

Doktori értekezés tézisei

PÁSZTOR KATALIN

Gödöllő

2025



MAGYAR AGRÁR- ÉS
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

BIOLÓGIATUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

EGY LEPKEPOPULÁCIÓ DEMOGRÁFIAI VIZSGÁLATA

DOI: 10.54598/006140

PÁSZTOR KATALIN

Gödöllő

2025

A doktori iskola megnevezése: Biológiatudományi Doktori Iskola

Tudományága: Biológiatudomány

Iskolavezető: Prof. Dr. Nagy Zoltán

Tanszékvezető egyetemi tanár, DSc
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Növénytermesztési-tudományok Intézet
Növényélettan és Növényökológia
Tanszék

Témavezetők: Dr. Kis János

Tudományos főmunkatárs, habil. PhD
Állatorvostudományi Egyetem Budapest,
Zoológia Tanszék

Dr. Kőrösi Ádám

Tudományos főmunkatárs, PhD
Büro Geyer und Dolek, Németország

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK

Az elmúlt évtizedekben a globális éghajlatváltozás és az egyre intenzívebb emberi földhasználat együttes hatása világszerte a természetes élőhelyek állapotromlásához és pusztulásához vezetett. A biológiai sokféleség csökkenésének megállítása érdekében napjainkban a legsürgetőbb kérdések közé tartozik, hogy az élőlények képesek-e, és ha igen, hogyan képesek alkalmazkodni ezekhez a gyors környezeti változásokhoz, valamint, hogy ezek a változások hogyan befolyásolják a populációk életképességét és az egyedek rátermettségét.

A lepkék tanulmányozása közelebb vihet bennünket e kérdések megválaszolásához, mivel gyorsan reagálnak a környezeti változásokra, és ökológiailag fontos szerepet töltenek be beporzóként és növényevőként.

Az életmenet jellegek, beleértve az utódok számát, az ivarérett egyedek testméretét, az életkor-specifikus halálozást (öregedés), valamint a szaporodásba való befektetést vagy a felnőttkori élettartamot, befolyásolják egy élőlény túlélési és szaporodási képességét, és végső soron hozzájárulnak az evolúciós siker általános mértékéhez, azaz a fitnesshez, vagy rátermettséghez. A szaporodási sikert és a túlélést tekintik a fitness fő összetevőinek, és ezek az életmenet jellegek mérésével becsülhetők.

Az öregedés, a biológiai funkcióknak az életkor előrehaladtával bekövetkező romlása, amely az egyed életében a termékenység és a túlélési valószínűség

csökkenését valószínűleg döntően befolyásolja, a rovarok életmenetének megértése szempontjából is érdekes kérdés. Az öregedésnek három típusát különböztetjük meg: az életkorral csökkenő túlélési valószínűséget, szaporodási sikert (reproduktív öregedés) és fenotípusos leromlást (fenotípusos öregedés).

A reproduktív siker (és a reproduktív öregedés) a lepkék (és a rovarok) természetes populációiban nehezen mérhető a kis testméret, a kis tojásméret, a nagy mobilitás vagy éppen a rejtőzködő életmód miatt. Azonban az életkorral csökkenő túlélési valószínűség tanulmányozása jelölés-visszafogás módszerrel természetes lepkepopulációkban megvalósítható. A fenotípusos öregedést számos gerinces állat természetes populációjában megfigyelték már, ezzel szemben gerinctelenek természetes populációiban kevés ismeretünk van róla. A fenotípusos öregedés kimutatásához az egyedek élettartama során különböző testméretek többszöri mérésére van szükség. Eddig egyetlen olyan tanulmányról tudunk csak, amelyben életkorral összefüggő testtömeg változást észleltek lepkék laboratóriumi populációiban, és úgy tűnik, hogy az életkor, a test és a tor tömege között kapcsolat áll fenn, ezért ezek a testméretek megfelelőek lehetnek az öregedés kimutatására. A szárnyhosszból és a szárnyfesztávolságból az egyedek repülési képességeire következtethetünk, amivel közvetett módon mérhetjük az egyedek rátermettségét.

A környezeti tényezők befolyásolhatják az egyedek rátermettségét (fitneszt), és a laboratóriumi és a vadon élő populációk közötti genetikai eltérésekkel együtt hatással lehetnek az öregedési rátára, ezért természetes populációkban végzett hosszú távú vizsgálatokra van szükség a rovarok ezen életmenet jellegeinek helyes értékeléséhez.

Célkitűzések

Kutatásom középpontjában egy kis Apolló-lepke (*Parnassius mnemosyne*, Linnaeus 1758, Lepidoptera: Papilionidae) természetes populációjának demográfiai elemzése áll, amelyet jelölés-visszafogás vizsgálattal és *in situ* nem-invazív testméret mérések segítségével vizsgáltam. Doktori munkám során a következő kérdésekre kerestem a választ:

- Csökkent-e a testtömeg és a tor szélessége az életkor előrehaladtával (fenotípusos öregedés)? Ha igen, akkor ez a csökkenés lineáris vagy polinomiális volt-e?
- Voltak-e különbségek az ivarok között a kezdeti testméretekben, és hogyan változott a testméret az életkor előrehaladtával?
- Összefüggött-e az egyed első befogásának időpontja a testméretével és az öregedés ütemével?
- A szárnyhossz korrelált-e más testméretekkel és a fenotípusos öregedéssel?

- Hogyan változott a túlélés és a visszafogási valószínűség az életkorral és a repülési időszak előrehaladtával?
- Hogyan függött össze a túlélés és a visszafogási valószínűség a nappali átlaghőmérséklettel és a relatív páratartalommal?
- Hogyan függött össze a túlélés és a visszafogási valószínűség az egyes lepkék kezdeti testtömegével, kezdeti torszélességével, szárnyhosszával és pödörnyelv hosszával?

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1 Adatgyűjtés

A kis Apolló-lepke a nyugat-palearktikus területen széles körben elterjedt. Közép-Európában virágzó növényekben gazdag erdei tisztásokon és réteken, valamint nyílt, napos, erdővel körülvett területeken él. A faj egynemzedékes, egyedei elég robusztusak ahhoz, hogy a különböző testméretek ismételt mérése ne okozzon sérülést, és viszonylag könnyű megfigyelni, befogni és megjelölni őket.

A terepi munkát hét egymást követő évben, 2014 és 2020 között végeztük Hegyesden, egy 0,5 hektáros réten a Visegrádi-hegységben. A rovarbeporzású virágzó növények heterogén eloszlásban borították a rétet, amelyet tölgyerdő (*Quercus cerris*) vett körül.

A populáció vizsgálatához jelölés-visszafogásos (MRR) módszert alkalmaztunk. Az időjárás függvényében minden nap mintavételeztük a populációt, valamint nem-invazív testméret-mérést is végeztünk az összes újonnan megjelölt egyeden, és minden harmadik napon újra megmértük a testtömeget és a torsiálességét a jelölt egyedeken. A hőmérsékletet és a relatív páratartalmat adatgyűjtő loggerekkel rögzítettük.

2.2 Statisztikai elemzések

2.2.1 Testméretnek változásának elemzése a kor előrehaladtával

A "életkor"-t az egyed első befogásától eltelt napok számaként határoztuk meg, ami a tényleges életkor minimális becslése. Az „életkor²” az életkor és a testméret közötti nem lineáris kapcsolat modellezésére szolgált. Az "átlag(életkor)" és az "átlag(életkor²)" az összes életkor, illetve életkor² adat átlaga volt az egyed méréseinek időpontjában. Ezek az "átlagváltozók" lehetővé tették az egyedeken belüli és az egyedek közötti hatások elkülönítését, mert az "átlag(életkor)" és az "átlag(életkor²)" az egyedeken belüli, valamint az egyedek közötti hatások különbségeit adják ki. Az "első befogás" változó a repülési időszak azon napja volt, amikor az egyedet először fogtuk be, míg az "átlag(első befogás)" az első befogások napjainak éves átlaga volt, amellyel azt tudtuk vizsgálni, hogy az egyes évek közötti testméret-változás összefügg-e a repülési időszak hosszának változásával.

A hét vizsgálati év adatait összevontuk és egy modellben elemeztük. Először egy lineáris kevert modellt építettünk, mindkét függő változóra (testtömeg és torsióesség), amely magában foglalta az életkort, az életkor²-et, az átlag(életkor)-t, az átlag(életkor²)-et, az első befogást, az átlag(első befogás)-t és a szárnyhosszt, az ezen változók és az ivarok közötti interakciókat, valamint a szárnyhossz és az életkor, illetve az első befogás és az életkor közötti interakciókat.

Összehasonlítottuk a testtömeg és a torszélesség kezdeti átlagértékeit is a csak egyszer illetve az ismételten (legalább két alkalommal) lemért egyedek között. Ebben a modellben csak azon egyedek adatait használtuk, melyeknek mind a testtömegre, mind a torszélességre legalább két mérése volt.

2.2.2 Túlélés vizsgálatok

A jelölés-visszafogás adatok elemzésére Cormack-Jolly-Seber (CJS) modellt használtunk, a 2020 évi adatok kizárásával, mivel erre az évre nem rendelkezünk megfelelő időjárási adatokkal, vagyis csak 6 évnnyi adatot elemeztünk (2014–2019). A CJS modellnek két paramétere van, a látszólagos túlélés (" Φ " vagy "Phi") és a visszafogási valószínűség ("p"). Egyedi kovariánsként használtuk a testtömeg és a torszélesség első méréseit, valamint a szárny- és az pödörnyelv hosszának egyetlen mérését. Ezen változók négyzetes tagjait is használtuk, az esetleges nem-lineáris kapcsolat modellezésre. Továbbá megvizsgáltuk a kor és a szárnyhossz, valamint a kor és a pödörnyelv hossz interakcióit is. Ezekhez a modellekhez csak olyan egyedek adatait használtuk, amelyeknél az összes testméret (kezdeti testtömeg, kezdeti torszélesség, szárny és pödörnyelv hossz) legalább egyszer le volt mérve.

A "repülési időszak napja" (DOF) minden évben az a nap volt, amikor a jelölés-visszafogás vizsgálatot végeztük, DOF=1 a repülési időszak első mintavételi napja. Az "életkor" az egyes lepkék első befogásától eltelt napok

száma volt. Azok az egyedek, amelyeket ugyanazon a mintavételi napon fogtunk be, jelöltünk meg és engedtünk szabadon, egy kohorszot alkottak. A "DOF", "Életkor" és "Kohorsz" numerikus, folytonos és időben változó kovariánsok voltak az időjárási változókkal együtt, és azt határozták meg, hogy az adott paraméter (látszólagos túlélés vagy visszafogási valószínűség) lineárisan függ-e a repülési időszak napjaitól, a kohorsztól, az életkortól vagy az időjárási változóktól. A megfigyelők számát faktoriális, időben változó kovariánsként használtuk, három szintet határoztunk meg: (1) csak egy megfigyelő, (2) két vagy három megfigyelő, (3) négy vagy több megfigyelő vett részt az MRR-vizsgálatban adott napon. Az "idő"-t szintén olyan faktorváltozóként is használtuk, ami azt jelenti, hogy a látszólagos túlélés és a visszafogási valószínűség minden mintavételi alkalommal/intervallumban más értéket vehetett fel.

Célunk az volt, hogy az időben (vagyis a repülési időszak) alatt változó paraméterek és az egyedi kovariánsok hatását vizsgáljuk a lepkék látszólagos túlélésére és visszafogási valószínűségére. A Morin et al. (2020) által leírt „build-up” módszer módosított változatát használtuk modell-szelekciós stratégiaként, hogy megtaláljuk azokat a kovariánsokat, amelyek szignifikáns kapcsolatban állnak a látszólagos túléléssel és a visszafogási valószínűséggel. Külön modellszelekciót végeztünk minden évre, mivel a különböző generációk nem átfedők, valamint külön mindkét nemre, a hímek és nőstények

eltérő fenológiája (protandria) miatt. Az alapmodellek illeszkedésvizsgálatát három különböző módszerrel (GOF-tesztel) végeztük el.

3. EREDMÉNYEK ÉS AZOK MEGBESZÉLÉSE

3.1 Változás és változatosság a testméretekben

Mindkét nem esetében a testtömeg és a torszélesség jelentős csökkenését tapasztaltuk az életkor növekedésével. Ez az összefüggés nem volt lineáris, a testtömeg idősebb korban lassabban csökkent. A testtömeg és a torszélesség esetében különbözött a legjobb modell (1. táblázat); a „random slope” modellek bizonyultak jobbnak a „random intercept” modellekkel szemben, ami arra utal, hogy a testméret csökkenésének mértéke az életkorral egyedi eltéréseket mutat.

A testméretek a hímek esetében lassabban csökkentek az életkorral, mint a nőstényeknél. A repülési időszak későbbi szakaszában befogott egyedek testtömege és torszélessége kisebb volt, és testtömegük az életkorral lassabban csökkent. Minél nagyobb volt a szárnyhossz, annál nagyobb volt a kezdeti testtömeg és a torszélesség, de a szárnyhossz nem volt hatással a testméretek csökkenésére.

1. táblázat: A teljes és a legjobb modellek specifikációi.

	Függő változó	Magyarázó változók	Random tag
Lineáris Kevert Modell (teljes modell)	Log(Testtömeg)	ivar*(kor + átlag kor + kor ² + átlag kor ² + első befogás + átlag első befogás + szárny) + (kor:szárny) + (kor:első befogás)	random= ~ 1 év/id vagy random= \sim kor év/id
	Torszélesség	ivar*(kor + átlag kor + kor ² + átlag kor ² + első befogás + átlag első befogás + szárny) + (kor:szárny) + (kor:első befogás)	random= ~ 1 év/id vagy random= \sim kor év/id
Legjobb modell	Log(Testtömeg)	ivar*kor ² + szárny + kor*első befogás	random= \sim kor év/id
	Torszélesség	ivar*kor + átlag kor + kor ² + első befogás + szárny	random= \sim kor év/id

A lepkék testtömegének változását és változatosságát számos tényező befolyásolhatja, például a kiszáradás során bekövetkező vízvesztés, a lipidtartalékok csökkenése az öregedéssel, a peterakás vagy a spermatoforok átadása. A kis Apolló nőstények párzáskor szfrágiszt (ivarnyílást elzáró képletet) kaphatnak, ami a nőstények testtömegének 3-5%-át teheti ki. Ez feltehetően testtömeg csökkenést okoz a hímeknél, és a nőstények számára is terhet jelenthet, mivel a szfrágisszal való repülés költséges lehet.

A potrohból vagy a torizmokból felhasznált tartalékok szintén csökkenést okozhatnak, különösen a torszélességben. A tor izmok erőforrásként való felhasználása azonban korlátozhatja a repülési teljesítményt.

A kezdeti testméret tekintetében nagy egyedi eltérést, a kor előrehaladtával bekövetkező változásban pedig kisebb eltérést észleltünk. Ivari dimorfizmust is megfigyeltünk a testméretben és a testméret változásának ütemében, a nőstények nagyobb kezdeti testméretet és gyorsabb leépülést mutattak, mint a hímek. Ezek a különbségek az ivarok eltérő fiziológiájából és viselkedéséből származhatnak.

A populációban újonnan megjelenő (bábból kikelő vagy bevándorló) egyedek testmérete a repülési időszak előrehaladtával csökkenő tendenciát mutatott, ami valószínűleg a hernyók közötti növekedési ráta különbségéből eredeztethető, melyet a fejlődéskori külső és belső tényezők is okozhatnak. A tojásból később kelő hernyóknak kevesebb idejük van fejlődni, mert ha túl későn bábozódnak, lemaradhatnak a párázsról, és a szezon során a tápnövény mennyisége és minősége is alacsonyabb lehet.

3.2 Túlélési és visszafogási valószínűség

A leginkább támogatott modellek (2. táblázat) nem minden évben voltak azonosak, de a változók hatásainak iránya igen. A látszólagos túlélés minden évben és mindkét ivar esetében csökkent az életkorral vagy a repülési időszak előrehaladtával. A legtöbb évben a túlélés negatívan függött a hőmérséklettől és pozitívan a relatív páratartalomtól. Egyes években a testméret szignifikáns pozitív kapcsolatban állt a túléléssel, ami azt jelenti, hogy a nagyobb egyedek túlélési valószínűsége nagyobb volt.

A legtöbb évben a leginkább támogatott modellben a visszafogási valószínűség "idő"-függő, így a visszafogási valószínűség ezekben az években a mintavételi alkalmak (napok) között változott, és a kovariánsok nem tudták kellőképpen megmagyarázni a varianciáját. Néhány évben a visszafogási valószínűség szignifikánsan magasabb volt, amikor több megfigyelő dolgozott a terepen, amikor magasabb volt a hőmérséklet és alacsonyabb a relatív páratartalom. Más években a visszafogási valószínűség az életkor és a testméret függvényében nőtt, azaz az idősebb és/vagy nagyobb egyedeket nagyobb valószínűséggel fogtuk vissza. Nem csak azok a kovariánsok voltak szignifikánsak, amelyek a legjobb modellekben szerepeltek. A „likelihood ratio” tesztek azt mutatták, hogy bizonyos években több változó is szignifikáns volt, de nem szerepelt a leginkább támogatott modellben.

2. táblázat. A Cormack-Jolly-Seber modell szelekció legjobb modelljei. Ezeket a modelleket az AICc-értékek és LR tesztek alapján választottuk ki. (–) negatív vagy (+) pozitív hatását fejezi ki a látszólagos túlélésre (Phi) vagy a visszafogás valószínűsége (p). DOF: a repülési időszak napjai, Kor: életkor, testtömeg: első lemért testtömeg, tor: első lemért torsiósság, szárny: szárnyhossz.

Év	Ivar	Látszólagos túlélés (Phi)	Visszafogási valószínűség (p)
2014	hímek	~Kor (–) + hőmérséklet (–)	~idő
	nőstények	~DOF (–) + relatív páratartalom (+)	~relatív páratartalom (–) + tor (+) + tor ² (–)
2015	hímek	~DOF (–) + tor (+)	~megfigyelők (+) + Kohorsz (–) + szárny (+) + szárny ² (–)
	nőstények	~DOF (–)	~megfigyelők (+) + hőmérséklet (+) + tor (+)
2016	hímek	~DOF (–) + hőmérséklet (–)	~idő
	nőstények	~Kor (–) + hőmérséklet (–)	~Kor (+) + relatív páratartalom (–)
2017	hímek	~DOF (–) + relatív páratartalom (+)	~idő
	nőstények	~DOF (–) + relatív páratartalom (+)	~idő
2018	hímek	~DOF (–)	~Kohorsz (–) + relatív páratartalom (–)
	nőstények	~DOF (–)	~idő
2019	hímek	~Kor (–) + hőmérséklet (–) + szárny (+)	~idő
	nőstények	~Kor (–) + hőmérséklet (–) + testtömeg (+)	~hőmérséklet (+)

Az egyedek által tapasztalt környezeti változók (mint az időjárás és a rendelkezésre álló források, pl. nektárnövények), évről évre nagy változatosságot mutattak, ami magyarázhatja a modellváltozók eltérő hatását az egyes években.

A túlélési valószínűség csökkenése az életkor növekedésével, a lepkék túléléshez felhasználható (szomatikus) tartalékainak csökkenésének tudható be. Fenotípusos öregedést is kimutattunk ebben a természetes populációban (ld. előző szakasz), ami azt jelenti, hogy a lepkék testmérete az öregedéssel együtt csökkent. A CJS modellekben kisebb kezdeti testtömeg és kezdeti torszélesség esetén alacsonyabb túlélési valószínűséget észleltünk, aminek magyarázata lehet, hogy a kisebb testű egyedek kevesebb tartalékkal rendelkezhetnek. A lárvális és felnőttkori források elérhetősége jelentősen befolyásolhatja a lepkék túlélését és felnőttkori fitnessét. A megfelelő források hiánya ezekben a szakaszokban gyakran vezet kisebb felnőtt egyedekhez és csökkent túlélési valószínűségekhez, vagyis rosszabb fitnesshez.

Ektoterm állatok lévén, a túlságosan magas nappali hőmérséklet kedvezőtlen fiziológiai hatásokat okozhat a rovarokban, beleértve a membrán- és fehérjeszerkezet megbomlását, a sejtek mikrokörnyezetének megváltozását, DNS-károsodást vagy megnövekedett anyagcsere rátát, ami felgyorsítja az öregedési folyamatot, ezáltal a túlélés csökkenéséhez vezethet. Alacsonyabb relatív páratartalom mellett, szárazabb körülmények között, a fokozottabb párolgás miatt nő a vízveszteség, ami káros hatással lehet a lepkékre, potenciálisan kiszáradási stresszhez és fokozott mortalitáshoz vezethet. Általában a repülési időszak végén voltak jellemzőek a meleg és száraz

nappalok, valószínűleg ezért is tapasztaltuk, hogy a túlélési valószínűség a repülési időszak előrehaladtával csökkent.

Több tényező is befolyásolhatja, hogy a megfigyelők mekkora valószínűséggel képesek észlelni az egyedeket. Feltehetően az idősebb lepkéket könnyebb megfigyelni a csökkent aktivitásuk miatt, például amikor nyitott szárnyal napoznak a növényzeten. A fenotípusos (fiziológiai) leépülés, például a torsiélesség csökkenése és a csökkenő energiatartalékok valószínűleg hozzájárulnak ehhez a csökkent aktivitáshoz. Az is előfordulhat, hogy az idősebb nőstények gyengébben repülnek, és így nagyobb eséllyel esnek fogságba. Ezzel szemben a megfigyelők akár az aktívabb egyedeket is könnyebben észrevehetik, mert ezek többet repülnek és könnyebben kerülnek szem elé.

Megjegyezzük, hogy a testméret paraméterei nem minden vizsgálati évben szerepeltek a legjobb modellekben, és a túlélésre és a visszafogási valószínűségre gyakorolt hatásuk bizonyos esetekben meglehetősen gyenge volt. Továbbá, az életkor és szárnyhossz, valamint az életkor és pödörnyelv hossz között egyik évben sem találtunk szignifikáns interakciót.

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Egy természetes kis Apolló-lepke populációban végeztünk hosszú távú jelölés-visszafogás vizsgálatot hét egymást követő évben, különböző időjárási változók rögzítésével és a lepkék testméretének terepi mérésével.

Tudomásunk szerint ez az első olyan vizsgálat, amely a fenotípusos öregedést természetes lepkepopulációban kimutatta *in situ* nem-invazív mérésekkel.

Továbbá sikerült kimutatnunk a kis Apolló-lepkék túlélésének csökkenését az életkorral és feltárnunk azt, hogy a testméret és az időjárási változók hogyan befolyásolták a lepkék túlélését és visszafogási valószínűségét.

Eredményeink arra utalnak, hogy az öregedést és a hernyók növekedési ütemét az évente változó környezeti változók befolyásolhatják. A testméret nagymértékben meghatározza a termékenységet, és az öregedés is befolyásolhatja a rovarok szaporodási sikerét. Ezért javasoljuk, hogy a laboratóriumi vizsgálatoknak a jövőben arra kell irányulniuk, hogy feltárják (i) az egyes időjárási körülmények (hőmérséklet, páratartalom stb.) és a források elérhetőségének hatását a hernyók növekedési ütemére, a kifejlett egyedek túlélésére és öregedésére, ii) a rovarok öregedésének genetikai hátterét és annak kapcsolatát a környezeti tényezőkkel. Ezenkívül több hosszú távú terepi vizsgálatot kell végezni a lepkék természetes populációin, hogy feltárjuk a különböző környezeti tényezők együttes hatását az egyedek túlélési valószínűségére. Végző soron ezeknek az összefüggéseknek a mélyebb

megértése segítené jobban átlátni a jelenlegi globális környezeti változásoknak a rovarpopulációk életképességére gyakorolt hatásait.

Ha ismerjük a lepkék sérülékenységének okait, könnyebb lenne megfelelő lépéseket tenni az éghajlatváltozás és az élőhelyvesztés hatásainak mérséklésére, például megfelelő élőhelykezeléssel.

A kis Apollók esetében a legfontosabb az élőhely mozaikossága a nyílt, napos foltokkal és a cserjékkel tarkított, lágyszárú növényekben gazdag rétek, valamint a rét és az erdő közötti átmeneti zóna, ahol a hernyók egyetlen tápnövénye, a *Corydalis* fajok közelébe tudnak a nőstények tojást rakni.

A túlélés, az életmenet jellegek és a fitness közötti kölcsönhatás megértése elengedhetetlen a lepkék környezeti nyomásra adott alkalmazkodási stratégiáinak megértéséhez és a változó ökoszisztémákban a populáció dinamikában bekövetkező változások előrejelzéséhez. A trendek felismeréséhez és a fajon belüli és fajok közötti élettartam és öregedési mintázatok kimutatásához az egymást követő generációk hosszútávú vizsgálatára van szükség. Ezek a tudományos eredmények később felhasználhatók a természetvédelmi biológiai kutatásokban és a fajmegőrzési programok kezelési terveinek kialakításában. A jövőbeni kutatások fontos szerepet játszhatnak a faj által elviselhető maximális hőmérséklet meghatározásában, ami a helyi éghajlati előrejelzésekkel kombinálva segíthet

kiválasztani azokat az élőhelyeket, ahol a vizsgált lepkepopuláció hosszú távon védhető és fenntartható.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- 1) A világon elsőként végeztük el lepkék testtömegének és torszélességének ismételt *in situ*, nem-invazív mérését, természetes élőhelyükön.
- 2) Fenotípusos öregedést mutattunk ki a kis Apolló-lepkék természetes populációjában. Kimutattuk, hogy mind a testtömeg, mind a torszélessége csökkent az életkor előrehaladtával, bizonyítva, hogy a fiziológiai öregedés természetes körülmények között is létezik a lepkéknél. Ivari különbségeket találtunk a fenotípusos öregedés ütemében, de annak ellenére, hogy az évek között a kezdeti testméretek változatosságot mutattak, az öregedés ütemében az évek között nem volt jelentős különbség.
- 3) Bebizonyítottuk, hogy a kor előrehaladtával csökkent a túlélési valószínűség szinte minden évben (2014-2017 és 2019).
- 4) Megállapítottuk, hogy a hőmérséklet és a relatív páratartalom jelentősen befolyásolta a lepkék túlélését. A lepkék túlélése alacsonyabb hőmérsékleten és magasabb relatív páratartalom mellett volt magasabb.
- 5) Továbbá kimutattuk, hogy a testméret, különösen a torszélesség és a szárnyhossz, néhány évben pozitív kapcsolatban állt a lepkék

túlélésével, ami azt jelzi, hogy a nagyobb lepkéknek magasabb a túlélési valószínűsége.

- 6) Az időjárási tényezők illetve a különböző testméretek erősebb hatással voltak az idősebb kis Apolló lepkékre.
- 7) Egyes években a lepkék visszafogását jelentősen befolyásolták az időjárási paraméterek és a testméretek. A visszafogási valószínűség magasabb hőmérsékleten és alacsonyabb relatív páratartalom mellett, valamint a nagyobb testméretű lepkéknél magasabb volt.

6. A SZERZŐNEK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓI

Angol nyelven, lektorált folyóiratban megjelent közlemények:

Phenotypic senescence in a natural insect population

Pásztor K, Kőrösi A, Górá, Szigeti V, Vajna F, Kis J; Ecology and Evolution 12 e9668, 2022 (IF₂₀₂₂: 2.600)

Mate-guarding success depends on male investment in a butterfly

Górá, Lang Zs, **Pásztor K**, Szigeti V, Vajna F, Kis J; Ecology and Evolution 13 e10533, 2023 (IF₂₀₂₂₋₂₃: 3.167)

Facultative male investment in prolonged mate-guarding in a butterfly

Górá, Fónagy A, **Pásztor K**, Szigeti V, Lang Zs, Kis J; Behaviour 160(6) 515-557, 2023 (IF₂₀₂₂₋₂₃: 1.672)

Magyar nyelven, lektorált folyóiratban megjelent közlemények:

Változó hím befektetés a nőstény további párosodását akadályozó képletekbe kis apollólepkénél (*Parnassius mnemosyne* (LINNAEUS, 1758))

Górá, Fónagy A, **Pásztor K**, Szigeti V, Lang Z, Kis J; Állattani Közlemények 108 (1-2), 2023

Konferencia kiadványban megjelent absztraktok:

How weather and body size affect survival and detectability in a natural butterfly population – **Pásztor K**, Kőrösi A, Górá, Kis J –8th Student Conference on Conservation Science Europe - Balatonvilágos, Magyarország, 2023 – Előadás (Legjobb előadás díja)

How weather and body size affect survival, senescence and detectability in a natural butterfly population? – **Pásztor K**, Kőrösi A, Górá, Kis J – International Conferences on the Biology of Butterflies - Prága, Csehország, 2023 - Poszter

Change of body mass and thorax width with age in a natural butterfly population – **Pásztor K**, Kőrösi A, Górá, Kis J – 7th Student Conference on Conservation Science Europe - Balatonvilágos, Magyarország, 2022 – Poszter (Legjobb poszter díja)

Multilevel variation in body mass and thorax width in a natural butterfly population – **Pásztor K**, Kőrösi A, Górá, Kis J – XXII European Congress of Lepidopterology - Laulasmaa, Észtország, 2022 - Előadás

Change of body mass and thorax width with age in a natural butterfly population – **Pásztor K**, Kőrösi A, Górá, Kis J – Annual Meeting of the Lepidopterists' Society (Virtuális), 2021 – Poszter (Díjazott poszter előadás, 2.-ik hely)