5°C. Segrevanje in osuševanje zraka v jutranjih urah povzroči učinek krivljenja in zvijanja trosonoscev, kar pripomore k sproščanju trosovnikov. Tako je sproščanje trosovnikov najintenzivnejše ob nizki relativni vlagi, kar pomeni v dopoldanskih urah, ko jih zračni tokovi prenašajo do rastlin. Povišane koncentracije trosovnikov v zraku se zaznajo tudi ob pričetku padavin, ko kapljice z mehanskim tresenjem sprostijo trosovnike. Prisotnost vode na listih je bistvenega pomena za kalitev trosovnikov, ki sproščajo zoospore pri omočenosti lista nad 1 uro pri temperaturah od 5–28°C z optimalno temperaturo med 20–22°C. V poskusnih razmerah se sproščanje zoospor začne pri 1,5°C, pri 30°C pa preneha. Kalivost zoospor z njihovo starostjo upada, posebno pri nizki relativni zračni vlažnosti. Okužba listja in storžkov nastane 1–2 uri po kalitvi trosovnikov pri temperaturi 15–29 °C in pri odprtih listnih režah. Pri nižjih temperaturah kot 5°C mora biti omočenost listja za nastanek okužbe vsaj 24 ur. Če so listi pri optimalni temperaturi mokri več kot 8 ur, okužba ne narašča več. Okužbe poganjkov zahtevajo daljše obdobje omočenosti, ki je med 3–6 ur v temperaturnem intervalu 8–23 °C. Prva bolezenska znamenja na listih se razvijejo 3–10 dni po okužbi v odvisnosti od temperature (7–28°C). Razvoj kuštravih poganjkov pa je daljši in je od 7–22 dni (Johnson in sod., 2009; Royle in Kremheller, 1981).

6 VARSTVO RASTLIN

Varstvo hmelja pred hmeljevo peronosporo temelji integriranih pristopih, ki vključuje vzgojo genetsko odpornih sort, fitosanitarne ukrepe, spremljanje in napovedovanje optimalnega časa škropljenja, ter upoštevanje tehnologij pridelave,

ki negativno vplivajo na razvoj bolezni. Preprečevanje hmeljeve peronospore se prične spomladi z zatiranjem primarne okužbe oziroma pojava primarnih kuštravcev, ki predstavljajo vir nadaljnjih okužb v nasadu. Poleg mehničnega odstranjevanja okuženih brstov v času rezi in kuštravcev v času navijanja hmelja zatiranje primarne okužbe temelji na uporabi sistemskih fungicidov. Od teh sta najpogosteje uporabljena fungicida na osnovi aktivne snovi fosetil-Al in metalaksil-M, od katerih zadnji omogoča tudi zdravljenje korenike hmelja. Uporabo sistemskih fungicidov svetujemo, če v nasadu delež rastlin s kuštravci presega 3 %. Ker se bazalni kuštravci ne pojavijo vsako leto tako zgodaj, se lahko za uporabo fungicidov odločimo tudi na osnovi pojava kuštravcev v prejšnjem letu in glede na občutljivost sort. Hmeljišča se v času vegetacije povprečju škropijo 4–6-krat, odvisno od vremenskih razmer ter sorte. V večini primerov se uporabljajo pripravki s kontaktnim delovanjem, kot so fungicidi na osnovi aktivnih snovi Cu – hidroksid, Cu – oksiklorid, Cu – sulfat, folpet, ditianon. V kolikor v nasadih pride do okužb, pa uporabimo že omenjene pripravke, ki vsebujejo sistemske fungicide (fosetil-Al, cimoksanil, metalaksil).

7 SPREMLJANJE IN NAPOVEDOVANJE POJAVA

Napovedovanje pojava hmeljeve peronospore temeljili na spremljanju meteoroloških in biotičnih dejavnikov, med katerimi so pomembni občutljivost sort, razvojni stadij hmelja in prisotnost trosovnikov v zraku. Pojav primarne okužbe (kuštravcev) spremljamo vizualno, medtem ko pojav sekundarnih okužb spremljamo s pomočjo lovilcev spor, s čimer pridobimo zanesljive podatke o dinamiki infekcijskega pritiska. Na osnovi proučevanja epidemioloških lastnosti so bili v letih 1970–1990 v pomembnejših hmeljarskih deželah (ZDA, Nemčija, Anglija, Češka in Slovenija) razviti in vpeljani sistemi za napovedovanje pojava sekundarnih okužb, ki temeljijo večinoma na modelih Royle-Kremheler (1979; 1981) in Dolinar (1985) ter Johnson (1991), ki napoveduje pojav primarne okužbe (Gent in sod., 2010). V Sloveniji se je intenzivno proučevanje epidemiologije hmeljeve peronospore pričelo leta 1976, ki je bilo osnova za razvoj prognostičnega modela z implementacijo v prakso leta 1986 (Dolinar in Žolnir, 1994). Vpeljava modela in razvoj mreže agrometeoroloških postaj je omogočila bolj usmerjeno uporabo fungicidov in tako zmanjšala število škropljenj, obremenjevanje okolja in stroške varstva rastlin.

7.1 Spremljanje pojava primarne okužbe

Spremljanje in zatiranje primarne okužbe je predpogoj za uspešno napovedovanje in preprečevanje hmeljeve peronospore med vegetacijo. Pojav kuštravih poganjkov ugotavljamo spomladi v času rezi in napeljevanja poganjkov hmelja. V nasadu

ugotavljamo število rastlin, na katerih so se razvili kuštravi poganjki. Če delež rastlin s kuštravci presega 3 %, je presežen prag škodljivosti in je potrebno uporabiti sistemične fungicide.

7.2 Spremljanje prisotnosti trosovnikov z lovilem spor

Pojav trosovnikov spremljamo z lovilci spor, med katerimi se najpogosteje uporablja standardni 7-dnevni vakuumski lovilec spor (Burkard, UK), ki deluje na principu Hirstovega lovilca, razvitega leta 1952. Lovilec ima pretok 10 L/min z zasukom lovilnega bobna za 360° v sedmih dneh. Na lovilnem bobnu se tedensko namesti PVC trak, ki je premazan z vazelinskim mazilom, na katerega se ujamejo spore. Po 7 dneh se trak odstrani in s pomočjo prilagojene šablone razreže na dnevne odseke. Razrezani odseki se preparirajo z anilinskim modrilom, ki prodre v membrane trosovnikov in jih obarva v modro, kar olajša mikroskopiranje. Preparati se pregledajo pod 100× povečavo s svetlobnim mikroskopom, pri čemer se štejejo dnevni ulovi spor. Spremljanje dinamike spor se prične v začetku meseca maja s postavitvijo lovilcev v nasade večjih kompleksov hmeljišč in ekoloških območij. V zadnjih petih letih hmeljarska območja Slovenije pokrivamo s petimi lovilci, ki se nahajajo na referenčnih točkah neposredno ob agrometeoroloških postajah. Na območju Savinjske doline se tako nahajajo trije lovilci spor, od katerih sta dva postavljena na obrobju doline (Založe in Tabor), osrednjo točko pa predstavlja lovilec na lokaciji Žalec. Ostali dve točki spremljanja predstavljata lovilca spor na območju Vojnika in Radljah ob Dravi.

7.3 Prognoistični modeli

Najpogosteje uporabljena modela napovedovanja pojava sekundarnih okužb hmeljeve peronospore Royle-Kremheller (1979; 1981) in Dolinar (1985) temeljita na spremljanju meteoroloških razmer v hmeljišču in uporabljata analizo multiple regresije, ki ima kot odvisno spremenljivko pogostost okužbe na listih, neodvisne spremenljivke pa so naslednje:

- Vsota temperaturnih ekvivalentov ($T - T_{\min} / T_{\max} - T_{\min}$), ki upoštevajo minimalno (5°C) in maksimalno (25°C) temperaturo za razvoj hmeljeve peronospore v času omočenosti listja. Za okužbo mora biti vsota temperaturnih ekvivalentov izračunanih po urah omočenosti listja večja od 0,36.
- Omočenost listja zaradi dežja, kar je najpomembnejši dejavnik, s katerim se da razložiti do 74 % variabilnosti okužbe; listje mora biti za uspešno okužbo mokro vsaj 2 uri, upoštevamo pa le do 8 ur mokro listje podnevi. Okužbe pri rosi ni.
- Svetloba, pri kateri so listne reže odprte, da skozi zoospore poženejo klični mešiček. Svetloba pospešuje tudi kalitev trosovnikov.
- Prisotnost trosovnikov, ki jih spremljamo z lovilci spor.

Model Royle in Kremheller računa jakost okužbe (Y) iz podatkov o omočenosti listja in o koncentraciji zoosporangijev v zraku; večja Y vrednost pomeni močnejšo okužbo. Model Dolinarjeve pa izračunava Y vrednost iz trajanja omočenosti listja pri določeni temperaturi zraka in upošteva Y le kot »Da – Ne« prognozo. Zanimari torej jakost okužbe, ker je za pridelovalne razmere pomembno le, če so razmere za okužbo izpolnjene ali ne. Namreč tudi manj močna okužba povzroči gospodarsko škodo na pridelku hmelja, ker je poslabšan estetski videz storžkov.

Komercialni programski paket Adcon Agroexpert (Adcon Telemetry, Klosterneuburg, Avstria), ki se od leta 1996 uporablja v Sloveniji, temelji na modelu Royle-Kremheller in izračunava index (Y), ki lahko ima vrednost med $-0,2$ in $1,0$ in temelji izključno na meteoroloških podatkih. Negativne vrednosti Y pomenijo razmere brez nevarnosti, medtem ko vrednosti nad 0 že predstavljajo potencialne infekcije. Programsko pred-nastavljena vrednost praga okužbe za izdajo opozorila je $0,2$. Preizkušanje Adcon modela, ki sta ga izvedli Knapič in Dolinar (1997), je pokazala, da je vrednost indeksa $0,2$ previsoka za Slovenijo, saj je model premalokrat napovedal okužbo. Zato je sedaj indeks prilagojen na znižano vrednost $Y=0,05$, ki zajame vse okužbe z upoštevanjem meteoroloških dejavnikov. Pogostejša opozorila pa ne pomenijo več škropljenj, saj se upoštevajo samo takrat, če so izpolnjeni tudi biotični pogoji (prisotnost trosovnikov, fenološka faza). Torej, če lovilci spor ne zaznajo prisotnosti trosovnikov ali so ti pod pragom škodljivosti, se opozorilo za okužbo zanemari.

Kritično število trosovnikov je določeno za občutljive in odpornejše sorte. V primeru odpornih sort je prag škodljivosti v času pred cvetenjem 40 trosovnikov v štirih zaporednih dneh, v času cvetenja in po njem pa 10 trosovnikov. Pri občutljivih sortah pa je prag škodljivosti presežen, če v času pred cvetenjem zaznamo 10 trosovnikov in v času cvetenja ter po njem 5 trosovnikov v štirih zaporednih dneh. V primeru preseženega pragu signaliziramo škropljenje, ki se mora izvesti v obdobju inkubacijske dobe $5-6$ dni (Dolinar in Žolnir, 1994). Kot biotični dejavnik se upošteva tudi fenološka faza, pri čemer sta najbolj občutljivi fazi cvetenje in formacija mladih storžkov. Zato se škropljenja v cvet signalizirajo ne glede na populacijo trosovnikov in vremenske razmere. Prvo škropljenje s preventivnimi pripravki se signalizira v času, ko hmelj cveti na spodnjem delu rastline, drugo pa, ko je hmelj v polnem cvetju. Opozorila za nevarnost okužb tako izdajamo, ko so izpolnjeni naslednji pogoji: (1) presežen prag trosovnikov, (2) občutljiva fenološka faza cvetenja in razvoja storžkov in (3) presežena vrednost indeksa $Y>0,05$, kot ga javi prognostični model Adcon (Knapič in Dolinar, 1997).

8 LITERATURA

- Dolinar M. Epifitotiološke raziskave hmeljne peronospore (*Pseudoperonospora humuli* Miy. et Takah) in izdelava modela za napoved okužb v razmerah Savinjske doline. VI. *Jugoslovanski simpozij za hmeljarstvo*. 1985; 259-268.
- Knapič V., Dolinar M. Primerjava modelov za prognozo hmeljeve peronospore (*Pseudoperonospora humuli* Miyabe et Takah). *Zbornik predavanj in referatov s 3. Slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin*. 1997; 167-172.
- Dolinar M., Zolnir M. Schwellenorientiertes Entscheidungsschema für epidemiebezogene Bekämpfung der Hopfenperonospora (*Pseudoperonospora humuli* Miy. et Tak.). Die Bodenkultur. *Journal für landwirtschaftliche Forschung*. 1994; (4): 49-56.
- Gent D.H., Ocamb C.M., Farnsworth J.L. Forecasting and management of hop downy mildew. *Plant Disease*. 2010; (94): 425-431.
- Index Fungorum (november 2012). Dostopno na:
<http://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=119090>
- Johnson D.A. Two degree day models for predicting initial emergence of hop shoots systemically infected with *Pseudoperonospora humuli*. *Plant Disease*. 1991; (75): 285-287.
- Johnson D.A., Engelhard B., Gent D.H. Downy Mildew. Mahaffee W.M., Pethybridge S.J., and Gent D.H. (eds). *Compendium of Hop Diseases and Pests*, APS Press, St. Paul, MN. 2009; 18-22.
- Royle D.J. Prediction of hop downy mildew to rationalize fungicide use. *Rep. Dep. Hop Res. Wye Coll., 1978*. 1979; 49-57.
- Royle D.J., Kremheller H.Th. Downy mildew of the hop. Spencer D.M. (ed). *The downy mildews.*, Academic Press, New York. 1981; 395-419.
- Runge F., Thines M. Reevaluation of host specificity of the closely related species *Pseudoperonospora humuli* and *P. cubensis*. *Plant Disease*. 2012; (96): 55-61.