

Утицај климатских промјена на појаву болести и штеточина пољопривредних биљака и шумског дрвећа

Војислав Тркуља, Андрија Томић, Татјана Поповић, Рената Иличић

Сажетак: Утицаји климатских промјена на штетне организме су сложени из разлога што и други фактори који утичу на њих нису константни већ се мијењају. И поред тога, климатске промјене могу на сличне или различите начине утицати на разне проузроковаче биљних болести и штеточине, у зависности којој групи организама они припадају: гљивама, бактеријама, вирусима, инсектима, нематодама и слично. Код фитопатогених гљива ови утицаји могу се испољити у погледу: промјене биологије; брже еволуције због дужег годишњег доба; појаве нових раса или веће агресивности постојећих врста због рекомбинације гена; мијењања географске распрострањености, било према сјеверној хемисфери или на подручја са вишом надморском висином; интродукције карантинских и инвазивних врста, као и ширења у нова подручја у односу на подручје поријекла; већу продукцију микотоксина и др. За вирусе и бактерије који се преносе векторима од посебног значаја је утицај климатских промјена на присуство, ширење и бројност вектора.

Цитирање: Тркуља В, Томић А, Поповић Т, Иличић Р (2023) Утицај климатских промјена на појаву болести и штеточина пољопривредних биљака и шумског дрвећа. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:477–517

Cite as: Trkulja V, Tomić A, Popović T, Iličić R (2023) The Impact of Climate Change on the Occurrence of Diseases and Pests of Agricultural Plants and Forest Trees. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:477–517

Позитиван утицај климатских промјена на различите штеточине биљака може се испољити у виду: промјене биологије и појаве већег броја генерација; повећане бројности и плодности; бољег презимљавања; проширеног круга домаћина; интродукције карантинских и инвазивних врста; ширења у нова подручја и друго. Позитивни утицаји климатских промјена на штетне организме најчешће су са негативним ефектом на развој пољопривреде и производњу хране, развој шумарства, биодиверзитета и животну средину – због могућности настанка већих економских штета, као и већих потреба за примјеном пестицида. Климатске промјене, такође, могу утицати и на биљке домаћине, при чему је од посебног значаја њихов губитак природне основе отпорности.

Иако је дошло до напретка у праћењу и разумијевању климатских промјена, остају потребе за многим научним, техничким и институционалним рјешењима за прецизно планирање, прилагођавање и ублажавање ефеката климатских промјена на проузроковаче биљних болести и штеточине, као и биљке домаћине и њихове интеракције.

Кључне ријечи: Климатске промјене, болести, штеточине, пољопривредне биљке, шумско дрвеће

11.1. Увод

Климатске промјене дефинишу се као повећање температура ваздуха и површине копна и мора, у просјеку широм свијета, током периода од тридесет година. Загријавање се изражава у односу на период 1850–1900. године, који се користи као апроксимација преиндустријских температура. Глобално загријавање током декаде 2006–2015. године у односу на преиндустријски ниво процијењено је на 0,87 °C. Тренутно је планета топлија за 1 °C у односу на период прије индустрије (Skendžić et al. 2021). Промјене које су уочене као резултат тога укључују повећање глобалне температуре копна и океана, губитак ледених и сњежних покривача, повећано закисељавање океана, пораст нивоа мора, чешћу појаву температурних екстрема, варијабилније и екстремније падавине, као и чешће појаве касних прољетних и раних јесењих мразева, града, суша и поплава, те екстремних олуја и разорних оркана. Ове промјене се приписују повећаним емисијама антропогених гасова стаклене баште од преиндустријске ере, до којих је дошло усљед интензивирања пољопривредних и индустријских активности, сагоријевања фосилних горива, промјена у коришћењу земљишта, крчења шума и других антропогених учинака (IPCC 2014, 2018; Yoro and Daramola 2020). Процјене експерата су да ће се глобалне климатске промјене, посебно тренд глобалног загријавања,

вјероватно наставити. Према специјалном извјештају Међувладиног панела за климатске промјене (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*), глобално загријавање ће вјероватно достићи пораст од 1,5 °C између 2030. и 2052. године у поређењу са преиндустријским нивоом уколико загријавање настави да расте тренутним темпом (IPCC 2018). Предвиђа се да ће се глобално загријавање повећавати и да ће се температура до 2100. године повећати за 0,9–3,5 °C (Chakraborty et al. 2000), док ће према неким процјенама загријавање достићи до 5,8 °C током предстојећег вијека (Skendžić et al. 2021). Предвиђа се да ће климатске промјене оставити далекосежне посљедице по Европу, посебно јужну, док се у средњој и источној предвиђа смањење количина љетњих падавина. Комбинација високих температура и слабих падавина доводи до стреса проузрокованог топлотним таласима и сушом (Kudela 2009).

Угљен-диоксид (CO₂), али и други гасови стаклене баште, попут метана (CH₄) и азотних оксида (N₂O), у повећању су, што је један од главних разлога који утичу на промјену климе, која се прије свега карактерише смањењем екстремно ниских и повећањем екстремно високих температура, као и повећањем нивоа мора и обилности падавина у бројним регионима (Skendžić et al. 2021). Исти аутори претпостављају да ће у будућности падавине бити неуједначене и неједнако распоређене, док ће таласи високих температура бити све чешћи и дужи. До повећања падавина долазиће у вишим географским ширинама и екваторијалном Пацифику, док ће се средња количина падавина смањивати у подручјима сувљих регија средњих географских ширина и суптропским регијама. Од преиндустријског периода, 1750. године, концентрација CO₂ порасла је за 280 ppm, те је 2013. године достигла вриједност од 400 ppm, што је била до тада највиша икада измјерена вриједност, након чега је она поново наставила да расте (Chakraborty et al. 2008). До краја вијека се очекује да ће се вриједност концентрације CO₂ утростручити, што представља озбиљну пријетњу за живи свијет (Váry et al. 2015).

На глобалном нивоу климатске промјене имају огроман утицај на пољопривреду уопште, али и на појаву проузроковача биљних болести и штеточина. Организација Уједињених нација за храну и пољопривреду (*Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO*) процјењује да се сваке године у свијету смањи 20–40% приноса гајених биљака усљед штета које узрокују разне биљне болести и штеточине. Такође, FAO предвиђа да ће се глобални губици приноса главних биљних врста за исхрану људи, као што су пшеница, пиринач и кукуруз, повећати за 10 до 25% за сваких 1 °C глобалног просјечног загријавања атмосфере. Губици ће бити највећи у усјевима гдје загријавање поспјешује повећање популације како штеточина тако и патогена биљака (IPPC Secretariat 2021a).

Промјене климе, које укључују повећање температуре и атмосферског CO₂ и учесталост и интензитет екстремних временских флукуација, као што су суша и поплаве, утичу како на појаву и ширење разних врста штетних организама, тако и на отпорност биљака домаћина према њима (Dossa et al. 2015). Промјене у овим климатским варијаблама могу преобликовати отпорност домаћина, као и интеракције биљка домаћин – штетни организам, те на тај начин битно утицати како на просторни и временски развој епидемија болести, тако и на појаву пренамножења и ширења штеточина (Garrett et al. 2006; Crowl et al. 2008; Lević et al. 2013). Због тога је разумијевање ефеката климатских промјена на динамику појаве штетних организама кључно за усвајање одговарајућих мјера за њихово сузбијање, укључујући и програм оплемењивања биљака према овим организмима (Chakraborty and Pangga 2004).

Из свих ових разлога, изузетно је важна анализа фактора који ће указати да ли ће у будућности штетни организми имати већи или мањи негативан утицај на развој пољопривреде и шумарства, биодиверзитет гајених и аутохтоних биљних врста, као и заштиту животне средине на локалном, регионалном и међународном нивоу. Већ данас је евидентно да су глобалне климатске промјене постале значајан фактор који има утицаја на саме штетне организме, њихову интеракцију, реакцију биљке домаћина, као и интеракцију штетни организам – биљка домаћин. Резултати ових анализа ће указати не само на поједине ризике настале усљед климатских промјена већ ће истовремено бити основа за побољшање постојећих или изналажење нових технолошких, оплемењивачких и других мјера за сузбијање штетних организама да би се обезбиједила одржива пољопривреда и довољно хране за стално нарастајућу популацију људи у свијету.

11.2. Утицај климатских промјена на штетне организме и биљке

Климатске промјене на глобалном нивоу знатно утичу на пољопривредне биљке и шумско дрвеће, али и на различите биљне штеточине (инсекте, гриње, нематодe и друге бескичмењаке), као и проузроковаче биљних болести (гљиве, псеудогљиве, бактерије, актиномицете, фитоплазме, спироплазме, рикеције, вирусе, вироиде) директним и индиректним утицајима. Директни ефекти климатских промјена су под утицајем репродукције, развоја, преживљавања, ширења и мијењања одбрамбених способности домаћина, док су индиректни утицаји у вези за односом између штетног организма, околине и других врста,

које могу бити природни непријатељи, конкуренти, вектори, мутуалисти и друго (Prakash et al. 2014).

Варијације у температури и промјене у количинама и распореду падавина могу довести до већих суша или поплава у зависности од географског мјеста. У оваквим условима се сматра да ће аутохтоне биљке бити више осјетљиве на болести и штеточине. У подручјима са повећаним количинама падавина биће израженија епидемија фитопатогених гљива и бактерија, док топлија лjeta могу погодвати више термофилним гљивама. Више температуре током зиме и прољећа утицаће на промјену биолошког циклуса биљака и смањење њихове толеранције, затим на веће преживљавање популације патогена и инсеката током зимског периода, што ће посљедично утицати на веће количине инфекције током сезоне и мање приносе гајених биљака (Skendžić et al. 2021). Сматра се да сваки степен повећања температуре може проузроковати додатно смањење приноса усљед напада штетних инсеката за 10–25% (Shrestha 2019).

Као примјер за разорне посљедице климатских промјена могу се навести поплаве узроковане подизањем нивоа мора, које могу узроковати нестанак ниског земљишта и велике губитке усјева. Други примјер је суша, при чему недостатак нивоа воде у тлу узрокује да биљке губе своје биолошке функције и чак постају осјетљивије на болести и штеточине. Климатски услови доприносе остварењу тзв. „троугла болести“, који укључује присуство осјетљивог домаћина, патогена и погодне услове околине за остваривање инфекције и настанак биљне болести, при чему климатске промјене могу знатно утицати на услове околине, било да су у корист биљке домаћина или патогена. Примјери ових услова укључују росу, кишу, повећану релативну влажност ваздуха, температуру, аерацију (вјетар), влагу земљишта и интензитет сунчеве свјетлости (Zaun 2019).

Животни циклуси, епидемиолошке карактеристике и ширење штетних организама биљака условљени су климатским факторима, као што су сунчево зрачење, температура и падавине. Глобално загријавање и екстремне промјене временских прилика вјероватно ће утицати на животни циклус, епидемиолошке карактеристике и ширење биљних штеточина и болести. Повећање температуре може, на примјер, утицати на повећање плодности и боље преживљавање штеточина током зиме и тако довести до знатног повећања бројности њихових популација. Осим тога, промјене у правцима дувања вјетра, као и појаве урагана и других екстремних временских прилика могу утицати на дистрибуцију штеточина (FAO 2021). Повећани број штеточина биљака може узроковати знатне економске губитке и смањити приносе и квалитет биљних производа, што може резултирати потенцијално великим губицима хране (Hunjan and Lore 2020).

Повећани нивои CO₂ и озона (O₃) у атмосфери и обилније падавине могу имати утицаја на физиологију и структуру биљака, а тиме и већу осјетљивост биљака према штетним организмима. Повишене температуре могу утицати на механизме отпорности биљака и повећати отврдњавање (лигнификацију) њихових ћелијских зидова, што доводи до смањења могућности њихове прераде при производњи хране. Повећана вирулентност биљних патогена и каламитетна појава штеточина у условима климатских промјена може повећати географски опсег у којем се они шире. Олује и повећана количина падавина могу ослабити биљке и узроковати њихову повећану осјетљивост према фитопатогеним гљивама, бактеријама и вирусима (FAO 2021). Биљке у стресним условима као што је суша могу да изгубе своју природну отпорност према штетним организмима (Chakraborty and Pangga 2004; FAO 2021).

Климатске промјене повећавају ризик да штеточине и патогени пронађу повољније климатске услове за даља ширења у нова подручја. Такође, узгој нових биљних врста или нових сорти и хибрида у оквиру већ постојећих врста у условима климатских промјена може додатно олакшати интродукцију, дистрибуцију и утицај штетних организама у таквим областима, посебно имајући у виду непостојања механизма отпорности, који настају услед коеволуције или коегзистенције домаћина и штетног организма током времена. Промјене у популацијама штетних инсеката и патогена присутних у Србији праћене су интензивнијом интродукцијом кукуруза, промјенама климе, посебно у погледу распореда падавина у току вегетације кукуруза, начина гајења и асортимента хибрида у корист отпорнијих према појединим патогенима и штетним инсектима. Све ове промјене имале су знатног утицаја на варирање приноса зрна и биомасе кукуруза у другој половини XX вијека (Ваћа et al. 2005).

Осим тога, процјена је да половина свих новонасталих интродукција штетних организама у нова подручја настаје услед њиховог преноса глобалним транспортом и трговином, чији се обим утростручио током посљедње деценије, док су временске прилике други најважнији фактор за њихово настајање. Стога, већа пажња посвећена анализама ризика од проузроковача биљних болести и штеточина у условима климатских промјена може помоћи у заштити здравља биљака, биодиверзитета и безбједности хране (Trkulja i sar. 2012; Popović and Marković 2020; IPCC Secretariat 2021b).

Глобална употреба и потражња за појединим пестицидима или другим агрохемикалијама може се повећати као одговор на повећано ширење штетних организама у условима климатских промјена, што може узроковати негативне посљедице по здравље биљака и људи, биодиверзитет и животну средину. Активности у пољопривреди и шумарству могу захтијевати промјене

у узгоју биљака и модификације у примјени мјера за сузбијање штетних организама, како би се оне прилагодиле климатским промјенама (FAO 2021). Ове мјере некада могу захтијевати и проширење постојећих и усвајање нових техничких и других знања, посебно у погледу надзора над појавом штетних организама и спречавања њиховог међународног ширења (Popović and Marković 2020; Hunjan and Lore 2020; FAO 2021).

Диверзитет биљака представља важан резервоар насљедних особина отпорности, који може помоћи бољем прилагођавању биљака климатским промјенама и смањењу употребе неких пестицида или ђубрива који могу бити штетни за животну средину. Осим гајених биљака, климатске промјене могу утицати и на способност многих дивљих сродника да преживе на својим стаништима. Због тога је промовисање очувања, размјене и коришћења биљног биодиверзитета широм свијета кључно да би се обезбиједила отпорност усјева и прилагођавање на климатске промјене.

Климатске промјене слабе бројне екосистеме и могу подржати ширење и појаву штеточина и болести. Промјене метеоролошких услова могу довести до биолошких промјена код штеточина и патогена, а такође и утицати на физиологију и структуру биљака, што може повећати осјетљивост биљака према штеточинама и болестима. Повећани ризици од штеточина и болести, деградација екосистема и недостатак воде могу утицати на безбједност хране и средстава за живот и допринијети економским кризама, присилним миграцијама и сукобима.

Спровођење међународних стандарда за фитосанитарне мјере помаже земљама да спријече уношење и ширење разних врста карантинских штетних организама и да очувају биодиверзитет. Очување биодиверзитета помаже у побољшању отпорности биљака и ублажавању утицаја климатских промјена на здравље биљака (IPPC Secretariat 2021b).

11.3. Утицај климатских промјена на биљне патогене

Климатске промјене могу измијенити отпорност домаћина према патогенима мијењајући физиологију домаћина и агресивност патогена. Повећање глобалне температуре утиче на помјерање агроклиматских зона према сјеверу на сјеверној хемисфери или на више надморске висине, мијењајући тако географску дистрибуцију биљних патогена у нова подручја (Popović and Ivanović 2015; Popović et al. 2015, 2019a, 2019b, 2019c; Vodiroga et al. 2017; Perković i sar. 2017a, 2017b; Nikolić et al. 2018; Tomić et al. 2018; Waleron et al. 2019; Iličić and Popović 2020, 2021a; Marković et al. 2021a, 2021b,

2022; Mitrović et al. 2021; Trkulja et al. 2021; Iličić et al. 2022). Притом ће прилагођавање патогена у новом окружењу зависити од брзине њиховог ширења, могућности преживљавања ван вегетационе сезоне и способности да се прилагоде било којој промјени у биологији свог домаћина. Истовремено, у условима промјењене климе могу се појавити агресивнији и отпорнији сојеви постојећих патогена. Утицај на различите групе патогена може варирати у зависности од њихове биологије, нивоа специјализације домаћина, начина преживљавања и ширења и способности да се прилагоде промјенама климе (Hunjan and Lore 2020).

11.3.1. Утицај климатских промјена на фитопатогене гљиве и псеудогљиве

Гљиве и псеудогљиве су најдоминантнија група биљних патогена, која испољава различите начине паразитске интеракције са својим биљкама домаћинима. На патогенезу гљива и псеудогљива у великој мјери утичу преовлађујући атмосферски услови, посебно температура и влага. Температура је критични фактор током различитих животних фаза гљива, при чему свака промјена температуре може знатно утицати на њихову репродукцију, могућност остваривања инфекције, број циклуса инфекције, ширење на краће и веће удаљености, као и преживљавање ван вегетационе сезоне биљке домаћина. Промјена температуре може довести до активације нових екотипова и сојева патогена, што може довести до изненадног избијања зараза епидемијских размјера. Повећање температуре заједно са високом влагом у земљишту ствара топлу и влажну климу, веома повољну за развој гљива и псеудогљива које се преносе у земљишту, као и оних које проузрокују болести надземних органа биљака. Тако, на примјер, повећање температуре околине погодује интензивном развоју и појави *Puccinia graminis*, проузроковача рђе стабљике стрних жита. Такође, повећање температура и продужење годишњих доба може убрзати еволуцију и развој агресивнијих сојева гљива, који настају као посљедица убрзане рекомбинације гена усљед презимљавања полних фаза ових патогена (IPPC Secretariat 2021b). Тако, на примјер, према Coakley et al. (1999) реалан сценарио је да ће повећање температуре ваздуха за 1 °C и смањење падавина за 30% значајно утицати на повећање напада *Puccinia recondita*, проузроковача лисне рђе пшенице, као и *Erysiphe betae*, проузроковача пепелнице шећерне репе.

Током испитивања утицаја температуре на агресивност изолата *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, проузроковача жуте или црточаве рђе стрних жита, Milus et al. (2009) утврдили су значајан утицај температуре на ову особину

испитиваних изолата, као и значајно прилагођавање нових изолата вишим температурама, при чему су нови изолати показали значајнију агресивност према испитиваним сортама стрних жита, као и значајне промјене када је у питању дневни пораст, те вријеме и обилност спорулације. Ово указује на јако добру могућност прилагођавања изолата ове гљиве условима климатских промјена, прије свега повишене температуре ваздуха. Такође, Siebold and von Tiedemann (2012) утврдили су да повећање загријавања позитивно утиче и на фаворизовање појаве неких патогена уљане репице, као што су *Verticillium longisporum*, *Sclerotinia sclerotiorum* и *Alternaria brassicae* у сјеверној Њемачкој. Исти аутори указују и на смањење учесталости појаве и економске значајности *Pyrenopeziza brassicae* у истој регији, док Evans et al. (2010) такође предвиђају смањење појаве напада *P. brassicae* у Енглеској и Шкотској.

Повишена концентрација CO₂ у атмосфери изазива физиолошке промјене у морфологији биљака као што су повећање величине, дебљине и броја листова (Pritchard et al. 1999). Међутим, повећање концентрација CO₂ може да утиче двојако на патогене и биљке домаћине, некада повећавајући отпорност биљака, а некада је смањујући.

Повећањем концентрација CO₂ у атмосфери долази до промјена на биљкама у виду повећања биомасе (бокорења, изданака, листова, цвјета, плода), што погодује развоју бројних патогена, прије свега облигатних (Bowes 1993; Ghini et al. 2008). Осим тога, густа крошња доводи до продуженог задржавања влаге на површини листа, представљајући веома повољно окружење за клијање спора и њихово продирање у листове, што фаворизује развој болести (Garrett et al. 2006). Такође, повећање густине крошње и величине биљака утицаће повољно на развој патогена који инфицирају лишће (проузроковачи рђа, пепелница и некроза лишћа), а који захтијевају већу влажност али не и кишу, док ће повећање садржаја шећера повољно утицати на развој патогена проузроковача рђа и пепелница, а повећање жетвених остатака на боље преживљавање некротрофних патогена (Ghini et al. 2008). Исти аутори наводе да повећање биомасе коријена може повољно утицати на микоризу и напад земљишних патогена, док повећан садржај CO₂ из ваздуха може повољно утицати на неке полифагне патогене проузроковаче трулежи, као што су на примјер *Rhizoctonia solani* и *Phytophthora parasitica*. При истраживањима утицаја CO₂ на осјетљивост пшенице према *Fusarium* spp., проузроковачима фузариоза, и *Septoria tritici*, проузроковачу септориозне пјегавости, Váry et al. (2015) утврдили су повећање осјетљивости пшенице према овим патогенима и упозорили на значајан утицај на исход интеракције патоген–домаћин и на трајност отпорности сорти према узрочницима болести биљака. Приликом истраживања утицаја комбинације CO₂ и O₃ на болести соје утврђено је да повишене концентрације наведених гасова утичу негативно на *Peronospora*

manshurica, проузроковача пламењаче соје, а позитивно на *Septoria glycines*, проузроковача септориозе соје, док на *F. virguliforme* није било никаквог значајног утицаја (Eastburn et al. 2010). Међутим, Coakley et al. (1999) наводе негативно дјеловање повишене концентрације атмосферског CO₂ на *Colletotrichum gloeosporioides*, проузроковача антракнозе при инокулацији биљке *Stylosanthes scabra*. Дејство повећаног CO₂ огледало се у смањењу појаве болести на биљкама усљед одгађања и смањења клијавости спора, раста хифа и производње апресорија патогена. Смањење висине биљке код осјетљиве сорте усљед напада антракнозе надокнађено је повишеним растом биљке под утицајем повећаног CO₂, али само код осјетљиве сорте Fitzroy, док није било утицаја код отпорне сорте Seca. Смањење продора спора као и производње конидија код *Blumeria graminis*, проузроковача пепелнице стрних жита на листовима јечма усљед повишене концентрације CO₂ забиљежили су у истраживањима Hibberd et al. (1996).

Истраживања у Египту о утицају климатских промјена на *Phytophthora infestans*, проузроковача пламењаче кромпира и парадајза, показала су да топлије зимско вријеме утиче на појаву и сузбијање овог патогена. Она су показала и да би епидемија пламењаче парадајза, која се појавила недјељу до двије раније, значила да ће бити потребна 2–3 додатна хемијска третмана да би се постигла задовољавајућа ефикасност у сузбијању овог патогена. Због тога се у Египту процјењује да ће у периоду 2025–2100. године бити потребна до три додатна третмана фунгицидима. Осим тога, повољни услови у зимском периоду омогућавају акумулацију инокулума патогена на раним сортама кромпира у раној вегетационој сезони, што доводи до раније и интензивније појаве пламењаче код касније засађених усјева кромпира. Може се очекивати да ће климатске промјене утицати позитивно на *Phytophthora infestans*, проузроковача пламењаче кромпира и парадајза (Fahim et al. 2011). Исто потврђују и Kostánková et al. (2009) и упозоравају на ранију пријетњу од епидемијских појава пламењаче кромпира усљед раније појаве топлијих услова, као и неопходно повећање броја третмана фунгицидима за адекватно сузбијање овог патогена. Nunjan and Lore (2020) упозоравају на ранију појаву пламењаче кромпира за 4–7 дана усљед повећања температуре за сваки степен, што имплицира и додатне третмане. Такође, предвиђа се да ће климатске промјене позитивно утицати и на *Plasmopara viticola*, проузроковача пламењаче винове лозе, који може значајно утицати на смањење приноса грожђа и квалитета вина, што ће захтијевати и већи број хемијских третмана (IPPC Secretariat 20216).

Интензивна појава *Bipolaris zeicola*, проузроковача мркосмеђе пјегавости листа кукуруза, забиљежена у Србији током 1980-их година, није била само посљедица растуће осјетљивих генотипова већ и климатских услова, посебно

повољних распореда падавина од краја јула до почетка августа. Овај и други патогени листа кукуруза (*Exserohilum turcicum*, *Kabatiella zeaе* и друго) више се не појављују, јер су сушне године постајале све чешће, посебно у периоду јул–август (Stanković et al. 2007).

У неким случајевима интеракција гљиве–штеточине у условима климатских промјена може проузроковати неуобичајену појаву болести до тада непознатих размјера. У Србији је у протеклих 50 година појава *Aspergillus flavus* на клипу кукуруза била ријетка и веома ниског интензитета. Међутим, неуобичајено висока учесталост и интензитет напада *A. flavus* на клипу кукуруза забиљежена је 2012. године, коју су карактерисали изузетно стресни агрометеоролошки услови, високе температуре и суша у периоду од цвјетања до воштане зрелости кукуруза. Кукурузни пламенац (*Ostrinia nubilalis*) други је фактор који је условио интензивну појаву овог патогена. Максимални лет лептира утврђен је веома рано, већ у јулу (5.149 јединки), посебно друге генерације која оштећује клип, а као посљедица тога у вријеме бербе утврђена су и бројна оштећења клипа на којима је био видљив развој маслинастозелених прашкастих колонија гљиве које су типичне за *A. flavus*. Појава ове гљиве на клипу кукуруза у 2012. години била је повезана са високим концентрацијама афлатоксина у зрну кукуруза (Lević et al. 2013).

Gioria et al. (2008) предвидјели су да ће климатске промјене имати негативан утицај на неке патогене парадајза, попут *Phytophthora infestans*, проузроковача пламењаче, *Verticillium albo-atrum*, проузроковача зеленог увенућа, и *Sclerotinia sclerotiorum*, проузроковача бијеле трулежи, док ће на неке патогене, како што су, на примјер, *Leveillula taurica*, проузроковач пепелнице, *Alternaria solani*, проузроковач црне пјегавости и *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, проузроковач фузариозног увенућа парадајза, климатске промјене испољити позитиван утицај.

11.3.2. Утицај климатских промјена на фитопатогене бактерије

Појава бројних врста фитопатогених бактерија које проузрокују економски знатне штете на многим врстама гајених биљака широм свијета настаје као посљедица глобалног загријавања. Као примјер може се навести знатнија појава три врсте фитопатогених бактерија на пиринчу којима погодују високе температуре, и то: *Acidovorax avenae* subsp. *avenae*, која инфицира планински пиринач у јужној Европи; *Burkholderia glumae*, која се појављује на пиринчу у јужним дијеловима САД, као и *Dickeya zeaе*, која напада пиринач у сјеверној Индији.

За фитопатогене бактерије које се преносе векторима од посебног значаја је утицај климатских промјена на присуство, ширење и бројност вектора. Као примјер може се навести бактерија карантинског статуса *Pantoea stewartii*, проузроковач пругавости листа и увенућа кукуруза, чија појава у великој мјери зависи од преживљавања њеног вектора – кукурузне бубе (*Chaetocnema pulicaria*) током зиме. Модел прогнозе заснован на зимским температурама предвиђа да је опстанак овог вектора већи у топлијим зимама (Petzoldt and Seaman 2006).

Модел дистрибуције биоклиматских врста показали су да фитопатогена бактерија карантинског статуса *Xylella fastidiosa*, проузроковач Пирсове болести, има потенцијал да се прошири изван тренутне зоне распрострањености и да може доћи до других подручја у Италији и у Европи (Trkulja 2014; Godefroid et al. 2018). Постоје различите подврсте ове бактерије, које се одликују различитим захтјевима према условима средине. Према предвиђањима процјене ризика, подврста *X. f. subsp. multiplex*, а донекле и *X. f. subsp. fastidiosa*, представљају пријетњу великом дијелу Европе, док су климатски погодна подручја за подврсту *X. f. subsp. pauca* углавном ограничена на медитеранске земље (Godefroid et al. 2019). Кроз модел предвиђања нивоа ризика, утврђено је да медитерански басен, посебно подручје Либана, представља највећи ризик за успостављање и ширење *X. fastidiosa* (Frem et al. 2020). Иако у многим медитеранским земљама *X. fastidiosa* није присутна, у блиској будућности се може очекивати њено ширење, при чему је посебно Турска у највећем ризику, а слиједе Грчка, Мароко и Тунис. Само три земље у региону (Бахреин, Либија и Јемен) подложне су најнижем нивоу ризика у смислу потенцијалне интродукције, успостављања и ширења бактерије. Наиме, проблем није ограничен само на Медитеран. На основу симптома болести и лабораторијске анализе, откривено је да је *X. fastidiosa* повезана са симптомима на бадему и Пирсовом болешћу винове лозе у неколико провинција Ирана (Amanifar et al. 2014), што указује да ће се ова бактерија почети ширити на сусједне земље Блиског истока.

Експериментална испитивања утицаја повишене концентрације CO₂ на *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*, проузроковача бактериозне пјегавости на инокулисаним биљкама парадајза, показала су негативан утицај на патогена, а позитиван на биљку. Истраживања су доказала да се бактерија значајно мање развијала на биљкама узгајаним при повећаној концентрацији CO₂, при чему је у оваквим условима дошло до значајно мањег развоја симптома и некрозе биљних ћелија (Zhang et al. 2015).

11.3.3. Утицај климатских промјена на фитопатогене вирусе и њихове векторе

Вируси инфицирају биљке домаћине кроз блиску повезаност са векторима, додајући на тај начин нову димензију троуглу болести. Избијање епидемија вироза биљака стога је јако повезано са климатским захтјевима вектора вируса (Malmstrom et al. 2011). Тако, на примјер, повећање температуре може да допринесе већој распрострањености вектора, као и развоју додатне генерације инсеката вектора, што може утицати на повећање векторске активности и преносивости неких значајних биљних вируса (Dobson 2009). Генерално топлији услови током јесењег и зимског периода утичу на повећање постојаности вектора у средњој и сјеверној Европи, а тиме и ризик од преношења вируса на неке озиме усјеве као што су озими јечам, пшеница и уљана репица (Roos et al. 2011). Осим тога, климатске промјене могу утицати и на биљке домаћине, као и на тип вектора повезаних са њима, одређујући тако интензитет утицаја на вирусе повезане са тим домаћином (Jones 2009). Такође, оне могу утицати и на бројност вектора, њихову миграцију и биологију (Canto et al. 2009). Jones and Barbeti (2012) дали су свеобухватан преглед о могућим ефектима директних и индиректних параметара климатских промјена на многе векторе, вирусе и биљке домаћине.

Познато је да лисне ваши снажно реагују на климатске промјене, а прије свега на повишене температуре, при чему оне у условима глобалног загријавања требају краће вријеме за развој генерације. Као посљедица долази до образовања већег броја генерација, што доводи до повећане бројности популација које могу да преносе вирусе, а што на крају може довести до веће појаве вирусних инфекција. Као примјер за ово могу се навести комплекс врста лисних вашију које преносе вирус жуте патуљавости јечма (*Barley yellow dwarf virus*, BYDV) на пшеници и јечму (Trkulja i Stojčić 2002), као и Y-вирус кромпира (*Potato virus Y*, PVY) на кромпиру. Након благих зима долази до ранијег појављивања и знатног кретања лисних вашију током прољећа, што доводи до већег нивоа инфекције пшенице и јечма вирусом жуте патуљавости јечма (BYDV), као и кромпира Y-вирусом кромпира (PVY).

Вирус жуте патуљавости јечма (BYDV) значајно угрожава принос и квалитет стрних жита, прије свега јечма, пшенице и зоби (Trębicki et al. 2015). Посебно су значајне посљедице његовог дејства након благих зима (Coakley et al. 1999; Trkulja i Stojčić 2002). С обзиром на то да овај вирус преносе лисне ваши, благе зиме и повишене температуре могу значајно утицати на економске губитке разних врста стрних жита које проузрокује овај вирус. Тако, на примјер, Napcarrow et al. (2014) наводе да су истраживања спроведена у Аустралији показала да су се након инокулације биљака пшенице вирусом жуте

патуљавости јечма симптоми брже развијали и титар вируса био је већи у биљкама јечма при повишеним температурама. Осим повишене температуре, Trębicki et al. (2015) испитивали су и утицај овог вируса на инокулисаним биљкама пшенице при повишеној концентрацији CO₂ у ваздуху, при чему су истраживања показала да је већи титар вируса забиљежен при повећаној концентрацији CO₂, што је утицало на ранију појаву и јаче испољавање симптома на инокулисаним биљкама пшенице. Међутим, не мора увијек да буде правило да повећање температуре или концентрације CO₂ позитивно утиче на патогене, а негативно на биљке. Тако су, на примјер, Zhang et al. (2015) у својим истраживањима утврдили да су повећане концентрације CO₂ смањиле инциденцу вируса мозаика дувана (*Tobacco mosaic virus*, TMV) на инокулисаним биљкама парадајза, док Huang et al. (2012) наводе да се отпорност биљака парадајза према вирусу увијености листа парадајза (*Tomato yellow leaf curl virus*, TYLCV) повећала при повишеној концентрацији CO₂ у експериментима на отвореном пољу.

Предвиђање утицаја климатских промјена на вирусе парадајза дали су Gioria et al. (2008), сматрајући да ће климатске промјене позитивно утицати на вирус бронзавости парадајза (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV), вирус хлоротичне пјегавости парадајза (*Tomato chlorotic spot virus*, TCSV), вирус прстенасте пјегавости кикирикија (*Groundnut ringspot virus*, GRSV) и вирус некрозе стабла хризантеме (*Chrysanthemum stem necrosis virus*, CSNV).

Осим тога, усљед климатских промјена неки вируси прилагођени узгоју биљака у заштићеном простору, као што је *Pepino mosaic virus* (*PepMV*), постају доминантнији у пољским условима. Такође, природне климатске баријере у умјеренијим регионима мијењају се усљед промјена у раним зимским температурама, омогућавајући природно ширење биљних вируса и њихових вектора великом брзином. Тако је у овим регионима повећана вјероватноћа појаве инсеката важних вектора биљних вируса, као што су лисне ваши, бијеле мушице и трипси, који могу изазвати озбиљне епидемије вирусоза разних биљака (Hunjan and Lore 2020).

11.4. Утицај климатских промјена на биљне штеточине

Утицаји климатских промјена на биљне штеточине могу бити јако сложени, а укључују директне и индиректне ефекте као и њихове интеракције. Климатске промјене утичу на инсекте, гриње, нематоде, али и друге организме (Prakash et al. 2014). Директни и индиректни ефекти климатских промјена на штеточине укључују промјене у њиховој географској дистрибуцији, промјене у сезонској фенологији и промјене у аспектима динамике популације (IPPC Secretariat

20216). Повећање температуре и концентрације CO₂ може допринијети већем броју генерација штеточина, што повећава могућност да оне надвладају отпорност биљака (Zaun et al. 2019).

Опште посљедице климатских промјена, прије свега глобалног загријавања на штетне инсекте, укључују проширење географског распона, повећање стопе преживљавања популација које презимљују, повећан ризик од уношења инвазивних врста инсеката, повећање појаве биљних болести које се преносе инсектима, смањену ефикасност биолошких средстава контроле, као што су природни непријатељи итд. (Choudhary et al. 2019; Skendžić et al. 2021; Trkulja et al. 2021).

Константно повећање кретања људи и транспорта робе, биљака и животиња широм свијета повећало је присуство и распрострањеност биљних патогена и штеточина, док ће климатске промјене створити нове еколошке нише које ће омогућити развој и ширење узрочника биљних болести и штеточина у нове регије (FAO 2021). Предвиђања су да ће се инсекти помјерити на веће надморске висине до 2055. године уз повећање броја генерација (Skendžić et al. 2021). Неке биљне штеточине су већ прошириле своју распрострањеност или круг домаћина усљед климатских промјена. Као примјер могу се навести јесења совица (*Spodoptera frugiperda*), поријеклом из Африке, која се недавно проширила и у земље региона Европске и медитеранске организације за заштиту биља (*European and Mediterranean Plant Protection Organization*, EPPO), а која напада велики број биљака, укључујући кукуруз, сирак и просо, као и медитеранска воћна мушица (*Ceratitis capitata*), која оштећује плодове бројних врста воћака. Обје наведене врсте знатно су прошириле ареал распрострањености због топлије климе, која је погоднија за њихов развој. Осим тога, очекује се да ће климатске промјене на различите начине дјеловати и на многе друге штеточине, као што је то на примјер пустињски скакавац (*Schistocerca gregaria*), који је најопаснија миграторна штеточина на свијету, код кога је дошло до промјене миграторних рута и географске распрострањености усљед климатских промјена (IPPC Secretariat 2021b).

Многе штеточине често је немогуће искоријенити након што се нађу на новој територији, а управљање њима је дуготрајан и скуп процес. Тако, на примјер, кукурузни пламенац (*Ostrinia nubilalis*) стара је биљна штеточина у Европи, док је 1916. године пренесена у Америку, гдје је наносила веће штете него у Европи (Almaši i sar. 2002). И Porter et al. (1991) наводе да је кукурузни пламенац у Европи проширио ареал распрострањења за више од 1.000 км према сјеверу. IPPC Secretariat (2021b) наводи да су неке штеточине прошириле своју распрострањеност и круг домаћина усљед климатских промјена. Међу најважнијим истичу се смарагдни јасенов красац (*Agrilus planipennis*), разне

врсте воћних мушица (*Bactrocera oleae*, *B. dorsalis* и *Ceratitis capitata*), црвена палмина пипа (*Rhynchophorus ferrugineus*) и друго. У овој, као и у многим другим сличним ситуацијама, до већих штета на новим стаништима долази због тога што није постојала коегзистенција биљке домаћина и штеточине у дужем периоду.

Промјена фенологије инсеката добар је показатељ климатских промјена (Shrestha 2019). Истраживања утицаја климатских промјена на штеточине као што је кромпирова златица и кукурузни пламенац указују на повољан утицај климатских промјена на ове штеточине у Чешкој. Резултати анализа предвиђају јако озбиљну опасност од кукурузног пламенца са двије генерације годишње, што је повећање за једну генерацију у односу на претходни период. Исти подаци су добијени и за кромпирову златицу, што представља ризик за угрожавање и повећање штета у пољопривредној производњи усљед промјена климе (Kostánková et al. 2009). Лисне ваши такође у условима повишене температуре производе додатне генерације и чак повишена температура скраћује њихове развојне стадијуме, што доводи до брже појаве одраслих јединки (Menéndez 2007). Раније појављивање инсеката након зимског периода игра значајну улогу у штетама на усјевима и засадима и броју генерација штетних инсеката. Као примјер може се навести ранија појава лета лисне ваши *Myzus persicae* на кромпиру за двије седмице на сваки 1 °C пораста средње температуре у јануару и фебруару (Shrestha 2019). Такође, код неких лептира (*Lepidoptera*) забиљежени су слични ефекти глобалног загријавања. Тако је, на примјер, у Шпанији забиљежена ранија појава неких врста летира за 1–7 недјеља, док су неке врсте рода *Microlepidoptera* у Холандији и Великој Британији доживјеле значајне фенолошке промјене, што је утицало на њихову ранију појаву (Menéndez 2007).

Такође, усљед климатских промјена долази до ширења и штетних инсеката који су вектори разних других штетних организама (фитоплазми, вируса, нематода и других), усљед чега долази и до ширења штетних организама које они преносе, а који понекад могу да проузрокују огромне директне и индиректне економске штете. Као примјер могу се навести инсекти из рода *Monochamus*, који су вектори борове нематодe (*Bursaphelenchus xylophilus*), која је поријеклом из Сјеверне Америке, гдје напада врсте рода *Pinus*, али не изазива њихово масовно пропадање (Jones et al. 2013). Поред инсеката и биљних патогена озбиљне штете могу проузроковати нематодe. То су организми који живе у земљишту, углавном безопасни и/или корисни кроз конзумацију штетних микроорганизама, мада постоје и оне врсте које су штетне за биљке, док неке представљају и озбиљну пријетњу за контролисане и неконтролисане екосистеме (IPPC Secretariat 2021b). Примјер озбиљне пријетње за борове у Азији, прије свега у Кини, Кореји и Јапану, као и у неким европским земљама

као што су Португалија и Шпанија јесте борова нематода. Одрасли инсекти из рода *Monochamus* преносе нематоду на јако велике географске удаљености. Очекује се да ће глобално загријавање све више фаворизовати сушење борова које узрокује ова нематода, јер инсектима из рода *Monochamus* погодују више температуре, посебно у умјереним регионима (Ikegami and Jenkins 2018). Бројне процјене ризика показале су да ће с да ће порастом температуре у умјереним подручјима смртност борова расти. На Медитерану, који је најугроженије подручје у Европи, висока смртност четинара би могла имати и озбиљне еколошке посљедице (IPPC Secretariat 2021b). Економски најзначајније нематоде за пољопривреду су из родова *Heterodera*, *Globodera* и *Meloidogyne*. За сојину нематоду (*Heterodera glycines*), која је економски најштетнија за соју у САД и Канади, али и на подручју Аргентине, Бразила и Кине, сматра се да ће глобално загријавање утицати на појаву већег броја генерација у току године, као и њено ширење ка сјеверу (IPPC Secretariat 2021b). Климатске промјене утичу и на нематоду родова *Xiphinema* и *Longidorus* који су вектори бројних фитопатогених вируса. Распрострањеност ових нематода у Великој Британији и Европи посљедица је повећаних јулских температура земљишта. Постепено загријавање може озбиљно утицати на присуство ових нематода, а самим тим и вироза разних биљака које оне преносе у дијеловима сјеверне Европе (Boag et al. 1991; Ghini et al. 2008).

11.5. Утицај климатских промјена на ширење карантинских штетних организама

Уз трговину, која се сматра главним путем за уношење карантинских штетних организама и инвазивних врста, глобално загријавање игра комплементарну улогу као други важан „покретач промјена“ који утиче на појаву и интензитет напада биљних болести и штеточина. Све то може имати одређене негативне економске посљедице на биљну производњу наметањем додатних трошкова за пољопривредне инпуте као што је на примјер заштита биља (Trkulja i sar. 2012). Извјештај FAO указује да инвазивне врсте и карантински штетни организми коштају свјетску економију чак 70 милијарди долара годишње (FAO 2021).

Очекује се знатан утицај климатских промјена на путеве уношења или ширења егзотичних штетних организама у нове географске регионе, јер како климатски услови постану повољнији, нове или миграторне врсте штетних организама могу постати и шире распрострањене у областима за које се раније сматрало да у њима нису присутне. Као примјер може се навести борова нематода (*Burodinesaphelenchus xylophilus*), која тренутно изазива

велике економске штете у Португалу (IPPC Secretariat 2021b), као и златасто жутило винове лозе, чији је проузроковач фитоплазма '*Candidatus Phytoplasma vitis*' (syn. *Flavescence dorée phytoplasma*), која је једна од најопаснијих и економски најштетнијих болести винове лозе. Појава ове фитоплазме први пут је забиљежена у југозападној Француској 1955. године, након чега је у посљедњих двадесетак година дошло до њеног наглог ширења, те је њено присуство утврђено и у Италији, Шпанији, Португалу, Швајцарској, Аустрији, Мађарској и Словенији, као и у Хрватској и Србији. У свим земљама у којима је утврђено присуство фитоплазме '*Ca. Phytoplasma vitis*', утврђено је и присуство њеног главног вектора цикаде *Scaphoideus titanus*, за коју се сматра да је усљед глобалног загријавања проширила своју географску распрострањеност у Европи и представља основни ризик за преношење и ширење наведене фитоплазме (Trkulja i sar. 2018). Вектор је тренутно широко присутан у европским земљама (Skendžić et al. 2021). Повећање температуре повећава ризик од уношења *S. titanus* у нова подручја и његовог даљег ширења на сјевер, гдје овај вектор до сада није био присутан (Boudon-Padieu and Maixner 2007). Са друге стране, дејство повећања температуре ваздуха на јужној граници распрострањености овог инсекта може довести и до смањења бројности популације или чак његовог изумирања у јужним дијеловима Италије (Boudon-Padieu 2007; Skendžić et al. 2021).

Симулације климатских промјена, прије свега повећања температуре ваздуха, у Финској указују на могућност појаве кромпирове цистолике нематодe (*Globodera rostochiensis*), а самим тим и на ограничања или чак немогућности гајења кромпира у јужним и нижим надморским висинама Финске, што представља јако озбиљан проблем, на шта су Carter et al. (1996) указали прије чак тридесет година.

Један од примјера брзог ширења карантинских штетних организама у новом подручју јесте и појава кукурузне златице (*Diabrotica virgifera virgifera*), прво у Србији (Сурчин), а затим и у цијелој Европи. Ова врста, у стадијуму имага, доспјела је из Америке путем авионског саобраћаја 1990–1992. године и веома брзо се ширила у разним правцима. Присуство одраслих инсеката забиљежено је на око 110.000–200.000 ха већ након три године од њене прве појаве (Almaši i sar. 2002).

Као посљедица климатских промјена и трговинског промета биљног материјала, посљедних година се на подручју Републике Српске, Босне и Херцеговине, Србије и земаља у окружењу све чешће интродукују, шире и добијају све већи значај карантински штетни организми као што су *Pear decline phytoplasma* (Trkulja i sar. 2004), *Tomato spotted wilt virus* (Trkulja et al. 2013a), *Acidovorax citrulli* (Popović and Ivanović 2015; Trkulja i sar. 2019), *Erwinia amylovora* (Popović

et al. 2020; Iličić and Popović 2021b), *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* (Iličić and Popović 2020, 2021a), 'Candidatus Liberibacter solanacearum' (Trkulja et al. 2021), *Ralstonia solanacearum* (Marković et al. 2021a) и *Dickeya dianthicola* (Marković et al. 2021b). Осим патогена карантинског значаја, у региону су по први пут описани и бројни економски важни патогени као што су новоописана врста *Pectobacterium zantedeschiae* sp. nov. (Waleron et al. 2019), *Impatiens necrotic spot virus* (Trkulja et al. 2013b), *Iris yellow spot virus* (Trkulja et al. 2013b), *Zucchini yellow mosaic virus* (Trkulja et al. 2014a), *Watermelon mosaic virus* (Trkulja et al. 2014b), *Dasheen mosaic virus* (Grausgruber-Gröger et al. 2016), 'Candidatus Phytoplasma solani' (Trkulja et al. 2016), затим врсте родова *Pectobacterium* (Popović i sar. 2018; Popović et al. 2019a; Marković et al. 2021b, 2022), *Pseudomonas* (Popović et al. 2015, 2019b; Nikolić et al. 2018; Iličić et al. 2022), *Brenneria* (Popović et al. 2013a) *Colletotrichum graminicola* (Cuevas-Fernández et al. 2019) и други. Појава и ширење све већег броја патогена указује на утицај глобалних климатских промјена на динамику популација проузроковача болести. Такође је важно истаћи и прилагођавање патогена новим домаћинима, као што је на примјер појава гљиве *Macrophomina phaseolina* на боровници, а која се раније углавном јављала на шећерној репи, соји, кукурузу и пшеници (Popović et al. 2018), као и еволуција бактерије *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* усмјерена ка адаптацији на новог домаћина уљану репицу (Popović et al. 2013b, 2019b; Jelušić et al. 2021a, 2021b).

11.6. Утицај климатских промјена на повећање присуства микотоксина у храни и храни за животиње

Генерално, очекује се да ће климатске промјене довести до повећаног присуства микотоксина у храни и храни за животиње, али сложеност микофлоре повезане са сваком биљном врстом и њена интеракција са животном средином значи да је тешко доносити уопштене закључке без посебних студија. Микотоксине производе обично гљиве из родова: *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium* и *Penicillium* (Hunjan and Lore 2020). Тако, на примјер, резултати истраживања која су спровели Battilani et al. (2016) и Van der Fels-Klerx et al. (2016) сугеришу да би глобално загађивање могло да прошири сјеверну границу ризика од појаве афлатоксина у кукурузу у Европи. Такође, и Medina (2017) је истраживао утицај климатских промјена на токсигене гљиве, испитујући ефекте трофакторијалних интеракција између повишеног CO₂ (350–400 ppm наспрам 650–1.200 ppm), пораста температуре (од +2 °C до +5 °C) и стреса од суше на производњу микотоксина од стране

кључних врста гљива, које изазивају кварење жита и орашастих плодова, укључујући врсте рода *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium* и *Penicillium*, при чему је, између осталог, утврдио значајно повећање производње афлатоксина Б1 *in vitro* и *in vivo* код кукуруза од стране врсте *Aspergillus flavus*. Најпознатији микотоксин који је одговоран и за канцерогене болести јесте управо афлатоксин, који је производ секундарног метаболизма врсте *Aspergillus flavus* (Hunjan and Lore 2020). Насупрот томе, понашање других врста рода *Aspergillus*, одговорних за контаминацију низа пољопривредних производа охратоксином А, као и врсте *Fusarium verticillioides*, која производи фумонизине, код којих при истим условима није дошло до повећања производње микотоксина, сугерише да су неке врсте гљива отпорније на климатске промјене од других, посебно у погледу производње микотоксина.

Осим ефеката климатских промјена на најчешће токсигене врста гљива, климатске промјене могу такође утицати и на производњу микотоксина код неких мање познатих продуцентата микотоксина, као што су врсте из родова *Alternaria* и *Mirothecium* (Siciliano et al. 2017a, 2017b). Истраживањем Bagi et al. (2022) код гљива из рода *Alternaria* утврђена је висока концентрација микотоксина на вјештачки зараженом зрну пшенице, чиме је потврђен ризик од потенцијалне контаминације од стране микотоксина и уласка отровних једињења у ланац исхране.

11.7. Мјере за превенцију, ублажавање и прилагођавање утицаја климатских промјена на болести и штеточине биљака

Процјене су да ће током наредних стотину година глобалне температуре расти заједно са повећањем нивоа CO₂ и O₃ у атмосфери, што ће утицати на географску и временску дистрибуцију појаве разних врста штетних организама. То ће утицати на потребу да се модификују мјере за њихово сузбијање у складу са сценаријима климатских промјена (IPPC Secretariat 2021b). Због тога, неопходно је да се анализирају све мјере које се могу предузети у циљу спречавања, ублажавања и прилагођавања потенцијалним ефектима климатских промјена на штетне организме, а самим тим и на здравље биљака.

11.7.1. Мјере за превенцију утицаја климатских промјена на болести и штеточине биљака

Најефикаснији начин да се спријечи и ограничи међународно ширење болести и штеточина биљака кроз трговину и кретање путника јесте регулисање њиховог кретања фитосанитарним мјерама и обезбјеђење примјене добре пољопривредне праксе како би се појава штетних организама свела на што нижи ниво.

Фитосанитарне мјере. Фитосанитарно законодавство за увоз живих биљака, дијелова биљака и биљних производа представља прву линију одбране у било којој превенцији међународног ширења карантинских штетних организама. Циљ фитосанитарног регулаторног система при увозу јесте да спријечи уношење карантинских и некарантинских регулисаних штетних организама са увезеном робом и другим регулисаним објектима. Да би фитосанитарни систем при увозу биља био ефикасан, важно је имати могућност да се добро процијене ризици, узимајући у обзир и климатске промјене, те да се на основу тих резултата ураде могући сценарији управљања ризиком. Осим тога, веома је важно да надлежне фитосанитарне службе имају добро организоване активности надзора и праћења појаве болести и штеточина биљака с циљем брзог откривања нових интродукција, како би биле у могућности да брзо реагују на њих и да предузму одговарајуће мјере за њихово сузбијање и/или ерадикацију (Lopian 2018; Carvajal-Yepes et al. 2019; Giovanì et al. 2020). Употреба географских информационих система и алата за усклађивање и процјену климатских промјена могу користити карантинским службама за одређивање пријетње коју представљају поједине врсте патогена и штеточина пољопривредних биљака и шумског дрвећа у условима тренутне и будуће климе (Coakley et al. 1999).

Анализа ризика од штетних организама. Камен темељац сваког ефикасног фитосанитарног регулаторног система за увоз живих биљака, дијелова биљака и биљних производа јесте доступност процјене ризика коју спроводи национална организација за заштиту биља (НОЗБ). Анализа ризика од штетних организама процјењује вјероватноћу уношења и ширења штетних организама и величину њихових потенцијалних економских посљедица у дефинисаном подручју користећи биолошке или друге научне и економске показатеље. Осим тога, овом анализом треба да се идентификују и потенцијалне опције управљања ризиком, чијом примјеном се ризик може смањити на прихватљив ниво. Анализа ризика од штетних организама такође узима у обзир садржај пошиљке биља која се увози и ризике повезане са њом из земље поријекла (IPPC Secretariat 2021б). Као помоћ многим државама постоји дефинисан скуп специфичних стандарда за процјену ризика који је

развијен од стране секретаријата Међународне конвенције о заштити биља (*International Plant Protection Convention*, IPPC). Како климатске промјене утичу на биологију и епидемиологију штетних организама, активности процјене ризика ће морати да се интензивирају на националном, регионалном и међународном нивоу, а аспекти климатских промјена ће морати да буду укључени у процјену ризика за здравље биљака (Lorían 2018). Уношење и ширење карантинских штетних организама може се спријечити само ако су НОЗБ свјесне ризика, при чему та свијест првенствено треба да буде резултат процјене ризика (IPPC Secretariat 2021б).

Надзор и праћење. Једна од најважнијих активности НОЗБ је надзор и праћење штетних организама, што им омогућава да рано открију интродуковане штетне организме и сходно томе предузму актуелне мјере контроле и искорјењивања. Обично, што се прије открије присуство штетног организма након уношења, већа је вјероватноћа да ће мјере искорјењивања бити успјешне. Сходно томе, једна од главних компоненти стратегије за рјешавање опасности од уноса штетних организама у промјенљивим климатским условима мора бити квалитетно и континуирано спровођење праћења и надзора, како би се омогућило откривање интродукције нових штетних организама (FAO 2008). Варијабилност климе или климатске промјене имаће значајне ефекте на дизајнирање и спровођење одговарајућих програма надзора и мониторинга од стране званичних фитосанитарних служби. Ово тим прије, јер је према Suggitt et al. (2018) знање о ефектима климатских промјена на дистрибуцију и екологију појединих врста штетних организама још недовољно, због чега је у наредном периоду истраживањима у овој области потребно посветити више пажње.

Међународна сарадња и размјена информација. Међународна размјена информација о трговинским токовима, појавама биљних патогена и штеточина и њиховог пресретања од огромне је важности да би се надокнадио недостатак информација које су подстакле научна истраживања о утицају климатских промјена на здравље биљака (IPPC Secretariat 2021б). Очекује се да ће климатске промјене у будућности измијенити постојеће агроклиматске зоне, што би могло да доведе до нових трговинских токова у циљу обезбјеђења пољопривредних производа земљама које највише пате од њиховог недостатка (King et al. 2018). У случајевима када се производња усјева за одређене врсте мијења као резултат климатских промјена, мијењаће се и трговачки путеви за те врсте (Lorían 2018). Предвиђа се да ће климатске промјене довести до повећања међународне трговине пољопривредним производима у смислу физичког обима и комерцијалне вриједности (IPCC 2014).

Помјерање зона пољопривредне производње, измијењени трговински токови и посљедични пораст међународне трговине пољопривредним производима ће, у комбинацији са ограниченим знањем о понашању штетних организама у новим климатским и екосистемским условима, резултирати недостатком поузданих, научно провјерљивих информација на основу којих надлежни органи за процјену ризика могу засновати своје процјене и мјере ублажавања. Овај недостатак би се могао ублажити успостављањем поуздане међународне мреже за размјену информација о појавама штетних организама и могућим путевима њиховог преношења и ширења. Стога, остаје много тога да се уради на побољшању међународне размјене информација (IPPC Secretariat 2021б).

11.7.2. Мјере за ублажавање и прилагођавање утицаја климатских промјена на болести и штеточине биљака

Побољшана отпорност биљака домаћина као лака, ефикасна, једноставна и еколошки оправдана мјера, као и адаптација на примјену пестицида два су најефикаснија начина прилагођавања заштите гајених биљака у условима климатских промјена. Друге опције укључују прилагођавање времена сјетве, дужи плодород, побољшану прогнозу појаве штетних организама, давање циљаних препорука, те прилагођавање агрономских пракси, као што су наводњавање и ђубрење (Juroszek and von Tiedemann 2015). У контексту прилагођавања система узгоја усјева климатским промјенама, гајење сорти и хибрида различитих врста пољопривредних биљака које су отпорне на различите врсте штетних организама једна је од најпожељнијих опција (Miedaner and Juroszek 2021а, 2021б). Такође, сорте и хибриди отпорни на сушу, високе температуре и штетне организме кључни су за безбједност хране код великог броја значајних биљних врста.

С обзиром на то да је гајење отпорних сорти најрентабилнија мјера борбе и ублажавања штетних ефеката климатских промјена, потребно је нагласити да температура има великог утицаја на отпорност биљака. Примјер за ово дали су у свом истраживању Huang et al. (2006) на уљаној репици. Показало се да на отпорност сорте „DarmorMX“ према *Leptosphaeria maculans* велики утицај има температура. Отпорност сорте се јасно разликовала при температури од 15 °C и 25 °C. Сорте је испољила већу отпорност при нижој у односу на вишу температуру. Осим утицаја температуре на отпорност или осјетљивост сорти забиљежен је утицај и на повећану агресивност и прилагођеност патогена условима повишене температуре, што потврђују у својим истраживањима Milus et al. (2009) са новијим изолатима *Puccinia striiformis*, проузроковача жуте или црточасте рђе стрних жита. Температура није једини и најважнији

фактор, иако некад гени отпорности могу да не испоље свој ефекат при вишим температурама јер и други фактори попут падавина, дужине трајања влажности листа, типа земљишта и доступности воде и хранљивих материја, имају важну улогу на испољавање отпорности поједних сорти и хибрида различитих биљних врста (Juroszek and von Tiedemann 2011). На основу овога може се да закључити да је стварање отпорних сорти и хибрида дуготрајан и мукотрпан процес који треба да обухвати већи број фактора како би дао задовољавајуће резултате кроз дужи период.

Осим тога, адаптација на примјену пестицида такође је веома важна мјера ублажавања и прилагођавања утицају климатских промјена на штетне организме. Тако је, на примјер, према Wolfe et al. (2008) у појединим регијама на сјеверним географским ширинама потребан већи број апликација фунгицида због честих падавина које узрокују потешкоће у задржавању контактних фунгицида на биљци. Увођење нових фунгицида са већом ефикасношћу у условима падавина може помоћи да се овај проблем минимизира (Hannukkala et al. 2007). Као одговор на вишу концентрацију CO₂ и повишену температуру, код неких биљака долази до промјене морфолошких карактеристика, које се манифестују у виду смањених отвора стома или формирања нешто дебљег слоја епикутикларних воскова на листу, што може утицати на смањење или одлагање усвајања и транслокације системичних фунгицида (Juroszek and von Tiedemann 2011). Ефикасност фунгицида се може повећати и правилним временом њихове примјене. Такође, при вишим концентрацијама CO₂ и повишеној температури за сузбијање неких патогена могао би бити потребан већи број апликација фунгицида. Као примјер може се навести процјена да би због повишених температура у сјеверозападном дијелу Италије до краја XXI вијека требало у праксу увести још два додатна третмана фунгицидима за сузбијање *Plasmopara viticola* проузроковача пламењаче винове лозе (Juroszek and von Tiedemann 2011). Анализа комбинације климатских сценарија и модела усјева уљане репице у Шкотској и Енглеској у периоду 2020–2050. године предвиђа да ће комбинације климатских промјена негативно утицати на *L. maculans*, проузроковача рака стабла уљане репице у Шкотској, и самим тиме смањити потребу за хемијским третманима фунгицидима чија употреба неће више бити ни економски оправдана, док ће климатске промјене у јужној Енглеској повећати интензитет напада овог патогена и смањење приноса уљане репице, што имплицира за већом потребом хемијских третмана. Осјетљиве сорте јаче ће бити погођене болешћу и већим смањењем приноса од отпорнијих (Butterworth et al. 2010).

Повећан број третмана повлачи за собом повећање трошкова производње и доводи у питање њену рентабилност у земљама трећег свијета, гдје још нису довољно добро регулисане мјере аграрне политике које се односе на помоћ

и подстицаје пољопривредним произвођачима. У САД истраживан је утицај падавина и температуре на трошкове заштите, при чему је утврђено да у усјевима кукуруза, памука, соје, кромпира и пшенице више падавина је повећало трошкове заштите, док је код кукуруза, памука, кромпира и соје топлије вријеме повећало трошкове примјене средстава за заштиту биља (СЗБ), а код пшенице смањило (Chen and McCarl 2001). Поред повећања трошкова топли и влажни услови могу повећати и ефикасност СЗБ кроз појачано и лакше усвајање активних супстанци, али и фитотоксичност (Juroszek and von Tiedemann 2011). Висока температура и влажни услови утичу и на разградњу и испаравање СЗБ. Повећање уноса фолијарних препарата а смањење испаравања зависи од физичко-хемијских карактеристика активне супстанце, формулације производа, времена примјене, дозе примјене, расподјеле на површину листа и технологије примјене (Juroszek et al. 2020).

Високи распони температуре и концентрације CO_2 подстичу раст биљака, а то утиче на мању доступност пестицида по биљци, што је праћено и мањим кретањем и уносом пестицида из горњих дијелова у коријен биљака због смањене транспирације усљед мањка падавина. Климатске промјене као што су повећање температуре, смањење падавина и високе концентрације CO_2 могу имплицирати развој резистентности патогена на фунгициде, а тиме и потребу за додатним третманима фунгицидима (Hunjan and Lore 2020).

Избор стратегија прилагођавања зависиће од многих фактора. Трошкови су један од фактора, те би требало истражити исплативије стратегије адаптације (прилагођавања), као што су, на примјер, промјена датума сјетве или жетве и избор сорте и хибрида, како би се смањила осјетљивост биљака на климатске промјене (Srivastava et al. 2010). Практичност промјене датума садње, сјетве или жетве, међутим, зависи од потенцијалног смањења приноса и локације на којој се усјев или засад гаји, преференције фармера и потрошача према гајеним сортама и хибридима, као и ситуације на тржишту (Wolfe et al. 2008).

Плодоред игра јако велику улогу као једна од мјера ублажавања климатских промјена и смањења трошкова производње. Тако, на примјер, Juroszek and von Tiedemann (2011) наводе на основу експеримента у Финској да се пламењача кромпира јавља раније на парцелама на којима је предусјев такође био кромпир у односу на парцеле на којима је предусјев била нека друга биљна врста. Осим плодореда, исти аутори указују и на значај здруживања усјева и гајење међуусјева, као и на примјену соларизације земљишта као јефтине, ефикасне и јако добре мјере контроле земљишних патогена. Притом је битно знати да на успјешност соларизације утиче и влажност земљишта: што је земљиште сувље, соларизација је мање ефикасна

и обрнуто. У сувим условима требало би примијенити наводњавање и што дужи третман соларизације како би се постигли позитивни ефекти.

Све напријед наведене опције могу играти улогу у омогућавању фармерима да ублаже и прилагоде се повећаном ризику од штетних организама. Међутим, генерално гледано, биће важно дефинисати приоритете и примијенити добру пољопривредну праксу и оне технологије које, осим прилагођавања климатским промјенама, истовремено могу допринијети повећању продуктивности гајених биљака, али и смањеној емисији гасова са ефектом стаклене баште, који су значајни за промјену климе, укључујући CO₂, N₂O и CH₄ (IPPC Secretariat 2021b).

Активности анализе ризика од штетних организама морају се интензивирати на националном, регионалном и међународном нивоу, при чему аспекти климатских промјена морају бити укључени у процјену ризика од штетних организама. Директан ефекат климатских промјена на ефикасност усвојених стратегија управљања, посебно на хемијске или биолошке мјере контроле, није довољно проучен и требало би га много више истраживати кроз израду различитих студија о утицају климатских промјена на СЗБ и стратегије сузбијања штетних организама (Gilardi et al. 2017; Gullino et al. 2020). Утицаји климатских промјена на природне непријатеље и антагонисте, као и накнадни ефекат примјене појединих мјера сузбијања штетних организама још нису довољно проучени (Eigenbrode et al. 2015). Боље разумијевање утицаја климатских промјена на укупне еколошке процесе, укључујући и оне на нивоу екосистема, омогућиће да се општи принципи позитивних аспеката ових утицаја уграде у добру пољопривредну праксу сузбијања штетних организама (Macfayden et al. 2018).

Такође, постоји потреба за мултидисциплинарном сарадњом, координацијом и размјеном знања при биолошким истраживањима ефеката климатских промјена на штетне организме. Ова проблематика би требало да окупи научнике и истраживаче из различитих области који раде на различитим биотома унутар истих или различитих екосистема и сектора, као што су пољопривреда, шумарство и природни екосистеми (Jactel et al. 2020). Интердисциплинарни приступи у условима климатских промјена посебно су важни код појединих врста штетних организама који мијењају свој круг домаћина приликом преласка између екосистема којима се не управља и екосистема којима се управља, што може довести до појаве нових врста штетних организама у усјевима и засадима гајених биљака или у шумским екосистемима (Jones 2016; Popović et al. 2018; Jelušić et al. 2021a, 2021b).

Према Carvajal-Yepes et al. (2019) међународна сарадња је кључна за успјех појединих држава у прилагођавању стратегија сузбијања штетних организама

у условима климатских промјена. То је зато што ефикасно управљање од стране једне државе утиче на успех управљања других држава, пошто штетни организми не познају границе. Међународна сарадња може бити глобална или регионална. Успостављање механизма за глобалну координацију фитосанитарних истраживања, како је предложено у стратешком оквиру 2020–2030. године Међународне конвенције о заштити биља (*International Plant Protection Convention*, IPPC), могло би повећати научну сарадњу, побољшати координацију напора, омогућити оптимално коришћење ресурса и олакшати усклађивање циљева. Ово би могло помоћи не само унапређењу науке већ и ојачати научну основу међународних напора за процјену и управљање утицајем климатских промјена на здравље биљака, чиме би се помогло заштити пољопривреде, шумарства, животне средине и трговинских активности од штетних организама (FAO 2021).

На регионалном нивоу, анализа сценарија потенцијалних одговора на климатске промјене може помоћи у креирању стратегија за прилагођавање регионалном управљању штетним организмима (Garrett et al. 2018). Међутим, иако многе националне и регионалне организације за заштиту биља раде на праћењу и контроли избијања појаве штетних организама у појединим усјевима и засадима гајених биљака, као и шумским екосистемима, многе земље не дијеле информације ефикасно, одлажући координисане одговоре на превенцију и ширење болести и штеточина. Стога би подршка изградњи капацитета у овим земљама требало да буде суштинска компонента међународне сарадње. Уз подршку међународних организација, глобални форуми за размјену информација могли би бити изузетно корисни (IPPC Secretariat 2021b).

Изградња капацитета за прилагођавање климатским промјенама, такође, подразумијева и проналажење начина за управљање финансијским ризиком. Ово се понекад може постићи, барем дјелимично, кроз осигурање усјева, које је пожељна опција за заштиту средстава за живот фармера у условима климатских промјена. Међутим, осигурање нужно не штити продуктивност и може подстаћи наставак производње одређених усјева у регионима гдје ти усјеви више нису погодни за нову средину (Falco et al. 2014). Осим тога, улагања националне владе требало би да се фокусирају на јачање националних система и структура за надзор, као што су дијагностичке лабораторије, тако да се могу брзо супротставити могућим биолошким инвазијама. Штавише, потребно је успоставити организационе јединице за процјену ризика које добро функционишу како би оне спријечиле уношење и ширење појединих значајних врста карантинских и економски значајних биљних патогена и штеточина (IPPC Secretariat 2021b).

11.8. Закључак

Посљедњих деценија дошло је до обимних истраживања о ефектима климатских промјена на штетне организме у различитим екосистемима, што је резултирало бројним публикацијама. Већина студија указује на то да ће се, генерално, ризик од штетних организама повећати у пољопривредним екосистемима према сценаријима актуелних климатских промјена, посебно у данашњим умјереним и хладнијим регионима.

Добијени резултати указују на то да ће све климе бити подложне промјенама, али да ће природа и обим утицаја варирати у зависности од способности производних система и природних екосистема да се прилагоде и еволуирају.

У многим случајевима климатске промјене ће довести до повећања ризика за здравље биљака у управљаним (на примјер, пољопривреда, хортикултура, шумарство), полууправљаним (на примјер, национални паркови) и вјероватно неуправљаним екосистемима. Прилагођавања стратегија заштите биља због климатских промјена већ данас су потребна, али се процјењује да ће она бити још важнија у будућности, под претпоставком да се остваре пројектовани сценарији климатских промјена.

Постоје могућности за рјешавање проблема уношења и ширења биљних патогена и штеточина који могу настати у условима глобалних климатских промјена, укључујући: континуирани или посебан надзор и праћење појаве појединих штетних организама; процјене ризика на националном, регионалном и међународном нивоу и сходно томе прописивање мјера сузбијања или искорјењивања ризичног штетног организма; примјену прописаних фитосанитарних мјера у производним условима или при увозу сјемена, садног материјала, пољопривредних и шумарских производа; прилагођавање технологије гајења биљака према промјенљивим условима, са посебним акцентом на примјену пестицида који могу имати негативни утицај на животну средину; оплемењивање биљака у промјенљивим условима и гајење сорти или хибрида шире генетичке основе; спровођење свих мјера које могу утицати да се успоре процеси већих климатских промјена, при чему значајну улогу има држава, као и подршка шире јавности; успостављање ближих веза између здравља биља и политике заштите животне средине; холистички приступ у проучавању биљних патогена и штеточина, биљака домаћина и њихових интеракција, због чега је неопходан мултидисциплинарни приступ, као и интензивирање међународне сарадње и размјене информација.

Литература

- Almaši R, Bača F, Čamprag D, Sekulić R (2002) Štetočine kukuruza i njihovo suzbijanje. U: Kolektiv autora (urednici) Bolesti, štetočine i korovi kukuruza i njihovo suzbijanje, str 265–491. Institut za kukuruz „Zemun Polje“ i DOO „Školska knjiga“
- Amanifar N, Taghavi M, Izadpanah K, Babaei G.(2014) Isolation and Pathogenicity of *Xylella fastidiosa* from Grapevine and Almond in Iran. *Phytopathologia Mediterranea* 53(2):318–327
- Bagi F, Iličić R, Savić Z, Jevtić R, Orbović B, Suman M, Tóth B, Berényi A, Popović T (2022) Toxigenic Potential of *Alternaria* species from Cereals. The 7th International Scientific Meeting: Mycology, Mycotoxicology, and Mycoses, June 02 – 03, 2022, Novi Sad, Matica Srpska, Book of Abstracts, p 21
- Bača F, Lević J, Stanković S, Stefanović L, Simić M, Gošić-Dondo S (2005) Importance of Changes in the Population Composition of Harmful Insects, Pathogens and Weeds Within the Maize Ecosystem. International Maize Conference: Accomplishments and Perspectives – 60th Anniversary of Maize Research Institute „Zemun Polje“, October 26 – 28, 2005, Belgrade, Research Institute „Zemun Polje“, Book of Abstracts, pp 17–18
- Battilani P, Toscano P, van der Fels-Klerx HJ, Moretti A, Camardo Leggieri M, Brera C, Rortais A, Goumperis T, Robinson T (2016) Aflatoxin B1 Contamination in Maize in Europe Increases Due to Climate Change. *Scientific Reports* 6(1):1–7. doi.10.1038/ srep24328
- Boag B, Crawford J, Neilson R (1991) The Effect of Potential Climatic Changes on the Geographical Distribution of the Plant-Parasitic Nematodes *Xiphinema* and *Longidorus* in Europe. *Nematologica* 37:312–323
- Bodiroga R, Vico G, Perkovic G, Yushkov V, Tomić A (2017) Potential and Insufficiently Represented Modalities for Financing of Agriculture in the Entity of the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina). VIII International Scientific Agriculture Symposium „Agrosym 2017“, October 05 – 08, 2017, Jahorina, University of East Sarajevo, Faculty of Agriculture, Book of Proceedings, pp 2302–2308
- Boudon-Padieu E (2000) Grapevine phytoplasmas. First Internet Conference on Phytopathogenic Mollicutes, May 24 – 29, 1999. Доступно на: <http://www.uniud.it/phytoplasma/conf.html>, Приступљено: 10. јун 2001
- Boudon-Padieu E, Maixner M (2007) Potential Effects of Climate Change on Distribution and Activity of Insect Vectors of Grapevine Pathogens. Global Warming, Which Potential Impacts on the Vineyards? March 28 – 30 2007, Beaune, Le Centre de Recherches de Climatologie de l’université de Bourgogne. Доступно на: <https://hal.inrae.fr/hal-02758434>, Приступљено: 19. јун 2022

- Bowes G (1993) Facing the Inevitable: Plants and Increasing Atmospheric CO₂. *Annual Review of Plant Biology* 44(1):309–332
- Butterworth MH, Semenov MA, Barnes A, Moran D, West JS, Fitt BD (2010) North–South Divide: Contrasting Impacts of Climate Change on Crop Yields in Scotland and England. *Journal of the Royal Society Interface* 7(42):123–130. doi.10.1098/rsif.2009.0111
- Van der Fels-Klerx HJ, Liu C, Battilani P (2016) Modelling Climate Change Impacts on Mycotoxin Contamination. *World Mycotoxin Journal* 9(5):717–726. doi.10.3920/WMJ2016.2066
- Váry Z, Mullins E, McElwain JC, Doohan FM (2015) The Severity of Wheat Diseases Increases when Plants and Pathogens Are Acclimatized to Elevated Carbon Dioxide. *Global Change Biology* 21(7):2661–2669. doi.10.1111/gcb.12899
- Garrett KA, Dendy SP, Frank EE, Rouse MN, Travers SE (2006) Climate Change Effects on Plant Disease: Genomes to Ecosystems. *Annual Review of Phytopathology* 44:489–509. doi.10.1146/annurev.phyto.44.070505.143420
- Garrett KA, Alcalá-Briseño RI, Andersen KF, Buddenhagen CE, Choudhury RA, Fulton JC, Hernandez Nopsa JF, Poudel R, Xing Y (2018) Network Analysis: A Systems Framework to Address Grand Challenges in Plant Pathology. *Annual Review of Phytopathology* 56(1):559–580. doi.10.1146/annurev-phyto-080516-035326
- Gilardi G, Gisi U, Garibaldi A, Gullino ML (2017) Effect of Elevated Atmospheric CO₂ and Temperature on the Chemical and Biological Control of Powdery Mildew of Zucchini and the Phoma Leaf Spot of Leaf Beet. *European Journal Plant Pathology* 148:229–236. doi.10.1007/s10658-016-1078-4
- Gioria R, Brunelli KR, Kobori RF (2008) Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças de hortaliças: tomate, um estudo de caso. *Summa Phytopathologica* 34:121–122
- Giovani B, Blümel S, Lopian R, Teulon D, Bloem S, Galeano Martínez C, Beltrán Montoya CB, Ramon Urias Morales CRU, Dharmapuri S, Timote V, Horn N, Chouibani M, M’Ella JGM, Herrera V, Castinel A, Goletsos C, Moeller C, Naumann I, Stancanelli G, Bronzwaer S, Tramontini S, MacDonald P, Matheson L, Anthoine G, Jonghe KD, Schenk M, Steinmüller S, Rodriguez E, Cruz ML, Luck J, Fraser G, Brunel S, Montuori M, Fedchock C, Steel E, Pennington HG, Roger Day R, Rossi JP, Xia J (2020) Science Diplomacy for Plant Health. *Nature Plants* 6(8):902–905. doi.10.1038/s41477-020-0744-x
- Godefroid M, Cruaud A, Streito JC, Rasplus JY, Rossi JP (2018) Climate Change and the Potential Distribution of *Xylella fastidiosa* in Europe. Доступно на: <https://hal.inrae.fr/hal-02791548>, Приступљено: 21. јун 2022
- Godefroid M, Cruaud A, Streito JC, Rasplus JY, Rossi JP (2019) *Xylella fastidiosa*: Climate Suitability of European Continent. *Scientific Reports* 9(1):8844. doi.10.1038/s41598-019-45365-y
- Gullino ML, Tabone G, Gilardi G, Garibaldi A (2020) Effects of Elevated Atmospheric CO₂ and Temperature on the Management of Powdery Mildew of Zucchini. *Journal of Phytopathology* 168(7–8):405–415. doi.10.1111/jph.12905

- Ghini R, Hamada E, Bettiol W (2008) Climate Change and Plant Diseases. *Scientia Agricola* 65(SPE):98–107
- Grausgruber-Gröger S, Richter S, Mihić Salapura J, Kovačić Jošić D, Trkulja V, Reisenzein H (2016) First Report of *Dasheen mosaic virus* in *Zantedeschia* in Bosnia and Herzegovina. *New Disease Reports* 33(1):13. doi.10.5197/j.2044-0588.2016.033.013
- Dobson A (2009) Climate Variability, Global Change, Immunity, and the Dynamics of Infectious Diseases. *Ecology* 90(4):920–927. doi.10.1890/08-0736.1
- Dossa GS, Oliva R, Maiss E, Wydra K (2015) High Temperature Enhances the Resistance of Cultivated African Rice, *Oryza glaberrima*, to Bacterial Blight. *Plant Disease* 100(2):380–387. doi.10.1094/PDIS-05-15-0536-RE
- Eastburn D, Degennaro M, Delucia E, Dermody O, Mcelrone A (2010) Elevated Atmospheric Carbon Dioxide and Ozone Alter Soybean Diseases at SoyFACE. *Global Change Biology* 16(1):320–330. doi.10.1111/j.1365-2486.2009.01978.x
- Eigenbrode SD, Davis TS, Crowder DW (2015) Climate Change and Biological Control in Agricultural Systems: Principles and Examples from North America. In: Björkman C, Niemelä P (eds) *Climate Change and Insect Pests*, pp 119–135. CABI
- Evans N, Butterworth MH, Baierl A, Semenov MA, West JS, Barnes A, Moran D, Fitt BD (2010) The Impact of Climate Change on Disease Constraints on Production of Oilseed Rape. *Food Security* 2(2):143–156. doi.10.1007/s12571-010-0058-3
- Zhang S, Li X, Sun Z, Shao S, Hu L, Ye M, Zhou Y, Xia X, Yu J, Shi K (2015) Antagonism Between Phytohormone Signalling Underlies the Variation in Disease Susceptibility of Tomato Plants Under Elevated CO₂. *Journal of Experimental Botany* 66(7):1951–1963. doi.10.1093/jxb/eru538
- Zayan SA (2019) Impact of Climate Change on Plant Diseases and IPM Strategies. In: Topolovec-Pintaric S (ed) *Plant Diseases: Current Threats and Management Trends*, pp 83–95. IntechOpen
- Iličić R, Popović T (2020) Occurrence of *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* Causing Bacterial Leaf Spot and Shot-Hole on Peach in Montenegro. *Plant Disease* 104(4):1250. doi.10.1094/PDIS-06-19-1309-PDN
- Iličić R, Popović T (2021a) Occurrence of Bacterial Spot Caused by *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* on Peach and Apricot in Serbia. *Plant Disease* 105(3):697. doi.10.1094/PDIS-08-20-1817-PDN
- Iličić R, Popović T (2021b) Survey of Apple Collar and Rootstock Blight in Serbia. *Acta Agriculturae Serbica* 26(51):63–68. doi.10.5937/AASer2151063I
- Iličić R, Jelušić A, Marković S, Barać G, Bagi F, Popović T (2022) *Pseudomonas cerasi*, the New Wild Cherry Pathogen in Serbia and the Potential Use of *recG* Helicase in Bacterial Identification. *Annals of Applied Biology* 180(1):140–150. doi.10.1111/aab.12717
- Ikegami M, Jenkins TAR (2018) Estimate Global Risks of a Forest Disease Under Current and Future Climates Using Distribution Model and Simple Thermal

- Model – Pine Wilt Disease as a Model Case. *Forest Ecology and Management* 409:343–352. doi.10.1016/j.foreco.2017.11.005
- IPCC (2014) Summary for Policymakers. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, Whiteet LL (eds) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp 1–32. Cambridge University Press
- IPCC (2018) *Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C Above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty* [Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner HO, Roberts D, Skea J, Shukla PR, Pirani A, Moufouma-Okia W, Péan C, Pidcock R, Connors S, Matthews JBR, Chen Y, Zhou X, Gomis MI, Lonnoy E, Maycock T, Tignor M, Waterfield T (eds)], IPCC, pp 630
- IPPC Secretariat (2021a) *Plant Health and Climate Change*. FAO on Behalf of the IPCC Secretariat, Rome, pp 2
- IPPC Secretariat (2021b) *Scientific Review of the Impact of Climate Change on Plant Pests – A Global Challenge to Prevent and Mitigate Plant Pest Risks in Agriculture, Forestry and Ecosystems*. FAO on Behalf of the IPCC Secretariat, Rome, pp 72
- Jactel H, Desprez-Loustau ML, Battisti A, Brockerhoff E, Santini A, Stenlid A, Björkman C, Branco M, Dehnen-Schmutz K, Douma JC, Drakulic J, Drizou F, Eschen R, Franco JC, Gossner MM, Green S, Kenis M, Klapwijk MJ, Liebhold AM, Orazio C, Prospero S, Robinet C, Schroeder M, Slippers B, Stoev P, Sun J, van den Dool R, Wingfield MJ, Zalucki MP (2020) Pathologists and Entomologists Must Join Forces Against Forest Pest and Pathogen Invasions. *NeoBiota* 58:107–127. doi.10.3897/neobiota.58.54389
- Jelušić A, Berić T, Mitrović P, Dimkić I, Stanković S, Marjanović-Jeromela A, Popović T (2021a) New Insights into the Genetic Diversity of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* Isolates from Winter Oilseed Rape in Serbia. *Plant Pathology* 70(1):35–49. doi.10.1111/ppa.13273
- Jelušić A, Popović T, Dimkić I, Mitrović P, Peeters K, Višnjevec AM, Tavzes Č, Stanković S, Berić T (2021b) Changes in the Winter Oilseed Rape Microbiome Affected by *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* and Biocontrol Potential of the Indigenous *Bacillus* and *Pseudomonas* Isolates. *Biological Control* 160:104695. doi.10.1016/j.biocontrol.2021.104695
- Jones JT, Haegeman A, Danchin EGJ, Gaur HS, Helder J, Jones MGK, Kikuchi T, Manzanilla-López R, Palomares-Rius JE, Wesemael WML, Perry RN (2013) Top 10 Plant Parasitic Nematodes in Molecular Plant Pathology. *Molecular Plant Pathology* 14(9):946–961. doi.10.1111/mpp.12057

- Jones RAC (2009) Plant Virus Emergence and Evolution: Origins, New Encounter Scenarios, Factors Driving Emergence, Effects of Changing World Conditions, and Prospects for Control. *Virus Research* 141(2):113–130. doi.10.1016/j.virusres.2008.07.028
- Jones RAC, Barbetti MJ (2012) Influence of Climate Change on Plant Disease Infections and Epidemics Caused by Viruses and Bacteria. *Plant Sciences Reviews* 7(22):1–31. doi.10.1079/PAVSNNR20127022
- Jones RAC (2016) Future Scenarios for Plant Virus Pathogens as Climate Change Progresses. *Advances in Virus Research* 95:87–147. doi.10.1016/bs.aivir.2016.02.004
- Juroszek P, von Tiedemann A (2011) Potential Strategies and Future Requirements for Plant Disease Management Under a Changing Climate. *Plant Pathology* 60(1):100–112. doi.10.1111/j.1365-3059.2010.02410.x
- Juroszek P, von Tiedemann A (2015) Linking Plant Disease Models to Climate Change Scenarios to Project Future Risks of Crop Diseases: A Review. *Journal of Plant Diseases and Protection* 122(1):3–15. doi.10.1007/BF03356525
- Juroszek P, Racca P, Link S, Farhumand J, Kleinhenz B (2020) Overview on the Review Articles Published During the Past 30 Years Relating to the Potential Climate Change Effects on Plant Pathogens and Crop Disease Risks. *Plant Pathology* 69(2):179–193. doi.10.1111/ppa.13119
- King M, Altdorff D, Li P, Galagedara L, Holden J, Unc A (2018) Northward Shift of the Agricultural Climate Zone Under 21st-Century Global Climate Change. *Scientific Reports* 8(1):1–10. doi.10.1038/s41598-018-26321-8i
- Kocmánková E, Trnka M, Juroch J, Dubrovský M, Semerádová D, Možný M, Žalud Z (2009) Impact of Climate Change on the Occurrence and Activity of Harmful Organisms. *Plant Protection Science* 45:S48–S52
- Kudela V (2009) Potential Impact of Climate Change on Geographic Distribution of Plant Pathogenic Bacteria in Central Europe. *Plant Protection Science* 45:S27–S32
- Lević J, Gošić-Dondo S, Ivanović D, Stanković S, Krnjaja V, Bočarov-Stančić A, Stepanić A (2013) An Outbreak of *Aspergillus* Species in Response to Environmental Conditions in Serbia. *Pesticides and Phytomedicine* 28(3):167–179. doi.10.2298/pif.v28i3.4040
- Lopian R (2018) Climate Change, Sanitary and Phytosanitary Measures and Agricultural Trade, The State of Agricultural Commodity Markets (SOCO) 2018: Background Paper. FAO, Rome, pp 48
- Macfayden S, McDonald G, Hill MP (2018) From Species Distributions to Climate Change Adaptation: Knowledge Gaps in Managing Invertebrate Pests in Broad-Acre Grain Crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 253:208–219. doi.10.1016/j.agee.2016.08.029
- Malmstrom CM, Melcher U, Bosque-Pérez NA (2011) The Expanding Field of Plant Virus Ecology: Historical Foundations, Knowledge Gaps, and Research Directions. *Virus Research* 159(2):84–94. doi.10.1016/j.virusres.2011.05.010

- Marković S, Stanković S, Iličić R, Veljović Jovanović S, Milić Komić S, Jelušić A, Popović T (2021a) *Ralstonia solanacearum* as a Potato Pathogen in Serbia: Characterization of Strains and Influence on Peroxidase Activity in Tubers. *Plant Pathology* 70(8):1945–1959. doi.10.1111/ppa.13421
- Marković S, Stanković S, Jelušić A, Iličić R, Kosovac A, Poštić D, Popović T (2021b) Occurrence and Identification of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliensis* and *Dickeya dianthicola* Causing Blackleg in Some Potato Fields in Serbia. *Plant Disease* 105(4):1080–1090. doi.10.1094/PDIS-05-20-1076-RE
- Marković S, Milić Komić S, Jelušić A, Iličić R, Bagi F, Stanković S, Popović T (2022) First Report of *Pectobacterium versatile* Causing Blackleg of Potato in Serbia. *Plant Disease* 106(1):312. doi.10.1094/PDIS-06-21-1128-PDN
- Medina MM (2017) Towards an Inclusive Risk-Based Approach in the Cross-Border Ecommerce Environment. 12th Commission on Phytosanitary Measures for IPPC, April 05 – 11, 2017, Incheon. Доступно на: https://assets.ippc.int/static/media/files/publication/en/2017/04/3_Rev_-_Towards_an_inclusive_risk-based_approach_in_the_cross-border_e-commerce_environment.pdf, Приступљено: 9. јун 2022
- Menéndez R (2007) How Are Insects Responding to Global Warming? *Tijdschrift voor Entomologie* 150(2):355
- Miedaner T, Juroszek P (2021a) Climate Change Will Influence Disease Resistance Breeding in Wheat in Northwestern Europe. *Theoretical and Applied Genetics* 134(6):1771–1785. doi.10.1007/s00122-021-03807-0
- Miedaner T, Juroszek P (2021b) Global Warming and Increasing Maize Cultivation Demand Comprehensive Efforts in Disease and Insect Resistance Breeding in North-Western Europe. *Plant Pathology* 70(5):1032–1046. doi.10.1111/ppa.13365
- Milus EA, Kristensen K, Hovmøller MS (2009) Evidence for Increased Aggressiveness in a Recent Widespread Strain of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* Causing Stripe Rust of Wheat. *Phytopathology* 99(1):89–94. doi.10.1094/PHTO-99-1-0089
- Mitrović P, Đalović I, Kiprovski B, Veljović Jovanović S, Trkulja V, Jelušić A, Popović T (2021) Oxidative Stress and Antioxidative Activity in Leaves and Roots of Carrot Plants Induced by *Candidatus* Phytoplasma Solani. *Plants* 10(2):337. doi.10.3390/plants10020337
- Nancarrow N, Constable FE, Finlay KJ, Freeman AJ, Rodoni BC, Trebicki P, Vassiliadis S, Yena AL, Luck JE (2014) The Effect of Elevated Temperature on Barley Yellow Dwarf Virus-PAV in Wheat. *Virus Research* 186:97–103. doi.10.1016/j.virusres.2013.12.023
- Nikolić I, Stanković S, Dimkić I, Berić T, Stojšin V, Janse J, Popović T (2018) Genetic Diversity and Pathogenicity of *Pseudomonas syringae* pv. *aptata* Isolated from Sugar Beet. *Plant Pathology* 67(5):1194–1207. doi.10.1111/ppa.12831
- Perković G, Berjan S, Govedarica B, Đurđić I, Bodiroga R, Tomić A (2017a) Organska poljoprivreda u funkciji održivog razvoja ruralnih područja Republike Srpske.

- XXII Savetovanje o biotehnologiji sa међународним учећем, 10 – 11. mart 2017, Čačak, Agronomski fakultet u Čačku, Zbornik radova 1, str 153–158
- Perković G, Govedarica-Lučić A, Tomić A (2017) Uticaj različitih načina gajenja paprike na debljinu perikarpa ploda. XXII Savetovanje o biotehnologiji sa међународним учећем, 10 – 11. mart 2017, Čačak, Agronomski fakultet u Čačku, Zbornik radova 1, str 147–152
- Petzoldt C, Seaman A (2006) Climate Change Effects on Insects and Pathogens. In: Climate Change and Agriculture: Promoting Practical and Profitable Responses, pp 6–16. New York State Agricultural Extension Station
- Popović T, Ivanović Ž, Živković S, Trkulja N, Ignjatov M (2013a) First Report of *Brenneria nigrifluens* (Wilson et al.) hauben et al. as the Causal Agent of Shallow-Bark Canker on Walnut Trees (*Juglans regia* L.) in Serbia. Plant Disease 97(11):1504. doi.10.1094/PDIS-03-13-0267-PDN
- Popović T, Balaž J, Starović M, Trkulja N, Ivanović Ž, Ignjatov M, Jošić D (2013b) First Report of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* as the Causal Agent of Black Rot on Oilseed Rape (*Brassica napus*) in Serbia. Plant Disease 97(3):418. doi.10.1094/PDIS-05-12-0506-PDN
- Popović T, Ivanović Ž, Ignjatov M (2015) First Report of *Pseudomonas viridiflava* Causing Pith Necrosis of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in Serbia. Plant Disease 99(7):1033. doi.10.1094/PDIS-01-15-0052-PDN
- Popović T, Ivanović Ž (2015) Occurrence of *Acidovorax citrulli* Causing Bacterial Fruit Blotch of Watermelon in Serbia. Plant Disease 99(6):886. doi.10.1094/PDIS-12-14-1276-PDN
- Popović T, Blagojević J, Aleksić G, Jelušić A, Krnjajić S, Milovanović P (2018) A Blight Disease on Highbush Blueberry Associated with *Macrophomina phaseolina* in Serbia. Canadian Journal of Plant Pathology 40(1):121–127. doi.10.1080/07060661.2017.1415977
- Popović T, Marković S, Bijelić Ž, Ilić R, Jelušić A, Stanković S (2018) *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliensis* – novi patogen krompira u Srbiji. XV Savetovanje o zaštiti bilja, 26 – 30. novembar 2018, Zlatibor, Zbornik rezimea radova XV Savetovanja o zaštiti bilja, str 23
- Popović T, Jelušić A, Marković S, Ilić R (2019a) Characterization of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* Isolates from a Recent Outbreak on Cabbage in Bosnia and Herzegovina. Pesticides and Phytomedicine 34(3–4): 211–222. doi.10.2298/PIF1904211P
- Popović T, Jelušić A, Dimkić I, Stanković S, Poštić D, Aleksić G, Veljović Jovanović S (2019b) Molecular Characterization of *Pseudomonas syringae* pv. *coriandricola* and Biochemical Changes Attributable to the Pathological Response on Its Hosts Carrot, Parsley, and Parsnip. Plant Disease 103(2):3072–3082. doi.10.1094/PDIS-03-19-0674-RE
- Popović T, Mitrović P, Jelušić A, Dimkić I, Marjanović-Jeromela A, Nikolić I, Stanković S (2019c) Genetic Diversity and Virulence of *Xanthomonas campestris* pv.

- campestris* Isolates from *Brassica napus* and six *Brassica oleracea* Crops in Serbia. *Plant Pathology* 68(8):1448–1457. doi.10.1111/ppa.13064
- Popović T, Jelušić A, Živković Lj, Živković N, Iličić R, Stanisavljević R, Stanković S (2020) Identification, Genetic Characterization and Virulence of Serbian *Erwinia amylovora* Isolates. *European Journal of Plant Pathology* 157(4):857–872. doi.10.1007/s10658-020-02046-1
- Popović T, Marković S (2020) Risk of Introduction of Quarantine Organisms: Case *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*. XI International Scientific Agricultural Symposium „Agrosym 2020“, October 08 – 09, 2020, Jahorina, University of East Sarajevo, Faculty of Agriculture, Book of Proceedings, pp 541–546
- Porter JH, Parry ML, Carter TR (1991) The Potential Effects of Climatic Change on Agricultural Insect Pests. *Agricultural and Forest Meteorology* 57(1–3):221–240
- Prakash A, Rao J, Mukherjee AK, Berliner J, Pokhare SS, Adak T, Munda S, Shashank PR (2014) Climate Change: Impact on Crop Pests. *Applied Zoologists Research Association (AZRA), Central Rice Research Institute, Odisha*, pp 205
- Pritchard SG, Rogers HH, Prior SA, Peterson CM (1999) Elevated CO₂ and Plant Structure: A Review. *Global Change Biology* 5(7):807–837
- Roos J, Hopkins R, Kvarnheden A, Dixelius C (2011) The Impact of Global Warming on Plant Diseases and Insect Vectors in Sweden. *European Journal of Plant Pathology* 129(1):9–19. doi.10.1007/s10658-010-9692-z
- Shrestha S (2019) Effects of Climate Change in Agricultural Insect Pest. *Acta Scientific Agriculture* 3(12):74–80. doi.10.31080/ASAG.2019.03.0727
- Siciliano I, Berta F, Bosio P, Gullino ML, Garibaldi A (2017a) Effect of Different Temperatures and CO₂ Levels on *Alternaria* Toxins Produced on Cultivated Rocket, Cabbage and Cauliflower. *World Mycotoxin Journal* 10(1):63–71. doi.10.3920/WMJ2016.2108
- Siciliano I, Bosio P, Gilardi G, Gullino ML, Garibaldi A (2017b) Verrucaridin A and Roridin E Produced on Spinach by *Myrothecium verrucaria* Under Different Temperatures and CO₂ Levels. *Mycotoxin Research* 33(2):139–146. doi.10.1007/s12550-017-0273-2
- Siebold M, von Tiedemann A (2012) Potential Effects of Global Warming on Oilseed Rape Pathogens in Northern Germany. *Fungal Ecology* 5(1):62–72. doi.10.1016/j.funeco.2011.04.003
- Skendžić S, Zovko M, Živković IP, Lešić V, Lemić D (2021) The Impact of Climate Change on Agricultural Insect Pests. *Insects* 12(5):440. doi.10.3390/insects12050440
- Srivastava A, Kumar SN, Aggarwal PK (2010) Assessment of Vulnerability of Sorghum to Climate Change in India. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 138(3–4): 160–169. doi.10.1016/j.agee.2010.04.012
- Stanković S, Lević J, Ivanović D (2007) Genetic Variability of Maize Pathogens in Serbia. *Genetika* 39(2):227–240. doi.10.2298/GENSRO702227S

- Suggitt AJ, Wilson RJ, Isaac NJB, Beale CM, Auffret AG, August T, Bennie JJ, Crick HQP, Duffield S, Fox R, Hopkins JJ, Macgregor NA, Morecroft MD, Walker KJ, Maclean IMD (2018) Extinction Risk From Climate Change is Reduced by Microclimatic Buffering. *Nature Climate Change* 8(8):713–717. doi.10.1038/s41558-018-0231-9
- Tomić A, Milošević D, Bodiřoga R (2018) Efikasnost fungicida u suzbijanju pegavosti lišća cvekle (*Cercospora beticola*). XXIII Savetovanje o biotehnologiji sa međunarodnim učešćem, 09 – 10. mart 2018, Čačak, Agronomski fakultet u Čačku, Zbornik radova 1, str 384–389
- Trębicki P, Nancarrow N, Cole E, Bosque-Pérez NA, Constable FE, Freeman AJ, Rodoni B, Yen AY, Luck JE, Fitzgerald GJ (2015) Virus Disease in Wheat Predicted to Increase with a Changing Climate. *Global Change Biology* 21(9):3511–3519. doi.10.1111/gcb.12941
- Trkulja V, Stojčić J (2002) Pojava virusa žute patuljavosti ječma u Republici Srpskoj. *Biljni lekar* 1:31–38
- Trkulja V, Duduk B, Botti S, Ivanović M, Stojčić J, Bertaccini A (2004) *Pear decline phytoplasma* – nov patogen kruške u Bosni i Hercegovini. V Kongres o zaštiti bilja, 22 – 26. novembar 2004, Zlatibor, Zbornik rezimea, str 140–141
- Trkulja V, Karić N, Ostojčić I, Treštić T, Dautbašić M, Mujezinović O (2012) Atlas karantinskih štetnih organizama. Uprava Bosne i Hercegovine za zaštitu zdravlja bilja, Sarajevo, str 668
- Trkulja V, Mihić Salapura J, Ćurković B, Stanković I, Bulajić A, Vučurović A, Krstić B (2013a) First Report of *Tomato spotted wilt virus* on *Gloxinia* in Bosnia and Herzegovina. *Plant Disease* 97(3):429. doi.10.1094/PDIS-08-12-0777-PDN
- Trkulja V, Mihić Salapura J, Ćurković B, Stanković I, Bulajić A, Vučurović A, Krstić B (2013b) First Report of *Impatiens necrotic spot virus* on Begonia in Bosnia and Herzegovina. *Plant Disease* 97(7):1004. doi.10.1094/PDIS-01-13-0088-PDN
- Trkulja V, Mihić Salapura J, Kovačić D, Stanković I, Bulajić A, Vučurović A, Krstić B (2013c) First Report of *Iris yellow spot virus* Infecting Onion in Bosnia and Herzegovina. *Plant Disease* 97(3):430. doi.10.1094/PDIS-09-12-0893-PDN
- Trkulja V (2014) O prvom nalazu *Xylella fastidiosa* – opasnog karantinskog patogena na maslinama i drugim biljkama domaćinima u Italiji. *Biljni lekar* 6:442–462
- Trkulja V, Jošić Kovačić D, Mihić Salapura J, Stanković I, Vučurović A, Bulajić A, Krstić B (2014a) First Report of *Zucchini yellow mosaic virus* in Watermelon in Bosnia and Herzegovina. *Plant Disease* 98(6):858. doi.10.1094/PDIS-11-13-1156-PDN
- Trkulja V, Vasić J, Vuković B, Stanković I, Vučurović A, Bulajić A, Krstić B (2014b) First Report of *Watermelon mosaic virus* Infecting Melon and Watermelon in Bosnia and Herzegovina. *Plant Disease* 98(12):1749. doi.10.1094/PDIS-07-14-0752-PDN
- Trkulja V, Adamović D, Đalović I, Mitrović P, Kovačić-Jošić D, Lukač Z, Komić J (2016) First Report of Stolbur Phytoplasma Associated with *Anethum graveolens* in Serbia. *Plant Disease* 100(2):516. doi.10.1094/PDIS-07-15-0822-PDN

- Trkulja V, Vasić J, Mihić-Salapura J, Kovačić-Jošić D (2018) 'Candidatus *Phytoplasma vitis*' – prouzrokovalac zlatastog žutila vinove loze kao potencijalna opasnost za vinograde u Bosni i Hercegovini. Znanstveno stručni skup s međunarodnim sudjelovanjem: „130 godina organiziranoga vinogradarstva i vinarstva u BiH“, 21 – 22. septembar 2018, Mostar, Federalni agromediterranski zavod, Agronomski i prehrambeno – tehnološki fakultet Sveučilišta u Mostaru, Zbornik radova, str 488–503
- Trkulja V, Miladinović Z, Stojčić J, Mihić Salapura J, Tomić A, Vuković B (2019) Pojava bakteriozne mrljavosti plodova lubenice na području Lijeve Polje. XVI Simpozijum o zaštiti bilja u Bosni i Hercegovini, 5 – 7. novembar 2019, Mostar, Zbornik rezimea, str 51–52
- Trkulja V, Mitrović P, Salapura JM, Ilić R, Ćurković B, Đalović I, Popović T (2021) First Report of 'Candidatus *Liberibacter solanacearum*' on Carrot in Serbia. *Plant Disease* 105(4):1188. doi.10.1094/PDIS-11-20-2384-PDN
- Fahim MA, Hassanein MK, Abou Hadid AF, Kadah MS (2011) Impacts of Climate Change on the Widespread and Epidemics of Some Tomato Diseases During the Last Decade in Egypt. *Acta Horticulturae* 914:317–320. doi.10.17660/ActaHortic.2011.914.57
- Falco SD, Adinolfi F, Bozzola M, Capitanio F (2014) Crop Insurance as a Strategy for Adapting to Climate Change. *Journal of Agricultural Economics* 65(2):485–504. doi.10.1111/1477-9552.12053
- FAO (2008) Climate-Related Transboundary Pests and Diseases (Technical Background Document from the Expert Consultation Held on 25 to 27 February 2008). FAO, Rome, pp 59
- FAO (2021) Strategic Framework for the International Plant Protection Convention (IPPC) 2020–2030. FAO on Behalf of the IPPC Secretariat, Rome, pp 40
- Frem M, Chapman D, Fucilli V, Choueiri E, Moujabber ME, Notte PL, Nigro F (2020) *Xylella fastidiosa* Invasion of New Countries in Europe, the Middle East and North Africa: Ranking the Potential Exposure Scenarios. *Neobiota* 59:77–97. doi.10.3897/neobiota.59.53208
- Hannukkala AO, Kaukoranta T, Lehtinen A, Rahkonen A (2007) Late-Blight Epidemics on Potato in Finland, 1933–2002: Increased and Earlier Occurrence of Epidemics Associated with Climate Change and Lack of Rotation. *Plant Pathology* 56(1): 167–176. doi.10.1111/j.1365-3059.2006.01451.x
- Hibberd JM, Whitbread R, Farrar JF (1996) Effect of Elevated Concentrations of CO₂ on Infection of Barley by *Erysiphe graminis*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 48(1):37–53. doi.10.1006/pmpp.1996.0004
- Huang L, Ren Q, Sun Y, Ye L, Cao H, Ge F (2012) Lower Incidence and Severity of Tomato Virus in Elevated CO₂ is Accompanied by Modulated Plant Induced Defence in Tomato. *Plant Biology* 14(6):905–913. doi.10.1111/j.1438-8677.2012.00582.x
- Huang YJ, Evans N, Li ZQ, Eckert M, Chèvre AM, Renard M, Fitt BD (2006) Temperature and Leaf Wetness Duration Affect Phenotypic Expression of

- Rlm6-Mediated Resistance to *Leptosphaeria maculans* in *Brassica napus*. *New Phytologist* 170(1):129–141. doi.10.1111/j.1469-8137.2005.01651.x
- Hunjan MS, Lore JS (2020) Climate Change: Impact on Plant Pathogens, Diseases, and Their Management. In: Jabran K, Florentine S, Chauhan B (eds) *Crop Protection Under Changing Climate*, pp 85–100. Springer
- Canto T, Aranda MA, Fereres A (2009) Climate Change Effects on Physiology and Population Processes of Hosts and Vectors that Influence the Spread of Hemipteran-Borne Plant Viruses. *Global Change Biology* 15(8):1884–1894. doi.10.1111/j.1365-2486.2008.01820.x
- Carter TR, Saarikko RA, Niemi KJ (1996) Assessing the Risks and Uncertainties of Regional Crop Potential Under a Changing Climate in Finland. *Agricultural and Food Science* 5(3):329–350. doi.10.23986/afsci.72750
- Carvajal-Yepes M, Cardwell K, Nelson A, Garrett KA, Giovani B, Saunders D, Kamoun S, Legg JP, Verdier V, Lessel J, Neher RA, Day R, Pardey P, Gullino PM, Records AR, Bextine B, Leach JE, Staiger S, Tohme J (2019) A Global Surveillance System for Crop Diseases. *Science* 364(6447):1237–1239. doi.10.1126/science.aaw1572
- Coakley SM, Scherm H, Chakraborty S (1999) Climate Change and Plant Disease Management. *Annual Review of Phytopathology* 37(1):399–426. doi.10.1146/annurev.phyto.37.1.399
- Crowl TA, Crist TO, Parmenter RR, Belovsky G, Lugo AE (2008) The Spread of Invasive Species and Infectious Disease as Drivers of Ecosystem Change. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6(5):238–246. doi.10.1890/070151
- Cuevas-Fernández FB, Robledo-Briones AM, Baroncelli R, Trkulja V, Thon MR, Buhinicek I, Sukno SA (2019) First Report of *Colletotrichum graminicola* Causing Maize Anthracnose in Bosnia and Herzegovina. *Plant Disease* 103(12):3281. doi.10.1094/PDIS-06-19-1224-PDN
- Chakraborty S, Pangga IB, Lupton J, Hart L, Room PM, Yates D (2000) Production and Dispersal of *Colletotrichum gloeosporioides* Spores on *Stylosanthes scabra* Under Elevated CO₂. *Environmental Pollution* 108(3):381–387. doi.10.1016/s0269-7491(99)00217-1
- Chakraborty S, Pangga IB (2004) Plant Disease and Climate Change. In: Gillings M, Holmes A (eds) *Plant Microbiology*, pp 163–180. BIOS Scientific Publishers
- Chakraborty S, Luck J, Hollaway G, Freeman A, Norton R, Garrett KA (2008) Impacts of Global Change on Diseases of Agricultural Crops and Forest Trees. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 3(054):1–15. doi.10.1079/PAVSNNR20083054
- Chen CC, McCarl BA (2001) An Investigation of the Relationship Between Pesticide Usage and Climate Change. *Climatic Change* 50(4):475–487. doi.10.1023/A:1010655503471
- Choudhary JS, Kumari M, Fand BB (2019) Linking Insect Pest Models with Climate Change Scenarios to Project Against Future Risks of Agricultural Insect Pests. *CAB Reviews* 14(055):1–13. doi.10.1079/PAVSNNR201914055

- Waleron M, Misztak A, Waleron M, Franczuk M, Jonca J, Wielgomas B, Mikiciński A, Popović T, Waleron K (2019) *Pectobacterium zantedeschiae* sp. nov. A New Species of a Soft Rot Pathogen Isolated from Calla Lily (*Zantedeschiae* spp.). *Systematic and Applied Microbiology* 42(3):275–283. doi.10.1016/j.syapm.2018.08.004
- Wolfe DW, Ziska L, Petzoldt C, Seaman A, Chase L, Hayhoe K (2008) Projected Change in Climate Thresholds in the Northeastern U.S.: Implications for Crops, Pests, Livestock, and Farmers. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 13:555–575. doi.10.1007/s11027-007-9125-2
- Yoro KO, Daramola MO (2020) CO₂ Emission Sources, Greenhouse Gases, and the Global Warming Effect. In: Rahimpour MR, Farsi M, Makarem MA (eds) *Advances in Carbon Capture – Methods, Technologies and Applications*, pp 3–28. Woodhead Publishing

The Impact of Climate Change on the Occurrence of Diseases and Pests of Agricultural Plants and Forest Trees

Vojislav Trkulja, Andrija Tomić, Tatjana Popović, Renata Iličić

Summary

The effects of climate change on harmful organisms are complex because other factors of influence are not constant, but are changing. In addition, climate change can affect harmful organisms differently or similarly, depending on which group of organisms they belong to: fungi, bacteria, viruses, insects, nematodes, etc. In fitopathogenic fungi, these effects are manifested in terms of: changes in biology; faster evolution due to longer seasons of the year; the emergence of new races or greater aggressiveness of existing species due to gene recombination; changes in geographical distribution, either towards the northern hemisphere or in areas of higher altitude; introduction of quarantine and invasive species, as well as expansion into new areas in relation to the area of origin; higher mycotoxin production; etc. For viruses and bacteria, which are transmitted by vectors, the impact of climate change on the presence, spreading and number of vectors is of special importance. The positive impact of climate change on different pests can be manifested in the form of: changes in biology and emergence of a higher number of generations; increased numbers and fertility; better overwintering; extended range of hosts; introduction of quarantine and invasive species; spreading to new areas; etc. The positive effects of climate change on harmful organisms are most often with a negative effect on the development of agriculture and food production, forestry development, biodiversity and the environment – due to possibility of greater economic damage, as well as greater needs for pesticides. Climate change can also affect host plants, with their loss of the natural basis of resistance being of particular importance.

Although some progress has been made in monitoring and understanding climate change, there is still a need for many scientific, technical and institutional solutions to precisely plan, adjust and alleviate the effects of climate change on harmful organisms and hosts, as well as their interaction.

Keywords: Climate change, diseases, pests, agricultural plants, forest trees

