VIRUS SMEĐE NABORANOSTI PLODA PARADAJZA-NOVA PRETNJA PROIZVODNJI PARADAJZA I PAPRIKE

**Ivana Stanković, Ana Vučurović, Katarina Zečević,
Goran Delibašić, Branka Krstić**

Univerzitet u Beogradu-Poljoprivredni fakultet, Beograd

E-mail: ivana.stankovic@agrif.bg.ac.rs

Izvod

Virus smeđe naboranosti ploda paradajza (tomato brown rugose fruit virus, ToBRFV, rod *Tobamovirus*, family *Virgaviridae*) je prvi put detektovan 2014. godine u Izraelu, a nedavno je uočena njegova iznenadna pojava u Kini, Meksiku, SAD-u i nekoliko zemalja EPPO regiona. ToBRFV se ubraja u grupu visokoinfektivnih i veoma postojanih virusa. Propagativni materijal, uključujući seme i rasad, kao i sveži plodovi paradajza i paprike predstavljaju glavni put unosa virusa u nove regione. Takođe, ToBRFV se lako širi mehanički, kontaktom biljaka, kontaminiranim oruđem, obucom, odecom, rukama i drugom opremom prilikom izvođenja različitih mera nege useva. Kontrola oboljenja je veoma teška i najvažniju meru predstavlja sprečavanje unošenja virusa upotrebom zdravog propagativnog materijala. Jednom kada je virus unet u neko područje, mere suzbijanja su veoma ograničene i uglavnom se oslanjaju na uništavanje zaraženih biljaka i primenu strogih fitosanitarnih mera, jer otporne sorte trenutno nisu dostupne. Zbog potencijala da izazove velike štetne u proizvodnji paradajza, ToBRFV poseduje značajan fitosanitarni rizik za proizvodnju paradajza u zemljama EPPO regiona, pa je 2020. godine uvršten u EPPO A2 karantinsku listu.

Ključne reči: virus smeđe naboranosti ploda paradajza, ekonomski značaj, paradajz, paprika, epidemiologija, kontrola.

UVOD

Mnogi prouzrokovajući bolesti ugrožavaju proizvodnju paradajza, među kojima biljni virusi zauzimaju značajno mesto imajući u vidu veliku brojnost virusa infektivnih za paradajz i štete od virusnih oboljenja koje su zabeležene u svim regionima gajenja ove kulture u svetu (Jones et al., 2010). Poznato je više od 146 virusa koji su infektivni za paradajz, što je više nego što je zabeleženo kod bilo koje druge vrste povrća. Međutim, broj virusa koji zaražavaju paradajz stalno se povećava usled pojave novih virusa (*newly emerging*, nedavno nastali virusi) ili novih sojeva, odnosno patotipova već postojećih virusa. Razvoj globalne trgovine i razmene biljnog materijala omogućava upešno i brzo širenje virusa paradajza. Osim toga, uspešnom širenju virusa doprinose i klimatske promene usled kojih dolazi do pojave virusa u područjima gde ranije nisu zabeleženi ili gde su bili nepovoljni uslovi za razvoj njihovih vektora (Hansen et al., 2010; Martin et al., 2016; Carvajal-Yepes et al., 2019). Virus smeđe naboranosti ploda paradajza (tomato brown rugose fruit virus, ToBRFV) je novootkriveni, visoko virulentan i agresivan virus paradajza koji se od 2014. i 2015. godine, kada je prvi put identifikovan u Izraelu i Jordanu, brzo širi svetom, izazivajući velike štete u proizvodnji ne samo paradajza, nego i paprike u zaštićenom prostoru. Jedna od problematičnih karakteristika ToBRFV je njegova mogućnost prevazilaženja svih poznatih izvora otpornosti paradajza prema drugim *Tobamovirus*-ima, uključujući *Tm-2²* gen, zbog čega izaziva destruktivne simptome na sortama koje su otporne prema virusu mozaika duvana (tobacco mosaic virus, TMV) i virusu mozaika paradajza (tomato mosaic virus, ToMV). Zbog brzog širenja svetom, lakog lokalnog širenja u toku vegetacije i velikog rizika za proizvodnju paradajza, ToBRFV je dodat na EPPO Alert listu u januaru 2019. godine i već u martu iste godine EPPO Panel za fitosanitarne mere (the EPPO Panel on Phytosanitary Measures) je ukazao na potrebu da se sprovede analiza rizika (EPPO PRA, Pest Risk Analysis), iako je već urađena brza procena rizika u Nemačkoj, Italiji, Francuskoj i Velikoj Britaniji. Formirana ekspertska radna grupa je pripremala PRA za ovaj relativno nov virus za nauku, za koji je do sada malo naučnih informacija objavljeno (EPPO, 2020d). Shvatajući veliku opasnost od širenja ovog virusa u Evropi, u okviru EU hitnih mera da se spreči unošenje i širenje ToBRFV u Evropsku Uniju, donešena je Implementirajuća odluka Komisije EU (Commission Implementing Decision (EU) 2019/1615), koja je stupila na snagu 1. novembra 2019. godine, i koja je obavezujuća za sve zemlje članice EPPO (EU, 2019). Zbog toga je i u našoj zemlji 20. januara 2020. godine doneta Naredba o sprovođenju posebnih fitosanitarnih pregleda radi otkrivanja ovog štetnog organizma, kao i o merama koje se preduzimaju radi sprečavanja unošenja, širenja i suzbijanja ToBRFV. Trenutno je na snazi Implementirajuća odluka Komisije EU 2020/1191 od 11. avgusta 2020. godine koja se primenjuje do 2022. godine da bi se omogućilo dovoljno vremena za praćenje situacije i utvrđivanje fitosanitarnog statusa navedenog štetnog organizma s obzirom na prisustvo na području Unije i rasprostranjenost u svetu (EU, 2020).

U ovom radu biće iznete osnovne karakteristike virusa, trenutna znanja o njegovoj rasprostranjenosti, epidemiologiji i načinima širenja, kao i pregled mera kontrole koje treba preduzeti ukoliko dođe do introdukcije virusa i pojave oboljenja. Cilj rada je da se skrene pažnja naučne i stručne javnosti na virus koji predstavlja potencijalnu opasnost za proizvodnju paradajza i paprike i u našoj zemlji. Informacije iznete o ToBRFV u ovom radu su vid sprovođenja mera predostrožnosti, a isto tako imaju za cilj da pomognu u preduzimanju preventivnih mera kako bi se smanjio rizik od oboljenja koje ovaj virus izaziva.

Taksonomsko mesto

ToBRFV pripada rodu *Tobamovirus*, familija *Virgaviridae* i ubraja se u grupu visoko infektivnih virusa koji se izuzetno lako mehanički prenose. Na osnovu analize genoma ovog virusa i prisustva mesta rekombinacije u genu za replikazu, Salem et al. (2016) su utvrdili da je ToBRFV nastao interspecijskom rekombinacijom između virusa šarenog mozaika paradajza (tomato mottle mosaic virus, ToMMV) i Ohio V soja virusa mozaika duvana (tobacco mosaic virus, TMV).

Rasprostranjenost i značaj

ToBRFV je prvi put detektovan 2014. godine u Izraelu (Luria et al., 2017), a zatim u Jordanu 2015. godine (Salem et al., 2016). Virus se posle pojave u Izraelu, već sledeće godine proširio na celu zemlju usled trgovine i razmene zaraženog semena i rasada, a lokalno se lako širio različitim agrotehničkim operacijama i merama u toku gajenja paradajza (EPPO, 2021). Za samo nekoliko godina naučna javnost je shvatila da je ovaj virus ozbiljna pretnja proizvodnji paradajza, imajući u vidu da je prisustvo virusa dokazano u mnogim delovima sveta: SAD (Chitambar, 2018; Ling et al., 2019), Meksiku (Cambrón-Crisantos et al., 2018; Camacho-Beltrán et al., 2019), Italiji (Panno et al., 2019), Nemačkoj (Menzel et al., 2019), Palestini (Alkowni et al., 2019), Turskoj (Fidan et al., 2019), Kini (Yan et al., 2019), Velikoj Britaniji (Skelton et al., 2019), a nedavno i u Holandiji (van de Vossen et al., 2020), Grčkoj (Beris et al., 2020), Španiji (Alfaro-Fernández et al., 2020), Francuskoj (EPPO, 2020c), Češkoj (EPPO, 2020b), Egiptu (Amer and Mahmoud, 2020) i na Kipru (EPPO, 2020a). Zbog njegovih karakteristika, šteta koje izaziva i brzog širenja u zemljama EPPO regiona virus je 2020. godine sa EPPO Alert liste uključen na EPPO A2 listu štetnih organizama regulisanih kao karantinski organizmi (OEPP/EPPO, 2020). U našoj zemlji su od 2020. godine uvedene hitne mere u okviru kojih sve pošiljke rasada i semena paradajza i paprike podležu posebnom fitosanitarnom pregledu i mora ih pratiti fitosanitarni sertifikat. Takođe, ToBRFV je

u okviru Programa mera zaštite zdravlja bilja Uprave za zaštitu bilja, Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede stavljen pod poseban nadzor, kako bi se vršila inspekcija eventualnog prisustva ovog virusa u proizvodnji paradajza u Srbiji. U toku 2020. godine ovlašćena Laboratorija za virusologiju Univerziteta u Beogradu-Poljoprivrednog fakulteta nije dokazala prisustvo ovog virusa u testiranim uzorcima paprike i paradajza gajenog u našoj zemlji.

Mada postoji malo podataka o štetama koje ToBRFV izaziva u usevu paradajza, značajno umanjivanje prinosa i simptomi zbog kojih polodovi gube tržišnu vrednost ukazuju da su ekonomski gubici koje ovaj virus izaziva značajni. Pojava žutih ili smeđih pega, praćena naboranošću i deformacijom čini plodove paradajza potpuno neupotrebljivim. Procenat zaraženih biljaka znatno varira i zavisi od fenofaze razvoja biljke u vreme infekcije, osetljivosti sorte paradajza i uslova spoljašnje sredine. Tako je prilikom prve pojave virusa u Izraelu procenat zaraženih biljaka iznosio 10-15%, dok je u Kini zabeležena pojava simptoma na 50% biljaka (Luria et al., 2017; Yan et al., 2019). Osim toga, u Jordanu je zabeležena epidemijska pojava ToBRFV i procenat zaraženih biljaka bio je 100% (Salem et al., 2016). Pojava ToBRFV predstavlja ozbiljnu pretnju proizvodnji paradajza, naročito u mediteranskim zemljama gde je prisutna kontinuirana proizvodnja paradajza tokom čitave godine, ne samo u zaštićenom prostoru, već i na otvorenom polju.

Osobine virusa

Kao i kod drugih predstavnika roda *Tobamovirus*, čestice ToBRFV su štapićaste, a genom čini jednolančana infektivna RNA, ss (+) RNA. Za 5' kraj nukleinske kiseline vezan je 7-metilganozin ($m^7G^{5'}pppG$), a 3' kraj je aminoacetiliran sa histidinom i gradi strukturu sličnu transportnoj RNA. Genom ToBRFV ima četiri otvorena okvira čitanja (*open reading frame*, ORF). ORF1a i ORF1b kodiraju dva protein od 126 kDa i 183 kDa koji učestvuju u građi replikaze, a ORF2 preko velike subgenomne RNA kodira transportni protein koji omogućava kretanje virusa u biljci (*movement protein*, MP). ORF3, preko male subgenomne RNA, kodira protein omotača (*coat protein*, CP) (Salem et al., 2016; Dombrovsky and Smith, 2017; Oladukun et al., 2019).

Svi do sada okarakterisani izolati ovog virusa pokazuju nizak stepen genetskog diverziteta i pretpostavlja se da svi vode poreklo od zajedničkog pretka, a da je upravo prenošenje semenom zaslužno za brzo širenje ovog virusa u svetu (Oladukun et al., 2019).

Domaćini

Glavni prirodni domaćini ToBRFV su paradajz i paprika, a najnovija istraživanja ukazuju da je infektivan i za patlidžan (EPPO, 2019). U eksperimentalnim uslovima virus je infektivan i za *Nicotiana benthamiana* (lokalne nekrotične pege, propadanje biljaka), *N. glutinosa* (lokalne nekrotične pege i blago šarenilo), *N. clevelandii* (braon nekrotične pege i žutilo lišća), *N. sylvestris* (lokalne nekrotične pege i blago šarenilo), *N. rustica* (blago šarenilo), *N. tabacum* (blago šarenilo i mozaik), *Petunia x hybrida* (asimptomatična zaraza), *Datura stramonium* (žute nekrotične pege), *Chenopodium amaranticolor* (žute nekrotične pege), *C. quinoa* (žute nekrotične pege) i *C. murale* (žute nekrotične pege) (Luria et al., 2017). U Izraelu, su detektovane prirodne zaraze korovskih vrsta *C. murale* i *Solanum nigrum*, koje mogu poslužiti kao rezervoari virusa (EPPO, 2020d).

Simptomi

ToBRFV izaziva niz različitih tipova simptoma, od blage diskoloracije do pojave nekrotičnih lezija. Zaraza nekih sorti paradajza može rezultirati i kompletnim uvenućem biljaka (Wilstermann and Ziebell, 2019). Virus je dobio naziv po karakterističnim simptomima na plodu zaraženih biljaka paradajza u vidu smeđe obojene i naborane (smežurane) pokožice (Slika 1I). Najčešći simptomi na lišću zaraženih biljaka paradajza su u vidu hloroze ili blagog do izraženog mozaika (Slika 1A-C), a često dolazi i do pojave smeđe boje. Promene u obojenosti često su praćene i promenama u obliku lista u vidu sužavanja (Slika 1C) ili naboranosti liski. Nekroza se može javiti i na stablu, peteljka lista i ploda (Slika 1D), kao i na čašici cveta (Slika 1D i 1E). Osim toga, ToBRFV može dovesti i do redukcije broja cvetova. Na plodovima se javljaju žute i smeđe pege i šare (Slika 1F-I), što dovodi do neravnog razvoja ploda i pojave deformacija. Pored tipičnih simptoma smežuranosti ili naboranosti pokožice ploda, može se javiti i marmoravost plodova (Slika 1G) koja podseća na simptom karakterističan za zaraze izazvane virusom mozaika pepina (pepino mosaic virus, PepMV) (Salem et al., 2016; Dombrovsky and Smith, 2017; Luria et al., 2017; Cambrón-Crisantos et al., 2018). Prema tome, štete od ovog virusa uključuju ne samo smanjenje prinosa, već i smanjenje kvaliteta plodova.

Slika 1. Simptomi na biljkama paradajza: (A-C) Mozaik i šarenilo listova; (C) Sužavanje listova; (D) Nekroza čašičnih listića; (E) Nekroza peteljki ploda i čašičnih listića; (F-I) Nekrotične pege i šare na plodu; (G) Žute pege i šarenilo plodova; (H) Simptomi mešane infekcije ToBRFV i TSWV; (I) Žute i smeđe pege i smežuranost pokožice ploda (Luria et al., 2017)

Najčešći simptomi na lišću paprike su mozaik i hloroza (Slika 2), a može doći i do pojave deformacija lista. Na plodovima paprike dolazi do pojave plikova i ispupčenja na površini ploda ili do pojave žutih ili crvenih pega i zelenih pruga praćenih deformacijama ploda (Slika 3). Virus se lako može proširiti na sve biljke u usevu, a štete koje nastaju su uvek velike zbog formiranja plodova bez tržišne vrednosti (Alkowni et al., 2019; Cambrón-Crisantos et al., 2018). Kompleksna zaraza sa nekim drugim virusom roda *Tobamovirus* se ispoljava još izraženijim simptomima, zbog sinergističnog dejstva virusa. Luria et al. (2018) su uočili ovaj fenomen u biljkama otporne sorte paradajza (nosilac *Tm-2²* gen) usled infekcije ToBRFV i paprika mild mottle virus (PaMMV).

Slika 2. Hlorotično šarenilo na lišću paprike nakon mehaničkih inokulacija

Slika 3. Žute pege i deformacije na plodu paprike (Alkowni et al., 2019)

Načini prenošenja i održavanja

Virus je lako mehanički prenosiv, što je uobičajena i opšta karakteristika predstavnika roda *Tobamovirus*. Lako se prenosi međusobnim dodirivanjem zaraženih i zdravih biljaka, kao i kontaminiranim oruđem, odećom ili rukama radnika prilikom obavljanja različitih agrotehničkih mera nege i zaštite useva (EPPO, 2020d). Osim lakog mehaničkog prenošenja, kao i drugi virusi iz roda *Tobamovirus*, i ToBRFV se prenosi semenom (Dombrovsky and Smith, 2017). Ispitujući prenošenje ToBRFV semenom paradajza, Davino et al. (2020) su utvrdili da je virus lokalizovan u semenjači, retko je prisutan u endospermu i nikada u embrionu. Do prenosa virusa sa semena i zaražavanja biljaka dolazi kroz mikropovrede koje nastaju prilikom klijanja i nicanja biljaka. Stepenn prenošenja virusa u kotiledone listove iznosio je oko 2,8%, dok je kod trećeg pravog lista taj stepenn iznosio samo 1,8%. Međutim, zbog visoke infektivnosti, čak i niska efikasnost prenošenja semenom može dovesti do značajnog širenja ovog virusa. Nedavno je utvrđeno da se virus može preneti i bumbarima (*Bombus terrestris* L., rod: *Hymenoptera*, familija: *Apidae*) tokom oprašivanja usled lakog mehaničkog prenošenja. Virus može kontaminirati i košnice bumbara, a samim tim i jedinke koje prethodno nisu bile u kontaktu sa virusom u stakleniku (Levitzky et al., 2019). Osim toga, izražena stabilnost virusa omogućava održavanje virusa u biljnim ostacima, kontaminiranom tlu, zatvorenim irigacionim sistemima, na kontaminiranom alatu i oruđima, kutijama za pakovanje i raznim površinama u stakleniku duži vremenski period (EPPO, 2020d).

Kontrola

Naredbama koje je donela EU Komisija i naredbama Nacionalnih organizacija za zaštitu bilja zemalja članica EPPO organizacije, utvrđene su hitne mere kojima se žele sprečiti nove introdukcije i širenje virusa u okviru teritorije Evropske Unije (EPPO, 2021). Ove mere podrazumevaju da prilikom uvoza rasada paradajza i paprike priloženi fitosanitarni sertifikat treba da ispunjava jedan od sledećih zahteva: 1) da je rasad poreklom iz zemlje i sa područja za koju je nacionalna organizacija za zaštitu bilja utvrdila da u njoj ToBRFV nije prisutan ili 2) ako rasad potiče iz zemalja ili područja gde je ToBRFV detektovan, mora da je proizvedene na mestu proizvodnje za koje je poznato da na njemu nije prisutan virus, ili potiče od semena koje je poreklom sa područja na kome nije prisutan virus. U slučaju uvoza semena, treba sprovesti službeno uzorkovanje i testiranje reprezentativnog uzorka na prisustvo ToBRFV primenom odgovarajućih metoda u ovlašćenim laboratorijama i samo ono seme kod koga je utvrđeno da virus nije prisutan, može da se uveze. U slučaju semena paprike, trebalo bi uvoziti samo seme sorti za koje poznato da su kompletno otporne na ToBRFV. Prilikom transporta rasada treba koristiti nove i dezinfikovane kontejnere. Fitosanitarni sertifikat je, takođe potreban i prilikom uvoza svežih plodova paradajza i paprike.

Kontrola oboljenja koje ToBRFV izaziva, pre svega zbog lakog mehaničkog prenošenja i izražene postojanosti virusa, uglavnom je usmerena na primenu preventivnih sanitarnih mera (Salem et al., 2016; Luria et al., 2017; Davino et al., 2020; Chanda et al., 2021). Kao najznačajnije mere kontrole oboljenja koje ovaj virus izaziva navode se:

1. Zdravo seme i rasad. Najvažnija mera je sprečiti unošenje virusa u staklenike, a to znači započeti proizvodnju zdravim semenom i rasadom imajući u vidu da je ovaj virus za sada značajan samo u proizvodnji u zaštićenom prostoru u koji može biti uneti isključivo semenom ili zaraženim rasadom.
2. Dezinfekcija semena. Za dezinfekciju semena mogu se preporučiti tretmani izlaganja semena visokim temperaturama (70°C u trajanju od 96 h, 75°C u trajanju od 48 h i 80°C u trajanju od 24 h) ili hemijska dezinfekcija potapanjem semena u rastvor natrijumtrifosfata (10% rastvor u trajanju od 3 h), vodonik peroksida (4% rastvor u trajanju od 30 min) i natrijum hipohlorita (2,5% rastvor u trajanju od 15 min). Svi ovi tretmani uspešno inaktiviraju virus koji ne može izazvati zarazu klijanaca bez obzira što se njegovo prisustvo u semenu može detektovati (Davino et al., 2020).
3. Sanitarne mere. Zbog lakog mehaničkog prenošenja, kontrola oboljenja koje ovaj virus izaziva mora biti usmerena na primenu strogih sanitarnih mera. Radnike treba podsticati da redovno peru ruke, svakodnevno nose čistu odeću i dezinfikuju obuću pre i posle ulaska u plastenike/staklenike ili da nose odeću za jednokratnu upotrebu i navlake za cipele. Prilikom rada sa biljkama preporučuje se nošenje rukavica za jednokratnu upotrebu, a neophodno je i pranje ruku i pre i posle skidanja rukavica. Prilikom prelaska u nove objekte neophodno je da radnici operu ruke i obuku nove i čiste kombinezone i navlake za cipele, kao i da koriste novi par rukavica.
4. Dezinfekcija staklenika. Sve površine u stakleniku i svu opremu koja se koristi za proizvodnju (podupirači, kanape za vezivanje, saksije, cevi za navodnjavanje, kapaljke, itd.) neophodno je dezinfikovati pre započinjanja nove proizvodnje. Ispitivanja sprovedena u Fera Science Ltd, York u okviru jednog projekta (AHDB project PE 033: Tomato brown rugose fruit virus: Survival and disinfection) o održavanju ToBRFV i mogućnostima dezinfekcije površina u stakleniku, alatki i kontaminiranih posuda su pokazala da su jedan oksidirajući dezinficijens (Virkon S) i preparat na bazi benzojeve kiseline (Meno Florades) najefikasniji. EPPO (2020d) preporučuje, osim Virkon S, i rastvore stabilizovanog hlora ili rastvor hipohlorita uz napomenu da ovi preparati nisu uvek efikasni i da njihova efikasnost zavisi od koncentracije virusa, vrste površne (metal, staklo, drvo itd.) vremena kontakta preparata i površne i prisustva organske materije. Zbog toga se preporučuje detaljno pranje i uklanjanja prašine, ostataka biljaka i drugih organskih materija pre dezinfekcije. Tamo gde je moguće termoterapija, preporučuje se potapanje u vodu na temperaturi

90°C u trajanju od 5 min ili potapanje na 70°C u trajanju od 3 min, a posle toga upotrebiti Virkon S. Oruđe za rad (nož, makaze) i rukavice na rukama treba redovno dezinfikovati korišćenjem rastvora varikine (0,5% rastvor NaOCl), Virkon® S (2%), natrijumtrifosfat (10%) ili obranog mleka (20%). Pokazalo se da ova dezinfekciona sredstva pomažu u sprečavanju širenja nekoliko virusa infektivnih za paradajz, uključujući TMV i PepMV, pa se preporučuju i za kontrolu oboljenja koje izaziva ovaj virus (Li et al., 2015).

5. Sva ulazna vrata staklenika držati zatvorena, a ispred njih postaviti posude napunjene uvek svežim rastvorom NaOH ili KOH za dezinfekciju obuće. Posete stakleniku dozvoljavati samo najavljenim posetiocima, koji moraju da koriste plastične navlake za obuću ili gumene čizme, lateks rukavice i zaštitnu odeću (kombinezone).
6. Uklanjanje i uništavanje zaraženih biljaka. Sve biljke sa simptomima treba ukloniti iz objekta i uništiti spaljivanjem, jer se virus dugo održava u zaraženim biljnim ostacima (nekoliko meseci do nekoliko godina). Zbog lakog mehaničkog prenošenja preporučuje se i uklanjanje susednih biljaka, koje ne ispoljavaju simptome, a nalaze se u neposrednoj blizini zaraženi biljaka.
7. Uništavanje biljnih ostataka. Nakon završetka ciklusa proizvodnje treba ukloniti i uništiti sve biljne ostatke koji mogu poslužiti kao rezervoar virusa za naredni ciklus proizvodnje.
8. Otporne sorte. Za sada ne postoje komercijalne sorte paradajza koje su otporne ToBRFV, ali se sorte paradajza međusobno razlikuju u jačini ispoljavanja simptoma. Međutim, čak i sorte koje pokazuju samo blage simptome mogu imati visoku koncentraciju ToBRFV i mogu poslužiti kao izvor inokuluma za druge biljke paradajza i paprike. Sorte paradajza koje sadrže gene *Tm-1*, *Tm-2*, *Tm-2²* koji omogućavaju otpornost na zarazu ToMV i TMV, osetljive su na ToBRFV. Brojna istraživanja germplazme paradajza nisu rezultirala efikasnim izvorom rezistentnosti, ali Ashkenazi et al. (2018) navode da bi se rezistentnost otkrivena kod srodnika paradajza, vrste *Solanum pimpinellifolium* mogla iskoristiti za stvaranje otpornih sorti paradajza na ToBRFV. Za razliku od paradajza, sorte paprike nosioci *L1*, *L3* i *L4* gena otpornosti, pokazuju otpornost nakon mehaničkih inokulacija sa ToBRFV u kontrolisanim uslovima (Luria et al., 2017). Kod sorti paprike koje su nosilac *L* gena za otpornost, a gajene u zemljištu kontaminarnom sa ToBRFV javljaju se hipersenzitivne reakcije uključujući nekrotične pege na korenu i stablu, što vodi potpunom propadanju biljaka. Ovo se javlja jedino kad je paprika gajena na zemljištu gde je prethodno gajen zaraženi paradajz, a posebno u uslovima visoke temperature, preko 30°C. Inače, mehaničke inokulacije otpornih sorti paprike izazivaju žućenje i prevremeno opadanje lišća, čime se sprečava sistemsko širenje virusa u biljci i time se obezbeđuje kompletna otpornost (Luria et al., 2017; EPPO, 2020d).

ZAKLJUČAK

Paradajz je prirodni domaćin preko 146 virusa, ali se brojnost virusa infektivnih za paradajz stalno povećava. Razlog tome je, verovatno, kombinacija različitih faktora, kao što su pojava novih virusa i novih sojeva postojećih virusa, povećan obim međunarodne trgovine semena, rasada i svežih plodova što omogućava prenošenje virusa i njihovih vektora u nove regione, kao i klimatske promene koje odgovaraju širenju virusa ili njihovih vektora. Jedan od virusa koji se nedavno pojavio i brzo se širi svetom jeste i ToBRFV. Ubraja se u grupu “*newly emerging*” virusa (nedavno nastali virusi) koga odlikuje visoka stabilnost i virulentnost, što mu omogućava brzo širenje svetom. Od prvog otkrića 2014. godine do danas, virus je zabeležen u većem broju zemalja Evrope, Amerike, Azije i Mediteranskog basena gde izaziva ozbiljne štete u proizvodnji pre svega paradajza, ali i paprike. Prisustvo ovog virusa nije detektovano u našoj zemlji, ali imajući u vidu povećan obim uvoza semena i rasada paradajza i paprike i mogućnost unosa virusa, neophodna je stroga kontrola i primena karantinskih mera kako bi se sprečilo unošenje ovog veoma štetnog virusa.

Zahvalnica

Ovaj rad je realizovan kao deo ugovora o realizaciji i finansiranju naučnih istraživanja tokom 2021. godine između Ministarstva obrazovanja, nauke i tehnološkog razvoja Srbije i Univerziteta u Beogradu-Poljoprivrednog fakulteta (Ugovor br. 451-03-9/2021-14/200116).

LITERATURA

- Alfaro-Fernández, A., Castillo, P., Sanahuja, E., Rodríguez-Salido, M.C., Font, M.I. (2020): First Report of Tomato Brown Rugose Fruit Virus in Tomato in Spain. *Plant Dis.* doi: 10.1094/PDIS-06-20-1251-PDN.
- Alkowni, R., Alabdallah, O., Fadda, Z. (2019): Molecular identification of tomato brown rugose fruit virus in tomato in Palestine. *J. Plant Pathol.* 101: 719-723.
- Amer, M.A., Mahmoud, S.Y. (2020): First report of tomato brown rugose fruit virus on tomato in Egypt. *New Dis. Rep.* 41: 24.
- Ashkenazi, V., Rotem, Y., Ecker, R., Nashilevitz, S., Barom, N. (2018): Tolerance in plants of *Solanum lycopersicum* to the tobamovirus Tomato brown rugose fruit virus (TBRFV). In: Patent EP3409106A1.
<https://patents.google.com/patent/EP3409106A1/en?inventor=Varda+Ashkenazi>
- Beris, D., Malandraki, I., Kektsidou, O., Theologidis, I., Vassilakos, N., Varveri, C. (2020): First Report of Tomato Brown Rugose Fruit Virus Infecting Tomato in Greece. *Plant Dis.* 104: 2035.
- Camacho-Beltrán, E., Pérez-Villarreal, A., Leyva-López, N.E., Rodríguez-Negrete, E.A., Cenicerio-Ojeda, E.A., Méndez-Lozano, J. (2019): Occurrence of Tomato brown rugose fruit virus Infecting tomato Crops in Mexico. *Plant Dis.* 103:1440.
- Cambrón-Crisantos, J.M., Rodríguez-Mendoza, J., Valencia-Luna, J.B. (2018): First report of Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV) in Michoacan, Mexico. *Rev. Mex. Fitopatol.* 37: 185-192.
- Carvajal-Yepes, M., Cardwell, K., Nelson, A., Garrett, K.A., Giovani, B., Saunders, D.G.O., Kamoun, S., Legg, J.P., Verdier, V., Lessel, J., Neher, R.A., Day, R., Pardey, P., Gullino, M.L., Records, A.R., Bextine, B., Leach, J.E., Staiger, S., Tohme, J. (2019): A global surveillance system for crop diseases. *Science* 364:1237-1239.
- Chanda, B., Shamimuzzaman, M., Gilliard, A., Ling, K.-S. (2021): Effectiveness of disinfectants against the spread of tobamoviruses: Tomato brown rugose fruit virus and Cucumber green mottle mosaic virus. *Virol. J.* 18: 7.
- Chitambar, J. (2018): California Pest Rating for Tomato Brown Rugose Fruit Virus. Sacramento, CA, USA: California Department of Food and Agriculture. <https://blogs.cdfa.ca.gov/Section3162/?p=5843>
- Davino, S., Caruso, A. G., Bertacca, S., Barone, S., Panno, S. (2020): Tomato Brown Rugose Fruit Virus: Seed Transmission Rate and Efficacy of Different Seed Disinfection Treatments. *Plants* 9(11): 1615.
- Dombrovsky, A., Smith, E. (2017): Seed transmission of tobamoviruses: aspects of global disease distribution. In: *Advances in Seed Biology*. pp. 233-260. (Ed. Jimenez-Lopez, J.C.). IntechOpen, London, UK.
- EPPO (2019): *Tomato brown rugose fruit virus*. EPPO Global Database. <https://gd.eppo.int/taxon/TOBRFV>
- EPPO (2020a): First report of tomato brown rugose fruit virus in Cyprus. Reporting Service 2020/173. <https://gd.eppo.int/reporting/article-6851>

- EPPO (2020b): First report of tomato brown rugose fruit virus in Czech Republic. EPPO reporting service 2020/09. <https://gd.eppo.int/taxon/TOBRFV/distribution/CZ>
- EPPO (2020c): First report of tomato brown rugose fruit virus in France. EPPO reporting service 2020/037. <https://gd.eppo.int/reporting/article-6715>
- EPPO (2020d): Pest risk analysis for tomato brown rugose fruit virus. EPPO, Paris. <https://gd.eppo.int/taxon/TOBRFV/documents>
- EPPO (2021): Tomato brown rugose fruit virus. EPPO datasheets on pests recommended for regulation. <https://gd.eppo.int>
- EU (2019): Commission Implementing Decision (EU) 2019/1615 of 26 September 2019 establishing emergency measures to prevent the introduction into and the spread within the Union of Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV). OJ L 250: 91-94. http://data.europa.eu/eli/dec_impl/2019/1615/oj
- EU (2020): Commission Implementing Regulation (EU) 2020/1191 of 11 August 2020 establishing measures to prevent the introduction into and the spread within the Union of Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV) and repealing Implementing Decision (EU) 2019/1615. OJ L 262: 6-13. http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2020/1191/oj
- Fidan, H., Sarikaya, P., Calis, O. (2019): First report of *Tomato brown rugose fruit virus* on tomato in Turkey. New Dis. Rep. 39: 18.
- Hanssen, I.M., Lapidot, M., Thomma, B.P.H.J. (2010): Emerging viral diseases of tomato crops. Mol. Plant Microbe Interact. 23:539-548.
- Jones, J., Zitter, T., Momol, T., Miller, S. (2014): Compendium of tomato diseases and pests, second edition. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA.
- Levitzky, N., Smith, E., Lachman, O., Luria, N., Mizrahi, Y., Bakelman, H., Sela, N., Laskar, O., Milrot, E., Dombrovsky, A. (2019): The bumblebee *Bombus terrestris* carries a primary inoculum of Tomato brown rugose fruit virus contributing to disease spread in tomatoes. PLoS One 14(1): e210871.
- Li, R., Miller, S.A., Baysal-Gurel, F., Ling, K.S., Kurowski, C.J. (2015): Evaluation of disinfectants to control mechanical transmission of tomato viruses and viroids in greenhouse tomatoes. Virol. J. 12: 5.
- Ling, K.S., Tian, T., Gurung, S., Gilliard, A. (2019): First report of tomato brown rugose fruit virus infecting greenhouse tomato in the U.S. Plant Dis. 103: 1439.
- Luria, N., Smith, E., Reingold, V., Bekelman, I., Lapidot, M., Levin, I., Elad, N., Tam, Y., Sela, N., Abu-Ras, A., Ezra, N., Haberman, A., Yitzhak, L., Lachman, O., Dombrovsky, A. (2017): A New Israeli tobamovirus isolate infects
- Luria, N., Smith, E., Sela, N., Lachman, O., Bekelman, I., Koren, A., Dombrovsky, A. (2018): A local strain of Paprika mild mottle virus breaks L3 resistance in peppers and is accelerated in Tomato brown rugose fruit virus-infected Tm-22-resistant tomatoes. Virus Genes 54(2): 280-289.

- Martin, R.R., Constable, F., Tzanetakis, I.E. (2016): Quarantine regulations and the impact of modern detection methods. *Annu. Rev. Phytopathol.* 54:189-205.
- Menzel, W., Knierim, D., Winter, S., Hamacher, J., Heupel, M. (2019): First report of tomato brown rugose fruit virus infecting tomato in Germany. *New Dis. Rep.* 39: 1.
- OEPP/EPPO (2020): EPPO A2 List from: <http://www.eppo.org/QUARANTINE/quarantine.htm>. 2020.
- Oladukon, J.O., Halabi, M.H., Barua, P., Nath, P.D. (2019): Tomato brown rugose fruit disease: current distribution, knowledge and future prospects. *Plant Pathol.*, doi: 10.1111/ppa.13096.
- Panno, S., Garuso, A.G., Davino, S. (2019): First report of tomato brown rugose fruit virus on tomato crops in Italy. *Plant Dis.* 103: 1443.
- Salem, N., Mansour, A., Ciuffo, M., Falk, B., Turina, M. (2016): A new tobamovirus infecting tomato crops in Jordan. *Arch. Virol.* 161: 503-506.
- Skelton, A., Buxton-Kirk, A., Ward, R., Harju, V., Frew, L., Fowkes, A., Long, M., Negus, A., Forde, S., Adams, I.P., Pufal, H., McGreig, S., Weekes, R., Fox, A. (2019): First report of Tomato brown rugose fruit virus in tomato in the United Kingdom. *New Dis. Rep.* 40: 12.
- van de Vossenbergh, B.T.L.H., Visser, M., Bruinsma, M., Koenraadt, H.M.S., Westenberg, M., Botermans, M. (2020): Real-time tracking of Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV) outbreaks in the Netherlands using Nextstrain. *PloS One* doi: 10.1101/2020.06.02.129395.
- Wilstermann, A., Ziebell, H. (2019): JKI Datasheets. Plant diseases and diagnosis. Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV). Braunschweig (DE). <https://doi.org/10.5073/20190607-16091>
- Yan, Z.Y., Ma, H.Y., Han, S.L., Geng, C., Tian, Y.P., Li, X.D. (2019): First report of tomato brown rugose fruit virus infecting tomato in China. *Plant Dis.* 103: 2969.

Abstract

TOMATO BROWN RUGOSE FRUIT VIRUS-A NEW THREAT FOR TOMATO AND PEPPER PRODUCTION

**Ivana Stanković, Ana Vučurović, Katarina Zečević,
Goran Delibašić, Branka Krstić**

University of Belgrade-Faculty of Agriculture, Belgrade

E-mail: ivana.stankovic@agrif.bg.ac.rs

Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV; genus *Tobamovirus*, family *Virgaviridae*) was first observed in 2014 on tomatoes in Israel, and outbreaks have recently occurred in China, Mexico, the USA and several EPPO countries. The virus is characterized as highly infectious and persistent. Propagative materials including transplants and seeds, as well as fresh fruits are considered high risk pathways for the introduction of ToBRFV into new areas. Also, ToBRFV is a virus easily spread mechanically by plant-to-plant contact, contaminated tools, shoes, clothing, hands and equipment during performing various plant care measures. Control of ToBRFV is a very difficult and it is important to prevent the introduction of the virus by using virus-free propagative materials. Once the virus is introduced, control measures are very limited and mainly rely on the elimination of infected plants and the application of strict hygiene measures, as resistant cultivars are not currently available. Due to its high damage potential for the tomato production, ToBRFV poses a considerable phytosanitary risk for European countries and was added to the EPPO A2 List in 2020.

Key words: tomato brown rugose fruit virus, tomato, pepper, economic impact, epidemiology, control