Darko Preiner[1,2]

Stručni rad

Različita osjetljivost sorata vinove loze na zlatnu žuticu

Sažetak

Zlatna žutica vinove loze (Flavescence dorée, FD), koju uzrokuje fitoplazma Candidatus Phytoplasma vitis prenošena američkim cvrčakom (Scaphoideus titanus), jedna je od najvažnijih karantenskih bolesti vinove loze u Europi. Iako su fitosanitarne mjere usmjerene na uklanjanje zaraženih trsova, kontrolu vektora i korištenje zdravog sadnog materijala, sve je jasnije da genotip vinove loze snažno utječe na tijek infekcije. Dosadašnja istraživanja pokazuju kontinuirani raspon reakcija - od visoko osjetljivih sorata s visokim titrom fitoplazme, sistemskim širenjem i jakim simptomima do genotipova kod kojih je umnažanje ili širenje uzročnika ograničeno, slabije podržavaju vektora ili pokazuju izraženiju sposobnost oporavka. Unatoč značajnim razlikama u osjetljivosti, do sada nije utvrđena niti jedna sorta vinove loze koja je otporna niti potpuno tolerantna na zlatnu žuticu vinove loze.

Važno je naglasiti da niža osjetljivost pojedinih sorata na zlatnu žuticu ne predstavlja otpornost na infekciju i ne smije se tumačiti kao mogućnost njihova uzgoja bez provedbe propisanih fitosanitarnih mjera. Sorte svrstane u skupinu manje osjetljivih mogu se zaraziti zlatnom žuticom, razviti simptome i sudjelovati u epidemiološkom ciklusu bolesti, iako se učestalost infekcije, umnažanje i sistemično širenje fitoplazme, intenzitet simptoma ili pogodnost za vektora mogu razlikovati u odnosu na osjetljivije sorte. Klasifikacija sorata prema relativnoj osjetljivosti stoga opisuje biološke razlike među genotipovima, a ne njihovu fitosanitarnu sigurnost. Izbor manje osjetljive sorte ne zamjenjuje nadzor nasada, uklanjanje zaraženih biljaka, praćenje i propisano suzbijanje vektora niti druge službeno određene mjere za sprječavanje širenja FD-a.

Ključne riječi: *Flavescence dorée, zlatna žutica vinove loze, sorte vinove loze, osjetljivost, tolerancija*

Uvod

Zlatna žutica vinove loze (*Flavescence dorée*, FD) jedna je od najvažnijih fitoplazmatskih bolesti vinove loze u Europi. Uzročnik bolesti, *Candidatus Phytoplasma vitis*, fitoplazma je ograničena na floemsko tkivo, a njezino epidemijsko širenje u europskim vinogradima prvenstveno je povezano s američkim cvrčkom *Scaphoideus titanus*. Nakon što vektor usvoji fitoplazmu hranjenjem na zaraženoj biljci, uzročnik prolazi kroz probavni sustav kukca, umnaža se u njegovu tijelu i dospijeva u žlijezde slinovnice. Nakon latentnog razdoblja zaraženi kukac može prenijeti fitoplazmu na zdrave trsove i ostaje infektivan do kraja života.

Značaj zlatne žutice proizlazi iz kombinacije visoke učinkovitosti prijenosa unutar vinograda, mogućnosti brzog povećanja broja zaraženih trsova te ozbiljnih posljedica infekcije za rast i rodnost vinove loze. Zaraženi trsovi mogu pokazivati žućenje ili crvenjenje listova,

1 prof. dr. sc. ***Darko Preiner****, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, Zagreb, Hrvatska*
Autor za koresponednciju: ***dpreiner@agr.hr***

uvijanje plojke prema naličju, nepotpuno odrvenjavanje mladica, nekrozu cvatova, slabije zametanje i sušenje grozdova. Posljedica je smanjenje prinosa, slabljenje trsa i, kod jako osjetljivih genotipova, njegovo postupno propadanje.

Jedna od najvažnijih bioloških značajki ove bolesti jest činjenica da sve sorte vinove loze ne reagiraju jednako na infekciju. Razlike među genotipovima mogu biti vrlo velike, od sorata koje razvijaju izražene simptome i omogućuju intenzivno umnažanje fitoplazme do genotipova kod kojih infekcija ostaje lokalizirana, simptomi su slabi ili dolazi do oporavka biljke.

Istraživanja na ovu temu su i dalje malobrojna, a zbog karantenskog statusa ove bolesti, uglavnom su ograničena na kontrolirane uvjete, tj., gotovo da se ne mogu provoditi u proizvodnim uvjetima. Tako dobiveni rezultati moraju se uzeti sa rezervom, jer istraživanja u kontroliranim uvjetima provode se uglavnom korištenjem ukorijenjenih reznica (jednogodišnjih ili višegodišnjih), ograničenog su trajanja, te se često suočavaju sa izazovima kontroliranog prijenosa bolesti. Naime za prijenos bolesti najčešće se koristi isti vektor (američki cvrčak) koji se nakon hranjenja na zaraženim biljkama ručno prenosi na zdrave (one koje želimo testirati). Drugi način kontroliranog prijenosa je vegetativni prijenos korištenjem biljnog materijala sa zaraženih biljaka, tj. zaraženih pupova koji se cijepe na zdrave biljke. Jedna i druga metoda prijenosa, ipak ne mogu do kraja replicirati uvjete koji su prisutni u proizvodnom nasadu pa i rezultati prijenosa nisu do kraja usporedivi sa onima u proizvodnim nasadima.

Istraživanja provedena na sortama Vitis vinifera, podlogama i divljim vrstama roda Vitis pokazuju da osjetljivost na FD nije jednostavno svojstvo koje se može opisati podjelom na „otporne" i „osjetljive" genotipove.

Osjetljivost na zlatnu žuticu kao kompleksno svojstvo

Dosadašnja istraživanja nisu potvrdila postojanje potpune i ponovljive otpornosti na FD među istraživanim sortama V. vinifera. Umjesto toga, utvrđen je kontinuirani raspon reakcija, zbog čega je primjerenije govoriti o različitim stupnjevima osjetljivosti, odnosno tolerancije. Naime u koliko se bolest uspješno prenese na pojedinu sortu, a ona pokazuje značajno manje izražene simptome, takvu sortu ne smatramo otpornom, već tolerantnom u odnosu na drugu sortu kod koje su simptomi izraženiji.

Pri procjeni reakcije pojedinog genotipa (sorte, vrste ili križanca) potrebno je razlikovati nekoliko međusobno povezanih, ali biološki različitih svojstava: vjerojatnost uspostavljanja infekcije nakon inokulacije, sposobnost umnažanja fitoplazme u zaraženom trsu, njezino sistemično širenje kroz biljku, intenzitet simptoma, sposobnost oporavka te mogućnost da S. titanus s takvog trsa usvoji fitoplazmu i prenese je na novu biljku. Zbog toga ukupna osjetljivost predstavlja rezultat više povezanih procesa, a ne samo jednu izravno mjerljivu varijablu. Isto tako istraživanja koja se provode s ciljem utvrđivanja razlika između genotipova moraju uključiti što više, a najbolje sve ove varijable kako bi se mogli donijeti kvalitetni zaključci. Ova razlika posebno je važna za praktično tumačenje pojmova otpornosti i tolerancije. Biljka koja nakon izlaganja uzročniku (zaraženi vektor ili vegetativni prijenos) ostaje nezaražena pokazuje otpornost na uspostavljanje infekcije. Nasuprot tome, genotip u kojem se fitoplazma uspješno umnaža, ali ne razvija izražene simptome, prije treba smatrati tolerantnim nego otpornim. Takav trs s epidemiološkog stajališta može biti problematičan jer vizualno djeluje zdravo, a potencijalno predstavlja izvor inokuluma za vektora.

Jednako tako, koncentracija fitoplazme u biljci sama po sebi nije dovoljna za određivanje ukupne osjetljivosti. Različiti genotipovi mogu postići sličan titar fitoplazme, ali se razlikovati u njezinoj raspodjeli unutar biljke, intenzitetu simptoma, sposobnosti oporavka

ili pogodnosti za hranjenje vektora. Upravo je ova raznolikost reakcije jedan od razloga zbog kojih se rezultati pojedinih istraživanja, osobito terenskih i kontroliranih pokusa, ne mogu uvijek potpuno izravno uspoređivati.

U tablici 1. prikazana je skala relativne osjetljivosti na FD koja je korištena u grupiranju genotipova (sorata, podloga, vrsta) u ovom rad. Skala opisuje relativnu reakciju genotipova i ne smije se promatrati u kontekstu fitosanitarnih rizika pojedine kategorije, a niža osjetljivost ne predstavlja otpornost pojedine kategorije. Manje osjetljiva biljka može biti zaražena i bez izraženih simptoma i kao takva potencijalni izvor zaraze. Svrstavanje pojedinog genotipa u određenu razinu osjetljivosti napravljeno je na temelju procjene autora ovisno o dostupnim podacima iz objavljenih (recenziranih) znanstvenih radova, kao i na temelju vlastitih zapažanja. U ovom radu razina osjetljivosti predstavlja integriranu procjenu reakcije genotipa na FD, koja osim sposobnosti uspostavljanja i sistemičnog širenja infekcije uključuje intenzitet simptoma, sposobnost oporavka te epidemiološke značajke povezane s pogodnošću genotipa za vektora *Scaphoideus titanus* i potencijalom prijenosa FD. Stoga se pojam osjetljivosti u ovoj klasifikaciji koristi u širem, integriranom smislu i ne predstavlja isključivo osjetljivost biljke na infekciju.

Međunarodna organizacija za vinovu lozu i vino (OIV) u svojem popisu deskriptora za sorte vinove loze i vrste roda *Vitis* uključuje deskriptor OIV 473 (*Degree of resistance to grapevine yellows*), kojim se ocjenjuje stupanj otpornosti na žutice vinove loze, uključujući zlatnu žuticu (Flavescence dorée) i crno drvo (Bois noir). Deskriptor se temelji na višegodišnjem praćenju učestalosti pojave bolesti i izraženosti simptoma u vinogradu, a genotipove razvrstava u pet kategorija, od vrlo niske (ocjena 1) do vrlo visoke otpornosti (ocjena 9). Iako predstavlja koristan standardizirani alat za ampelografsku karakterizaciju i usporedbu sorata, njegova je primjena za cjelovitu procjenu osjetljivosti na zlatnu žuticu ograničena (OIV, 2023).

Prvo ograničenje proizlazi iz činjenice da deskriptor obuhvaća dvije etiološki i epidemiološki različite bolesti, dok se ocjena temelji prvenstveno na učestalosti i izraženosti vidljivih simptoma. Takav pristup ne omogućuje jasno razlikovanje genotipova kod kojih se infekcija teško uspostavlja od onih koji se uspješno zaraze, ali razvijaju slabo izražene simptome. Osim toga, ne uzima izravno u obzir koncentraciju i sistemično širenje fitoplazme unutar biljke, sposobnost oporavka, pogodnost genotipa za hranjenje i razvoj američkog cvrčka niti mogućnost usvajanja i daljnjeg prijenosa FD putem vektora. Dodatno ograničenje predstavlja činjenica da učestalost bolesti zabilježena u proizvodnom nasadu ne odražava isključivo svojstva sorte, nego ovisi i o lokalnom infekcijskom pritisku, brojnosti vektora, prisutnosti izvora zaraze u okolici te učinkovitosti provedenih fitosanitarnih mjera.

Određenu terminološku, ali i praktičnu slabost predstavlja sama uporaba pojma otpornosti (*resistance*), iako se ocjenjivanjem zapravo opisuje relativna učestalost i izraženost bolesti, što ne mora odgovarati stvarnoj sposobnosti genotipa da spriječi uspostavljanje infekcije. Posebno je ilustrativno što se ‘Muškat bijeli’ (‘Muscat à petits grains blancs’) i ‘Tocai friulano’ u OIV-ovu deskriptoru navode kao primjeri vrlo visoke otpornosti (ocjena 9), premda je kod obje sorte eksperimentalno potvrđena mogućnost infekcije fitoplazmom zlatne žutice (Eveillard i sur., 2016; Casarin i sur., 2023). Njihova povoljnija reakcija na bolest proizlazi iz različitih mehanizama, a ne iz potpune otpornosti na uzročnika. Takva klasifikacija, ako se tumači izvan konteksta načina ocjenjivanja, može stvoriti pogrešan dojam da je riječ o sortama koje se ne mogu zaraziti ili sudjelovati u epidemiološkom ciklusu bolesti. Posljedično, postoji opasnost od podcjenjivanja fitosanitarnog rizika, nedostatnog zdravstvenog nadzora i neopravdanog izuzimanja pojedinih sorata iz mjera suzbijanja zlatne žutice. Pritom treba naglasiti da sama prisutnost fitoplazme ne dokazuje nužno i jednaku učinkovitost njezina prijenosa s različitih genotipova.

Upravo zbog navedenih ograničenja u ovom je radu primijenjena proširena, integrirana procjena relativne osjetljivosti, specifično usmjerena na zlatnu žuticu. Za razliku od deskriptora OIV 473, predložena klasifikacija nastoji objediniti šest međusobno povezanih pokazatelja: učestalost uspostavljanja infekcije, sistemičnost širenja i titar FD, intenzitet simptoma i oštećenja, sposobnost oporavka, pogodnost genotipa kao domaćina za američkog cvrčka te mogućnost usvajanja i prijenosa fitoplazme putem vektora. Time se nastoji jasnije razlikovati reakcija biljke na infekciju od njezine potencijalne epidemiološke uloge. Predloženu klasifikaciju stoga ne treba smatrati zamjenom za standardizirani OIV-ov deskriptor, nego njegovom metodološkom nadopunom, čija će se pouzdanost povećavati dostupnošću novih, međusobno usporedivih eksperimentalnih podataka.

Tablica 1. Skala osjetljivosti vinove loze na zlatnu žuticu vinove loze (*Flavescence dorée*, FD)
Table 1. Grapevine susceptibility scale for Flavescence dorée (FD)

Pokazatelji	Vrlo visoka osjetljivost	Visoka osjetljivost	Srednja osjetljivost	Niska osjetljivost	Vrlo niska osjetljivost
Infekcija i brzina/ intenzitet širenja	Visoka učestalost infekcije i vrlo brzo širenje u proizvodnim uvjetima, izuzetno učinkovit prijenos u istraživanjima.	Česta infekcija i brzo širenje u proizvodnim uvjetima. Lako ostvarivanje prijenosa u istraživanjima.	Umjerena učestalost infekcije i slabije širenje u proizvodnim uvjetima te slabiji prijenos u istraživanjima.	Niža učestalost infekcije sa vrlo ograničenim širenjem u proizvodnim uvjetima. Nizak uspjeh prijenosa prijenos u istraživanjima.	Nije uočena zaraza u proizvodnim uvjetima. Istraživanjima nije moguće ili je izuzetno teško ostvariti prijenos FD i infekciju biljaka korištenjem vektora ili vegetativnim putem.
Sistemičnost širenja kroz trs i titar FD	Vrlo brzo sistemično širenje kroz čitavu biljku i visok titar FD.	Sistemično širenje kroz veći dio zaražene biljke uz umjeren do visok titar FD.	Djelomično sistemično širenje, dijelovi trsa bez zaraze/ simptoma uz srednji titar.	Ograničeno širenje lokalizacija FD najčešće na jednu ili nekoliko mladica na trsu. Nizak titar.	U istraživanjima se ne može ili se vrlo rijetko može potvrditi zaraza tj. prisutnost titra FD.
Simptomi i gospodarska šteta	Jako izraženi simptomi; velika gospodarska šteta.	Izraženi simptomi i značajne gospodarske štete.	Umjereni simptomi, srednja gospodarska šteta.	Slabi ili lokalizirani simptomi i minimalna gospodarska šteta.	Simptomi nisu prisutni, gospodarska šteta nije utvrđena.
Oporavak	Izostaje, propadanje trsa kroz nekoliko vegetacija	Oporavak vrlo rijedak i nije stabilan (simptomi se ponavljaju nakon određenog razdoblja bez simptoma)	Moguć djelomičan oporavak pojedinih (manjeg dijela) trsova.	Dobra sposobnost oporavka većeg djela prethodno zaraženih trsova.	Vrlo često, tj. zaraza ako se uspostavi nije stabilna.
Interakcija sa vektorom američkim cvrčkom (*S. titanus*)	Vrlo pogodna za učinkovito hranjenje, brz razvoj i usvajanje FD.	Pogodna za razvoj i hranjenje uz učinkovito usvajanje FD.	Umjerena pogodnost, srednje usvajanje FD	Slabija pogodnost i/ili slabo usvajanje FD.	Vrlo nepovoljna za hranjenje i usvajanje.
Potencijal prijenosa	Vrlo visok potencijal prijenosa.	Visok potencijal prijenosa.	Umjeren potencijal.	Niži, ali ne i isključen potencijal prijenosa.	Nije poznat slučaj prijenosa u proizvodnim uvjetima.

Razlike među sortama *Vitis vinifera*

Jedno od najopsežnijih eksperimentalnih istraživanja genotipskih razlika proveli su Eveillard i sur. (2016.), uspoređujući sorte V. vinifera, podloge i divlje vrste roda Vitis. Genotipovi su se značajno razlikovali prema učestalosti infekcije i koncentraciji FD fitoplazme. Rezultati su pokazali da se genotipska reakcija ne može objasniti jednim svojstvom te da odnos između koncentracije fitoplazme i pojave simptoma nije jednak kod kultivirane vinove loze i kod podloga ili divljih vrsta.

Ripamonti i sur. (2021.) dodatno su istražili 14 primki koje su pripadale 12 sorata V. vinifera. Na temelju udjela zaraženih biljaka i opterećenja fitoplazmom u listovima i korijenu sorte su grupirane prema stupnju osjetljivosti. Istraživanje je potvrdilo da genotip plemke ima ključnu ulogu u određivanju reakcije na bolest. Time je dodatno potvrđeno da razlike opažene u vinogradu nisu samo posljedica okoliša, podloge ili različitog infekcijskog pritiska, nego imaju jasnu genetsku komponentu. Na temelju dostupnih istraživanja među sorte s relativno manjom osjetljivošću mogu se svrstati 'Merlot', 'Brachetto', 'Muškat bijeli', 'Tocai friulano', 'Syrah', 'Nebbiolo' i, uz određena ograničenja interpretacije, 'Pinot crni'. Međutim, razlozi njihove manje osjetljivosti nisu jednaki.

Jedan od važnih mehanizama smanjene osjetljivosti vinove loze na FD jest sposobnost ograničavanja sistemičnog širenja fitoplazme nakon uspostavljanja infekcije. Takva je reakcija eksperimentalno potvrđena kod sorata 'Merlot' i 'Tocai friulano'. Eveillard i sur. (2016.) pokazali su da kod Merlota FDp uglavnom ostaje ograničen na područje početne inokulacije, za razliku od osjetljivijeg 'Cabernet Sauvignona', kod kojega dolazi do sistemične kolonizacije cijelog trsa. U vinogradu se to kod sorte 'Merlot' očituje sa pojedinačnim mladicama, ili čak dijelovima mladica koje pokazuju simptome, dok je ostatak trsa bez simptoma. Sličan obrazac utvrdili su Casarin i sur. (2023.) kod sorte 'Tocai friulano'. Ovi rezultati upućuju na to da ograničavanje širenja uzročnika unutar biljke može predstavljati važnu komponentu smanjene osjetljivosti na FD, čak i kada početna infekcija nije u potpunosti spriječena.

Kod 'Muškata bijelog' situacija je drukčija. U kontroliranim istraživanjima utvrđeno je nekoliko povoljnih okolnosti, od kojih ni jedna zasebno vjerojatno nije odgovor na manju osjetljivost, ali zajedno čine ovu sortu značajno manje osjetljivom od mnogih drugih sorata. U kontroliranim pokusima utvrđena je niža uspješnost prijenosa korištenjem vektora, a ujedno i niska učinkovitost usvajanja FD od strane vektora. Ujedno kod istraživanja na mladim biljkama utvrđena je i vrlo niska razina titra, međutim kod trsova u vinogradu potvrđeni su slučajevi više razine titra, međutim simptomi su uglavnom relativno blagi, a uočena je i sposobnost oporavka simptomatičnih trsova. Eksperimentalni rezultati o relativno niskoj osjetljivosti 'Muškata bijelog' (Moscato bianco) podudaraju se i s pojedinim terenskim opažanjima iz vinogradarske prakse. Prema osobnim opažanjima autora i iskustvima drugih stručnjaka, Muškat bijeli u vinogradima izloženima snažnom pritisku zlatne žutice nerijetko pokazuje znatno manji stupanj zaraze u odnosu na druge sorte. Trenutno još ne postoje rezultati istraživanja koji bi objasnili mehanizme u pozadini manje osjetljivosti, posebno manje mogućnosti usvajanja i prijenosa FD od strane američkog cvrčka kod 'Muškata bijelog' i eventualne uloge terpenskih spojeva.

Posebno dobar primjer za razumijevanje genotipske razlike u osjetljivosti predstavljaju talijanske sorte 'Barbera' i 'Nebbiolo'. U višegodišnjim terenskim istraživanjima zaraženi trsovi Barbere imali su višu koncentraciju fitoplazme i izraženije simptome od 'Nebbiola' (Roggia i sur., 2014). Ove razlike pokazuju da dvije sorte uzgajane u usporedivim uvjetima mogu izrazito različito reagirati na isti patogen.

Kod 'Barbere' se u pravilu bilježi intenzivnije umnažanje FD fitoplazme i snažnija ekspresija simptoma. Nasuprot tome, 'Nebbiolo' pokazuje niže titre fitoplazme i blažu manifestaciju bolesti. Razlike između ovih sorata utvrđene su i na razini fizioloških i molekularnih odgovora.

Infekcija FD-om mijenja ekspresiju gena i proteina povezanih s fotosintezom, metabolizmom ugljikohidrata, odgovorom na stres i obrambenim mehanizmima. Ovaj primjer ujedno pokazuje zašto je pri izboru sorata za područja s visokim rizikom od FD-a korisnije poznavati relativnu osjetljivost genotipa nego se oslanjati samo na podatke o prisutnosti ili odsutnosti bolesti.

U Tablici 1 prikazane su odabrane sorte, podloge i vrste koje najbolje ilustriraju raspon do sada opisanih reakcija. Klasifikaciju treba smatrati relativnom i radnom jer su pojedini genotipovi istraživani različitim metodama i pri različitom infekcijskom pritisku. U tablici se za svaki genotip navode i podrijetlo, glavne karakteristike reakcije na FD, izvor podataka (referenca) kao i procjena pouzdanosti klasifikacije. Naime pouzdanost procjene ovisi o broju i vrsti dostupnih istraživanja. Visoka pouzdanost klasifikacije sorata moguća je isključivo kad se radi o većem broju istraživanja, koja uključuju različite pokazatelje osjetljivosti (prikazani u tablici 1), dok je niska pouzdanost onih istraživanja koja su bazirana na kraćem vremenskom periodu i nerijetko ograničena na proizvodne uvjete (bez kontroliranih pokusa). Daljnja istraživanja zasigurno će upotpuniti podatke o ovim i drugim sortama čime će se povećati i pouzdanost klasifikacije pojedinih sorata i genotipova. Osjetljivost pojedinih sorata (posebno hrvatske autohtone sorte) još uvijek nije bila predmetom sustavnih istraživanja.

Tablica 2. Sažeti prikaz osjetljivosti odabranih sorata i genotipova vinove loze na zlatnu žuticu
Table 2. Summary of the susceptibility of selected grapevine cultivars and genotypes to Flavescence dorée.

Razina osjetljivosti	Sorta / genotip	Skupina / država podrijetla	Glavno obilježje reakcije	Ref.	Pouzdanost klasifikacije
Vrlo niska	Nemadex Alain Bouquet	Kompleksni hibrid / podloga, Francuska	Najniža eksperimentalno utvrđena osjetljivost u uspoređenom materijalu; FD je jedva detektabilan i simptomi izostaju, ali se infekcija može ostvariti pri umjetno izazvanom vrlo visokom infekcijskom pritisku.	1	Srednja
Niska	Brachetto	Sorta, Italija	Niža osjetljivost; nepovoljniji uvjeti za vektora i mogući obrambeni odgovor povezan s metabolizmom šećera.	2,3,8	Visoka
Niska	Kober 5BB	Podloga, Austrija	Niska osjetljivost prema kontroliranom prijenosu (manji udio zaraženih biljaka i niži titar od većine podloga), ali bez simptoma.	1	Srednja
Niska	Magdeleine Noire des Charentes	Sorta, Francuska	Niska osjetljivost i ograničeno širenje FD, niži titar, blaži simptomi. Jedan od roditelja sorte 'Merlot' (nasljednost svojstva).	1,8	Srednja
Niska	Merlot	Sorta, Francuska	Niska osjetljivost, ograničeno sistemično širenje FD, niži titar i blaža simptomatologija.	1,2,8	Visoka
Niska	Muškat bijeli	Sorta, Grčka	Niska osjetljivost: mala učestalost uspješne infekcije u kontroliranim pokusima, nizak titar u dijelu pokusa i slabija pogodnost za S. titanus; ipak se FDp može prenijeti i sorta nije otporna.	2,3,5,8	Visoka
Niska	Syrah	Sorta, Francuska	Relativno nizak titar FDp i blaža ekspresija simptoma u usporedbi s osjetljivijim genotipovima.	1,8	Srednja
Niska	Teran	Sorta, Hrvatska	Gotovo bez simptoma pri visokom lokalnom infekcijskom pritisku na temelju ograničenih terenskih istraživanja.	7,8	Niska
Niska	Tocai friulano (Friuliano)	Sorta, Italija	Ograničeno širenje FDp i simptoma kroz biljku, potvrđen oporavak dijela zaraženih trsova.	6,8	Visoka

Razina osjetljivosti	Sorta / genotip	Skupina / država podrijetla	Glavno obilježje reakcije	Ref.	Pouzdanost klasifikacije
Srednja	110 Richter	Podloga, Francuska	Asimptomatska tolerancija; potencijalno tihi rezervoar fitoplazme.	1	Srednja
Srednja	3309 Couderc	Podloga, Francuska	Asimptomatska tolerancija; potencijalno tihi rezervoar fitoplazme.	1	Srednja
Srednja	41 B Millardet et de Grasset	Podloga, Francuska	Asimptomatska tolerancija; potencijalno tihi rezervoar fitoplazme.	1	Srednja
Srednja	Arneis	Sorta, Italija	Srednja osjetljivost; nizak titar ne isključuje učinkovitu akviziciju vektora.	2,3,8	Srednja
Srednja	Artaban	Otporna sorta (gljivične bolesti), Francuska	Srednja osjetljivost na FD uz izraženije simptome.	9	Srednja
Srednja	Barbera	Sorta, Italija	Visoko umnažanje FDp i velika pogodnost za floemsko hranjenje vektora.	2,4,5,8	Visoka
Srednja	Cabernet Franc	Sorte, Francuska	Srednja osjetljivost; ograničeni podaci o dominantnom mehanizmu.	1,8	Srednja
Srednja	Erbaluce	Sorta, Italija	Srednja osjetljivost u kontroliranim pokusima.	2,8	Srednja
Srednja	Floréal	ResDur sorta, Francuska	Djelomična tolerancija: visoka infekcija/titar uz relativno slabe simptome.	9	Srednja
Srednja	Freisa	Sorta, Italija	U kontroliranim pokusima svrstana među manje osjetljive genotipove, ali zaražene biljke mogu podržavati visok titar FDp i učinkovitu akviziciju vektora.	2,3,8	Srednja
Srednja	Glera	Sorta, Italija	Srednja osjetljivost prema terenskim opažanjima.	8	Niska
Srednja	Nebbiolo	Sorta, Italija	Srednja osjetljivost: u kontroliranim pokusima zabilježena je visoka učestalost infekcije, ali genotipovi Nebbiola pripadaju srednjem klasteru zbog nižeg/promjenjivog titra i blaže reakcije u odnosu na najosjetljivije genotipove.	2,4,8	Visoka
Srednja	Pinot crni	Sorta, Francuska	Srednja osjetljivost: relativno manji udio zaraženih biljaka, ali srednji titar FDp; u kontroliranim usporedbama pokazuje osjetljiviji fenotip od Merlota, Syraha i Magdeleine.	1,8	Srednja
Srednja	Refošk	Sorta, Istra	Srednja osjetljivost uz moguću sposobnost oporavka.	8	Niska
Srednja	Riparia Gloire de Montpellier	Podloga, Francuska	Asimptomatska tolerancija; potencijalno tihi rezervoar fitoplazme.	1	Srednja
Srednja	Sélection Oppenheim 4 (SO4)	Podloga, Njemačka	Asimptomatska tolerancija; potencijalno tihi rezervoar fitoplazme.	1	Srednja
Srednja	Timorasso	Sorta, Italija	Srednja osjetljivost; visok titar u izvornoj biljci uz umjerenu akviziciju vektora.	2,3,8	Srednja
Srednja	Trebbiano	Sorta, Italija	Srednja osjetljivost uz moguću sposobnost oporavka.	8	Niska
Srednja	Vitis amurensis	Divlja vrsta, Azija	Asimptomatska ili slabo simptomatska reakcija unatoč infekciji.	1	Srednja

Razina osjetljivosti	Sorta / genotip	Skupina / država podrijetla	Glavno obilježje reakcije	Ref.	Pouzdanost klasifikacije
Srednja	Vitis berlandieri	Divlja vrsta / genotip SAD (Teksas) / Meksiko	Asimptomatska tolerancija uz mogućnost održavanja FDp.	1	Srednja
Srednja	Vitis coignetiae	Divlja vrsta, Azija	Visoka učestalost infekcije, ali ograničenije umnažanje FDp.	1	Srednja
Srednja	Vitis pentagona	Divlja vrsta, Kina	Visoka učestalost infekcije, ali ograničenije umnažanje FDp.	1	Srednja
Srednja	Vitis rupestris	Divlja vrsta / genotip SAD	Asimptomatska tolerancija uz mogućnost održavanja FDp.	1	Srednja
Srednja	Vitis simpsonii	Divlja vrsta / genotip SAD	Niska učinkovitost uspostavljanja infekcije, ali visoko umnažanje nakon infekcije.	1	Srednja
Srednja	Vitis sylvestris	Divlja vrsta / genotip Europa	Srednja reakcija; dostupni kvantitativni podaci su ograničeni.	1	Srednja
Srednja	Voltis	Sorta (otporna na gljivične bolesti), Francuska	Djelomična tolerancija: visoka infekcija/titar uz relativno slabe simptome.	9	Srednja
Visoka	Chardonnay	Sorta, Francuska	Visoka osjetljivost sa izraženim simptomima	1,8	Visoka
Visoka	Cortese	Sorta, Italija	Visoka osjetljivost u kontroliranim pokusima.	2,8	Srednja
Visoka	Dolcetto	Sorta, Italija	Visoka osjetljivost u kontroliranim pokusima.	2,3,8	Srednja
Visoka	Frankovka	Sorta, Austrija	Visoka terenska osjetljivost i slaba sposobnost oporavka.	8	Niska
Visoka	Grenache crni	Sorta, Španjolska	Visoka osjetljivost potvrđena u kontroliranim uvjetima.	1,8	Srednja
Visoka	Malvazija istarska	Sorta, Hrvatska	Visoka terenska osjetljivost i slaba sposobnost oporavka.	7,8	Srednja
Visoka	Pinot sivi	Sorta, Francuska	Učinkovito sistemično širenje FDp, uključujući trajne organe trsa.	6,8	Visoka
Visoka	Ruché	Sorta, Italija	Visoka osjetljivost u kontroliranim pokusima.	2,8	Srednja
Visoka	Sangiovese	Sorta, Italija	Visoka terenska osjetljivost i slaba sposobnost oporavka.	8	Niska
Vrlo visoka	Sauvignon bijeli	Sorta, Francuska	Visoka osjetljivost sa izraženim simptomima	1,8	Visoka
Vrlo visoka	Barbera	Sorta, Italija	Vrlo visoka osjetljivost primke u kontroliranim pokusima.	2,8	Visoka
Vrlo visoka	Cabernet Sauvignon	Sorta, Francuska	Vrlo učinkovito umnažanje i sistemična kolonizacija cijelog trsa.	1,8	Visoka
Vrlo visoka	Vidoc	Sorta (otporna na gljivične bolesti), Francuska	Vrlo visoka osjetljivost među ispitivanim ResDur sortama.	9	Srednja

Napomena: Kategorije predstavljaju integriranu interpretaciju dostupnih istraživanja. Genotip niže razine osjetljivosti nije nužno epidemiološki povoljan jer može ostati asimptomatski uz prisutnost i umnažanje fitoplazme.
Note: The categories represent an integrated interpretation of the available research. A genotype with a lower level of susceptibility is not necessarily favourable from an epidemiological point of view, because it may remain asymptomatic while the phytoplasma is present and multiplying.

Osjetljivost najvažnijih sorata koje se uzgajaju u Hrvatskoj nije sustavno istraživana od strane domaćih istraživača. Prvi pokusi tek su u pripremi od strane Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u sklopu Znanstvenog centra izvrsnosti za bioraznolikost i molekularno oplemenjivanje bilja. Na temelju vlastitih opažanja autora i ograničenih podataka koji su dostupni, možemo reći jedino da sorte koje nisu klasificirane u Tablici 2, a kod nas uzgajaju možemo uglavnom smatrati srednje do vrlo visoko osjetljivim na zlatnu žuticu. Posebno osjetljivima pokazale su se određene autohtone sorte kontinentalne Hrvatske kao što su 'Moslavac', 'Belina starohrvatska' (ali i ostale sorte iz grupe 'Belina'), 'Dišeća ranina' i 'Škrlet', ali i introducirane sorte kao što su 'Silvanac zeleni', 'Rajnski rizling' i 'Traminac'.

Osjetljivost 'Graševine' kao naše najvažnije sorte također nije sustavno istražena, ali na temelju dosadašnjih zapažanja, mogli bismo ju smatrati srednje do visoko osjetljivom sortom kod koje zlatna žutica bez dosljedne primjene propisanih preventivnih mjera može vrlo brzo izazvati značajne gubitke.

Podloge i divlje vrste roda Vitis

Još složeniju sliku pružaju podloge i divlje vrste roda Vitis. Eveillard i sur. (2016) pokazali su da se i ti genotipovi mogu u značajnoj mjeri zaraziti FD fitoplazmom. Kod pojedinih podloga mogu se utvrditi visoke koncentracije uzročnika bez pojave karakterističnih simptoma. Takav odgovor ne treba interpretirati kao otpornost. Ako se patogen uspješno umnaža, ali biljka ne pokazuje znakove bolesti, riječ je prije svega o toleranciji. Epidemiološki je takva situacija potencijalno nepovoljnija nego što bi se moglo zaključiti vizualnim pregledom jer asimptomatske biljke mogu ostati neprepoznate.

Različite reakcije utvrđene među američkim vrstama Vitis i njihovim hibridima istodobno predstavljaju vrijedan izvor genetske varijabilnosti za oplemenjivanje. Međutim, cilj oplemenjivanja ne bi trebao biti samo smanjivanje simptoma. Genotip koji ne pokazuje simptome, ali omogućuje visoku koncentraciju fitoplazme, mogao bi biti agronomski tolerantniji, ali epidemiološki nepovoljan. Za stvarno smanjenje rizika poželjan bi bio genotip koji kombinira malu vjerojatnost infekcije, ograničeno umnažanje i sistemično širenje patogena te nisku mogućnost njegova usvajanja od strane vektora.

Nove otporne sorte (PIWI) i FD

Posebno je aktualno pitanje reakcije novih sorata nastalih međuvrsnim križanjima. U europskom vinogradarstvu sve se više uvode sorte s genima otpornosti na plamenjaču i pepelnicu, često označene kao PIWI ili, u francuskom oplemenjivačkom programu, ResDur sorte. Njihova otpornost na gljivične bolesti, međutim, ne znači automatski i smanjenu osjetljivost na fitoplazme.

Istraživanja sorata Artaban, Floréal, Vidoc i Voltis pokazala su jasne razlike u reakciji na FD (PNDV i INRAE, 2022). Posebno se ističe Vidoc, koji je pokazao visoku osjetljivost i izražene simptome. Floréal i Voltis mogu se opisati kao djelomično tolerantni jer, unatoč uspješnoj infekciji i mogućem intenzivnom umnažanju fitoplazme, razvijaju slabije izražene simptome.

Ovi rezultati imaju važne praktične i epidemiološke posljedice. Uvođenje novih sorata otpornih na najvažnije gljivične bolesti omogućuje znatno smanjenje primjene fungicida, ali ne može se smatrati mjerom zaštite od FD-a. Posebnu pozornost zahtijevaju genotipovi kod kojih se, unatoč visokom titru FDp, simptomi razvijaju slabo, kasno ili potpuno izostaju. Takvi trsovi mogu ostati neprepoznati tijekom redovitih vizualnih pregleda vinograda te predstavljati potencijalne, dugotrajno prisutne rezervoare fitoplazme, pod uvjetom da vektor s njih može učinkovito usvajati uzročnika.

Navedeni rizik dodatno je važan u kontekstu ekološkog vinogradarstva i sustava proizvodnje sa smanjenom primjenom pesticida, u kojima se PIWI sorte često promoviraju i uzgajaju upravo zbog mogućnosti ograničavanja kemijske zaštite. Međutim, smanjena potreba za fungicidima ne smije se poistovjetiti sa smanjenom potrebom za suzbijanjem vektora Scaphoideus titanus. U područjima u kojima je FD prisutan, redovita i učinkovita kontrola populacije vektora ostaje ključna epidemiološka mjera, neovisno o otpornosti uzgajane sorte na gljivične bolesti. To je osobito zahtjevno u ekološkoj proizvodnji, u kojoj je izbor dopuštenih i dovoljno učinkovitih insekticidnih sredstava ograničen, a njihova učinkovitost može ovisiti o pravodobnosti i načinu primjene. Stoga bi uzgoj slabo simptomatičnih, ali potencijalno infektivnih genotipova, u kombinaciji s nedostatnim suzbijanjem vektora, mogao povećati rizik od neprimijećenog održavanja i daljnjeg širenja FD-a unutar vinograda i na susjedne nasade.

Kao i kod ostalih sorata vinove loze, i za ovu skupinu potrebna su dodatna istraživanja koja bi, osim učestalosti infekcije i intenziteta simptoma, obuhvatila sistemičnost širenja i titar FD te mogućnost njezina usvajanja od strane vektora. Posebno je važno identificirati genotipove kod kojih visoka razina infekcije nije praćena odgovarajućom izraženošću simptoma, jer njihova prividno povoljna zdravstvena reakcija ne mora značiti i manji epidemiološki rizik. Naprotiv, takve sorte mogu predstavljati važan, teško prepoznatljiv izvor inokuluma, zbog čega procjena njihove prikladnosti za uzgoj u područjima zahvaćenima zlatnom žuticom mora uključivati i potencijal prijenosa FD, a ne samo vidljive posljedice bolesti na samoj biljci.

Kako vinova loza reagira na zarazu i zašto su neke sorte manje osjetljive?

Razlike u osjetljivosti sorata vinove loze na zlatnu žuticu povezane su s njihovim različitim reakcijama na infekciju. Fitoplazma koja uzrokuje zlatnu žuticu živi i razmnožava se u floemu, provodnom tkivu kojim se šećeri i druge hranjive tvari prenose iz listova u ostale dijelove biljke. Infekcija narušava taj transport, zbog čega se šećeri i škrob zadržavaju i nakupljaju u listovima, dok korijen, mladice, grozdovi i trajni dijelovi trsa ostaju nedovoljno opskrbljeni asimilatima. Time dolazi do svojevrsnog energetskog iscrpljivanja biljke jer se smanjuje dostupnost šećera potrebnih za disanje, rast, dozrijevanje mladica i stvaranje rezervnih tvari za sljedeću vegetaciju. Istodobno dolazi do poremećaja fotosinteze i drugih fizioloških procesa, što dodatno pogoršava stanje zaraženog trsa. Posljedice se očituju kroz karakteristične simptome bolesti, smanjenu rodnost i postupno propadanje biljke, pri čemu se intenzitet tih promjena može znatno razlikovati među sortama.

Smanjena osjetljivost pojedinih sorata može se temeljiti na nekoliko različitih mehanizama. Kod nekih se infekcija teže uspostavlja, dok druge, iako se zaraze, uspješnije ograničavaju razmnožavanje i širenje fitoplazme unutar trsa. Postoje i sorte koje mogu sadržavati relativno visok titar FD-a, ali pritom razvijaju slabije simptome i pokazuju manje znakova propadanja. Takvu reakciju nazivamo tolerancijom, a važno ju je razlikovati od otpornosti na infekciju. Naime, trs koji ne pokazuje izražene simptome ne mora nužno biti zdrav niti predstavljati manji rizik za širenje bolesti.

Važnu ulogu pritom ima prirodni obrambeni sustav vinove loze. Nakon infekcije biljka mijenja brojne fiziološke i biokemijske procese te pojačava stvaranje različitih obrambenih spojeva. Među njima se posebno ističu fenolni spojevi, uključujući stilbene poput resveratrola i viniferina, koji sudjeluju u obrambenim reakcijama biljke. Kod manje osjetljivih sorata takvi obrambeni mehanizmi mogu biti aktivni već prije infekcije ili se nakon zaraze mogu aktivirati brže i učinkovitije.

Zanimljiv primjer predstavljaju ‘Merlot’ i talijanska sorta ‘Tocai friulano’. Istraživanja su pokazala da ove sorte mogu ograničiti širenje fitoplazme na pojedine dijelove trsa. Kod ‘Mer-

lota' fitoplazma nakon početne infekcije uglavnom ostaje ograničena na područje inokulacije, dok se primjerice kod osjetljivijeg 'Cabernet Sauvignona' znatno lakše širi u ostale dijelove biljke (Eveillard i sur., 2016). Sličan obrambeni odgovor utvrđen je kod sorte Tocai friulano, kod koje je ograničavanje širenja fitoplazme povezano s pojačanom aktivnošću obrambenih mehanizama i stvaranjem određenih fenolnih spojeva (Casarin i sur., 2023). Takva sposobnost može imati važnu ulogu u očuvanju vitalnosti trsa i smanjenju posljedica zaraze.

Osim reakcije na samu fitoplazmu, na osjetljivost sorte može utjecati i njezina pogodnost za američkog cvrčka (Scaphoideus titanus), glavnog vektora zlatne žutice. Pojedine sorte mogu biti manje privlačne ili manje pogodne za njegovo hranjenje i razvoj, što može utjecati na učinkovitost unošenja i daljnjeg širenja fitoplazme. Posebno je zanimljiv primjer 'Muškata bijelog', kod kojega je utvrđena relativno niska učinkovitost usvajanja fitoplazme od strane vektora, unatoč tome što zaraženi trsovi mogu sadržavati znatne količine FD (Galetto i sur., 2016).

Pretpostavlja se da određenu ulogu u tome mogu imati i kemijski spojevi prisutni u listovima, uključujući terpene, koji mogu utjecati na privlačnost biljke kukcima i njihovo ponašanje tijekom hranjenja. S obzirom na karakterističan terpenski metabolizam 'Muškata bijelog', to predstavlja zanimljivu mogućnost za daljnja istraživanja, iako izravna povezanost pojedinih terpenskih spojeva sa smanjenim usvajanjem FD zasad nije eksperimentalno potvrđena.

Navedeni primjeri pokazuju da smanjena osjetljivost na zlatnu žuticu nije uvijek posljedica istog mehanizma. Neke sorte uspješnije sprječavaju infekciju, druge ograničavaju širenje fitoplazme ili bolje podnose njezinu prisutnost, dok kod pojedinih važnu ulogu može imati i odnos s kukcem vektorom. Zbog toga se pri procjeni sortne osjetljivosti ne smije promatrati samo izraženost simptoma, nego i učestalost infekcije, količina i širenje fitoplazme unutar biljke te mogućnost njezina prijenosa na druge trsove.

Posebno zanimljiva pojava kod zlatne žutice jest spontani oporavak (*recovery*). U pojedinim slučajevima trsovi koji su prethodno pokazivali karakteristične simptome bolesti tijekom sljedećih vegetacija mogu ponovno razviti normalne, naizgled zdrave mladice i listove. Kod takvih trsova često dolazi do znatnog smanjenja količine fitoplazme, a ponekad se ona više ne može ni dokazati u analiziranom biljnom tkivu. Istraživanja pokazuju da je oporavak povezan s promjenama u prirodnom obrambenom sustavu biljke. Nakon prethodne infekcije pojedini obrambeni mehanizmi mogu ostati pojačano aktivni, zbog čega se u znanstvenoj literaturi spominje i svojevrsna „molekularna memorija" prethodne zaraze. To znači da biljka nakon infekcije može zadržati promijenjen način reagiranja na uzročnika.
Sposobnost oporavka razlikuje se među sortama. Međutim, važno je naglasiti da nestanak simptoma ne mora uvijek značiti i potpuno uklanjanje fitoplazme iz trsa. Zato se u istraživanjima oporavljene biljke treba promatrati tijekom više uzastopnih vegetacija, a njihovo zdravstveno stanje potvrditi laboratorijskim analizama. Oporavak je stoga još jedno važno svojstvo koje treba uzeti u obzir pri usporedbi osjetljivosti sorata na zlatnu žuticu. Ipak, mogućnost oporavka ne smije se tumačiti kao razlog za zadržavanje zaraženih trsova protivno propisanim fitosanitarnim mjerama u proizvodnim uvjetima.

Razvoj novih sorata

Postojanje velike genotipske varijabilnosti unutar roda Vitis pruža mogućnost selekcije i oplemenjivanja na smanjenu osjetljivost prema FD-u. Međutim, dosadašnji rezultati jasno pokazuju da bi selekcijski kriteriji morali biti širi od jednostavnog ocjenjivanja simptoma.
Idealan genotip trebao bi imati malu vjerojatnost uspostavljanja infekcije, ograničavati umnažanje i sistemično širenje fitoplazme, pokazivati malu ili nikakvu gospodarsku štetu

te istodobno biti nepovoljan izvor fitoplazme za S. titanus. Takav fenotip trenutačno još nije identificiran među istraženim postojećim sortama.

Divlje vrste, podloge i međuvrsni hibridi predstavljaju potencijalne izvore korisnih gena, ali njihova procjena mora uključivati i epidemiološka svojstva. Fenotip bez simptoma nije dovoljan ako biljka ostaje dobar rezervoar patogena.

Posebno zanimljiv genetski izvor predstavlja podloga 'Nemadex Alain Bouquet', složeni hibrid s genetskom osnovom vrste *Muscadinia rotundifolia*. U kontroliranim pokusima pokazala je jednu od najnižih osjetljivosti na FD: fitoplazma se teško uspostavljala, a njezina je količina ostajala vrlo niska čak i pri povećanom infekcijskom pritisku (Eveillard i sur., 2016). Međutim, izravno korištenje Nemadexa u oplemenjivanju novih vinskih sorata nije jednostavno. Riječ je o podlozi, a ne o selekcioniranoj sorti za proizvodnju grožđa(vina), s udaljenom genetskom osnovom vrste *M. rotundifolia*. Križanja te vrste s europskom vinovom lozom otežana su razlikom u broju kromosoma (2n = 40 prema 2n = 38), mogućom smanjenom plodnošću potomstva te potrebom za višestrukim povratnim križanjima radi očuvanja poželjnih svojstava grožđa i vina. Dodatno, još nije utvrđeno koja je genetska osnova smanjene osjetljivosti na FD ove podloge niti kako se to svojstvo nasljeđuje. Stoga je 'Nemadex' vrijedan polazni materijal za istraživanje, ali zasad ne i jednostavno primjenjiv roditelj za brzo stvaranje novih vinskih sorata.

Pristup koji se temelji na korištenju manje osjetljivih sorata *V. vinifera* već se razvija u Italiji. Istraživanja sorte 'Tocai friulano' koja su pokazala da njezina povoljnija reakcija može biti povezana s ograničavanjem širenja fitoplazme na simptomatične dijelove trsa i aktivacijom lokalnih obrambenih mehanizama. Pokrenuta su daljnja istraživanja genetske osnove tog svojstva. Tako se u okviru talijanskog projekta RESISTO.FD (2025.–2028.) proizvodi i ispituje potomstvo križanja 'Chardonnay' × 'Tocai friulano', a predviđeno je da će se time uspjeti jasnije definirati pozadina mehanizma koji je odgovoran za smanjenu osjetljivost sorte 'Tocai friulano', ali i razviti nove sorte sa naslijeđenim svojstvom manje osjetljivosti. Riječ je ipak u ovoj fazi o oplemenjivačkom i istraživačkom pristupu, a ne o već razvijenim i potvrđeno otpornim komercijalnim sortama.

Sličan pristup prisutan je i u Francuskoj. Nakon istraživanja genotipskih razlika i procjene osjetljivosti novih sorata ResDur, projekt MARKFD usmjeren je na identifikaciju molekularnih markera povezanih sa smanjenom osjetljivošću na FD. Posebno se istražuje potomstvo sorte 'Magdeleine Noire des Charentes', koja, kao i njezin potomak 'Merlot', pokazuje sposobnost ograničavanja umnažanja fitoplazme. Cilj je povezati fenotipske podatke s genomskim i metabolomskim obilježjima te razviti pouzdane markere za ranu selekciju, uključujući njihovu buduću primjenu u oplemenjivanju sorata otpornih na plamenjaču i pepelnicu. Prema izvješću iz 2026., prikupljeni su podaci o osjetljivosti za 70 potomaka, a prvi kandidati za markere još zahtijevaju potvrdu na većem broju genotipova (PNDV, 2026).

Buduća istraživanja stoga bi trebala povezati kontrolirane inokulacije s kvantifikacijom fitoplazme, prostornim praćenjem njezina širenja, ocjenom simptoma i oporavka te pokusima usvajanja fitoplazme od strane S. titanus. Kombiniranjem tih podataka s genomskim, transkriptomskim i metabolomskim analizama moglo bi se identificirati gene i metaboličke puteve odgovorne za pojedine komponente smanjene osjetljivosti.

Zaključak

Dosadašnja istraživanja jasno pokazuju da među sortama vinove loze postoje značajne razlike u reakciji na zlatnu žuticu. Te se razlike ne mogu svesti na jednostavnu podjelu na otporne i osjetljive sorte. Osjetljivost na FD predstavlja kompleksno, kvantitativno svojstvo

koje uključuje mogućnost uspostavljanja infekcije, umnažanje i sistemično širenje fitoplazme, ekspresiju simptoma, sposobnost oporavka te interakciju sorte s vektorom *S. titanus*. Posebno je važno razlikovati otpornost od tolerancije. Podloge, divlje vrste i pojedine nove međuvrsne sorte mogu biti zaražene bez izraženih simptoma, što s proizvodnog aspekta može biti povoljno, ali s epidemiološkog predstavlja potencijalni rizik. Buduća klasifikacija sorata stoga bi trebala istodobno uzimati u obzir svojstva biljke, patogena i vektora.

Uključivanje genotipske osjetljivosti u strategije upravljanja zlatnom žuticom može predstavljati važnu dopunu postojećim fitosanitarnim mjerama. Dugoročno, identifikacija genetskih izvora koji istodobno ograničavaju infekciju, umnažanje i prijenos fitoplazme predstavlja jedan od perspektivnijih pravaca prema održivijoj kontroli zlatne žutice u europskom vinogradarstvu.

Poznavanje genotipske osjetljivosti ima neposrednu praktičnu vrijednost, ali ga ne treba interpretirati kao zamjenu za obvezne fitosanitarne mjere. U područjima u kojima su prisutni FD i *S. titanus* niti jedna komercijalna sorta za sada se ne može smatrati potpuno otpornom.

Istodobno, tolerantne sorte zahtijevaju oprez. Slaba ekspresija simptoma nije uvijek poželjna s epidemiološkog aspekta. Ako tolerantni trs sadrži visoku koncentraciju fitoplazme, vizualnim pregledom može ostati neotkriven te predstavljati potencijalni izvor zaraze za vektora. U takvim slučajevima molekularna dijagnostika postaje posebno važna.

Budućnost izrazito osjetljivih sorata u područjima zahvaćenima zlatnom žuticom sve će više ovisiti o uspješnosti integriranog suzbijanja bolesti, uključujući pravodobno otkrivanje i uklanjanje izvora zaraze te učinkovitu kontrolu vektora, pri čemu bi njihov uzgoj dugoročno mogao postati sve zahtjevniji i ekonomski sve manje održiv.

Na područjima na kojima je zlatna žutica poprimila epidemijske razmjere i izmaknula učinkovitoj kontroli, uz koordinirano provođenje fitosanitarnih mjera potrebno je razmotriti i dugoročnu prilagodbu sortimenta. Sustavno uvođenje manje osjetljivih sorata moglo bi pridonijeti smanjenju gospodarskih šteta i povećanju održivosti vinogradarske proizvodnje. Međutim, takva strategija zahtijeva pronalaženje ili razvoj dovoljno velikog broja manje osjetljivih genotipova koji će istodobno zadovoljavati proizvodne, kvalitativne i tržišne zahtjeve različitih vinogradarskih područja. Stoga su sustavno vrednovanje postojećeg sortimenta, istraživanje genetskih izvora smanjene osjetljivosti i njihovo uključivanje u oplemenjivačke programe važni dugoročni istraživački prioriteti. Pritom posebnu pozornost treba posvetiti očuvanju postojećih banaka gena, kolekcijskih i matičnih nasada te rijetkih i autohtonih sorata, čiji bi gubitak mogao predstavljati trajno osiromašenje vinogradarske bioraznolikosti.

Literatura

Casarin, S., Vincenzi, S., Esposito, A., Miotello, G., Caccin, M., Beber, R., Saldarelli, P., Musetti, R., & Bertazzon, N. (2023). *A successful defence strategy in grapevine cultivar 'Tocai friulano' provides compartmentation of grapevine Flavescence dorée phytoplasma. BMC Plant Biology, 23, Article 161.*

Eveillard, S., Jollard, C., Labroussaa, F., Daire, X., Salar, P., Danet, J.-L., Boudon-Padieu, E., Foissac, X., & Malembic-Maher, S. (2016). *Contrasting susceptibilities to Flavescence dorée in Vitis vinifera, rootstocks and wild Vitis species. Frontiers in Plant Science, 7, Article 1762.*

Galetto, L., Miliordos, D. E., Pegoraro, M., Marzachì, C., & Bosco, D. (2016). *Acquisition of Flavescence dorée phytoplasma by Scaphoideus titanus Ball from different grapevine varieties. International Journal of Molecular Sciences, 17, Article 1563.*

International Organisation of Vine and Wine. (2023). *Descriptor list for grape vine varieties and Vitis species (3rd ed.). Descriptor OIV 473: Degree of resistance to grapevine yellows. https://www.oiv.int/what-we-do/amp/473*

Luvisi, A., Ripamonti, M., Casarin, S., Musetti, R., Marzachì, C., Bosco, D., & Bertazzon, N. (2025). *Flavescence dorée and grapevine susceptibility: From host–pathogen interaction to cultivar categorization. Pathogens, 14, Article 939.*

Plan National Dépérissement du Vignoble. (2026). *Projet MARKFD : identifier des marqueurs moléculaires pour déterminer plus rapidement la sensibilité à la flavescence dorée [MARKFD project: Identifying molecular markers to determine susceptibility to Flavescence dorée more rapidly]. https://www.plan-deperissement-vigne.fr/webzine/avancee-de-la-recherche/projet-markfd-identifier-des-marqueurs-moleculaires-pour-determiner-plus-rapidement-la-sensibilite*

Plan National Dépérissement du Vignoble, & INRAE. (2022). *Évaluation de la sensibilité à la Flavescence dorée des variétés ResDur : Artaban, Floréal, Vidoc et Voltis [Assessment of the susceptibility of the ResDur varieties Artaban, Floréal, Vidoc and Voltis to Flavescence dorée] [Technical report].*

Plavec, J., Budinšćak, Ž., Križanac, I., Škorić, D., Foissac, X., & Šeruga Musić, M. (2019). *Multilocus sequence typing reveals the presence of three distinct Flavescence dorée phytoplasma genetic clusters in Croatian vineyards. Plant Pathology, 68, 18–30.*

Ripamonti, M., Maron, F., Cornara, D., Marzachì, C., Fereres, A., & Bosco, D. (2022). *Leafhopper feeding behaviour on three grapevine cultivars with different susceptibilities to Flavescence dorée. Journal of Insect Physiology, 137, Article 104366.*

Ripamonti, M., Pegoraro, M., Morabito, C., Marzachì, C., & Bosco, D. (2021). *Susceptibility to Flavescence dorée of different Vitis vinifera genotypes from north-western Italy. Plant Pathology, 70, 511–520.*

Roggia, C., Caciagli, P., Galetto, L., Pacifico, D., Veratti, F., Bosco, D., & Marzachì, C. (2014). *Flavescence dorée phytoplasma titre in field-infected Barbera and Nebbiolo grapevines. Plant Pathology, 63, 31–41.*

Prispjelo/Received: 9.9.2026. ***Prihvaćeno/Accepted: 12.10.2026.***

Professional paper

Differential susceptibility of grapevine cultivars to Flavescence dorée

Abstract

Flavescence dorée (FD), caused by the phytoplasma Candidatus Phytoplasma vitis and transmitted by the American grapevine leafhopper (Scaphoideus titanus), is one of the most important quarantine diseases of grapevine in Europe. Phytosanitary measures focus on removing infected vines, controlling the vector and using healthy planting material, but it is becoming increasingly clear that grapevine genotype strongly influences the course of infection. Research to date shows a continuous range of responses. At one end are highly susceptible cultivars with high phytoplasma titres, systemic spread and severe symptoms. At the other are genotypes in which multiplication or spread of the pathogen is limited, which are less favourable hosts for the vector, or which show a greater capacity for recovery. Despite considerable differences in susceptibility, no grapevine cultivar has so far been found to be resistant or fully tolerant to Flavescence dorée. Lower susceptibility of certain cultivars to Flavescence dorée does not constitute resistance to infection. It must not be taken to mean that these cultivars can be grown without the prescribed phytosanitary measures. Cultivars classified as less susceptible can still become infected with FD, develop symptoms and take part in the epidemiological cycle of the disease. They may differ from more susceptible cultivars in infection incidence, phytoplasma multiplication and systemic spread, symptom severity or suitability for the vector. A classification of cultivars by relative susceptibility therefore describes biological differences among genotypes, not their phytosanitary safety. Choosing a less susceptible cultivar does not replace vineyard surveillance, removal of infected plants, monitoring and mandatory control of the vector, or any other officially prescribed measures to prevent the spread of FD.

Keywords: *Flavescence dorée, grapevine yellows, grapevine cultivars, susceptibility, tolerance*