

VÁLASZ SAMU FERENC, AZ MTA DOKTORA OPPONENSI VÉLEMÉNYÉRE ÉS KÉRDÉSEIRE

Először is megköszönöm Dr. Samu Ferenc alapos opponensi véleményét. Köszönöm az eredményeimmel, illetve munkásságommal kapcsolatos elismerő szavakat, de ugyanígy a kritikai megjegyzéseit is. A feltett kérdésekre az alábbi válaszokat adom.

A gubacsok evolúciós jelentősége részletesebb kifejtést igényelne. Érdemes lenne továbbá tárgyalni a gubacsok gazdaspecifikus kialakulásának adaptív előnyeit.

A gubacsokozó rovarokat a herbivória legkifinomultabb példájaként említik. A gubacs egyidejűleg biztosít tápanyagforrást (nutritive tissue) és védelmet is a gubacsokozó számára. Fontos hangsúlyozni, hogy a gubacsokozók (esetünkben a tölgyeken élő gubacsdarazsak) nem „készítik”, hanem „készítetik” a gubacsot a tápnövény szövetfejlődésének eltérítése révén.

A gubacsok legjelentősebb adaptív értéke a gubacsokozó védelme. A tápnövényhez rögzült gubacsokozót nem sodorja el a szél, az eső. A gubacs fala (különösen a nagyobb méretűeké) jó hőszigetelő, védelmet jelent a nagyon magas és a nagyon alacsony hőmérséklet ellen is. Nem kevésbé fontos a természetes ellenségek (elsősorban a parazitoidok) elleni védelem. A gubacs mérete, szövetének keménysége, felszíne (szőrös, tüskés, ragacsos stb.) mind olyan tulajdonságok, amik kisebb-nagyobb mértékű védelmet biztosítanak a gubacsokozónak.

Ezeket túl számos további „innováció” is hatásos lehet a parazitoidok elleni védelemben (pl. alkamrák). De talán a legérdekesebb az, amikor a gubacsokozó arra készíti a tölgyet, hogy a gubacs felületén nektárt válasszon ki. Ez hangyákat csalogat a gubacsokhoz, amik védelmezik a gubacsokat a parazitoidok ellen. Ez a „trükk” több gubacsdarázs genusznál (*Andricus*, *Dryocosmus*, *Disholcaspis*) is kialakult (Nicholls et al. 2016).

*Az *Andricus* genusznál található tápnövényváltásnak mi az adaptív értéke, mi az evolúciós háttér (korlátozza-e az előfordulást / range-et)? Miért lényeges, hogy egy gubacs szexuális vagy aszexuális, mi a különbség, van-e funkcionális magyarázat?*

A nemzedékváltás és a tápnövényváltás is eredetileg egyaránt a parazitoidok elől való szökést szolgálhatta. Bailey et al. (2009) és Fang et al. (2024) is a gazdafaj meghatározónak említik arra nézve, hogy az adott gubacsot milyen parazitoidok támadják. Bailey et al. (2009) szerint az adott gubacs fenológiája is jelentős szempont. Így egy másik tápnövényre való „átugrás”, vagy a fenológiai váltás legalább is részben szökést jelenthetett. Manapság azonban már semmiképpen nem beszélhetünk teljesen „ellenségmentes övezetről”, a gazdafaj, a struktúra, a megtámadott növényi rész és a fenológia bármely kombinációja esetén ismerünk legalább néhány parazitoidot.

Az obligát tápnövényváltás korlátozza az érintett fajok elterjedését, hiszen az adott faj csak ott tud tartósan létezni, ahol mindkét szükséges *Quercus* faj jelen van. A szexuális és aszexuális gubacsok méretben és struktúrában is jelentősen eltérnek. Az előbbieket általában jóval kisebbek, ugyanakkor

sokkal gyakrabban tömegesek, mint az utóbbiak. A cser porzós virágrügyeiben, illetve a hím virágzat tengelyén „dagadt köménymagnyi” méretű gubacsban fejlődik pl. az *Andricus quercuscalicis* kétivarú nemzedéke. Egy 50 cm-es ág rügyeiből akár százas nagyságrendű hím és nőstény is kikelhet. A két nemzedék darazsai méretben és megjelenésben is jelentősen különböznek. A jóval kisebb kétivarú nemzedék röpképes is, de a szél segítségével nagy távolságokra is elsodródhat. A nagyobb méretű aszexuális nőstények aktívan és passzívan is kevésbé terjedőképesek. Ebből egy érdekes „egyirányú utca” jelenség is adódhat. A kétivarú nemzedék megtermékenyített nőstényei akár több kilométernyi távolságra is eljuthatnak kikelésük helyétől. Ha esetleg egy termőkorú kocsányos tölgyön landolnak, akkor az azon lévő fiatal makkokba petét is rakhatnak. Ennek tudható be az, hogy a faj aszexuális nemzedékének gubacsai olyan, elszigetelt kocsányos tölgyeken is megtalálható, aminek több kilométeres körzetében biztosan nincs cser. Az itt kifejlődő aszexuális nőstények azonban már minimális eséllyel fognak visszakerülni a nagyobb távolságra lévő cserre.

Foltos csertölgy eloszlás esetén feltételezett a palackhatás, ami csökkentheti a genetikai diverzitást. De vajon nagyobb léptékben nem éppen növel egyfajta béta genetikai diverzitást?

De igen, növelheti. A béta diverzitást a regionális és lokális fajdiverzitás arányaként is szokták definiálni. Némi általánosítással ez alkalmazható a regionális és lokális genetikai diverzitásra is. Az obligát tápnövényváltást folytató fajoknál a cser szigetszerű előfordulása a gubacsdarazsak nyugati irányú terjeszkedése során marginális, kis létszámú populációk létrejöttét eredményezi. Mátyás (2002) szerint pedig: „*A marginális helyzetű, kis létszámú populációk génkészlete eltér az összefüggő elterjedési területen található populációktól a sodródás következtében. A drift hatás azonban a marginális populációk egymás közötti genetikai távolságát is fokozza. A populációmérettől függően, a részpopulációkra szakadt előfordulásokban a drift véletlenszerű differenciálódást vált ki, ezt szimulációs kísérletekkel igazolni lehet. A heterozigózis a populációegyüttes (vagy faj) szintjén változatlan maradhat, míg az átlagos diverzitás a részpopulációkban csökken, a populációk közötti különbségek pedig növekednek.*” Ez pedig értelmezésem szerint nem más, mint a béta genetikai diverzitás növekedése.

Mi a háttere a tölgy gubacsdarazsak szoros specializációjának? Gondolom a tölgy élettani védekezésének legyőzése. De, mekkora a gubacs költsége a fának? Egy tölgy fajnak hány gubacsdarazs faja lehet? Vannak-e oligo- és polifág darazsak?

A szoros specializáció háttere valóban a tápnövény védekezésének felülírása, illetve a manipulálhatóság. Csak egy nagyon kifinomult, hosszú távú „intim” kapcsolat teszi lehetővé, hogy a gubacsdarázs egy saját fajára jellemző, esetenként elképesztően komplex gubacs létrehozására készítse a tölgyet. A gubacsok változatossága a méretbeli és strukturális sokféleségen túl számos más „innovációt” is jelent. Ilyenek pl. a parazitoidok mozgását nehezítő ragacsos felszín, vagy a gubacs felszínén kiválasztott szekrénum, a korábban már említett hangya-mutualizmus stb.

A gubacsdarázs és a tölgy interakciója egy antagonista parazitikus kapcsolatot, ami a gubacsdarázs számára pozitív, a tölgy számára negatív (is lehet). Legtöbbször ezek a hatások nem túl jelentősek, és csak ritkán végzetesek. Vannak azonban olyan esetek is, amikor a tömegesen megjelenő gubacsok hatása nem elhanyagolható. A teljesség igénye nélkül néhány példa:

- A tömegesen megjelenő rügygubacsok blokkolják a hajtásképződést, magoncok, fiatal fácskák esetében jelentősen visszavetve a magassági növekedést. Ez jellemző pl. az *Andricus kollari* és az *A. conglomeratus* aszexuális nemzedékének gubacsára (Csóka et al. 1997).
- *Dryomyia circinans* gubacsszúnyog, vagy a *Cynips quercusfolii* gubacsdarázs gubacsai időnként olyan tömegben jelennek meg a leveleken (az előbbi cseren, az utóbbi a Quercus szekció fajain), hogy a gubacsok szárazanyag tömege vetekszik a lombozatával (Csóka 2017). Ez egyrészt tápanyagokat von el a tölgytől, illetve az asszimiláció hatékonyságát is csökkenti.
- Egyes gubacsdarázs fajok (pl. *A. quercuscalicis*, *A. caputmeduzae*) a makkokat teljesen körbenövik, így azokból nem fejlődhet csemete. Ez időnként, egyes fákön 90%-ot meghaladó makkveszteséget jelent.
- A cser makkjában fejlődő két gubacsdarázs faj (*Pseudoneuroterus saliens* és *Callirhytis glandium*) esetenként szintén 100%-hoz közeli mértékben fertőzi a makkokat. Az előbbi a fiatal 2. éves (május), az utóbbi a nagyobb (június-július) makkokban fejlődik (Hirka és Csóka 2006).

Az egy-egy fajhoz köthető gubacsdarázs fajokra, illetve nemzedékekre vonatkozóan korábban összeállítottam egy listát (Csóka 1994). Ez a csertölgyön 44, a kocsánytalan tölgyön 80, a kocsányos tölgyön 88, a molyhos tölgyön pedig 73 gubacsstípust említ. Ezekben a számokban duplán szerepelnek azok a fajok, amiknek mindkét nemzedéke az adott tölgyfajon is kifejlődhet. A három utóbbi faj között nagyon nagy hasonlóság mutatkozik, a cser fajkészlete viszony markánsan elkülönül azoktól.

A mono-, oligo- és polifágiát a tölgyeken élő, gazdaváltó gubacsdarázsok esetében nem is magára az adott fajra, hanem egyik, vagy másik nemzedékére vonatkozóan kell értelmezni. Mindkét nemzedékét külön-külön tekintve monofágnak tekinthető például a korábban már említett *Andricus quercuscalicis*. Tavaszi kétivarú nemzedékének gubacsai kizárólag a cser hím virágrügyeiben, illetve a hím virágzat tengelyén apró gubacsokban, a nyári egyivarú nemzedéké pedig szinte kizárólag a kocsányos tölgy makkján fejlődik („suskagubacs”). Ezt a gubacsot egyetlen alkalommal találtuk meg *Quercus macranthera*-n, a Szarvasi Arborétumban (Csóka és Hirka 2001). A Gödöllői Arborétumban egy *Quercus petraea mespilifolia* egyedről is előkerült. Ennek a tölgynek taxonómiai hovatartozása nem teljesen világos, valószínűleg természetes fajhibridről van szó. A szakirodalomban számos más tölgyfajt is megneveznek, mint e nemzedék tápnövényét. Többek között az amerikai vörös tölgyet is, azzal az indoklással, hogy „az adott évben a kocsányos tölgy makktermése elmaradt, így a gubacsdarázsok kénytelenek voltak a vörös tölgy makkját választani”. Ezeket a tápnövény adatokat a magam részéről legalább is kétségesnek tartom. Mélyebben nem minősítve őket, említem, hogy több évtizedes, görcsös erőfeszítések árán sem sikerült ezt a nemzedéket (az említett két kivételtől eltekintve) más tölgyön, mint a kocsányos tölgyön megtalálni. Szintén mindkét nemzedéke szigorúan monofág a *Dryocosmus cerriphilus* nevű fajnak, de ennél mindkét nemzedék kizárólag a cserről ismert.

Ha az oligofágia kritériumaként elfogadjuk, hogy a tápnövények egy alnemzetség egy szekciójába (pl. Quercus alnemzetség, Quercus szekció) tartoznak, akkor a legtöbb fajt (illetve nemzedéket) oligofágnak tekinthetjük. A *Cynips* fajoknál mindkét nemzedék több Quercus szekcióba tartozó tölgyön kifejlődhet. Az *Andricus*-oknál pedig általános a szekciók között tápnövényváltás, miszerint a kétivarú nemzedék a Cerris alnemzetség, Cerris szekciójának valamelyik fáján (Pl. *Q. cerris*, *Q. ithaburensis*, *Q. libani*, *Q. trojana* stb.), az egyivarú nemzedék pedig a Quercus alnemzetség Quercus szekciójának valamelyik fáján (pl. *Q. robur*, *Q. petraea* és *Q. pubescens* stb.) fejlődik. Polifág fajt (aminek egy adott nemzedéke két különböző szekcióba tartozó tölgyfajon is kifejlődhetne) nem ismerek.

Meg lehet-e állapítani, hogy a gubacsdarázs paraziták – a leírtak alapján mindkettőhöz – de elsődlegesen / jobban a gazdafajhoz vagy inkább a gubacs típushoz kötődnek?

Bailey et al. (2009) szerint a gazda tölgyfaj és a gubacs fenológiája a legerősebb prediktora a paraziták együttesek összetételének. De ugyanakkor, ha a gubacstípus minden fontosabb jellegzetességét (méret, keménység, tüskesség, ragacsosság) is figyelembe vesszük, akkor maga a gubacstípus is közel azonos erősségű prediktor.

A paraziták nősténynek a gubacsdarázs lárvát kell eltalálnia a gubacson belül, vagy nem fontos a célzás, a kikelő lárv maga találja meg a gazdaállatot?

Mindkét változat előfordul. A Nyugat-Palearktikum tölgyeken élő gubacsdarazsainak mintegy 100 parazitoid faja ismert (Askew et al. 2013). Ezek hat családba tartoznak: Pteromalidae (29 faj), Eulophidae (29 faj), Torymidae (21 faj), Eurytomidae (10 faj), Eupelmidae (8 faj) és Ormyridae (min. 2 faj). A peterakás módját, illetve a parazitoid lárvá kifejlődését tekintve két alapvető módszer ismeretes. Az endoparazitoidok a gazdalárva testébe petéznek. Az ektoparazitoidok vagy a gazdalárva testfelszínére rögzítik petéjüket, vagy pedig a lárvá közelébe, az úgynevezett lárvakamrába rakják le a petét, és a kikelő parazitoid lárvá maga keresi meg a gubacsdarázs (esetleg az inkvilin) lárváját. Az Eurytomidae család fajai endo-, a Torymidae és Ormyridae fajok ektoparazitoidok. A másik három családban endo- és ektoparazitoid fajok egyaránt vannak.

Érdekességként említhető, hogy több *Andricus* és *Cynips* gubacsdarázs faj gubacsában „álkamrák” is vannak. Ezek olyan üregek, amikben nincsenek gubacsdarázs lárvák, viszont egyes petéző ektoparazitoid nőstények ide is lerakják petéiket, amikben azok a gazdalárva hiányában elpusztulnak. A valódi lárvakamrák általában a gubacs nehezebben elérhető, védettebb részén helyezkednek el.

Hogyan lehet elkülöníteni a makkok károsodást különböző okai közül melyik okozta végül is a csíráképtelenséget?

A makkok rovarfertőzöttségének tényét némi gyakorlattal sok esetben már ránézésre is meg lehet állapítani. Néhány egyszerűen felismerhető jel:

- A makkormányos nőstények peterakás céljából apró lyukat rágnak a makk héjára, vagy kupacsára. Sokszor a lyukakon keresztül behatoló gombafertőzés jelei (pl. sötét színű folyások) is észlelhetők.
- A makkormányos és makkmoly lárvák kibújási nyílása a legtöbb esetben biztonsággal elkülöníthetők. Az előbbieké szabályos kerek, az utóbbiaké ovális.
- Egyes gubacsdarázs fajok (pl. *Andricus quercuscalicis*, *A. caputmedusae*) gubacsai a makkokat teljesen, vagy nagyobb részben beborítják. Ezeket már akkor könnyű felismerni, amikor még a fán vannak.
- A *Callirhytis* gubacsdarazsak által megtámadott makkok felszínén sok esetben rendellenes púpok láthatók. A *Pseudoneuroterus saliens* által fertőzött kisméretű csermakkok bepirosodnak és már nyár elején lehullanak, amíg az érintetlenek zöldek maradnak és tovább fejlődnek.

Ennél azonban több információ nyerhető a makkok kettévágásával. A makkormányosok és a makkmolyok lárvái gond nélkül elkülöníthetők. Szerepük akkor is rekonstruálható, ha már elhagyták a makkot. A makkmoly lárvák ürüléke ugyanis szemcsés, míg a makkormányosoké porszerű. Megjegyzendő, hogy a makkormányosok, vagy a makkmolyok táplálkozása (ha csak a szikleveleken táplálkoznak) nem feltétlenül okozza a makk csírákéességének elvesztését. Saját publikálatlan (de publikálni tervezett) eredményeink szerint egy nagyméretű csermakk akár 5 makkormányos lárva kifejlődése után is csíráképes maradhat. Természetesen a sziklevelekben bekövetkezett veszteség jelentősen befolyásolhatja a kikelő magonc kezdeti növekedését, illetve túlélését. Ugyanakkor pl. egy molyhos tölgy jóval kisebb méretű makkja már egyetlen lárva hatására elveszítheti csírákéességét. Ha a gyököcske, és/vagy az embrionális szár gombafertőzést szenvedett, az elszíneződéséből látható, ami sokszor egyidejűleg a szikleveleken is jelentkezik.

Az „enemy release” hipotézissel kapcsolatban, van-e adat a vörös tölgy tényleges invázióvá válásáról? Abol kocsánytalan tölgygel alkot állományt, szomszédos állományt, terjed-e az őshonos faj kárára?

Magyarországon többek között Balogh et al. (2004), Ónodi (2016) és Bartha (2020) is inváziós, illetve potenciálisan inváziós fajként említik. Én magam nem ismerek olyan hazai vizsgálatokat, amik ezeket a hatásokat számszerűsítették volna. Ugyanakkor kocsányos tölgyesben, illetve erdei fenyvesben, termőkorú vörös tölgyektől távol, több helyen is tapasztaltam spontán megjelenését, ami valószínűleg a szajkó általi makkterjesztés eredménye. Egyébként Grzedzicka et al. (2017) kiemelik, hogy a vörös tölgy makkját a szajkók meglehetősen hatékonyan terjesztik. Ezen túl azt is megállapítják, hogy a vörös tölgy állományok csökkentik az erdei madarak diverzitását. Wróbel et al. (2022) is megerősítik, hogy bár kis mértékben preferálják a kocsányos tölgy makkját, de a vörös tölgyét is hatékonyan terjesztik.

Riepsas & Straigytė (2008) Litvániában hasonlították össze a kocsányos tölgy és a vörös tölgy néhány ökológiai hatását. Megállapították, hogy gyengébb termőhelyen a vörös tölgy spontán terjedése gyorsabb, mint a kocsányos tölgyé. A lágyszárú flóra elszegényedik, a talajban élő mikrogombák fajszáma is 34%-kal csökken, és az egyéb talajlakó mikroorganizmusok is csökkenést mutatnak. Mindezek alapján a vörös tölgy termesztését ökológiai szempontból előnytelennek tartják.

Woziwoda et al. (2014) kiemelik, hogy a vörös tölgy kiszorítja maga mellől a legtöbb lágyszárú és fásszárú növényfajt, nagyban nehezíti azok természetes felújulását. Ugyanakkor megemlíti azt is, hogy az ökonómiai előnyök és az ökológiai hátrányok mérlegeléséhez további interdiszciplináris kutatások szükségesek. Az érvek és ellenérvek vonatkozásában az interdiszciplináris kutatások fontosságát Hayda et al. (2022) is hangsúlyozza.

Ónodi (2016) szerint a vörös tölgy mind árnyékolásával, mind allelopatikumaival gátolja az őshonos fajok fejlődését, a feketefenyőhöz hasonlóan a vörös tölgy által dominált élőhelyek gyeperjeszintje teljes nudummá válhat.

Stanek et al. (2020) a kedvezőtlen talajkémiai változásokra hívják fel a figyelmet, illetve arra, hogy a vörös tölgyes lassan bomló avartakarója a lágyszárú és cserjeszint elszegényedését is előidézi. Mindezek alapján a vörös tölgy természetét kerülendőnek ítélik.

Chmura (2020) terepi felvételek alapján a kifejezetten jó természetes felújulóképességét emeli ki, illetve azt, hogy a vörös tölgy csökkenti az állományok szerkezeti és funkcionális diverzitását.

A fentiekhez szolgáltatnak további, korábban, mások által kevésbé érintett adalékokat saját kutatási eredményeink, amik vörös tölgyet illetően a kompetíciós előnynek tekinthető kisebb herbivor nyomásra mutatnak rá (Csóka & Szabóky 2005; Sun et al 2021; Franic et al. 2022).

A búcsújáró lepke populációs fluktuációi és időjárás paraméterek közti kapcsolat tárgyalásánál nem derült ki, hogy milyen hosszú adatsoron alapulnak a megállapítások. A THAU-index egy aszályindex, ez látszik a képletből. De mitől fajspecifikus az aszály? „A THAU-index értékei szignifikáns pozitív korrelációban ($p < 0,01$) vannak a csapdák között” OK, vagyis az évenkénti aszályosság nem nagyon különbözött 3 magyarországi lokációban. Itt nem világos a heurisztikus érték. Később kiderül, hogy valójában a fogással való korreláció volt az érdekes, de ebből nekem az következik, hogy helyszínek közti korreláció viszont nem olyan nagyon érdekes, különösképpen a dolgozat többi helyén lévő tömör eredményközléshez képest feleslegesnek tűnt tárgyalni.

Az észrevétellel egyetértek. Utólag már magam is úgy gondolom, hogy a három helyszínre kiszámított THAU-index értékek korrelációinak közlése nem jelent érdemi hozzáadott értéket. Más szóval valóban felesleges volt.

Maga az aszály természetesen nem, de a THAU-index számításának módja a fajspecifikus. Az aszály alatt leggyakrabban a nyári hónapokban (különösen júliusban és augusztusban) jelentkező csapadékhiányt és magas hőmérsékletet értjük. Az erdészetben használt egyik közismert aszályindex, a FAI (Forest Aridity Index) is a nyári hónapokat veszi alapul (Führer et al. 2015; Führer 2018). Ezzel szemben a THAU-index számításánál mi a május-június-július hónapok átlaghőmérsékletét, illetve az előző év októberétől a tárgyév júliusáig terjedő időszak csapadékösszegét vettük figyelembe.

A gyapjaslepke tömegszaporodásainak előrejelzésében milyen szerepet játszhatnak a jövőben a mesterséges intelligencián alapuló módszerek?

A mesterséges intelligencia (MI) segítségével végzett esetleges előrejelzések megbízhatósága, használhatósága nyilvánvalóan nagyban függ a rendelkezésre álló input adatok mennyiségétől és minőségétől. Ebből kiindulva a gyapjaslepke mindenképpen azon erdővédelmi jelentőségű rovarfajok közé tartozik (sőt talán leginkább az), amik esetében jelentős mennyiségű háttér adat áll rendelkezésre. Hasonló fajként említhető még a betűzőszú (*Ips typographus*), ami azonban magyarországi viszonylatban kevésbé jelentős. A gyapjaslepke esetében ilyen adatok lehetnek a következők:

- fénycsapda fogások több évtizedes idősorai
- kárjelentések több évtizedes adatsorai
- petecsomó fertőzöttség több évtizedes adatsorai

- műholdas távérzékeléssel nyert NDVI adatok visszamenőleges sorai
- erdőállomány jellemzők (fafaj, kor, elegység stb.) adatai
- időjárási adatsorok

Nincsenek ugyanakkor olyan megbízható adatsoraink, amik a természetes ellenségek (főként paraziták) és a rovarpatogén kórokozók (főként NPV és az *Entomophaga maimaiga*) várható hatásait jeleznék előre, bár az *E. maimaiga* esetében a tavaszi csapadék prevalenciára gyakorolt pozitív hatása már bizonyított.

Ezek alapján szerintem leginkább arra vonatkozóan lehetne érdemi információkat nyerni, hogy hol, milyen klimatikus jellemzőjű területeken, milyen érzékenységgű állományokban lehet leginkább számítani a tömegszaporodás kialakulására, illetve milyen előzetes időjárási viszonyok növelik annak esélyét. Erre vonatkozóan egyébként már eddig is vannak információk. A Tapolcai-medence cseresei egy ismétlődő, „megbízhatónak” nevezhető kiindulási gócai a gyapjaslepke tömegszaporodásának.

Összességében valószínű, hogy a MI segítségével számos korábbról nem ismert összefüggés is feltárható, de véleményem szerint legnagyobb prediktív értéke továbbra is a szakember által gondosan elvégzett terepi petecsomó számlálásnak lehet. Ez ugyan nagy valószínűséggel kijelöli azt, hogy hol várhatók jelentősebb rágaskárok, kevésbé megbízható viszont arra vonatkozóan, hogy hol nem várhatók. A fiatal hernyók szőreik és selyemszálaik segítségével ugyanis a szél segítségével nagy távolságokra tömegesen elsodródhatnak. Így akár olyan helyeken is kialakulhatnak károk, ahol a petecsomó denzitás azt nem valószínűsítette.

Ha jól értem az amerikai peteparazitoid európai betelepítésére még nem volt kísérlet. A nagyvonalakban meglévő klíma hasonlóság mellett, vajon milyenek lennének e faj megtelepedésének esélyei, milyen azt segítő vagy gátló faktorok képzelhetők el Európában, főként pedig Magyarországon?

Igen, saját munkánkon kívül, magam sem tudok az *Erythmelus klopomor* Európába történő betelepítéséről, de még az esetleges betelepítést előkészítő más konkrét kutatásokról sem. Azaz valószínűleg az egy remélt sikeres betelepítésig vezető utat nekünk magunknak kell kitaposnunk. Mégpedig lehetőség szerint minél gyorsabban, mivel az erdőgazdálkodók egyre gyakrabban és egyre erőteljesebben szembesülnek a csipkésposloska hatásaival. Ennek kapcsán az alábbi nehézségekkel számolunk, illetve a következő feladatok elvégzését tartjuk szükségesnek:

- A klímahasonlóság figyelembevétele mellett szükséges lenne tudni, hogy a csipkésposloska Európába történő behurcolása pontosabban az USA (esetleg Kanada) melyik részéből indult ki. Ennek megállapítására populációgenetikai vizsgálatok szükségesek, amikhez a mintagyűjtéseket (saját gyűjtések, illetve helyi közreműködők gyűjtései) már nagy részben elvégeztük és még idén is végezni fogjuk. Amennyiben sikerül a származási helyet pontosabban körülhatárolni, igyekezni fogunk innen (is) gyűjtött parazitoidokkal dolgozni.
- Az *Erythmelus* életmódját illetően számos tisztázatlan kérdés van. Nem tudjuk pl. a telelésének módját. Egyes feltételezések szerint imágóként a kéregpedésekben, illetve leváló kéreg alatt telel, hasonlóan magához a csipkésposloskához. Alternatív lehetőségként úgy gondoljuk, hogy ősszel a parazitoidok egy része esetleg nem kel ki, és a lehullott

leveleken lévő csipkésposloska petékben is áttelelhet. Ezt azonban eddig nem sikerült bizonyítanunk.

- Bár jelenlegi tudásunk szerint az *Erythmelus klopor* csipkésposloska-specialista, a nem kívánatos mellékhatások elkerülése érdekében kikerülhetetlen egy „non-target” vizsgálat elvégzése.
- A siker egyik feltétele, hogy minél nagyobb egyedszámú parazitoidot lehessen betelepíteni. Ennek érdekében a fertőzött petecsomók tömeges gyűjtése és/vagy a tömeges tenyésztés megoldása.
- Hajek és Ellenberg (2018) szerint a klasszikus biológiai védekezési programok esetében az első három betelepítési kísérlet sikerének esélye 20–30% között van. Az 50%-os esélyt átlagosan csak a 7–8-ik betelepítés éri el, illetve haladja meg. Az ismételt betelepítések pedig meglehetősen idő-és forrásigényesek.
- Egy nemzetközi közvéleménykutatás (Bălăcenoiu et al. 2021) szerint a megkérdezettek 69%-a a csipkésposloska elleni biológiai védekezést preferálná. Ezzel együtt is a betelepítést megelőzően valószínűleg széleskörű szakmai és társadalmi diskurzust kell lefolytatni.
- A betelepítést csak a szükséges engedélyek/hozzájárulások birtokában lehet megkezdeni.

A tölgy-csipkésposloska terjedésének lassítására milyen gyakorlati intézkedéseket javasolna az erdőgazdálkodóknak?

Bár a tölgy-csipkésposloska röpképes, nagyobb távolságokra történő terjedése elsősorban széllel, de még inkább „stopposként”, az országúti, illetve vasúti forgalom révén történik. A járműforgalommal való terjedés egyik lehetséges módja a tölgyrönk szállítmányok mozgatása a már fertőzött területekről. A rönkök kéregrepedéseiben telelő posloskák így nagy távolságra szállíthatók. Ebből kiindulva kb. 6 évvel ezelőtt Horvátországban mérlegelték a rönkszállítmányok belföldi és nemzetközi mozgásának korlátozását, illetve a szállítandó faanyag lekérgezését. De ez végül is nem következett be. Túl sok értelme ennek valószínűleg nem is lett volna, hiszen a faj személyautókon, de akár még ruházaton, hajban is nagy távolságokra terjedhet. Európai észlelését követően felkerült az EPPO „Alert List”-re, de 2007-ben levették onnan, annak beismeréseképpen, hogy terjedését nem lehet megállítani. Az Egyesült Királyságban a fajt még nem észlelték, ugyanakkor az ország jelentős mennyiségű tölgy faanyagot importál az USA-ból, Kanadából és olyan európai országokból, ahol a csipkésposloska már jelen van. Egyébként az Európába való bekerülés módjaként az amerikai eredetű tölgyzállítmányokat valószínűsítjük.

Megjegyzendő az is, hogy alacsony denzitásnál a csipkésposloska által okozott tünetek alig észlelhetők. A feltűnő tünetek megjelenésekor pedig már érdemi beavatkozásra aligha van mód.

Néhány közép-kelet-európai országban (köztük Magyarországon is) végzett vizsgálatok szerint a rövid távú terjedését az állomány elegyessége, vagy elegyetlensége nem befolyásolja érdemben (Hoch et al. 2023; Eötvös et al. 2023).

Összességében elmondható, hogy a faj terjedését sem adminisztratív, sem gyakorlati megoldásokkal nem lehet korlátozni, de még csak érdemben lassítani sem.

Kevés szó esett a dolgozatban az erdőgazdálkodási módokról. Milyen interakciók vannak az egyes gazdálkodási módok és a tölgy herbivórok, valamint az egész tölgy táplálékhálózat közt?

Egyetértek, ennek a témakörnek valóban több teret kellett volna szentelnem, már csak azért is, mert ez az egyik legfontosabb, az erdészeti gyakorlat számára is kifejezetten releváns szempont.

Az európai erdőgazdálkodásra több mint másfél évszázadon keresztül meghatározó hatást gyakorolt egy német eredetű, „erdőhigiéna” névvel illetett szakmai filozófia. Ennek lényege leegyszerűsítve az, hogy az erdőkben csak azokra a fajokra és szerkezeti elemekre van szükség, amiknek közvetlenül számszerűsíthető gazdasági hasznuk van. Ennek jegyében hosszú időn keresztül „tiszteletreméltó” alapossággal távolították el az állományokból az úgynevezett gyomfákat (rezgőnyár, kecskefűz, nyír stb.) és cserjéket, valamint tudatosan száműzték az alászorult, rossznak ítélt törzsalakú, elhalt, odvas fákat, valamint a pusztulófélben lévő famatuzsálemeket.

Sok esetben azzal a megfontolással is, hogy ezek visszahagyása az erdő egészségi állapota szempontjából kockázatos. Ez a kockázat fenyesek (főként a luc) esetében valós, a frissen pusztult faanyag ugyanis (különösen, ha az nagyobb tömegben van jelen) kiváló költőhelyet biztosít egyes szúfajok, mint pl. a betűzőszú (*Ips typographus*) számára, így pedig valóban súlyos kártételek kiindulási góca lehet. Őshonos lombos erdeinkben ez a veszély nem áll fenn.

Elsősorban a holtfa tudatos és módszeres eltávolításának tudható be, hogy az Északi-középhegységben, 60 ezer 500 m²-es területű mintakör több mint 95%-án nem volt rovarrevő énekesmadarak fészkelésére alkalmas odvas fa (Standovár et al. 2017). Azaz a mintázott terület túlnyomó részén nem, vagy csak csökkent mértékben számíthatunk erdőegészség szempontjából fontos ökoszisztéma szolgáltatásokra (madarak, denevérek stb.). Wetherbee et al. (2020) szerint a veterán fák a természetes ellenségek kiemelt jelentőségű forrásai. Ezek jelentőségét természetesen nehéz számszerűsíteni, de a kedvezőtlen irányba változó környezeti feltételeket is figyelembe véve aligha nélkülözhetők (Frank et al. 2022; Eötvös et al. 2023).

A holtfa/odvasfák meglétéhez hasonlóan nagy jelentőségű az erdők elegyessége, ami többek között a „gyomfák rehabilitálását” is kell, hogy jelentse. Számos nemzetközi tanulmány eredményei szerint az állományok elegyessége csökkenti a rovarok és kórokozók kárkockázatát (Guyot et al. 2016; Keesing & Ostfeld 2024) és lassítja egyes inváziós rovarfajok terjedését is (Guyot et al. 2015). A kezelt erdők diverzifikálása (elegyesség, vegyeskorúság, szerkezeti változatosság) növeli az állomány rezilienciáját (Dymond et al. 2014). A változatos szerkezetű tölgyesekben jobban érvényesül a rovaervő énekesmadarak hatása (Bereczki et al. 2014). Megjegyzendő, hogy az elegyesség erdővédelmi jelentőségére Győrfi János, az erdővédelem egykori soproni professzora már közel 8 évtizede felhívta a figyelmet (Győrfi 1947a, 1947b, 1948). Azon túl, hogy az elegyesség „felhívítja” a rovar-tömegszaporodások szempontjából kedvező tápnövény koncentrációt, potenciális mellékgazdákat, illetve zsákmányt biztosít azoknak a fajoknak (parazitoidok, ragadozók), amik a herbivor rovarok népességét korlátozzák (Győrfi 1939, 1941).

Az állományok szerkezete (szintezettség, záródás, cserjeszint) jelentősen befolyásolja a mikroklímát, besugárzást stb. A záródáshiányos tölgyesek pl. fokozottan ki vannak téve a kétpettyes karcsúdíszbogár (*Agrilus biguttatus*) tömeges fellépésének. Ez a kockázat már egy erőteljesebb

gyerítést, vagy a fokozatos felújítás bontóvágását követően is felléphet. Kocsányos tölgyesekben a záródáshiány fokozza a tölgy-kéregpajzstetű (*Kermes quercus*) elszaporodásának esélyét.

Hazai vizsgálatok arra is egyértelműen rámutattak, hogy a változatos állományszerkezet és a vegyeskorúság jelentős mértékben csökkenti az abiotikus káresemények (vihar-, hó- és jégkárok) kockázatát (Kenderes et al. 2007; Csépanyi et al. 2017).

Összegezve: az erdők fajgazdagságának és szerkezeti diverzitásának növelése, valamint az erdőgazdálkodás módjainak diverzifikálása, a természetes folyamatokra az eddigieknél nagyobb mértékben történő alapozás az ellenállóképesség és a rugalmas ellenállóképesség erősítésének meghatározó összetevője. Mint ahogyan a folyamatos erdőborítás, illetve az ahhoz közelítő erdőgazdálkodási módok is.

Mindezek alapján kérem válaszaim elfogadását.



Csóka György

Mátrafüred, 2025. február 20.

A válaszokban hivatkozott irodalmi források:

- Askew R.R., Melika G., Pujade-Villar J., Schönrogge K., Stone G.N. & Nieves-Aldrey J.L. 2013: Catalogue of parasitoids and inquiline in cynipid oak galls in the West Palearctic. *Zootaxa* 3643(1): 1–133.
- Bailey, R., Schönrogge, K., Cook, J. M., Melika, G., Csóka, Gy., Thuróczy, Cs., & Stone, G. N. 2009): Host niches and defensive extended phenotypes structure parasitoid wasp communities. *PLoS Biology*, 7(8): e1000179. doi: 10.1371/journal.pbio.1000179
- Bălăcenoiu F., Japelj A., Bernardinelli I., Castagneyrol B., Csóka Gy., Glavendekić M., Hoch G., Hrašovec B., Krajer Ostoić S., Paulin M., Williams D., Witters J. & de Groot, M. 2021: *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera, Tingidae) in its invasive range in Europe: perception, knowledge and willingness to act in foresters and citizens. *NeoBiota* 69: 133–153 (2021) doi: 10.3897/neobiota.69.71851
- Balogh L., Dancza I. és Király G. 2004: A magyarországi neofitonok időszerű jegyzéke, és besorolásuk inváziós szempontból. In: Mihály B. és Botta-Dukát Z. (szerk.): *Biológiai inváziók Magyarországon: Özönnövények*. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának tanulmánykötetei 9. TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, 61–92.
- Bartha D. 2020: Fekete lista - Magyarország inváziós fa- és cserjefajai; Szürke lista - Magyarország potenciálisan inváziós fa- és cserjefajai. Soproni Egyetem Kiadó. Sopron, 84. oldal.
- Chmura D. 2020: The Spread and Role of the Invasive Alien Tree *Quercus rubra* (L.) in Novel Forest Ecosystems in Central Europe. *Forests* 2020, 11, 586; doi:10.3390/f11050586
- Csépányi P. et al. 2017: A 2014. decemberi jégkár okai és következményei a Pilisi Parkerdő Zrt. által kezelt erdőállományokra. *Erdészettudományi Közlemények*, 7(1): 25–41.
- Csóka Gy. & Szabóky Cs. 2005: Cheklist of Herbivorous Insects of Native and Exotic Oaks in Hungary I (Lepidoptera). *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 1: 59–72.
- Csóka Gy. 1994: Adatok a hazai *Quercus* fajok herbivor rovar guild-jének ismeretéhez. *ELT TTK Poszgraduális Zoológus Szak, szakdolgozat*. 65 oldal.
- Csóka Gy. 2017: Ellenségmentes övezet. *Élet és Tudomány*. 72(44): 1379–1381.
- Csóka Gy., Kis L.-né és Peer L. 1997: A csomós gubacs (*Andricus conglomeratus* GIR.) tömeges fellépése és hatásai a kocsányos tölgy csemeték növekedésére. *Erdészeti Lapok* 132(10): 324.
- Dymond C.C. et al. 2014: Diversifying managed forests to increase resilience. *Canadian Journal of Forest Research*, 44: 1196–1205.
- Eötvös Cs. B., Tóth M., Hirka A., Fűrjes-Mikó Á., Gáspár Cs., Paulin M., Lakatos F. és Csóka Gy. 2023: A tölgy-csipkésposloska [*Corythucha arcuata* (Say, 1832)] rövid távú terjedését befolyásoló tényezők tölgyeseinkben. *Erdészettudományi Közlemények* 13(2): 131–144.
- Fang, Z., Tang, C.-T., Sinclair, F.H., Csóka, G., Hearn, J., McCormack, K., Melika, G., Mikolajczak, K. M., Nicholls, J.A., Nieves-Aldrey, J.L., Notton, D.G., Radošević, S., Bailey, R.I., Reiss, A., Zhang, M.Y., Zhu, Y., Fang, S., Schönrogge, K. and Stone, G.N. (2024). Network structure and taxonomic composition of tritrophic communities of Fagaceae, cynipid gallwasps and parasitoids in Sichuan, China. *Insect Conservation and Diversity*, 2024, 1-26. <https://doi.org/10.1111/icad.12768>
- Franić I. et al. 2022: Worldwide diversity of endophytic fungi and insects associated with dormant tree twigs. *Scientific Data* 9.1 (2022): 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01162-3>
- Führer E. 2018: A klímaértékelés erdészeti vonatkozásai. *Erdészettudományi Közlemények* 8(1): 27–42.
- Führer E., Horváth L., Jagodics A., Machon A., Szabados I. 2015: Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás - Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* 115(3): 205–216.
- Grzedzicka E. et al. 2017: Does the invasion of Northern Red Oak *Quercus rubra* in parkland influence the diversity of birds? *Biologia* 72(2): 215–229.
- Guyot V. et al. 2015: Tree Diversity Limits the Impact of an Invasive Forest Pest. *PLoS ONE*, 10(9): e0136469. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136469>
- Guyot V. et al.: Tree diversity reduces pest damage in mature forests across Europe. *Biol. Lett.*, 12: 20151037. <http://doi.org/10.1098/rsbl.2015.1037>
- Gyórfi J. 1939: Adatok a fűrészdarazsak erdészeti jelentőségéhez. *Erdészeti Kísérletek*, 41(1-4): 117–235.
- Gyórfi J. 1941: Fűrészdarazs kutatásaim eredménye, különös tekintettel a mellékgazda kérdésre. *Erdészeti Kísérletek*, 44: 1–165.
- Gyórfi J. 1947a: Az elsődlegesen káros rovarok elszaporodásának feltételei. *Rovartani Közlemények*, 2(1): 18–22.
- Gyórfi J. 1947b: Vegyeskorú és elegyes állományok erdővédelmi jelentősége. *Erdészeti Kísérletek*, 47(1–4): 87–132.
- Gyórfi J. 1948: A rovardúlások oka és keletkezése. *Erdőgazdaság*, 2(17): 13–14.
- Hajek E.A. & Ellenberg J. 2018: *Natural enemies – An Introduction to Biological Control*. Cambridge University Press. Cambridge, 439 oldal.
- Hayda Y. et al. 2022: The introduction of red oak (*Quercus rubra* L.) in Ukrainian forests: advantages of productivity versus disadvantages of invasiveness. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 64(4): 245–252.

- Hirka A. and Csóka Gy. 2006: Two gall wasps (*Neuroterus saliens* and *Callirhytis glandium*) causing major acorn mortality on turkey oak (*Quercus cerris*) in Hungary. In Csóka, Gy.; Hirka, A. and Koltay, A. (eds.) 2006: Biotic damage in forests. Proceedings of the IUFRO WP. 7.03.10) Symposium held in Mátrafüred, Hungary, 12-16 September 2004. 296– 301.
- Hoch G., Stemmelen A., Eötvös C.B., Hinterstoisser W., Lanšćak M., Stojnić S. et al. 2023: Infestation intensity by the invasive oak lace bug, *Corythucha arcuata* (Say) in mixed and pure oak stands. *Journal of Applied Entomology* 148(1): 26–33.
- Keesing F. & Ostfeld R.S. 2024: The more, the healthier: Tree diversity reduces forest pests and pathogens. *PLoS Biol*, 22(2): e3002525.
- Kenderes K. et al. 2007: Effects of topography and tree stand characteristic on susceptibility of forests to natural disturbances (ice and wind) in the Börzsöny mountains. *Community Ecology*, 8(2): 209–220.
- Mátyás Cs. 2002: Erdészeti-természetvédelmi genetika. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 422 oldal.
- Nicholls J.A., Melika G., & Stone G.N. 2016: Sweet Tetra-Trophic Interactions: Multiple Evolution of Nectar Secretion, a Defensive Extended Phenotype in Cynipid Gall Wasps. *The American Naturalist*, 189(1): 67–76.
- Ónodi G. (2016): Az idegenhonos, illetve inváziós fajok élőhelyformáló hatásai. *Erdészettudományi Közlemények*, 6(2): 101-113.
- Riepsas E. & Straigytė L. 2008: Invasiveness and Ecological Effects of Red Oak (*Quercus rubra* L.) in Lithuanian Forests. *Baltic Forestry* 14(2): 122–130.
- Standovár T., Bán M. & Kézdy P. (szerk.) 2017: Erdőállapot-értékelés középhegységi erdeinkben – Rosalia – a Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság tanulmánykötetei 9. Budapest, Hungary: Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság; pp. 612
- Stanek M., Piechnik L. & Stefanowicz A. M. 2020: Invasive red oak (*Quercus rubra* L.) modifies soil physicochemical properties and forest understory vegetation. *Forest Ecology and Management* 472 (2020) 118253
- Sun, X.; Li, H-D.; Zhang, A.; Hirka, A.; Csóka, Gy.; Pearse, I.S.; Holyoak, M. & Zhishu Xiao, Z. 2021: An intercontinental comparison of insect seed predation between introduced and native oaks. *Integrative Zoology*, <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12609>
- Wetherbee R. et al. 2020: Veteran trees are a source of natural enemies. *Scientific Reports*, 10:18485; <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75723-0>
- Woziwoda B., Kopeć D. & Witkowski J. 2014: The negative impact of intentionally introduced *Quercus rubra* L. on a forest community. *Acta Societas Botanicorum Poloniae* 83(1): 39–49.
- Wróbel A., Kurek P., Bogdziewicz M., Dobrowolska D. & Zwolak R. 2022: Avian dispersal of an invasive oak is modulated by acorn traits and the presence of a native oak. *Forest Ecology and Management* 505 (2022) 119866

Csóka György

Mátrafüred, 2025. február 20.