

Принципи и стратегије биолошког сузбијања економски штетних шумских организама

Мара Табаковић-Тошић

Сажетак. Суштински, биолошко сузбијање није ништа друго до примијењена екологија, односно коришћење природних непријатеља за (регулативно) смањење абунданције у популацијама штеточина. Интелектуално задовољавајуће, биолошки интригантано и еколошки рационално средство борбе против штеточина, биолошко сузбијање, једно је од подручја интегралног управљања и заштите шумских екосистема, које се брзо развија и окупља научнике из многих дисциплина. Еколози, ентомолози, патолози биљака и инсеката, микробиолози, приступају предмету истраживања из различитих углова. Свака дисциплина користи биолошко сузбијање у циљу смањења бројности штеточина или узрочника болести, кроз активност корисних живих организама. Биолошко сузбијање економски штетних шумских организама подразумијева да они који одлучују о његовој примјени у конкретним условима средине, претходно треба тачно да идентификују врсту штеточине, процијене ниво инфестације и прогнозирају потенцијалну економску штету, истраже доступне стратегије, њихове предности и мане, одаберу најефикаснију, а која мора бити у корелацији са свим важећим локалним, државним и међународним прописима. У оквиру

Цитирање: Табаковић-Тошић М (2023) Принципи и стратегије биолошког сузбијања штетних шумских организама. У: Говедар З, Матаруга М, Пржуљ Н (уредници) Одрживи развој и управљање шумским екосистемима. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LI:195–219

Cite as: Tabaković-Tošić M (2023) Principles and strategies of biological control economically harmful forest organisms. In: Govedar Z, Mataruga M, Pržulj N (eds) Sustainable development and management of forest ecosystems. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LI:195–219

биолошког сузбијања штеточина, углавном инсеката, користе се различите стратегије, а које, у основи, укључују унос природних непријатеља, предатора, паразитоида и патогена, аутохтоних и алохтоних штетних врста инсеката (класично и инокулационо биолошко сузбијање) и повећање њихове бројности (инундационо биолошко сузбијање). Овдје треба истаћи да је легислативом из области заштите природе и животне средине, у многим земљама забрањен унос алохтоних, егзотичних врста у природне и антропогене екосистеме, па је, самим тим, примјена биолошког сузбијања доста ограничена.

Посебна, обећавајућа, стратегија у оквиру биолошког сузбијања је селекција сојева са генетски индукованом способношћу аутоцидалног дјеловања. Ентомопатогени организми, разне врсте вируса, микроспоридија, бактерија, протозоа, гљива, који под повољним условима могу изазвати масовно угинуће инсеката, нормално живе у природи и важни су регулаторни фактори у популацијама домаћина. Епизоотије изазване природним вирусним и гљивичним патогенима, често су одговорне за спектакуларне крахове у популацијама градогених врста, нпр. губара, жутотрбе, обичне и риђе борове зоље. И поред овако бриљантних карактеристика, мали број њих укључен је у поједине стратегије биолошког сузбијања.

Сузбијање узрочника биљних болести ријетко се може постићи без пажљиве комбинације многих техника. Легислативом из области заштите природе и животне средине у многим земљама забрањен је унос алохтоних, егзотичних врста, па је, самим тим, онемогућена примјена већег броја стратегија биолошког сузбијања.

Примјена фунгицида у шумским екосистемима обично је прескупа, па се преферирају биолошке мјере борбе, кроз употребу антагонистичких или хиповирулентних врста микроорганизама и њихових сојева. У суштини, када су у питању биљни патогени, биолошке мјере борбе су више превентивне, него палијативне или љековите, а заснивају се на одрживим еколошким концептима шумских екосистема.

Кључне ријечи: предатори, паразитоиди, патогени, микоризе, аутохтоне и алохтоне врсте, штеточине и биљни патогени, класично, инокулационо и инундационо биолошко сузбијање, хиповируленција, антагонизам

7.1. Увод

Интелектуално задовољавајуће, биолошки интригантантно и еколошки рационално средство борбе против штеточина, биолошко сузбијање, једно је од подручја интегралног управљања и заштите шумских екосистема, које се брзо развија и окупља научнике из многих дисциплина. Еколози, ентомолози, патолози биљака и инсеката, микробиолози, приступају предмету истраживања из различитих углова.

Свака дисциплина користи биолошко сузбијање у циљу смањења бројности узрочника болести или штеточина, а кроз активност корисних живих организама. Унутар биљне патологије постоји тенденција усредсређивања на процес (начин дјеловања), па се оно често дефинише као примјена „антагониста“ и „конкурентата“, или „индукованог отпора“. Ентомолози описују биолошко сузбијање као употребу различитих организама са одређеним начинима дјеловања, на примјер „предатори“ или „паразитоиди“, или према методологији за њихову примјену „масовно ослобађање“ или „инокулативно, потпомогнуто ширење“. Патолози инсеката обично користе стручне термине из индустрије пестицида.

Термин „микробиолошко сузбијање“ односи се на биолошко сузбијање штеточина бескичмењака, помоћу микроорганизама. Из претходно наведеног може се закључити да је биолошко сузбијање, у ствари, примијењена екологија, односно кориштење природних непријатеља за (регулативно) смањење абунданције у популацијама штеточина. У току израде појединих стратегија, главна полемика водила се око тога, да ли су природни непријатељи (вируси, рикеције, микоплазме, бактерије, гљиве, инсекти предатори и паразитоиди, нематоде) довољно моћни, да одређену врсту штетног организма одржавају у природној бројности, односно испод прага штетности.

Пространи, разноврсни, релативно мање поремећени, дуговјечни и високо стабилни у простору и времену, шумски екосистеми имају одређене предности, а и недостатке, за примјену појединих стратегија биолошког сузбијања. На примјер, врло сложен биодиверзитет, гдје је на располагању велики број природних непријатеља штетних шумских организама, представља предност, али и недостатак, будући да то отежава колонизацију нових корисних врста јер су све еколошке нише углавном оптимално запосједнуте, а постоји и могућност компетицијског односа са аутохтоним сродним врстама. Шумарска струка фаворизује биолошко сузбијање због врло ниских трошкова његове примјене.

7.2. Биолошко сузбијање штеточина (инсеката) помоћу предатора, паразитоида и патогена

Биолошко сузбијање је употреба живих организама за трајно, дугорочно, или тренутно свођење бројности штеточина на прихватљив ниво, односно индуковано враћање њихове абунданције на природне вриједности, или оне које су, по питању узрокованих штета, економски прихватљиве. У оквиру биолошког сузбијања, користе се различите стратегије, које у основи укључују увоз природних непријатеља аутохтоних и алохтоних штетних врста инсеката (класично и инокулационо биолошко сузбијање) и повећање њихове бројности (инундативно биолошко сузбијање). Посебна, обећавајућа, стратегија у оквиру биолошког сузбијања је селекција сојева са генетски индукованом способношћу аутоцидалног дјеловања (Tabaković-Tošić et al. 2011).

7.2.1. Класично биолошко сузбијање

Класично биолошко сузбијање штеточина је намјерно увођење, или уношење, егзотичног, алохтоног, биолошког агенса (предатора, паразитоида, патогена), за трајно, или дугорочно, сузбијање штеточина. Класично биолошко сузбијање заснива се на претпоставци да природни непријатељи играју виталну улогу у регулацији бројности њихових домаћина, а која је економски и еколошки прихватљива, па самим тим и самоодржива. Неки од ових биотичких агенаса показују изванредну тенденцију да дјелују на начин који зависи од густине, док други то не показују, или не показују у довољној мјери. Када се поједине врсте, које имају предиспозиције да, при одређеним повољним условима, пређу праг штетности, унесу у подручја ван граница њиховог природног распрострањења, често постају штеточине, будући да у новој средини нису присутни суштински ограничавајући фактори њихове бројности, односно њихови природни непријатељи (Tabaković-Tošić i sar. 2006).

Класично биолошко сузбијање имплицира увођење „егзотичних“, алохтоних организама у подручја гдје, такође егзотичне, случајно или намјерно, унесене штеточине, треба да буду сузбијене. У новије вријеме, за утврђивање да ли је одређени агенс, предатор, паразитоид или патоген, егзотичан или не, примјењују се методе молекуларне карактеризације.

Иако је главни циљ класичног биолошког сузбијања поновно успостављање односа домаћин – природни непријатељ, са врстама које у подручју природног ареала држе бројност у популацији домаћина ван граница штетности, ова стратегија се у неким случајевима врло успјешно примјењује

и против домаћих, аутохтоних, сродних врста штеточина. Првобитно, општеприхваћена стратегија класичног биолошког сузбијања била је укључивање што више паразитских или предаторских врста, све док оне посједују добру ефикасност у сузбијању, а не испољавају штетне нежељене ефекте. Неке од унесених врста постале су бројне, док су друге пролазиле кроз краћи или дужи период адаптације.

Уз неколико изузетака, паразитоиди су омиљени агенси класичног биолошког сузбијања шумских штеточина. На основу литературних извора, дају се процјене броја уноса паразитоида и предатора и њиховог успјеха у прилагођавању новој средини и сузбијању циљаних штеточина (Dahlsten and Mills 1999). Подаци показују да је 78% интродукције укључивало паразитоиде (*Hymenoptera* или *Diptera: Tachinidae*), а они су, у просјеку, били више него двоструко успјешнији у постизању жељеног нивоа сузбијања циљних шумских штеточина, од других тестираних врста.

7.2.1.1. Паразитоиди – носиоци инсектицидне активности у стратегији класичног биолошког сузбијања кестенове осе шишаруше

У посљедње вријеме, посебна пажња посвећена је испитивању могућности примјене метода биолошког сузбијања инвазивних врста шумских инсеката, као што је нпр. оса шишаруша *Driocosmus kuriphilus* Yasumatsu (*Hymenoptera: Cynipidae*) природно распрострањена у Кини, а данас, у цијелом свијету, гдје год постоје природне и антропогене састојине кестена. Од 2015. године присутна је и у Босни и Херцеговини (Delalić 2016). Разлог овако интензивног и неометаног ширења ареала, поред свих предузетих, врло рестриктивних, фитосанитарних мјера, јесте тај што у новим подручјима недостају њени природни непријатељи, а присутни, аутохтони паразитоиди и предатори сродних врста штеточина, иако су се прилагодили новом домаћину, имају врло ниске стопе паразитизма, па самим тим, незнатно утичу на његову бројност (Aebi et al. 2006, 2007; Santi and Maini 2012; Quacchia et al. 2012; Matošević and Melika 2013; Francati et al. 2015).

У подручју природног поријекла, Кини, паразитоиди из реда *Hymenoptera* [нпр. *Torymus sinensis* Kamijo, *T. beneficus* Yasumatsu & Kamijo, *Bootanyomyia (Megastigmus) maculipennis* (Yasumatsu and Kamijo), *M. nipponicus* Yasumatsu & Kamijo, *Ormyrus flavitibialis* Yasumatsu & Kamijo], успјешно регулишу њену бројност (Yasumatsu and Kamijo 1979), а у пракси биолошког сузбијања, неки од њих су се показали врло ефикасним. На примјер, *T. sinensis*, униволтни, за домаћина специфични, паразитоид, фенолошки синхронизован и морфолошки прилагођен кестеновој оси шишаруши, кроз стратегију

класичног биолошког сузбијања, успјешно је интродукован у поједине нападнуте састојине кестена у Јапану, Кореји, САД, Француској, Италији, а у 2014. и 2015. години и у Хрватској, Мађарској и Словенији, што је резултирало успостављањем стабилних популација и високих вриједности паразитизма, само годину дана након првог пуштања на слободу (Moriya et al. 2003; Quacchia et al. 2008; Cooper and Rieske 2011; Borowiec et al. 2014; Matošević et al. 2015).

7.2.1.2. Патогени микроорганизми – носиоци инсектицидне активности у стратегији класичног биолошког сузбијања штеточина

Микробиолошко сузбијање, односно коришћење микроорганизама који изазивају оболијевање и смрт штетних организама, постало је врло важан дио биолошких мјера борбе. Напори у овом правцу чине се више од 100 година. Развој је у великој мјери зависио од бољег познавања разних врста вируса, бактерија, протозоа, гљива, а за које се претпостављало да посједују извјесна патогена својства. У природи нормално егзистирају ентомопатогени организми и они су важан регулациони фактор у популацијама инсеката. Разне врсте вируса, микроспоридија, бактерија, протозоа, гљива, када се створе одређени, за њих повољни услови, могу да изазову масовни морталитет инсеката, а уз то имају изванредно велику моћ размножавања. Епизоције узроковане вирусним и гљивичним патогенима, који нормално егзистирају у природи, често су одговорне за спектакуларне ломове у популацијама штетних инсеката (Evans 1986; McCoil et al. 1988; Tabaković-Tošić 2014a, 2014b, Tabaković-Tošić and Milosavljević 2018b).

Ентомопатогене гљиве, у програмима класичних биолошких сузбијања, коришћене су чешће него друге групе патогена. Најчешће интродуковане врсте су *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin и *Entomophaga maimaiga* Humber, Shimazu & Soper (Hajek and Delalibera 2010). Вјештачко расијавање патогена препоручује се у случајевима када је потребно брзо дјеловати, или је популациона густина домаћина исувише ниска да би се остварило његово задовољавајуће природно ширење, односно у свим случајевима када природа не омогућава добру дисперзију и високу бројност. Очигледно је да због својих основних карактеристика, односно мале количине патогена, лаке и једноставне апликације, овај метод има одређене предности. Такође, гљиве из породице Entomophthoraceae добро су познате по способности да узрокују драматичне епизоције у популацијама домаћина (Georgiev et al. 2010; Hajek 1999; Tabaković-Tošić 2014a, 2014b).

Ентомопатогена гљива *E. maimaiga* (Entomophtorales: Entomophtoraceae) изолована је и описана као природни непријатељ губара у Јапану, гдје изазива периодичне епизооције. Раширена је и у појединим дијеловима Кине и далеког истока Русије, гдје, такође, значајно доприноси очувању ниског популационог нивоа губара. Иако је интродукована у Сјеверну Америку 1910. и 1911. године, њено присуство у природним популацијама губара није установљено све до 1989. године, када је патоген изазвао пандемију у неколико држава. Данас је *E. maimaiga* врло значајан непријатељ губара у Сјеверној Америци и Канади. Бугарска је трећа земља у свијету и прва у Европи, гдје је *E. maimaiga* успјешно интродукована (1999. године) (Pilarska et al. 2000). Прва њена епизооција догодила се 2005. године, а посљедње су забиљежене у непосредној близини границе Бугарске са Србијом, Грчком и Турском (Georgijev et al. 2010; Mirchev et al. 2013). Најновији литературни подаци сугеришу да се овај специфични ентомопатоген, шири у Европи, па је од 2011. године пронађен у неколико других европских земаља: Грузија (Kereselidze et al. 2011), Турска (Georgiev et al. 2012), Србија (Tabaković-Tošić et al. 2012), Грчка, Сјеверна Македонија (Georgieva et al. 2013), Хрватска (Hrašovec et al. 2013), Мађарска (Csóka et al. 2014), Словачка (Zubrik et al. 2014), Босна и Херцеговина (Milotić et al. 2015), Румунија (Netoiu et al. 2016), Аустрија (Hoch et al. 2019).

Успјешно уношење и аклиматизација *E. maimaiga* у основи представља увођење још једног биолошког агенса у комплекс природних непријатеља губара као економски најзначајније штетне шумске врсте дефолијатора (Pilarska et al. 2016). Изузетно значајне карактеристике овог ентомопатогена уска су специфичност у погледу домаћина јер је то само губар (Најек et al. 1996; Georgieva et al. 2014; Tabaković-Tošić and Milosavljević 2018a) и добра биолошка активност без обзира на вриједност популационе густине штеточине (Најек 1999; Solter and Најек 2009; Tabaković-Tošić 2019).

7.2.2. Инокулационо и инундативно биолошко сузбијање

Инокулационо биолошко сузбијање подразумијева намјерно ослобађање живог организма, као агенса за биолошко сузбијање, са очекивањем да ће се он размножавати и сузбијати штеточину у наредном, краћем или дужем, периоду, али не и трајно (Tabaković-Tošić et al. 2011). Вјештачко ширење патогена, као дио биолошког сузбијања, препоручује се на мјестима гдје се предвиђа да ће, због недостатка времена, или прениске густине популације домаћина, природно ширење бити недовољно. Очигледно је да овај метод има предности, јер су потребне само мале количине патогена и јефтина опрема за теренску примјену.

Ширењу патогена доприноси и сам домаћин. У преношењу болести, било током храњења, или полагања јаја, поједини предатори и паразитоиди могу играти улогу вектора. Посредно ширење патогена помоћу, у лабораторијским условима инфицираних домаћина, те њиховим пуштањем у природу, још је један вид инокулационог биолошког сузбијања. Инундативно биолошко сузбијање је употреба живих организама за директно, краткотрајно, репресивно сузбијање штеточина (Tabaković-Tošić 2008). Иако постоје бројни ентомопатогени микроорганизми (на примјер, вируси нуклеарне полиедрозе, грануловириси, реовируси, бацилуси), који узрокују смрт инсекта и имају једну од доминантних улога у регулацији њихове бројности у природи, релативно мали број њих се користи у индустријској производњи биоинсектицида, а у којој, са 80%, апсолутно доминирају препарати са спорама и кристалима (носиоци инсектицидне активности) *Bacillus thuringiensis* Berliner (Tabaković-Tošić 2008).

7.2.2.1. Бакуловириси – носиоци инсектицидне активности у стратегијама инокулационог и инундативног биолошког сузбијања

На основу анализе литературних извора, долази се до броја од 400 врста инсеката, углавном припадника редова Lepidoptera и Himenoptera, који су природни домаћини бакуловируса, али највећи биолошки потенцијал у сузбијању градогених шумских, штетних врста, имају нуклеарни полиједарни (*nuclear polyhedrosis viruses* – NPV) и гранулозни (*granulosis viruses* – GV) вируси (Granados and Federici 1986; Adams and McClintock 1991; Tanada and Hess 1991; Vail 1993; Cunningham 1995; Hunter-Fujita et al. 1998; Lacey et al. 2001; Moreau and Lucarotti 2007). Формирање протеинских оклузивних тијела, у које је смјештен један, или више, вириона, те начин активирања вирулентности (у алкалној средини средњег цријева), доприноси њиховој стабилности у природном окружењу и безбједности за људе, животну средину и нециљане врсте инсеката (Starnes et al. 1993). Под повољним условима средине, бакуловириси имају потенцијал да иницирају флукуације у популацијама појединих, економски штетних, врста инсеката (Anderson and May 1980; Myers 1988; Tanada 1976; Olafson 1987; Moreau and Lucarotti 2007; Tabaković-Tošić 2014c), па су високо цијењени у стратегијама биолошког сузбијања. Ултраселективност у погледу домаћина, биолошка ефикасност и производња секундарног инокулума, били су основни разлози да се на почетку XX вијека, поједини, из природе изоловани, бакуловириси експериментално укључе у процесе формулисања и производње првих, додуше врло једноставних, вирусних инсектицида, а који нису били ништа друго до непречишћене суспензије мацерираних, њима заражених ларви.

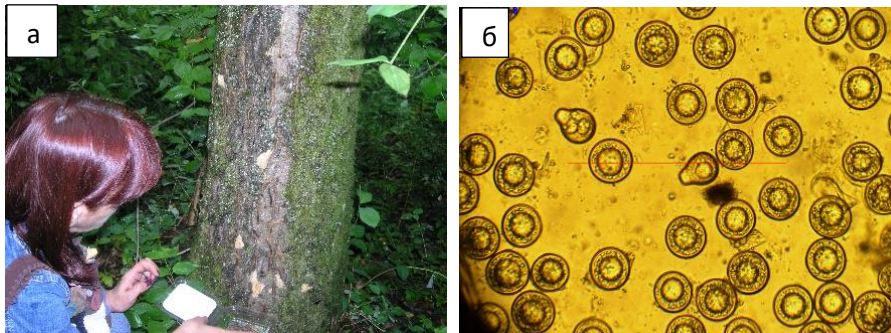
Чињеница да су вируси једноставни, ацелуларни организми склони генским мутацијама, а чија нуклеинска киселина не може да се самостално реплицира, већ јој је за то потребна жива ћелија другог организма, односно њене нуклеинске киселине, искоришћена је да се кроз генетички инжењеринг, генске рекомбинације и уграђивање појединих специфичних страних гена, поправе неке од негативних особина појединих врста бакуловируса, првенствено NPV, а који су у природним условима показали добру биолошку ефикасност у сузбијању појединих врло значајних, градогених, штетних врста инсеката (Wood 1995; Possee 1993; Miller 1995; Bonning and Hammock 1996; Lacey et al. 2001; Moreau and Lucarotti 2007).

7.2.2.2. *Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki* – носилац инсектицидне активности у стратегијама инундативног биолошког сузбијања

Bacillus thuringiensis ssp. *kurstaki* Kurstak широко је распрострањена штапићаста, аеробна, грампозитивна, кристалоформна, спорогена, земљишна бактерија. У природи егзистира више њених сојева, као што су HD-1 (токсичан за лептире и комарце), HD-73 (токсичан само за лептире) (Federici 1993; Cannon 1996). У току спорулације, унутар својих ћелија, бацил производи параспорална тијела са једним или више протеина типичне кристалне форме, а који посједују инсектицидна својства. Хронологија интоксикационог процеса са *Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki* у осјетљивом домаћину, може се укратко описати на сљедећи начин: кратко послје ингестије, 15 минута до једног сата (Angus 1956; Burgerjon 1962), алкална средина средњег цријева инсекта раствара кристал у токсичну протеинску фракцију или фракције. Када је створен и активиран, овај мали протеин изазива пермеабилност ћелијских мембрана у зиду цријева, узрокујући надутост и прскање ћелија, што резултира парализом цријева и прекидом или драстичним умањењем исхране. Нешто цријевог садржаја продре у хемолимфу и код више осјетљивих инсеката смрт наступа за неколико сати. Код мање осјетљивих [нпр. *Hypanthria cunea* Drury, *Malacosoma neustria* L., *Stilpnotia salicis* L., *Hibernia defoliaria* L., *Operophtera brumata* L., *Cheimatobia brumata* L. *Tortrix viridana* L., *Archips podana* Scop., *Choristoneura fumiferana* (Clemens), *Lymantria dispar* L., *Thaumatopeoa processionea* L.] ингестиране споре продиру у хемолимфу, расту и умножавају се, а ларве умиру од очигледне септикемије у току 24 до 48 сати, или дуже (Percy and Fast 1983; Tabaković-Tošić 2008). Касних седамдесетих и средином осамдесетих година прошлог вијека, у шумским екосистемима, *Bacillus thuringiensis* био је највише кориштен препарат за сузбијање двије најзначајније градогене врсте дефолијатора, *C. fumiferana* и *L. dispar* (Tabaković-Tošić 2008).

7.2.2.3. Ентомопатогена гљива *Entomophaga maimaiga* у стратегијама инокулационог и инундативног биолошког сузбијања губара

Како је већ наведено, присуство, за сада најмоћнијег природног непријатеља губара, *E. maimaiga*, у Србији, детектовано је још 2011. године (Табаковић-Тошић et al. 2012), па је на позитивним локалитетима извршено сакупљање угинулих инфицираних ларви (Сл. 7.1), а које су послужиле за производњу довољне количине инфективног инокулума (Сл. 7.2) за припрему препарата за интродукцију у популације домаћина.



Сл. 7.1. Узорковање заражених угинулих ларви губара (а) и конидије и азигоспоре *E. maimaiga* (б) (Фото: Табаковић-Тошић 2013)
Fig. 7.1. Sampling of infected dead larvae gypsy moth (a) and Conidia and azygospores *E. Maimaiga* (b) (Photo: Tabaković-Tošić 2013)

У љетњем периоду 2013. и 2014. године оцјењиван је успјех интродукције и констатовано масовно угинуће домаћина. Све прикупљене, живе и угинуле ларве губара, прошле су кроз микроскопску анализу присуства азигоспора и конидија интродукованог ентомопатогена у њима (Сл. 7.2).



Сл. 7.2. Мултипликације инфективног инокулума (Фото: Табаковић-Тошић М 2012)
Fig. 7.2. Multiplications of the infectious inoculum (Photo: Tabaković-Tošić M 2012)

У периоду 2012–2013. године, на више од 100 локалитета у подручју централне Србије извршено је уношење ове гљиве с циљем њеног потпомогнутог ширења (Сл. 7.3).



Сл. 7.3. Уношење инфективног инокулума, непречишћене суспензије стерилисаног хумуса и азигоспора *E. Maimaiga* (а), у састојине са новим јајним леглима губара (б) (Фото: Табаковић-Тошић М 2013)

Fig. 7.3. Intake of infectious inoculum, untreated suspensions of sterilized humus and azigosporae *E. Maimaiga* (a), in stands with newly laid larvae eggs (b) (Photo: Tabaković-Tošić M 2013)

Резултат прегледа је био тај, да је недвосмислено и врло егзактно показано да је *E. maimaiga* изазвала њихово оболијевање и угинуће (Tabaković-Tošić 2014a, 2014b, 2015a, 2015b, 2016a, 2016b, 2016c; Tabaković-Tošić and Milosavljević 2018a, 2018b). Такође, обављена је и микроскопска анализа ларви других представника реда лептира, прикупљених из инфицираног подручја, а негативни резултати потврдили су уску специфичност, у погледу домаћина, овог ентомопатогена (Tabaković-Tošić and Milosavljević 2018a).

7.2.3. Аутоцидално сузбијање

Природне популације живих организама, као динамични системи, подложни су сталним променама генотипских, фенотипских и еколошких карактеристика, а које обезбеђују њихов опстанак у простору и времену. Имитирајући природну селекцију, научници широм свијета истраживали су поједине технике манипулације биолошким, углавном генотипским, особинама појединих врста. Акумулација што веће генетске промјенљивости, савремена је основа за унос корисних инсеката. Из овог резервоара, природна селекција ће сачувати сојеве који су супериорнији у превладавању баријера у новој животној средини.

Антитеза селективног узгоја супериорних, јесте одабир и узгој генетски инфериорних сојева, са измијењеним, есенцијалним, биолошким карактеристикама (нпр. стерилност мужјака и умањење репродуктивне моћи оба пола, немогућност уласка у дијапаузу а и исхране ларви услед промјена у морфологији усног апарата), који ће бити унесени у природу, те аутоцидалним дјеловањем утицати на абунданцију сопствене популације (Vreysen et al. 2007). Будући да се ради о живим организмима, аутоцидално сузбијање је једна од стратегија биолошког сузбијања. Самоуништење популације може се завршити спуштањем бројности испод прага штетности, или искорјењивањем (ерадикацијом), што није пожељно у шумским екосистемима јер се тиме уклањају еколошке нише корисних организама (Knipling 1960). Велики број експерименталних истраживања су резултирала закључком да аутоцидално сузбијање, у односу на конвенцијално биолошко, има предност, иако се ради о коришћењу генетски модификованих организама, јер много брже од осталих стратегија доводи до локалног сузбијања или искорјењивања.

7.3. Биолошко сузбијање патогена шумског дрвећа

Епидемије биљних болести јављају се као резултат дејства три главна елемента: осјетљива биљка домаћин, вирулентни патоген и повољни услови спољашње средине. За потпуно сагледавање развоја епидемије, неопходно је ова три елемента проширити са још два битна фактора: временски (веома је значајно у ком дијелу године ће се патоген појавити, као и дужина периода у коме ће температура и влажност бити повољни за његово развиће) и људски (интегрално управљање шумским ресурсима).

Најчешће болести паразитског поријекла јесу оне које проузрокују гљиве. Сузбијање узрочника биљних болести ријетко се може постићи без пажљиве комбинације многих техника. Примјена фунгицида у шумским екосистемима обично је прескупа, па се преферирају биолошке мјере борбе, кроз употребу антагонистичких или хиповирулентних врста микроорганизама и њихових сојева. У суштини, када су у питању биљни патогени, биолошке мјере борбе су више превентивне, него палијативне или љековите, а заснивају се на одрживим еколошким концептима шумских екосистема. Такав приступ је од великог значаја за одрживи развој шумских екосистема јер подржава превентивно дјеловање и умањују могућност повећаног негативног утицаја патогена.

7.3.1. Микоризне гљиве и биолошко сузбијање патогена

У природним условима, микоризне гљиве имају значајно мјесто у биолошком сузбијању појединих фитопатогених микроорганизама (нпр. гљива из родова *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Phytophthora*, *Heterobasidion*, *Armillaria*, *Sphaeropsis*) (Guenoune et al. 2001; Palermo et al. 2003; Luoma and Eberhart 2006; Riedlinger et al. 2006; Montecchio et al. 2009; Scatolin et al. 2012). Duchesne (1994) описује активне и пасивне механизме дјеловања микоризних гљива у заштити фитобионта. Активни механизми могу дјеловати самостално, истодобно (симултано) или синергистички, а чине их инхибиција, конкурентност, те механичко или хемијско, инфузијом фенолних једињења и производњом терпена, онемогућавање патогена. С друге стране, постоје пасивни механизми спречавања болести, а чине их добро физиолошко стање фитобионта, те физиолошке модификације коријена, узроковане претходно обављеном микоризацијом. У Институту за шумарство у Београду испитивана је интеракција између микоризних [*Suillus granulatus* (L.) Snell, *S. luteus* (L.) Gray, *S. bovinus* (Pers.) Kunze, *Hebeloma* spp., *Paxillus involutus* (Batsch) Fr., *Amanita muscaria* (L.) Hook] и фитопатогених гљива (*Fusarium oxysporum* Sch., *Pythium debaryianum* Hesse). Три (*S. granulatus*, *S. bovinus*, *Hebeloma* spp.), од шест тестираних врста микоризних гљива, показале су антагонистичко дјеловање (Golubović-Ćurguz et al. 2008).

7.3.2. Сузбијање трулежнице коријена *Heterobasidion annosum* биофунгицидима

Према досадашњим истраживањима, најзначајнији биотички фактор који доводи до сушења четинара су трулежнице коријена, првенствено гљива *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. У Европи, *H. annosum* је подијељен на три врсте: *H. parviporum* Niemelä & Korhonen (на смрчи), *H. annosum* (Fr.) Bref. (на бору) и *H. abietinum* Niemelä & Korhonen (на јели). То је примарни патоген који физиолошки слаби дрвеће, узрокује трулеж њиховог коријења и дебала, омогућује јак напад секундарних штеточина, првенствено поткорњака, а у каснијој фази и инфекцију врстама из рода *Armillaria*, што све заједно доводи до одумирања стабала (Munda et al. 1998). Усљед трулежи коријена, долази и до ломова и извала, посебно током зимских мјесеци, када се на стаблима нахвата влажан, тежак снијег који оптерећује круну, а истовремено дувају и јаки, олујни вјетрови. Штете се испољавају и у томе, што је на неким, јако угроженим стаништима, веома тешко обавити пошумљавање са високо продуктивним врстама дрвећа.

Као и са другим узрочницима трулежи коријена, борба против *H. annosum* веома је тешка. Најприхватљивији метод је премазивање свјежих пањева, одмах после сјече, као и механичких оштећења у приданку и дијеловима коријена на површини тла, биофунгицидима – суспензијама спора сапрофитске гљиве *Phlebiopsis (Peniophora) gigantea* (Fr.), чиме се спречава ширење заразе (Miličević i Kaleterina 2014). На бази спора ове гљиве у свијету је регистровано неколико биофунгицида (PG Suspension у Енглеској, Penofil у Мађарској и Rotstop у Финској).

7.3.3. Хиповирулентни сојеви и биолошко сузбијање патогена

Питоми кестен (*Castanea sativa* Mill.) је реликтна, регресивна, врста у флори Балканског полуострва, чији се ареал, под утицајем великог броја абиотичких и биотичких фактора, све више сужава. Иако се ради о ланцу узрочника, његов опстанак највише зависи од осјетљивости према, за њега уско специфичној, фитопатогеној гљиви *Cryphonectria parasitica* (Murrill) M.E. Barr, узрочнику рака коре (Сл. 7.4). По мишљењу неких од свјетских ботаничара, сушење америчког кестена *Castanea dentata* (Marsh.) Borkh., изазвано овим патогеном, представља једну од највећих ботаничких катастрофа у историји човјечанства.

Осамдесетих година прошлог вијека, прво у Италији, а затим и у Француској, примијећено је да су многа стара стабла питомог кестена преживјела заразе хиповирулентним сојевима *C. parasitica*, што је указало на нове путеве испитивања могућности њихове примјене у стратегијама биолошког сузбијања. Лабораторијска истраживања су показала да хиповирулентни сојеви, у цитоплазми ћелија хифа, садрже вирус који знатно утиче на умањење њихове патогености. Хиповирулентни сојеви *C. parasitica*, после остварене инфекције, изазивају рак ране, али исте убрзо бивају калусиране и затворене, односно постају бенигне (Сл. 7.4).

Истраживања су показала да се, путем анастомозе хифа, вирус са хиповирулентног соја може пренијети на агресивни, те на тај начин умањити његову вируленцију. Хиповирусни сојеви могу преживјети и размножавати се (асексуално) на кори одумрлог кестена (Prospero 2006). Хиповирулентни сојеви посједују три главне карактеристике: изазивају само ограничену штету јер се инфицирано стабло брзо опоравља, спречавају заразе агресивним сојевима, а када се нанесу на периферију рак рана, они их лијече (Rigling and Prospero 2018).



Сл. 7.4. Инфекција стабала кестена, агресивним сојем *Cryphonectria parasitica* (а), рак ране на кори (б), уношење хиповирулентног соја у заражене састојине кестена (в) и његов резултат бенигна, калусирана, рак рана на кори (г) (Фото: Мара Табаковић-Тошић 2019)

Fig. 7.4. Infection of chestnut trees, aggressive strain *Cryphonectria parasitica* (a), bark wound cancer (b), Intake of the hypovirulent strain in infected chestnut stands (v) and its result benign, callused, wound cancer (g) (Photo: Tabaković-Tošić 2019)

7.4. Закључак

Биолошко сузбијање економски штетних шумских организама подразумијева да они који одлучују о његовој примјени у конкретним условима средине, претходно треба тачно да идентификују врсту штеточине, процијене ниво инфестације и прогнозирају потенцијалну економску штету, истраже све доступне стратегије, процијене њихове предности и мане, те одаберу најефикаснију мјеру, а која мора бити у корелацији са свим важећим локалним, државним и међународним прописима. У оквиру биолошког сузбијања штеточина, углавном инсеката, користе се различите стратегије, а које, у основи, укључују унос природних непријатеља, предатора, паразитоида и патогена, аутохтоних и алохтоних штетних врста инсеката (класично и инокулационо биолошко сузбијање) и повећање њихове бројности (инундационо биолошко сузбијање). Посебна, обећавајућа, стратегија у оквиру биолошког сузбијања је селекција сојева са генетски индукваном способношћу аутоцидалног дјеловања. Класично биолошко сузбијање имплицира увођење „егзотичних“, алохтоних организама у подручја гдје, такође егзотичне, случајно или намјерно, унесене штеточине, треба да буду сузбијене. Паразитоиди су омиљени агенси класичног биолошког сузбијања шумских штеточина. Посебну пажњу треба посветити испитивању могућности примјене метода биолошког сузбијања инвазивних

врста шумских инсеката. Вјештачко ширење патогена, као дио биолошког сузбијања, препоручује се на мјестима гдје се предвиђа да ће, због недостатка времена, или прениске густине популације домаћина, природно ширење бити недовољно. У повољним условима средине, бакуловируси имају потенцијал да иницирају флукуације у популацијама појединих, економски штетних врста инсеката, па су високо цијењени у стратегијама биолошког сузбијања. Аутоцидално сузбијање, у односу на конвенцијално биолошко, има предност, иако се ради о коришћењу генетски модификованих организама, јер доводи до локалног сузбијања или искорјењивања штеточина много брже од осталих стратегија.

Примјена фунгицида у шумским екосистемима обично је прескупа, па се преферирају биолошке мјере борбе, кроз употребу антагонистичких или хиповирулентних врста микроорганизама и њихових сојева. У суштини, када су у питању биљни патогени, биолошке мјере борбе више су превентивне, него палијативне или љековите, а заснивају се на одрживим еколошким концептима шумских екосистема. У природним условима, микоризне гљиве имају значајно мјесто у биолошком сузбијању појединих фитопатогених микроорганизама кроз активне и пасивне механизме дјеловања микоризних гљива у заштити фитобионта. Сузбијање узрочника биљних болести ријетко се може постићи без пажљиве комбинације многих техника. Легислативом из области заштите природе и животне средине у многим земљама забрањен је унос алохтоних, егзотичних врста, па је, самим тим, онемогућена примјена већег број стратегија биолошког сузбијања.

Литература

- Adams JR, McClintock JT (1991) Baculoviridae. Nuclear Polyhedrosis Viruses. Part 1. Nuclear Polyhedrosis Viruses of Insects. In: Adams JR, Bonami JR (eds) Atlas of Invertebrate Viruses, Boca Raton, FL: CRC Press, pp 87–204
- Aebi A, Schonrogge K, Melika G, Alma A, Bosio G, Quacchia A, Picciau L, Abe Y, Moriya S, Yara K, Seljak G, Stone GN (2006) Parasitoid recruitment to the globally invasive chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus*. In: Ozaki K, Yukawa J, Ohgushi T, Price PW (Eds.) Ecology and evolution of galling arthropods and their associates, Springer-Verlag, Tokyo, pp 103–121
- Aebi A, Schonrogge K, Melika G, Quacchia A, Alma A, Stone GN (2007) Native and introduced parasitoids attacking the invasive chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus*. OEPP/EPPO Bulletin 37:166–171
- Anderson RM, May RM (1980) Infection diseases and population cycles of forest insects. Science 210:658–661

- Angus TA (1956) Association of toxicity with protein crystalline inclusions of *Bacillus sotto* Ishiwata. *Canad J Microbiol* 2:122–131
- Bonning DC, Hammock BD (1996) Development of recombinant Baculoviruses for insect control. *Annu Rev Entomol* 41:191–210
- Borowiec N, Thaon M, Brancaccio L, Warot S, Vercken E, Fauvergue X, Ris N, Malausa JC (2014) Classical biological control against the chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus* (Hymenoptera, Cynipidae) in France. *Plant Protection Quarterly* 29(1):7–10
- Bourgerjon A (1962) Relation entre l'intoxication provoquée par *Bacillus thuringiensis* Berliner et la consommation chez *Pieris brassicae* L. *Anns Epiphyt* 13:59–72
- Vail PV (1993) Viruses for control of arthropod pests. In: Lumsden RD, Vaughn JL (eds) ACS Proceedings Series, Pest Management: Biologically Based Technologies, Chem Soc, Washington DC, pp 30–39
- Georgiev G, Pilarska D, Mirchev P, Rossnev B, Petkov P, Pilarski P, Golemanski V, Todorov M, Takov D, Hubenov Z, Georgieva M, Matova M, Kitanova S (2010) *Entomophaga maimaiga*-a factor for increasing stability and enhancing biodiversity in oak forests on the Balkan Peninsula. *Proceed Int Sci Confer for Ecosyst. Climate Changes* 1:181–185
- Georgiev G, Mirchev P, Georgieva M, Rossnev B, Petkov P, Matova M, Kitanova S (2012) First Record of Entomopathogenic Fungus *Entomophaga maimaiga* Humber, Shimazu and Soper (Entomophthorales: Entomophthoraceae) in *Lymantria dispar* (Linnaeus) (Lepidoptera: Lymantriidae) in Turkey. *Acta zoologica bulgarica* 64(2):123–127
- Georgieva M, Georgiev G, Pilarska D, Pilarski P, Mirchev P, Papazova-Anakieva I, Naceski S, Vafeidis P, Matova M (2013) First record of *Entomophaga maimaiga* (Entomophthorales: Entomophthoraceae) in *Lymantria dispar* populations in Greece and the Former Yugoslavian Republic of Macedonia. *Šumarski list* 5–6:307–311
- Georgieva M, Takov D, Georgiev G, Pilarska D, Pilarski P, Mirchev P, Humber R (2014) Studies on Non-target Phyllophagous Insects in Oak Forests as Potential Hosts of *Entomophaga maimaiga* (Entomophthorales: Entomophthoraceae) in Bulgaria. *Acta Zoologica Bulgarica* 66(1):115–120
- Golubović Ćurguz V, Raičević V, Rajković S, Tabaković-Tošić M, Jovanović Lj (2008) The possibility of application of mycorrhizal fungi in the biocontrol of pathogenic fungi *Fusarium oxysporum* Sch. and *Pythium debaryanum* Hesse, *Journal of Balkan Ecology* 11(3):287–296
- Granados RR, Federici BA (1986) *The Biology of Baculoviruses, Vols. I and II*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Guenoune D, Galili S, Phillips DA, Volpin H, Chet I, Okon Y, Kapulnik Y (2001) The defense response elicited by the pathogen *Rhizoctonia solani* is suppressed by colonization of the AM fungus *Glomus intraradices*. *Plant Sci* 160:925–932

- Dahlsten DL, Mills NJ (1999) Biological Control of Forest Insects. In: Bellows TS, Fisher TW (eds) Handbook of Biological Control: Principles and Applications. Academic Press, San Diego, CA
- Delalić Z (2016) First record of quarantine pest, oriental chestnut gall wasp (*Dryocosmus kuriphilus*), in Bosnia and Herzegovina. Biljni Lekar (Plant Doctor) 44:58–65
- Duchesne LC (1994) Role of ectomycorrhizal fungi in Biocontrol. In: Pfleger FL, Linderman RG (eds) Mycorrhizae and plant health, APS Press, St. Paul, pp 27–45
- Evans HF (1986) Ecology and epizootiology of Baculoviruses. In: Granados RR, Federici BA, (eds) The Biology of Baculoviruses. Vol. II Practical Application for Insect Control, CRC Press, Boca Raton, FL, pp 89–132
- Zúbrik M, Barta M, Pilarska D, Goertz D, Úradník M, Galko J, Vakula J, Gubka A, Rell S, Kunca A (2014) First record of *Entomophaga maimaiga* (Entomophthorales: Entomophthoraceae) in Slovakia. Biocontrol Science and Technology 24(6):710–714
- Kereselidze M, Pilarska D, Hajek A, Jensen AB, Linde A (2011) First record of *Entomophaga maimaiga* Humber, Shimazu & Soper (Entomophthorales: Entomophthoraceae) in Georgia. Biocontrol, Science and Technology 21:1375–1380
- Knipling EF (1960) Use of insects for their own destruction. Journal of Economic Entomology 55:782–786
- Lacey LA, Frutos R, Kaya HK (2001) Insect Pathogens as Biological Control Agents: Do They Have a Future? Biological Control 21:230–248
- Luoma DL, Eberhart JL (2006) Are differences in the ectomycorrhiza community correlated with Swiss needle cast severity? In: Shaw D (ed) Annual report 2006, Swiss needle cast cooperative, Oregon State University, Corvallis, pp 60–64
- Matošević D, Melika G (2013) Recruitment of native parasitoids to a new invasive host: first results of *Dryocosmus kuriphilus* parasitoid assemblage in Croatia. Bull Insectology 66(2):231–238
- Matošević D, Lacković N, Melika G, Kos K, Franić I, Kriston É, Bozsó M, Seljak G, Rot G (2015) Biological control of invasive *Dryocosmus kuriphilus* with introduced parasitoid *Torymus sinensis* in Croatia, Slovenia and Hungary. Periodicum Biologorum 117(4):471–477
- McCoy CW, Samson RA, Boucias D (1988) Entomogenous fungi. In: Ignoffo CM, Mandava NB (eds) Handbook of Natural Pesticides, Vol. V - Microbial Insecticides, Part A: Entomogenous Protozoa and Fungi, CRC Press, Boca Raton, FL, pp 151–236
- Miličević T, Kaliterna J (2014) Biološko suzbijanje bolesti kao dio integrirane zaštite bilja. Glasilo biljne zaštite (14/5):5–415
- Miller LK (1995) Genetically engineered insect virus pesticides: Present and future. J Invertebr Pathol 65:211–216

- Milotić M, Mujezinović O, Dautbašić M, Trešić T, Pilarska D, Diminić D (2015) First record of gypsy moth entomopathogenic fungus *Entomophaga maimaiga* Humber, Shimazu & R.S. Soper in Bosnia and Herzegovina. *Šumarski list* 1–2:59–67
- Mirchev P, Linde A, Pilarska D, Pilarski P, Georgieva M, Georgiev G (2013) Impact of *Entomophaga maimaiga* on gypsy moth populations in Bulgaria. *IOBC-WPRS Bull* 90:359–363
- Montecchio, L, Motta E, Mutto Accordi S. (2009) Le ectomicorrize come indicatori di salute delle piante forestali. *Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura. Taormina (ME), 16-19 ottobre 2008. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp 657–662*
- Moreau G, Lucarotti C (2007) A brief review of the past use of baculoviruses for the management of eruptive forest defoliators and recent developments on a sawfly virus in Canada. *The Forestry Chronicle* 83(1):105–112
- Moriya S, Shiga M, Adachi I (2003) Classical biological control of the chestnut gall wasp in Japan In: van Driesche RG (ed) *Proceedings of the 1st international symposium on biological control of arthropods, Honolulu, USA, pp 407–415*
- Myers JH (1988) Can a general hypothesis explain population cycles of forest Lepidoptera? *Advances in Ecological Research* 1:179–242
- Munda A, Macek J, Javornik B (1998) Distribution, ecology and genetic variability of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. in Slovenia. In: *Root and butt rots of forest trees: 9th International Conference on Root and Butt Rots, Carcans-Maubuisson, (France), 1-7 September, 1997. [Root and butt rots of forest trees: 9th International Conference on Root and Butt Rots, Carcans-Maubuisson, (France), 1-7 September, 1997.], [ed. by Delatour C, Guillaumin J J, Lung-Escarmant B, Marçais B]. Paris, France: Institut National de la Recherche Agronomique (INRA): 103-111*
- Netoiu C, Tomescu R, Iliescu O, Buzatu A (2016) *Entomophaga maimaiga* in romania and future possibilities in biological control of *Lymantria dispar* populations. *analele Universității din Craiova, seria Agricultură – Montanologie – Cadastru, Annals of the University of Craiova - Agriculture, Montanology, Cadastre Series* 46:646–655
- Olofsson E (1987) Mortality factors in a population of *Neodiprion sertifer* (Hymenoptera: Diprionidae). *Oikos* 48:297–303
- Quacchia A, Moriya S, Bosio G, Scapin I, Alma A (2008) Rearing, release and settlement prospect in Italy of *Torymus sinensis*, the biological control agent of the chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus*. *BioControl* 53(6):829–839
- Quacchia A, Ferracini C, Nicholls JA, Piazza E, Saladini MA, Tota F, Melika G, Alma A (2012) Chalcid parasitoid community associated with the invading pest *Dryocosmus kuriphilus* in north-western Italy. *Insect Conserv Diver* 6(2):114–123
- Palermo BL, Clancy KM, Koch GW (2003) The potential role of ectomycorrhizal fungi in determining Douglas-fir resistance to defoliation by the Western Spruce Budworm (*Lepidoptera: Tortricidae*). *Journal of Economic Entomology* 96(3):783–791

- Percy J, Fast PG (1983) *Bacillus thuringiensis* crystal toxin: ultrastructural studies of its effect on silkworm midgut cells. *J Invert Path* 41:86–98
- Pilarska D, McManus M, Hajek A, Herard F, Vega F, Pilarski P, Markova G (2000) Introduction of the entomopathogenic fungus *Entomophaga maimaiga* Hum., Shim. & Sop. (Zygomycetes: Entomophthorales) to a *Lymantria dispar* (L.) (Lepidoptera: Lymantriidae) population in Bulgaria. *Journal of Pest Science* 73:125–126
- Pilarska D, Georgiev G, Golemansky V, Pilarski P, Mirchev P, Georgieva M, Tabakovic-Tosic M, Todorov M, Takov D, Pernek M, Hrasovec B, Milotic M, Dautabasic M, Mujezinovic O, Naceski S, Papazova-Anakieva I, Matova M, Vafeidis P. (2016) *Entomophaga maimaiga* (Entomophthorales: Entomophthoraceae) in Balkan Peninsula – an overview. *Silva Balcanica* 17(1):31–40
- Possee RD (1993) Viral approaches for insect control. In: Kim L (ed), New York: Dekker, pp 99–112
- Prospero S, Conedera M, Heiniger U, Rigling D (2006) Saprophytic activity and sporulation of *Cryphonectria parasitica* on dead chestnut wood in forests with naturally established hypovirulence. *Phytopathology* 96:1337–1344
- Rigling D, Prospero S (2018) *Cryphonectria parasitica*, the causal agent of chestnut blight: invasion history, population biology and disease control. *molecular plant pathology* 19(1):7–20
- Riedlinger J, Schrey SD, Tarkka MT, Hampp R, Kapur M, Fiedler HP (2006) Auxofuran, a novel metabolite that stimulates the growth of fly agaric, is produced by the mycorrhiza helper bacterium *Streptomyces* strain Ach 505. *App Environ Microbiol* 72:3550–3557
- Santi F, Maini S (2012) Il cinipide galligeno del castagno e i suoi nemici naturali. *Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura* 74:64–69
- Scatolin L, Dal Maso E, Mutto Accordi S, Sella L, Montecchio L (2012) Detecting asymptomatic ink-diseased chestnut trees by the composition of ectomycorrhizal community. *Forest Pathology* 42:501–509
- Solter LF, Hajek A (2009) Control of gypsy moth, *Lymantria dispar*, in North America since 1878. – In: Hajek A, O’Callaghan M, Glare T (eds) *Use of Microbes for Control and Eradication of Invasive Arthropods*, Springer Publ. Co, pp 181–212
- Starnes, LR, Chi Li Liu, Marrone GP (1993) History, Use, and Future of Microbial Insecticides. *American Entomologist* 39(2):83–91
- Tabaković-Tošić M, Lazarev V, Rajković S (2006) O integralnoj zaštiti šuma. *Zbornik radova Instituta za šumarstvo Beograd*, 54–55:57–76
- Tabaković-Tošić M (2008) Entomopatogena bakterija *Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki* važna komponenta integralne zaštite šumskih ekosistema/ Entomopathogenic bacterium *Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki* the important component of the integral protection of forest ecosystems. *Institut za šumarstvo Beograd/Institute of Forestry Belgrade, posebna izdanja/special editions, Beograd/Belgrade*

- Tabaković-Tošić M, Golubović-Ćurguz V, Tošić D (2011) New technological methods in the integrated forest protection in the Republic of Serbia. In: Proceedings of the International Scientific Conference "Integrated Plant Protection: Strategy and Tactics", Minsk, Belarus, 2011, pp 49–55
- Tabaković-Tošić M (2014a) Distribution of *Entomophaga maimaiga* in central part of Serbia in the period 2011-2013. *Silva Balcanica* 15(1):110–115
- Tabaković-Tošić M (2014b) Suppression of gypsy moth population in Mountain Avala (Republic of Serbia) by introduction of entomopathogenic fungus *Entomophaga maimaiga*. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences* 67(1):61–66
- Tabaković-Tošić M (2014c) *Lymantria dispar multicapsid nuclear polyhedrosis virus* and *Entomophaga maimaiga* - significant biological agents of the gypsy moth control in the forests of central Serbia in the period 2010 – 2014. In: Marčić D, Glavendekić M, Nicot P (eds), Proceedings of the 7th Congress on Plant Protection, Plant Protection Society of Serbia, IOBC-EPRS, IOBC-WPRS, pp 237–241
- Tabaković-Tošić M (2015a) *Lymantria dispar multicapsid nuclear polyhedrosis virus* and *Entomophaga maimaiga* - significant biological agents of the gypsy moth control in the forests of central Serbia in the period 2010-2014. Proceedings of the 7th Congress on Plant Protection: "Integrated Plant Protection – Knowledge-Based Step Towards Sustainable Agriculture, Forestry and Landscape Architecture", 24-28 November 2014, Zlatibor, Plant Protection Society of Serbia, IOBC-EPRS, IOBC-WPRS, Belgrade, pp 237–241
- Tabaković-Tošić M (2015b) Entomopathogenic fungus *Entomophaga maimaiga* and integrated pest management in Serbia. 67th International Symposium on Crop Protection, May 19, 2015 Ghent Belgium, Ghent University, Faculty of Bioscience Engineering, Coupure links 653, BE-9000 Ghent (Belgium), Proceedings, pp 153–161
- Tabaković-Tošić M (2016a) *Entomophaga maimaiga* caused the crash of the gypsy moth outbreak in the forests of Central Serbia in the 2014. New Challenges for Biological Control - 15th Meeting of the IOBC/WPRS WG „Microbial and Nematode Control of Invertebrate Pests”, Riga, 7-10 Jun 2015. IOBC-WPRS Bulletin 113:57–60
- Tabaković-Tošić M (2016b) The gypsy moth control by assisted spreading of *Entomophaga maimaiga* in oak forests in Serbia in the period 2011-2014 / *La suppression de Spongieuses dans les forêts de chênes de Serbie assistée par l'expansion de l'Entomophaga maimaiga pendant la période 2011-2014*. 8th Meeting Working Group "Integrated Protection in *Quercus* sp. Forests" / 8^{ème} Meeting Groupe de Travail "Protection Intégrée des Forêts à *Quercus* sp.", 23-27 October /23-27 octobre 2016, Universidad de Córdoba. IOBC-WPRS Bulletin 127:72–76

- Tabaković-Tošić M (2016c) Introduction of *Entomophaga maimaiga* in the gypsy moth populations in some coppice beech forests in Central Serbia. International Conference "Coppice Forests in Europe: Ecosystem services, protection and nature conservation", University of Antwerpen, Belgium, 15–17 June, 2016; Book of Abstracts, p 41
- Tabaković-Tošić M (2019) *Entomophaga maimaiga* caused the crash of the gypsy moth outbreak in the beech forests of northwestern part of Serbia in the 2013. International Conference on Agriculture, Food, Veterinary and Pharmacy Sciences, 16-18 March, Trabzon, Turkey, Conference E–Book, pp 226–231
- Tabaković-Tošić M, Milosavljević M (2018a) Studies on non-target phytophagous Lepidoptera in some oak forests in Đerdap National Park as potential host of *Entomophaga maimaiga*. In: Bağdatlı C, Kalipci E, Şahinkaya S (eds) Proceedings E–Book of International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies (ICAFOF 2018), April, 2 - 5, 2018, Çeşme-İzmir/Turkey, pp 550–557
- Tabaković-Tošić M, Georgiev G, Mirchev P, Tošić D, Golubović-Ćurguz V (2012) *Entomophaga maimaiga* – new entomopathogenic fungus in the Republic of Serbia. African Journal of Biotechnology 11:8571–8577
- Tabaković-Tošić M, Milosavljević M (2018b) *Entomophaga maimaiga* and *Entomophaga aulicae* - powerful protectors of vitality and health of deciduous forests in Republic of Serbia. International Conference "Forest Science for a Sustainable Forestry and Human Wellbeing in a Changing World – INCDS Marin Drăcea 85 Years of Activity, Centenary of The Great Union in 1918", 18-21 September, Bucharest, Romania. Revista de Silvicultură și Cinegetică, Anul 23(43):13–17
- Tanada Y (1976) Ecology of insect viruses. In: Anderson JF, Kaya HK (eds), *Perspectives in Forest Entomology*, New York: Academic Press, pp 265–283
- Tanada Y, Hess RT (1991) Baculoviridae. Granulosis virus. In: Adams JR, Bonami JR (eds) Atlas of Invertebrate Viruses, Boca Raton, FL: CRC Press, pp 227–257
- Federici BA (1993) Insecticidal bacterial protein identify the midgut epithelium as a source of novel target sites for insect control. Archives of Insect Biochemistry and Physiology 22:357–371
- Francati S, Alma A, Ferracini C, Pollini A, Dindo ML (2015) Indigenous parasitoids associated with *Dryocosmus kuriphilus* in a chestnut production area of Emilia Romagna (Italy). Bull Insectology 68(1):127–134
- Hajek A (1999) Pathology and Epizootiology of *Entomophaga maimaiga* Infections in Forest Lepidoptera. Microbiology and Molecular Biology Reviews 63(4):814–835
- Hajek AE, Delalibera IJ (2010) Fungal pathogens as classical biological control agents against arthropods. BioControl 55:147–158
- Hajek A, Butler L, Walsh SRA, Silver JC, Hain FP, Hastings FL (1996) Host range of the gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) pathogen *Entomophaga maimaiga* (Zygomycetes: Entomophthorales) in the field versus laboratory. Environmental Entomology 25:709–721

- Hoch G, Pilarska D, Georgieva M, Georgiev G, Mirchev P, Schafellner C (2019) Erstnachweis des insektenpathogenen Pilzes *Entomophaga maimaiga* in Populationen des Schwammspinners in Österreich (First record of the entomopathogenic fungus *Entomophaga maimaiga* in gypsy moth populations in Austria). BFW. Forstschutz Aktuell 66, pp 1–5 (online)
- Hrašovec B, Pernek M, Lukić I, Milotić M, Diminić D, Franjević M, Hajek A, Linde A, Pilarska D (2013) First record of the pathogenic fungus *Entomophaga maimaiga* Humber, Shimazu, and Soper (Entomophthorales: Entomophthoraceae) within an outbreak populations of *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Erebididae) in Croatia. Periodicum Biologorum 115(3):379–384
- Hunter-Fujita FR, Entwistle PF, Evans HF et al. (1998) Insect Viruses and Pest Management. New York: Wiley
- Cannon RJC (1996) *Bacillus thuringiensis* use in agriculture: A molecular perspective. Biol Rev 71:561–636
- Cooper WR, Rieske LK (2011) A native and an introduced parasitoid utilize an exotic gall-maker host. BioControl 56(5):725–734
- Csóka G, Hirka A, Szócs L, Hajek A (2014) A rovarpatogén *Entomophaga maimaiga* Humber, Shimazu & Soper, 1988 (Entomophthorales: Entomophthoraceae) gomba megjelenése magyarországi gyapjaslepke (*Lymantria dispar*) populációkban. Növényvédelem 50(6):257–262
- Cunningham, JC (1995) Baculoviruses as microbial insecticides. In: Reuveni R (ed) Novel Approaches to Integrated Pest Management, Boca Raton, FL: Lewis Publishers, pp 261–292
- Yasumatsu K, Kamijo K (1979) Chalcidoid parasites of *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Cyn ipidae) in Japan, with descriptions of five new species (Hymenoptera). Esakia 1:93–111
- Vreysen MJB, Robinson AS, Hendrichs J (2007) Area-Wide Control of Insect Pests From Research to Field Implementation. Joint FAO/IAEA Programme of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Vienna Austria: pp 790
- Wood HA (1995) Development and testing of genetically improved baculovirus insecticides. In: Shuler ML, Wood HA, Granados RR et al. (eds) Baculovirus Expression Systems and Biopesticides, New York: Wiley–Liss, pp 91–102

Principles and strategies of biological control economically harmful forest organisms

Mara Tabaković-Tošić

Summary

Essentially, biological control is nothing but applied ecology, ie the use of natural enemies to (regulatory) reduce abundance in pest populations. Intellectually satisfying, biologically intriguing and ecologically rational, a means of pest control, biological control, is one of the areas of integrated management and protection of forest ecosystems, which is rapidly developing and brings together scientists from many disciplines. Ecologists, entomologists, pathologists of plants and insects, microbiologists, approach the subject of research from different angles. Each discipline uses biological control in order to reduce the number of pests or pathogens, through the activity of beneficial living organisms. Biological control of economically harmful forest organisms means that those who decide on its application in specific environmental conditions should first accurately identify the type of pest, assess the level of infestation and predict potential economic damage, explore all available strategies, their advantages and disadvantages, and select the most efficient, which must be in correlation with all applicable local, national and international regulations.

Within the biological control of pests, mainly insects, various strategies are used, which basically include the introduction of natural enemies, predators, parasitoids and pathogens, indigenous and allochthonous harmful insect species (classical and inoculation biological control) and increasing their numbers (inundative biological suppression). It should be noted here that the legislation in the field of nature and environmental protection prohibits the introduction of allochthonous, exotic species into natural and anthropogenic ecosystems in many countries, and therefore, the application of biological control is quite limited.

A special, promising, strategy within biological control is the selection of strains with genetically induced ability of autocidal action. Entomopathogenic organisms, various types of viruses, microsporidia, bacteria, protozoa, fungi, which under favorable conditions can cause mass death of insects, live normally in nature and are important regulatory factors in host populations. Epizootics caused by natural viral and fungal pathogens are often responsible for spectacular crashes in populations of graded species, e.g. gubara, žutotrbe,

ordinary and red pine sol. Despite such brilliant characteristics, a small number of them are included in certain biological control strategies. Suppression of plant pathogens can rarely be achieved without a careful combination of many techniques. Legislation in the field of nature and environmental protection in many countries prohibits the introduction of non-native, exotic species, and thus, the application of a number of biological control strategies is prevented. The application of fungicides in forest ecosystems is usually too expensive, so biological control measures are preferred, through the use of antagonistic or hypovirulent species of microorganisms and their strains. In essence, when it comes to plant pathogens, biological control measures are more preventive than palliative or curative, and are based on sustainable ecological concepts of forest ecosystems.

Keywords: Predators, parasitoids, pathogens, mycorrhizae, autochthonous and allochthonous species, pests and plant pathogens, classical, inoculation and inductive biological control, hypovirulence, antagonism

