Baština Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

Simpozij zaštita šuma-stabilnost šumskih ekosistema: Dan šuma

Beus, Vladimir; urednik

2024-09

https://bastina.anubih.ba/handle/123456789/794

Preuzeto s Baštine Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

https://bastina.anubih.ba/

DOI: 10.5644/PI2024.211.21
Pregledni članak

Gljive kao indikatori stabilnosti šumskih ekosistema

Tarik Treštić
Univerzitet u Sarajevu – Šumarski fakultet
t.trestic@sfsa.unsa.ba

Nedim Jukić
Mikološko udruženje MycoBH Sarajevo

Nihad Omerović
Mikološko udruženje MycoBH Sarajevo

Apstrakt: Gljive u šumskim ekosistemima igraju ključnu ulogu u očuvanju biodiverziteta, regulaciji klimatskih promjena i osiguravanju resursa. Ovaj rad fokusira se na analizu uloge gljiva kao pokazatelja ekoloških faktora u šumama, koristeći rezultate novijih istraživanja. Općenito, gljive koriste raspoloživu organsku materiju, bilo da je u živom ili mrtvom obliku. Pri tome se one sukcesivno smjenjuju i zajedno s drugim organizmima sudjeluju u potpunoj razgradnji organske materije. S obzirom na to, gljive pripadaju različitim grupama u pogledu ishrane. Mikorizne gljive uspostavljaju simbiotske veze s drvećem, grmljem i drugim biljkama kojima tako pomažu u bržem razvoju i jačoj otpornosti prema štetnim uticajima. Posredujući između korijena biljaka i supstrata u kojem se on nalazi, gljive direktno utiču na rast biljaka i općenito pospješuju proizvodnju biomase. Tako na primjer, *Cenococcum geophilum* Fr., *Russula ochroleuca* Pers., *Imleria badia* (Fr.) Vizzini i neke druge vrste gljiva potiču brži rast drveća i pomažu im u stresnim situacijama. Velika grupa gljiva koriste i mrtvu organsku materiju, čime sprječavaju njeno nagomilavanje u ekosistemima, a u krajnjem, vraćaju je u mineralni oblik ponovo dostupan autotrofnim, prvenstveno biljnim organizmima. Iz ove grupe gljiva, *Hericium coralloides* (Scop.) Pers. je pokazatelj dobrog i nenarušenog stanja šuma bukve i hrasta, dok gljiva *Biscogniauxia nummularia* (Bull.) Kuntze ukazuje na pogoršano zdravstveno stanje u ovim šumama.
Zbog ovih uloga, zastupljenost mikoriznih i saprotrofnih gljiva u šumskim ekosistemima može se koristiti kao indikator njihove opće stabilnosti, a pojedini predstavnici iz obje navedene grupe kao specifični indikatori kvalitativnih promjena u njima. Međutim, pojavljivanje pojedinih vrsta gljiva u šumskim ekosistemima teško je predvidjeti zbog njihove ovisnosti o brojnim faktorima (klima, stanište, gazdovanje šumama, fenologija i uzrast drveća, čovjek i dr.), zbog čega postoje brojne nedoumice u njihovoj primjeni kao pokazatelja kvaliteta staništa, vitalnosti i zdravstvenog stanja drveća i šuma.
U radu se pojašnjava ekološka uloga indikatorskih gljiva s obzirom na podršku rastu i vitalnosti drveća, zdravlju šuma i drveća općenito te kruženju hranljivih materija u šumskom ekosistemu. Posebno se naglašava kako prisustvo ili odsutnost indikatorskih gljiva može signalizirati specifične uslove u šumi. Cilj rada je da pruži uvid u značaj indikatorskih gljiva u šumskim ekosistemima, ističući njihovu važnost u očuvanju potencijala i zdravlja šuma u održivom upravljanju šumama.

Ključne riječi: gljive, bioindikatori, mikoriza, ekološke funkcije, usluge ekosistema

Uvod

Šumski ekosistemi imaju ogroman značaj za planetu Zemlju i za čovječanstvo. Kao prirodni rezervati, igraju ključnu ulogu u očuvanju raznovrsnosti života na Zemlji (pružaju staništa za brojne endemične vrste, ugrožene vrste i vrste koje su važne za očuvanje biodiverziteta), igraju vitalnu ulogu u regulaciji klimatskih uslova i pružaju brojne druge ekosistemske usluge koje su od suštinskog značaja za čovječanstvo. Svjesni ovakvog značaja šuma, naučnici već duže vrijeme tragaju za znanjima koja pomažu u održivom upravljanju šumskim resursima. Korištenje bioindikatorskih organizama predstavlja samo jedan od alata koji se koriste pri ranoj detekciji poremećaja koji bi mogli uzrokovati ozbiljnije promjene u šumskim ekosistemima.

Vrste, grupe vrsta ili zajednice različitih organizama koje omogućavaju donošenje zaključaka o kvaliteti životne sredine na osnovu njihovog prisustva, količine i karakteristika nazivaju se bioindikatorima (Holt i Miller, 2010). Prva upotreba bioindikatora u ekologiji pripisuje se britanskom biologu i prirodnjaku Patricku Geddesu, koji je koristio ovaj termin i koncept bioindikacije u drugoj polovini 19. vijeka, kako bi proučavao uticaj zagađenja na živi svijet u urbanom okruženju Edinburgha u Škotskoj. On je primijetio kako neke biljke i organizmi pokazuju promjene u svojoj prisutnosti i zdravlju u zavisnosti od nivoa zagađenja u okolini. Kada je pak riječ o korištenju gljiva za praćenje zagađenja i ekoloških promjena u okolini, smatra se da je švedski botaničar Albert J. Lundberg prvi proveo istraživanja i eksperimente s gljivama kao indikatorima, 1950-ih i 1960-ih godina.

Praktična primjena bioindikatora uslovljena je njihovom dovoljno širokom ekološkom tolerancijom, reproduktivnim sposobnostima i lakoćom sakupljanja i identifikacije. Vrste koje imaju usku ekološku toleranciju previše su osjetljive na promjene, dok vrste s naglašeno širokom tolerancijom nisu dovoljno osjetljive na promjene u okolini i ne mogu se koristiti kao bioindikatori (Holt i Miller, 2010).

Šumski ekosistemi su kompleksni i podložni uticaju različitih ekoloških faktora. Analiza ovih faktora je od posebne važnosti za razumijevanje stanja i funkcije šuma (Thomas i Packham, 2007). Klimatski faktori, uključujući sezonske i godišnje varijacije, igraju značajnu ulogu u rastu i razvoju biljaka u šumi. Promjene u temperaturi odražavaju se na fenologiju biljaka i životinja, količina i raspodjela padavina određuju dostupnost vode u šumskom

ekosistemu, sušna ili vlažna razdoblja karakterišu se snažnim promjenama u funkcionisanju šumskih ekosistema. Intenzitet svjetlosti i trajanje dnevnog svjetla utiču na fotosintezu i rast biljaka, a gustoća krošnji drveća također može uticati na količinu svjetlosti koja dopire do nižih slojeva vegetacije u šumi. Navedeni faktori određuju šumovitost i raspodjelu šumskih resursa u svijetu (FAO i UNEP, 2020).

Različite vrste tla imaju različite fizičke i hemijske karakteristike koje utiču na sposobnost šuma da se razvijaju i rastu (Thomas i Packham, 2007). Kiselost (pH vrijednost), tekstura i dubina tla su važni faktori, a prisustvo i dostupnost hranjivih materija u tlu (npr. azot, fosfor, kalij) igraju ključnu ulogu u ishrani biljaka u šumskom ekosistemu. Nagib terena odražava se na drenažu vode, što je važno za regulaciju vlage u šumi. Nagib također može uticati na mikroklimatske uslove i raspodjelu vrsta. Visina iznad nivoa mora utiče na temperaturu i klimu u šumi. Šumske ekosisteme na različitim nadmorskim visinama karakterišu različite vrste i uslovi. Blizina rijeka, potoka ili jezera može imati značajan uticaj na ekološke uslove u šumi.

Raznolikost biljnih i životinjskih vrsta u šumi ima presudan uticaj na ekosistem. Prisustvo predatora, plijena, konkurencija i simbiotskih odnosa igraju ključnu ulogu u regulaciji ekosistema. Posebno važnu ulogu imaju simbiotski odnosi između biljaka i mikroorganizama (Thomas i Packham, 2007).

Šumski ekosistemi pružaju brojne ekosistemske usluge, zbog čega su izloženi jačem ili slabijem antropogenom uticaju (Ali, 2023). Aktivnosti poput sječe drveća, promjene staništa, urbanizacije i poljoprivrede negativno utiču na šumske ekosisteme. Održivo upravljanje šumama ključno je za minimiziranje ovih negativnih uticaja, a analiza navedenih ekoloških faktora pomaže u razumijevanju kompleksnih odnosa u šumskim ekosistemima i omogućava bolje upravljanje i očuvanje ovih važnih prirodnih resursa.

Promjene u šumskim i drugim ekosistemima mogu se utvrditi mjerenjima brojnih parametara i njihovom analizom ili, u novije vrijeme sve više zastupljenim, praćenjem bioindikatora. Za razliku od konkretnih mjerenja pojedinih parametara, koji pokazuju stanje ekosistema s obzirom na određenu karakteristiku u trenutku njihovih mjerenja, bioindikatori pružaju daleko širu sliku o stanju ekosistema i pri tome mogu ukazivati na više kvalitativnih promjena i međudjelovanje različitih uticajnih faktora tokom vremena (Holt i Miller, 2010). U tom pogledu, gljive koje su opšteprisutne u svim ekosistemima pružaju mogućnost njihove upotrebe kao pouzdanih bioindikatora (Warnasuriya et al., 2023).

Primjena indikatorskih gljiva kao pokazatelja promjena u šumskim ekosistemima

Procjenjuje se da biomasa gljiva u tlu iznosi 2–45 tona po hektaru. Više ih je u tlu koje je bogato organskom materijom (Ritz i Young, 2004). Njihove ključne uloge u tlu ogledaju se u: razgradnji teško razgradivih organskih jedinjenja, vezivanju anorganskog azota iz atmosfere, pretvaranju fosfornih jedinjenja u oblike koji su dostupni biljkama i poboljšanju fizičkih karakteristika tla kroz stvaranje agregata (Edwards et al., 2011; Pulleman et al., 2012; Boa, 2004). Naseljavajući tlo, gljive uspostavljaju različite odnose s korijenjem biljaka i tako značajno utiču na njihovo prisustvo, razvoj, opštu kondiciju i zdravstveno stanje (Fei et al., 2022). U tom pogledu posebno su značajne mikorize čiji tipovi (ektomikoriza ili endomikoriza) opredjeljuju u kojoj mjeri biljke i gljive zadovoljavaju svoje potrebe, odnosno imaju koristi od mikoriznog partnera (Van Der Heijden i Horton, 2009; Brundrett, 2002).

Šumsko drveće i grmlje umjerenog i borealnog pojasa Evrope najčešće ima ektomikorizne gljive na korjenovom sistemu. Ovaj tip mikorize karakteriše se prisustvom hifa između kortikalnih ćelija korijena i naglašeno na njegovoj površini, čime se značajno povećava apsorpciona moć korijena. Ektomikorizne gljive prisutne su na oko 8000 biljnih vrsta, među kojim je većina najvažnijih gospodarskih vrsta šumskog drveća (Dahlberg, 2001). Ektomikorizna gljiva pomaže biljci da lakše usvoji vodu i mineralne materije, a ujedno štiti kolonizirane dijelove korijena od patogenih organizama u tlu. S druge strane, zauzvrat, gljiva usvaja ugljikohidrate iz korijena biljke i koristi ih za izgradnju svog tijela (Brundrett, 2002). Postoje značajne razlike među vrstama ektomikoriznih gljiva u pogledu njihove podrške bržem rastu i boljoj vitalnosti šumskog drveća. Zajedno s klimom, tlom i sastojinskim karakteristikama, neke vrste se karakterišu slabijim uticajem, dok su druge prepoznatljive po snažnom uticaju na rast drveća, četinarskih ili lišćarskih vrsta, ili pak vrsta iz obje navedene grupe (Anthony et al., 2022). Za razliku od ektomikoriznih gljiva, endomikorizne gljive prodiru u ćelijske zidove i invaginate (udubljenja, ulegnuća ćelijske membrane) kortikalnih ćelija. Na površini korijena grade oskudan splet hifa, usljed čega je njihov doprinos rastu biljaka manje naglašen nego u ektomikoriznih gljiva. Međutim, endomikorizne gljive grade simbiotsku zajednicu s oko 80% biljnih vrsta i puno su zastupljenije od ektomikoriznih gljiva (Brundrett, 2002). Ipak, za šumske vrste drveća puno su važnije ektomikorizne gljive (Wang i Qiu, 2006).

Posebno je važna uloga ektomikorize u prvim godinama mlade biljke. Istraživanja u kontrolisanim uslovima okoline pokazala su da sadnice rastu značajno brže ukoliko na korijenu imaju odgovarajućeg gljivičnog partnera (Dalong et al., 2011; Kipfer et al., 2012). Međutim, u uslovima koji karakterišu prirodne šumske ekosisteme ovakvu podržavajuću ulogu ektomikorize teže je utvrditi zbog složenih odnosa koji su prisutni u tim ekosistemima. Prema istraživanjima koja su provedena na plohama Međunarodnog programa za procjenu i praćenje uticaja zračnog zagađenja na šume (*International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests* – ICP Forests), u kojim su poređeni prosječni prirasti drvne mase po vrstama drveća i prisustvo ektomikoriznih gljiva po vrstama, najbolji prirast je utvrđen kod vrsta drveća čiji je korijen povezan s manje i srednje bujnim vegetativnim tijelom gljive (Anthony et al., 2022). Vrste gljiva koje imaju naglašeno bujan hifalni sloj troše puno više ugljikohidrata od biljke, što se dijelom odražava na njihov prirast. S druge strane, ektomikorizne gljive s bujnim vegetativnim tijelom pružaju bolju podršku biljkama u stresnim situacijama, pogotovo u sušnim etapama vegetacionog perioda.

Mikorizne gljive igraju važnu ulogu u obezbjeđivanju biljkama dostupnih oblika fosfora i azota. Zahvaljujući enzimatskom sistemu ovih gljiva, fosfor u tlu biva preveden u oblik koji je dostupan biljkama i koji se preko hifa transportuje u korijen biljaka ili njegovu neposrednu blizinu. Što se tiče azota, gljive ga, zavisno od vrste, obezbjeđuju iz atmosfere ili razgradnjom organske materije (Brundrett, 2002).

Mikoriznim gljivama pripisuje se značajna uloga u prostornoj distribuciji vrsta na Zemlji. U tropskim predjelima više je zastupljena endomikoriza, koja je od posebne važnosti za biljke nižih spratova i pojavljivanje jedinki iste biljne vrste na manjim međusobnim udaljenostima. Ektomikoriza, koja je više zastupljena u umjerenim i borealnim predjelima, utiče na pojavu pojedinih vrsta biljaka i njihovu prostornu distribuciju, tako da omogućava širenje vegetacije prema neobraslim dijelovima i jača njihovu konkurentsku sposobnost (Bennett et al., 2017; Liang et al., 2020).

Ovo su samo neki od razloga zbog kojih se gljive preporučuju kao indikatori kvaliteta i kondicije tla, s jedne, te raznolikosti vrsta u šumskim i urbanim ekosistemima s druge strane. Gljive vrše brojne funkcije u ekosistemu koje se ogledaju u: obezbjeđivanju hranljivih materija za primarnu proizvodnju, povećanju ili smanjenju obima primarne proizvodnje, učešću u sekundarnoj proizvodnji, uzrokovanju bolesti na životinjama, bioremedijaciji (obnovi) zagađenih staništa (Dighton, 2016).

Općenito je prihvaćeno i potvrđeno da veće prisustvo ektomikoriznih gljiva u odnosu na saprotrofne gljive ukazuje na veću stabilnost, jaču produktivnost i vitalnost šumskog drveća i grmlja. Međutim, postoji nesuglasje oko procentualnog učešća pojedinih kategorija gljiva i njihove indikatorske vrijednosti pri procjeni zdravstvenog stanja šumskog ekosistema (Fellner, 1989; Arnolds, 1991; Fellner i Pešková, 1995; Egli, 2011; Zgrablić et al., 2015; 2016). Šumski ekosistemi se karakterišu kao prirodni i očuvani ako je prisustvo plodnih tijela ektomikoriznih gljiva zastupljeno s 40–60% od ukupnog broja svih plodnih tijela gljiva. S druge strane, ukoliko se u šumskom ekosistemu pojavljuju saprotrofne gljive u većoj mjeri, to je indikator nagomilavanja mrtve organske materije, pada vitalnosti i povećanja smrtnosti šumskog drveća i grmlja, odnosno narušenih bioekoloških prilika u njemu. S obzirom na značaj koji mikorizne gljive imaju u produktivnosti biljaka, ciklusu hranjivih materija i odgovoru ekosistema na globalne promjene, bolje razumijevanje povezanosti između raznovrsnosti biljaka i mikoriznih gljiva na različitim nivoima smanjit će nesigurnosti u predviđanju negativnih ekoloških posljedica (Fei et al., 2022). Prisustvo gljiva koje parazitiraju na drveću ili se hrane trulim dijelovima drveća može dodatno ukazivati na pad vitalnosti ili bolest stabala, pri čemu se ove gljive smatraju uzročnicima ili patogenima, makar se njihovo prisustvo može također smatrati indikatorom negativnih promjena (Usčuplić, 1996).

Praćenje pojavnih oblika gljiva može biti korisno u razvoju strategija za očuvanje šuma, upravljanju prirodnim resursima i održivom korištenju šumskih ekosistema. Najzad, indikatorske gljive igraju važnu ulogu u obrazovanju i istraživanju. Prateći njihovu pojavu i raznolikost, naučnici i istraživači mogu bolje razumjeti šumske ekosisteme i procese koji se u njima odvijaju. U suštini, indikatorske gljive su dragocjeni alati za praćenje i razumijevanje šumskih ekosistema, što pomaže u očuvanju prirode, održivom upravljanju šumskim resursima i očuvanju biodiverziteta.

U svijetu se koriste brojne vrste indikatorskih gljiva, a njihov izbor zavisi od konkretnog ekosistema, regiona i ekoloških faktora koji se žele pratiti. Neke vrste indikatorskih gljiva ukazuju na dobro i stabilno stanje u ekosistemu, dok druge svojom pojavom, kvalitativnim i kvantitativnim karakteristikama ukazuju na jači ili slabiji poremećaj ekoloških funkcija ekosistema.

Tabela 1. Najvažnije vrste indikatorskih gljiva i njihova ekološka funkcija
Table 1. The most important types of indicator fungi and their ecological function

Vrsta gljive *Fungi species*	Bioindikatorska karakteristika *Bioindicator characteristic*	Ekološka funkcija ili proces koja se indicira *The ecological function or process that is indicated*	Izvor *Reference*
Brojne vrste ektomikoriznih gljiva (*Inocybe curvipes*, *Pisolithus albus*, *Suillus bovinus*, *Suillus granulatus*, *Suillus luteus*...)	Izostanak plodnih tijela ili tolerantno pojavljivanje	Povišen sadržaj teških metala u tlu	Ediriweera et al., 2022.
Schizosaccharomyces	Obilno prisustvo	Prisustvo organskog ugljika i azota u vodi	Bai et al., 2018.
Adelphella babingtonii	Umjereno prisustvo	Čisti vodotoci	Jukić et al., 2020a. Jukić et al., 2020b. Jukić et al., 2022b. Treštić et al., 2021.
Psilopezia nummularialis	Oskudno prisustvo		
Lasiobelonium belanense	Oskudno prisustvo		
Resinomycena saccharifera	Oskudno prisustvo	Očuvana obalna staništa s posebnim mikroklimatom	Jukić et al., 2022a. Treštić et al., 2021.
Geopora tenuis	Oskudno prisustvo		
Vibrissea filisporia	Umjereno prisustvo		
Otidea propinquata	Umjereno prisustvo	Očuvano stanište s ekološkim kontinuitetom	Jukić et al., 2020a. Jukić et al., 2022. Treštić et al., 2021.
Cystoderma amianthinum	Umjereno prisustvo		
Multiclavula mucida	Oskudno prisustvo		
Geopyxis delectans	Oskudno prisustvo		
Geopyxis alpina	Oskudno prisustvo		
Pseudoplectania nigrella	Oskudno prisustvo		
Scutellinia nigrohirtula	Umjereno prisustvo		
Peziza depressa	Umjereno prisustvo		
Lachnellula splendens	Oskudno prisustvo	Očuvanost šuma smrče s ekološkim kontinuitetom	Treštić et al., 2021.
Hericium coralloides	Oskudno prisustvo	Prašumska staništa	Treštić et al., 2021.
Ossicaulis lachnopus	Oskudno prisustvo		
Ischnoderma resinosum	Umjereno prisustvo		
Pluteus petasatus	Umjereno prisustvo		
Pholiota adiposa	Umjereno prisustvo		

Vrsta gljive *Fungi species*	Bioindikatorska karakteristika *Bioindicator characteristic*	Ekološka funkcija ili proces koja se indicira *The ecological function or process that is indicated*	Izvor *Reference*
Botryobasidium aureum	Umjereno prisustvo	Prirodne vrijednosti šuma	Blaschke et al., 2009.
Ceriporiopsis gilvescens	Umjereno prisustvo		
Phellinus hartigii	Umjereno prisustvo		
Fomes fomentarius	Obilno prisustvo		
Pluteus hispidulus	Umjereno prisustvo		
Poliporus badius	Umjereno prisustvo		
Hericium erinaceus	Oskudno prisustvo	Zdrave šume hrasta i bukve	Blaschke et al., 2009. Holec et al., 2015.
Hericium coraloides	Oskudno prisustvo		
Marasmius limosus	Oskudno prisustvo	Očuvana močvarna staništa sa stabilnim vodostajem	Jukić et al., 2022a.
Xerocomellus pruinatus	Umjereno prisustvo	Brzi rast lišćara	Anthony et al., 2022.
Russula griseascens	Oskudno prisustvo	Brzi rast četinara	Anthony et al., 2022.
Tricholoma inamoenum	Oskudno prisustvo		
Otidea leporina	Oskudno prisustvo		
Lactifluus glaucescens	Oskudno prisustvo		
Piloderma byssinum	Umjereno prisustvo		
Piloderma fallax	Umjereno prisustvo		
Cenococcum geophilum	Obilno prisustvo		
Russula ochroleuca	Obilno prisustvo	Brzi rast lišćara i četinara	Anthony et al., 2022.
Boudiera tracheia	Oskudno prisustvo	Osjetljiva i specifična mikrostaništa	Jukić et al., 2019. Jukić et al., 2020a. Jukić et al., 2020b. Jukić et al., 2022b. Treštić et al., 2021.
Chloroscypha alutipes	Oskudno prisustvo		
Ciboria brunneorufa	Oskudno prisustvo		
Donadinia lusitanica	Oskudno prisustvo		
Geopora cervina	Oskudno prisustvo		
Geopyxis majalis	Umjereno prisustvo		
Helvella leucomelaena	Umjereno prisustvo		
Ombrophila pileata	Umjereno prisustvo	Zamočvarivanje i eutrofikacija jezera	Jukić et al., 2022a.
Octospora ithacaensis	Oskudno prisustvo		
Lorelia marchantiae	Oskudno prisustvo		
Scutellinia patagonica	Oskudno prisustvo		
% ektomikoriznih u ukupnom broju vrsta	Obilno prisustvo i visok diverzitet	Zdravstveno stanje drveća i sastojine	Lagana et al., 2002.

Vrsta gljive *Fungi species*	Bioindikatorska karakteristika *Bioindicator characteristic*	Ekološka funkcija ili proces koja se indicira *The ecological function or process that is indicated*	Izvor *Reference*
Tuber borchii	Oskudno prisustvo	Spori rast lišćara	Anthony et al., 2022.
Lactarius quietus	Umjereno prisustvo		
Lactifluus vellereus	Obilno prisustvo	Spori rast četinara	Anthony et al., 2022.
Imleria badia	Obilno prisustvo		
Russula mustelina	Umjereno prisustvo	Manja vitalnost stabala smrče	Fellner, 1990.
Biscogniauxia nummularia	Obilno prisustvo	Pogoršano zdravlje bukve i hrasta	Luchi i sar. 2015.

Identifikacija i prikupljanje podataka o indikatorskim gljivama zahtijeva pažljiv pristup i korištenje odgovarajućih tehnika i alata. Klasični pristup u identifikaciji gljiva, koji se oslanja na makroskopsku i mikroskopsku analizu uzoraka, predstavlja glavnu ograničavajuću okolnost zbog koje su gljive među najmanje proučenim živim organizmima na Zemlji. U novije vrijeme se pri analizi prisustva vrsta gljiva i njihovih zajednica koriste molekularna i genetska istraživanja koja omogućavaju brzu i pouzdanu identifikaciju gljiva na bazi male količine vegetativnog tijela gljiva. Posebno su značajna dostignuća koja preko analize enzimskog kompleksa gljiva pružaju uvid u njihove ekološke funkcije i funkcionisanje šumskog ekosistema.

Istraživanje interakcija između indikatorskih gljiva i drugih organizama, kao što su insekti, ptice ili biljke, pruža uvid u složene ekosistemske veze. Njihovo prisustvo, kvalitativni i kvantitativni pokazatelji tokom vremena mogu na vrijeme signalizirati poremećaje u rastu i razvoju šumskog drveća i/ili šumske sastojine. Ako drveće u šumi dobro raste i vitalno je, očekivati je da je i dobrog zdravlja jer u takvim uslovima može stvarati potrebne metabolite i uspješno se odbraniti od štetnih uticaja širokog spektra. Zahvaljujući vezama koje ektomikorizne gljive uspostavljaju između korijenja šumskog drveća i grmlja moguće je pravovremeno signalizirati prisustvo nekog štetnog agensa pa čak i vršiti preraspodjelu organske materije između snažnih i manje snažnih jedinki biljaka. Sve to utiče na to da se zajednica biljaka u šumi lakše bori sa štetnim abiotskim i biotskim faktorima.

Indikatorske gljive često su povezane sa specifičnim staništima i ekosistemima. Prisutnost određenih gljiva može ukazivati na prisustvo rijetkih ili osjetljivih vrsta biljaka i životinja. Ove informacije koriste se za identifikaciju

ključnih staništa koja zahtijevaju posebnu zaštitu, donošenje odluka o održivom upravljanju šumama, prilagođavanje šumske zajednice uticajima klimatskih promjena, edukaciju javnosti o značaju očuvanja šuma i biodiverziteta.

Nepovratni gubitak pojedinih vrsta gljiva razlog je sve veće zabrinutosti savremenog čovjeka. Jedan od načina kako sačuvati biodiverzitet gljiva jeste i izdvajanje zaštićenih područja u kojim će ovi i drugi organizmi biti manje izloženi nepovoljnom uticaju čovjeka (Usčuplić, 2013). Izdvajanjem specifičnih staništa koja su od značaja za opstanak pojedinih vrsta gljiva (*Important Fungus Areas* – IFA) teži se ka još efikasnijem uticaju provedenih zaštitnih mjera (Jukić et al., 2022a; 2022b; 2019; Jukić i Omerović, 2017; Treštić et al., 2021).

Zaključak

Indikatorske gljive su vrste gljiva koje se koriste kao pokazatelji stanja i zdravlja ekosistema. Ove gljive su posebno važne pri: praćenju i očuvanju šumskih ekosistema, analizi zdravlja šuma, otkrivanju rijetkih staništa, procjeni biodiverziteta, donošenju odluka o održivom upravljanju šumama i njihovom prilagođavanju klimatskim promjenama.

Indikatorske gljive često reaguju na promjene u ekosistemima prije nego što one postanu očigledne po drugim znakovima. Prisustvo ili odsustvo ovih gljiva može ukazivati na ekološke promjene koje bi inače mogle proći neprimijećeno.

Identifikacija indikatorskih gljiva zahtijeva kombinaciju vizuelnog osmatranja na terenu, mikroskopske, molekularne i hemijske analize u laboratoriji te korištenje ključeva za identifikaciju i elektronskih baza podataka o vrstama gljiva i njihovoj rasprostranjenosti.

Indikatorske gljive su važan alat u ekološkim istraživanjima i upravljanju šumskim ekosistemima. Njihova uloga u identifikaciji ekoloških promjena, očuvanju prirode i održivom upravljanju prirodnim resursima čini ih ključnim elementom očuvanja biodiverziteta i održivosti planete.

Literatura

Ali, A. (2023): Linking forest ecosystem processes, functions and services under integrative social-ecological research agenda: current knowledge and perspectives, Science of The Total Environment, Volume 892. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164768.

Anthony, M. A., Crowther1, T. W., van der Linde, S., Suz, L. M., Bidartondo, M. I., Cox, F., Schaub, M., Rautio, P., Ferretti, M., Vesterdal, L., De Vos, B., Dettwiler, M.,

Eickenscheidt, N., Schmitz, A., Meesenburg, H., Andreae, H., Jacob, F., Dietrich, H-P., Waldner, P., Gessler, A., Frey, B., Schramm, O., van den Bulk, P., Hensen, A., Averill, C. (2022): Forest tree growth is linked to mycorrhizal fungal composition and function across Europe, The ISME Journal, 16, 1327-1336. https://doi.org/10.1038/s41396-021-01159-7.

Arnolds, E. (1991): Decline of ectomycorrhizal fungi in Europe, Agr Ecosyst Environ, 35, 209-244.

Bai, Y., Wang, Q., Liao, K., Jian, Z., Zhao, C., Qu, J. (2018): Fungal community as a bioindicator to reflect anthropogenic activities in a river ecosystem, Front. Microbiol., 9, 3152. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.03152.

Bennett, J. A., Maherali, H., Reinhart, K. O., Lekberg, Y., Hart, M. M., Klironomos, J. (2017): Plant-soil feedbacks and mycorrhizal type influence temperate forest population dynamics, Science, 355,181-184. https://doi:10.1126/science.aai8212.

Blaschke, M., Helfer, W., Ostrow, H., Hahn, C., Loy, H., Bussler, H., Krieglsteiner, L. (2009): Naturnähezeiger-Holz bewohnende Pilze als Indikatoren für Strukturqualität im Wald, Natur & Landschaft, 48, 560-566.

Boa, E. (2004): Wild edible fungi – A global overview of their use and importance to people. FAO.

Brundrett, M. C. (2002): Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants, New Phytol., 154 (2), 275-304. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00397.x.

Dahlberg, A. (2001): Community ecology of ectomycorrhizal fungi: an advancing interdisciplinary field, New Phytol, 150 (3), 555-562.

Dalong, M., Luhe, W., Guoting, Y., Liqiang, M., Chun, L. (2011): Growth response of Pinus densiflora seedlings inoculated with three indigenous ectomycorrhizal fungi in combination, Braz J Microbiol., 42, 1197-1203.

Dighton, J. (2016): Fungi in Ecosystem Processes, CRC Press.

Ediriweera, A. N., Karunarathna, S. C., Yapa, P. N., Schaefer, D. A., Ranasinghe, A. K., Suwannarach, N., Xu, J. (2022): Ectomycorrhizal mushrooms as a natural bio-indicator for assessment of heavy metal pollution, Agronomy, 12 (5), 1041. https://doi.org/10.3390/agronomy12051041.

Edwards, I. P., Zak, D. R., Kellner, H., Eisenlord, S. D., Pregitzer, K. S. (2011): Simulated atmospheric N deposition alters fungal community composition and suppresses ligninolytic gene expression in a northern hardwood forest, PLoS One, 6 (6), 20421. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020421.

Egli, S. (2011): Mycorrhizal mushroom diversity and productivity – an indicator of forest health?, Annals of Forest Science, 68, 81-88.

FAO, UNEP. (2020): The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people, Rome.

Fei, S., Kivlin, S. N., Domke, G. M., Jo, I., LaRue, E. A., Phillips, R. P. (2022): Coupling of plant and mycorrhizal fungal diversity: its occurrence, relevance, and possible implications under global change, New Phytol, 234, 1960-1966. https://doi.org/10.1111/nph.17954.

Fellner, R. (1989): Mycorrhiza-forming fungi as bioindicators of air pollution, Agaric Ecosystems Environ, 28, 115-120.

Fellner, R. (1990): Mycorrhiza-forming fungi as bioindicators of air pollution, Agric. Ecosyst. Environ., 28 (1–4), 115-120. https://doi.org/10.1016/0167-8809(90)90025-9.

Fellner, R., Pešková, V. (1995): Effects of industrial pollutants on ectomycorrhizal relationships in temperate forests, Can J Bot, 73 (Suppl. 1), 1310-1315.

Holec, J., Kríž, M., Pouznar, Z., Šandova, M. (2015): Boubínský prales virgin forest, a Central European refugium of boreal-montane and old-growth forest fungi, Czech Mycol., 67, 157-226.

Holt, E. A., Miller, S. W. (2010): Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental, Nature Education Knowledge, 3 (10), 8.

Jukić, N., Omerović, N. (2017): Gljive reda Pezizales u Bosni i Hercegovini – Ugroženost, ekologija i biogeografija, AMU MycoBH, Sarajevo.

Jukić, N., Matočec, N., Kušan, I., Gašić, R., Omerović, N., Tomić, S. (2019): Diversity of Ascomycetous Fungi in the Territories of Protected Areas and in the Areas Evaluated for the Protection in Bosnia-Herzegovina – Establishing Important Fungus Areas (IFA), Mycological Society MYCOBH, Sarajevo.

Jukić, N., Omerović, N., Tomić, S. (2020a): Inventarizacija gljiva na teritoriji zaštićenih područja Kantona Sarajevo (SP Vrelo Bosne, ZP Bijambare, SP Skakavac). Smjernice i preporuke za upravljanje specifičnim tipovima staništa na teritoriji zaštićenih područja, Mikološko udruženje MycoBH, Sarajevo.

Jukić, N., Omerović, N., Tomić, S. (2022a): Gljive gorskih očiju – svijet koji nestaje, Mikološko udruženje MycoBH, Sarajevo.

Jukić, N., Omerović, N., Tomić, S., Treštić, T., Gašić, R. (2022b): Gljive Spomenika prirode Tajan, Mikološko udruženje MycoBH, Sarajevo.

Jukić, N., Tomić, S., Gašić, R. (2020b): Prilog poznavanju gljiva odjeljka Ascomycota na teritoriji Parka prirode "Orjen", Glasnik Šumarskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci, 30, 115-133.

Kipfer, T., Wohlgemuth, T., van der Heijden, M. G., Ghazoul, J., Egli, S. (2012): Growth response of drought-stressed *Pinus sylvestris* seedlings to single- and multi-species inoculation with ectomycorrhizal fungi, PLoS One, 7 (4), e35275. https://doi:10.1371/journal.pone.0035275.

Lagana, A., Salerni, E., Barluzzi, C., Perini, C., De Dominicis, V. (2002): Macrofungi as long-term indicators of forest health and management in central Italy, Cryptogamie, Mycologie, 23 (1), 39-50.

Liang, M., Johnson, D., Burslem, D. F. R. P., Yu, S., Fang, M., Taylor, J. D., Taylor, A. F. S., Helgason, T., Liu, X. (2020): Soil fungal networks maintain local dominance of ectomycorrhizal trees, Nat Commun, 11, 2636. https://doi.org/10.1038/s41467-020-16507-y.

Luchi, N., Capretti, P., Feducci, M., Vannini, A., Ceccarelli, B., Vettraino, A. M. (2015): Latent infection of *Biscogniauxia nummularia* in *Fagus sylvatica*: a possible bioindicator of beech health conditions, iForest, 9 (1), 49. https://doi.org/10.3832/ifor1436-008.

Pulleman, M., Creamer, R., Hamer, U., Helder, J., Pelosi, C., Peres, G., Rutgers, M. (2012): Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services – an overview of European approaches, Curr. Opin. Environ. Sustain., 4 (5), 529-538. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.009.

Ritz, K., Young, I. M. (2004): Interactions between soil structure and fungi, Mycologist, 18, 52-59. https://doi.org/10.1017/S0269915XO4002010.

Thomas, P., Packham, J. (2007): Ecology of Woodlands and Forests: Description, Dynamics and Diversity, Cambridge University Press.

Treštić, T., Jukić, N., Omerović, N. (2021): Diverzitet gljiva Zaštićenog pejzaža "Konjuh" – Inventarizacija, zaštita i promocija, Javna ustanova Zaštićeni pejzaž "Konjuh", Mikološko udruženje MycoBH, Banovići, Sarajevo.

Usčuplić, M. (1996): Patologija šumskog i ukrasnog drveća, Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo.

Usčuplić, M. (2013): Više gljive – Macromycetes, Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo.

Van Der Heijden, M. G., Horton, T. R. (2009): Socialism in soil? The importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems, J. Ecol., 97, 1139-1150. https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01570.x.

Wang, B., Qiu, Y. L. (2006): Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants, Mycorrhiza, 16, 299-363. https://doi.org/10.1007/s00572-005-0033-6.

Warnasuriya, S. D., Udayanga, D., Manamgoda, D. S., Biles, C. (2023): Fungi as environmental bioindicators, Science of The Total Environment, 892, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164583.

Zgrablić, Ž., Marjanović, H., Diminić, D. (2016): Can we predict *Sphaeropsis sapinea* outbreak by monitoring fungal diversity in Austrian pine plantations?, Šumarski list, 140 (1–2), 7-16.

Zgrablić, Ž., Tkalčec, Z., Mešić, A., Marjanović, H., Diminić, D. (2015): Do ectomycorrhizal fungi reduce Austrian pine (*Pinus nigra* J. F. Arnold) susceptibility to *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko et Sutton infection?, Šumarski list, 139 (7–8): 329-337.

Posebna izdanja ANUBiH CCXI, OPMN 29, 365-378

Mushrooms as an indicators of the stability of forest ecosystems

Summary: Fungi in forest ecosystems play a key role in preserving biodiversity, regulating climate change, and securing resources. This paper focuses on the analysis of the role of these fungi as indicators of ecological factors in forests, using the results of recent research. In general, fungi use available organic matter, whether it is in living or dead form. At the same time, they successively replace each other and, together with other organisms, participate in the complete decomposition of organic matter. That being said, mushrooms belong to different nutritional groups. Mycorrhizal fungi establish symbiotic relationships with trees, shrubs, and other plants, which help in faster development and stronger resistance to harmful effects. Mediating between plant roots and the substrate in which they are found, fungi directly influence plant growth and generally promote biomass production. So, for example, *Cenococcum geophilum* Fr., *Russula ochroleuca* Fr., *Imleria badia* (Fr.) Vizzini, and some other types of mushrooms promote faster growth of trees and help them in stressful situations. A large group of fungi also use dead organic matter, which prevents its accumulation in ecosystems and, in the end, returns it to a mineral form available again to autotrophic organisms, primarily plant organisms. From this group of mushrooms, *Hericium coralloides* (Scop.) Pers. is an indicator of a good and intact state of beech and oak forests, while the fungus *Biscogniauxia nummularia* (Bull.) Kuntze indicates a deteriorating state of health in said forests.
Due to the aforementioned roles, the presence of mycorrhizal and saprotrophic fungi in forest ecosystems can be used as an indicator of their general stability, and individual representatives from both groups can be used as specific indicators of qualitative changes in them. However, the occurrence of certain types of fungi in forest ecosystems is difficult to predict due to their dependence on numerous factors (climate, habitat, forest management, phenology and age of trees, humans, etc.), which is why there are numerous doubts about their application as indicators of habitat quality, vitality, and the health status of trees and forests. The paper clarifies the ecological role of indicator fungi with regard to supporting the growth and vitality of trees, the health of forests and trees in general, and the circulation of nutrients in the forest ecosystem. It is particularly emphasised how the presence or absence of indicator fungi can signal specific conditions in the forest. The goal of the paper is to provide insight into the importance of indicator fungi in forest ecosystems, emphasising their importance in preserving the potential and health of forests through sustainable forest management.