10.13147/SOE.2021.002

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

A gyapjaslepke (*Lymantria dispar L.*) fejlődésmenete különböző tápnövényeken és különböző abiotikus környezeti tényezők között

Írta:

Hillebrand Rudolf

doktorjelölt

Témavezetők:

Dr. Lakatos Ferenc

egyetemi tanár

Dr. Tuba Katalin

egyetemi docens

Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola

„Az erdőgazdálkodás biológiai alapjai" című program

Soproni Egyetem

Sopron

2020

10.13147/SOE.2021.002

A GYAPJASLEPKE (*LYMANTRIA DISPAR* L.) FEJLŐDÉSMENETE
KÜLÖNBÖZŐ TÁPNÖVÉNYEKEN
ÉS KÜLÖNBÖZŐ ABIOTIKUS KÖRNYEZETI TÉNYEZŐK KÖZÖTT

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

Írta:
Hillebrand Rudolf

Készült a Soproni Egyetem Roth Gyula Erdészeti
és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola
Az erdőgazdálkodás biológiai alapjai programja keretében

Témavezető: Dr. ….....
Elfogadásra javaslom (igen / nem)
(aláírás)

Témavezető: Dr. ….....
Elfogadásra javaslom (igen / nem) (aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton……% -ot ért el

Sopron,……..

……
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr_____) igen /nem
(aláírás)

Második bíráló (Dr_____) igen /nem
(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr_____) igen /nem

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el

Sopron,……..

_____
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése….....

_____
Az EDHT elnöke

10.13147/SOE.2021.002

NYILATKOZAT

Alulírott Hillebrand Rudolf jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy A gyapjaslepke (*Lymantria dispar* L.) fejlődésmenete különböző tápnövényeken és különböző abiotikus környezeti tényezők között című PhD értekezésem önálló munkám, az értekezés készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény szabályait, valamint a Roth Gyula Erdészeti És Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola által előírt, a doktori értekezés készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.[1]

Kijelentem továbbá, hogy az értekezés készítése során az önálló kutatómunka kitétel tekintetében témavezetőmet, illetve a programvezetőt nem tévesztettem meg.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy az értekezést nem magam készítettem, vagy az értekezéssel kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Soproni Egyetem megtagadja az értekezés befogadását.

Az értekezés befogadásának megtagadása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron, 2020. április 10.

Hillebrand Rudolf

.....

doktorjelölt

[1] **1999. évi LXXVI. tv.** 34. § (1) A mű részletét – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.
36. § (1) Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára – a cél által indokolt terjedelemben – szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást – a szerző nevével együtt – fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.

10.13147/SOE.2021.002

Tartalom

Tartalom ... 5
Kivonat ... 8
Abstract ... 9
1. Bevezetés, célkitűzés ... 10
1.1. Hipotézisek ... 13
2. Irodalmi áttekintés ... 14
2.1. Rendszertan és nevezéktan ... 14
2.2. Elterjedés ... 15
2.3. Morfológia ... 16
2.4. A gyapjaslepke életciklusa ... 18
2.5. A gyapjaslepke természetes ellenségei ... 20
2.6. A gyapjaslepke tápnövényei ... 24
2.7. Abiotikus tényezők hatása a gyapjaslepkére ... 29
2.7.1. A hőmérséklet hatása a gyapjaslepkére ... 29
2.7.2. A fény hatása a gyapjaslepkére ... 32
2.8. A gyapjaslepke kártétele ... 34
2.8.1. A gyapjaslepke tömegszaporodása ... 34
2.8.2. A gyapjaslepke kártétele a világban ... 35
2.8.3. A gyapjaslepke károsítása Magyarországon ... 36
2.8.4. A gyapjaslepke károsításának hatásai ... 37
2.9. A gyapjaslepke kártételének előrejelzése ... 39
2.10. A gyapjaslepke elleni védekezés ... 41
2.10.1. Megelőző védekezés ... 41
2.10.2. Védekezés a petecsomók eltávolításával ... 41
2.10.3. Vegyszeres védekezés ... 42
2.10.4. Védekezés biopreparátumokkal ... 43
3. Anyag és módszertan ... 46
3.1. A kutatás eszközei ... 46
3.2. A kísérletek bemutatása ... 49
3.2.1. A hőmérséklet hatása a gyapjaslepke egyedfejlődésére és szaporodására ... 49
3.2.2. A megvilágítás hatása a gyapjaslepke egyedfejlődésére és szaporodására ... 50
3.2.3. A generációk közötti tápnövényváltás hatása ... 51
3.2.4. Az egy nemzedéken belüli tápnövényváltás hatásainak vizsgálata ... 54
3.3. A számítások és a statisztikai kiértékelés módszerei ... 55
4. Eredmények ... 57
4.1. A hőmérséklet hatása ... 57
4.1.1. A hernyókelés kezdete ... 57
4.1.2. A különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a negyedik lárvastádiumig ... 58
4.1.3. A különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a negyedik lárvastádiumban. ... 59
4.1.4. A különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete az ötödik lárvastádiumban ... 60
4.1.5. A különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a hatodik lárvastádiumban ... 62
4.1.6. A különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a hetedik lárvastádiumban ... 64

10.13147/SOE.2021.002

4.1.7. A különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a teljes hernyófejlődési időszakban ... 65
4.1.8. A különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a báb időszakban ... 67
4.1.9. A szaporodás sikeressége különböző hőmérsékleten ... 68
4.1.10. Különbségek a különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenetében ... 69
4.2. Az eltérő megvilágítási viszonyok hatása ... 71
4.2.1. A hernyókelés megindulásának alakulása különböző megvilágításon ... 71
4.2.2. A különböző megvilágításon nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a negyedik lárvastádiumig ... 72
4.2.3. A különböző megvilágításon nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a negyedik lárvastádiumban ... 73
4.2.4. A különböző megvilágításon nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete az ötödik lárvastádiumban ... 74
4.2.5. A különböző megvilágításon nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a hatodik lárvastádiumban ... 75
4.2.6. A különböző megvilágításon nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a teljes hernyófejlődési időszakban ... 76
4.2.7. A különböző megvilágításon nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a báb időszakban ... 77
4.2.8. A szaporodás sikeressége különböző megvilágításon ... 77
4.2.9. Szignifikáns különbségek a különböző megvilágításon nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenetében ... 78
4.3. Az egy nemzedéken belül bekövetkezett tápnövényváltás eredményei ... 79
4.3.1. Mortalitás az egy nemzedéken belül bekövetkezett tápnövényváltás során . 79
4.3.2. A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke hímek fejlődésmenete a negyedik lárvastádiumig ... 80
4.3.3. A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke hímek fejlődésmenete a negyedik lárvastádiumban ... 81
4.3.4. A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke nőstények fejlődésmenete az ötödik lárvastádiumig ... 82
4.3.5. A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete az ötödik lárvastádiumban ... 83
4.3.6. A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a hatodik lárvastádiumban ... 85
4.3.7. A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a bábállapotban ... 86
4.3.8. A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a lárva és a teljes egyedfejlődés során ... 88
4.3.9. Táplálkozási indexek a különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkéknél ... 90
4.3.10. Különbségek a különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenetében ... 91
4.4. A nemzedékek között bekövetkezett tápnövényváltás eredményei ... 92
4.4.1. Az eltérő tápnövényről származó populációk hernyókelésének megindulása ... 93
4.4.2. Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődésmenete a negyedik lárvastádiumban ... 93
4.4.3. Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődésmenete az ötödik lárvastádiumban ... 94

10.13147/SOE.2021.002

4.4.4. Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődésmenete a hatodik lárvastádiumban ... 97
4.4.5. Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődésmenete a hetedik lárvastádiumban ... 100
4.4.6. Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődésmenete a teljes lárvafejlődés során ... 101
4.4.7. Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődésmenete a bábállapotban ... 103
4.4.8. Az eltérő tápnövényről származó populációk szaporodóképessége ... 105
4.4.9. Szignifikáns különbségek az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődésmenetében ... 109
5. Az eredmények értékelése ... 112
5.1. A kísérletek módszerének értékelése ... 112
5.2. A különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepke mintacsoportok eredményeinek értékelése ... 113
5.3. A különböző megvilágításon nevelt gyapjaslepke mintacsoportok eredményeinek értékelése ... 116
5.4. A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke mintacsoportok eredményeinek értékelése ... 118
5.5. Az eltérő tápnövényről származó gyapjaslepke populációk nevelési eredményeinek értékelése ... 120
5.6. A gyapjaslepke fejlődésmenetét jellemző eredmények értékelése ... 122
6. Tézisek ... 124
Összefoglalás ... 127
Ábrajegyzék ... 130
Táblázatok jegyzéke ... 132
Mellékletek jegyzéke ... 136
Irodalomjegyzék ... 137
Köszönetnyilvánítás ... 151

10.13147/SOE.2021.002

Kivonat

A gyapjaslepke (*Lymantria dispar* L.) fejlődésmenete különböző tápnövényeken és különböző abiotikus környezeti tényezők között

A szerző munkája során különböző biotikus és abiotikus (hőmérséklet, megvilágítás) tényezők a gyapjaslepke fejlődésmenetére és szaporodására való hatását vizsgálta. Ehhez négy nevelési kísérletet állított be laboratóriumi körülmények között. Egy nemzetközi kísérlet részeként kutatta a különböző tápnövényről származó populációk fejlődését Pannónia nyár (*Populus* x *euamericana*) tápnövényen. Eredményei alapján a nemzedékek közötti tápnövényváltás nem okoz gondot a gyapjaslepkének, ha az utódnemzedék a faj számára megfelelő tápnövényre kerül. A szerző az egy nemzedéken belül bekövetkező tápnövényváltás hatásait is vizsgálta egy külön nevelési kísérletben. Ehhez csertölgy (*Quercus cerris* L.) és gyertyán (*Carpinus betulus* L.) tápnövényen nevelt fel két különböző mintacsoportot. Két másiknál pedig eltérő fejlettségi szinten csertölgyről gyertyánra cserélte a tápnövényt a lárvafejlődés során. A váltásra kényszerült hernyók rosszabbul fejlődtek, mint a kizárólag csertölgyet fogyasztók. A kutatás során újabb igazolást nyert, hogy a hőmérséklet növelésével a gyapjaslepke fejlődése lerövidül. A hazai gyapjaslepkék fejlődési optimuma az eredmények alapján 25 °C körül van. Állandó megvilágításon a gyapjaslepkék fejlődési ideje lerövidül és a hernyótömeg-növekedés értéke is kisebb lesz. Állandó megvilágításon egyetlen keresztezés során sem raktak le a nőstények életképes petéket. Az szerző eredményei alapján a teljes sötétség kedvezőbb a gyapjaslepke számára, mint az állandó megvilágítás.

10.13147/SOE.2021.002

Abstract

The development cycle of gypsy moths (*Lymantria dispar* L.) on various host plants and under various abiotic environmental components

The author examined the effects of different biotic and abiotic (temperature, lighting) factors on the life cycle and reproduction of gypsy moth. Four rearing examinations were carried out under laboratory conditions. Populations with different host origins were investigated on poplar host 'Pannónia' (*Populus* x *euamericana*) in part of an international trial. Based on his findings the changing host will not cause any problems for gypsy moth, if the progenies get on the proper host. The author examined the effects of the changing host within one generation in a separated rearing trial. In the course of this examination two different sample groups were raised on Turkey oak (*Quercus cerris* L.) and hornbeam (*Carpinus betulus* L.) host. The host was changed from Turkey oak to hornbeam in different development levels at two others groups during the larval stages. The caterpillars that were forced to change host developed worse than the ones that consumed only Turkey oak. The study repeatedly proved that rising temperatures shorten the development period of gypsy moth. The optimum temperature of the development, the native gypsy moths is about 25 °C based on our findings. The gypsy moth's development time gets shorter and shorter and the rate of the growing weight of the caterpillar gets smaller and smaller under permanent light. Under this condition, the females didn't lay any viable eggs in the course of any crossing. Based on the author's findings it can be stated that total darkness is more favourable for the gypsy moth than the entire lightening.

10.13147/SOE.2021.002

1. Bevezetés, célkitűzés

A lombfogyasztó erdészeti kártevők közül az egyik legismertebb lepkefaj a gyapjaslepke (*Lymantria dispar* L.). Károsításának mértékével, valamint tömegszaporodásainak kiterjedésével komoly hírnévre tett szert azokban az országokban, ahol a lombos fák között a tölgyek nagyobb erdészeti jelentőséggel bírnak. Így hazánkban is a legjelentősebb herbivor kártevők között tartják számon. Jelentősebb károsításait már az erdészeti szakirodalom kezdetétől dokumentálták (Bedő 1866; Erdődi 1866; Kallina 1878; Csóka 1995; Csóka és Hirka 2013). Károsítása kimondottan látványos, hiszen tömegszaporodása idején egész erdőket rág tarra. Kártételének területei ilyenkor nem csak hazánkban, hanem a világ számos országában igen jelentősek. Az erdőkön kívül gyümölcsösökben, szőlőkben is megjelenhet. Turisztikailag frekventált helyen történő fellépése pedig szélesebb körben zavarhatja a lakosságot. Az erdészeti károkozására jellemző, hogy állományainkban nem önmagában az azévi lombvesztés jár végzetes következményekkel, hanem kárláncolatot kiváltva, vagy abban szerepet játszva okozhat további károkat. A gyapjaslepke tarrágása szerepet játszik többek között a kocsányos tölgy komplex etiológiájú betegségében is. Mindezeket figyelembe véve érthető, hogy miért jelenik meg időről-időre a kutatásokban és a publikációkban ez a faj.

A gyapjaslepke polifág, a tápnövényeinek száma világszerte eléri a több százat is. Ezzel együtt vannak növényfajok, amelyeken nem él meg. Az általa fogyasztott növények is eltérő mértékben segítik a tömegszaporodásai kibontakozását (Varga 1975). Azonban nem csak a tápnövénynek van szerepe a ciklikusan 8-10 évente kibontakozó gradációjának mértékében, hanem a klíma és az időjárási tényezők is hatással vannak rá (Csóka 1996). Mindezekből adódóan nem lehet elég alaposan kutatni a tápnövény és az olyan abiotikus faktorok mint a hőmérséklet és a fény hatását a gyapjaslepke fejlődésére.

A kutatásom során céljaim között szerepelt annak vizsgálata, hogy a hazai gyapjaslepke egyedek fejlődésére milyen hatással lehet a hőmérséklet, tekintettel a szaporodásra. Ez különösen fontos kérdés, ha a klímaváltozás során bekövetkező hőmérséklet-változásra gondolunk. Ennek érdekében egy hazai populációból vett

10.13147/SOE.2021.002

mintán végeztem nevelési kísérletet laboratóriumi körülmények között, mesterséges tápanyagon, három különböző (20°C, 25°C, 30°C) hőmérsékleten.

Célom volt továbbá annak vizsgálata is, hogy milyen hatással van a faj fejlődésmenetére egy másik abiotikus faktor, a fény. A hőmérséklet mellett a fotoperiódus határozza meg számos rovar fejlődésmenetét (Kertész 2019), ezért vizsgáltam a megvilágítás szaporodásra gyakorolt hatását. Laboratóriumi nevelési kísérletet végeztem, amely során mesterséges tápanyagon vizsgáltam a gyapjaslepke fejlődését és szaporodását teljes sötétségben és állandó megvilágításban.

A tápnövény gyapjaslepke fejlődésére és szaporodására gyakorolt hatása már számos kutatásnak, publikációnak volt központi témája. Kutatásomban én a tápnövényváltásra helyeztem a hangsúlyt. Meg szerettem volna tudni, hogy milyen hatással van a gyapjaslepke, mint polifág faj fejlődésmenetére és szaporodására, ha az tápnövényváltásra kényszerül. A tápnövényváltás hatását megvizsgáltam nemzedéken belül, és nemzedékek között is. Utóbbi kérdés feltárásához a diplomamunkám keretében elvégzett kísérletet és annak eredményeit használtam fel. Ebben az esetben a vizsgálat célja az volt, hogy néhány elszigetelt nemzedék óta szűk tápnövény kört fogyasztó populáció egyedei, hogyan fejlődnek egy számukra idegen fafajon. Az is a kérdések között szerepelt, hogy veszélyesek-e a gyapjaslepkék olyan állományokra is, amelyekkel előtte nem találkoztak? A kutatás során három különböző tápnövénykörből származó, egy horvát, egy magyar és egy ausztriai gyapjaslepke populációt neveltem fel laboratóriumi körülmények között Pannónia nyár (*Populus* x *euamericana*) tápnövényen. A magyar populáció eredeti tápnövénye szintén a Pannónia nyár volt, míg az ausztriaié kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), a horváté pedig magyal tölgy (*Quercus ilex* L.) volt. Mindez egy nemzetközi kísérlet része volt, amiben mindhárom helyszínen, Magyarországon, Ausztriában és Horvátországban felnevelték mindhárom populációt az ottani tápnövényen. Jelen munkámban csak a saját eredményeimmel foglalkozom. A nemzedékek közötti tápnövényváltás mellett az egy nemzedéken belül kikényszerített tápnövényváltás hatásait is tanulmányoztam. Ismeretes ugyanis, hogy erdővédelmi szempontból kívánatosabb elegyes erdőállományokat létrehozni, hiszen ezek stabilabb életközösségei jobban ellenállnak a károsítások negatív hatásainak, mint az elegyetlen monokultúrák. Ha a kérdést ezúttal nem az erdőállomány szemszögéből vizsgáljuk, úgy feltételezhetően a gyapjaslepke fejlődése szempontjából sem mindegy, hogy elegyetlen vagy elegyes állományról van szó. Egy fajgazdag erdőrészletben ugyanis táplálékhiány esetén nagyobb eséllyel kell a

10.13147/SOE.2021.002

lárvának az előzőtől eltérő tápnövényen folytatni a fejlődését. Ennek vizsgálatához csertölgy (*Quercus cerris* L.) és gyertyán (*Carpinus betulus* L.) tápnövényen neveltem fel laboratóriumi körülmények között egy-egy gyapjaslepke mintacsoportot. Két másik mintacsoportnál pedig eltérő fejlettségi szinten csertölgyről gyertyánra váltottam a nevelés folyamán.

A nevelési kísérletsorozat során néhány egyéb kérdésre is választ kerestem, így a lárvafejődés alakulása milyen összefüggésben van a későbbi szaporodóképességgel? Befolyásolja-e a táplálék minősége a gyapjaslepke lárvastádiumainak számát? Vizsgáltam, hogy a nemek vajon eltérő érzékenységgel viseltetnek-e az általam vizsgált biotikus és abiotikus tényezőkkel szemben?

10.13147/SOE.2021.002

1.1. Hipotézisek

A gyapjaslepkével kapcsolatos kutatásaimhoz kapcsolódóan a következő hipotéziseket állítottam fel:

I. A gyapjaslepke fejlődése szempontjából nem mindegy, hogy elegyetlen vagy elegyes állományban táplálkozik.

II. A gyapjaslepke lárvális fejlődése során bekövetkező tápnövényváltásnál jelentős tényező a váltás ideje. Fontos szempont, hogy nemzedéken belül történik-e, illetve milyen fejlettségi állapotban.

III. Egyedfejlődésük során a hím és nőstény egyedek különbözőképpen reagálnak a környezeti hatásokra (pl. hőmérséklet, fény).

IV.

a. A hőmérséklet hatásait vizsgálva feltételezhetjük, hogy a hazai gyapjaslepke populációk fejlődési mutatói, túlélési rátája eltérnek a külföldi populációk vizsgálata során kapott eredményektől.

b. Hazánkban a gyapjaslepke fejlődési hőmérsékleti optimuma körülbelül 20 °C körül van.

c. A klímaváltozás az erdőgazdálkodók számára negatív hatású, a gyapjaslepke hazai kártételei szempontjából is.

V. A megvilágítás szélső esetei számottevő hatással vannak a gyapjaslepke fejlődésmenetére, mortalitására és szaporodóképességére.

VI. A gyapjaslepke areájának kiterjedésében a földrajzi akadályokon kívül a tápnövénynek és a hőmérsékletnek van meghatározó szerepe.

VII.

a. Idegen gyapjaslepke populáció elterjedését a hazai erdőkben legfőképpen a tápnövény befolyásolja.

b. A magyarországi gyapjaslepke populációk a hazai élőhelyeken versenyelőnyben lehetnek idegen populációkkal szemben, ha azok valami ok folytán bejutnak a magyar élőhelyekre.

A kutatás során célom ezeknek a hipotéziseknek az eredményeimmel történő igazolása vagy cáfolata volt.

10.13147/SOE.2021.002

2. Irodalmi áttekintés

2.1. Rendszertan és nevezéktan

Törzs: **Ízeltlábúak (Arthropoda)**

Osztály: **Rovarok (Insecta)**

Rend: **Lepkék (Lepidoptera)**

Öregcsalád: **Bagolylepkeszerűek (Noctuoidea)**

Család: **Kvadrifid bagolylepkék (Erebidae)**

(Szabóky és Leskó 1999; Fibiger and Skule 2012; Fauna Europea 2019)

A gyapjaslepke tudományos neve: ***Lymantria dispar* (Linnaeus 1758)**

A *Lymantria* „pusztítót", „bemocskolót" jelent, a *dispar* kifejezés pedig az ivari kétalakúságra utal.

Szinonim nevek: *Phaelaena dispar*
Ocneria dispar
Porthesia dispar
Liparis dispar
Bombyx dispar

Magyar elnevezések:
gyapjaslepke,
gyapjaspille,
gyapjas pohók,
közönséges gyaponc,
gyaponc

Külföldi elnevezések:
angol: gypsy moth
német: Schwammspinner
(Brehm 1869, Szabóky és Leskó 1999; Csóka és Hirka 2013)

A gyapjaslepke hazai erdőgazdasági jelentőségű rokonai az aranyfarú pille (*Euproctis chryosorrhoea* L.), a nyár gyapjaslepke (*Leucoma salicis* L.), az apácalepke (*Lymantria monacha* L.) és a bükk gyapjaslepke (*Elkneria pudibunda* L.) (Varga 2001; Csóka és Hirka 2013).

10.13147/SOE.2021.002

A külföldi szakirodalom három alfaját említi:

Lymantria dispar dispar Linnaeus 1758,

Lymantria dispar asiatica Vnukovskij 1926,

Lymantria dispar japonica Motschulsky 1860.

Az alfajok között a legfontosabb különbség a nőstény lepke röpképességében van. Az Ázsiában honos *L. dispar asiatica* és *L. dispar japonica* nőstény nemzői tudnak repülni. Az Európában előforduló *L. dispar dispar* esetében viszont csak a hímek képesek erre (Pogue and Schaefer 2007). A *L. dispar dispar* alfajt elterjedése okán gyakran európai gyapjaslepke, vagyis angolul European gypsy moth (EGM) gyűjtőnéven említik. A másik két alfaj közös elnevezése több más *Lymantria* fajjal együtt (*Lymantria umbrosa* Butler, *Lymantria albescens* Hori és Umeno, *Lymantria postalba* Inoue) ázsiai gyapjaslepke, angolul Asian gypsy moth (AGM). Egyes irodalmak a *L. umbrosa* fajt a *L. dispar* alfajaként *L. dispar hokkaidoensis* Goldschmidt néven tárgyalják (Pogue and Schaefer 2007; Arimoto and Iwaizumi 2014). A legújabb genetikai vizsgálatok alapján három fő mtDNS rokonsági ág írható le: Kelet-Ázsia és Japán, Európa és Közép-Ázsia, valamint Transzkaukázus. Ezek nem feleltethetőek meg teljesen a jelenlegi taxonómiai koncepciónak (*Lymantria dispar dispar*, *Lymantria dispar asiatica*, *Lymantria dispar japonica*). Az Észak- és Közép-Ázsiai populációk, beleértve a *Lymantria dispar asiatica* topotípusos populációi, sokkal közelebb állnak az Európaiakhoz annál, minthogy elkülönült ázsiai alfajnak tartsuk. A japán populációk (*Lymantria dispar japonica*) nem különböznek a Kelet-Ázsiaiaktól. Létezik egy eddig taxonómiailag névtelen transzkaukázusi leszármazási ág is, amelynek ráadásul legmagasabb a mitokondriális haplotípus-diverzitása. Ez akár arra is utalhat, hogy ez a terület a *Lymantria dispar* őshazája (Zahiri et al. 2019).

2.2. Elterjedés

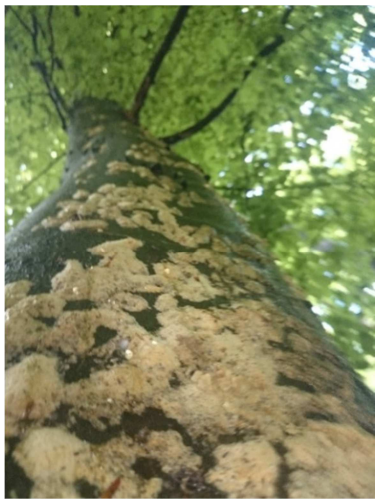
A gyapjaslepke euroszibériai faunaelem. Európa északi területeinek kivételével az egész kontinensünkön elterjedt. A faj Ázsia nagy részén, továbbá Észak-Afrikában is megtalálható (Szabóky és Leskó 1999; Nierhaus Wunderwald and Wermelinger 2001). A gyapjaslepke 1869-ben került be az Amerikai Egyesült Államokba Etienne Leopold Trouvellot révén. Az amerikai amatőr rovarász keresztezni szerette volna a selyemlepkével (*Bombyx mori* L.), így magával vitte a fajt Amerikába, ám néhány

10.13147/SOE.2021.002

egyed kikerült az ellenőrzése alól. A faj hamarosan széles körben elterjedt az új élőhelyén, és mára már az Egyesült Államok egyik legfontosabb erdészeti károsítójának tartják (Liebhold et al. 1989; Csóka és Hirka 2013).

2.3. Morfológia

A gyapjaslepke petéje pogácsa alakú, a csúcsi részén bemélyedt. A színe sárgásszürke, két nagy feketésbarna folttal és néhány halványbarna vonallal. A peték több centiméter nagyságú petecsomókban helyezkednek el, amelyeket a nőstény barnássárga potrohszőrzetével fed be (1. ábra). A báb barna, rövid, barna szőrökkel fedett. A hátsó végén széles csap van, amely két horog alakú tövisben végződik, melyek tövén még kisebb horog alakú képletek találhatók. A nőstény bábok feltűnően nagyobbak a hím báboknál (Kristen 1908; Jermy és Balázs 1993).



1. ábra: Petecsomók egy fa törzsén

Fotó: Hillebrand Rudolf

A petéből kikelt hernyók 4-5 mm hosszúak, színük feketébe hajló sötétszürke. A fejlődésük során a hosszuk a tízszeresére is nőhet. A hernyó alapszíne az ötödik lárvastádiumtól kezdődően sötétszürkétől kezdve a sárgásbarnán át a barnásfeketéig többféle árnyalatú lehet. A fej hátsó részén sárga háromszög látható, amelyből a hernyó hátán végigmenő két sáv indul ki. Feltűnő bélyegek továbbá a háti részen a két hosszanti sorba rendeződött szemölcsök, melyek az első öt szelvényen kék, a többi szelvényen pedig piros színűek. (2. ábra) Az ivari dimorfizmus a hernyók méreteiben is

10.13147/SOE.2021.002

tükröződik. A nőstények nagyobbak, akár 4 grammosak is lehetnek és elérhetik a 70 mm-t is. A hímek kisebbek, hosszuk legfeljebb 40-50 mm. A hernyók szőrei, és a petecsomók bevonata kiütéseket okozhatnak, elsősorban az arra érzékeny bőrűeknél (Kristen 1908; Szabóky és Leskó 1999).

2. ábra: A gyapjaslepke hernyója

Fotó: Hillebrand Rudolf

A gyapjaslepke imágóit ivari kétalakúság jellemzi. A nőstény lepke (3. ábra) nagyobb termetű a hímnél, testhossza a 40 mm-t is elérheti. Röpképtelen, bár nagy szárnnyal rendelkezik, melynek fesztávolsága 50-80 mm. Alapszíne fehér, halványsárgás árnyalattal. Az elülső szárny barnás hullámvonalakkal és sötétebb foltokkal díszített. A hátsó pár szárny is mintás, rajzolati elemei összhangban vannak az első páréval, bár a hullámvonalak elmosódottak. A nőstény mellső és hátsó szárnyszélei pettyezettek, rojtokkal díszítettek. A nőstény teste zömök, tora színben azonos a szárnyakéval, igen bolyhos. A potrohon erős, vastag, sárga színű, nemezes réteg található. A hím kisebb termetű, testhossza 24 mm. A szárnyának fesztávolsága mindössze 35-50 mm. A színe szürkésbarna, a nőstényéhez hasonló mintázattal. A hátsó pár szárny rajzolat nélküli a szárnyszélek rojtjai sem pettyezettek. A hím teste karcsúbb. (4. ábra) Csápjai kétszeresen fésűsek a nyúlfülhöz hasonló alakúak. A segítségükkel követik a nőstények csalogató feromon jeleit (Kristen 1908; Balázs és Sáringer 1984; Szabóky és Leskó 1999).

10.13147/SOE.2021.002

3. ábra: Nőstény lepke

Forrás: butterfly-conservation.org

4. ábra: Hím lepke

Forrás: butterfly-conservation.org

2.4. A gyapjaslepke életciklusa

A gyapjaslepke egynemzedékes faj. Rajzása általában július – augusztusra tehető. Előfordul, hogy már június második felében megjelennek, és rajzásuk akár nyár végéig is eltarthat. A *Lymantria dispar dispar* nősténye nem repül. A mozgása nehézkes, így nem távolodik el nagyon a bábból való kikelése helyétől. Rendszerint egy fatörzsön ül és feromonnal csalogatja magához a hímet, aki fésűs csápjával képes felfogni az illatanyagokat, és megtalálni a nőstényt. A hím gyapjaslepke nappal is aktív, de leginkább a délutáni, koraesti órákban repül. A párosodás után a nőstény a petéit a fa törzsének alsó részére rakja le, és befedi a potrohán található sárgásbarna nemezes szőrrel. Tömegszaporodás idején, a törzs felső részére és az ágak alsó felére is tehet petét. Ezen kívül találtak már petecsomót köveken, kerítésen, határoszlopokon, de még házfalon is. A petecsomók színe szalmasárga. Az embriók a peteburok védelme alatt telelnek át. A lerakott peték száma eltérő. A tömegszaporodás folyamán folyamatosan változik. A tömegszaporodás kezdetén 500-800 pete is lehet egy csomóban, de a végén számuk épphogy eléri a 70-150 darabot (Kristen 1908; Szabóky és Leskó 1999; Csóka és Hirka 2013).

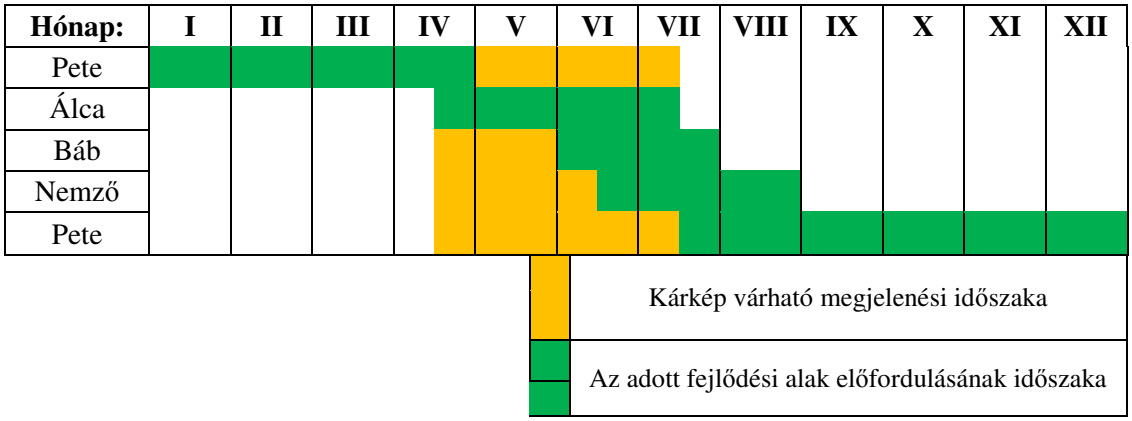
A gyapjaslepkének a petecsomói telelnek át. A hernyók a petékből általában április végén, május elején kelnek ki. A kelés megindulásában az időjárás is jelentős szerepet játszik, így akár kis területeken belül is elhúzódhat. A fiatal hernyók az első napokban a petecsomók közelében maradnak, és a peteburkukat fogyasztják el. Ezek után indulnak el egyéb táplálékot keresni. Többnyire felmásznak a fa koronájába és a levelekből táplálkoznak. Előfordul, ha olyan helyen kelnek ki, ahol nem találnak megfelelő táplálékot, akkor nagyobb távolságot kell megtenniük, akár önerőből, akár a szél

10.13147/SOE.2021.002

segítségével. Eközben sokan elpusztulnak közülük. Általában éjjel rágnak, de táplálékhiány esetén, nappal is folytatják táplálkozásukat. Esős, hideg időben ágvillákban vagy más védett helyen húzódnak meg. Selyemfonalat minden lárvastádiumukban képesek szőni (Kristen 1908; Földes 1908; Szabóky és Leskó 1999). A fiatal hernyók a selyemfonallal és a levegővel telt gömböket viselő szőrszálak segítségével a szél révén könnyen eljutnak akár több kilométeres távolságokba is (Jermy és Balázs 1993). Később, ehhez a manőverhez már túl nehezek lesznek. Kapcsolódó kísérletekben a szél által elsodort részpopulációk az új helyükön megsemmisültek. Ebben nagy szerepe volt a parazitáltságuknak is. Megjegyzendő, hogy az új helyszínek elegyes, gazdag cserjeszinttel rendelkező állományok, illetve sok virágzó lágyszárút tartalmazó felújítások voltak. A gyapjaslepke némely természetes ellenségének, például a fürkészeknek az élettartalmát a nektárt termelő virágok meghosszabbítják és kedvezően hatnak az elszaporodásukra is (Leskó 1988). A hernyók vitorlázva akár a közeli gyümölcsösökbe is eljuthatnak (Balás és Sáringer 1984). A hím gyapjaslepke hernyói négy–öt, a nőstényé pedig öt-hat vedlés után bábozódnak be. Általában a nőstényeknek hat, a hímeknek öt lárvastádiumuk van. Nevelési kísérletek során hatodik lárvastádiumú hímeket és hetedik lárvastádiumú nőstényeket is figyeltek már meg. A lárvafejlődés alatt a lombkoronában táplálkoznak. A bebábozódás rendszerint júniusra tehető. Laboratóriumi megfigyeléseink szerint a hernyók fejlődése az utolsó lárvastádiumban a leghosszabb, ekkor fogyasztanak a legtöbbet és a tömeggyarapodás is ilyenkor a legnagyobb. A bábozódás előtti napokban a hernyók felhagynak a táplálkozással, tömegük csökken, mert a bábozódás előtt az ürülék eltávozik testükből, illetve energiájukat a bábozódásra fordítják (Hillebrand és Tuba 2013). A gyapjaslepke fejlődési időtartalmának alakulása függ a tápláléktól. Az Erdőművelési és Erdővédelmi Intézet nevelési kísérleteiben szignifikáns különbséget találtunk a természetes és mesterséges táplálékon nevelt hernyók fejlődési ideje között. Ezen kívül nemzedékek közti tápnövény-váltásnál is tapasztaltunk jelentős eltérést eltérő tápnövényről származó populációk nőstény tagjainak fejlődési ideje között (Hillebrand 2012, Varga 2012). Külföldi nevelési kísérletek szerint a lárvafejlődési időben ugyan nem, de a bábállapotban töltött időben és a bábtömegben kimutatható különbség alakult ki a táplálék kadmium szintjének függvényében (Mirčić et al. 2010). Megfigyelések szerint, ha táplálékhiány következtében a hernyók nem tudnak kifejlődni, korábban kényszerülnek bebábozódásra. Az ilyen bábokból fejletlenebb lepkék kelnek ki (Kristen 1908). A hernyók vagy a fatörzsön laza szövedékben vagy pedig összesodort levelekben

10.13147/SOE.2021.002

bábozódnak. A hímek bábjai jóval kiesebbek, a nőstényekénél. A bábnyugalom körülbelül három hétig tart. (Szabóky és Leskó 1999; Csóka és Hirka 2013; Hillebrand és Tuba 2012). A gyapjaslepke éves életciklusát az 5. ábra mutatja be.



5. ábra: A gyapjaslepke éves életciklusa

Lakatos és Szabó 2002 alapján

2.5. A gyapjaslepke természetes ellenségei

A faj természetes ellenségeinek fontos szerepe van populációinak egyedszám-szabályozásában, a tömegszaporodások összeomlásában. Jelentős szerepet játszanak ebben a kórokozó mikroorganizmusok, de fontosak a parazitoidok és a predátorok is, amelyek közé ragadozó rovarok, apró gerincesek, valamint madarak tartoznak (Reichart 1959; Kolonits 1968; Szűcs 2000; Csóka és Hirka 2013).

A gyapjaslepke fontos ellenségei a ragadozó rovarok, melyek közül leginkább a kis bábrablót (*Calosoma inquisitor* L.), az aranyos bábrablót (*Calosoma sycocphanta* L.), és a négypettyes dögbogarat (*Dendroxena quadripunctata* L.) említhetjük meg. A gyapjaslepke hernyói és bábjai egyaránt áldozatul eshetnek ezeknek a ragadozó rovaroknak (Csóka és Hirka 2013).

A gyapjaslepkén előforduló parazitoid rovarfajok az előzőeknél fontosabb szerepet játszanak a faj egyedszámának szabályozásában. Ezek többnyire a *Diptera* és a *Hymenoptera* rendből kerülnek ki. Életmódjuk különböző. Egyes parazitoidok nősténye a hernyók testére ragasztja a petéit. Ilyen a gyapjaslepke fürkészlégy (*Parasetigena silvestris* Robineau-Desvoidy), melynek imágója petéit a hernyók nyaki részére ragasztja. Ha a vedlés gyorsan megtörténik, úgy a gazda megmenekül, hiszen a petéket levedli magáról. Ám ha a tölcsér alakú ciszta építése elkezdődött, azt már nem

10.13147/SOE.2021.002

befolyásolja a vedlés. Lárvája a hernyót fogyasztja el, majd fejlődése végén elhagyja. Egy gazdában egy nyű fejlődik. A gyapjaslepke-bábfürkészlégy (*Blepharipa pratensis* Meigen) petéjét a tölgy levelére rakja, ahonnan a gazda táplálkozás során veszi magához. A kifejlődött lárva a gazdát bábozódás céljából hagyja el. A fűrészhasú fürkészlégy (*Compsilura concinnata* Meigen) egy elevenszülő faj. Lárváit, 1-4 darabot, a gazda hernyójának bőre alá helyezi a tojókészüléke segítségével. Egy nőstény több hernyóba is helyez lárvákat. A lárva fejlődése és a gazda között feltehetőleg hormonális kapcsolat van. Fejlődési ideje függ a gazda fejlettségi állapotától. A gyapjaslepke esetében a 1. és 2. stádiumú hernyóba helyezett parazitoidok főként a bél környékén táplálkoznak. A 3. stádiumú gazdába helyezett lárvák a hernyó életfontosságú szerveit is elfogyasztják, így az egy-két nappal hamarabb elpusztul, mint ahogy azok elhagyják gazdájukat. A bőrt átszúrva a hernyó testébe helyezi petéit a gyilkosfürkészek közé tartozó *Glyptapanteles liparidis* (Bouche') (Darvas 1989; Szűcs 2000). A peteparazitoidok, mint például az *Anastatus bifasciatus* (Geoffroy) vagy az *Ooencyrtus kuwanae* (Howard) a gyapjaslepke petéjében fejlődnek ki, s a tél beálltáig több generációjuk is megtizedeli azokat (Ujhelyi 1926; Csóka és Hirka 2013).

A gyapjaslepke populációk szabályozásában fontos szerepet játszanak az eddig felsorolt fajok, ám szerepük a tapasztalatok szerint csupán korlátozó és nem megszüntető (Győrfi 1950). Vizsgálatok szerint (Szalay és Marzsó 1957) az 1955-ös tömegszaporodás csúcsidőszakában vírusbetegségben pusztult el a hernyók 90%-a, míg a *Hymenoptera*-k és *Diptera*-k általi parazitáltság 1%-os érték alatt maradt.

A hernyókat tehát a fent felsorolt ragadozókon és élősködőkön kívül, főleg tömegszaporodás idején poliédervírusok (pl. Nuclear Polyhedrosis Virus, röviden NPV) és mikrosporidiák valamint gombabetegségek okozta járványok pusztítják (Jermy és Balázs 1993). A tömegszaporodás során a kedvezőtlen időjárás, valamint a táplálékhiány vezetnek gyakran a járványokhoz, amelyek a gradáció összeomlását is okozhatják. Tanulmányok szerint ugyanakkor járvány idején az NPV vírus terjedését a környezeti tényezők okozta stresszen kívül a populáció sűrűsége is befolyásolja. Kisebb-nagyobb sikerrel kapcsolatot találtak a levélminősége és a megbetegedés között. A fiatal lárvák pusztulása alapján azt feltételezik, hogy a fertőzés már a hernyókeléskor megtörténik (Woods és Elkinton 1987). A fertőzés bakulovírusok esetében a táplálkozással történik meg, melynek során a vírus bejut a szervezetbe, a középbél savas környezetében a virionok kiszabadulnak és megtámadják a gazda különböző sejtjeit. Ezek aztán virionok és zárványfehérjék millióit hozzák létre, majd a hernyók

10.13147/SOE.2021.002

elfolyósodnak és elpusztulnak. Elsősorban lárvákat betegítenek meg. Az esetlegesen fertőzött imágók, mint vírus vektorok játszanak szerepet. A kórtünetek lefolyása a következőképpen alakul a sejtmag poliéder vírusok (NPV) által megtámadott Lepidoptera lárvák esetében: A fertőzést követő 1-3 napban az egyed nem mutat kóros jeleket. Az ezt követő napokon a hernyó lassan reagál a tapintási ingerekre, teste megduzzad, legyengültnek mutatkozik. A fertőzés után 6-7 nappal a lárva abbahagyja az táplálkozást. *Lymantria* fajoknál az ág tetejére mászik (negatív geotropizmus). A beteg egyedek pusztulása rendszerint a 7-10. nap között következik be. A hernyó elfolyósodhat, a kutikula felreped, és a vírus kiszabadul. Kórokozókat biológiai növényvédő szerek készítéséhez is felhasználtak (Polgár 1999; McWilliam 2003). Többek között a *Bacillus thuringiensis* alapú készítmények, illetve a sejtmagvírusából nyert szerek sorolhatók ide (Csóka és Hirka 2013).

A gyapjaslepke populációdinamikájában jelentős halálozási tényezők a mikrosporidiák okozta járványok (McMannus and Solter 2003). A *Pleistophora schubergi* (Zwöfler 1927) volt a legelső faj, amit gyapjaslepkéből izoláltak (Vavra et al. 2006). Azóta számos patogén mikrosporidiát ismerünk. Ilyenek a horizontális és a vertikális fertőzésre is képes, a gyapjaslepke hernyók számára patogén *Nosema* spp. fajok, amelyeknek a tömegszaporodás megelőzésében is szerepük lehet (Weiser 1963). Laboratóriumi kísérletekben vizsgálták, hogy mit történik, ha egyszerre több mikrosporidia fajjal fertőznek meg gyapjaslepke hernyókat. A *Vairimorpha disparis*, *Nosema lymantriae* (Weiser 1963) és az *Endoreticulatus schubergi* fajokkal folytatott kísérletben megállapították, hogy a *Vairimorpha disparis* és a *Nosema lymantriae* egymással versengtek a gazdaállatban. A *Vairimorpha*-val folytatott verseny elnyomta a *Nosema* horizontális továbbfertőzését egyidejű és egymást követő oltás után. Az *Endoreticulatus schubergi* nem mutatott versengést a többi fajjal sem a gazdalárvában sem a horizontális továbbfertőzés során. A *Nosema lymantriae* és az *Endoreticulatus schubergi* 100% hatékonysággal fertőzött horizontálisan, míg a *Vairimorpha disparis* gyengébb fertőzőképességet (25-75%) mutatott (Pilarska et al. 2006). Az egyedi és a vegyes fertőzések mortalitása között nincs különbség (Solter et al. 2002). Laboratóriumi kutatások szerint a gyapjaslepke *Glyptapanteles liparidis*-vel való paraziltsága és mikrosporidiával való fertőződése egyszerre is megtörténhet, mivel a parazita nem tudja megállapítani, hogy fertőzött-e a rovarlárva, amibe a petéit rakja. A kettős fertőzés a gyapjaslepke lárva gyorsabb elpusztuláshoz vezet. A parazita fejlődésére viszont

mindez negatív hatású, főleg ha a gazdaállat már a parazita lárva kifejlődése előtt elpusztul (Hoch et al. 2000).

A ragadozókon, parazitoidokon, baktériumokon és a vírusokon kívül a gyapjaslepke populációk mortalitásában entomofág gombafajok (*Entomophaga maimaiga* Humber, Shimazu and Soper) is szerepet játszanak (Andreadis és Weseloh 1990). Az *Entomophaga maimaiga* egy gazdaspecifikus gombafaj, ami eredetileg Ázsiában honos, ám mára a világ több helyére betelepítették. Az USA-ba 1910, 1911 és 1981-ben vitték be kifejezetten a gyapjaslepke elleni biológiai védekezés céljából. Európába, azon belül is Bulgáriába 1999-ben került be szándékosan. Azóta a gomba folyamatosan terjeszkedik, 2005-ben Grúziában, 2011-ben pedig Törökországban és Szerbiában jelent meg. Végül 2013-ban hazánkban és több más országban (Horvátország, Szlovákia, Bosznia Hercegovina) is azonosították. Több helyen gyűjtöttek mintákat az országban, és szinte mindenhol sikerült a gombát kimutatni. A mortalitás mindenütt jelentős volt, néhol a 95%-ot is meghaladta. A gomba fejlődése során „kétféle spóra” figyelhető meg. A nyugalmi spóra (ivaros spóra) telel át a fa kérgén, ami tavasszal kicsírázik és megfertőzi a gyapjaslepke lárváját. A gombafonalak a kültakarón átjutva pusztítják el a rovart. Ezek után a gomba ivartalan spórát képez (konídium), ami a széllel elterjedve más egyedeket is megfertőzhet (Buss et al. 2001; Csóka és mtsai. 2014a; 2014b). 2011. évtől kezdődően egy gyapjaslepke gradáció kibontakozása volt megfigyelhető hazánk erdeiben. Egyre nagyobb rágáskárokról érkeztek jelentések, amelyek évről évre emelkedtek 2013-ig. A fénycsapdák fogásai, illetve a petecsomókból nyert adatok is hasonlóképpen alakultak. Azonban ez a növekedő tendencia 2014-től visszafordult. A kártevő egyedszáma és károsításai azóta lecsökkentek a tömegszaporodások közti „alapszintre”. Ebben nagy szerepet játszhatott az *Entomophaga maimaiga* (Hirka 2013; 2014). Észak-Amerikai vizsgálatok szerint az *Entomophaga maimaiga* erősen gazdaspecifikus gombafaj (Hajek et al. 1995). Ezt egy közép-európai kutatás is megerősítette. A vizsgálat során több, részben hazai az *Entomophaga maimaiga* által érintett mintaterületekről gyűjtöttek be számos rovarfajt (zömében lepkefajt). A gyűjtött gyapjaslepke mintában alacsony százalékban ugyan (0,84%), de kimutatható volt a gombafaj fertőzése. Ám a többi fajban *Entomophaga maimaiga*-val fertőzött egyedet nem találtak (Zúbrik et al. 2018). Erdővédelmi szempontból tehát jelentős fajról van szó, hiszen feltételezhetően a gyapjaslepkén kívül nem fertőz meg más fajt tölgyeseink rovarfaunájából, miközben a gyapjaslepke tömegszaporodásainak mértékét korlátozhatja. Ugyanakkor jelenleg még nem tisztázott,

10.13147/SOE.2021.002

hogy fellépése a gyapjaslepke populációiban, milyen közvetett hatással lesz annak természetes ellenségeire. Mindenesetre az *Entomophaga maimaiga* populációszabályozó tevékenysége csökkentheti a tömegszaporodáskor védekezésül használt vegyszerek mennyiségét is (Zubrik et al. 2016).

2.6. A gyapjaslepke tápnövényei

A gyapjaslepke polifág faj. Tápnövényeinek száma Európában a háromszázat is eléri. Magyarországon szinte az összes fa és cserjefaj leveleit fogyasztja, köztük tűlevelűekét is. Erdőállományaink jelentős részén károsítóként lép fel. Tömegszaporodásai nagy területeken okoznak gondot. Ezen kívül megtalálhatja táplálékát a gyümölcsöseinkben, szőlőinkben, díszfáinkon is. Viszonylag kevés olyan faj van, amely nem szerepel az étrendjében (Stockhoff 1993; Szabóky és Leskó 1999; Csóka és Hirka 2013).

A szakirodalmak szerint a tápnövény alapvetően meghatározza a hernyó fejlődését, annak sebességét, a bebábozódás és a bábból való kikelés, tehát a szaporodóképes állapot elérésének esélyét. Továbbá a lerakott peték, és az azokból kikelő életképes utódok számát is befolyásolja. Így tömegszaporodás azokon a területeken tud kialakulni, ahol a megfelelő tápnövény nagy számban jelen van. Ebből a szempontból tehát azok az állományaink a veszélyeztetettek, amelyeket a gyapjaslepke számára megfelelő fafajok alkotnak. Kísérleti eredmények alapján a következő fafajaink jelentik a legkedvezőbb táplálékot a gyapjaslepke számára: a kocsányos tölgy (*Quercus robur* L.), a csertölgy (*Quercus cerris* L.), a mézgás éger (*Alnus glutinosa* L.), a gyertyán (*Carpinus betulus* L.), és a nemesnyár hibridek (*Populus*). A nevelési kísérletekben az ezeket fogyasztó hernyók, megfelelő sebességgel és alacsony mortalitással fejlődnek ki. Ezek a fafajok a tömegszaporodást elősegítik (Varga 1975). A hazai cserjefajok közül kedvező tápanyagot biztosít a tömegszaporodáshoz a mogyoró (*Corylus* spp.), a galagonya (*Crataegus* spp.), és a vadrózsa (*Rosa* spp.) (Varga 1969). Több hazai fafaj nagy része ugyan táplálékul szolgálhat a gyapjaslepke hernyójának, ám a tömegszaporodását nem segíti elő. Ilyen fajok a hárs (*Tilia* spp.), szil (*Ulmus* spp.), som (*Cornus* spp.), bükk (*Fagus sylvatica* L.), kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* Liebl.), fehér nyár (*Populus alba* L.) és a balzsamos nyárak (Tacamahaca) (Varga 1975). Tömegszaporodás idején a gyapjaslepke az általa leginkább kedvelt fafajokon kívül az

10.13147/SOE.2021.002

imént felsoroltakat is tarra rághatja. Így lecsupaszítja a fehér akácot (*Robinia pseudoacacia* L.) is. Ritkábban okoz tarrágást a lucfenyőn és az ezüstfenyőn (Csóka 1995a). Megfigyelések szerint az idősebb feketefenyő (*Pinus nigra* J.F. Arnold) tűit Sopron környékén a hernyó teljesen lerágta (Győrfi 1958). Kísérletekben vörösfenyőn (*Larix decidua* Miller) a gyapjaslepke hernyói felnevelhetők voltak, a jegenyefenyők (*Abies* spp.) nagy részét nem fogyasztotta, ám a kolorádói jegenyefenyő (*Abies concolor* Lidl.) fiatal tűit megrágta (Győrfi 1960). A tűlevelű fajok közül az erdei fenyőt (*Pinus sylvestris* L.) is lerághatja, ha a tömegszaporodáskor fellépő táplálékhiány miatt nem jut kedveltebb fafajhoz (Klein 1994). Tömegszaporodás idején gyakran tarra rágja a kökényt (*Prunus spinosa* L.) is (Csóka és Ambrus 2016). A legutóbbi tömegszaporodás alkalmával a bükkösökben is nagy kiterjedésű károkat okozott (Csóka és Hirka 2009). 2003 és 2006 között tett megfigyelések alapján a gyapjaslepke az erdőkből kijutva mezőgazdasági területeken folytatta a rágását. Pusztításuk szilván (*Prunus* spp.) és kajszibarackon (*Prunus armeniaca* L.) kimagasló volt (Markóné 2010). Ha egy erdőben már lekopasztották a lombkorona és cserjeszintet, akkor gyakran a gyepszint növényein táplálkoznak. Ez azonban csak tömegszaporodáskor fordul elő (Jermy és Balázs 1993). A Bujáki erdészet területén 2005-ben végzett vizsgálatok során azt tapasztalták, hogy a gyapjaslepke hernyók gradáció esetén egy idő után már nem válogatnak, mindent lerágnak a lomb- és cserjeszintben egyaránt. Területükön a fagyal volt az egyetlen növény, ami alig volt megrágva. A tarrágás után viszont a cserjeszint regenerációja jelentős és gyors volt. A hernyórágás a területükön 20% feletti volt (Katona és Szemethy 2007).

A Veszprémi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Karán is vizsgálták a gyapjaslepke tápnövény választását. A kísérletek során orgonát (*Syringa vulgaris* L.), hársat (*Tilia* spp.), juhart (*Acer* spp.), almát (*Malus* spp.), szilvát (*Prunus* spp.), salátát (*Lactua sativa* L.), burgonyát (*Solanum tuberosum* L.), bükköt (*Fagus sylvatica* L.), babérmeggyet (*Prunus* sect. *Laurocerasus* Benth. and Hook. f.), rózsát (*Rosa* spp.) és rhododendront (*Rhododendron* spp.) használtak. Megállapították, hogy az orgonán kívül minden felkínált táplálékból fogyasztott. A vizsgált növények közül a salátára, a burgonyára, a babérmeggyre és a rhododendronra nem jelent veszélyt, de a gyümölcsösökben komoly károkat okozhat (Tavaszi et al. 2006).

A gyapjaslepke nem fogyasztja a vadkörtét (*Pyrus pyraster* Burgsdorf), a fagyalt (*Lygustrum vulgare* L.), a tiszafát (*Taxus baccata* L.), a bálványfát (*Ailanthus altissima* Swingle), a fekete bodzát (*Sambucus nigra* L.), és a kecskerágót (*Euonymus* spp.)

10.13147/SOE.2021.002

(Varga 1975). Megfigyelések szerint nem károsítja a tujákat (*Thuja* spp.), a vadgesztenyét (*Aesculus hippocastanum* L.) és a bengéket (*Rhamnus* spp.) sem. Elkerüli azokat a fajokat, amelyek illóolajokat és más mérgező anyagokat tartalmaznak (Győrfi 1960). A gyapjaslepke kerüli továbbá a rhododendron (*Rhododendron* spp), a tövises lepényfa (*Gleditsia triacanthos* L.), a narancseper (*Maclura pomifera* C. K. Schneid), a szivarfa (*Catalpa* spp.), az amerikai tulipánfa (*Liriodendron tulipifera* L.), az amerikai vasfa (*Gymocladus dioicus* L.), vörös eperfa (*Morus rubra* L.) fajokat (Booth 2010). A szakirodalom alapján a kőrisek (*Fraxinus* spp.) szintén azon fajok listáján vannak, amelyeket a gyapjaslepke nem fogyaszt (Győrfi 1960; Varga 1975). Azonban a legújabb kutatások alapján élelemhiány okozta stresszt követően a gyapjaslepke hernyók képesek rövid ideig táplálkozni, és a fejlődésükhöz tápanyagokat kinyerni a magas kőris (*Fraxinus excelsior* L.) leveleiből is (Milanovic et al. 2019).

A növényeken kívül a gyapjaslepke hernyója egyes gubacsdarazsak lárváit (*Biorhiza pallida* L.) is elfogyaszthatja a gubacsokból (Csóka 2015).

A gyapjaslepke Spanyolországban a következő nemzetségek fajain lép fel: *Quercus* spp., *Populus* spp., *Pinus* spp., *Acer* spp., *Ulmus* spp., *Salix* spp., *Fagus* spp., *Betula* spp., *Corylus* spp., *Arbutus* spp., *Alnus* spp., *Castanea* spp., illetve más irodalmaknak ellentmondva a *Fraxinus* spp. (López et al. 2003). Spanyolországban, Portugáliában vagy Szardínián a paratölgy (*Quercus suber* L.) állományokat is tarra rágja (McManus and Csóka 2007).

Külföldön más rendszer szerint is osztályozzák a gyapjaslepke által preferált fajokat. Mosher 1915-ös munkájában a következő kategóriákat említi. Az első csoportba azok a fajokat sorolta, amelyeket a hernyó különösen kedvel. Ilyenek többek között a már eddig is felsorolt fajok közül a *Quercus* spp., a *Populus* x *euamericana*, a *Fagus* spp., a *Corylus* spp., az *Alnus* spp., a *Morus* spp. és a *Larix* spp. nemzettségek egyes képviselői. A második csoportba azok a fajok tartoznak, amelyek a későbbi lárvastádiumokban biztosítanak megfelelő tápnövényt a gyapjaslepkének. Ebbe a kategóriába a *Tsuga* spp., *Pinus* spp., *Picea* spp., *Castanea* spp. nemzettség néhány külföldön előforduló képviselőjét sorolta. A harmadik csoport tagjai azok a gyapjaslepke által nem különösen preferált fajok, amelyeken még képes kifejlődni. Ilyen a zselnicemegy (*Padus avium* L.), a folyóparti nyár (*Populus deltoides* W. Bartram ex Marshall), az ezüst juhar (*Acer saccharinum* L.), a korai juhar (*Acer platanoides* L.) és néhány *Ulmus* faj. A negyedik csoport fajain, mint a nyugati ostorfa (*Celtis occidentalis* L.) egyáltalán nem élnek meg a gyapjaslepke hernyók.

10.13147/SOE.2021.002

A gyapjaslepke által jobban preferált fajokat azok leveleinek fehérje és nitrogéntartalmával is összefüggésbe lehet hozni. Külföldi nevelési kísérletekben táplálkozási indexekkel vizsgálták meg a gyapjaslepke fejlődését három különböző tápnövényen: csertölgyön, kocsánytalan tölgyön és magyar tölgyön (*Quercus frainetto* Ten). Ezek a kutatások is megerősítették, hogy a csertölgy felel meg leginkább a gyapjaslepke számára. A kísérlet három faja közül a magyar tölgy volt a legkevésbé megfelelő tápnövény a gyapjaslepkének. A méréseik szerint a csertölgynek volt a legmagasabb oldható fehérje tartalma, és a C/N arány itt volt a legalacsonyabb. A magyar tölgy pedig az ellenkező esetet képviselte (Milanović et al. 2014). Külföldi vizsgálatok során arra a következtetésre jutottak, hogy a gyapjaslepke fejlődése szempontjából legmegfelelőbbek a magasabb nitrogéntartalmú nemesnyár klónok (Daryaei et al. 2008).

A gyapjaslepke táplálékfogyasztása, illetve annak hatékonysága modellezhető különböző táplálkozási indexekkel. Laboratóriumi kísérletek során kimutatták, hogy a levéltömeg fogyasztásból és az ürülék tömegéből számolt táplálékhasznosulási százalék csökken a lárvafejlődés előrehaladtával. Az előbbi adatokból nyert táplálék hasznosulásának hatékonysága százalékosan viszont emelkedik a hernyó fejlődése során. A levéltömeg fogyasztásból, az ürülék tömegéből és a hernyótömeg növekedéséből számolt táplálék fogyasztásának hatékonysága szintén emelkedő tendenciát mutat az egyre későbbi lárvastádiumokban (Hillebrand és Tuba 2013).

A gyapjaslepke és tápnövénye között kétirányú kapcsolat van, amelynek mai állapota egy hosszú koevolúciós folyamat eredménye. Egyfelől a rovar alkalmazkodását megkönnyíti, ha a fafaj hosszú életű, nagyszámban előfordul és hosszú ideje él a területen. Részben ez a magyarázat a tölgyeseink nagy herbivor fajgazdagságára (Csóka 1998). Másfelől a növény is megpróbál védekezni a herbivor ellen. Ennek során azzal a dilemmával szembesül, hogy erőforrásait mennyiben áldozza a védekezésre, mennyiben fordítsa azokat a növekedésre, hogy versenyben maradhasson a többi növénnyel szemben (Herms and Matson, 1992). A növényeknek többféle védekezési módjuk, illetve stratégiájuk van. Védekezhetnek mechanikai eszközökkel vagy kémiaiakkal. Ez utóbbiak termelődhetnek állandóan az anyagcsere részét képező módon, vagy egyfajta immunválaszként kifejezetten a védekezést szolgáló folyamatok során (Korchieva et al. 2004; Ambrus 2016). Vizsgálatok bebizonyították, hogy a rovarrágás hatására a gazdanövényben olyan kémiai reakciók alakulnak ki, amelyek a lombfogyasztó rovarok táplálkozását befolyásolják. A gyapjaslepke rágás hatására a csertölgyben mérhető teljes

10.13147/SOE.2021.002

fenol tartalom emelkedett. Továbbá azonos termőhelyi viszonyok között vett csertölgy lombozatának mintáiban megközelítőleg megduplázódott a fenol koncentráció a nem károsított lombozathoz képest (Markóné 2013).

Védekezési mód lehet a növény részéről az is, hogy mikor hoz új hajtásokat. Ez azért számít védekezésnek, mert a lombfogyasztó rovarok számára nem mindegy a levelek kora. Feeny (1970) klasszikus munkájában leírta, hogy az idős tölgyleveleket a kis téliaraszoló (*Operophtera brumata* L.) hernyói nem tudták jól hasznosítani. Ennek magyarázata az lehetett szerinte, hogy az idős levél fehérje és víztartalma alacsonyabb, a polifenolok és tanninok aránya pedig magasabb benne. Ezt támasztja alá, hogy tölgyeseink lombfogyasztó rovarfaunája sajátos szezonalitást mutat. A fajszám a vegetációs időszak elején a friss leveleken a legmagasabb (Csóka és Ambrus 2016). Aszerint, hogy mikor képeznek új leveleket, a fákat Niemelä (1983) két csoportra osztotta: a *Quercus* típusú fák (például *Quercus robur* és *Prunus padus*) főként tavasszal hajtanak, a *Populus* típusú fák (pl. *Populus*, *Betula*, *Alnus*) új lombozatai pedig a nyár folyamán is keletkeznek. A tölgyek lombfogyasztói, mint például a gyapjaslepke hernyói így tavaszra időzítik a lárvafejlődésüket. Ezt nem cáfolja meg az sem, hogy Salminen és társai (2004) kutatása alapján a fiatal tölgyfalevelek gazdagabbak hidrolizálható tanninokban és flavonoid-glikozidokban, míg az öreg levelek proantocianidinekből tartalmaznak többet. Riipi és társai (2002) szerint a fenolok a levelekben több funkciót is betöltenek, és csak az egyik feladatuk a növényevőkkel szembeni védelem. A lombozat fogyaszthatósága a herbivorok számára az ő kutatásuk szerint is csökken az idő előrehaladtával.

A tölgyek lombozatának minősége a herbivor rovarok számára nem csak az idő előrehaladtával romolhat. Nagy különbségek tapasztalhatóak egy időpillanatban akár egy fán belül is. Az árnyékban lévő, illetve fénynek jobban kitett levelek kémiai összetétele, valamint egyéb tulajdonságai is eltérőek lehetnek (Csóka 2015). Ezt az összefüggést mutatta ki vizsgálatában Dudt és Shure (1994) tulipánfán (*Liriodendron tulipifera* L.) és virágos somon (*Cornus florida* L.). Kutatásuk során azt tapasztalták, hogy a napfény a fenolok szintjét pozitívan befolyásolta.

Erős rágás esetén a tölgy kompenzációs hajtásokkal pótolja az elvesztett leveleit, ezek azonban alacsonyabb nitrogén és magasabb tannin tartalmúak, így kedvezőtlenebbek a herbivorok számára (Csóka 2015). Kutatások alapján a fák leveleiben a rágás hatására nő a fenol tartalom, a hidrolizált tannin tartalom és a fehérjemegkötő képesség. Ezek negatív korrelációban vannak a bábtömeggel és a

10.13147/SOE.2021.002

szaporodóképességgel. Ez alapján a növények ezen válaszreakciója a hernyórágást befolyásolhatja, és hat annak populációdinamikájára is (Rossiter et al. 1988). Magyar kísérletekben az alacsonyabb fenoltartalmú tápanyagnál nagyobb, magasabb koncentrációjúnál alacsonyabb mortalitást észleltek. Valószínűsíthetően az adaptáció magasabb galluszsav, ellaginsav és tannin koncentráció/tartalom mellett gyorsabban végbement (Markóné 2013). A gyapjaslepke hernyók rágására a csertölgy másodlagos metabolitok termelésével reagál. A rágás következtében termelt fenolok torz lárvafejlődést és nagyfokú mortalitást okozhatnak. Az ellaginsav és a tannin koncentráció 0,5%-os emelkedése gyakorol a hernyókra a legerőteljesebb negatív hatást (Markóné 2013). Érdekes adalék a tölgylevelek tannin tartalmához, hogy kutatások szerint a csersav csökkenti a *Bacillus thuringiensis* tartalmú növényvédőszerek hatásosságát a gyapjaslepkével szemben (Appel and Schultz 1994).

A tápnövény nem csak az őt közvetlenül fogyasztó gyapjaslepkékre van hatással, hanem következő nemzedékekre is. Nem mindegy, hogy az elődd generáció milyen tápanyagellátottsági körülmények között fejlődött ki. A táplálékhiány negatív hatással van a peték számára (Varga 1985), továbbá a petékben felhalmozott táplálék mennyisége is kisebb. Az ezekből kikelő hernyók kevesebb tartalékkal rendelkeznek, és az éhezést is kevésbé tolerálják, a túlélési rátájuk is kisebb. Ezt a jelenséget nevezik „anyai hatásnak” (maternal effect) (Diss et al. 1995; Keena et al. 1998).

2.7. Abiotikus tényezők hatása a gyapjaslepkére

2.7.1. A hőmérséklet hatása a gyapjaslepkére

A klímaváltozás napjaink tudományos és közéleti eseményeinek egyik központi témája. Ezzel együtt számos kutatás foglalkozott a hőmérséklet emelkedésének a gyapjaslepkére vagy annak fejlődésmenetére gyakorolt hatásaival. A kutatások a faj valamennyi fejlődési állapotát érintették.

Mérsékelt égövi faj révén az elsődleges hőmérsékleti kihívás, amivel a gyapjaslepkének szembesülnie kell, az a téli hideg és a zord időjárás. A telet alapvetően embrionális alakban a petecsomók védelmében vészeli át. A peték fagytűrését illetőleg Waggoner (1985) szekunder kutatásában említ több terepi megfigyelést. Egy ilyen Észak-Amerikai vizsgálat szerint a gyapjaslepke petecsomói nem élték túl a -32°C-os időjárást, de -26°C-on néhány megmaradt. Jugoszláviában java részük túlélte a -21°C-

10.13147/SOE.2021.002

os lehűlést. Waggoner (1985) kutatásában egy laboratóriumi kísérletben próbálta tisztázni a petecsomók fagytűrését. Megállapította, hogy az elsősorban a fagyhatás időtartalmával függ össze. Az erdőben természetesen több tényező is befolyásolhatja a peték fagytűrését. A hótakaró például megóvja őket a hidegtől -32,2°C-os hőmérsékleten is. Fontos tényező az is, hogy milyen magasan helyezkednek el a fa törzsén. A legtöbb hernyókelés azokban a petecsomókban volt tapasztalható, amelyek a föld közelében (1 láb) helyezkedtek el (Leonard 1972). Más kutatások azt az eredményt hozták, hogy a petecsomók túlélését a földtől való távolságnál jobban befolyásolja az, hogy a fa törzsén melyik égtáj felőli oldalon helyezkednek el. Az eredmények szerint a melegebb, déli és nyugati oldalon a túlélés 25%-os, szemben az északi és keleti oldal 73% és 53%-os értékeivel (Andresen 2001). Markóné Nagy Krisztina (2013) kutatásai során azt vizsgálta, hogy milyen hatással van a gyapjaslepke petékre az olyan kései tavaszi fagyhatás, ami a hernyókelések idejének környékén következik be. Laboratóriumi kísérletében megállapította, hogy a kelést a fagyhatás időtartamának hossza jelentősen befolyásolja. Számottevően kevesebb kelést tapasztalt a fagyhatással 10 napig kezelt peték esetében, mint a 2 napig kezelt, vagy a kontroll csoport esetében.

A gyapjaslepke petéire nem csak az extrém hideg időjárás van jelentős hatással, hanem a hűvös téli időszak hossza is. A vizsgálatok szerint az alacsony hőmérséklet időtartama befolyásolja a hernyók kelését (Gray 1995). Amerikai laboratóriumi kísérletekben 5 °C-on tartottak petecsomókat, később 25°C-on kísérelték meg kikeltetni. Azt vizsgálták hogyan húzódik el a kelés időtartama annak függvényében, hogy milyen hosszú ideig tárolták őket előtte 5 °C-on. A kutatás során egy orosz és egy észak-amerikai populációból vett mintát használtak fel. A petéket 30-60-90-120-150-180-210 napig tartották 5 °C-on. Azt tapasztalták, annál hamarabb következett be a hernyókelés, minél tovább voltak a peték lehűtve, miután a hőmérsékletet 25 °C-ra emelték. Az orosz hernyók többnyire gyorsabban keltek ki az amerikaiaknál. Tehát populációk között is számottevő különbséget találhatunk e tekintetben. Arra vonatkozóan viszont, hogy ugyanabba az alfajba tartoztak-e a gyapjaslepkék, nem találtam információt. A kutatás során néhány mintacsoportnál 5 °C helyett állandó 15-20-25 °C-on tartották a petéket. Minél melegebb volt a hőmérséklet, a hernyókelés annál később indult el. Állandó 25 °C-on viszont teljesen meghiúsult a keltetés (Keena 1996). A fenti eredményeket más kutatások is alátámasztották. Továbbá megállapították, hogy a hőmérséklet változása a prediapauza, diapauza és posztdiapauza arányának eltolódását eredményezi (Sawyer et al. 1992; Gray et al. 2001).

10.13147/SOE.2021.002

Bizonyos kutatások szerint a magasabb hőmérsékleti értékek felgyorsíthatják a lárvakori fejlődést (Gray et al. 2004). A magasabb hőmérséklet nem befolyásolja a gyapjaslepke lárvájának a túlélését. Felgyorsítja viszont a növekedését, és javítja a táplálék feldolgozási hatékonyságot (Lindroth et al. 2008.). A fentiekkel szemben más laboratóriumi kísérletekben kimutatták a hőmérséklet hatását a mortalitásra. 15 °C-on nevelt hernyóknál szignifikánsan alacsonyabb volt a túlélési arány, mint magasabb hőmérsékleten. A legmagasabb 100%-os értéket 20 °C-on kaptak. 25 °C-on ennél picit gyengébb, de 90% feletti volt az arány. A hernyófejlődés teljes ideje azonban nagymértékben rövidül a hőmérséklet emelésével (Karolewski et al. 2007). Ehhez hasonló eredményt hozott Thompson és társai (2017) kutatása, akik több észak-amerikai populáció magas hőmérséklethez való alkalmazkodását vizsgálták. Magas hőmérsékleten (26 °C, 28 °C, 29 °C, 31 °C, 34 °C) neveltek különböző természetes populációkból és laboratóriumi tenyészetből származó mintát. Eredményeik szerint a báb tömege csökken, a fejlődési idő pedig általában lerövidült magasabb hőmérsékleten, ehhez már csekélyebb hőmérsékletemelkedés (3,5 °C) is elegendő volt. A mortalitás a vizsgálatok során magasabb volt magas hőmérsékleten. A különböző populációk esetében viszont már komolyabb eltérést tapasztaltak a hőmérséklethez való adaptáció tekintetében. A CO_2 szint emelése enyhén növeli a lárvafejlődés időtartamát, és csökkenti a báb tömegét (Williams et al. 2003). Megvizsgálták a rövid ideig tartó hőmérsékleti stressz hatását is a gyapjaslepke lárvafejlődésére. Laboratóriumi kísérletekben a 27 °C-os hőmérsékletet 47 °C-ra emelték egy órán keresztül. Azt tapasztalták, hogy a lárvafejlődés idejét többnyire rövidítette ez az esemény, sőt a lárvastádiumok hosszát is befolyásolta. A hím bábok súlya nagyobb lett, ezzel ellentétben a nőstényeké kisebb (Ponomarev et al. 2013).

Szélcsatornás vizsgálatokban megfigyelték, hogy magasabb hőmérsékleten (26 °C) megváltozik a gyapjaslepke hímek repülése. A feromon jelet követve kevésbé repülnek cikcakkban, kevesebb irányváltást produkálnak, mint 20 °C-on (Charlton et al. 1993). A gyapjaslepke ázsiai alfajának röpképes nőstényére is hatással van a hőmérséklet. Repülés előtt a szárnyai néhány percig tartó mozgatásával éri el, hogy a teste elérje a repüléshez szükséges hőmérsékletet. Ha a környezet túl hideg (11–13 °C), akkor akár tíz percre is szüksége van ehhez. Akkor sem képes előbb felszállni, ha azt vészhelyzet, vagy más zavaró tényező miatt tenné (Charlton et al. 1999).

Mivel a gyapjaslepke egy veszélyes erdészeti kártevőnek számít, így új területeken való megjelenésének komoly következményei lehetnek. Számos kutatás dolgozott ki a

10.13147/SOE.2021.002

globális felmelegedéssel összefüggően elterjedési modelleket, amelyekben megbecsülték a hőmérséklet lehetséges emelkedésével együtt járó elterjedési terület változásokat (Allan et al. 1993; Gray et al. 2004). CLIMEX modellezéssel megbecsülték a gyapjaslepke areájának változásait Európában, ha a hőmérséklet 1,5; 3,6; 5,8 °C-kal emelkedne (6. ábra). Az eredményeik alapján az elterjedési terület akár 1-900 km-rel is eltolódhat északi irányban a melegedéssel arányosan (Vanhanen et al. 2007).

6. ábra: A gyapjaslepke areájának változása 5,8 °C átlagos globális hőmérséklet-emelkedés következtében

(EI = ecoclimatic index, ökoklimatikus index: Számszerűsíti az éghajlati szempontoknak megfelelően a faj relatív gyakoriságát.)

Forrás: Vanhanen et al. 2007

2.7.2. A fény hatása a gyapjaslepkére

Bár az erdei ökoszisztémában a fénynek kiemelt jelentősége van, a gyapjaslepke fejlődésmenetére gyakorolt hatását kevéssé kutatták.

Ismeretes a fototaxis jelensége a fajnál. A gyapjaslepke hímjei repülnek a mesterséges fényre is. Mivel különösen a délutáni, kora esti órákban aktívak, így a

10.13147/SOE.2021.002

fénycsapdák rendszeresen fogják őket (Csóka és Hirka 2013). Szélcsatornás vizsgálatok megfigyelései alapján a hím lepke alacsonyabb megvilágításnál (4 lux) lassabban és cikkcakkosabban repül, mint magasabb (450) lux értéknél (Cardé és Knols 2001). A gyapjaslepke röpképes ázsiai alfajának nőstényét is befolyásolja a fény. Megfigyelések alapján a nőstény lepkék azután kezdenek el repülni, hogy a megvilágítás 2 lux alá csökken (Charlton et al. 1999).

Ha a fény gyapjaslepkére gyakorolt hatását vizsgáljuk, akkor az intenzitásán kívül a megvilágítás időtartamát is figyelembe kell vennünk. Egy földi nap alatt a világos (fotofázis) és sötét (szkotofázis) fázisok arányának, azaz a fotoperiódusnak az élővilágra gyakorolt hatásával először Tournois (1912) és Klebs (1913) (id. Corbesier and Coupland 2005) foglalkozott. Majd Garner és Allard (1920, 1923) (id. Corbesier and Coupland 2005) mutatta ki először, hogy a fény időtartama, nem pedig a mennyisége a fontos tényező a növényfejlődés szabályozásában. Rovarok esetében először Marchovitch (1923) és Klebs (1933) (id. Sáringer 2004) írta le a fotoperiódus jelentőségét. Utóbbi bebizonyította, hogy a selyemlepke (*Bombyx mori* L.) embrionális diapauzájának kiváltása az anyai szervezetet ért hosszúnappalos fotoperiódusnak köszönhető. A későbbiekben a rovarokat hosszúnappalos, rövidnappalos, rövid-hosszúnappalos, hosszú-rövidnappalos csoportba osztották fel (Sáringer 2004). A mérsékelt égövben a nappalhosszak csökkenése a tél közeledtéről árulkodó fizikai jelenség, így nagy szerepe van az itt élő rovarok telelésre való felkészülésében. Számos rovarfaj esetében mutatták ki a megvilágítás csökkenésének szerepét a diapauza kiváltásában. Sőt ezzel kapcsolatban védekezési eljárásokat is kidolgoztak, miszerint mesterséges megvilágítással meggátolható a rovarok télre való felkészülése (Sáringer 1976; 1983; Keszthelyi, 2019).

A gyapjaslepke esetében megállapították, hogy a nyár végén és az ősz elején a rövidülő nappalhosszúságok kicsi, ám észrevehető szerepet játszanak a diapauza fenntartásában, azonban ezt döntően a hőmérséklet befolyásolja (Tauber et al. 1990). A megvilágítás időtartama a nőstény lepke hívási ritmusát is befolyásolja (Webster and Yin, 1997).

A fénynek élettani hatása is van a gyapjaslepkére. Laboratóriumi kutatásokban arra a felismerésre jutottak, hogy állandó megvilágítás esetén a nemzők ugyan párosodni próbálnak, ám a megtermékenyítés gátolt. Ennek az az oka, hogy az állandó fény akadályozza a hím lepkében a sperma kibocsátás ritmikáját, aminek kulcsfontosságú szerepe van a párosodás sikerében. Ráadásul a herékből távozó sperma mennyisége is

10.13147/SOE.2021.002

fele a váltakozóan fény és sötét környezetben tartott gyapjaslepkék esetében tapasztalhatóhoz képest (Giebultowicz et al. 1990).

2.8. A gyapjaslepke kártétele

2.8.1. A gyapjaslepke tömegszaporodása

Lombfogyasztó rovaroknál, így a gyapjaslepkénél is gyakran tapasztalhatók szélsőséges mértékű egyedszám ingadozások, azaz tömegszaporodások. A faj jelentős kártételei elsősorban a tömegszaporodásaihoz kapcsolódnak. Élőhelyein ilyenkor található meg olyan populációsűrűségben, amelynek köszönhetően tarrágásokat tud okozni.

A hazai és a külföldi vizsgálatok azt mutatják, hogy a tömegszaporodásra hajlamos lombfogyasztó rovarok többségének elszaporodásában mutatkozik bizonyos ciklikusság. Ismeretes, hogy a jelenség nagyobb területen ugyanazt a periodicitást mutatja, mégis a súlyosan érintett terület nagysága évenként jelentősen ingadozik, és az egyedszám változás szélsőségei is részterületenként különböző mértékűek lehetnek (Varga 1996).

A gyapjaslepke tömegszaporásai hazánkban 8-10 évenként ismétlődnek. Két gradáció tetőzése között 8-9 év telik el. A tömegszaporodás kisebb gócokból indul ki, ám a következő gradációk kiindulási pontjai nem egyeznek meg az előző kezdeti gócaival (Szontagh és Tóth 1988). Kiváltásában, illetve annak elősegítésében több tényező játszik szerepet. Fontos tényező a megfelelő tápnövény jelenléte. A gyapjaslepke tömegszaporodásai onnan indulnak ki, ahol a kedvenc tápnövényei nagy koncentrációban vannak jelen (Csóka és Hirka 2013). Gradációja így általában elegyetlen, cser és kocsányos tölgyesekben kezdődik. Ha már elszaporodott, táplálékában nem válogat és megeszik mindent, amihez csak hozzáfér (Győrfi 1958). Ezekből az állományokból kiindulva a károsítása szétterjed más erdőkben, és tarra rágja azokat is (Varga 2001). Azonban nem csak a tápnövény van hatással a faj elszaporodására. Jelentősebb rágáskárok ugyanis a meleg, aszályos évek sorozatát követően alakulnak ki (Csóka 1996, 1997; Leskó et al. 1994). A 2003-2006-os tömegszaporodás kiindulásának időpontja is megerősíti ezeket a véleményeket (Csóka és Hirka 2009). Ehhez hozzátartozik, hogy külföldi kutatások szerint a vízhiány-stresszes tápnövényekben megnő az olyan metabolikus vegyületek koncentrációja,

10.13147/SOE.2021.002

amelyek kedvező hatással vannak a nőstény lepkék termelékenységére (Martinat 1987). A tömegszaporodás végét általában a kedvezőtlenné váló környezeti tényezők, illetve a táplálékhiány indukálja. Szerepet játszik továbbá, valamely természetes ellenség, vírusok, baktériumok felszaporodása is (Varga 2001). A gradáció természetes összeomlását tehát ezek a tényezők okozzák. A 2003-2006-os tömegszaporodás is összeomlott, az olyan területeken is, ahol nem történt védekezés. Az ok a természetes ellenségek elszaporodása (pl. fürkészlegyek), valamint a kialakuló vírusjárványok (NPV), illetve az éhínség. A humidabb erdőtípusokban rendszerint a vírusjárvány, szárazabb területeken pedig az éhínség volt az összeomlás legjellemzőbb oka (Csóka és Hirka 2009).

2.8.2. A gyapjaslepke kártétele a világban

A gyapjaslepke eurázsiai elterjedésű így Európa számos országában megtalálható, és ahol a körülmények kedveznek neki, ott jelentős erdészeti károsítóként tud fellépni (Wermelinger 1993; Hrasovec 2001; Zubrik 2004; Jurc 2006). Gradációja és nagyobb kártételei elsősorban Európa déli országaiban figyelhetők meg. Tőlünk északabbra a rovar kártétele és erdészeti jelentősége csökken.

A faj horvátországi síkvidéki tölgyesek fontos erdészeti károsítója. Kártételei, tömegszaporodásai csúcsán akár a 100 000 hektárt is elérhetik (Csóka és Hirka 2013). Romániában a legszámottevőbb kártevő a lombfogyasztó rovarok közül. A 80-as évekbeli tömegszaporodásai során nagyságrendileg többszázezer hektáron károsított. Így 1986-1988-ban 695 000 hektáron, 1989-ben 205 000 hektáron okozott károkat. A 90-es évek közepén történt tömegszaporodásainak kárterülete is jóval meghaladta a 100 000 hektáros értéket (Csóka és Hirka 2013). Szerbiában 1862 és 1998 között 16 tömegszaporodása volt. Kártételi területei sokszor igen nagyok. 1954 és 1957 között 910 000 hektáron, 1997-ben pedig 500000 hektáron károsított (Klein 1994; McMannus and Csóka 2007). A fő tápnövényei Szlovákiában az ország déli részén találhatóak meg tömegesen, így kártételei is ide koncentrálódnak. 1993-ban 16 000 hektáron károsított, eddigi ott ez volt az legnagyobb kártétele (Csóka és Hirka 2013). Ukrajnában az 1947 és 2004 között eltelt idő rekordméretű károsítása 603 700 hektár volt (Johnson et al. 2005).

Spanyolországban is a tölgyesek a főbb célpontjai. A paratölgy (*Quercus suber* L.), a magyaltölgy (*Quercus ilex* L.), az ibériai-tölgy (*Quercus faginea* Lamarck), és a pireneusi tölgy (*Quercus pyrenaica* Willd) tartoznak az itteni tápnövényei közé.

10.13147/SOE.2021.002

Továbbá még a nemesnyár állományokban okozott igen nagy károkat az utóbbi évtized első felében. Így 2002-ben 232 000 hektáron, 2003-ban 212 000 hektáron, 2004-ben pedig 152 000 hektáron (Csóka és Hirka 2013). Németországban is nagy területeken okoz károkat, 1993-ban 68 639 hektáron károsított, 1994-ben pedig 77 000 hektáron (Wermelinger 1995; Csóka és Hirka 2013). Tömegszaporodásai Ausztriában is ismertek bár az ország túlnyomó részén a természeti adottságok, és a fafaj összetétel nem kedvez a gyapjaslepkének (Csóka és Hirka 2013). 1992-ben kb. 1500 hektáron károsított Ausztria keleti tartományaiban, főleg Burgenlandban (Krehan 1993).

Észak Amerikában a gyapjaslepke az egyik legjelentősebb erdészeti károsító a XIX. századi behurcolása óta (Liebhold et al. 1997; McManus és Csóka 2007). A gyapjaslepke észak–amerikai gyors térhódításának egyik oka, hogy a tápnövényei nagy területen, nagy sűrűségben fordulnak elő. Szintén szerepet játszott a robbanásszerű elterjedésben, hogy a faj Európában honos természetes rovarellenségei hiányoztak. Az 1930-as években Európa több országából, köztük Magyarországról is tömegesen szállítottak begyűjtött parazitoid bábokat, illetve telepítettek ragadozó rovarokat az Egyesült Államokba (Mihályi 1991; Szűcs 2000). Az Egyesült Államok Erdészeti Szolgálata (U.S.F.S.) a kilencvenes években évi 11 millió dollárt költött el a gyapjaslepke féken tartására (Pimentel et al. 2005). A hernyó gazdasági kártétele sokszor nem is a közvetlen rágáskárokból származik. A karácsonyfa termesztőknek például akkor jelentkezik bevételkiesés, amikor nem adhatják el a fáikat olyan amerikai államokban, ahol a gyapjaslepke még nem terjedt el (Gorsuch 1993).

2.8.3. A gyapjaslepke károsítása Magyarországon

A gyapjaslepke fellépéseiről, kártételeiről már igen régen történtek feljegyzések Magyarországon. Tömegszaporodása visszatérő esemény hazánkban, és már a XIX. század második felétől kezdve találhatunk beszámolókat róla (Bedő 1866; Nagy 1883; Dufek 1877; Erdődi 1866; Kallina 1878, 1885; Lenhárd 1907; Kelle 1931).

A gyapjaslepke Magyarországon, többé-kevésbé elkülönülő populációkat alkot, amelyek eltérő populációdinamikája megmutatkozik a tömegszaporodásaikban is. Megfigyelések szerint el lehet különíteni ilyenformán egy középhegységi és egy alföldi erdőségekben élő gyapjaslepke populációt (Jermy és Balázs 1993). A gyapjaslepke által okozott károkról az 1961-es évet megelőzően csak irodalmi feljegyzésekből nyert adatok vannak. Az említett időponttól kezdve az Erdővédelmi Figyelő-Jelzőszolgálati

10.13147/SOE.2021.002

Rendszernek köszönhetően már számszerű adatok is rendelkezésre állnak ezzel kapcsolatban. A faj tömegszaporodásairól, kártételeiről, így ma más sokkal pontosabb információink vannak a 25 fénycsapda adatsorainak, illetve az erdővédelmi jelzőlapok, petecsomó, kár és védekezés adatainak köszönhetően (Csóka és Hirka 2009).

A gyapjaslepke 1961 és 1993 között évente átlagosan 5251 ha-on károsított (Csóka 1995). Az elmúlt évtized közepén lezajlott tömegszaporodás 2003-tól 2006-ig tartott. Ez idő alatt a gyapjaslepke által okozott károk minden eddiginél nagyobb területen jelentkeztek. Mindezt megelőzően a legnagyobb kártételét 1994-ben regisztrálták, ez akkor 34 000 ha-t tett ki (Csóka és Hirka 2009). A 2003-as évben 11 580 ha-ról jelentettek káreseményt. A károsított terület nagysága a következő években tovább nőtt. Így nagysága 2004-ben elérte a 108 305 ha-t, a tömegszaporodás csúcsán 2005-ben pedig a 212 177 ha-t. A kártétel 2006-ban már csak 61 564 ha volt, s a következő években a gyapjaslepke már lényegesen kisebb területen károsított (Csóka és Hirka 2009). A 2003-2006 közötti tömegszaporodás fő kitörési területe Veszprém megyében, a Balatontól északra volt, ahol a fő tápnövénye csertölgy és kocsánytalan tölgy volt (Hlásny et al. 2015). 2007-2010 között a károk elenyésző mértékűek voltak. Ezután a kártételi területek, részben a kedvező időjárásnak köszönhetően növekedni kezdtek. Egy újabb gradáció kezdett kibontakozni, így 2013-ban 13 000 hektárról jeleztek károkat. Ám a gradáció nem várt módon összeomlott, a károsított terület 2016-ban már az 1000 hektárt sem érte el. 2017-re pedig a faj teljesen visszaszorult. Viszont 2018-ban kismértékben újra emelkedett a rágáskárok területe. 2019-ben pedig szintén jelentettek kártételeket. A tömegszaporodás kibontakozásának megakadályozásában valószínűleg nagy jelentősége volt a Magyarország erdeiben megjelenő rovarpatogén *Entomophaga maimaiga* gombafajnak (Hirka 2017, 2018; Hirka és Csóka 2015).

2.8.4. A gyapjaslepke károsításának hatásai

A megfelelő termőhelyen álló állományok, általában képesek kiheverni a rágás miatti kártétel hatását. Ugyanakkor a nagyobb mértékű, akár több egymást követő évben bekövetkező lombvesztés visszaveti a növekedésüket. A folyónövedékben a 2-3 évig tartó károsítás következtében létrejött csökkenés, akár az 50%-ot is elérheti (Varga 1964). A rágás ezen felül negatív hatással van a makktermés mennyiségére is, ez kedvezőtlenül befolyásolja a természetes felújítást. Erdősítésekben egy tarrágás hatása végzetes is lehet, hiszen a fiatal faegyedek ezt az idősebbeknél nehezebben vészelik át

10.13147/SOE.2021.002

(Csóka és Hirka 2013). A kedvezőtlen termőhely, illetve a gyapjaslepke lombrágása miatt gyengült állapotban lévő fák azonban áldozatává válhatnak a másodlagos károsítóknak. Ugyanis, ha a fa valami ok folytán legyengül, akkor a nedvkeringés a törzsében lelassul, sőt akár átmenetileg le is állhat. Ilyenkor például a fa nem képes hatékonyan védekezni a benne fejlődő álcák ellen, mert az álcajáratokba nem tud elegendő nedvességet pumpálni. A különböző másodlagosan károsító rovarok, így zavartalanul be tudnak furakodni a fa kérge alá, és el tudják készíteni a járataikat (Molnár és Lakatos 2008). Így kedvezőtlen termőhelyen, a hosszantartó lombrágás, illetve más gyengítő tényezők a másodlagos kórokozók és kártevők tömeges elszaporodásával kárláncolatokat eredményeznek. A megtámadott fák egészségi állapota, ilyenkor tovább romlik, sőt a fa pusztulása is bekövetkezhet (Győrfi 1941). Ezen felül kocsányos tölgyesekben az újrahajtott lombozaton igen gyakori az erős tölgylisztharmat (*Erysiphe alphitoides* Griffon és Maublanc) fertőzés, valamint különböző xilofág rovarfajok (pl.: díszbogarak) tömeges fellépése. A kétpettyes díszbogár (*Agrilus biguttatus* Fabricius) 2006-ban az ország több területén többek között a Bükkben és a Bakonyban okozott számottevő fapusztulásokat (Csóka és Hirka 2009). Vizsgálatok alapján a Mecsekben a gyapjaslepke kártételét követő kárláncolatok legjelentősebb szereplője a közönséges karcsúdíszbogár (*Agrilus angustulus* Illiger) volt (Ulrich 2008). A különböző fajok lombozat visszanyerő képessége is eltér egymástól. Egy kutatás során megvizsgálták, hogy három hazai fafaj a kocsányos tölgy, csertölgy, illetve a bükk hogyan reagál a gyapjaslepke rágására. Hármójuk közül a csertölgy már 4 hónap alatt megújította a lombozatát, míg a többieknek ehhez 2 évre volt szükségük. A kocsányos tölgy regenerálódását tölgylisztharmat fertőzés is gyengítette (Csóka et al. 2015).

Kárláncolatok következtében alakult ki hazánkban a kocsányos tölgy pusztulása is. Az előzmények közé a XIX. század közepén és második felében végrehajtott vízszabályozások és az ennek következtében létrejövő talajvízszint csökkenés tartozik. Az idős kocsányos tölgyesek nem tudtak alkalmazkodni a jelentősen megváltozó termőhelyi viszonyokhoz. Így megindult az állományok részleges leromlása, majd pusztulása. A síkvidéki, ártéri, volt ártéri kocsányos tölgyesek erősen kötött talaja a pangóvizek kialakulásához kedvező körülményeket biztosított. Ha a gyapjaslepke rágása, és az emiatt fellépő lombtalan állapot pangóvizes időszakban történik, akkor a párologtatás megszűnésével felbomlik a korona és a gyökér közötti vízforgalom egyensúlya. Ez a gyökereken fulladásos jelenségeket okoz, ami azok elhalásához is

10.13147/SOE.2021.002

vezethet. A fa vízellátottságában így egyensúlyi zavar lép fel, aminek következtében az még jobban legyengül. Így a fát a gyűrűs tuskógomba (*Armillaria mellea*) támadja meg, s rizomorfái a kéreg alá hatolva elpusztítják az élő szöveteket. A fa ilyen módon néhány év alatt elpusztul. Az elpusztult még lábon álló fában a megtelepedő xilofág rovarok kezdik meg a faanyag lebontását. A kocsányos tölgy pusztulásáról 1877-től vannak szakirodalmi adatok, a károk ekkor a Maros-ártéren jelentkeztek. Később 1907-ben és 1908-ban a jelenség Délkelet-Baranyában lépett fel, továbbá a Duna, Dráva, Száva menti tölgyesekben indult meg hasonló folyamat. Az 1910-es években többek között a szatmári és bács-bodrogi tölgyesekben történt ilyen tölgypusztulás. Homoki és dombvidéki állományokban ez a jelenség ritkább (Matusovics 1918; Varga és Palotás 1982; Varga 2001).

Kollwentz (1969) megfigyelései alapján a gyapjaslepke fellépése következtében csak akkor lépett fel pusztulás, ha a tarrágás nem egyedüli károsító tényező volt. Így az ormánsági idős és középkorú tölgyesek az évek óta tartó magas belvíz, a gyapjaslepke tarrágása és az ezt követő lisztharmat fertőzés során gyakorlatilag megfulladtak. Megfigyelte, hogy a tölgy fiatalosok egészségi állapotának leromlásában a nagyvad rágása, a magas belvíz miatt kialakult a gyökereket károsító glejjesedés, és az 1966-ban bekövetkezett tarrágás, majd lisztharmatfertőzés játszott szerepet. A gyapjaslepke elleni védekezés tehát abban az esetben indokolt, ha a kárláncolatban több más tényezővel együtt a tarrágás az egészségi állapot jelentősebb romlásával járna.

2.9. A gyapjaslepke kártételének előrejelzése

A gyapjaslepke kártételének előrejelzését a leggyakrabban a petecsomók számlálásával végzik. A mintaterületes módszer alapjait Magyarországon Tallós Pál dolgozta ki 1966-ban. „*(A petecsomók) száma kisebb kártétel előtt kevesebb, nagyobb kártétel előtt több. E körülményből önként adódott, hogy összefüggést keressünk a petecsomók mennyisége és a bekövetkező károsítás között, s ily módon a petecsomók számából következtetéseket vonjunk le a várható kár mértékére* (Tallós 1966).” Némi módosítással ma is az általa kidolgozott eljárást használjuk. Ha 0,1 hektáron a petecsomók száma 500 alatt van, akkor gyenge kártételre számíthatunk. Közepes kártételre 500 és 1000 közötti, erős kártételre pedig 1000 feletti petecsomó/ 0,1 ha szám esetén van esély. Bizonytalanságot adhat továbbá, hogy a szél által a területre behozott

10.13147/SOE.2021.002

hernyók okozta kárt ezzel a módszerrel nem jelezhetjük előre. Tömegszaporodás tetőzése idején a kárterület akár háromszorosa is lehet a petecsomók által fertőzött terület nagyságának.

A hím gyapjaslepkék fényre repülnek, így fénycsapdával fogni lehet őket, továbbá ismert a faj szexferomonja is (Leskó 1981; Csóka és Hirka 2013). A gyapjaslepke szexferomonja a cis-7,8-epoxi-3-methyloctadecane, amit elsőként a 70-es években szintetizáltak (Bierl et al. 1970).

A prognózisokat készítő Erdővédelmi Figyelő-Jelzőszolgálati Rendszer két alrendszerből áll: a Fénycsapda Jelzőszolgálati Rendszerből és a Figyelő Jelzőszolgálati Rendszerből. A gyapjaslepke kártételének előrejelzése a fénycsapdahálózat, illetve a jelzőlapok adataira épül. A prognózisok készítésénél a fénycsapdák adataiból készült rajzásdinamikát használják fel. Az éves adatok alapján az egyes tájegységekben történő tömegszaporodások sajátságainak és előfordulásuk gyakoriságának megismerésében jelentős szerepe van a fénycsapdáknak. A fénycsapdákkal kapcsolatban megjegyzendő, hogy a gyapjaslepke hímek gyengén repülnek fényre, és ez általában szürkületkor, a kora esti időszakban történik. Így figyelembe kell venni az előrejelzés készítésénél a tényt, hogy a fénycsapdás fogásokban a gyapjaslepke populációk jelentősen alulreprezentáltak (Leskó et al. 1998). A prognózis készítésekor az időjárási adatok sem mellőzhetők. A frontátvonulások befolyásolni tudják a gyapjaslepke hím egyedeinek repülési aktivitását (Nowinszky és Puskás 1996). Ennek ellenére az évi összes fogás nagysága frontáthaladások következtében csak olyan csekély mértékben módosul a gyapjaslepke esetében, amely a prognózis eredménye szempontjaiból elhanyagolható (Leskó et al. 1998). A tökéletes prognosztikát több tényező, köztük időjárási tényezők akadályozzák. A *Lymantria dispar* esetében ismeretes, hogy egy-egy lehűlés, vagy késői fagy a veszélyességi küszöb alá szorította a populációkat és így a kártétel elmaradt (Leskó et al. 1998). A 2003-2006-ös tömegszaporodás során az erdészeti fénycsapdák igen nagy számban fogták a gyapjaslepkét. Már 2003-ban is magasabb volt az előző évekhez képest a fogott hímek egyedszáma, de a következő években ez az érték tetőzött. 2004-ben majd a tömegszaporodás csúcsán 2005-ben több ezres fogások voltak. Felsőtárkány és Bakonybél környékén éves viszonylatban kétezer fölött volt a fogott egyedek száma (Hirka, 2004, 2005, 2006).

10.13147/SOE.2021.002

2.10. A gyapjaslepke elleni védekezés

2.10.1. Megelőző védekezés

A gyapjaslepke kártételei elleni megelőző védekezésként az erdők strukturális változatosságának és fajgazdagságának növelése javasolható. Kerülni kell lehetőség szerint a nagy kiterjedésű elegyetlen, egykorú erdőtömbök kialakítását, ezek ugyanis a gyapjaslepke, vagy más fajok tömegszaporodásának melegágyai lehetnek. A természeteshez közeli állapotú erdők, sokkal kedvezőtlenebb környezetet jelentenek a tömegszaporodások kialakulásához, illetve a gyapjaslepke természetes ellenségeinek is jobb feltételeket nyújtanak (Csóka és Hirka 2013). Az elegyetlen erdők nem csak tápanyagbőségükkel járulhatnak hozzá a gyapjaslepke komoly károsításához, hanem a parazitáinak sem kedveznek, ha hiányoznak belőlük azok közbenső gazdáinak tápnövényei. Ilyen fajok a rezgő nyár (*Populus termula* L.), a kecskefűz (*Salix caprea* L.), a molyhos nyír (*Betula alba* L.), a kétbibés galagonya (*Crataegus oxyacantha* L.), a kökény (*Prunus spinosa* L.), a gyepürózsa (*Rosa canina* L.), a közönséges kecskerágó (*Euonymus europaeus* L.), a közönséges fagyal (*Ligustrum vulgare* L.), lonc (*Lonicera* spp.) és a szeder (*Rubus* spp.) fajok (Győrfi 1957, 1961).

2.10.2. Védekezés a petecsomók eltávolításával

A petecsomók tél végi, tavasz eleji eltávolítása, majd megsemmisítése ma igazából csak mezőgazdasági területeken, díszfasorokon, üdülőövezetekben, kertekben, parkokban jelent megoldást a védekezésre. Régebben azonban erdőkben is alkalmazták őket. A petecsomók szedése nem jelent igazán hatékony védekezési formát, ugyanis az imágók a magasabban fekvő ágakra is tesznek petéket, azokat pedig így nem lehet eltávolítani. Ráadásul a szél által a területre fújt hernyók ellen, ez semmiféle védelmet nem nyújt. Próbálkoztak még régebben a lepkék, illetve a bábok, sokszor gyermekekkel történő szedésével is. Miután a nőstény lepke a magasban ül és nem elérhető, így ez az eljárás sem az igazi. Kipróbált védekezési mód volt a petecsomók mésszel való bemázolása. Ez szintén nem járt kielégítő eredménnyel, mert a mész a levegőn megrepedezik, így nem zárja el a levegőtől a petecsomókat. A madarak és az időjárás viszontagságaitól ellenben megvédi őket. A hernyófoltok mésszel való bemázolása viszont a hernyók pusztulásával végződött. A legjobb eredménnyel a régi időkben a

10.13147/SOE.2021.002

petecsomó kátránnyal való befedése járt, mert ez teljesen el tudta zárni azokat a levegőtől és egyben megakadályozta a hernyók kikelését (Matusovits 1908). A petecsomók tél végi eltávolítása ma is alkalmazható védekezés közterületeken, üdülő övezetekben, út menti fasorokon, kertekben (Csóka és Hirka 2013).

2.10.3. Vegyszeres védekezés

A lombrágó hernyók kártételének csökkentésére több engedélyezett rovarölő szer használható. Nagy részük a rovarok fejlődésébe avatkozik bele. Ezek az IGR (Insect growth regulator) kategóriába tartoznak. Bizonyos szerek ezek közül a hernyók kitinszintézisére hatnak. Ilyen Magyarországon is használt szerek például a Dimilin, melynek hatóanyaga a diflubenzuron és a Nomolt, melynek hatóanyaga a teflubenzuron. A vegyület a hernyó kitin bioszintézisét akadályozza azzal, hogy megbénítja a kitin-szintetáz enzim működését. A hernyó szervezetébe a táplálékkal együtt kerül be a hatóanyag. Az eredmény az, hogy a vedléskor a kezelt hernyók kutikulája csak hiányosan képződik a régi lárvabőr alatt, és nem tud ellenállni a testből kiinduló nyomásnak, továbbá a vedlésben szereplő izmoknak sem nyújt megfelelő támasztékot. A rovarlárvák így képtelenek lesznek kibújni a bőrükből. A hernyók vagy elvéreznek a kiszakadó bőrükön keresztül, vagy az éhség végez velük. Mindezekből látszik, hogy a szer hatása késleltetett, hiszen a hernyók nem azonnal pusztulnak el, hanem csak a következő vedlés alkalmával. Ez idő alatt azonban a hernyók rágása tovább tart és jelentős lombmennyiséget fogyaszt el. 2004-es tapasztalatok alapján a hernyók pusztulása helyenként 10 nap elteltével következett be. A kitinszintézis gátlók szelektíven hatnak, a hatásukat meghatározott rendszertani csoportra, illetve fejlődési alakra fejtik ki. Tömegszaporodáskor tehát, csak a helyszínen lévő lárvákra veszélyesek, a kifejlett rovarokra, a gyapjaslepke természetes ellenségeire, vagy más állatokra nem hatnak. Más hasonló fenológiájú és rendszertani helyzetű fajok lárvái azonban áldozatul eshetnek nekik. A diflubenzuron előnye, hogy nagyon stabil a levélfelületen. Még 30-60 nappal a kezelés után is az eredeti anyagmennyiség 90%-át vissza tudták nyerni (Lengyel et al. 1995; Lengyel 2006).

Szintén a rovarok fejlődésébe avatkozik bele a Runner 2F, melynek hatóanyaga a metoxifenozid. Előnye, hogy a kijuttatást követően azonnal beindítja a vedlést, függetlenül attól, hogy a hernyó fejlődése hol tart a lárvastádiumon belül. A Runner 2F-vel történő kezelés során a hernyók már 1-2 napon belül elpusztulnak. Kísérletek szerint

10.13147/SOE.2021.002

a lombmegmaradás szempontjából 10-20%-kal jobb eredményt ért el a Runner 2F, mint a Dimilin 25WP és a Nomolt 15SC (Lengyel 2006).

2.10.4. Védekezés biopreparátumokkal

Eredményesen lehet védekezni a gyapjaslepke kártételei ellen különféle biopreparátumokkal is.

Orlovszkaja és munkatársai (1975) fokozott virulenciájú NPV törzseket állítottak elő, és ezzel sikeresen védekeztek Oroszország (akkor Szovjetunió) területén a gyapjaslepkével szemben. Megfigyelték, hogy a csapadék lemosó hatása sokkal kevésbé van hatással a védekezésre, mint a napfény és a tetemes hőmennyiség (Voronyin et al. 1975).

Erdőkben gyakran alkalmazzák a *Bacillus thuringiensis* (Berliner) spóráit tartalmazó biopreparátumokat. Egy német kutató, E. Berliner írta le a fajt 1911-ben a lisztmoly (*Ephestia kuehniella*) lárvájából (Lambert 1992). Hazánkban Husz Béla már 1928 és 1930 között úttörő jelentőségű kísérleteket végzett a fajjal a kukoricamoly hernyóin (Jermy 1967). Az első készítmény világpiaci forgalomba 1957-ben került (Darvas és mtsai 1999).

Ez a baktérium spórákat képez, amelyek igen ellenállóak a környezeti hatásokkal szemben. A kristályképző fajok közé tartozik, a sejtjeiben a spórákkal egy időben kristályos, parasporális test keletkezik. A spóraképződés végére a baktériumból csak a spóra és a toxinkristály marad meg (Jermy 1967). A rovarpatogén baktériumoknak megfelelően ez is a bélcsatornán át jut a gazdaállatba. A hernyók bélcsatornájába kerülve először a bélmozgást bénítja le. Ezután a spórából kifejlődik a baktérium vegetatív alakja, amely az enzimjeivel átfúrja a bélfalat, és így kijut a testüregbe. A gazdaállatot gyakorlatilag 1–5 nap alatt elpusztítja (Lengyel et al. 1995). A faj tehát nem egy klasszikus kórokozó baktérium, mert a rovart nem egy betegséget kiváltva pusztítja el. A toxin hatására bélperforáció következik be és emiatt a rovar nem táplálkozik, így végül legyengül és éhen hal. A gyengültség miatt akár más fertőzések is végezhetnek vele (Heszky 2013). A gyakorlat szempontjából fontos tulajdonsága, hogy a hernyó táplálkozását a folyamat elején leállítja, a károsítás tehát órákon belül megszűnik. A gyapjaslepke ellen a baktérium „A” patotípusaiból álló készítményeket használják, ezek egyébként 250 lepkefaj hernyói ellen hatékonyak. Előny, hogy bizonyos mértékben szelektívnek mondható, így nem pusztítja el a gyapjaslepke

parazitáit és ragadozóit. Használatával kapcsolatban azonban néhány szabályt be kell tartani. A *Bacillus thuringiensis* élőlény, és mint ilyen, az élettartama korlátozott, így a spórák életképessége az idő múltával csökken. Régebben raktározott készítményektől nem várható el ugyanaz a hatás, mint az újonnan gyártottaktól. Ezen felül úgy kell időzíteni, hogy a védekezés lehetőleg L_1-L_3 stádiumú hernyók ellen irányuljon, mivel a fiatal lárvák ellen a legjobb a hatékonysága, idősebb hernyók esetében ugyanis több méreganyag kell a letális dózis eléréséhez. A *Bacillus thuringiensis* spórák fokozottan érzékenyek a napsugárzásra. A pusztulásukhoz már az is elegendő, ha egy órán át ki vannak téve közvetlen napfénynek. A védekezést így a késő délutáni órákban kell elvégezni. Ez azért is fontos, mert a hernyók főleg az esti órákban táplálkoznak. Hektáronként legalább 1 kg szert szükséges kipermetezni, de a legjobb hatékonyságot 1,5 kg szerrel 50 1 víz/ha mikrocseppekben kijuttatva érhetünk el. Ha adalékanyagot is használunk, az mindig semleges vagy lúgos kémhatású legyen (Lengyel et al. 1995; Lengyel 2008). A légi úton történő védekezésnél nagyon fontos figyelni a permetezési sávok egyenletes és precíz elosztására. Eredményes kezelést csak akkor lehet remélni, ha a terület lefedése teljes. Ellenkező esetben a keskeny kezeletlen sávokból a károsítás szét tud terjedni az erdő többi részére (Lengyel és Halmágyi 1977). A ma használt készítmények nem az élő baktériumokat tartalmazzák, hanem az általuk előállított spórákat és méregkristályokat, így a stabilitásuk jóval nagyobb. A *Bacillus thuringiensis* alapú permetszerekben többféle toxin is található (pl.: a Dipel a cry1Aa, cry1Ab és cry1Ac toxinokat tartalmaz), így szélesebb a hatékonysága a rovarcsoporton belül, továbbá így a rezisztencia kialakulása is csökkenthető (László 2008).

Egy sor mikroorganizmus alkalmazkodott ahhoz, hogy a rovarok bélrendszerében folytassa élettevékenységét. Nekik tulajdonképpen a közönséges előfordulási helyük a rovarok emésztőrendszere. Ezek a szervezetek elengedhetetlenül fontosak a rovar normális élettevékenységéhez. Nem csak az emésztésben nyújthatnak segítséget, de vitaminokat is szintetizálnak, táplálékforrásként szolgálhatnak, vagy bizonyos kutatások szerint a parazita rovarokkal szembeni ellenálló képességet is befolyásolhatják. Azonban a rovar életfeltételeinek romlásakor ezek a baktériumok patogénné válhatnak, és tömeges megbetegedéseket okozhatnak. Kutatások kimutatták, hogy szubletális dózisokban egyes vegyszerek a gyapjaslepke és az amerikai fehér szövőlepke bakteriózis kiváltotta pusztulását idézik elő. Tehát a bélrendszerben élő baktériumok kórokozóvá válhatnak vegyszerek okozta intoxikációs folyamatok révén is (Iszakova 1975).

10.13147/SOE.2021.002

A gyapjaslepke elleni védekezésben rovarpatogén gombáknak is jelentősége van. Így a már ismertetett *Entomophaga maimaiga*-t az USA-ba 1910, 1911 és 1981-ben is betelepítették biológiai védekezés céljából (Theodore and Ronald 1990; Csóka és mtsai. 2014a; Csóka és mtsai. 2014b).

Mint láttuk, a felsorolt szerek semelyike sem egyedül csak a gyapjaslepkére veszélyes. Sok nem célzott rovar, illetve lepkefaj is áldozatul eshet a használatuknak, amelyek között védettek is akadhatnak. Ráadásul használatuk hosszabb távon a tömegszaporodás gyakoriságát és kiterjedését is növelheti. Így alkalmazásuk csak kimondottan indokolt esetben javasolt (Csóka és Hirka 2013).

Magyarországon a gyapjaslepke elleni védekezésben alkalmazható szerek listáját az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A lombrágó hernyók ellen, erdészeti kultúrákban 2019-ben alkalmazható szerek listája

Készítmény	Hatóanyag	Dózis	Vízmennyiség	Forgalmazási kategória	Kijuttatás módja
Dipel (2014!)*	Bacillus thuringiensis var. Kurstaki	0,5-0,7 kg/ha	6-800 l/ha légi: 50 l/ha	III	földi, légi
Dipel (ES) (2014!)*	Bacillus thuringiensis var. Kurstaki	1 l/ha	1000 l/ha légi: 60 l/ha	III	földi, légi
Foray 76B	Bacillus thuringiensis ssp. kurstaki, ABTS-351 törzs	2,0–2,5 l/ha	600–1000 l/ha légi: 60-80 l/ha	III	földi, légi
Match 050 EC (2017!)*	Lufeuron	0,6-0,8 l/ha	800-1000 l/ha	III	földi
Runner 2F	metoxifenozid	0,5 l/ha	600-1500 l/ha	III	földi
Steward 30 DF (2019!)*	indoxakarb	170 g/ha	800-1000 l/ha	II	földi, légi

** Eseti elbírálás esetén alkalmazható*

Forrás: https://novenyvedoszer.nebih.gov.hu

10.13147/SOE.2021.002

3. Anyag és módszertan

3.1. A kutatás eszközei

Helyszín: A gyapjaslepke nevelési kísérleteket a Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdőművelési és Erdővédelmi Intézetében végeztük.

A kísérletek során felhasznált eszközök:

- **Klimatizált rovarkeltető helyiség:**
  - A helyiségben egy klímaberendezés biztosította a kísérletek során elvárt 20 °C-os hőmérsékletet.
- **Hernyónevelő szekrény:**
  - Fémvázas, két polcból álló szekrény (8. ábra)
  - Funkció: a minta tárolásán kívül az előírt világítási idő biztosítására szolgált.
  - A világítást programozott neoncsövekkel oldottuk meg.
- **Hernyónevelő inkubátor:**
  - Típus: jSR JSPC-300C2 (7. ábra).
  - Az eszközben beállítható a tárolt minta számára a kívánt hőmérséklet és megvilágítás. Ezeknek ciklusos váltakozása is beprogramozható.
  - Funkció: A minta tárolására, továbbá a szükséges hőmérséklet és megvilágítási idő biztosítására szolgált.
- **Digitális mérleg:**
  - Típus: Ohaus Explorer E10640
  - Funkció: A kísérletek során ezen végeztük el az előírt tömeg méréseket. Mérési tartománya 0,0001g.
- **Szárító szekrény:**
  - Típus: G-Therm 205
  - Funkció: A hernyók által elfogyasztott levelek maradékának és a hernyók ürülékének szárítása 3 napig 70 °C-on. Így kaptuk meg a légszáraz tömeget.
- **Petri-csésze**
  - Műanyag és üveg petri-csészéket használtunk (9. ábra).
  - Funkció: A műanyag petricsészékben mesterséges tápanyagot tároltunk. Az első nevelési kísérletünknél az egyedül tartott

10.13147/SOE.2021.002

gyapjaslepkéket tartottuk bennük. Később praktikussági okokból műanyag dobozokat használtunk.

- **Műanyag doboz**
    - A gyapjaslepkék tárolására szolgáltak
    - 300 és 750 mm-es dobozokat használtunk. A tetőt átlyukasztottuk a párásodás megelőzése és a hernyók levegőztetése érdekében.
    - Funkció: A gyapjaslepkéket leggyakrabban műanyag dobozokban tároltuk valamennyi fejlődési állapotban.
    - Több hely volt bennük, mint a petri-csészékben, és a szellőzést is meg tudtuk oldani.
- **Eppendorf cső:**
    - Vízzel töltöttük meg őket, majd a záró tetőt átlyukasztva a hernyók táplálékául szolgáló levelek nyelét szúrtuk bele. A levelek így a petri-csészében lassabban vesztették el a nedvesség tartalmukat. A cső tetejét parafilmmel zártuk le légmentesen (9. ábra).
- **Teafilter zacskó:**
    - A hernyók által elfogyasztott levelek maradványait, és a keresztezésből származó petecsomókat tároltuk bennük.
- **Hűtőszekrény:**
    - A petecsomókat a nevelés kezdetéig 4-6 °C-on hűtőszekrényben tároltuk.

7. ábra: Hernyónevelő inkubátorok

Fotó: Hillebrand Rudolf

8. ábra: Hernyónevelő szekrény

Fotó: Hillebrand Rudolf

10.13147/SOE.2021.002

9. ábra: A kutatás tárgya a petri-csészében

Fotó: Hillebrand Rudolf

A mesterséges tápanyag összetétele:

A nevelési kísérleteink során alkalmazott mesterséges tápanyag összetételét a 2. táblázat tartalmazza. A tápanyagot magunk készítettük az Erdővédelmi és Erdőművelési Intézet Növénykórtani laborjában az *Universität für Bodenkultur Wien* intézményben használt recept alapján.

2. táblázat: A mesterséges tápanyag összetétele

Összetevő	IUPAC név	Mennyiség
víz		814 ml
agar	(2*R*,3*S*,4*S*,5*R*)-2-(hydroxymethyl)-6-[[(4*R*,5*S*)-4-hydroxy-3-methyl-2,6-dioxabicyclo[3.2.1]octan-8-yl]oxy]-4-methoxyoxane-3,5-diol	15 g
búzacsíra		120 g
Bioserv Wesson Salt	*Származás: Bio-Serv F8680-M*	8 g
kazein	6-amino-2-[[2-[[2-[[2-[[2-[[2-[[2-[[2-[[2-[[2-[[2-[[2-[[2-[[2-[[2-[[2-[(2-amino-1-hydroxy-3-phenylpropylidene)amino]-1,5-dihydroxy-5-iminopentylidene]amino]-1-hydroxy-3-phosphonooxypropylidene]amino]-4-carboxy-1-hydroxybutylidene]amino]-4-carboxy-1-hydroxybutylidene]amino]-1,5-dihydroxy-5-iminopentylidene]amino]-1,5-dihydroxy-5-iminopentylidene]amino]-1,5-dihydroxy-5-iminopentylidene]amino]-1,3-dihydroxybutylidene]amino]-4-carboxy-1-hydroxybutylidene]amino]-3-carboxy-1-hydroxypropylidene]amino]-4-carboxy-1-hydroxybutylidene]amino]-1-hydroxy-4-methylpentylidene]amino]-1,5-dihydroxy-5-iminopentylidene]amino]-3-carboxy-1-hydroxypropylidene]amino]hexanoic acid	25 g
C-vitamin	(5R)-[(1S)-1,2-Dihydroxyethyl]-3,4-dihydroxyfuran-2(5H)-one	5 g
szorbinsav	(2*E*,4*E*)-hexa-2,4-dienoic acid	2 g
metil-p-hidroxi-benzoát	Methyl 4-hydroxybenzoate	1 g
klórtetraciklin-hidroklorid	(4*S*,4*aS*,5*aS*,6*S*,12*aR*)-7-chloro-4-(dimethylamino)-1,6,10,11,12*a*-pentahydroxy-6-methyl-3,12-dioxo-4,4*a*,5,5*a*-tetrahydrotetracene-2-carboxamide;hydrochloride	0,1 g
Bioserv Vitamin Mixture	*Származás: Bio-Serv 6265*	10 g
vas-citrát	2-hydroxypropane-1,2,3-tricarboxylate;iron(III);hydrate	0,1 g

10.13147/SOE.2021.002

3.2. A kísérletek bemutatása

A kísérlet-sorozat során két fő irányból vizsgáltuk a gyapjaslepke fejlődésmenetét és szaporodóképességét. Egyrészt milyen hatással vannak a faj fejlődésbiológiájára az olyan abiotikus környezeti tényezők, mint a hőmérséklet és a megvilágítás. Másfelől, hogyan reagál a faj egymást követő generációk közötti, illetve ugyanazon generáción belüli tápnövényváltásra. A kísérleteket nem kronológiailag, hanem a fenti logika mentén fogom bemutatni.

3.2.1. A hőmérséklet hatása a gyapjaslepke egyedfejlődésére és szaporodására

A kutatás során azt vizsgáltuk, hogy milyen hatással van a faj fejlődésmenetére a hőmérséklet, valamint azt, hogy mennyiben befolyásolja annak szaporodóképességét.

A minta származása:

- *A gyűjtés helyszíne:* Hegyesd 4A erdőrészlet
- *Eredeti tápnövény (amiről a petecsomót gyűjtöttük):* kocsányos tölgy *Quercus robur* L., csertölgy *Quercus cerris* L.

A petecsomók begyűjtési ideje: 2014. március

A nevelés körülményei:

- Megvilágítási idő: 16 óra megvilágítás-8 óra sötét
- Hőmérséklet:
    - 20 °C – 30 hernyó (klimatizált helyiség + hernyónevelő szekrény)
    - 25 °C – 30 hernyó (hernyónevelő inkubátor)
    - 30 °C – 30 hernyó (hernyónevelő inkubátor)
- Táplálék: Mesterséges tápanyag

A kísérlet menete:

Három különböző hőmérsékleten (20 °C, 25 °C, 30 °C), 30-30 gyapjaslepkéből álló mintacsoportot neveltünk fel, mesterséges tápanyagon, laboratóriumi körülmények között. A keltetéshez a hűtőből kivett petecsomókat elosztottuk a fenti három hőmérsékleti tartományba. Hernyókelés után 2×30 egyedet helyeztünk párosával külön dobozba minden hőmérsékleten (összesen 180 egyedet), és így neveltük őket a fenti körülmények között a negyedik lárvastádiumig. Azért neveltünk kétszer annyi egyedet

L_4-ig, mert a fiatal hernyók nagyon sérülékenyek, így tudtuk garantálni, hogy biztosan a rendelkezésünkre álljon a 30-30-as egyedszámú minta. A negyedik lárvastádiumot elért hernyók közül véletlenszerűen kiválasztottuk hőmérsékletenként azt a 30 egyedet, amellyel a kísérletünket végeztük. Ezeket egyesével neveltünk tovább a bebábozódásig. A kifejlett nemzőket kereszteztük, hogy a termékenységükről is kapjunk adatokat.

A keresztezés módszere:

- A keresztezésekhez a párokat minden esetben azonos mintacsoportból választottuk ki.
- A párosodáshoz a hímeket és a nőstényeket párosával (1 hímet és 1 nőstényt) engedtük össze.

A kísérlet során mért adatok:

- A *hernyók tömegét* L_4-től a bábozódásig naponta megmértük. Pontosság: 0,0001g.
- A *báb tömegét* a bebábozódáskor és az attól számított minden 5. napon megmértük. Pontosság: 0,0001g.
- Feljegyeztük a hernyók életeseményeinek dátumát: *kelés, vedlések, bebábozódás, a bábból való kikelés, párosodás.* Pontosság: 1 nap
- A nőstények által lerakott *petéket* megszámoltuk.

3.2.2. A megvilágítás hatása a gyapjaslepke egyedfejlődésére és szaporodására

A laboratóriumi nevelési kísérletben azt vizsgáltuk, hogy miként hat a gyapjaslepke fejlődésmenetére, ha az egyedfejlődése során állandó (24 óra) fényhatásnak, vagy állandó sötétnek van kitéve. A nevelés után a keresztezést is az eredeti megvilágítási viszonyok között végeztük el.

A minta származása:

- *A gyűjtés helyszíne:* Sopron, Szárhalmi erdő, Sopron 49/B erdőrészlet
- *Eredeti tápnövény (amiről a petecsomót gyűjtöttük):* csertölgy *Quercus cerris* L., közönséges gyertyán (*Carpinus betulus* L.)

A petecsomók begyűjtési ideje: 2016. március

10.13147/SOE.2021.002

A nevelés körülményei:

- Hőmérséklet: 25 °C
- Megvilágítási idő:
  - 50 db hernyó – állandó sötét
  - 50 db hernyó – állandó megvilágítás (10000 lux)
- Táplálék: mesterséges tápanyag
- A mintacsoportokat a nevelés során hernyónevelő inkubátorokban tartottuk.

A kísérlet menete:

A kísérlet során 50-50 egyedszámú mintacsoportot neveltünk fel a fenti körülmények között állandó megvilágításon, illetve állandó sötétben. Ezért már a petecsomókat is állandó fényben, vagy állandó sötétben tartottuk a keltetés kezdetétől fogva. A hernyókelés után választottunk ki 50-50 egyedet (tartalékokkal) a neveléshez. A hernyókat egyesével, műanyag dobozban neveltük. A teljes egyedfejlődés során ugyanabban a megvilágításban tartottuk a gyapjaslepkéket, és a bábból történő kikelést követően a keresztezést is így végeztük el.

A keresztezés módszere:

- A keresztezésekhez a párokat minden esetben azonos mintacsoportból választottuk ki.
- A párosodáshoz a hímeket és a nőstényeket párosával (1 hímet és 1 nőstényt) engedtük össze.

A kísérlet során mért adatok:

- A *hernyók tömegét* L_4-től a bábozódásig naponta megmértük. Pontosság: 0,0001g.
- A *báb tömegét* a bebábozódáskor és az attól számított minden 5. napon megmértük. Pontosság: 0,0001g.
- Feljegyeztük a hernyók életeseményeinek dátumát: *kelés, vedlések, bebábozódás, a bábból való kikelés, párosodás.* Pontosság: 1 nap

3.2.3. A generációk közötti tápnövényváltás hatása

A nevelési kísérletet korábbi kutatásaim során végeztem el (Hillebrand, 2012). A keresztezés után a petéket Hasulyó Péter számolta meg a diplomamunkája részeként (Hasulyó, 2012).

10.13147/SOE.2021.002

A kutatás során három különböző populációból származó gyapjaslepke hernyók fejlődésmenetét vizsgáltuk Pannónia nyár (*Populus* x *euamericana* Pannonia) tápnövényen. A vizsgált mintacsoportok közül kettőnek nem ez volt az eredeti tápnövénye.

A minta származása:

- 1. számú populáció (jelölése: CR): Punta kriza, Cres, Horvátország (44°38´12" N 14°29´30" E)
    - Eredeti tápnövény: magyal tölgy (*Quercus ilex* L.)
- 2. számú populáció (jelölése: H): Hanság, Magyarország (47°42'07.94" N 17°07'15.02" E)
    - Eredeti tápnövény: Pannónia nyár (*Populus* x *euamericana* Pannónia)
- 3. számú populáció (jelölése: A): Klingenbach, Ausztria (47°45'54.09" N 16°33'45.50" E)
    - Eredeti tápnövény: kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* Liebl.)

A petecsomók begyűjtési ideje: 2011. február

A nevelés körülményei:

- Előre meghatározott klimatikus faktorok:
    - Hőmérséklet: 20 (±1) °C
    - Megvilágítási idő: 16 óra megvilágítás-8 óra sötét
- Tápnövény:
    - Pannónia nyár (*Populus* x *euramericana* Pannónia)
    - Származási hely: Gyöngyösfalu, 47°19´10.22´´; 16°34´55.12´´
    - A táplálékot egy fáról gyűjtöttük, 2,5 m magasságig, véletlenszerű mintavétellel.
- A kísérletet klimatizált rovarkeltető helyiségben lévő hernyónevelő szekrényben végeztük.

A kísérlet menete:

A petecsomókat hűtőszekrényben tároltuk a kísérlet kezdetéig. A negyedik lárvastádiumig populációnkként 160 hernyót neveltünk. L_4 után ezt a számot lecsökkentve, 50-50 egyedszámú mintával dolgoztunk. A bebábozódásig egyesével neveltük őket petri-csészében, majd ezt követően műanyag dobozba helyeztük át őket.

10.13147/SOE.2021.002

A bábokból kikelő lepkéket kereszteztük. A párokat nem csak azonos mintacsoportokból választottuk ki, hanem végeztünk populációk közötti keresztezéseket is. A párosításokból származó petéket megszámoltuk.

A kísérlet során mért adatok:

- A *hernyók tömegét* L_4-től a bábozódásig naponta megmértük. Pontosság: 0,0001g.
- A *báb tömegét* a bebábozódáskor és az attól számított 5. napon mértük. Pontosság: 0,0001g.
- A *nyár levél tömegét* több állapotban mértük (Pontosság: 0,0001g):
  - *Nedves tömeg*: A hernyóhoz történő behelyezéskor, és a levélmaradék kivételekor.
  - *Száraz tömeg*: A maradék levelet szárítógépben megszárítottuk, és megmértük a tömegét.
  - Minden újonnan hozott nyár hajtásköteg esetén egy 5 levélből álló etalon tömeget, valamint száraz és nedves tömeget is mértünk.
- *Ürülék tömege*: Egyedenként mértük minden lárvastádiumban. Pontosság: 0,0001g.
- Feljegyeztük a hernyók életeseményeinek dátumát: *kelés, vedlések, bebábozódás, a bábból való kikelés, párosodás.* Pontosság: 1 nap

A keresztezés módszere:

- Egy populáción belüli keresztezések:
  - Kocsánytalan tölgyről származó hím × kocsánytalan tölgyről származó nőstény:
    (A × A).
  - Pannónia nyárról származó hím × Pannónia nyárról származó nőstény:
    (H × H).
  - Magyal tölgyről származó hím × Magyal tölgyről származó nőstény:
    (CR × CR).
- Populációk közti keresztezések:
  - A × H (♂ × ♀) és H × A (♂ × ♀)
  - A × CR (♂ × ♀) és CR × A (♂ × ♀)
  - H × CR (♂ × ♀) és CR × H (♂ × ♀)

10.13147/SOE.2021.002

- A párosodáshoz a hímeket és a nőstényeket párosával (1 hímet és 1 nőstényt) engedtük össze.

3.2.4. Az egy nemzedéken belüli tápnövényváltás hatásainak vizsgálata

A laboratóriumi körülmények között végzett vizsgálatunk során négy mintacsoportnyi gyapjaslepkét neveltünk fel. Arra voltunk kíváncsiak, hogy mennyiben befolyásolja a gyapjaslepkét, ha a fejlődése során tápnövényváltásra kényszerül.

A minta származása:

- *A gyűjtés helyszíne:* Sopron, Szárhalmi erdő, Sopron 17/A és Sopron 49/B erdőrészlet
- *Eredeti tápnövény (amiről a petecsomót gyűjtöttük):* csertölgy *Quercus cerris* L., közönséges gyertyán (*Carpinus betulus* L.)

A petecsomók begyűjtési ideje: 2014. március

A nevelés körülményei:

- Megvilágítási idő: 16 óra megvilágítás-8 óra sötét
- Hőmérséklet: 20 °C
- Tápnövény:
    - csertölgy (*Quercus cerris* L.) (CS) – 30 hernyó
    - közönséges gyertyán (*Carpinus betulus* L.) (GY) – 30 hernyó
    - L_3-ig CS, utána a bábozódásig GY – 30 hernyó
    - L_5-ig CS, utána a bábozódásig GY – 30 hernyó
    - A táplálékot több fáról gyűjtöttük, 2,5 m magasságig, véletlenszerű mintavétellel.
- A kísérletet klimatizált rovarkeltető helyiségben, hernyónevelő szekrényben végeztük.

A kísérlet menete:

A nevelési kísérlet során tápnövényváltást hajtottunk végre két mintacsoportnál. Kettőt ezzel szemben végig az eredeti tápnövényen neveltünk. Két fafajjal dolgoztunk: csertölgy (*Quercus cerris* L.) és közönséges gyertyán (*Carpinus betulus* L.). A kutatás során 3 mintacsoportot csertölgy tápnövényen kezdtünk el nevelni, egyet pedig

gyertyánon. 1-1 mintacsoportnál a cser tápnövényt az L_3-ban, illetve L_5-ben gyertyánra cseréltük. A bábokat továbbra is egyesével tartottuk egészen a nemzők kikeléséig.

A keresztezés módszere:

- A keresztezésekhez a párokat minden esetben azonos mintacsoportból választottuk ki.
- A párosodáshoz a hímeket és a nőstényeket párosával (1 hímet és 1 nőstényt) engedtük össze.

A kísérlet során mért adatok:

- A *hernyók tömegét* L_4-től a bábozódásig naponta megmértük. Pontosság: 0,0001g.
- A *báb tömegét* a bebábozódáskor és az attól számított 5. napon mértük. Pontosság: 0,0001g
- A *cser illetve a gyertyán hajtás tömegét* több állapotban mértük (Pontosság: 0,0001g):
    - *Nedves tömeg*: A hernyóhoz történő behelyezéskor, és a levélmaradék kivételekor.
    - *Száraz tömeg*: A maradék levelet szárítógépben megszárítottuk, és megmértük a tömegét.
    - Minden újonnan hozott hajtásköteg esetén egy 5 levélből álló etalon tömeget, valamint száraz és nedves tömeget is mértünk.
- *Ürülék tömege*: Egyedenként mértük minden lárvastádiumban. Pontosság: 0,0001g.
- Feljegyeztük a hernyók életeseményeinek dátumát: *kelés, vedlések, bebábozódás, a bábból való kikelés, párosodás.* Pontosság: 1 nap.

3.3. A számítások és a statisztikai kiértékelés módszerei

A méréseim során nyert adathalmazt először alapstatisztikai módszerekkel vizsgáltam meg (átlag, szórás, gyakoriság stb.). A következő lépésben az adatok jellegének megfelelően statisztikai próbákat alkalmaztam a Stat Soft STATISTICA program segítségével. Bartlett próbával ellenőriztem a varianciák homogenitását. Ahol a normalitás lehetővé tette, az összehasonlításokat parametrikus próbával (ANOVA, illetve Fisher-próba) végeztem el. Ellenkező esetben több független minta esetén a

10.13147/SOE.2021.002

Kruskal-Wallis próbát, míg két független minta esetén a Mann-Whitney alkalmaztam. Néhány összefüggés vizsgálatához ezen kívül regresszióanalízist végeztem.

A különböző tápanyagon nevelt gyapjaslepke hernyók fejlődésmenetét a mért adatokból kiszámolt átlagok, szórás, illetve szélsőértékek mellett különböző táplálkozási indexekkel is számszerűsítettem.

Számított indexek:

$$\text{Táplálék hasznosulási \% (AD)} = \frac{\text{levéltömeg fogyasztás (g) – ürülék tömeg (g)}}{\text{levéltömeg fogyasztás (g)}} \times 100$$

$$\text{Táplálékfogyasztás hatékonysága (\%)(ECI)} = \frac{\text{Hernyótömeg növekedés (g)}}{\text{ürülék tömeg (g)}} \times 100$$

$$\text{Táplálék hasznosulás hatékonysága (\%)(ECD)} = \frac{\text{Hernyótömeg növekedés (g)} \times 100}{\text{levéltömeg fogyasztás (g)} - \text{ürülék tömeg (g)}}$$

Az indexek kiszámolása során a levéltömeg-fogyasztás és az ürülék tömegének a nedves, tehát nem légszárazra szárított adatait használtam. A hernyótömeg-növekedés esetében ugyanis nem rendelkeztem légszáraz adatokkal.

10.13147/SOE.2021.002

4. Eredmények

A kutatás során sikeresen végeztem el négy nevelési kísérletet, melyekben különböző abiotikus és biotikus tényezők hatásait vizsgáltam a gyapjaslepke fejlődésmenetére. Több kísérletnél a peték megszámlálásából nyert eredményekkel következtethettem a szaporodóképességre gyakorolt hatásokra is. Először az abiotikus tényezőket vizsgáló kísérletek eredményeit mutatom be. Ezt követően a tápnövényváltás generációk közötti és egy nemzedéken belüli hatásainak eredményét tárgyalom.

4.1. A hőmérséklet hatása

A kísérlet során folyamatosan nyomon követtem a gyapjaslepke fejlődését a petéből való kikeléstől kezdve a párosodásig. A negyedik lárvastádiumtól kezdve olyan méréseket végeztem, amelyek segítségével le tudom írni a vizsgált egyedek fejlődési idejét és hernyótömeg növekedését. A peték megszámlálásával és életképességük megállapításúval pedig a szaporodóképességre tettem megfigyeléseket. Ebben a fejezetben részletesen elemzem a kutatásom során kapott eredményeket. Az áttekinthetőség kedvéért a különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepkék lárvafejlődésének adatait az I. mellékletben két összefoglaló táblázatban is közlöm.

4.1.1. A hernyókelés kezdete

A keltetés kezdete: 2014. április 8.

A 3. táblázat azt mutatja, hogy mennyi időre volt szükség a hernyók kikeléséhez a különböző hőmérsékleten tartott petékből. A hímek (♂) és a nőstények (♀) adatait külön elemeztem.

10.13147/SOE.2021.002

3. táblázat: A hernyókelés megindulásához szükséges idő alakulása különböző hőmérsékleteken

Hőmérséklet	Nem	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
°C		nap	min	max	nap
20	♂	11	8	13	2,1462
	♀	11	8	13	2,2788
25	♂	10	7	11	1,9149
	♀	10	7	11	1,9890
30	♂	10	8	11	1,5811
	♀	10	8	11	1,3572

20 °C-on valamivel lassabban történt a hernyókelés, de nagy eltérés nem látszik az adatok között. A hernyókelés tehát mindhárom hőmérsékleten közel azonos hosszúságú időt vett igénybe.

4.1.2. A különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a negyedik lárvastádiumig

A 4. táblázat bemutatja, hogyan alakult a fejlődési idő különböző hőmérsékleteken az első három lárvastádiumban. Az ivari dimorfizmus nem csak a gyapjaslepke morfológiájára jellemző. A hím és a nőstény fejlődésében eddigi eredményeim alapján (Hillebrand és Tuba 2013) számottevő különbség tapasztalható, ezért számításaimban, illetve azok bemutatásában mindig külön kezeltem a két nemet.

4. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző hőmérsékleteken az első három lárvastádiumban (n=30)(nap)

Hőmérséklet	Nem	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (L_1 - L_3)		Fejlődési idő szórása
°C		L_1 - L_3	min	max	L_1 - L_3
20	♂	34	28	45	3,1575
	♀	35	26	50	5,5013
25	♂	23	15	34	3,9812
	♀	21	16	29	3,6321
30	♂	17	12	22	3,1990
	♀	17	11	25	3,6865

10.13147/SOE.2021.002

Az első lárvastádiumban 2*30 egyedet neveltem mindhárom hőmérsékleten, és L_4-től kezdve vizsgáltam mintacsoportonként 30 gyapjaslepkét. A fenti táblázatban azonban hőmérsékleteként nem 60, hanem csak 30 gyapjaslepke hernyó adatai láthatóak. Csak a későbbi lárvastádiumban kiválasztott egyedek adatai szerepelnek benne. Az adatokból látható, hogy a hőmérséklet emelkedésével a fejlődési idő a vizsgált fejlődési szakaszban látványosan lerövidül.

A vizsgált 30 egyedes mintacsoportokban az első három lárvastádiumban a mortalitás értéke 0 volt.

4.1.3. A különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a negyedik lárvastádiumban.

A negyedik lárvastádiumban egyik mintacsoportban sem volt mortalitás. A fejlődési idő alakulását a negyedik lárvastádiumban az 5. táblázatban mutatom be.

5. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző hőmérsékleteken a negyedik lárvastádiumban (n=30)

Hőmérséklet	Nem	Fejlődési idő átlaga (nap)	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
°C		nap	min	max	
20	♂	11	5	15	2,3916
	♀	10	5	16	2,6346
25	♂	7	5	9	1,1236
	♀	6	5	11	1,6968
30	♂	7	5	9	1,7512
	♀	5	3	7	1,4163

Az adatok alapján elsősorban a 20 °C -on nevelt egyedek fejlődési ideje tér el számottevő mértékben a másik két csoporttól. A 25 °C és 30 °C-os hőmérsékleti tartományban inkább a nőstények esetében tapasztalható eltérés. Megjegyezendő, hogy a szórás értéke alacsony hőmérsékleten a legnagyobb.

A 6. táblázat a gyapjaslepkék hernyótömeg-növekedését mutatja be a negyedik lárvastádiumban.

10.13147/SOE.2021.002

6. táblázat: A hernyótömeg-növekedés alakulása különböző hőmérsékleteken a negyedik lárvastádiumban

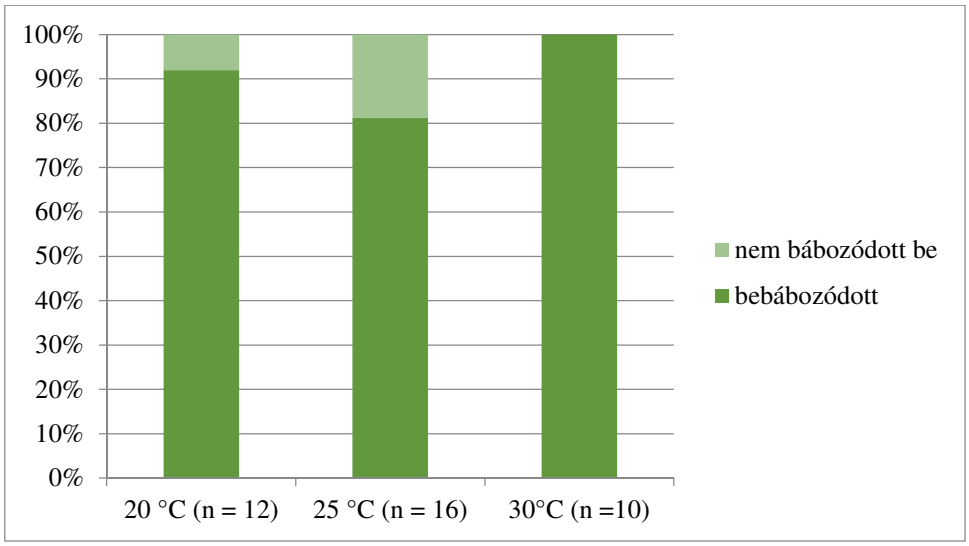
Hőmérséklet	Nem	Hernyótömeg-növekedés átlaga	Hernyótömeg-növekedés szélsőértékei (L_4)		Hernyótömeg-növekedés szórása
°C		L_4	min	max	L_4
20	♂	0,0855	0,0060	0,1271	0,0344
	♀	0,0814	0,0251	0,2009	0,0421
25	♂	0,0912	0,0458	0,1482	0,0293
	♀	0,0806	0,0477	0,1715	0,0292
30	♂	0,1328	0,0436	0,3456	0,0881
	♀	0,0901	0,0287	0,1444	0,0319

A hím hernyók esetében úgy tűnik, hogy magasabb hőmérsékleten a hernyótömeg-növekedés értékei nagyobbak. A nőstények esetében viszont a legnagyobb hernyótömeg-növekedés értékeket alacsony hőmérsékleten kaptam.

4.1.4. A különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete az ötödik lárvastádiumban

Az ötödik lárvastádiumban egy hernyó pusztult el, a példány a 30 °C-on tartott egyedek közül származott.

Ismeretes, hogy a hím gyapjaslepkéknek általában 5 lárvastádiuma van. Azonban előfordulnak olyan egyedek is, amelyeknek a bebábozódáshoz egyel több vedlésre van szükségük. Ezt a kísérlet eredményei is alátámasztották, hiszen a hím gyapjaslepkéink túlnyomó részének az ötödik volt az utolsó lárvastádiuma, ugyanakkor néhány egyed továbbfejlődött a hatodik lárvastádiumba. Ezen egyedek arányát mutatja a 10. ábra.



10. ábra: A bebábozódott hímek aránya különböző hőmérsékleten az ötödik lárvastádiumban

A nem bebábozódott egyedek továbbfejlődtek a hatodik lárvastádiumba. Korábbi eredményeim alapján szignifikáns különbség mutatkozik a bebábozódott és továbbfejlődött hernyók fejlődési mutatóiban (Hillebrand és Tuba 2013). Ezen kísérlet adatsorait vizsgálva ez szintúgy megmutatkozik. Azért, hogy ne befolyásolják az eredményeimet, a fejlődés idejét és a hernyótömeg-növekedést bemutató táblázataimban nem szerepelnek a továbbfejlődött gyapjaslepkék értékei. A fentieken kívül az elpusztult egyed adatait sem vettem figyelembe a számításoknál.

A 7. táblázat mutatja a fejlődési idő alakulását az ötödik lárvastádiumban.

7. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző hőmérsékleten az ötödik lárvastádiumban

Hőmérséklet	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
°C			nap	min	max	
20	♂	11	19	15	25	3,7099
	♀	18	10	5	15	2,2375
25	♂	13	12	10	16	1,7134
	♀	14	7	5	10	1,2924
30	♂	10	10	7	12	1,7159
	♀	19	7	4	10	1,6150

Az adatok alapján jól látható, hogy a fejlődési idő a hőmérséklet emelkedésével egyre rövidebb lesz. A 30 °C-on nevelt egyedek számottevően kevesebb időt töltöttek az ötödik lárvastádiumban a társaiknál. Érdekes adalék, hogy gyorsabb fejlődési idő

mellett, a legmagasabb hőmérsékleten nevelt hím egyedek mindegyike bebábozódott L_5-ben. A szórás ebben a lárvastádiumban is a 20 °C-on nevelt mintahalmaznál éri el a legnagyobb értéket.

A hernyótömeg-növekedés alakulását a 8. táblázat mutatja be.

8. táblázat: A hernyótömeg-növekedés alakulása különböző hőmérsékleteken az ötödik lárvastádiumban

Hőmérséklet	Nem	N (db)	Hernyótömeg növekedés átlaga	Hernyótömeg növekedés szélsőértékei (g)		Hernyótömeg növekedés szórása
°C			g	min	max	
20	♂	11	0,2915	0,1542	0,5442	0,1244
	♀	18	0,2089	0,0276	0,4532	0,1138
25	♂	13	0,2860	0,2224	0,4447	0,0716
	♀	14	0,2033	0,0673	0,3793	0,0747
30	♂	10	0,2139	0,1778	0,2425	0,0187
	♀	19	0,2453	0,1245	0,3800	0,0715

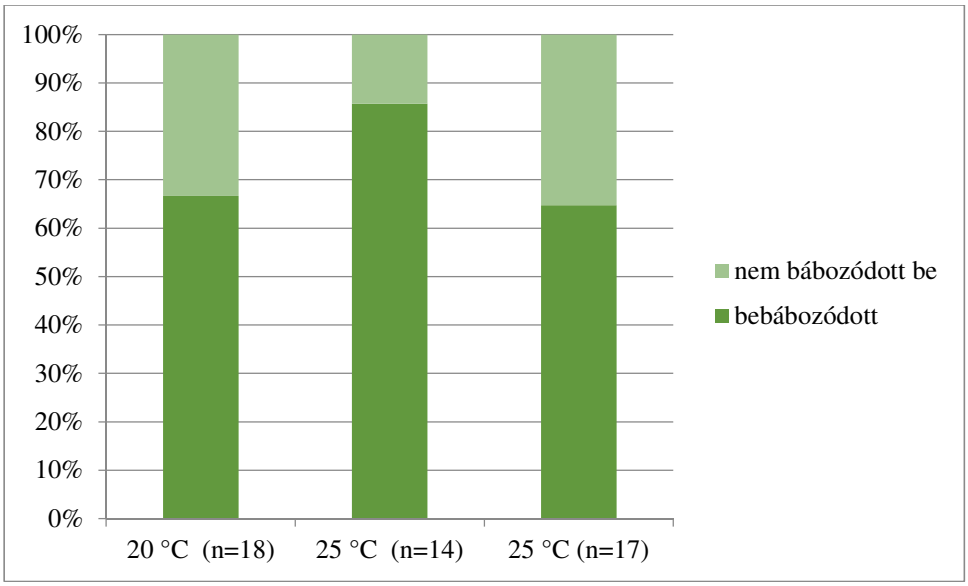
Az adatok itt már némileg mást mutatnak, mint az előző lárvastádiumban. A hím hernyók esetében úgy tűnik, hogy a gyorsabb fejlődési idő mellett a hernyótömeg-növekedés mértéke csökken a hőmérséklet emelkedésével. A nőstények esetében ezzel szemben a legnagyobb átlagos érték a 30 °C-on nevelt egyedeknél figyelhető meg. A szórással kapcsolatban megfigyelhető tendencia ebben a lárvastádiumban sem változott. Értéke nemektől függetlenül alacsony hőmérsékleten a legnagyobb.

4.1.5. A különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a hatodik lárvastádiumban

A hatodik lárvastádiumban a 20 °C-on tartott egyedek közül egy elpusztult.

Az összes hím hernyó bebábozódott ebben a lárvastádiumban. A nőstény egyedek egy része bebábozódott L_6-ban, másik részük tovább vedlett a hetedik lárvastádiumba. Ennek arányát mutatja a 11. ábra.

10.13147/SOE.2021.002



11. ábra: A bebábozódott nőstények aránya különböző hőmérsékleten

Itt megfigyelhető, hogy a hőmérséklet emelkedésével nő a hatodik lárvastádiumban bebábozódó egyedek aránya. A hetedik lárvastádiumba továbbvedlett egyedek adataival a 4.1.6. fejezetben foglalkozom.

A nőstény hernyók fejlődési idejének alakulását a hatodik lárvastádiumban a 9. táblázat mutatja.

9. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző hőmérsékleten a hatodik lárvastádiumban

Hőmérséklet	Bebábozódott L_6-ban	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
°C				nap	min	max	
20	igen	♂	1	14	14	14	
20	igen	♀	11	19	14	27	4,1001
20	nem	♀	6	9	5	11	2,2509
25	igen	♂	3	12	10	14	3,7859
25	igen	♀	12	13	9	17	2,4168
25	nem	♀	2	8	7	8	
30	igen	♀	18	12	8	16	2,5003
30	nem	♀	1	8	8	8	

Az adatok a fejlődési idő rövidülését mutatják a hőmérséklet emelésével párhuzamban. A szórás ebben a lárvastádiumban is alacsony hőmérsékleten a legnagyobb. A hernyótömeg-növekedésének alakulását a 10. táblázat mutatja.

10.13147/SOE.2021.002

10. táblázat: A hernyótömeg-növekedés alakulása különböző hőmérsékleteken a hatodik lárvastádiumban

Hőmérséklet	Bebábozódott L_6-ban	Nem	N (db)	Hernyótömeg növekedés átlaga	Hernyótömeg növekedés szélsőértékei (g)		Hernyótömeg növekedés szórása
°C				g	min	max	
20	igen	♂	1	0,2493	0,2493	0,2493	
20	igen	♀	11	0,9847	0,3914	1,7143	0,3813
20	nem	♀	6	0,2802	0,0782	0,6871	0,2186
25	igen	♂	3	0,2910	0,2608	0,347	0,0485
25	igen	♀	12	1,1353	0,6206	1,6127	0,3227
25	nem	♀	3	0,4035	0,3306	0,4763	
30	igen	♀	18	0,5925	0,3219	1,0762	0,1902
30	nem	♀	1	0,4715	0,4715	0,4715	

A táblázat alapján a hernyótömeg-növekedés értéke 30 °C-on a legkisebb. Azt azonban nem lehet állítani, hogy ez az érték a hőmérséklet emelkedésével párhuzamosan csökkenne, hiszen nem 20 °C-on a legnagyobb, hanem 25 °C-on.

4.1.6. A különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a hetedik lárvastádiumban

A hetedik lárvastádiumban egy hernyó pusztult el a 20 °C-on tartott egyedek közül. A 11. táblázat mutatja a mintacsoportok fejlődési idejének és hernyótömeg-növekedésének alakulását L_7-ben.

11. táblázat: A fejlődési idő és a hernyótömeg-növekedés alakulása különböző hőmérsékleten a hetedik lárvastádiumban

Hőmérséklet	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
°C			nap	min	max	
20	♀	5	19	16	21	1,9664
25	♀	2	16	14	17	2,1213
30	♀	1	13			
Hőmérséklet	**Nem**	**N (db)**	**Hernyótömeg növekedés átlaga**	**Hernyótömeg növekedés szélsőértékei (g)**		**Hernyótömeg növekedés szórása**
°C			g	min	max	
20	♀	5	0,8764	0,4178	1,6848	0,4240
25	♀	2	1,3792	1,1095	1,6488	0,3813
30	♀	1	0,6529			

10.13147/SOE.2021.002

Árulkodó a hetedik lárvastádiumot elérő egyedek száma, hiszen ez az érték arányosan csökkent a hőmérséklet emelésével.

4.1.7. A különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a teljes hernyófejlődési időszakban

A hernyófejlődési időszakra jellemző mortalitást a 12. táblázat mutatja.

12. táblázat: Mortalitás a hernyófejlődés alatt különböző hőmérsékleten

Hőmérséklet °C	Nem	Elpusztult egyedek száma
20	♂	
	♀	2
25	♂	
	♀	
30	♂	1
	♀	

Számottevő mortalitást ebben a kísérletben nem tapasztaltam. A nevelt egyedek jellemzően mindhárom hőmérsékleten életben maradtak a bebábozódásig. Megjegyezhető talán, hogy 25 °C-on egyáltalán nem történt pusztulás. Ugyanakkor ezen az alacsony mintaszámon nem lehet kijelenteni, hogy ez a kismértékű pusztulás összefüggne a hőmérséklettel.

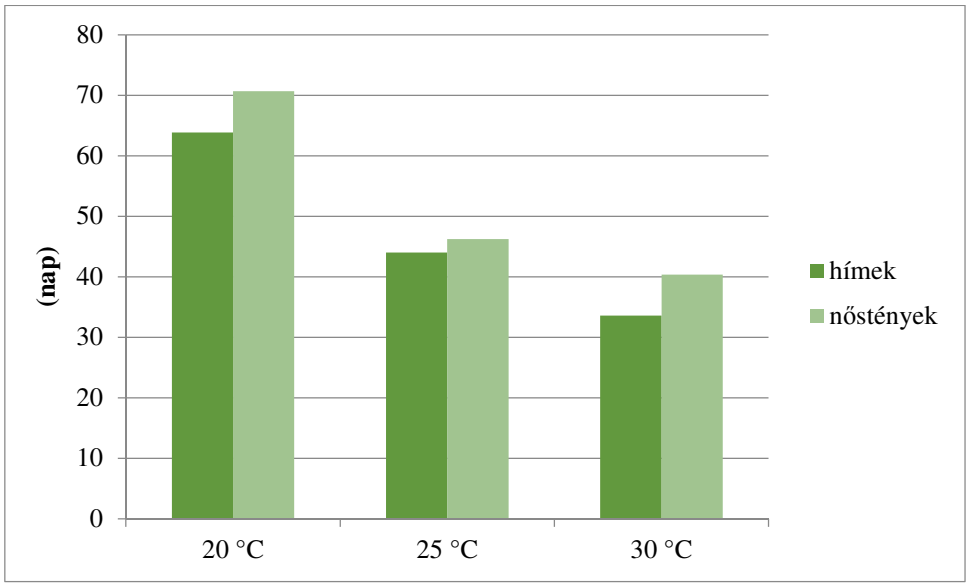
Az előző fejezetekben figyelembe vettem az adott stádiumokban bebábozódó, és tovább vedlő egyedeket. Utóbbiakat pedig, mivel eltértek az értékeik a társaikhoz képest, kihagytam a számításokból. Azonban a teljes hernyófejlődést bemutató táblázatokban, ezt a megkülönböztetést nem fogom alkalmazni. Az adatok tehát azt mutatják majd meg, hogyan alakult a fejlődési idő és hernyótömeg-növekedés a teljes hernyófejlődési időszakban a lárvastádiumok számától függetlenül. Az elpusztult egyedek adatait itt sem használtam fel a számításokhoz. Mindezeket figyelembe véve a 13. táblázat megmutatja a fejlődési idő alakulását a teljes hernyófejlődési időszakban.

10.13147/SOE.2021.002

13. táblázat: A fejlődési idő alakulása a különböző hőmérsékleteken a teljes hernyófejlődési időszakban

Hőmérséklet	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
°C			nap	min	max	
20	♂	12	64	56	75	5,8595
	♀	16	71	47	95	11,5271
25	♂	16	44	35	56	6,5524
	♀	14	46	38	60	6,6469
30	♂	10	34	26	43	5,5337
	♀	19	41	31	55	6,9879

Az adatok alapján látható, hogy a teljes hernyófejlődési idő látványosan rövidül a hőmérséklet emelkedésével. A 20 °C-on nevelt nőstények esetében feltűnően nagy a szórás értéke. Ebbe a hosszabb fejlődési idő is közrejátszhat. A fejlődési időtartam változását az 12. ábra szemlélteti.



12. ábra: A teljes hernyófejlődési idő alakulása különböző hőmérsékleteken

Az ábra jól szemlélteti, hogy a fejlődési idő mindkét nemnél látványosan lerövidül magasabb hőmérsékleten. Ugyanakkor az is látszik, hogy a nemek fejlődési idejében a különbség a két szélső hőmérsékleten nagyobb.

A 14. táblázat mutatja a hernyótömeg-növekedés alakulását a teljes hernyófejlődési időszakban.

10.13147/SOE.2021.002

14. táblázat: A hernyótömeg-növekedés alakulása különböző hőmérsékleteken a teljes hernyófejlődési időszakban

Hőmérséklet	Nem	N (db)	Hernyótömeg növekedés átlaga	Hernyótömeg növekedés szélsőértékei (g)		Hernyótömeg növekedés szórása
°C			g	min	max	
20	♂	12	0,3745	0,2537	0,5865	0,1025
	♀	16	1,2533	0,5858	2,2976	0,4290
25	♂	16	0,4290	0,2745	0,5637	0,0966
	♀	14	1,5116	0,8690	2,4010	0,4279
30	♂	10	0,3725	0,2461	0,5516	0,1003
	♀	19	0,9559	0,6843	1,4848	0,2106

Az adatokból az látható, hogy a legnagyobb hernyótömeg-növekedés a 25 °C-on tartott egyedeknél tapasztalható. 30 °C-on láthatóak a legkisebb növekedési értékek.

4.1.8. A különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a báb időszakban

A bebábozódott egyedek kelésének alakulását a 15. táblázat mutatja.

15. táblázat: Mortalitás bábállapotban a különböző hőmérsékleti értékeken

Hőmérséklet	Nem	N (db)	Nem kelt ki egyáltalán	Nem tudott kikelni teljesen
°C				
20	♂	12	1	1
	♀	16	2	
25	♂	16		
	♀	14		
30	♂	10		
	♀	19	1	1

Az adatokból látható, hogy zömében sikeresen kikeltek a lepkék a bábokból. A táblázatban megkülönböztettem azokat az egyedeket, amelyeknél a bábból való kikelés szemmel láthatólag egyáltalán nem indult be, és ahol beindult ugyan, ám nem volt sikeres. Ezeket az egyedeket nem vettem figyelembe a számításaimnál. Az adatokból kitűnik, hogy 25 °C-on mindegyik lepke ki tudott kelni a bábból. A 16. táblázat mutatja be a báb időszak hosszát a különböző hőmérsékleteken.

10.13147/SOE.2021.002

16. táblázat: A báb időszak hosszának alakulása különböző hőmérsékleteken

Hőmérséklet	Nem	N (db)	Bábfejlődési idő átlaga	Bábfejlődési idő szélsőértékei (nap)		Bábfejlődési idő szórása
°C			nap	min	max	
20	♂	10	21	18	26	2,4083
	♀	15	13	11	16	1,2764
25	♂	16	12	10	13	0,9944
	♀	14	17	15	21	1,4899
30	♂	10	11	9	13	1,2067
	♀	17	10	4	16	2,5257

Észrevehető, hogy a bábfejlődési idő, hasonlóan a hernyófejlődéshez, a hímek esetén kis mértékben lerövidül a hőmérséklet emelésével. Míg a 25°C-on nevelt nőstények esetében eltérő tendencia figyelhető meg. Ezen a hőmérsékleten a nőstények bábfejlődési ideje hosszabb, mint 20°C-on, mivel az utóbbi mintahalmaz ezen értékei feltűnően alacsonyak. A bábtömeg nagyságának alakulását a 17. táblázat mutatja be.

17. táblázat: A bábtömegek alakulása különböző hőmérsékleteken

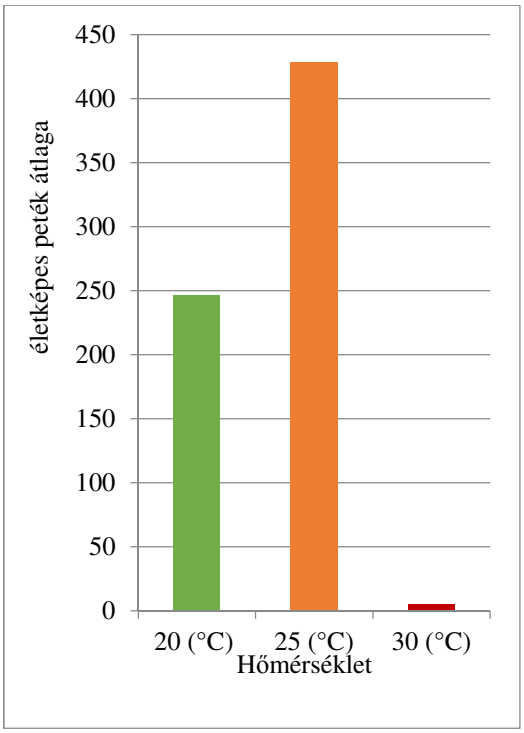
Hőmérséklet	Nem	N (db)	Bábtömeg átlaga	Bábtömeg szélsőértékei (g)		Bábtömeg szórása
°C			g	min	max	
20	♂	10	0,3297	0,2088	0,4341	0,0709
	♀	15	1,0884	0,5722	1,7863	0,3301
25	♂	16	0,3547	0,2320	0,5481	0,0861
	♀	14	1,2248	0,7097	2,0686	0,3485
30	♂	10	0,2901	0,1813	0,3990	0,0743
	♀	17	0,7687	0,5047	1,2227	0,1696

Ezeknél az adatoknál ugyanaz a tendencia figyelhető meg, mint a hernyótömeg-növekedés esetében. A legnagyobb bábtömeget a 25 °C-on tartott egyedek voltak képesek elérni, míg a 30 °C-on nevelt egyedek érték el a legkisebb bábtömeget.

4.1.9. A szaporodás sikeressége különböző hőmérsékleten

A bábból kikelt lepkék mintacsoportjain belül keresztezéseket végeztem. A keresztezések után megszámoltam a lerakott petéket és morfológiai szempontok szerint határoztam meg közülük az életképeseket. A 30 °C-on kikelt lepkéknél szinte egyáltalán nem tudtam sikeres keresztezést végezni. A legnagyobb életképes peteszámot a 25 °C-on kikelt lepkék produkálták, ahogy azt a 13. ábra is mutatja.

10.13147/SOE.2021.002



13. ábra: Az életképes peték száma a különböző hőmérsékleten nevelt egyedek keresztezéskor

A későbbiekben a petéket egy közel 20 °C-os helyiségben tároltam. A tél folyamán intenzív hernyókelést figyeltem meg a 25 °C-on nevelt egyedek petéinek nagy részénél, míg a 20 °C-on nevelt egyedek esetében csak egynél. A 30 °C-on nevelt mintahalmaznál nem észleltem kelést.

4.1.10. Különbségek a különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenetében

Fisher-próbát végeztem annak érdekében, hogy képet kapjunk a mintahalmazok fejlődési idejében mutatkozó különbségek mértékéről. Az eredményeket a 18. táblázat tartalmazza.

10.13147/SOE.2021.002

18. táblázat: Szignifikáns különbségek a gyapjaslepke átlagos fejlődési idejében különböző hőmérsékleteken

Nemek	Teljes hernyófejlődés				Bábfejlődés				Teljes egyedfejlődés			
♂		20 °C	25 °C	30 °C		20 °C	25 °C	30 °C		20 °C	25 °C	30 °C
	20 °C		0,00000	0,00000	20 °C		0,00000	0,00000	20 °C		0,00000	0,00000
	25 °C	0,00000		0,00013	25 °C	0,00000		0,04183	25 °C	0,00000		0,00016
	30 °C	0,00000	0,00013		30 °C	0,00000	0,04183		30 °C	0,00000	0,00016	
♀		20 °C	25 °C	30 °C		20 °C	25 °C	30 °C		20 °C	25 °C	30 °C
	20 °C		0,00000	0,00000	20 °C		0,00000	0,00000	20 °C		0,00000	0,00000
	25 °C	0,00000		0,00536	25 °C	0,00000		0,48696	25 °C	0,00000		0,00142
	30 °C	0,00000	0,00536		30 °C	0,00000	0,48696		30 °C	0,00000	0,00142	

A táblázatban piros színnel a Fisher-próba során szignifikánsan eltérő eredményeket jelöltem. A statisztikai számításaim alapján is legjobban a 20 ^{o}C-on nevelt egyedek fejlődési ideje tér el a másik két hőmérsékleti értéken nevelt egyedekétől. Szignifikáns különbséget kaptam szinte minden paraméter esetében a három különböző hőmérsékleten nevelt egyedek között. Ugyan a táblázatban ezt nem tüntettem fel, de a különbségek az egyes lárvastádiumokra lebontva is jellemzőek.

A testtömeg növekedésben kapott szignifikáns különbségeket a 19. táblázat tartalmazza. A táblázatban a Kruskal-Wallis próba során kapott szignifikáns különbségeket piros színnel jelöltem. Látható, hogy csak a nőstény egyedeknél kaptunk szignifikáns eltérést, ezen belül is a 25 °C-on és 30 °C-on nevelt egyedek értékei között.

10.13147/SOE.2021.002

19. táblázat: Szignifikáns különbségek az egyedek testtömeg-növekedésében különböző hőmérsékleteken

Nemek	L6				Teljes hernyófejlődés				Báb-tömeg			
♂		20 °C	25 °C	30 °C		20 °C	25 °C	30 °C		20 °C	25 °C	30 °C
	20 °C	A mintaszám alacsony			20 °C		1	1	20 °C		1,00000	1,00000
	25 °C				25 °C	1		0,49653	25 °C	1,00000		0,25228
	30 °C				30 °C	1	0,49653		30 °C	1,00000	0,25228	
♀		20 °C	25 °C	30 °C		20 °C	25 °C	30 °C		20 °C	25 °C	30 °C
	20 °C		0,09259	0,87778	20 °C		0,37722	0,03386	20 °C		0,75356	0,01545
	25 °C	0,09259		0,00462	25 °C	0,37722		0,00027	25 °C	0,75356		0,00018
	30 °C	0,87778	0,00462		30 °C	0,03386	0,00027		30 °C	0,01545	0,00018	

4.2. Az eltérő megvilágítási viszonyok hatása

A nevelés folyamán nyomon követtem az állandó megvilágításban és állandó sötétségben tartott gyapjaslepkék fejlődését a petéből való kikeléstől kezdve a párosodásig. Méréseket a negyedik lárvastádiumtól kezdve végeztem. A kapott adatokból meghatároztam az egyedek fejlődési idejét és hernyótömeg növekedését.

A kísérlet során a negyedik lárvastádiumtól 50 egyedszámú mintahalmazt választottam ki mindkét megvilágításban. Ebben a fejezetben csak az így kiválasztott egyedek adatai szerepelnek. A kiválasztott mintahalmazokban a mortalitás értéke: 0. A nevelés folyamán tartalékokkal dolgoztam, és ugyan volt csekély mértékű mortalitás, ám a számításaimat olyan 50-50 egyeden végeztem el, ahol ilyesmi nem fordult elő. Az áttekinthetőség kedvéért az eltérő megvilágításon nevelt gyapjaslepkék lárvafejlődésének alakulását a II. mellékletben egy összefoglaló táblázatban is bemutatom.

4.2.1. A hernyókelés megindulásának alakulása különböző megvilágításon

A 20. táblázat megmutatja, hogy mennyi időre volt szüksége a 25 °C-on keltetett petéknek a hernyókeléshez a különböző fényviszonyok mellett.

10.13147/SOE.2021.002

20. táblázat: Különböző megvilágításon a hernyókelés megindulásához szükséges idő a hűtőből való kivételtől számítva

Megvilágítás	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
			nap	min	max	
24 h sötét	♂	17	6	0	9	3,0365
	♀	33	4	0	9	3,6153
24 h világítás	♂	29	5	2	7	1,6976
	♀	21	6	4	8	1,5461

Néhány petecsomó esetében már a hűtőből való kivétel napján megindult a hernyókelés.

4.2.2. A különböző megvilágításon nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a negyedik lárvastádiumig

A 21. táblázat bemutatja, hogyan alakult a negyedik lárvastádiumtól kiválasztott minta fejlődési ideje L_4-ig, 25 °C-on.

21. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző megvilágításon az első három lárvastádiumban

Megvilágítás	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
			nap	min	max	nap
24 h sötét	♂	17	21	15	28	3,6441
	♀	33	19	13	26	3,2946
24 h világítás	♂	29	19	13	23	2,5282
	♀	21	17	14	21	1,8335

Az adatok alapján a fejlődési idő állandó megvilágításon valamivel rövidebb volt és a szórások is kisebbek voltak, mint a másik mintahalmaznál.

10.13147/SOE.2021.002

4.2.3. A különböző megvilágításon nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a negyedik lárvastádiumban

A fejlődési idő alakulását a 4. stádiumban a 22. táblázat mutatja.

22. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző megvilágításon a negyedik lárvastádiumban

Megvilágítás	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
			nap	min	max	nap
24 h sötét	♂	17	9	6	15	3,0195
	♀	33	7	4	10	1,7045
24 h világítás	♂	29	7	3	10	1,8463
	♀	21	5	3	10	1,6213

A számításaim alapján úgy tűnik, hogy a korábbi stádiumokhoz hasonlóan L_4-ben is rövidebb volt a hernyók fejlődés ideje állandó megvilágításban, mint teljes sötétségben.

A 23. táblázatban a hernyótömeg-növekedés alakulása látható a negyedik lárvastádiumban.

23. táblázat: A hernyótömeg-növekedés alakulása különböző megvilágításon a negyedik lárvastádiumban

Megvilágítás	Nem	N (db)	Hernyótömeg-növekedés átlaga	Hernyótömeg-növekedés szélsőértékei (g)		Hernyótömeg-növekedés szórása
			g	min	max	g
24 h sötét	♂	17	0,1084	0,0558	0,1463	0,0289
	♀	33	0,1154	0,0334	0,6473	0,1009
24 h világítás	♂	29	0,1199	0,0233	0,1891	0,0413
	♀	21	0,0977	0,0452	0,1824	0,0416

A sötétben nevelt nőstények szórása kiugróan magas ebben a stádiumban. Ennek oka talán némely egyed nagyobb hernyótömeg-növekedése lehet. Az átlag értéke ezt kevésbé jelzi.

10.13147/SOE.2021.002

4.2.4. A különböző megvilágításon nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete az ötödik lárvastádiumban

A szakirodalmak (Szabóky és Leskó 1999) szerint a gyapjaslepke hímjének többnyire öt lárvastádiuma van. Ezt alátámasztva a vizsgált mintahalmazok gyapjaslepke hímjeinek mindegyike bebábozódott ebben a lárvastádiumban.
A fejlődési idő alakulását a 24. táblázat mutatja.

24. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző megvilágításon az ötödik lárvastádiumban

Megvilágítás	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
			nap	min	max	nap
24 h sötét	♂	17	14	11	20	2,4867
	♀	33	8	4	14	2,4634
24 h világítás	♂	29	12	9	17	1,9883
	♀	21	8	5	14	2,0401

A nőstények fejlődési idejében az eddigiektől eltérően nem mutatkozik különbség a különböző megvilágításban nevelt minták között. A hímek azonban állandó megvilágításban valamivel most is gyorsabban fejlődtek. Megfigyelhető az is, hogy a bebábozódás miatt a hímek jelentősen hosszabb ideig fejlődtek ebben a lárvastádiumban.

A 25. táblázat tartalmazza a hernyótömeg-növekedés alakulását jellemző adatokat az ötödik lárvastádiumban.

25. táblázat: A hernyótömeg-növekedés alakulása különböző megvilágításon az ötödik lárvastádiumban

Megvilágítás	Nem	N (db)	Hernyótömeg-növekedés átlaga	Hernyótömeg-növekedés szélsőértékei (g)		Hernyótömeg-növekedés szórása
			g	min	max	g
24 h sötét	♂	17	0,4116	0,2285	0,5564	0,0863
	♀	33	0,3155	0,0466	0,6264	0,1256
24 h világítás	♂	29	0,3429	0,1455	0,5791	0,0959
	♀	21	0,4267	0,2030	0,6312	0,1276

A táblázat adatai alapján az ötödik lárvastádiumban a gyapjaslepke hímek növekedése kisebb volt állandó megvilágításban, mint teljes sötétségben. A nőstények esetében viszont a fordítottja látszik.

10.13147/SOE.2021.002

4.2.5. A különböző megvilágításon nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a hatodik lárvastádiumban

A hatodik lárvastádiumban két teljes sötétségben nevelt gyapjaslepke kivételével az összes nőstény bebábozódott. Az említett két egyed tovább vedlett a hetedik lárvastádiumban, majd sikeresen bebábozódtak. Mivel adataik eltérnek az L_6-ban bebábozódott társaikétól, így a fejezet számításaiból kihagytam őket.

A 26. táblázat mutatja a nőstények fejlődési idejének alakulását a hatodik lárvastádiumban.

26. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző megvilágításon a hatodik lárvastádiumban

Megvilágítás	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
			nap	min	max	nap
24 h sötét	♀	31	18	13	24	2,3796
24 h világítás	♀	21	15	11	18	1,9469

Az állandó megvilágításban nevelt gyapjaslepkék fejlődési ideje ezúttal is rövidebbnek tűnik a teljes sötétségben tartott társaiknál.

A hernyótömeg-növekedés alakulását a hatodik lárvastádiumban a 27. táblázat mutatja.

27. táblázat: A hernyótömeg-növekedés alakulása különböző megvilágításon a hatodik lárvastádiumban

Megvilágítás	Nem	N (db)	Hernyótömeg-növekedés átlaga	Hernyótömeg-növekedés szélsőértékei (g)		Hernyótömeg-növekedés szórása
			g	min	max	g
24 h sötét	♀	31	1,3390	0,7744	2,0617	0,2893
24 h világítás	♀	21	1,0110	0,6672	1,4675	0,2229

Ugyan az ötödik lárvastádiumban az állandó megvilágításban tartott gyapjaslepke nőstények növekedése tűnt a nagyobbnak. Ez most megfordult. A hatodik lárvastádiumban látszólag a teljes sötétségben tartott gyapjaslepke nőstények növekedése a nagyobb. Úgy tűnik, ez az érték a fejlődés során végig váltakozik.

10.13147/SOE.2021.002

4.2.6. A különböző megvilágításon nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a teljes hernyófejlődési időszakban

A két vizsgált mintahalmaz vizsgált értékei a különböző fejlődési stádiumokban végig váltakoztak. Így különösen érdekes, hogy az egész hernyófejlődést vizsgálva mi látszik ezekből. A teljes hernyófejlődési időszak fejlődési idejét jellemző adatokat a 28. táblázat tartalmazza.

28. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző megvilágításon a teljes hernyófejlődési időszakban

Megvilágítás	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
			nap	min	max	nap
24 h sötét	♂	17	44	35	55	6,3692
	♀	33	53	44	63	5,2029
24 h világítás	♂	29	38	31	48	3,8311
	♀	21	45	40	52	3,6671

A teljes hernyófejlődési időszakot tekintve még inkább hangsúlyt kap a két mintahalmaz közti különbség a fejlődési időben. Állandó megvilágításban úgy tűnik, hogy gyorsabban eljut a bebábozódásig a gyapjaslepke, mint teljes sötétségben.

A 29. táblázat tartalmazza a hernyótömeg-növekedés alakulását L_4-től a bábozódásig.

29. táblázat: A hernyótömeg-növekedés alakulása különböző megvilágításon L_4-től a bábozódásig

Megvilágítás	Nem	N (db)	Hernyótömeg-növekedés átlaga	Hernyótömeg-növekedés szélsőértékei (g)		Hernyótömeg-növekedés szórása
			g	min	max	g
24 h sötét	♂	17	0,5199	0,3033	0,6765	0,0949
	♀	33	1,8010	1,1561	2,8631	0,3979
24 h világítás	♂	29	0,4628	0,2623	0,7652	0,1159
	♀	21	1,5354	1,0936	1,9538	0,2206

Úgy tűnik, hogy állandó megvilágításban, mindkét nem esetén a gyorsabb fejlődési idő mellett a hernyótömeg-növekedés nagysága is kisebb, mint teljes sötétségben.

10.13147/SOE.2021.002

4.2.7. A különböző megvilágításon nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a báb időszakban

A teljes hernyófejlődés során már megfigyelhető volt bizonyos tendencia a fejlődési idő és a hernyótömeg-növekedés tekintetében eltérő megvilágításon. A vizsgálatot így a báb időszakban is elvégeztem. A bábfejlődési idő alakulását a 30. táblázat mutatja.

30. táblázat: A bábfejlődés időszakának hossza különböző megvilágításon

Megvilágítás	Nem	N (db)	Bábfejlődési idő átlaga	Bábfejlődési idő szélsőértékei (nap)		Bábfejlődési idő szórása
			nap	min	max	nap
24 h sötét	♂	17	14	13	16	0,9926
	♀	33	12	10	13	0,9895
24 h világítás	♂	29	13	10	16	1,3976
	♀	21	12	10	15	1,2209

A bábfejlődési idő átlagos értékeiben ezúttal számottevő különbség a táblázat adatai alapján nem mutatkozik.

A bábtömeg alakulását a 31. táblázat mutatja.

31. táblázat: A bábtömeg alakulása különböző megvilágításon

Megvilágítás	Nem	N (db)	Bábtömeg átlaga	Bábtömeg szélsőértékei (g)		Bábtömeg szórása
			g	min	max	g
24 h sötét	♂	17	0,4930	0,2427	0,6515	0,1079
	♀	33	1,5968	1,0845	2,0425	0,2661
24 h világítás	♂	29	0,4838	0,3057	0,7515	0,1092
	♀	21	1,4243	0,9504	1,8575	0,1839

A hernyótömeg-növekedési adatokból kikövetkeztethető módon az ott tapasztalt különbség a két vizsgált mintahalmaz között most is tapasztalható. A bábtömegek átlaga az állandó megvilágításban részesülő csoportnál valamivel kisebb.

4.2.8. A szaporodás sikeressége különböző megvilágításon

A két mintahalmaz valamennyi bábjából sikerült lepkét kikeltetnem. A keresztezéseket mintacsoportokon belül kíséreltem meg elvégezni. Az állandó megvilágításban tartott bábokból kikelt lepkék esetében azonban egyetlen egy párosodás sem eredményezett életképes petecsomókat.

10.13147/SOE.2021.002

4.2.9. Szignifikáns különbségek a különböző megvilágításon nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenetében

A 32. táblázat tartalmazza a szignifikáns különbségeket az egyedek fejlődésmenetében.

32. táblázat: Szignifikáns különbségek a gyapjaslepke fejlődési idejében és tömegnövekedésében különböző megvilágításon

Mérőszámok	Hímek	Nőstények
	p számított, p = 0,05 U eloszlás	p számított, p = 0,05 U eloszlás
Idő a hernyókeléshez	0,123979467	0,067308
Az első három lárvastádiumban töltött napok száma	0,268238698	0,002038
L_4-ben töltött napok száma	0,059692478	0,001081
L_5-ben töltött napok száma	0,005394714	0,008193
L_6-ben töltött napok száma		0,000015
Lárva állapotban töltött napok száma	0,007240915	0,000000
Bábállapotban töltött napok száma	0,021243124	0,157671
Hernyótömeg-növekedés L_4	0,309164165	0,415254
Hernyótömeg-növekedés L_5	0,019951	0,008193
Hernyótömeg-növekedés L_6		0,000087
Teljes növekedés L_4-től	0,108079	0,007283
Bábtömeg	0,616003	0,006085

A táblázatban piros színnel a Mann-Whitney teszt során szignifikánsan eltérő eredményeket jelöltem. A számításom alapján leginkább a nőstények fejlődésmenete tér el egymástól a két különböző megvilágításon. Azonban a hímek esetében is számos szignifikáns különbség adódott a mérőszámokat tekintve. A teszt megerősítette az előző fejezetek számításait.

10.13147/SOE.2021.002

4.3. Az egy nemzedéken belül bekövetkezett tápnövényváltás eredményei

A gyapjaslepke fejlődését a petéből való kikeléstől kezdve figyeltem, és nyomon követtem egészen a párosodásig. A negyedik lárvastádiumtól kezdve méréseket végeztem, így le tudtam írni a vizsgált egyedek fejlődési idejét és hernyótömeg növekedését, a levéltömeg fogyasztást, valamint a különböző táplálkozási indexeket.

A kísérlet során négy mintahalmazzal dolgoztam. A csoportok jelrendszerét a 33. táblázatban mutatom be.

33. táblázat: Mintahalmazok jelölése a 4.3. fejezetben

Tápnövény	Tápnövényváltás ideje	Mintahalmaz jelölése
csertölgy	nem volt	Cs
csertölgy és közönséges gyertyán	L_3 (L_4)	CsGy3
csertölgy és közönséges gyertyán	L_5	CsGy5
közönséges gyertyán	nem volt	Gy

A kísérlet során előfordult, hogy tévedés történt a gyapjaslepke lárvastádiumának meghatározásakor. 5 db nőstény esetében így a tápnövényváltás nem L_3-ban, hanem L_4-ben következett be. Az adataikat együtt kezeltem a számításoknál a többi nőstényével.

Az áttekinthetőség kedvéért a négy mintahalmaz lárvafejlődésének alakulását a III.a. és III.b. mellékletben néhány összefoglaló táblázatban is bemutatom.

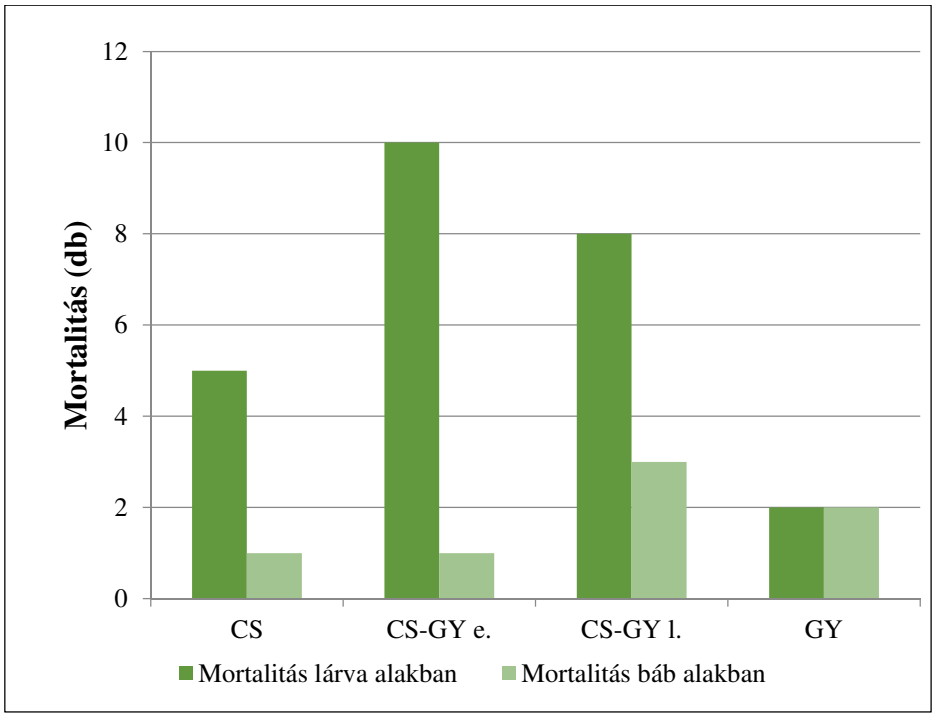
4.3.1. Mortalitás az egy nemzedéken belül bekövetkezett tápnövényváltás során

A kísérlet során 30-as egyedszámú mintahalmazokkal dolgoztam. Az egyedeket a második lárvastádiumban választottam ki. A méréseket pedig L_4-től végeztem el.

A nevelés során jelentős mortalitást tapasztaltam**. A Gy mintahalmazban mindösszesen 14 egyedet sikerült L_2-ben kiválasztanom.** A táplálékul kínált gyertyán levelek feltételezhetően túl öregek voltak a gyapjaslepkehernyók számára.

A fejlődés további szakaszaiban is tapasztaltam elhullást a vizsgált egyedek között. Ennek mértékét az 14. ábrán mutatom be.

10.13147/SOE.2021.002



14. ábra: A mortalitás L_2-L_7-ig és báb alakban

Az ábrán az L_2-ben kiválasztott hernyók adatai szerepelnek. Ugyan a kísérlethez 30 egyedszámú mintahalmazokat választottunk ki, de mindenhol felneveltünk 2-2 egyedet tartaléknak. Ennél a számításnál a tartalékok is szerepelnek.

A későbbiek során a számításaimban csak azok az egyedek szerepelnek majd, akikből később kifejlett lepkék lettek.

4.3.2. A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke hímek fejlődésmenete a negyedik lárvastádiumig

A hím egyedek fejlődési idejének alakulását az első három lárvastádiumban a 34. táblázat mutatja be.

34. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt hím gyapjaslepkék fejlődési idejének alakulása az első három lárvastádiumban

Mintahalmaz	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
			nap	min	max	nap
Cs	♂	15	22	20	32	2,9147
CsGy3	♂	5	21	20	22	0,7071
CsGy5	♂	11	25	21	32	3,8019
Gy	♂	7	31	29	33	1,1547

10.13147/SOE.2021.002

Szembeötlő különbség elsősorban a Gy mintacsoportnál mutatkozik. A kizárólag gyertyánon nevelt egyedek úgy tűnik lassabban fejlődtek, mint azok, amelyeknek étrendjében csertölgy is szerepelt. Az átlagos fejlődési idő ott a legrövidebb, ahol a gyapjaslepkék kizárólag csertölgy leveleket kaptak, illetve ahol a tápnövényváltás viszonylag korai lárvastádiumban következett be. (A tápanyag minősége akár 2-3 nappal is eltolhatja a fejlődési időket). Az adatokat szemlélve még a Cs és a CsGy5 mintahalmaz nagy szórása a szembeötlő

4.3.3. A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke hímek fejlődésmenete a negyedik lárvastádiumban

A fejlődési idő alakulását a 35. táblázat mutatja be.

35. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke hímek fejlődési idejének alakulása a negyedik lárvastádiumban

Mintahalmaz	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
			nap	min	max	nap
Cs	♂	15	8	6	12	2,0166
CsGy3	♂	5	9	7	11	1,5166
CsGy5	♂	11	8	5	14	2,3587
Gy	♂	7	8	4	11	2,6277

A táblázat adatai alapján szembeötlő különbség nem látható a különböző mintahalmazok között. A hernyótömeg-növekedés mértékének alakulását a 36. táblázat mutatja be.

36. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke hímek hernyótömeg-növekedésének alakulása a negyedik lárvastádiumban

Mintahalmaz	Nem	N (db)	Hernyótömeg-növekedés átlaga	Hernyótömeg-növekedés szélsőértékei (g)		Hernyótömeg-növekedés szórása
			g	min	max	g
Cs	♂	15	0,1311	0,0910	0,1757	0,0269
CsGy3	♂	5	0,1288	0,0977	0,1537	0,0219
CsGy5	♂	11	0,1016	0,0415	0,2440	0,0590
Gy	♂	7	0,0819	0,0023	0,1810	0,0558

Ugyan a fejlődési időben nem mutatkozott különbség, a növekedés esetében ez már nem mondható el. A mintahalmazok közül gyertyán levelet ebben a lárvastádiumban csak a CsGy3 és a Gy csoport egyedei kaptak. Utóbbiak növekedése láthatóan gyengébb volt. A Cs és a CsGy5 mintacsoport közti különbséget jelen pillanatban még semmi sem indokolja, hiszen ebben a lárvastádiumban azonos körülmények között és azonos tápanyagon neveltük őket.

A levéltömeg fogyasztás alakulását a 37. táblázat mutatja.

37. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke hímek száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása a negyedik lárvastádiumban

Mintahalmaz	Nem	N (db)	Száraz levéltömeg-fogyasztás átlaga	Száraz levéltömeg-fogyasztás szélsőértékei (g)		Száraz levéltömeg-fogyasztás szórása
			g	min	max	g
Cs	♂	15	0,1667	0,0888	0,5943	0,0464
CsGy3	♂	5	0,2539	0,0756	0,4107	0,1370
CsGy5	♂	11	0,1656	0,0064	0,5459	0,1578
Gy	♂	7	0,1678	0,0108	0,2933	0,1018

A levéltömeg-fogyasztás értékét úgy kaptam, hogy megmértem a hernyóhoz betett egész levél tömegét, majd később a maradék levél tömegét is. A maradék leveleket ezután szárítószekrényben légszárazra szárítottam. Miután ezt megmértem, megkaptam a maradék levél száraz tömegét. Az egész levél száraz tömegét etalon levelek szárításával, illetve mérésével becsültem meg. A száraz levéltömeg fogyasztás értéke nem más, mint az egész levél száraz tömegének és a maradék levél száraz tömegének különbsége.

A 37. táblázat eredményei nem mindenhol mutatnak összefüggést a hernyótömeg-növekedéssel.

4.3.4. A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke nőstények fejlődésmenete az ötödik lárvastádiumig

A nevelés során néhány nőstény egyed esetében rosszul határoztam meg a lárvastádiumot. Ezt a hibát később ugyan felismertük és korrigáltuk, de így nem rendelkezem róluk adatokkal a negyedik lárvastádiumból. Az eredmények részletes bemutatását így a nőstények esetében L_5-től kezdem el.

10.13147/SOE.2021.002

A nőstények fejlődési idejének alakulását a 38. táblázat mutatja be.

38. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke nőstények fejlődési idejének alakulása az első négy lárvastádiumban

Mintahalmaz	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
			nap	min	max	nap
Cs	♀	11	25	20	30	3,8019
CsGy3	♀	16	27	21	32	3,5870
CsGy5	♀	10	28	16	36	4,9710
Gy	♀	3	32	31	33	1,1547

A táblázat értékei hasonló összefüggést mutatnak, mint amit a hímek esetében láttunk a 33. táblázatban. A gyertyánon nevelt nőstények fejlődési ideje a leghosszabb, míg a kizárólag cseren nevelt egyedeké a legrövidebb. Meg kell jegyezni ugyanakkor, hogy a CsGy5 mintacsoport nőstényeinek értéke láthatólag különbözik az Cs-től, pedig ebben a fejlődési szakaszban mindkettő ugyanazon a tápnövényen fejlődött.

4.3.5. A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete az ötödik lárvastádiumban

Ebben a lárvastádiumban a hím gyapjaslepkék túlnyomó többsége bebábozódott. Egyetlen egyed viszont továbbfejlődött a hatodik lárvastádiumba, és ott bábozódott be. Ez a hernyó a CsGy5 mintahalmazban volt. Az ő adatait ezen fejezet számításai során nem használtam fel.

A fejlődési idő alakulását az ötödik lárvastádiumban a 39. táblázat mutatja be.

39. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék fejlődési idejének alakulása az ötödik lárvastádiumban

Mintahalmaz	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
			nap	min	max	nap
Cs	♂	15	13	10	18	2,2424
	♀	11	8	7	9	0,7508
CsGy3	♂	5	17	14	20	2,1679
	♀	16	9	5	13	2,2426
CsGy5	♂	10	16	10	20	2,5473
	♀	10	8	6	11	1,4491
Gy	♂	7	13	11	16	1,9881
	♀	3	6	5	8	1,5275

10.13147/SOE.2021.002

A fejlődési idő legnagyobb átlagos értékei a hímeknél azokban a mintacsoportokban láthatóak, ahol a fejlődés során tápnövényváltás történt. A nőstények esetében nem tapasztalható nagy különbség, de a legrövidebb átlagos fejlődési idő mindkét nemnél a Gy mintahalmazban észlelhető.

A hernyótömeg-növekedés értékeinek alakulását az ötödik lárvastádiumban a 40. táblázat mutatja be.

40. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék hernyótömeg-növekedésének alakulása az ötödik lárvastádiumban

Mintahalmaz	Nem	N (db)	Hernyótömeg-növekedés átlaga	Hernyótömeg-növekedés szélsőértékei (g)		Hernyótömeg-növekedés szórása
			g	min	max	g
Cs	♂	15	0,3274	0,2380	0,4327	0,0528
	♀	11	0,3576	0,2397	0,4871	0,0760
CsGy3	♂	5	0,3063	0,2500	0,4026	0,0718
	♀	16	0,2170	0,1241	0,2847	0,0409
CsGy5	♂	10	0,2945	0,1201	0,4474	0,1104
	♀	10	0,2759	0,1475	0,5023	0,1046
Gy	♂	7	0,2945	0,1911	0,4201	0,0859
	♀	3	0,1267	0,1024	0,1676	0,0356

Az átlagos hernyótömeg-növekedés értéke mindkét nemnél a Gy mintahalmazban a legkisebb és a Cs-nél a legnagyobb. Azok a csoportok, ahol tápnövényváltás történt a kettő között helyezkednek el.

A száraz levéltömeg-fogyasztás alakulását a 41. táblázat mutatja be.

41. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása az ötödik lárvastádiumban

Mintahalmaz	Nem	N (db)	Száraz levéltömeg-fogyasztás átlaga	Száraz levéltömeg-fogyasztás szélsőértékei (g)		Száraz levéltömeg-fogyasztás szórása
			g	min	max	g
Cs	♂	15	0,5647	0,4170	0,7648	0,1177
	♀	11	0,3278	0,1432	0,5583	0,1294
CsGy3	♂	5	0,9336	0,5583	1,2994	0,2744
	♀	16	0,4572	0,2305	0,7699	0,1533
CsGy5	♂	10	0,8618	0,2148	1,3065	0,3116
	♀	10	0,4739	0,3760	0,6095	0,0772
Gy	♂	7	0,7725	0,5086	1,0371	0,1826
	♀	3	0,2297	0,1655	0,3416	0,0973

10.13147/SOE.2021.002

A Cs mintahalmaz nőstényeinek száraz levéltömeg-fogyasztása kisebb, mint a hernyótömeg-növekedése. Ez úgy lehetséges, hogy a növekedés értékében a bevitt levélnedvesség is benne van. A száraz levéltömegben viszont nincs. Ahogyan L_4-ben, úgy itt is a Cs mintacsoportnál a legkisebb a levéltömeg-fogyasztás átlagos értéke. Annak ellenére is ez a helyzet, hogy ezeknél az egyedeknél lehetett mérni a legnagyobb hernyótömeg-növekedést. Ez alapján a cser igen kedvező tápnövény a gyapjaslepke számára.

4.3.6. A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a hatodik lárvastádiumban

A hatodik lárvastádiumot elért gyapjaslepke nőstények túlnyomó része sikeresen bebábozódott ebben a stádiumban. Egy nőstény a CsGy5 mintahalmazból és kettő a Gy-ből tovább vedlett L_7-be.

A fejlődés során az utolsó lárvastádium adatai lényegesen eltérnek a többitől. Ezért a tovább vedlett egyedek értékeit nem vettem be a bebábozódott egyedekkel végzett számításokba. Azonban a Gy mintacsoportban így csupán 1 nőstény maradt. Ahhoz, hogy az összehasonlítást elvégezhessem a továbbvedlett hernyóknak az L_7-es értékeit vettem figyelembe.

Egy hím jutott el a hatodik lárvastádiumig, ez az egyed itt gond nélkül bebábozódott.

A fejlődési idő alakulását a 42. táblázat mutatja be.

42. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék fejlődési idejének alakulása a hatodik lárvastádiumban

Mintahalmaz	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
			nap	min	max	nap
Cs	♀	11	16	14	20	1,9540
CsGy3	♀	16	19	11	28	4,0166
CsGy5	♂	1	14			
CsGy5	♀	9	17	14	20	1,8333
Gy	♀	3	19	16	21	2,6458

A fejlődés átlagos ideje ezúttal az első, azaz cseren nevelt mintacsoportban volt a leggyorsabb. A hernyótömeg-növekedés alakulását a 43. táblázat mutatja be.

10.13147/SOE.2021.002

43. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék hernyótömeg-növekedésének alakulása a hatodik lárvastádiumban

Mintahalmaz	Nem	N (db)	Hernyótömeg-növekedés átlaga	Hernyótömeg-növekedés szélsőértékei (g)		Hernyótömeg-növekedés szórása
			g	min	max	g
Cs	♀	11	1,0752	0,7126	1,4230	0,2391
CsGy3	♀	16	0,6174	0,2980	1,2426	0,2491
CsGy5	♂	1	0,2407			
CsGy5	♀	9	0,5428	0,3634	0,6894	0,0999
Gy	♀	3	0,4462	0,3855	0,4779	0,0526

Ahogy az előző lárvastádiumban, úgy itt is a két kontroll mintahalmaz átlagos hernyótömeg-növekedési értékei képviselik a két szélsőértéket. Azok az egyedek, ahol a tápnövényváltás korábban történt, valamivel jobban növekedtek, mint azok, ahol csak L_5-ben váltottam csertölgyről gyertyánra.

A száraz levéltömeg-fogyasztás alakulását a 44. táblázat mutatja.

44. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása a hatodik lárvastádiumban

Mintahalmaz	Nem	N (db)	Száraz levéltömeg-fogyasztás átlaga	Száraz levéltömeg-fogyasztás szélsőértékei (g)		Száraz levéltömeg-fogyasztás szórása
			g	min	max	g
Cs	♀	11	1,8027	0,8694	2,5637	0,6267
CsGy3	♀	16	1,9570	1,3196	2,7673	0,4403
CsGy5	♂	1	0,8822			
CsGy5	♀	9	1,8126	1,2557	2,4588	0,4431
Gy	♀	3	1,8429	1,7865	1,9059	0,0600

Ebben a lárvastádiumban nem tapasztalható nagy eltérés a mintacsoportok átlagos értékei között.

4.3.7. A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a bábállapotban

A mintahalmazokat a hernyófejlődés lezárulását követően bábállapotban is tovább vizsgáltam. A bábállapotban töltött idő alakulását a 45. táblázat mutatja.

10.13147/SOE.2021.002

45. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék bábállapotban töltött idejének alakulása

Mintahalmaz	Nem	N (db)	Bábállapotban töltött idő átlaga	Bábállapotban töltött idő szélsőértékei (nap)		Bábállapotban töltött idő szórása
			nap	min	max	nap
Cs	♂	15	17	15	20	1,3452
	♀	11	15	13	16	0,9244
CsGy3	♂	5	16	14	19	1,9494
	♀	16	13	11	16	1,6533
CsGy5	♂	11	16	12	17	1,5667
	♀	10	13	11	15	1,0541
Gy	♂	7	15	14	17	0,9759
	♀	3	14	13	14	0,5774

A hímeknél a bábállapotban töltött átlagos idő a Cs mintacsoportban a leghosszabb, míg a Gy-ben a legrövidebb. Azok a mintacsoportok, ahol a lárvafejlődés során tápnövényváltás történt köztes helyet foglalnak el. A nőstények esetében azonban ez az összefüggés nem mondható el. Ott a legrövidebb bábban töltött idő a két középső mintacsoportnál látható.

A bábtömegek alakulását a 46. táblázat mutatja.

46. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék bábtömegének alakulása

Mintahalmaz	Nem	N (db)	Bábtömeg átlaga	Bábtömeg szélsőértékei (g)		Bábtömeg szórása
			g	min	max	g
Cs	♂	15	0,4274	0,3321	0,5490	0,0604
	♀	11	1,2027	0,8423	1,9082	0,3251
CsGy3	♂	5	0,3655	0,3152	0,4266	0,0458
	♀	16	0,6126	0,3133	0,8287	0,1300
CsGy5	♂	11	0,3180	0,2084	0,4322	0,0610
	♀	10	0,6318	0,5228	0,7866	0,0959
Gy	♂	7	0,3017	0,2680	0,3356	0,0301
	♀	3	0,5273	0,4500	0,5729	0,0673

Ezúttal hasonló összefüggés tapasztalható a két nemnél. A bábtömegek a Cs mintacsoportban a legnagyobbak és a Gy-ben a legkisebbek. Azok az egyedek, akiknek étrendjében mindkét tápnövény szerepelt a két szélső érték között szerepelnek.

10.13147/SOE.2021.002

4.3.8. A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenete a lárva és a teljes egyedfejlődés során

Mivel előfordulhat, hogy egy nagyobb fejlődési intervallumot vizsgálva a tendenciák mások lehetnek, mint rövidebb időszakokat szemlélve, a számításaimat a teljes egyedfejlődés időszakára is kiterjesztettem. A fejlődési idő alakulását a lárva állapotban a 47. táblázat mutatja.

47. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék lárva állapotban töltött idejének alakulása

Mintahalmaz	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
			nap	min	max	nap
Cs	♂	15	44	37	53	4,6884
	♀	11	50	42	56	4,1187
CsGy3	♂	5	46	44	50	2,3022
	♀	16	54	46	63	5,0658
CsGy5	♂	11	49	44	54	3,8542
	♀	10	54	42	68	7,0087
Gy	♂	7	52	49	55	2,2678
	♀	3	63	58	67	4,5092

A táblázat adataiból látszik, hogy ha a teljes lárvafejlődési időt vizsgáljuk, akkor a kizárólag csert és kizárólag gyertyánt fogyasztó mintacsoportok jelentik a szélsőséget. Ahol mindkét tápnövény szerepelt az étrendben ott az értékek a kettő között helyezkednek el.

A teljes egyedfejlődés idejének alakulását a 48. táblázat mutatja be.

10.13147/SOE.2021.002

48. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék teljes fejlődési idejének alakulása

Mintahalmaz	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
			nap	min	max	nap
Cs	♂	15	60	54	70	5,2163
	♀	11	64	57	70	4,1319
CsGy3	♂	5	63	59	69	4,1473
	♀	16	66	58	74	4,7311
CsGy5	♂	11	64	58	70	3,7707
	♀	10	67	57	81	6,4472
Gy	♂	7	68	64	72	2,7603
	♀	3	76	72	80	4,0415

A 47. táblázat összefüggéseit a 48. táblázat adatai is alátámasztják. A csert fogyasztó gyapjaslepkék átlagos fejlődési ideje számottevően rövidebb, mint a kizárólag gyertyánt fogyasztó társaiké. Azokban a mintacsoportokban, ahol mindkét tápnövényt fogyasztották a fejlődési idő a két szélső eset között foglal helyet. Megjegyzendő, hogy ott, ahol a tápnövényváltás korábban megtörtént a fejlődési idő rövidebb. Ennek talán az is lehet az oka, hogy korábbi tápnövényváltás esetén jobban tud alkalmazkodni az új táplálékhoz.

A hernyótömeg-növekedés alakulását a teljes mért egyedfejlődés alatt a 49. táblázat mutatja.

49. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék hernyótömeg-növekedésének alakulása az ötödik lárvastádiumtól a bebábozódásig

Mintahalmaz	Nem	N (db)	Hernyótömeg-növekedés átlaga	Hernyótömeg-növekedés szélsőértékei (g)		Hernyótömeg-növekedés szórása
			g	min	max	g
Cs	♂	15	0,4585	0,3752	0,5943	0,0641
	♀	11	1,4328	1,0008	1,8945	0,2931
CsGy3	♂	5	0,4351	0,3522	0,5402	0,0747
	♀	16	0,8344	0,5149	1,3667	0,2406
CsGy5	♂	11	0,3912	0,1616	0,6914	0,1556
	♀	10	0,8767	0,6497	1,4866	0,2368
Gy	♂	7	0,3764	0,2913	0,4899	0,0825
	♀	3	0,8598	0,5803	1,0604	0,2496

A legnagyobb hernyótömeg-növekedés a Cs mintahalmaznál volt tapasztalható. A hímek esetében a legkisebbek a Gy mintacsoport értékei, a nőstényeknél meg a CsGy3 mintacsoporté. Figyelembe kell vennünk azt i, hogy a CsGy3 mintacsoport hímjei zömében csak egy lárvastádiumban fogyasztottak gyertyánt, míg a nőstények kettőben. Ennek ellenére utóbbiak esetében a növekedés értékei a második legnagyobbak. A száraz levélfogyasztás alakulását a teljes mért időintervallumban az 50. táblázat mutatja be.

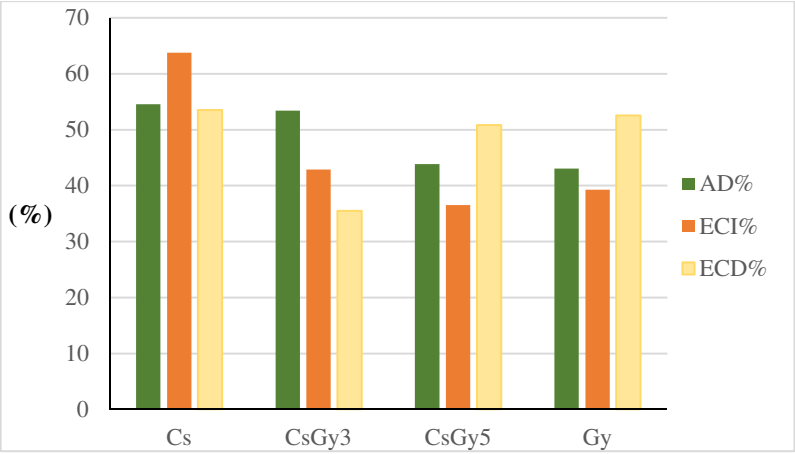
50. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása a teljes mért időszak alatt

Mintahalmaz	Nem	N (db)	Száraz levéltömeg-fogyasztás átlaga	Száraz levéltömeg-fogyasztás szélsőértékei (g)		Száraz levéltömeg-fogyasztás szórása
			g	min	max	g
Cs	♂	15	0,7315	0,5337	1,0064	0,1358
	♀	11	2,1305	1,0126	2,8683	0,6951
CsGy3	♂	5	1,1876	0,8795	1,7101	0,3349
	♀	16	2,4142	1,6250	3,3224	0,4841
CsGy5	♂	11	1,1075	0,7242	1,8524	0,3182
	♀	10	2,2980	1,7024	2,9694	0,4336
Gy	♂	7	0,9403	0,6700	1,2704	0,2025
	♀	3	2,6021	2,0020	3,4533	0,7576

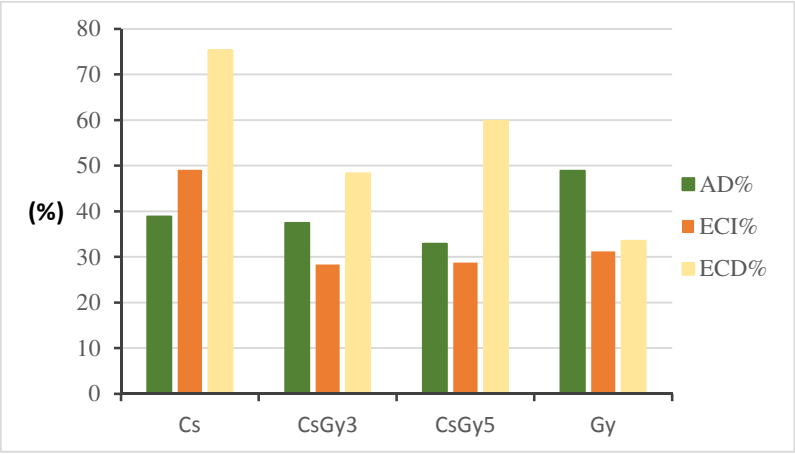
A 50. táblázat adatait vizsgálva a korábbiakhoz hasonlóan felfedezhetjük, hogy bár a Cs mintahalmaz egyedei rövid fejlődési idő alatt a legnagyobb hernyótömeg-növekedést produkálták, a száraz levéltömeg-fogyasztásuk a legkisebb volt. Úgy tűnik tehát, hogy a cser tápanyagait jobban hasznosítják. Ezt tehát indokolt volt táplálkozási indexekkel is megvizsgálnom.

4.3.9. Táplálkozási indexek a különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkéknél

A különböző tápanyagon nevelt gyapjaslepke hernyók táplálkozási indexeit a 15. és a 16. ábrán mutatom be.



15. ábra: Különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke hímek táplálkozási indexeinek átlagos értékei a teljes mért lárvafejlődés alatt



16. ábra: Különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke nőstények táplálkozási indexeinek átlagos értékei a teljes mért lárvafejlődés alatt

Az átlagos táplálék hasznosulási (AD) % a hímek esteében az Cs mintacsoportnál a legnagyobb és a Gy-nél a legkisebb. A nőstényeknél viszont a kizárólag gyertyánon nevelt egyedek értéke a legnagyobb. Azoknál az indexeknél, ahol a képletben a hernyótömeg-növekedés értéke is szerepelt, ott mindkét nemnél az Cs mintacsoport adatai a legnagyobbak.

4.3.10. Különbségek a különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék fejlődésmenetében

Az 51. táblázat tartalmazza a szignifikáns különbségeket az egyedek fejlődésmenetében. A vizsgálatot Kruskal-Wallis próbával végeztem el. Feltüntettem,

10.13147/SOE.2021.002

hogy melyik mintacsoportok között volt szignifikáns különbség, illetve ezt a számított p értékben piros színnel jelöltem.

51. táblázat: Szignifikáns különbségek a különböző tápnövényen nevelt mintahalmazok fejlődésmenetében

Mérőszámok, indexek	Nőstények		Hímek	
	$p_{számított}$, p=0,05	Szignifikáns különbségek	$p_{számított}$, p=0,05	Szignifikáns különbségek
Fejlődési idő L1-L3			0,0002	Cs-Gy; CsGy3-Gy
Fejlődési idő L1-L4	0,0470	Cs-Gy		
Fejlődési idő L4			0,7361	
Fejlődési idő L5	0,2299		0,0091	Cs-CsGy3
Fejlődési idő L6	0,1329			
Teljes lárva fejlődési idő	0,0144	Cs-Gy	0,001	Cs-Gy
Bábállapot időtartama	0,0173	Cs-CsGy3; Cs-CsGy5	0,3145	
Teljes fejlődési idő	0,0444	Cs-Gy	0,0105	Cs-Gy
AD%	0,0376	CsGy5-Gy	0,0080	Cs-CsGy5; Cs-Gy
ECL%	0,0002	Cs-CsGy3; Cs-CsGy5	0,0013	Cs-CsGy5; Cs-Gy
ECD%	0,0021	Cs-CsGy3; Cs-Gy	0,1044	
L4 hernyótömeg-növekedés				
L5 hernyótömeg-növekedés	0,0001	Cs-CsGy3; Cs-Gy	0,7255	
L6 hernyótömeg-növekedés	0,0001	Cs-CsGy3; Cs-CsGy5; Cs-Gy		
Teljes hernyótömeg-növekedés	0,0003	Cs-CsGy3; Cs-CsGy5	0,1908	
Bábtömeg	0,0000	Cs-CsGy3; Cs-CsGy5; Cs-Gy	0,0001	Cs-CsGy5; Cs-Gy
L4 levéltömeg-fogyasztás			0,3612	
L5 levéltömeg-fogyasztás	0,0516		0,0018	CsGy3-CsGy5
L6 levéltömeg-fogyasztás	0,8767			
Teljes levéltömeg-fogyasztás	0,6736		0,0009	CsGy3-CsGy5

Ahogy az eddigiekből is látható a különböző nemek eltérően adnak szignifikáns különbségre utaló eredményt.

4.4. A nemzedékek között bekövetkezett tápnövényváltás eredményei

A nevelési kísérlet eredményeinek java részét a 2012-es diplomamunkámból idézem. A nevelési kísérletet és a keresztezéseket én végeztem el annak részeként. A kísérlet végén a keresztezésekből származó petecsomókat Hasulyó Péter (2012) számolta meg, így az ezeket tartalmazó számításaimhoz az ő adataira támaszkodom.

10.13147/SOE.2021.002

A kísérlet során három különböző populációból (horvát, magyar, osztrák) származó mintát neveltem fel Pannónia nyár (*Populus* x *euramericana* Pannónia) tápnövényen. A három populációból kettőnek nem ez volt az eredeti tápnövénye. A nevelési kísérlet sikeres volt, a negyedik lárvastádiumban kiválasztott 150 (50-50-50) db gyapjaslepke hernyó alacsony mortalitással fejlődött több vedlésen át, így eljutott a bebábozódásig, és a bábból kikelve a jelenetős részük sikeresen párosodott.

Az áttekinthetőség kedvéért az eltérő populációból származó gyapjaslepkék lárvafejlődésének alakulását a IV.a. és IV.b. mellékletben egy összefoglaló táblázatban is bemutatom.

4.4.1. Az eltérő tápnövényről származó populációk hernyókelésének megindulása

A keltetés kezdete: 2011.05.02.

A hernyókelés alakulása a különböző populációkban:

Osztrák populáció: 2011. május 5.

Magyar populáció: 2011. május 7.

Horvát populáció: 2011. május 8.

Mindhárom mintahalmaz egyedei elfogadták a Pannónia nyár tápnövényt, és ugyan némi időeltolódással, de sikeresen eljutottak a negyedik lárvastádiumba.

4.4.2. Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődésmenete a negyedik lárvastádiumban

A nevelési kísérlet során populációnkként 50 egyedet választottam ki a negyedik lárvastádiumban. Innentől kezdve elvégeztem minden mérést, ami a vizsgált egyedek fejlődési idejének, hernyótömeg-növekedésének és levéltömeg-fogyasztásának megállapításához kell.

Azonban a negyedik lárvastádiumba történő vedlést nem mindig tudtam az adott napon rögzíteni. Így bizonyos egyedeket az L_4-be csak néhány nappal a vedlések után

10.13147/SOE.2021.002

tudtam kiválasztani. Az ilyen egyedek adatai nem vonatkoztathatóak a teljes lárvastádiumra. Így a számításaimat csak az ötödik lárvastádiumtól kezdve mutatom be. Annyit jegyeznék meg a negyedik lárvastádiumról, hogy legkorábban az osztrák gyapjaslepke populáció tagjai jutottak el L_4-be. Ezt követően a magyar, míg utoljára a horvát populáció tagjai érték el ezt a fejlettségi szintet.

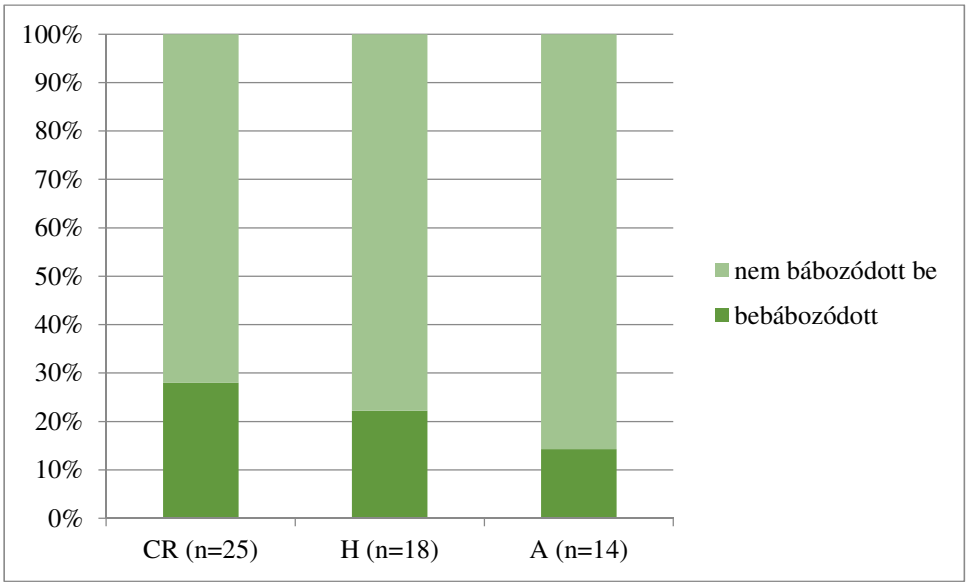
4.4.3. Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődésmenete az ötödik lárvastádiumban

Mortalitás az ötödik lárvastádiumban:

magyar	osztrák
1 db hernyó	3 db hernyó

Miután az elpusztult egyedek nemét nem tudtam meghatározni, így a számításaimban az adataik nem szerepelnek.

A populációk jelölésére itt és a későbbiekben is a ‚CR' ‚H' ‚A' betűket használom. A ‚H' betű a magyar, az ‚A' az osztrák, a ‚CR' a horvát populációt jelenti. Az ötödik lárvastádiumban a hím egyedek egy része bebábozódott, ám többségük tovább vedlett L_6-ba. Ennek arányát mutatja a 17. ábra.



17. ábra: Az eltérő populációból származó bebábozódott hímek aránya az ötödik lárvastádiumban

A fejlődési idő alakulását az 52. táblázat mutatja.

10.13147/SOE.2021.002

52. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődési idejének alakulása az ötödik lárvastádiumban

Populáció	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (L_5)		Fejlődési idő szórása
			L_5	min	max	L_5
L_5-ben bebábozódtak						
CR	♂	7	14	13	18	1,7700
H	♂	4	13	9	18	4,9200
A	♂	2	17	17	17	0,0000
továbbvedlettek L_6-ba						
CR	♂	18	9	7	19	2,9600
H	♂	14	8	2	11	2,2400
A	♂	12	9	6	17	2,2400
CR	♀	25	9	4	14	2,2400
H	♀	28	9	4	16	2,8900
A	♀	31	8	1	11	1,7100

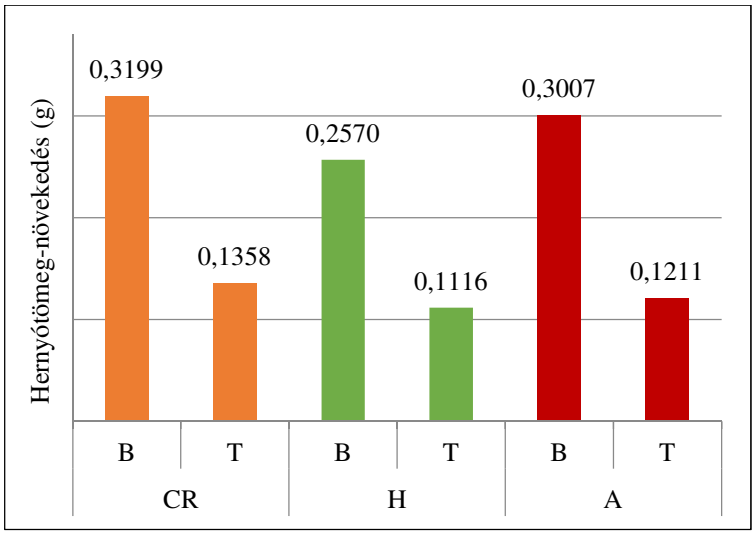
A táblázatban külön kezeltem az L_5-ben bebábozódott és tovább vedlett hímek adatait. A három populációból származó minta hernyótömeg-növekedésének alakulását az 53. táblázat mutatja be.

53. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk hernyótömeg-növekedésének alakulása az ötödik lárvastádiumban

Populáció	Nemek	N (db)	Hernyótömeg-növekedés átlaga	Hernyótömeg-növekedés szélsőértékei (g)		Hernyótömeg-növekedés szórása
			g	Min	Max	g
CR	♂	25	0,2072	0,0713	0,5736	0,1254
	♀	25	0,2525	0,1082	0,4170	0,0860
H	♂	18	0,1532	0,0000	0,4338	0,0991
	♀	28	0,2818	0,0471	0,5779	0,1361
A	♂	14	0,1857	0,0888	0,4175	0,1182
	♀	31	0,2552	0,0000	0,3846	0,1009

Ebben a táblázatban együtt kezeltem az L_5-ben bebábozódott hímeket a tovább vedlett társaikkal. Ahogyan a fejlődési idő eltér egymástól, úgy ez a hernyótömeg-növekedés értékeire is igaz. Ezt érzékelteti a 18. ábra. Összehasonlításképpen az ötödik lárvastádium 9. napjáig történő hernyótömeg-növekedést mutatom be. A tovább vedlett hímek ugyanis átlagosan 9 napig voltak L_5-ben.

10.13147/SOE.2021.002



18. ábra: A bebábozódott és továbbfejlődött egyedek átlagos hernyótömeg-növekedése az ötödik lárvastádium 9. napján

A ‚B' a bebábozódott, a ‚T' a tovább vedlett egyedekre utal.

A száraz levéltömeg-fogyasztás alakulását az 54. táblázat mutatja be.

54. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása az ötödik lárvastádiumban

Populáció	Nem	N (db)	Száraz levéltömeg-fogyasztás átlaga	Száraz levéltömeg-fogyasztás szélsőértékei (g)		Száraz levéltömeg-fogyasztás szórása
			g	min	max	g
L_5-ben bebábozódtak						
CR	♂	7	0,6414	0,1573	1,0790	0,3166
H	♂	4	0,5694	0,2933	1,0542	0,3360
A	♂	2	0,5146	0,4374	0,5918	0,1092
továbbvedlettek L_6-ba						
CR	♂	18	0,2687	0,0140	0,7134	0,1975
H	♂	14	0,1834	0,0283	0,7053	0,1756
A	♂	12	0,2058	0,0545	0,6683	0,1572
CR	♀	25	0,2700	0,0926	0,6111	0,1696
H	♀	28	0,2840	0,0498	0,8980	0,1712
A	♀	31	0,2527	0,0141	0,6034	0,1008

10.13147/SOE.2021.002

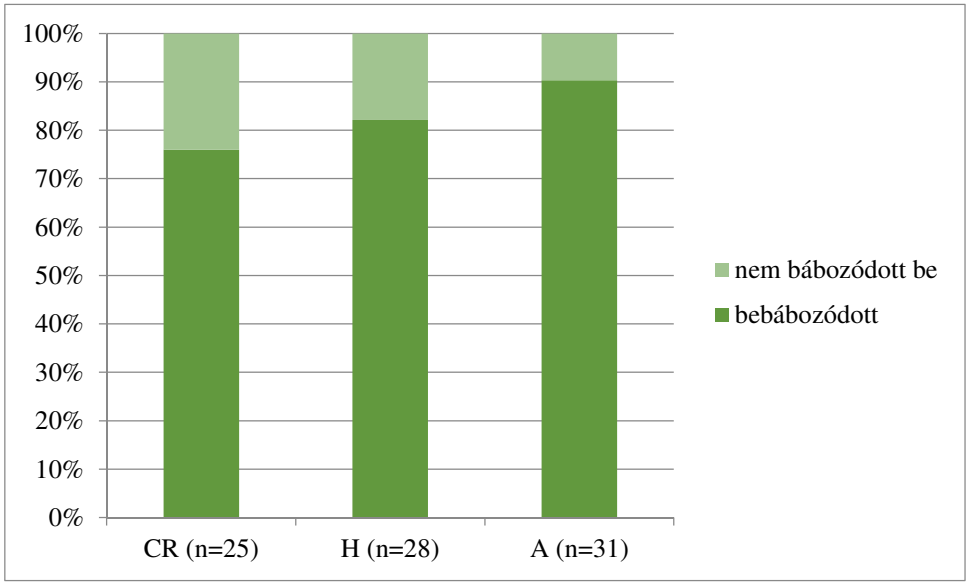
4.4.4. Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődésmenete a hatodik lárvastádiumban

Mortalitás a hatodik lárvastádiumban:

magyar	osztrák
3 db hernyó	2 db hernyó

Az elpusztult egyedek adatait nem használtam fel a számításaimhoz.

A hatodik lárvastádiumban minden hím egyed bebábozódott. A nőstények egy része tovább vedlett a hetedik lárvastádiumban. Az L_6-ban bebábozódott nőstények arányát az 19. ábra mutatja.



19. ábra: Az eltérő populációból származó bebábozódott nőstények aránya

A fejlődési idő alakulását az 55. táblázat mutatja.

10.13147/SOE.2021.002

55. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődési idejének alakulása a hatodik lárvastádiumban

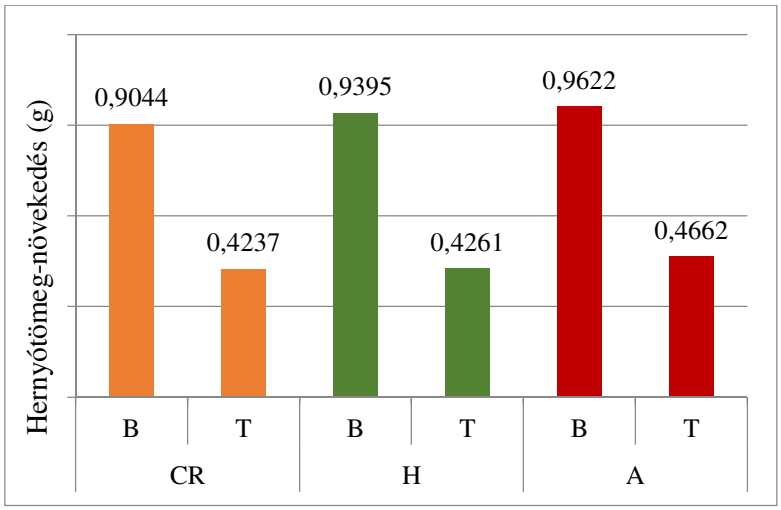
Populáció	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (L_6)		Fejlődési idő szórása
			L_6	min	max	L_6
L_6-ban bebábozódtak						
CR	♂	19	15	9	23	3,0100
H	♂	14	15	10	19	3,0300
A	♂	12	19	12	38	6,8900
CR	♀	19	17	14	21	2,1600
H	♀	23	16	9	23	3,1500
A	♀	28	18	13	26	3,3700
továbbvedlettek L_7-be						
CR	♀	6	10	8	11	1,3300
H	♀	5	10	7	17	4,0000
A	♀	3	9	8	11	1,5300

A három mintahalmaz hernyótömeg-növekedését jellemző adatokat az 56. táblázat tartalmazza.

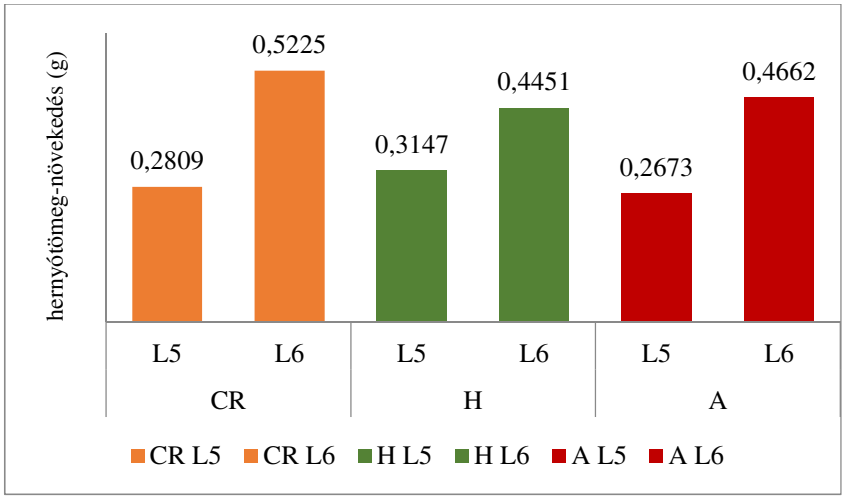
56. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk hernyótömeg-növekedésének alakulása a hatodik lárvastádiumban

Populáció	Nem	N (db)	Hernyótömeg-növekedés átlaga	Hernyótömeg-növekedés szélsőértékei (g)		Hernyótömeg-növekedés szórása
			g	Min	Max	g
CR	♂	19	0,3586	0,2177	0,5436	0,0711
	♀	24	0,9281	0,2570	1,5015	0,3621
H	♂	14	0,4038	0,2344	1,2480	0,2605
	♀	28	1,0698	0,2428	1,9974	0,4372
A	♂	12	0,3435	0,1651	0,5058	0,0977
	♀	31	1,0974	0,3314	1,8274	0,3314

Ez a táblázat tartalmazza az L_7-be továbbvedlő nőstények értékei is. Utóbbi és az L_6-ban bebábozódó egyedek közötti növekedésbeli különbséget a 20. ábrán szemléltetem. Itt a hatodik lárvastádium első 10 nap alatt produkált átlagos hernyótömeg-növekedését ábrázoltam a 19. ábrához hasonlóan elkülönítve a bebábozódott (B) és a továbbvedlett (T) egyedeket.



20. ábra: Az eltérő populációból származó bebábozódott és továbbfejlődött egyedek átlagos hernyótömeg-növekedése a hatodik lárvastádium 10. napján



21. ábra: Az L_6-ban bebábozódó L_5-ös és az L_7-ben bebábozódó L_6-os hernyók átlagos hernyótömeg-növekedése

A 21. ábra azt mutatja, hogyan viszonyul egymáshoz az L_6-ban és az L_7-ben bebábozódó hernyók hernyótömeg-növekedése az utolsó előtti lárvastádiumban. Ez az összehasonlítás arra szolgál, hogy kizárhassuk azt a hibát, hogy az L_7-be továbbvedlő nőstények valójában L_5-ből L_6-ba vedlő egyedek lettek volna.

A száraz levéltömeg-fogyasztás alakulását az 57. táblázat mutatja be.

10.13147/SOE.2021.002

57. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása a hatodik lárvastádiumban

Populáció	Nem	N (db)	Száraz levéltömeg-fogyasztás átlaga	Száraz levéltömeg-fogyasztás szélsőértékei (g)		Száraz levéltömeg-fogyasztás szórása
			g	min	max	g
L_6-ben bebábozódtak						
CR	♂	18	0,7946	0,2501	2,0110	0,5309
H	♂	14	0,6354	0,2814	1,1090	0,2235
A	♂	12	0,8681	0,3768	2,1378	0,5532
CR	♀	19	2,4458	0,7524	4,1548	0,8994
H	♀	23	1,8716	1,0587	3,0958	0,5781
A	♀	26	1,6459	0,9686	2,8843	0,4174
továbbvedlettek L_7-ba						
CR	♀	6	0,5886	0,3722	1,1075	0,2886
H	♀	5	0,4105	0,2227	0,6637	0,1640
A	♀	3	0,4049	0,3289	0,4861	0,0788

4.4.5. Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődésmenete a hetedik lárvastádiumban

A hetedik lárvastádiumban nem volt mortalitás. Azok a nőstények, akik elérték ezt a fejlettségi szintet szabályosan bebábozódtak.

Az erre a stádiumra jellemző adatokat az 58. az 59. és az 60. táblázat mutatja.

58. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődési idejének alakulása a hetedik lárvastádiumban

Populáció	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (L_6)		Fejlődési idő szórása
			L_7	min	max	L_7
CR	♀	6	16	15	18	1,0300
H	♀	5	17	14	19	1,7900
A	♀	3	17	16	20	2,3100

10.13147/SOE.2021.002

59. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk hernyótömeg-növekedésének alakulása a hetedik lárvastádiumban

Populáció	Nem	N (db)	Hernyótömeg-növekedés átlaga	Hernyótömeg-növekedés szélsőértékei (g)		Hernyótömeg-növekedés szórása
			g	Min	Max	g
CR	♀	6	1,3388	1,1098	1,7733	0,2332
H	♀	5	1,2054	0,5133	2,0233	0,5568
A	♀	3	1,5194	1,1124	1,7537	0,3538

60. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása a hetedik lárvastádiumban

Populáció	Nem	N (db)	Száraz levéltömeg-fogyasztás átlaga	Száraz levéltömeg-fogyasztás szélsőértékei (g)		Száraz levéltömeg-fogyasztás szórása
			g	min	max	g
CR	♀	6	2,7934	2,3030	3,3253	0,4425
H	♀	5	2,3373	1,3863	3,8121	0,9886
A	♀	3	2,0918	1,3085	2,5821	0,6855

4.4.6. Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődésmenete a teljes lárvafejlődés során

Mortalitás a teljes hernyófejlődés során:

magyar	osztrák
8% (4 db)	10% (5 db)

A horvát populációban nem történt idő előtti pusztulás.

A vizsgált populációk fejlődésmenetét jellemző adatokat a 61., 62. és 63. táblázat tartalmazza.

10.13147/SOE.2021.002

61. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődési idejének alakulása a teljes lárvafejlődés során

Populáció	Nem	N (db)	Fejlődési idő átlaga	Fejlődési idő szélsőértékei (nap)		Fejlődési idő szórása
			nap	min	max	nap
CR	♂	25	47	39	78	8,5719
H	♂	18	45	30	57	6,7644
A	♂	14	46	36	60	6,7644
CR	♀	25	54	44	73	8,3183
H	♀	28	47	37	56	5,0800
A	♀	31	46	27	63	6,4585

Mindkét nem esetében a legnagyobb átlagos fejlődési időt a horvátországi populációnál látjuk. A horvátországi nőstények esetében ez az adat látványosabban tér el. Megjegyezendő, hogy nemtől függetlenül a szórás értékek is az említett populációból származó mintán a legnagyobbak.

62. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk hernyótömeg-növekedésének alakulása a lárvafejlődés mért időszaka alatt

Populáció	Nemek	N (db)	Hernyótömeg-növekedés átlaga	Hernyótömeg-növekedés szélsőértékei (g)		Hernyótömeg-növekedés szórása
			g	Min	Max	g
CR	♂	25	0,4654	0,2846	0,8531	0,1159
	♀	25	1,4855	0,7693	2,4294	0,3772
H	♂	18	0,4673	0,2127	1,3211	0,2469
	♀	28	1,5669	0,8032	3,1228	0,4885
A	♂	14	0,4801	0,2972	0,8278	0,1464
	♀	31	1,4997	0,8824	2,5502	0,3631

A hímek esetében látványos eltérést nem lehet látni a populációk között a hernyótömeg-növekedés átlagos értékeinél. A nőstény hernyóknál a magyarországi populáció átlagos hernyótömeg-növekedése valamivel nagyobb a másik kettőnél.

10.13147/SOE.2021.002

63. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása a lárvafejlődés mért időszaka alatt

Populáció	Nem	N (db)	Száraz levéltömeg-fogyasztás átlaga	Száraz levéltömeg-fogyasztás szélsőértékei (g)		Száraz levéltömeg-fogyasztás szórása
			g	min	max	g
CR	♂	25	0,9469	0,1573	2,6457	0,5507
	♀	25	2,9446	0,8810	4,4095	0,9240
H	♂	18	0,7634	0,2933	1,5011	0,3268
	♀	28	2,3120	1,2324	4,6519	0,7763
A	♂	14	0,9940	0,4374	2,3030	0,5477
	♀	31	1,9810	1,2591	3,2513	0,5219

A nőstény hernyóknál a horvát populáció egyedeinek levéltömeg-fogyasztása volt a legnagyobb, az ausztriai populációé pedig a legkisebb. A hímeknél viszont utóbbiak levéltömeg-fogyasztása érte el a legmagasabb értéket. A magyar populáció hímjei pedig a legalacsonyabb száraz levéltömeg-fogyasztást produkálták.

4.4.7. Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődésmenete a bábállapotban

Szinte mindegyik bebábozódott egyed kikelt. Két mérés közben megsérült bábból nem kelt ki lepke. Egy sérült bábból kikelt a lepke, de a szárnyait nem tudta rendesen kinyitni.

Az eltérő tápnövényről származó populációk bábállapotára vonatkozó adatokat a 64. és a 65. táblázat tartalmazza.

10.13147/SOE.2021.002

64. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk bábállapotban töltött idejének alakulása

Populáció	Nem	Lárvastádiumok száma	N (db)	Bábállapotban töltött idő átlaga	Bábállapotban töltött idő szélsőértékei (nap)		Bábállapotban töltött idő szórása
				nap	min	max	nap
CR	♂	5	7	19	19	20	0,5300
	♂	6	18	19	17	24	1,6400
H	♂	5	4	18	11	21	4,5700
	♂	6	14	19	18	22	1,4400
A	♂	5	2	19	13	19	-
	♂	6	12	20	17	23	1,9900
CR	♀	6	19	17	15	32	3,8300
	♀	7	6	17	15	20	1,8700
H	♀	6	23	16	15	21	1,4200
	♀	7	5	16	15	17	0,7100
A	♀	6	28	17	13	19	1,6100
	♀	7	3	16	16	17	0,5800

A táblázat adatai alapján átlagosan a nőstények töltötték a kevesebb időt a bábállapotban. A populációk között viszont látványos különbség nem tapasztalható e tekintetben.

65. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk bábtömegének alakulása

Populáció	Nem	Lárvastádiumok száma	N (db)	Bábtömeg átlaga	Bábtömeg szélsőértékei (g)		Bábtömeg szórása
				g	min	max	g
CR	♂	5	7	0,4163	0,3449	0,5276	0,0598
	♂	6	18	0,4041	0,3057	0,5658	0,0560
H	♂	5	4	0,4169	0,3218	0,5887	0,1178
	♂	6	14	0,3731	0,2709	0,5027	0,0754
A	♂	5	2	0,3967	0,3935	0,3998	0,0045
	♂	6	12	0,4563	0,2329	1,0506	0,2420
CR	♀	6	19	1,0723	0,4940	1,8022	0,3021
	♀	7	6	1,2974	1,0951	1,8306	0,2706
H	♀	6	23	1,1154	0,7098	1,6493	0,2513
	♀	7	5	1,2400	0,6162	2,1272	0,5432
A	♀	6	28	1,0478	0,3958	1,4479	0,2377
	♀	7	3	1,4345	1,0386	1,7361	0,3582

10.13147/SOE.2021.002

Az eltérő stádiumban bábozódott egyedek bábtömegében mutatkozik némi eltérés. Néhány esetben, például az ausztriai nőstényeknél és hímeknél, ez a különbség nagyobb, mint amit a populációk között tapasztalhatunk.

4.4.8. Az eltérő tápnövényről származó populációk szaporodóképessége

A nevelési kísérlet végén a bábokból kikelt lepkéket kereszteztük. A későbbiekben a lerakott petéket megszámoltuk (Hasulyó, 2012) és az életképességüket is meghatároztuk. A bemutatott számítások a saját munkáim. A keresztezések számát a 66. táblázat mutatja.

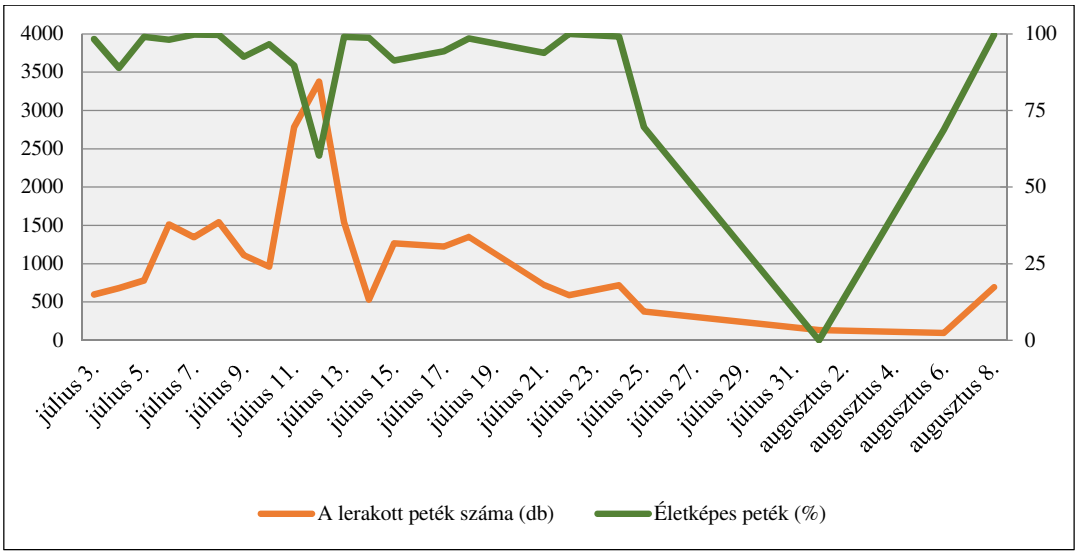
66. táblázat: Az elvégzett és feldolgozott keresztezések száma

	A×A	H×H	CR×CR	A×H	H×A	A×CR	CR×A	H×CR	CR×H
elvégzett keresztezések száma:	14	16	16	4	8	5	8	6	7
feldolgozott keresztezések száma:	7	14	16	4	7	4	6	6	6

Megjegyzés: A populációk közti keresztezések jeleinél, mindig a nőstény származását tüntettem fel először.

Megvizsgáltam, hogy a kísérletben szereplő gyapjaslepke állomány mikor éri el a reprodukciója csúcsát. Ehhez a keresztezések időpontjának függvényében ábrázoltuk a tőlük származó peték számát, és az életképes peték százalékát.

10.13147/SOE.2021.002



22. ábra: A lerakott peték számának alakulása az idő függvényében

Az 22. ábrán látszik, hogy a keresztezések számának csúcspontja (az az időintervallum, amikor időegység alatt a legtöbb lepke kelt ki, és a legtöbb keresztezést végeztük.) július hónap közepe környékén volt. Ekkorra tehető a kísérletünkben szereplő gyapjaslepke állomány peteprodukciójának tetőzése is.

Összehasonlítottam a hernyótömeg-növekedést a peteprodukcióval. Ehhez a nőstény hernyók növekedését az ötödik stádiumtól kezdődően négy kategóriába soroltam.

- I. kategória: 0 g - 1,000 g
- II. kategória: 1,001 g – 1,500 g
- III. kategória: 1,501 g – 2,000 g
- IV. kategória: 2,001 g -

A Fisher-próba eredményei szerint pedig az I. és II., illetve a III. és a IV. kategóriába eső egyedek peteprodukciója között nem mutatható ki jelentős különbség. Ezt mutatja a 67. táblázat, a piros színnel jelölt értékek jelzik a szignifikáns eltéréseket.

67. táblázat: A hernyótömeg-növekedési és a peteprodukció közötti összefüggés a Fisher-próba alapján

	I. kat.	II. kat.	III. kat.	IV. kat.
I. kat.		0,302269	**0,047403**	**0,013129**
II. kat.	0,302269		**0,041394**	**0,010091**
III. kat.	**0,047403**	**0,041394**		0,246254
IV. kat.	**0,013129**	**0,010091**	0,246254	

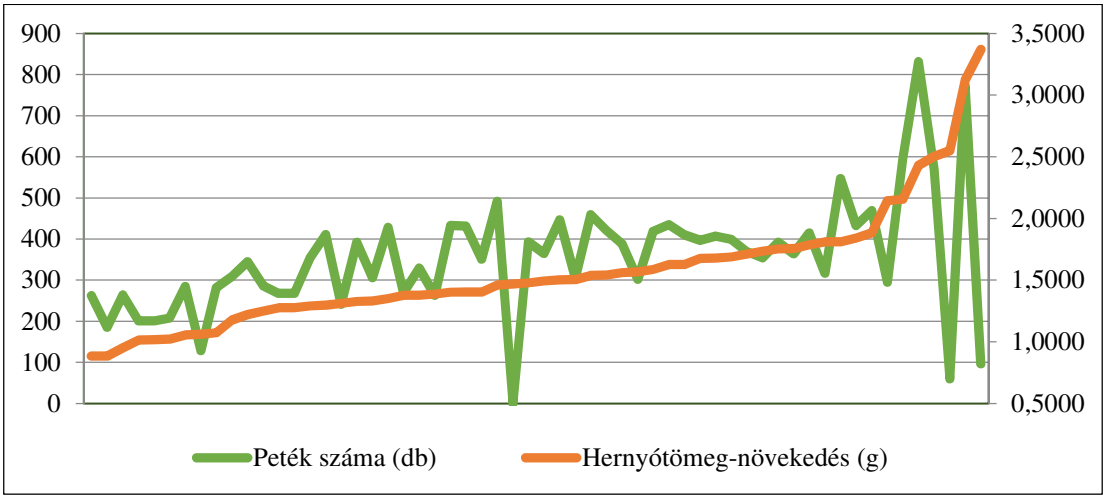
10.13147/SOE.2021.002

Kíváncsi voltam arra is, hogy miként viszonyul az életképes peték aránya a lerakott peték számához. A Fisher-próba szerint csak a IV. kategóriába tartozó nőstények esetében tér el jelentősen a többi kategóriától. Ezt mutatja a 68. táblázat.

68. táblázat: Az összes lerakott és az életképes peték aránya közötti összefüggés a Fisher-próba alapján

	I. kat.	II. kat.	III. kat.	IV. kat.
I. kat.		0,577711	0,873947	**0,021397**
II. kat.	0,577711		0,420491	**0,004934**
III. kat.	0,873947	0,420491		**0,001345**
IV. kat.	**0,021397**	**0,004934**	**0,001345**	

A nőstény egyedek hernyó testtömeg-növekedése és a lerakott peték számának alakulását a 23. ábra mutatja.

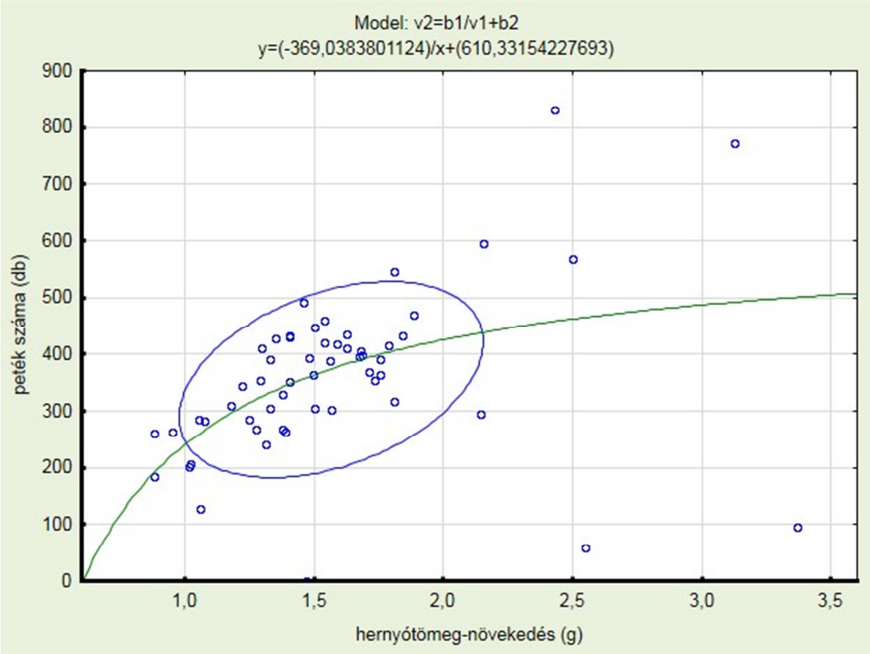


23. ábra: A hernyótömeg-növekedés és a peteprodukció alakulása

Az ábráról látszik, hogy a hernyókorban a nagyobb tömeggyarapodást produkált nőstény egyedek több petét raknak le. A legnagyobb növekedést produkált egyedek esetében a lerakott peték számában megfigyelhető rapszodikusság az alacsony mintaszámnak tudható be.

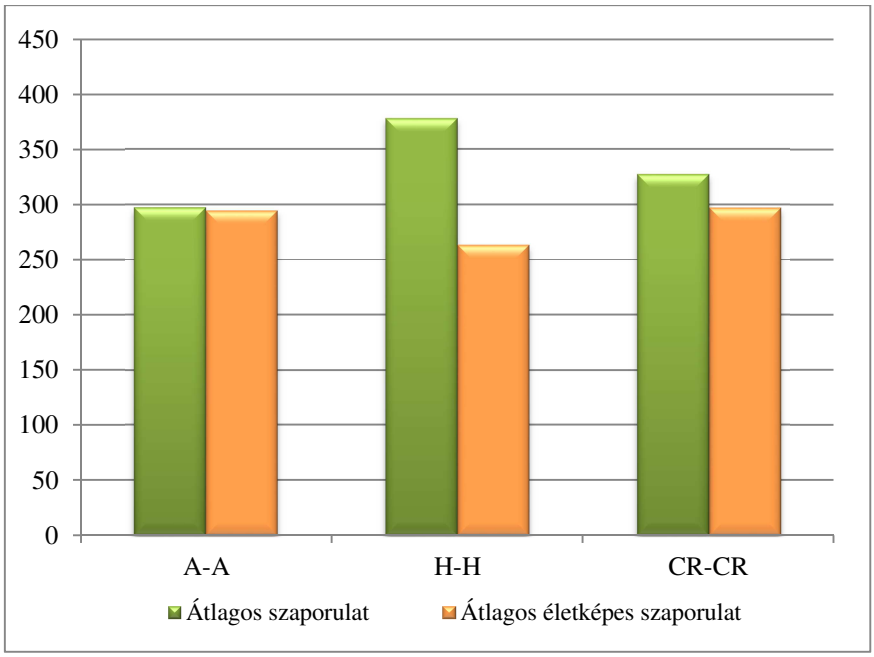
Az összefüggést a hernyótömeg-növekedés és a peteprodukció között regresszió analízissel is megvizsgáltam. Ezt mutatja az 24. ábra.

10.13147/SOE.2021.002



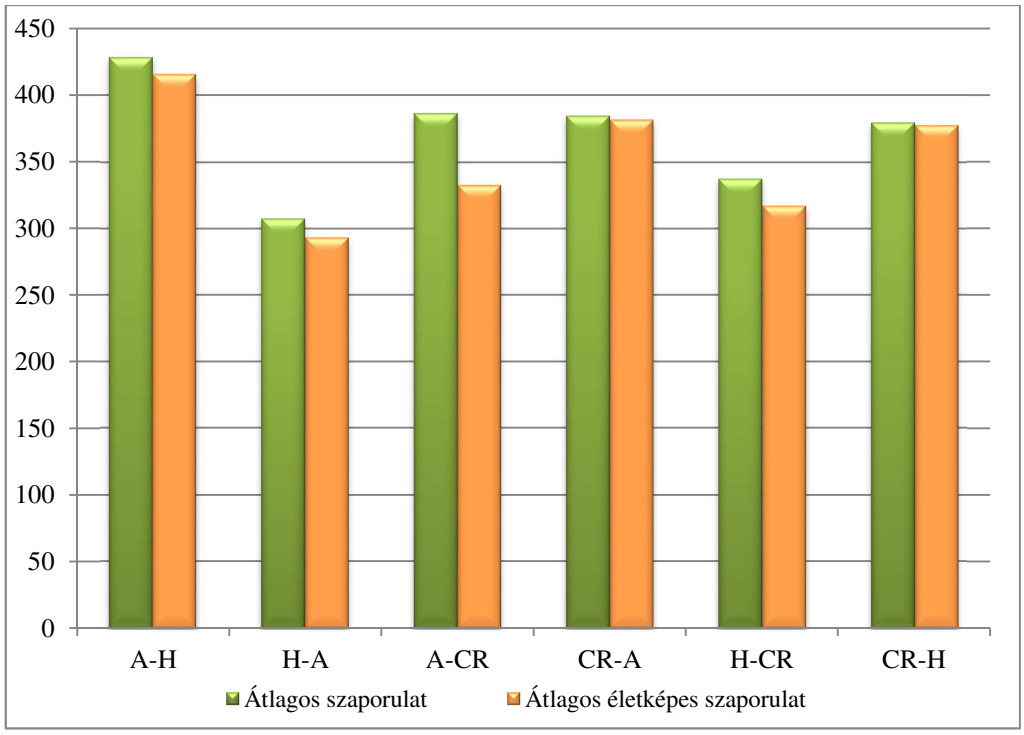
24. ábra: A hernyótömeg-növekedés és a peteprodukció alakulása (R=0,47272)

Összehasonlítottam a különböző populációk keresztezéseit is (25. és 26. ábra). A grafikonokon feltüntettem a teljes peteprodukció és az életképes szaporulat számát is. Ezek az adatok a populációk közötti keresztezéseknél gyakran magasabb értéket mutatnak.



25. ábra: A szaporulat és az életképes szaporulat számának alakulása a populációkon belüli keresztezéseknél.

10.13147/SOE.2021.002



Megjegyzés: A populációk közti keresztezések jeleinél, mindig a nőstény hernyó származását tüntettem fel először.

26. ábra: A szaporulat és az életképes szaporulat számának alakulása a populációk közti keresztezéseknél

4.4.9. Szignifikáns különbségek az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődésmenetében

Összehasonlítottam, hogy különböznek-e szignifikánsan az adott lárvastádiumban bebábozódott, illetve tovább vedlett egyedek fejlődési mutatói. A Mann-Whitney teszt eredményeit a 69. és 70. táblázat mutatja. A pirossal jelölt számok szignifikáns különbségről tanúskodnak. A *-gal jelölt sorokban a későbbi stádium adatait az előző stádiumban bebábozódott egyedek adataival hasonlítottam össze.

10.13147/SOE.2021.002

69. táblázat: Az egy stádiumon belüli különbségek vizsgálata a bebábozódott és továbbvedlett nőstény egyedek között Mann-Whitney próbával

Mérőszámok, indexek	CR	H	A
	$p_{számított}$, p=0,05 U-eloszlás	$p_{számított}$, p=0,05 Z-eloszlás	$p_{számított}$, p=0,05 Z-eloszlás
Hernyótömeg-növekedés L5-ben (g)	0,182423	0,004382	0,014738
Hernyótömeg-növekedés L6-ban (g)	0,002165	0,000871	0,005013
Hernyótömeg-növekedés L7 és L6 – ban* (g)	0,011299	0,880794	0,124355
L5-ben töltött napok átlagos száma	0,257075	0,004797	0,549227
L6-ban töltött napok átlagos száma	0,000318	0,011881	0,004770
Összes stádium napokban	0,007661	0,021523	0,006621
Levéltömeg fogyasztás L5-ben (g)	0,015572	0,001199	0,616291
Levéltömeg fogyasztás L6-ban (g)	0,000674	0,033216	0,005013
Teljes fogyasztás a fejlődés alatt (g)	0,060513	0,548607	0,254406

70. táblázat: Az egy stádiumon belüli különbségek vizsgálata a bebábozódott és továbbvedlett hím egyedek között Mann-Whitney próbával

Mérőszámok, indexek	CR	H	A
	$p_{számított}$, p=0,05 U-eloszlás	$p_{számított}$, p=0,05 U-eloszlás	$p_{számított}$, p=0,05 U-eloszlás
Hernyótömeg-növekedés L5-ben (g)	0,000251	0,003495	0,044611
Hernyótömeg-növekedés L5 és L6 - ban* (g)	0,903655	0,242732	0,465209
L5-ben töltött napok átlagos száma	0,000782	0,038371	0,055235
Összes stádium napokban	0,363963	0,559158	0,465209
Levéltömeg fogyasztás L5-ben (g)	0,014240	0,016873	0,082838
Teljes fogyasztás a fejlődés alatt (g)	0,004043	0,079726	0,055235

A különböző populáció fejlődésmenetének adatait a Kruskal-Wallis próbával hasonlítottam össze. Az eredményeimet a 71. táblázat tartalmazza. A *-gal jelölt

10.13147/SOE.2021.002

sorokban a későbbi stádium adatait az előző stádiumban bebábozódott egyedek adataival hasonlítottam össze.

71. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk közötti különbségek vizsgálata Kruskal-Wallis próbával

Mérőszámok, indexek	Nőstények		Hímek	
	$p_{számított}$, p=0,05	Szignifikáns különbségek	$p_{számított}$, p=0,05	Szignifikáns különbségek
Hernyótömeg-növekedés L5-ben(g) *	0,8046		0,5106	
Hernyótömeg-növekedés L6-ban* (g)	0,9498			
Teljes hernyótömeg-növekedés (L5<) (g)	0,9523		0,1635	
L5-ben töltött napok átlagos száma*	0,0122	CR-A	0,0082	CR-A
L6-ban töltött napok átlagos száma*	0,3106			
Teljes lárvafejlődés	0,0000	CR-A	0,0303	CR-A
Levéltömeg fogyasztás L5-ben (g) *	0,0731		0,6603	
Levéltömeg fogyasztás L6-ban (g) *	0,0002	H-A		
Teljes fogyasztás a fejlődés alatt (g)	0,0002	H-A	0,3791	

10.13147/SOE.2021.002

5. Az eredmények értékelése

5.1. A kísérletek módszerének értékelése

A legelső nevelési kísérlet, amelyet végrehajtottam az eltérő tápnövényről származó gyapjaslepke populációk felnevelése volt Pannónia nyár tápnövényen. Ezen kísérlet eredményeiből írtam meg a diplomamunkámat is, és ezek az eredmények szerepelnek jelen értekezésemben is. A nevelési kísérlet módszertanát az *Universität für Bodenkultur Wien* intézményben dolgozták ki. Habár a 3. fejezetben is ismertetett protokoll alapvetően jónak bizonyult, felmerült azonban néhány szempont, ami alapján mégsem volt tökéletes. A negyedik lárvastádiumig 20 hernyót tartottam egy tároló dobozban. A vedlések nyomon követése és a lárvastádium pontos meghatározása ilyen nagy létszámnál sok esetben problémákba ütközött. A később elvégzett kísérletekben ezért már sokkal korábban különválasztottam a vizsgálni kívánt hernyókat. Legmegbízhatóbbnak az a módszer tűnt, amelyikben már az első lárvastádiumtól maximum 2 hernyót neveltem egyszerre egy dobozban. Még akkor is könnyű volt hibát ejteni, ha ezt az elválasztást a második lárvastádiumban végeztem el.

A kísérlet eredményeiből levont következtetésekhez figyelembe kell venni, hogy laboratóriumi körülmények között a gyapjaslepke fejlődése eltérhet az erdőben fejlődő példányokhoz képest. Az általam meghatározott abiotikus faktorok természetes körülmények között sokkal változatosabban alakulnak. Két nevelési kísérlet során mesterséges tápanyagot használtunk. Ebben a fő összetevőt a gyapjaslepke nevelési kísérletekben már igen régóta jól bevált búzacsíra jelentette (Bell et al. 1981). A kísérleteink során az *Universität für Bodenkultur Wien* intézményben használt receptet követtük a tápanyag elkészítéséhez. Ismeretes, hogy a gyapjaslepke fejlődésmenete mesterséges tápanyagon eltér a normális tápnövényen nevelt mintához képest. Ezt korábban mi is megfigyeltük (Hillebrand és Tuba 2014). Amerikai kutatások szerint különböző populációk eltérően reagálhatnak a mesterséges tápanyagra. A nemzedékek óta mesterséges tápanyagon fejlődő populációk fejlődésmenete is eltér a természetből származó minták fejlődéséhez képest (Grayson et al. 2015). A nevelési kísérleteink során mi természetből származó populációkat neveltünk mesterséges tápanyagon. A mortalitás minden esetben jelentősen csekélyebb volt a természetes körülmények közül származó tápnövényen nevelt kísérletekhez képest. Mindezt fontos szem előtt tartani,

10.13147/SOE.2021.002

amikor egy mesterséges tápanyagon végzett kísérlet eredményeiből következtetünk a természetben élő gyapjaslepke populációk fejlődésmenetére.

Nevelési kísérleteim során 50 és 30 egyedszámú mintahalmazokkal dolgoztam. Utólag kijelenthetem, hogy az alapos kiértékeléshez az előbbi létszám választása a kívánatos. 30 darabos mintánál az eltérő lárvastádiumban bebábozódó hernyók adatainak összehasonlítására nincs mód. Természetesen a viszonylag csekély egyedszám választásának is megvolt az oka. Időben egyszerre végeztem el két nevelési kísérletet és segéderő hiányában nagyobb mintaszámmal nem boldogultam volna.

5.2. A különböző hőmérsékleten nevelt gyapjaslepke mintacsoportok eredményeinek értékelése

A gyapjaslepke laboratóriumi körülmények között jól nevelhető rovar. Így számos kísérletben vizsgálták a hőmérséklet fajra gyakorolt hatásait (Karolewski et al. 2007; Ponomarev et al. 2013). A kutatások eredményei sok esetben átfedik egymást, ám akadnak eltérések is, sőt egymásnak ellentmondó megfigyelések is. A kutatások szerint a gyapjaslepke képes adaptálódni eltérő hőmérsékleti feltételekhez, így már populációk között is számottevő különbségek adódhatnak (Thompson et al. 2017). Ráadásul az sem derül ki minden kutatásból, hogy a gyapjaslepkének éppen melyik alfaját tanulmányozták. Valószínűleg az alfajok között is van ebből a szempontból különbség. Mindezek után nem lehet egy az egyben megfeleltetni a külföldi kutatások eredményeiből levont következtetéseket a magyarországi gyapjaslepke populációkra. A kutatásunk azonban segített tisztázni néhány kérdést arra vonatkozóan, hogy a hőmérsékletnek milyen hatásai vannak a hazai gyapjaslepkék fejlődésmenetére, kitekintve azok szaporodóképességére is.

<u>Mortalitás különböző hőmérsékleten:</u>

A kísérletünkben sikeresen neveltünk fel állandó 20, 25 és 30 °C-on egy-egy 30 egyedszámú gyapjaslepke mintacsoportot. Ez azt jelenti, hogy alig tapasztaltunk mortalitást a nevelési kísérlet alatt. Mindösszesen 3 gyapjaslepke hernyó pusztult el, kettő 20 °C-on egy pedig 30 °C-on. Ez megfelel Lindroth és társai (2008) eredményeinek, ellentmond viszont Karolewski és társai (2007) eredményeinek, amelyek szerint a túlélési ráta optimuma 20 °C körül van, 25 °C-on pedig ez az érték valamivel gyengébb. Kísérletemben a hazai gyapjaslepke minta túlélési rátája azonban

pont 25 °C-on mutatott optimumot, míg 20 °C-on gyengébb eredményt adott. Thompson és társai (2017) kutatásuk során számos populációban tapasztaltak nagyobb mortalitást, mint én. A balaton-felvidéki származású gyapjaslepke mintám elenyésző mortalitással fejlődött a bebábozódásig. Drasztikus elhalálozás ezután sem történt, bár bábállapotban némileg több egyed pusztult el. 25 °C-on egyáltalán nem történt pusztulás. A túlélési ráta alapján a vizsgált hazai gyapjaslepke populáció hőmérsékleti optimuma közelebb van a 25 °C-hoz, mint a 30 °C-hoz vagy a 20 °C-hoz.

A gyapjaslepke fejlődésmenete különböző hőmérsékleten

A kutatásom eredménye megegyezik a szakirodalmak megállapításaival abban a tekintetben, hogy a hőmérséklet emelkedésével a lárvafejlődés ideje és a bábállapotban töltött idő látványosan lerövidül (Karolewski et al. 2007). A számításaim alapján szignifikáns különbséget kaptam ennél a fejlődési mutatónál.

A fejlődési idő rövidülésével kapcsolatban jogosan feltételezhető, hogy a hőmérséklet emelkedése a lárvastádiumok számára is hatással van. Általánosságban a rovaroknál a szakirodalmak alapján összefüggésbe hozható a lárvastádiumok száma a hőmérséklettel (Esperk et al. 2007). Az eredményeim ezt valamelyest igazolják, hiszen a nőstény hernyók esetében az eggyel több lárvastádium érzékelhetően egyre kevesebb volt. A hímeknél ez annyiban módosul, hogy 25 °C-on nagyobb aránnyal volt megfigyelhető a hatodik lárvastádiumba történő tovább vedlés. Ellenben mindkét nemnél a legkevesebb 30 °C-on volt az egyel több lárvastádium. Úgy tűnik, hogy egy bizonyos hőmérsékleti pontig nehéz egyértelmű tendenciát kimutatni a lárvastádiumok számával kapcsolatban. Viszont nagyon magas hőmérsékleten ritkább az egy stádiummal tovább történő fejlődés. A nemek között érzékelhető különbség ebben a tekintetben arra is utalhat, hogy a két nemnek eltér valamelyest a hőmérsékleti optimuma. Ehhez további adalékot jelent, hogy a nemek fejlődési idejében észlelt különbség a két szélső hőmérsékleten nagyobb.

A hőmérséklet növelése a szakirodalmak (Thompson et al. 2017) és az eredményeim alapján a hernyók növekedésére is hatással van. Azonban ez nem olyan látványos eltérés, mint ahogyan azt a fejlődési idejüknél tapasztaltam. Számításaim során szignifikáns különbséget a teljes hernyófejlődés során egyedül a nőstényeknél tapasztaltam. Mindkét nemre igaz a megállapítás, hogy a legnagyobb hernyótömeg-növekedés 25 °C-on volt. Ez a bábtömegre is igaz. A legkisebb bábtömegek 30 °C-on

adódtak. A hazai gyapjaslepke populáció fejlődése szempontjából az optimális hőmérséklet feltételezhetően 25 °C körül van.

A számításim alapján az is megfigyelhető volt, hogy a szórás értéke a fejlődési időnél és hernyótömeg-növekedésnél is a hernyófejlődés során majdnem mindig 20° C-on volt a legnagyobb. Ez akár arra is utalhat, hogy a faj alkalmazkodóképessége egyedi szinten nagy változatosságot mutat az alacsony hőmérséklethez. Ez nagy segítséget jelenthet abban, hogy generációkkal később kialakuljon a populáció adaptációja az adott hőmérsékleti feltételekhez.

Az eredményeim alapján a nőstény hernyók érzékenyebben reagálnak a hőmérséklet hatásaira, mint a hímek. Sokkal több szignifikáns különbséget kaptam a fejlődési mutatóiknál. Ez alátámasztja más kutatások megállapításait is a két nem hőmérséklettel szembeni érzékenysége közötti különbségről (Ponomarev et al. 2013).

A gyapjaslepke károkozását lárvakorban fejti ki, ennek időtartama a kár mértékére hatással van. Ugyanakkor a hernyó testtömeg-növekedés összhangban van a táplálkozás hatékonyságával és mennyiségével. Mivel a hőmérséklet mindkettőt befolyásolja, így kijelenthető, hogy az időjárási tényezők függvényében kapott hő-összeg befolyással van a gyapjaslepke hernyó károsítására.

<u>A hőmérséklet hatása a szaporodóképességre</u>

Az adott évi károsítás mértékén kívül az is fontos, hogy a rákövetkező évben mekkora kárra számíthatunk. Erre a hőmérséklet szaporodóképességre gyakorolt hatásából következtethetünk. A 4.4.7. fejezetben bemutatott eredmények alapján összefüggés van a nőstény hernyó testtömeg-növekedése és a lerakott életképes peték száma között. Ezek alapján 30 °C-on a nőstény hernyók csekélyebb testtömeg-növekedéséből, majd az elért bábtömegből arra lehet következtetni, hogy a magas hőmérséklet a szaporodásra is káros hatással van.

Ezt megerősítik a megfigyeléseim, ugyanis a nevelési kísérlet végén a bábból kikelt lepkéket kereszteztük, mégpedig mintahalmazon belül. Az eredmények elég látványos különbséget mutatnak. Úgy tűnik, hogy a vizsgált hőmérsékletek között messze a legoptimálisabb a 25 °C, hiszen majdnem kétszer annyi az életképes peték átlagos száma, mint 20 °C-on. Ráadásul 30 °C-on alig számláltunk életképes petét. A télen bekövetkező spontán hernyókelés is megerősíti a fenti eredményeimet, mivel ez csak 25, illetve egy esetben 20 °C-on következett be.

10.13147/SOE.2021.002

Feltehetjük a kérdést, hogy a vizsgált gyapjaslepke populáció képes lehet-e adaptálódni a túl magas hőmérséklethez? Ehhez életképes petékre lenne szükséges, ami pedig 30 °C-on csak elenyésző volt. Ez alapján azt válaszolhatnánk a kérdésre, hogy nem. Természetesen azt is figyelembe kell venni, hogy csekély létszámú mintán dolgoztam. Egy teljes populációból valószínűleg nagyobb számmal is létrejöhet életképes szaporulat. Továbbá éjjel-nappal állandó 30 °C-os hőmérséklet nem fordulhat elő. Rövidebb ideig 30 °C-os, vagy annál nagyobb hőmérsékletet a gyapjaslepkék csak a napsugárzásnak jobban kitett területeken (pl.: erdősítésekben) kaphatnak.

Az irodalmak alapján (Keena 1996) állandó 20 °C-on tartva a petéket még megvalósulhat a hernyókelés. A 4.1.9. fejezetben leírt eredményeim ezt igazolják. Ám az irodalom alapján 20 °C-on később indul meg a hernyókelés, mint alacsonyabb hőmérsékleten. Az általam megfigyelt őszi hernyókelés azonban inkább korainak tűnik.

A kísérlet igazolta azt, amit a vonatkozó szakirodalmak és az area alapján feltételezhettünk, hogy a gyapjaslepke fejlődése szempontjából a meleget kedveli. Azonban csak egy bizonyos mértékig. Egy hőmérsékleti határérték felett a meleg már káros a gyapjaslepke fejlődésére és szaporodására. Mindemellett abba is betekintést kaphattunk, hogy a magyarországi gyapjaslepke populációk fejlődésmenetét és szaporodóképességét mennyiben befolyásolja a hőmérséklet.

A hazai mintán elvégzett nevelési kísérletem alapján a szélsőségesen magas hőmérséklet negatív hatást gyakorolhat a hazai gyapjaslepke populációk létszámára.

5.3. A különböző megvilágításon nevelt gyapjaslepke mintacsoportok eredményeinek értékelése

Az eltérő megvilágítás hatásait a gyapjaslepke fejlődésmenetére kevésbe kutatták, mint ahogy azt a hőmérséklet esetében tették. A fény hatásait általában a nemző állapottal hozták összefüggésbe egyrészt a fajnál megfigyelhető pozitív fototaxis jelensége, másrészt a szaporodóképességre gyakorolt hatása miatt. Más fajoknál is megfigyelt jelenség, hogy az állandó megvilágítás hatással van a párosodás eredményességére (Lum and Flaherty 1969, 1970). Mint már korábban ismertettem az állandó megvilágításon a gyapjaslepkék eredményes párosodása is akadályozva van az állandó fény hímekre gyakorolt kedvezőtlen hatása miatt (Giebultowicz et al. 1990). Ezt egyébként a nevelési kísérletem eredményei is alátámasztják. Az állandó

10.13147/SOE.2021.002

megvilágításon tartott gyapjaslepkék keresztezése után a nőstények egyáltalán nem raktak le életképes petecsomókat.

Ezeket leszámítva azonban nem nagyon találtam adatot arra vonatkozóan, hogy a megvilágításnak milyen hatásai vannak a gyapjaslepke lárvájának fejlődési mutatóira. A nevelési kísérletem eredményei alapján látszik, hogy az állandóan sötétben, illetve fényben tartott gyapjaslepkék fejlődése eltér egymástól. A fejlődési idő szignifikánsan lerövidül állandó megvilágításon mindkét nemnél. Ezzel együtt a hernyótömeg-növekedés is csekélyebb mértékű lesz, mint teljes sötétségben. Úgy tűnik, hogy a teljes sötétség jobban kedvez a faj fejlődésének, mint az állandó megvilágítás. Ez a megfigyelés abból is kikövetkeztethető, hogy a faj hernyói a természetben is inkább csak éjjel táplálkoznak. Nappali táplálkozás inkább csak táplálékhiány vagy tömegszaporodás esetén van.

A megvilágítással kapcsolatos kutatások állandó megvilágításban a szaporodóképesség drasztikus romlását szervi okokból elsősorban a hím számlájára írják (Giebultowicz et al. 1990). A nőstények elvileg képesek lehetnek eredményesen párosodni. Viszont az általam vizsgált fejlődési mutatók alapján a nőstény egyedek érzékenyebben reagálnak az eltérő megvilágításra a hímeknél. A hernyó testtömeg-növekedésénél, illetve a bábtömegnél főleg a nőstények esetén kaptam szignifikáns különbségeket. Miután ezek a mutatók összefüggésben lehetnek az életképes peték számával, így a teljes megvilágítás a nőstény szaporodóképességére is negatív hatással lehet. Természetesen ez nem azt jelenti, hogy a nőstény lepke is meddő lenne.

Az eredményeim alapján úgy tűnik, hogy a megvilágítás mértéke nem befolyásolja a mortalitást. Az 50-50 egyedszámú mintahalmazokban nem voltak elpusztult hernyók.

Mindezek alapján kijelenthető, hogy a megvilágítás mértéke hatással lehet a gyapjaslepke károsítására, bár nem olyan mértékben, mint a hőmérséklet. Joggal merülhet fel, hogy a hazai erdőkben nemigen tapasztalható az általam vizsgált két szélsőséges megvilágítási helyzet. Ha nem is olyan méretékben, de a megvilágításbeli csekélyebb ingadozás is hatással lehet a gyapjaslepkére. A gyapjaslepke areájának északi határának kiterjedésében a tápnövény és a hőmérséklet mellett, a nyári hónapokban jelentkező a hazainál hosszabb nappalok és rövidebb éjszakák is szerepet játszhatnak. Ezt talán érdemes figyelembe venni azoknál a modelleknél, amelyek a klímaváltozással kapcsolatban a gyapjaslepke elterjedési területének északra tolódását vizionálják (Vanhanen et al. 2007). A nappalok és az éjszakák aránya ugyanis valószínűleg nem változik meg a globális felmelegedéssel együtt.

10.13147/SOE.2021.002

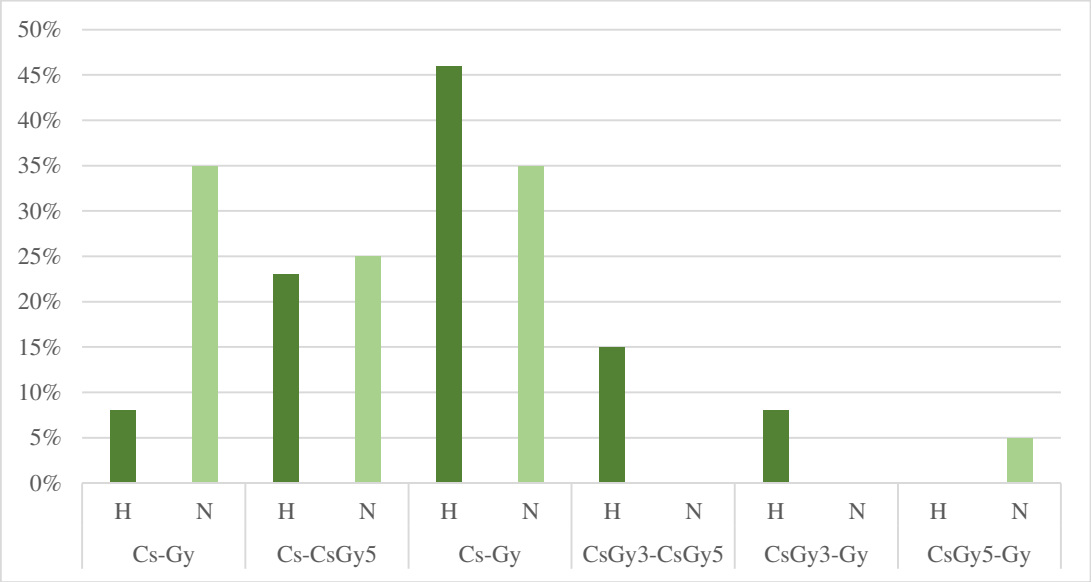
5.4. A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke mintacsoportok eredményeinek értékelése

A kutatásom során a legnagyobb mortalitást ebben a kísérletben tapasztaltam. A nevelés során olyan tápnövénnyel (csertölgy és közönséges gyertyán) etettük a hernyókat, amelyek a gyapjaslepke elsőrendű tápnövényei közé tartoznak (Varga 1975). Ennek ellenére a nagy mortalitást azoknál a mintahalmazoknál tapasztaltam, amelyek étrendjében szerepet kapott a gyertyán. A legnagyobb annál a kontroll csoportnál volt, ahol ez a tápnövény képezte az egyetlen táplálékot. Itt mindösszesen 14 egyedet tudtam kiválasztani L_2-be, ami után további mortalitást is tapasztaltam. A szakirodalmak alapján a levelek fogyaszthatósága romlik az idő előrehaladtával (Feeny 1970). Viszont a kísérlet április végén kezdődött, azaz pontosan abban az idő intervallumban zajlott a nevelés, amikor a természetben is álca alakban vannak a gyapjaslepkék. Ráadásul a kísérletben használt petecsomókat olyan erdőrészletből (Sopron 49/B) gyűjtöttük, ahol mindkét tápnövény megtalálható volt. A levelek között komoly minőségbeli különbség lehet egy fán belül is (Csóka 2015). Szigorúan az eredményeim alapján a két kontroll csoportot összehasonlítva a csertölgy a gyertyánnál alkalmasabb tápnövény a gyapjaslepke számára. A 4.3.1. fejezet alapján azoknál az egyedeknél, amelyek elérték a második lárvastádiumot látványosan nagyobb volt a hernyófejlődés idején a mortalitás azokban a mintahalmazokban, ahol tápnövényváltás történt. A kizárólag gyertyánon nevelt mintahalmazban ugyan csak 14 hernyó érte meg az L_2-őt, ez elég nagy mortalitás, de a második lárvastádiumtól kezdve már viszonylag alacsony volt a mortalitás értéke. Sőt az L_2-őt elérő egyedeknek később már kevesebb, mint 15%-a pusztult el a lárvafejlődése során. Ez a kizárólag csertölgyön nevelt hernyók értékénél is alacsonyabb elpusztulási arány.

Az abiotikus tényezők hatásait vizsgáló kísérletekben a mintahalmazok közötti különbségek gyakran konzekvensen láthatók minden vizsgált fejlődési állapotban. Ezen vizsgálat során inkább az összképet vizsgálva lehet levonni néhány következtetést. Ebben nagy segítségünkre van, ha megnézzük, hogy a Kruskal-Wallis próba során kapott szignifikáns különbségek, mely mintahalmazok között a leggyakoribbak. Ennek százalékos arányát mutatja a 27. ábra. Szemmel láthatólag a legtöbb különbség a kizárólag csert fogyasztó és a többi mintacsoport egyedei között van. Azok a mintahalmazok között, ahol gyertyánt is kaptak, már jóval kevesebb szignifikáns különbséget kaptam. Annál a két mintahalmaznál, ahol tápnövényváltás történt alig

10.13147/SOE.2021.002

kaptam szignifikáns különbséget. A nőstényeknél egyáltalán semmi, a hímeknél pedig csak a levéltömeg-fogyasztás átlagos értékei között volt fellelhető számottevő különbség. Úgy tűnik, hogy a tápnövényváltás ténye nagyobb hatással van a gyapjaslepke fejlődésére, mint annak ideje. Külföldi vizsgálatok alapján a kombinált étrend nem jobb vagy rosszabb a gyapjaslepke számára, mint az egyetlen fafajból álló étrend. A rovarok fejlődését inkább az befolyásolja, hogy milyen fajból származik (Stoyenof et al. 1994). Ezzel a saját eredményeim csak többé-kevésbé vannak fedésben. Ugyan a legnagyobb különbség nálam is a két egyféle fafajt fogyasztó mintahalmaz között volt. Ám a fejlődési értékek a tápnövényváltásra kényszerített mintahalmazok esetében gyengébbek voltak a kizárólag cseren táplálkozó egyedekhez képest. Meg kell jegyezni, hogy az említett külföldi kutatásban más fafajokat, vörös tölgyet (*Quercus rubra* L.), fehér tölgyet (*Quercus alba* L.), nagyfogú nyárat (*Populus grandidentata* Michaux), és amerikai rezgő nyárt (*Populus tremuloides* Michaux) vizsgáltak. Úgy látszik a tápnövényváltás hatásait maguk a fafajok is befolyásolják.



Megjegyzés: Az ábra azt mutatja, hogy nemenként a szignifikáns különbségek mely mintahalmazok (pl.: Cs-Gy) között jelentkeztek nagyobb százalékban.

27. ábra: A mintahalmazok között kapott szignifikáns különbség aránya nemenként a Kruskal-Wallis próba során

A nemek között meglévő különbség ennél a kísérletnél is megfigyelhető. A nőstények esetében több szignifikáns különbséget kaptam. Ha a hernyótömeg-növekedést és a fejlődés időtartalmát nézzük, akkor a nőstények érzékenyebben

10.13147/SOE.2021.002

reagálnak a tápnövényváltás hatásaira a hímeknél. A levéltömeg-fogyasztás értékeinél viszont inkább a hímeknél van különbség. A nőstények esetében a tápnövényváltás hatására bekövetkező alacsonyabb hernyótömeg-növekedés az életképes peték számára is hatással lehet.

Az eredményeimből az is látható, hogy a kevesebb levéltömeg-fogyasztás is elegendő a kifejlődéshez, amennyiben a tápnövény megfelelőbb a gyapjaslepkének. Tehát ha a faj károsítását egy évben nézzük, akkor kisebb lehet a lombvesztés egy jobban preferált fajon. Azonban a megfelelőbb körülmények a szaporodóképességre is kedvező hatással vannak így egy több éves károsítást figyelembe véve már változhat a kép.

Ha az eddigi kutatásokat és saját eredményeinket figyelembe vesszük, kijelenthetjük, hogy egy elegyes erdőállomány nemcsak könnyebben átvészeli a gyapjaslepke fellépését, hanem a tömegszaporodás mértékét befolyásolva az okozott kárt is csökkenti.

5.5. Az eltérő tápnövényről származó gyapjaslepke populációk nevelési eredményeinek értékelése

Ha a gyapjaslepke károsításának történelmét nézzük, akkor ismeretes, hogy populációinak új környezetben való megjelenése az új tápnövény-kör ellenére is komoly elszaporodást és károkozást jelenthet. Hiszen pontosan ez történt, amikor a fajt Észak-Amerikába is behurcolták (Elkinton and Liebhold 1990; Liebhold et al. 1992). Persze ez még önmagában nem ad egzakt választ arra a kérdésre, hogy idegen gyapjaslepke populációk, hogy fejlődnek a hazai tápnövényeken. A nevelési kísérletem során ellenben mindhárom populáció - még a magyal tölgyről származó horvát is - sikeresen kifejlődött Pannónia nyár tápnövényen. Sőt, a horvát mintacsoportnál egyáltalán nem is volt ez idő alatt mortalitás. Ebben a tekintetben az ausztriai populáció eredményei a leggyengébbek, ugyanis itt volt a legnagyobb mortalitás. Ebben az is szerepet játszhatott, hogy itt az eredeti tápnövény kocsánytalan tölgy volt, ami nem a legkedvezőbb fafaj a gyapjaslepke számára. Az elődd generáció tápanyag ellátottsága ugyanis befolyással lehet a következőre nemzedékre is (Varga 1985). Tulajdonképpen a Pannónia nyár a más (magyal, illetve kocsánytalan tölgy) tápnövényről származó populációk számára jobb minőségű tápanyagot jelenthetett.

10.13147/SOE.2021.002

A számításaim alapján néhány fejlődési mutatóban jelentkezett szignifikáns különbség a populációk között. A fejlődési idő alapján főleg az osztrák és a horvát populáció adatai térnek el egymástól.

Ha a levéltömeg-fogyasztást nézzük, akkor a magyar és az osztrák között kaptam szignifikáns különbséget, de ott is csak a nőstény egyedeknél. A horvát és az osztrák populáció fejlődésbiológiája tér el legjobban egymástól, illetve a magyar és az osztrák között is akad némi különbség.

A hernyótömeg-növekedés értékében viszont nincs különbség a nevelt mintahalmazok között. Ehhez hozzátehetjük azt is, hogy a keresztezés és annak eredményei alapján a szaporodás sikerességét, így a tömegszaporodás kialakulásának esélyét sem befolyásolja az előző nemzedékekétől eltérő tápnövény.

Az eredményeim alapján kijelenthetjük, hogy más tápnövény-körből származó gyapjaslepke populációk is képesek lehetnek a tömegszaporodásra egy számukra akár idegen fafajon is. Ezáltal, ha csak az eltérő tápnövényt vizsgáljuk, úgy az idegen gyapjaslepke populációk is ugyanolyan veszélyesek lehetnek a hazai erdőállományokra, mint a saját populációink. Ezt az eredményt esetleg módosíthatja az a körülmény, ha a másik populáció eltérő hőmérséklethez alkalmazkodott. Hiszen a szakirodalom alapján tudjuk, hogy a különböző származású populációk fejlődésmenetére eltérő hatással van a hőmérséklet (Thompson et al. 2017). Az eredményeim alapján pedig láttuk, hogy a szélsőséges hőmérséklet okozta hatások a szaporodóképességre is hatással vannak. Persze, ha a faj teljes areáját figyelembe vesszük, akkor a magyar klimatikus viszonyok feltehetőleg nem a szélsőséget képviselik.

A jelenleg tárgyalt kísérletnél azonban meg kell jegyezni, hogy a vizsgált populációk között a Horvátországból származó egyedek az eredeti élőhelyükön feltehetőleg más hőmérsékleti adottságok között élnek. A havi átlagos hőmérséklet ezen populáció élőhelyén a weatherbase.com adatai alapján a lárvafejlődés idején valamivel magasabb, mint Magyarországon. Tudjuk, hogy alacsonyabb hőmérsékleten a gyapjaslepke egyedfejlődése lassabb. A nevelési kísérletet viszonylag hidegben, 20 °C-on végeztük. Ez magyarázatot adhat arra, a tápnövénytől függetlenül, hogy a horvát populáció fejlődése miért volt a leghosszabb a vizsgált három populáció közül.

A nőstények a fejlődési mutatók alapján valamivel érzékenyebben reagáltak a generációk közötti tápnövényváltás hatásaira.

10.13147/SOE.2021.002

5.6. A gyapjaslepke fejlődésmenetét jellemző eredmények értékelése

A nevelési kísérleteim célja elsősorban néhány abiotikus és biotikus tényező a gyapjaslepke fejlődésbiológiájára kifejtett hatásának vizsgálata volt. Ám az eredményeim alapján le lehet vonni néhány következtetést általánosságban is a gyapjaslepke fejlődésmenetére vonatkozóan.

A nemek közötti különbség.

A gyapjaslepke ivari dimorfizmusa közismert. Még a faj tudományos neve is erre utal. A nemzők az egyértelmű morfológiai különbségen kívül számos dologban különböznek. A nőstény gyapjaslepke hernyóinak fejlődése a legtöbb általam vizsgált paraméter esetében eltér a hímekétől. A hernyók és bábok méretei és tömegei között is feltűnő különbség van. Ez olyan mértékű, hogy a számításaim, és azok bemutatása során végig külön kellett kezelnem a két nemet. Ez már a diplomamunkám és az ahhoz kapcsolódó kísérlet során teljesen világossá vált. Azonban most, egy nagyobb kutatássorozat végén, ez még inkább megerősítést nyert. A nőstények érzékenyebben reagáltak szinte minden általam vizsgált hatásra a hőmérséklettől kezdve a megvilágításon át a tápnövényváltásig.

A bebábozódáshoz szükséges tényezők

Megvizsgáltam a különböző lárvastádiumokban bebábozódó gyapjaslepkék fejlődési mutatóit. Az eredményeim alapján kijelenthető, hogy a bebábozódás közel azonos fejlődési mutatók teljesítése után következik be.

Eltérések a fejlődés idejében

Ha a számításaim során nyert szélsőértékeket szemléljük, akkor kiderül, hogy laboratóriumi körülmények között sokszor komoly eltéréseket kaptam az egyedek fejlődési idejében. Ez tulajdonképpen megmagyarázza a természetes populációk széthúzódó fejlődését is.

A gyapjaslepke szaporodása

A 4.4.7. fejezet alapján a legtöbb keresztezés, ami szorosan összefügg a frissen kikelt nemzők számával, július közepére tehető, továbbá július végén a peteprodukció mellett azok életképessége is visszaesett. Így feltételezhető, hogy a következő évi egyedszámot a július közepi időjárási tényezők jelentősen befolyásolhatják.

10.13147/SOE.2021.002

A nőstény lepkék esetében a lárvakori növekedés és a lerakott peték száma között összefüggés van. A lárvakorban a nagyobb tömeg-növekedést produkált nőstény egyedek több petét raknak le.

10.13147/SOE.2021.002

6. Tézisek

I. Egy elegyes erdőben nagyobb eséllyel következhet be az, hogy a fejlődő hernyók tápnövényváltásra kényszerülnek. A tápnövényváltás főleg akkor fordulhat elő, ha elfogy a gyapjaslepke által károsított fán a lombozat. Ez természetesen egy bizonyos populációsűrűséget feltételez. Az eredményeim alapján látható, hogy a lárvafejlődés közben bekövetkező tápnövényváltás negatív hatással van a gyapjaslepke fejlődési mutatóira. A hernyótesttömeg-növekedés alacsonyabb értékei pedig negatívan befolyásolják az életképes peték számát. A gyapjaslepke szemszögéből nézve tehát nem előnyös, ha egy elegyes erdőállományban kell megtalálni a táplálékát. Ráadásul mindez a populáció létszámát is csökkenti, így a következő évi károsítás kisebb lehet.

II. A gyapjaslepke fejlődési mutatóit figyelembe véve a tápnövényváltás ténye hangsúlyosabb, mint annak ideje. Az eltérő fejlettségi szinten bekövetkező tápnövényváltásnak elenyészőbb a hatása, mint annak a ténynek, hogy a gyapjaslepke egy számára kedvezőbb vagy kedvezőtlenebb tápnövényre kényszerül átváltani. A gyapjaslepke képes fejlődni és szaporodni, ha megfelelő tápnövényre jut, még akkor is, ha az előző nemzedék teljesen más tápnövényről származott, az eltérés a mennyiségi értékekben mutatkozik meg.

III. A különböző mintahalmazok nőstényei között mindegyik nevelési kísérletemben több szignifikáns különbség mutatkozott, mint a hímek között. Ez alapján úgy tűnik, hogy a gyapjaslepke nőstényének fejlődését jelentősebben befolyásolja a hőmérséklet, a megvilágítás vagy éppen a tápnövényváltás hatása.

IV.

a. Az eredményeim a hőmérséklet gyapjaslepkére gyakorolt hatását illetően nem mindig fedték le a szakirodalomban található adatokat. Ez igaz a mortalitás alakulására, és a hőmérsékleti optimum feltételezett értékére vonatkozóan is. Ez a különbség feltételezhetően azért alakult ki, mert az általam vizsgált hazai gyapjaslepke populáció érzékenysége a hőmérséklettel szemben bizonyos mértékben eltér a külföldi kutatásokban szereplőkétől.

10.13147/SOE.2021.002

b. Az előzetes várakozásunktól eltérően a hazai gyapjaslepkék hőmérsékleti optimuma 20 °C helyett 25 °C körül van az eredményeim alapján. Ez magasabb érték, mint amire a magyarországi havi középhőmérséklet adatok alapján számítottunk.
c. Az itthoni populációból származó gyapjaslepke mintám kifejezetten jól fejlődött és eredményesen szaporodott állandó 25 °C-on. Olyannyira, hogy a számára legkedvezőbb hőmérsékleti optimum is e hőmérsékleti érték körül lehet. Ez a szám a napok természetes hőmérséklet ingadozását, illetve az élőhelyi sajátságokat is figyelembe véve meglehetősen magas érték. Ez azt jelenti, hogy a klímaváltozással együtt járó évi középhőmérséklet növekedés kedvező lehet a gyapjaslepke fejlődésére és szaporodására. Ezért a klímaváltozás pozitív hatással van a gyapjaslepke hazai kártételeire.

V. Az eredményeim alapján a gyapjaslepke fejlődésében különbség mutatkozik attól függően, ha teljes sötétségben vagy állandó megvilágításban tartjuk őket. A teljes sötétség jobb a gyapjaslepke hernyók fejlődése szempontjából. Az állandó megvilágítás pedig kimondottan kedvezőtlen a szaporodás szempontjából. A mortalitásra viszont nincs hatása a megvilágítás ezen szélsőségeinek.

VI. Az előzetes várakozásainkkal ellentétben a gyapjaslepke areájának kiterjedésében a tápnövényen és a hőmérsékleten túl a fénynek is szerepe lehet. Északabbra ugyanis nyáron a nappalok hosszabbak, ez pedig egyúttal hosszabb megvilágítási időt is jelent. A teljes megvilágítás nem kedvező a gyapjaslepke számára, ez pedig akár azt is sejtetni engedi, hogy a foto- és szkotofázis eltolódása a fotofázis irányába kedvezőtlen a gyapjaslepke számára.

VII.

a. A horvátországi populáció ugyan lassabban, de sokkal kisebb mortalitással fejlődött ki a hazai tápnövényen, mint a magyarországi. Tehát eltérő tápnövény-körből származó populációk ugyanúgy veszélyesek az erdőállományainkra. Az idegen populációk sikeres fejlődése minden bizonnyal a kedvező tápnövénynek volt köszönhető. Elterjedésüket a hazai erdőkben elsősorban a megfelelő tápnövény befolyásolja.

10.13147/SOE.2021.002

b. Ha a tápnövény megfelelő a gyapjaslepke számára, akkor sikeresen kifejlődik és károsít rajta. Ez eltérő tápnövényről származó populációkra is igaz. A hazai gyapjaslepkék ebből a szempontból nem lennének versenyelőnyben egy másik populáció tagjaival szemben. Azonban, ha a hőmérsékleti viszonyok itthon hűvösebbnek bizonyulnak az idegen populáció eredeti élőhelyénél, akkor annak fejlődése némileg lelassulhat. A nevelési kísérletem alapján egy magyar populáció akár napokkal megelőzhet a fejlődésben egy idegen populáció egyedeit. Ez pedig számíthat a táplálékért folytatott versenyben.

10.13147/SOE.2021.002

Összefoglalás

A munkám során különböző biotikus és abiotikus tényezőknek a gyapjaslepke fejlődésmenetére és szaporodására gyakorolt hatását vizsgáltam. Ennek során négy nevelési kísérletet végeztem el laboratóriumi körülmények között.

Az elsőnél arra szerettem volna választ kapni, hogyan befolyásolja a gyapjaslepke fejlődését és szaporodását, ha egy nemzedék egy számára idegen tápnövényen kényszerül kifejlődni? Ehhez három különböző tápnövényről származó, egy horvát, egy magyar és egy ausztriai gyapjaslepke populációt neveltem fel 20 °C-on, Pannónia nyár (*Populus* x *euamericana*) tápnövényen. A magyar populáció eredeti tápnövénye szintén a Pannónia nyár volt, míg az ausztriaié kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), a horváté pedig magyal tölgy (*Quercus ilex* L.) volt. A kísérletet L_4-ig populációnként 150, utána pedig populációnként 50 egyeden végeztem el. A nevelés végén a lepkéket kereszteztem populációkon belül és azok között. A hernyók növekedéséről naponta történő tömegméréssel szereztem információt. A szaporodóképesség megállapításához az életképes petéket megszámoltam. A nevelés során naponként 16 óra megvilágítást és 8 óra sötétséget alkalmaztam. Táplálkozásukról a fogyasztott levelek nedves és száraz tömegének megmérésével, illetve meghatározásával nyertem adatot. Ezen kívül a hernyók ürülékét, és a bábok tömegét is megmértem. A mért adatokból a számításaimat leíró statisztikai módszerekkel (átlag, szórás, szélsőértékek), illetve nem parametrikus próbákkal (Mann-Whitney teszt, Kruskal-Wallis próba) végeztem.

A második nevelési kísérletnél arra kerestem választ, hogy mennyiben befolyásolja a gyapjaslepkét, ha a fejlődése során tápnövény-váltásra kényszerül? Ezért csertölgy (*Quercus cerris* L.) és gyertyán (*Carpinus betulus* L.) tápnövényen neveltem fel laboratóriumi körülmények között egy-egy 30 mintaszámú gyapjaslepke mintacsoportot. Két másik 30 egyedszámú mintacsoportnál pedig eltérő fejlettségi szinten, a harmadik és az ötödik lárvastádiumban csertölgyről gyertyánra váltottam a nevelés folyamán. A nevelést 20 °C-on végeztem el, továbbá naponként 16 óra megvilágítást és 8 óra sötétséget alkalmaztam. A méréseimet az előző kísérlet módszerét követve végeztem el. A mért adatokból a számításaimat leíró statisztikai módszerekkel (átlag, szórás, szélsőértékek), illetve Kruskal-Wallis próbával végeztem. További információkkal szolgált a különböző táplálkozási indexek számítása is.

10.13147/SOE.2021.002

A harmadik nevelési kísérletemnél célom annak vizsgálata volt, hogy milyen hatással van a faj fejlődésmenetére a hőmérséklet? Mennyiben befolyásolja annak szaporodóképességét? Mesterséges tápanyagon, három különböző (20 °C, 25 °C, 30 °C) hőmérsékleten neveltem fel három, 30 egyedszámú mintahalmazt. A nevelés végén a lepkéket kereszteztem a mintahalmazon belül. A szaporodóképesség megállapításához az életképes petéket megszámoltam. A nevelés során naponként 16 óra megvilágítást és 8 óra sötétséget alkalmaztam. A kísérletben feljegyeztem a gyapjaslepkék életeseményeinek a dátumát, mértem a hernyótömeg-növekedést és a bábtömeget is. A számításaim során leíró statisztikai módszereket (átlag, szórás, szélsőértékek) és Kruskal-Wallis próbát alkalmaztam.

Az utolsó nevelési kísérletem célja annak kiderítése volt, hogy miként hat a gyapjaslepke fejlődésmenetére, ha az egyedfejlődése során állandó fényhatásnak, vagy sötétnek van kitéve? Ehhez két, 50-50 egyedszámú mintahalmazt neveltem fel, egyet állandó megvilágításon, a másikat pedig állandó sötétségben. A nevelést 25 °C-on végeztem. A lepkéket mintahalmazokon belül kereszteztem. A kísérlet során feljegyeztem a gyapjaslepkék életeseményeinek a dátumát, mértem a lárvák tömegét a hernyótömeg-növekedés kiszámításához, és a bábtömeget is. A számításaim során leíró statisztikai módszereket (átlag, szórás, szélsőértékek) és Kruskal-Wallis próbát alkalmaztam.

Az eredményeim alapján a nemzedékek között a tápnövényváltás nem okoz gondot, ha az utódnemzedék a faj számára megfelelő tápnövényre kerül. Legjobban a horvát és az osztrák populáció fejlődésbiológiája tért el egymástól, illetve a magyar és az osztrák között is tapasztalható volt némi különbség.

A gyapjaslepke hernyó fejlődése az utolsó lárvastádium a leghosszabb, ekkor fogyaszt a legtöbbet, itt növekszik leginkább a tömege. A bábozódás előtti napokban a hernyók tömege csökken.

A nőstény lepkék esetében a lárvakori növekedés és a lerakott peték száma között összefüggés van. A lárvakorban a nagyobb tömeg-gyarapodást produkált nőstény egyedek több petét raknak le.

A hőmérséklet hatással van a gyapjaslepke lárvakori fejlődési idejére, és báb állapotban töltött időre. A hőmérséklet növelésével a fejlődési idő lecsökken. Ezzel együtt a hernyótömeg-növekedés értéke is alacsonyabb lesz.

A szaporodóképességre szintén befolyással van ez az abiotikus tényező. A túl magas hőmérséklet (30 °C) itt is kedvezőtlenebb. Az eredményeim alapján a hazai

10.13147/SOE.2021.002

gyapjaslepkék számára legkedvezőbb hőmérsékleti optimum 25 °C körül lehet. Ezen a tartományon lett a legnagyobb a hernyótömeg-növekedés értéke és az életképes peték száma.

A fejlődési értékek a tápnövényváltásra kényszerített mintahalmazok esetében gyengébbek voltak, mint a kizárólag cseren táplálkozó egyedeknél. A legnagyobb mortalitást a kizárólag gyertyánon nevelt mintahalmazban kaptam. A gyapjaslepke fejlődési mutatóit figyelembe véve a tápnövényváltás ténye hangsúlyosabb, mint annak ideje. Kísérletem alapján feltételezhetjük, hogy egy elegyes erdőállományban a gyapjaslepkék rosszabbul fejlődnek, mint egy elegyetlen állományban.

Az eredményeim alapján úgy tűnik, hogy a megvilágítás megléte vagy hiánya nem befolyásolja a mortalitást. Az állandó megvilágításon tartott gyapjaslepkék keresztezése után a nőtények egyáltalán nem raktak le életképes petéket. A fejlődési idő szignifikánsan lerövidül állandó megvilágításon mindkét nemnél. Ezzel együtt a hernyótömeg-növekedés is csekélyebb mértékű lesz, mint teljes sötétségben. Úgy tűnik, hogy a teljes sötétség jobban kedvez a faj fejlődésének, mint az állandó megvilágítás.

10.13147/SOE.2021.002

Ábrajegyzék

1. ábra: Petecsomók egy fa törzsén
2. ábra: A gyapjaslepke hernyója
3. ábra: Nőstény lepke
4. ábra: Hím lepke
5. ábra: A gyapjaslepke éves életciklusa
6. ábra: A gyapjaslepke areájának változása 5,8 °C átlagos globális hőmérséklet-emelkedés következtében
7. ábra: Hernyónevelő inkubátorok
8. ábra: Hernyónevelő szekrény
9. ábra: A kutatás tárgya a petri-csészében
10. ábra: A bebábozódott hímek aránya különböző hőmérsékleten az ötödik lárvastádiumban
11. ábra: A bebábozódott nőstények aránya különböző hőmérsékleten
12. ábra: A teljes hernyófejlődési idő alakulása különböző hőmérsékleteken
13. ábra: Az életképes peték száma a különböző hőmérsékleten nevelt egyedek keresztezéskor
14. ábra: A mortalitás L_2-L_7-ig és báb alakban
15. ábra: Különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke hímek táplálkozási indexeinek átlagos értékei a teljes mért lárvafejlődés alatt
16. ábra: Különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke nőstények táplálkozási indexeinek átlagos értékei a teljes mért lárvafejlődés alatt
17. ábra: Az eltérő populációból származó bebábozódott hímek aránya az ötödik lárvastádiumban
18. ábra: A bebábozódott és továbbfejlődött egyedek átlagos hernyótömeg-növekedése az ötödik lárvastádium 9. napján
19. ábra: Az eltérő populációból származó bebábozódott nőstények aránya
20. ábra: Az eltérő populációból származó bebábozódott és továbbfejlődött egyedek átlagos hernyótömeg-növekedése a hatodik lárvastádium 10. napján
21. ábra: Az L_6-ban bebábozódó L_5-ös és az L_7-ben bebábozódó L_6-os hernyók átlagos hernyótömeg-növekedése
22. ábra: A lerakott peték számának alakulása az idő függvényében

10.13147/SOE.2021.002

23. ábra: A hernyótömeg-növekedés és a peteprodukció alakulása
24. ábra: A hernyótömeg-növekedés és a peteprodukció alakulása (R=0,47272)
25. ábra: A szaporulat és az életképes szaporulat számának alakulása a populációkon belüli keresztezéseknél.
26. ábra: A szaporulat és az életképes szaporulat számának alakulása a populációk közti keresztezéseknél
27. ábra: A mintahalmazok között kapott szignifikáns különbség aránya nemenként a Kruskal-Wallis próba során

10.13147/SOE.2021.002

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: A lombrágó hernyók ellen, erdészeti kultúrákban 2019-ben
2. táblázat: A mesterséges tápanyag összetétele
3. táblázat: A hernyókelés megindulásához szükséges idő alakulása
4. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző hőmérsékleteken az első három lárvastádiumban (n=30)(nap)
5. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző hőmérsékleteken a negyedik lárvastádiumban (n=30)
6. táblázat: A hernyótömeg-növekedés alakulása különböző hőmérsékleteken
7. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző hőmérsékleten az ötödik lárvastádiumban
8. táblázat: A hernyótömeg-növekedés alakulása különböző hőmérsékleteken
9. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző hőmérsékleten
10. táblázat: A hernyótömeg-növekedés alakulása különböző hőmérsékleteken
11. táblázat: A fejlődési idő és a hernyótömeg-növekedés alakulása különböző hőmérsékleten a hetedik lárvastádiumban
12. táblázat: Mortalitás a hernyófejlődés alatt különböző hőmérsékleten
13. táblázat: A fejlődési idő alakulása a különböző hőmérsékleteken a teljes hernyófejlődési időszakban
14. táblázat: A hernyótömeg-növekedés alakulása különböző hőmérsékleteken
15. táblázat: Mortalitás bábállapotban a különböző hőmérsékleti értékeken
16. táblázat: A báb időszak hosszának alakulása különböző hőmérsékleteken
17. táblázat: A bábtömegek alakulása különböző hőmérsékleteken
18. táblázat: Szignifikáns különbségek a gyapjaslepke átlagos fejlődési idejében különböző hőmérsékleteken
19. táblázat: Szignifikáns különbségek az egyedek testtömeg-növekedésében különböző hőmérsékleteken
20. táblázat: Különböző megvilágításon a hernyókelés megindulásához szükséges idő a hűtőből való kivételtől számítva
21. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző megvilágításon
22. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző megvilágításon a negyedik lárvastádiumban

23. táblázat: A hernyótömeg-növekedés alakulása különböző megvilágításon a negyedik lárvastádiumban
24. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző megvilágításon az ötödik lárvastádiumban
25. táblázat: A hernyótömeg-növekedés alakulása különböző megvilágításon az ötödik lárvastádiumban
26. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző megvilágításon a hatodik lárvastádiumban
27. táblázat: A hernyótömeg-növekedés alakulása különböző megvilágításon a hatodik lárvastádiumban
28. táblázat: A fejlődési idő alakulása különböző megvilágításon a teljes hernyófejlődési időszakban
29. táblázat: A hernyótömeg-növekedés alakulása különböző megvilágításon L_4-től a bábozódásig
30. táblázat: A bábfejlődés időszakának hossza különböző megvilágításon
31. táblázat: A bábtömeg alakulása különböző megvilágításon
32. táblázat: Szignifikáns különbségek a gyapjaslepke fejlődési idejében és tömegnövekedésében különböző megvilágításon
33. táblázat: Mintahalmazok jelölése a 4.3. fejezetben
34. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt hím gyapjaslepkék fejlődési idejének alakulása az első három lárvastádiumban
35. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke hímek fejlődési idejének alakulása a negyedik lárvastádiumban
36. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke hímek hernyótömeg-növekedésének alakulása a negyedik lárvastádiumban
37. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke hímek száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása a negyedik lárvastádiumban
38. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepke nőstények fejlődési idejének alakulása az első négy lárvastádiumban
39. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék fejlődési idejének alakulása az ötödik lárvastádiumban
40. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék hernyótömeg-növekedésének alakulása az ötödik lárvastádiumban

10.13147/SOE.2021.002

41. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása az ötödik lárvastádiumban
42. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék fejlődési idejének alakulása a hatodik lárvastádiumban
43. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék hernyótömeg-növekedésének alakulása a hatodik lárvastádiumban
44. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása a hatodik lárvastádiumban
45. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék bábállapotban töltött idejének alakulása
46. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék bábtömegének alakulása
47. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék lárva állapotban töltött idejének alakulása
48. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék teljes fejlődési idejének alakulása
49. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék hernyótömeg-növekedésének alakulása az ötödik lárvastádiumtól a bebábozódásig
50. táblázat: A különböző tápnövényen nevelt gyapjaslepkék száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása a teljes mért időszak alatt
51. táblázat: Szignifikáns különbségek a különböző tápnövényen nevelt mintahalmazok fejlődésmenetében
52. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődési idejének alakulása az ötödik lárvastádiumban
53. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk hernyótömeg-növekedésének alakulása az ötödik lárvastádiumban
54. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása az ötödik lárvastádiumban
55. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődési idejének alakulása a hatodik lárvastádiumban
56. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk hernyótömeg-növekedésének alakulása a hatodik lárvastádiumban
57. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása a hatodik lárvastádiumban

10.13147/SOE.2021.002

58. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődési idejének alakulása a hetedik lárvastádiumban
59. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk hernyótömeg-növekedésének alakulása a hetedik lárvastádiumban
60. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása a hetedik lárvastádiumban
61. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk fejlődési idejének alakulása a teljes lárvafejlődés során
62. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk hernyótömeg-növekedésének alakulása a lárvafejlődés mért időszaka alatt
63. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása a lárvafejlődés mért időszaka alatt
64. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk bábállapotban töltött idejének alakulása
65. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk bábtömegének alakulása
66. táblázat: Az elvégzett és feldolgozott keresztezések száma
67. táblázat: A hernyótömeg-növekedési és a peteprodukció közötti összefüggés a Fisher-próba alapján
68. táblázat: Az összes lerakott és az életképes peték aránya közötti összefüggés a Fisher-próba alapján
69. táblázat: Az egy stádiumon belüli különbségek vizsgálata a bebábozódott és továbbvedlett nőstény egyedek között Mann-Whitney próbával
70. táblázat: Az egy stádiumon belüli különbségek vizsgálata a bebábozódott és továbbvedlett hím egyedek között Mann-Whitney próbával
71. táblázat: Az eltérő tápnövényről származó populációk közötti különbségek vizsgálata Kruskal-Wallis próbával

10.13147/SOE.2021.002

Mellékletek jegyzéke

I. melléklet: A fejlődési idő és a hernyótömeg-növekedés alakulása különböző hőmérsékleten

II. melléklet: A fejlődési idő és a hernyótömeg-növekedés alakulása különböző megvilágításon

III. a. melléklet: Különböző tápnövényen nevelt hernyók fejlődési idejének és a hernyótömeg-növekedésének alakulása

III. b. melléklet: Különböző tápnöénen nevelt hernyók száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulás

IV. a. melléklet: Különböző populációból származó hernyók fejlődési idejének és a hernyótömeg-növekedésének alakulása

IV. b. melléklet: Különböző populációból származó hernyók száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása

10.13147/SOE.2021.002

Irodalomjegyzék

Allen J. C., Foltz J.L., Dixon W.N., Liebhold A.M., Colbert J.J., Regmere J., Gray, D. R., Wilder, J. W. and Christie, I. (1993): Will the gypsy moth become a pest in Florida? –The Florida Entomologist 76 (1): 102–113.

Ambrus, A. (2016): Pionír fafajok alkotta erdőtársulások szerepe domb- és hegyvidéki erdei életközösségek lombfogyasztó fajegyütteseinek szemszögéből. – pp. 193-202. In.: Korda, M. (szerk.): Az erdőgazdálkodás hatása az erdők biológiai sokféleségére, Tanulmánygyűjtemény, Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság, 2016.

Andreadis, G. and Weseloh, R. M. (1990): Discovery of *Entomophaga maimaiga* in North American gypsy moth, *Lymantria dispar*. – Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 87 (7): 2461-2465.

Andresen, J. A., McCullough, D. G., Potter, B. E., Koller, C. N., Bauer, L. S., Lusch, D. P. and Ramm, C.W. (2001): Effects of winter temperatures on gypsy moth egg masses in the Great Lakes region of the United States. – Agricultural and Forest Meteorology, 110 (2001): 85–100.

Appel, H. A. and Schultz, J. C. (1994): Oak tannins reduce effectiveness of thuricide (*Bacillus thuringiensis*) in the gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae). – Journal of Economic Entomology, 84 (6): 1736-1742.

Arimoto, M. and Iwaizumi, R. (2014): Identification of Japanese *Lymantria* species (Lepidoptera: Lymantriidae) based on morphological characteristics of adults. - 植物防疫所調査研究報告（植防研報, 26 (50): 89-110.

Balázs, G. és Sáringer, Gy. (1984): Kertészeti kártevők. – Akadémiai Kiadó, Budapest.

Bedő A. (1866): Erdészeti levél Slavóniából. – Erdészeti Lapok, 5 (5): 224–229.

Bell R. A., Owens, C. D., Shapiro, M. and Tardif, J. R. (1981): Development of mass rearing technology, pp. 599–633. In Doane, C. C. and McManus M. L. (eds.): The gypsy moth: Research toward integrated pest management. – Technical Bulletin 1584. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington D. C.

Bierl, B. A., Beroza, M. and Collier, C. W. (1970): Potent sex attractant of the gypsy moth: its isolation, identification, and synthesis. – Science, 170 (3953): 87-89.

Booth, D. C. (2010): Tree host preferences of gypsy moth, bartlett. ─ Bartlett Tree Research Laboratories Technical Report.

Brehm, A. E. (2000): Az állatok világa (1869). – Arcanum adatbázis Kft. http://mek.niif.hu/03400/03408/html/2734.html
[2018. február 11.]

Buss, L., McCullogh, D. and Smitley, D. (2001): *Entomophaga maimaiga* – A Natural Enemy of Gypsy Moth. – Michigan State University Extension http://www.otsego.org/msue/bulletins/E2604.pdf [2019. április 20.]

Cardé, R. T. and Knols, B. G. J. (2001): Effects of light levels and plume structure on the orientation manoeuvres of male gypsy moths flying along pheromone plumes. – Physiological Entomology, 25 (2): 141-150.

Charlton, R. E., Kanno, H., Collins, R. D. and Cardé, R. T. (1993): Influence of pheromone concentration and ambient temperature on flight of the gypsy moth, *Lymantria dispar* (L.), in a sustained-flight wind tunnel. – Physiological Entomology, 1993 (18): 349-362.

Charlton, R. E., Cardé, R. T. and Wallner, W. E. (1999): Synchronous crepuscular flight of female Asian gypsy moths: relationships of light intensity and ambient and body temperatures – Journal of Insect Behavior, 12 (4): 517-531.

Csóka, Gy. (1995): Lombfogyasztó lepkék tömeges fellépései tölgyeseinkben az 1961–1993 közötti időszakban. – Erdészeti Lapok, 130 (11): 331–333.

Csóka, Gy. (1996): Aszályos évek- fokozódó rovarkárok erdeinkben. – Növényvédelem, 32 (11): 545-551.

Csóka, Gy. (1997): Increased insect damage in Hungarian forests under drought impact. – Biologia, Bratislava, 52/2: 1–4.

Csóka, Gy. (1998): A Magyarországon honos tölgyek herbivor rovaregyüttese. – Erdészeti Kutatások, 88: 311-318.

Csóka, Gy. (2015): Rovardrámák a kocsányos tölgyön. – Élet és Tudomány, 2015 (43): 1360-1362.

Csóka, Gy. és Ambrus, A. (2016): Erdei fa- és cserjefajok szerepe a herbivor rovarok fajgazdagságának fenntartásában. – pp. 155–192. In.: Korda, M. (szerk.): Az erdőgazdálkodás hatása az erdők biológiai sokféleségére, Tanulmánygyűjtemény, Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság, 2016.

Csóka, Gy és Hirka, A. (2009): Gyapjaslepke (*Lymantria dispar* L.) legutóbbi tömegszaporodása Magyarországon. – Növényvédelem, 45 (4): 196-201.

Csóka, Gy. és Hirka, A. (2013): A gyapjaslepke (*Lymantria dispar* L.) életmódja és kártétele. – Erdészeti Tudományos Intézet, Erdővédelmi Osztály https://docplayer.hu/2052800-A-gyapjaslepke-eletmodja-es-kartetele-magyarorszagon.html [2019. március 1.]

Csóka, Gy.,Hirka, A., Szőcs, L. and Hajek A. E. (2014): A rovarpatogén *Entomophaga maimaiga* Humber, Shimazu & Soper, 1988 (Entomophtorales: Entomophtoraceae) gomba megjelenése magyarországi gyapjaslepke (*Lymantria dispar*) populációkban. – Növényvédelem 50 (6): 257 – 262.

Csóka, Gy., Hirka, A., Szőcs, L. és Pilarska, D. (2014): A rovarpatogén *Entomophaga maimaiga* (Entomophtorales: Entomophtoraceae) gomba megjelenése magyarországi gyapjaslepke (*Lymantria dispar*) populációkban. – 60. Növényvédelmi tudományos napok 2014. Budapest Konferenciakötet p: 26.

Csóka, Gy., Pödör, Z., Nagy, Gy. and Hirka, A. (2015): Canopy recovery of pedunculate oak, Turkey oak and beech trees after severe defoliation by gypsy moth (*Lymantria dispar*): Case study from Western Hungary. – Forestry Journal (Lesnicki Casopis), 61: 143-148.

Daryaei, M. G., Darvishi, S., Etebari, K. and Salehi M. (2008): Host preference and nutrition efficiency of the gypsy moth, *Lymantria dispar* L. (*Lymantriidae: Lepidoptera*), on different poplar clones. – Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 32: 469-477.

Darvas, B., Polgár, A. L., Schwarczinger, I. és Turóczi, Gy. (1999): A biológiai növényvédelem és helyzete Magyarországon. – MTA Növényvédelmi Kutatóintézete, Budapest.

Diss, A.L., Kunkel, J.G., Montgomery, M.E. and Leonard, D.E. (1996): Effects of maternal nutrition and egg provisioning on parameters of larval hatch, survival and dispersal in the gypsy moth, *Lymantria dispar* L. – Oecologia, 106 (9): 470 – 477.

Dudt, J. F. and Shure, D. J. (1994): The Influence of Light and Nutrients on Foliar Phenolics and Insect Herbivory. – Ecological Society of America, 75 (1): 86 - 98.

Dufek, E. (1877): Hernyófalás a Dunántúlon. – Erdészeti Lapok, 16: 609-611.

Elkinton, J. S. and Liebhold, A. M. (1990): Population dynamics of gypsy moth in North America. – Annual Review of Entomology, 1990 (35): 571-596.

Erdődy, A. (1866): Tölgyeseink aranyszagáról - a gubacsról. – Erdészeti és Gazdászati Lapok, 5 (10): 433-438.

Esperk, T., Tammaru, T. and Nylin, S. (2007): Intraspecific Variability in Number of Larval Instars in Insects. – Journal of Economic Entomology, 100 (3): 627-645

Fibiger M. and Skule B. (2012): Fauna Europaea: *Lymantria dispar*. – Fauna Europaea version 2.5, http://www.faunaeur.org

Földes, J. (1908): A gyapjas pille (*Oeneria dispar*) 1908. évi károsításai. – Erdészeti Lapok, 47 (20): 1027-1032.

Giebultowicz, J. M., Ridgway, R. L. and Imberski, R. B. (1990): Physiological basis for sterilizing effects of constant light in *Lymantria dispar*. – Physiological Entomology 15 (2): 149-156.

Gorsuch, C. (1993): Christmas Tree Growers & The Gypsy Moth. – Forestry Fact Sheet, Michigan State University Extension, 22.

Gray, D. R. (1995): Further advances toward a model of gypsy moth (*Lymantria dispar* (L.)) egg ohenology: respiration rates and thermal responsiveness during diapause, and age-dependent developmental rates in postdiapause. – Journal of Insect Physiology, 41 (3): 247 - 256.

Gray, D. R., Ravlin, F. W. and Braine, J. A. (2001): Diapause in the gypsy moth: a model of inhibition and development. – Journal of Insect Physiology 47 (2001): 173–184.

Grayson, K. L., Parry, D., Faske, T. M., Hamilton, A., Tobin, P. C., Agosta, S. J. and Johnson, D. M. (2015): Performance of wild and laboratory-reared gypsy moth (Lepidoptera: Erebidae): a comparison between foliage and artificial diet. – Environmental Entomology 44 (3): 864–873.

Győrfi, J. (1941): A *Lymantria dispar* L. pusztítása után fellépő másodlagosan káros rovarok. – Erdészeti Lapok, 80 (3): 120-123.

Győrfi J. (1957): Erdészeti rovartan. – Akadémiai Kiadó, Budapest

Győrfi, J. (1958): A gyapjaspille kártétele. – Az Erdő, 7 (9): 350-353.

Győrfi, J. (1960): Adatok a gyapjaspille (*Lymantria dispar* L.) táplálkozási biológiájához. – Erdészeti Kutatások, 56 (1-3): 279-291.

Győrfi J. (1961): A *Lymantria dispar* L. parazitái a legújabb kutatások alapján. – Erdészeti Kutatások, 57 (1-3): 275-285.

Hajek, A.E., Butler, L. and Wheeler, M.M., (1995): Laboratory bioassays testing the host rangeof the gypsy moth fungal pathogen *Entomophaga maimaiga*. – Biological Control 1995 (5): 530–544.

Hrasovec, B. (2001): The gypsy moth in Croatia. – Proceedings of the U.S. Department of Agriculture Interagency Research Forum on gypsy moth and other invasive species. January 16–19, 2001. Annapolis, Maryland, 77–79.

Hasulyó, P. (2012): A gyapjaslepke (*Lymantria dispar*) csapdázása és peteprodukciója. – Diplomadolgozat

Herms, D. A. and Mattson, W. J. (1992): The dilemma of plants: to grow or defend. – The Quarterly Review of Biology, 67 (3): 283 - 334.

Heszky, L. (2013): Roverrezisztens transzgénikus B.t. fajták előállításának stratégiája. –Agrofórum 2013/10 http://gbi.mkk.szie.hu/genetika/pdf/Heszky/Hl-2013_10.pdf [2020. április 2.]

Hillebrand, R. (2012): Különböző tápnövényről származó gyapjaslepke (*Lymantria dispar*) populációk fejlődésbiológiája. – Diplomadolgozat

Hillebrand, R. és Tuba, K (2013): Különböző tápnövényről származó gyapjaslepke-(*Lymantria dispar*) populációk fejlődésmenete Pannónia nyáron. – Növényvédelem, 49 (3): 101-109.

Hillebrand, R. és Tuba, K (2014): A gyapjaslepke (*Lymantria dispar* L.) fejlődésmenete. – p. 320-325. In.: Bidló, A. és mtsai (szerk.): Kari Tudományos Konferencia, 2014 Sopron.

Hirka, A. (2004): 2004. évi biotikus és abiotikus erdőgazdasági károk, valamint a 2005-ben várható károsítások. – Agroinform Kiadó és Nyomda Kft. p: 81-88.

Hirka, A. (2005): 2005. évi biotikus és abiotikus erdőgazdasági károk, valamint a 2006-ben várható károsítások. – Agroinform Kiadó és Nyomda Kft. p: 78-85.

Hirka, A. (2006): 2006. évi biotikus és abiotikus erdőgazdasági károk, valamint a 2007-ben várható károsítások. – Növényvédelem 42 (5): 247-251.

Hirka, A. (2013): A 2013. évi biotikus és abiotikus erdőgazdasági károk, valamint a 2014-ben várható károsítások. – Erdészeti Tudományos Intézet, NÉBIH Erdészeti Igazgatóság. p: 79 - 90.

Hirka, A. (2014): A 2014. évi biotikus és abiotikus erdőgazdasági károk, valamint a 2015-ben várható károsítások. – NAIK Erdészeti Tudományos Intézet, NÉBIH Erdészeti Igazgatóság. p: 76 - 87.

Hirka, A. (2017): A 2017. évi biotikus és abiotikus erdőgazdasági károk, valamint a 2018-ben várható károsítások. – NAIK Erdészeti Tudományos Intézet, NÉBIH Erdészeti Igazgatóság. p: 14.

Hirka, A. (2018): A 2018. évi biotikus és abiotikus erdőgazdasági károk, valamint a 2019-ben várható károsítások. – NAIK Erdészeti Tudományos Intézet, NÉBIH Erdészeti Igazgatóság. p: 13.

Hirka, A. és Csóka, Gy. (2015): A gyapjaslepke. – Agrofórum, 26(3): 52-59.

Hlásny, T., Trombik, J., Holuša, J., Lukašová, K., Grendár, M., Turčani, M., Zúbrik, M., Tabaković-Tošić, M., Hirka, A., Buksha, I., Modlinger, R., Kacprzyk, M. and Csóka Gy. (2015): Multi-decade patterns of gypsy moth fluctuations in the Carpathian Mountains and options for outbreak forecasting. – Journal of Pest Science, 89: 413 – 425.

Hoch, G., Schopf, A. and Maddox, J. V. (2000): Interactions between an Entomopathogenic Microsporidium and the Endoparasitoid *Glyptapanteles liparidis* within Their Host, the Gypsy Moth Larva. – Journal of Invertebrate Pathology, 75 (1): 59-68.

Jermy, T. (1967): Biológiai védekezés a növények kártevői ellen. – Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Jermy, T. és Balázs, K. (1993): A növényvédelmi állattan kézikönyve 4/B. – Akadémiai Kiadó, Budapest.

Johnson, D. M., Liebhold, A. M., Bjørnstad, O. N. and McManus, M. L. (2005): Circumpolar variation in periodicity and synchrony among gypsy moth populations. – Journal of Animal Ecology, 74: 882–892.

Jurc, M. (2006): Oaks - *Quercus* spp.: insects on branches and leaves: gypsy moth (*Lymantria dispar*), european oak leaf roller (*Tortrix viridana*), winter moth (*Operophthera brumata*), mottled umber moth (*Erannis defoliaria*), oak processionary moth (*Thaumetopoea processionea*), browntail moth (*Euproctis chrysorrhoea*) and lackey moth (*Malacosoma neustria*). – Gozdarski vestnik, 64 (5–6): 65–80.

Kallina, K. (1878): Az erdőkáros rovarok ez idei pusztítása a gödöllői erdőségekben. – Erdészeti Lapok, 17: 748-752.

Kallina K. (1885): A gödöllői magyar királyi erdőhivatal kerületében ez évben észlelt hernyópusztításról. – Erdészeti Lapok, 24: 871–873.

Karolewsky, P., Grzebyta, J., Oleksyn, J. and Giertych, M. J. (2007): Effects of temparature on larval survival rate and duration of development in *Lymantria monacha* (L.) on needles of *Pinus sylvestris* (L.) and in *L. dispar* (L.) on leaves of *Quercus robur* (L.). – Polish Journal of Ecology, 55 (3): 595-600.

Katona, K., Szemethy, L., Bleier, L. és Székely, J. (2007): A gímszarvas táplálékforrásainak nyári beszűkülése a gyapjaslepke károsítások következtében. – Erdészeti Lapok, 143 (5): 162-164.

Keena, M. A. (1996): Comparison of the hatch of *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymamtriidae) eggs from Russia and the United States after exposure to different temperatures and durations of low temperature. – Annales of Entomological Society of America, 89 (4): 564-572.

Kelle, A. (1931): *Lymantria dispar* L. – Erdőgazdasági Szemle, 2: 76–84.

Keena, M. A., Odell, T. M. and Tanner, J. A. (1998): Environmentally based maternal effects are the primary factor in determining the developmental response of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) to dietary iron deficiency. – Annales of Entomological Society of America, 91 (5): 710–718.

10.13147/SOE.2021.002

Keszthelyi S. (2019): A fény hatása a kártevőkre. – Agroforum Online https://agroforum.hu/szakcikkek/novenyvedelem-szakcikkek/a-feny-hatasa-a-kartevokre/ [2019. október 2.]

Klein, H. (1994): Der Schwammspinner Forstschädling oder Bioindikator? http://www.waldklein.de/w-biol/schwammi-lang.pdf [2019. május 4.]

Kollwentz, Ö. (1969): A kárláncolatok hatása az erdő életére. – Az Erdő, 18 (4): 159-160.

Korchieva, J., Nykänen, H. and Gianoli, E. (2004): Meta-analysis of Trade-offs among Plant Antiherbivore Defenses: Are Plants Jacks-of-All-Trades, Masters of All? – The American Naturalist, 163 (4): 64-76.

Krehan, H. (1993): Massenauftreten von forstschädlichen Schmetterlingsraupen in Eichenwäldern Ostösterreichs. https://bfw.ac.at/400/pdf/fsaktuell_12_13_1.pdf [2019. június 11.]

Kristen, A. (1908): Az *Ocneria dispar* (Gyapjaspille). – Erdészeti Lapok, 47: 489-499.

Lambert, B. and M. Peferoen (1992): Insecticidal Promise of *Bacillus thuringiensis.* – BioScience, 42 (2): 112 – 122.

Lenhárd, A. (1907): Az *Ocneria dispar*. – Erdészeti Lapok, 46: 964–965

László, Gy. (2008): A *Bacillus thuringiensis* család. – Biokultúra, 2008/2.

Lengyel, Gy. és Halmágyi, L. (1977): Vegyszerekkel és biopreparátumokkal végzett helikopteres védekezés tapasztalatai. – Az Erdő, 26 (7): 314-316.

Lengyel, L. (2006): Új lehetőség a gyapjaspille elleni védekezésben. – Erdészeti Lapok, 141 (3): 89-90.

Lengyel, L., Szalay-Marzsó, L. és Leskó, K. (1995): A környezetkímélő szerek használatáról és a BEFAG Rt. területén végzett *Lymantria dispar* L. elleni védekezésről. – Erdészeti Lapok, 130 (4): 111-114.

Leonard, D. E. (1972): Survial in a gypsy moth population exposed to low winter temperatures. – Enviromental Entomogy, 1 (5):549-554.

Leskó, K., Szentkirályi, F. és Kádár, F. (1994): Gyapjaslepke (*Lymantria dispar* L.) populációinak fluctuációs mintázatai 1963-1993 közötti időszakban Magyarországon. – Erdészeti Kutatások, 84: 163-176.

Leskó, K. (1981): Feromon alkalmazása a *Lymantria dispar* L. elleni védekezésben. – Erdészeti Kutatások, 74: 361-368.

Leskó, K. (1988): Néhány megfigyelés a szél útján elsodródott *Lymantria dispar* L. hernyókról. – Növényvédelem 24 (7): 302-305.

Leskó, K., Szabóky, Cs., Szentkirályi, F., és Kádár, F. (1998): Még egyszer a gyapjaslepkéről (*Lymantria dispar* L.), avagy hogyan készül az erdővédelmi előrejelzés. – Erdészeti Lapok. 133 (5): 147-149.

Liebhold, A. M., Gottschalk, K.W., Luzader, E.R., Mason, D.A. Bush, R. and Twardus, D.B. (1997): Gyps Moth in the United States: an Atlas. – USDA Forest Service General Technical Reports, NE–233.

Liebhold, A. M., Halverston, J. A. and Elmes, G. A. (1992): Gypsy moth invasion in North America: a quantitative analysis. – Journal of Biogeography, 19 (5): 513-520.

Lindroth, R. L., Klein, K. A., Hemming, J. D. C. and Feuker, A. M. (2008): Variation in temperature and dietary nitrogen affect performance of the gypsy moth (*Lymantria dispar* L.). – Physiological Entomology, 22(1): 55–64.

Lopez, M. C., Fortea, P. V., Suárez, C. P., Alonso, H. R., y Peña, S. G. (2003): Sanidad forestal - guía en imágenes de plagas, enfermedades y otros agentes presentes en los montes. – Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Lum, P. T. M. and Flaherty, B. R. (1970): Effect of continuous light on the potency of *Plodia interpunctella* males (Lepidoptera: Phycitidae). – Annals of the Entomological Society of America, 63(5): 1470–1471.

Lum, P. T. M. and Flaherty, B. R. (1970): Effect of mating with males reared in continuous light or in light-dark cycles on fecundity in *Plodia interpunctella* Hübner (Lepidoptera: Phycitidae), – Journal of Stored Products Research, 5 (2): 89-94.

Matusovits, P. (1908): A *Liparis dispar* a pozsonyi királyi erdőfelügyelőség kerületében. – Erdészeti Lapok, 47: 576-578.

Matusovits, P. (1918): Síksági tölgyeseink pusztulása. ─ Erdészeti Lapok, 57: 114-119.

Markóné Nagy, K. (2010): A tápnövény, mint meghatározó tényező a gyapjaslepke (*Lymantria dispar* L.) tömegszaporodásában. – Növényvédelem, 46 (11): 532-539.

Markóné Nagy, K. (2013): A gyapjaslepke (*Lymantria dispar* L..) tömegszaporodásának (2003-2006) elemzése, valamint táplálkozásbiológiai vizsgálatok gyapjaslepkével és apácalepkével (*Lymantria monacha* L.). – Egyetemi Doktori disszertáció.

Martinat, P. J. (1987): The role of climatic variation and weather in forest insect outbreaks. In: Barbosa, P., Schultz, J. C. (eds): Insect Outbreaks. ─ Academic Press, San Diego, 241–268.

Marczali Zs. (2010): Rovarökológia, Pannon Egyetem, Egyetemi előadás. https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012_rovarokologia_hun/rovarokologia_1_1.html [2019. január 10.]

Maurice J. T., Catherine A. T., John R. R., Agatha J. T. and Lawrence P. A. (1990): Dormancy in *Lymantria dispar* (Lepidoptera: *Lymantriidae*): analysis of photoperiodic and thermal responses. ─ Annals of the Entomological Society of America, 83 (3): 494-503.

McMannus, M. and Csóka, Gy. (2007): History and impact of gypsy moth in North America and comparison to recent outbreaks in Europe. – Acta Silvatica et Lignaria Hungarica, 3: 47-64.

McMannus, M. and Solter, L. (2003): Microsporidian pathogens in European gypsy moth populations. – In: McManus, M. L. and Liebhold A. M., eds. Proceedings: Ecology, Survey and Management of Forest Insects, 44-51.

McWilliam, A. (2003): Environmental impact of baculoviruses. http://www.fao.org/docs/eims/upload/agrotech/2003/R7299_FTR_anx3.pdf [2019. április 20.]

Mihályi, F. (1991): Amerikaiak gyapjaspille állomása Budapesten az 1926-34 években. – Növényvédelem, 27 (6): 265-272.

Milanović, S., Lazarević, J., Popvić, Z., Miletić, Z., Kostić, M., Radulović, Z., Karadzić. D. and Vuleta, A. (2014): Preference and performance of the larvae of *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae) on three species of European oaks. – European Journal of Entomology, 111(3): 371–378.

Milanović, S. D., Popović, M. M., Dobrosavljević, J. N., Kostić, I. M. and Lazarević, J. M. (2019): Desperate times call for desperate measures: Short-term use of the common ash tree by gypsy moth larvae (Lepidoptera: Erebidae) under density and starvation stress. – Archives of Biological Sciences, 2019; https://doi.org/10.2298/ABS191106067M. [2020. február 15.]

Molnár, M. és Lakatos, F. (2008): Pusztuló bükköseink. – Természet világa, Forestpress. http://forestpress.hu/jie_hu/index.php?option=com_content&task=view&id=15933&Itemid=35 [2015. március 1.]

Mosher F. H. (1915): Food plants of the gypsy moth in America. – USDA Bull. No. 250, 39.

Mirčić, D., Janković-Tomanić, M., Nenadović, V., Franeta, F., and Lazarević, J. (2010): The effects of cadmium on the life history traits of *Lymantria dispar* L.. – Archives of Biological Sciences, Belgrade, 62 (4): 1013-1020.

Nagy, S. (1883): Az *Ocneria dispar* hernyójáról. – Erdészeti Lapok, 22: 664–665.

Niemelä, P. (1983): Seasonal patterns in the incidence of specialism: Macrolepidopteran larvae on Finnish deciduous trees. – Annales Zoologici Fennici, 20 (3): 199-202.

Nierhaus-Wunderwald, D. und Wermelinger, B. (2001): Der Schwammspinner (*Lymantria dispar* L.). – Merkblatt für die Praxis 34 2001, WSL Birmensdorf.

Nowinszky, L. és Puskás, J. (1996): A gyapjaslepke (*Lymantria dispar* L.) fénycsapdázásának eredményessége időjárási frontok idején. – Erdészeti Lapok, 81(1): 16-17.

Pilarska, D., Solter, L., Kereselidze, M., Linde, A. and Hoch, G. (2006): Microsporidian infections in *Lymantria dispar* larvae: Interactions and effects of multiple species infections on pathogen horizontal transmission. – Journal of Invertebrate Pathology, 93 (2): 105-113.

Pogue M. G. and Schaefer P. W. (2007): A review of selected species of *Lymantria* Hübner (1819). – FHTET. Washington, D.C.

Ponomarev, V. I., Benkovskaya, G. V. and Klobukov, G. I. (2013): Effect of heat stress on morphophysiological characteristics and biochemical parameters of stress Response in Gypsy Moth (*Lymantria dispar* L.) Larvae. – Russian Journal of Ecology, 45 (4): 275-281.

Pimentel, D., Zuniga, R. and Morrison, D. (2005): Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. – Ecological Economics, 52: 273– 288.

Ratkovszky K. (1897): Az *Ocneria (Bombyx) dispar*. – Erdészeti Lapok, 36: 802–803.

Riipi, M., Ossipov, V., Lempa, K., Haukioja, E., Koricheva, J., Ossipova, S. and Pihlaja, K. (2002): Seasonal changes in birch leaf chemistry: are there trade-offs between leaf growth and accumulation of phenolics? – Oecologia, 30: 380-390.

Rossiter, M. C., Schultz, J. C. and Baldwin, I. T. (1988): Relationship among defoliation, red oak phenolics, and gypsy moth growth and reproduction. – Ecology 69(1): 267-277.

Salminen, J-P., Roslin, T., Karonen, M., Sinkkonen, J., Pihlaja, K. and Pulkkinen, P. (2004): Seasonal variation in the content of hydrolyzable tannins, flavonoid glycosides, and proanthocyanidins in oak leaves. – Journal of Chemical Ecology, 30 (9): 1693-1711.

Sáringer, Gy. (1976): A fotoperiódus, a hőmérséklet és a táplálék minőségének hatása néhány kártevő lepkefaj diapauzájára és fekunditására. – Állattani Közlemények, 63 (1-4): 131-139.

Sáringer, Gy. (2004): A rovarok nyugalmi állapotáról. Szent István Akadémia (székfoglaló előadás). Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Budapest. 2004. május 21.

Sawyer, A. J., Tauber, M. J., Tauber, C. A. and Ruberson, J. R. (1992): Gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) egg development: a simulation analysis of laboratory and field data. – Ecological Modelling, 66 (1993): 121-155.

Solter, L.F., Siegel, J.P., Pilarska, D.K. and Higgs, M.C. (2002): The impact of mixed infection of three species of microsporidia isolated from thegypsy moth, *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera: Lymantriidae). – Journal of Invertebrate Pathology, 81 (2): 103–113.

Stockhoff, B., A. (1993): Diet heterogeneity: implications for growth of a generalist herbivore, the gypsy moth. – Ecological Society of America, Ecology, 74(7): 1939-1949.

Stoyenoff, J. L., Witter, J. A., Montgomery, M. E. and Chilcote, C. A. (1994): Effects of host switching on gypsy moth (*Lymantria dispar* L.) under field conditions. – Oecologia, 97:143-157.

Szabóky, Cs. és Leskó, K. (1999): Rend: *Lepidoptera* – Lepkék. In: Tóth, J. (szerk.): Erdészeti rovartan. – Agroinform Kiadó, Budapest.

Szalay-Marzsó, L. (1957): Az amerikai fehér szövőlepke (*Hyphantria cunea* Drury) élősködői a Nyírségben 1954 nyarán. – Annales Institute of Plant Protection. 7: 185-189.

Szontagh, P. és Tóth, J. (1988): Erdővédelmi útmutató. Második átdolgozott bővített kiadás. – Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

Szűcs, F. (2000): A gyapjaslepke (*Lymantria dispar* L.) parazitoidjainak szerepe a faj gradációs viszonyainak alakításában. http://ngt-erdeszet.emk.nyme.hu/soproni-muhely/16_szam/33/33.htm [2019. február 10.]

Tallós, P. (1966): A gyapjaslepke (*Lymantria dispar* L.) kártételének előrejelzéséről. – Az Erdő, 15(12): 549-552.

Tavaszi, J., Nádasy, M. és Lengyel, L. (2006): A gyapjaslepke (*Lymantria dispar* L.) kártétele, táplálkozása és rajzásdinamikája. – Erdészeti Lapok, 141(1): 8-9.

Theodore G. A. and Ronald M. W. (1990): Discovery of *Entomophaga maimaiga* in North American gypsy moth, *Lymantria dispar*. – National Academy of Sciences, 87: 2461-2465.

Thompson L. M., Faske, T. M., Banahene, N., Grim, D., Agosta, S. J., Parry, D. Tobin, P. C., Johnson, D. M. and Grayson, K. L. (2017): Variation in growth and developmental responses to supraoptimal temperatures near latitudinal range limits of gypsy moth *Lymantria dispar* (L.), an expanding invasive species. – Physiological Entomology, (2017) 42, 181–190.

Ujhelyi, J. (1926): A gyapjaspille (*Ocneria dispar*) természetes ellenségei. – Erdészeti Lapok 65 (10): 427–428.

Ulrich, É. (2008): Gyapjaslepke kártétele után jelentkező kárláncolat a Mecseki Erdészeti Zrt. Sásdi Erdészetének területén. – Diplomadolgozat. Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar.

Vanhanen, H., Veteli, T. O., Päivinen, S., Kellomäki, S. and Niemelä, P. (2007): Climate change and range shifts in two insect defoliators: gypsy moth and nun moth – a model study. – Silva Fennica, 41 (4): 621-638.

Varga, F. (1964): A *Lymantria dispar* károsításai következtében fellépő növedékkiesés cserállományokban. – Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei (2): 217-226.

Varga, F. (1969): Adatok a gyapjaspille (*Lymatria dispar* L.) táplálkozás-biológiájához és ennek összefüggése a tömegszaporodással. – Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei, (1): 71-82.

Varga, F. (1975): A gyapjaspille (*Lymatria dispar* L.) táplálkozás-biológiája és kártétele Magyarországon. – Egyetemi Doktori disszertáció.

Varga, F. (1986): A gyapjaslepke (*Lymatria dispar* L.) erdeink veszélyes kártevője. – Növényvédelem, 22 (6): 263.

Varga, F. (1988): A táplálék minőségének szerepe a gyapjaslepke (*Lymantria dispar* L.) erdei kártételében. – In: Bartha, S. (szerk.): I. Magyar Ökológus Kongresszus. Budapest, 1988.04.27. - 1988.04.29. MTA, p. 210-210.

Varga, Z. (1996): A lombfogyasztó rovarok szerepe. In.: Mátyás, Cs. (szerk.): Erdészeti Ökológia. – Mezőgazda Kiadó, Budapest.

Varga, F. (2001): Erdővédelemtan. – Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.

Varga, F. és Palotás, K. (1982): A gyapjaspille (*Lymantria dispar* L.) kiváltotta kárláncolatok hatása kocsányos tölgyesekben. – Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei, (1): 57-65.

Vavra, J., Hylis, M., Vossbrinck, C., Pilarska, D., Linde, A., Weiser, J., McManus, M., Hoch, G. and Solter, L. (2006): *Vairimorpha disparis* n. comb. (Microsporidia: Burenellidae): A Redescription and Taxonomic Revision of *Thelohania disparis* Timofejeva 1956, a Microsporidian Parasite of the Gypsy Moth *Lymantria dispar* (L.) (Lepidoptera: Lymantriidae). – The Journal at Eukaryotic Microbiology, 53 (4): 292-304.

Voronyin, K. E. és Szorokina A. P. (1975): Biológiai növényvédelem. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. Fordította: Oros Gyula

Waggoner, P. E. (1985): How gypsy moth eggs freeze. – Agricultural and Forest Meteorology, 1985 (36): 43-53.

Webster, R. P. and Yin, C. M. (1997): Effects of photoperiod and temperature on calling behaviour of the gypsy moth, *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera: *Lymantriidae*) – The Canadian Entomologiest, 129 (5): 843-854.

Weiser, J. (1963): Protozoan diseases of the gypsy moth. – in: Ludvik, J. and Jírovec, O. (edit): Progress in protozoology. Academic Press, New York. 497-499

Wermelinger, B. (1993): Der Schwammspinner (*Lymantria dispar* L.): Massenwermehrung auf Alpensüdseite. – PBMD-Bull. Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 1993: 7.

Wermelinger, B. (1995): Massenvermehrung und Populationszusammenbruch des Schwammspinners *Lymantria dispar* L. (*Lymantriidae*) 1992/1993 im Tessin Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft68, 3–4: 419–428.

Williams, R. S., Lincoln, D. E. and Norby, R. J. (2003): Development of gypsy moth larvae feeding on red maple saplings at elevated CO2 and temperature. – Oecologia, (137):114–122.

Woods, A. and Elkinton, J. S. (1987): Bimodal patterns of mortality from nuclear polyhedrosis virus in gypsy moth (*Lymantria dispar*) populations. – Journal of Invertebrate Pathology 50, 151-157.

Zahiri, R., Schmidt, B. C., Schintlmeister, A., Yakovlev, R. V. and Rindos, M. (2019): Global phylogeography reveals the origin and the evolutionary history of the gypsy moth (Lepidoptera, Erebidae). – Molecular Phylogenetics and Evolution, 137 (2019): 1-13.

Zúbrik, M. (2004): Mníška veľkohlavá *Lymantria dispar* L. najvýznamnejší defoliátor dubín. (Gypsy moth *Lymantria dispar* L. the most injurious oak defoliator). In Varínsky, J. (ed): Aktuálne problémy vochrane lesa 2004, Lesnícky výskumný ústav, Zvolens. 130–141. in Slovak.

Zúbrik, M., Hajek, A., Pilarska, D., Spilda, I., Georgiev, G., Hrašovec, B., Hirka, A., Goertz, D., Hoch, G., Barta, M., Saniga, M., Kunca, A., Nikolov, C., Vakula, J., Galko, J., Pilarski, P. and Csóka, Gy. (2016): The potential for *Entomophaga maimaiga* to regulate gypsy moth *Lymantria dispar* (L.) (Lepidoptera: Erebidae) in Europe. – Journal of Applied Entomology, doi: 10.1111/jen.12295

Zúbrik, M., Pilarska, D., Kulfan, J., Barta, M., Hajek, A.E., Bittner, T.D., , Zach, P., Takov, D., Kunca, K., Rell, S., Hirka, A. and Csóka, Gy. (2018): Phytophagous larvae occurring in Central and Southeastern European oak forests as a potential host of Entomophaga maimaiga (Entomophthorales: Entomophthoraceae) – A field study. Journal of Invertebrate Pathology, 155: 52-54. https://doi.org/10.1016/j.jip.2018.05.003

10.13147/SOE.2021.002

Köszönetnyilvánítás

A disszertációm végén szeretnék köszönetet mondani azoknak, akik segítették a munkámat. Elsőként hálámat fejezném ki a témavezetőimnek. Köszönet jár Prof. Dr. Lakatos Ferencnek a kísérletem előfeltételeinek megteremtéséért, a munkám ellenőrzéséért és a sok egyéb támogatásért. Kizárólag a hála őszinte szavaival tudok beszélni a másik témavezetőmről, Dr. Tuba Katalin Tanárnőről, akinek áldozatkész segítsége, folyamatos iránymutató és ellenőrző munkája nélkülözhetetlen volt a munkám elvégzéséhez.

Szívbéli köszönetemet szeretném kifejezni az Erdőművelési és Erdővédelmi Intézet dolgozóinak, akikkel három évig kitűnő csapatot alkottunk, továbbá rengeteg segítséget nyújtottak nekem a munkám során.

Végezetül hálásan köszönöm menyasszonyomnak, Dr. Kovács Mártának és szüleimnek, akik türelemmel és szakadatlan buzdítással támogatták munkámat.

Sopron, 2020. április

Hillebrand Rudolf

10.13147/SOE.2021.002

I. melléklet: A fejlődési idő és a hernyótömeg-növekedés alakulása különböző hőmérsékleten

T	Nem	L1 - L3		L4	L5		L6		L7		Teljes hernyófejlődés	
		N	Fejlődési idő átlaga (nap)	Fejlődési idő átlaga (nap)	N	Fejlődési idő átlaga (nap)	N	Fejlődési idő átlaga (nap)	N	Fejlődési idő átlaga (nap)	N	Fejlődési idő átlaga (nap)
°C					**Mortalitás:** 1 db 30 °C-on		**Mortalitás:** 1 db 20 °C-on		**Mortalitás:** 1 db 20 °C-on		***Megjegyzések**	
20	♂	12	34	11	11	19					12	64
					1	4	1	14				
	♀	18	35	10	18	10	11	19			16	71
							6	9	5	19		
25	♂	16	23	7	13	12					16	44
					3	8	3	12				
	♀	14	21	6	14	7	12	13			14	46
							2	8	2	16		
30	♂	11	17	7	10	10					10	34
	♀	19	17	5	19	7	18	12			19	41
							1	8	1	13		
T	**Nem**	**N**		**Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)**	**N**	**Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)**	**N**	**Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)**	**N**	**Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)**	**N**	**Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)**
°C					**Mortalitás:** 1 db 30 °C-on		**Mortalitás:** 1 db 20 °C-on		**Mortalitás:** 1 db 20 °C-on		***Megjegyzések**	
20	♂	12		0,0855	11	0,2915					12	0,3745
					1	0,0116	1	0,2493				
	♀	18		0,0814	18	0,2089	11	0,9847			16	1,2533
							6	0,2802	5	0,8764		
25	♂	16		0,0912	13	0,2860					16	0,4290
					3	0,1248	3	0,2910				
	♀	14		0,0806	14	0,2033	12	1,1353			14	1,5116
							2	0,4035	2	1,3792		
30	♂	11		0,1353	10	0,2280					10	0,3725
	♀	19		0,0901	19	0,2453	18	0,5925			19	0,9559
							1	0,4715	1	0,6529		

***Megjegyzések:** Elpusztult egyedek kihagyva, különböző stádiumban bebábozódók együtt kezelve

10.13147/SOE.2021.002

II. melléklet: A fejlődési idő és a hernyótömeg-növekedés alakulása különböző megvilágításon

Megvilágítás	Nem	L1 - L3		L4	L5	L6		L7		Teljes hernyófejlődés	
		N	Fejlődési idő átlaga (nap)	Fejlődési idő átlaga (nap)	Fejlődési idő átlaga (nap)	N	Fejlődési idő átlaga (nap)	N	Fejlődési idő átlaga (nap)	N	Fejlődési idő átlaga (nap)
24h										*Megjegyzések	
Állandó sötét	♂	17	21	9	14					17	44
	♀	33	19	7	8	31	18			33	53
						2	8	2	15		
Állandó megviláígtás	♂	29	19	7	12					29	38
	♀	21	17	5	8	21	15			21	45

Megvilágítás	Nem	N	Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)	Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)	N	Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)	N	Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)	N	Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)
24h									*Megjegyzések	
Állandó sötét	♂	17	0,1084	0,4116					17	0,5199
	♀	33	0,1154	0,3155	31	1,3390			33	1,8010
					2	0,3136	2	1,5381		
Állandó megviláígtás	♂	29	0,1199	0,3429					29	0,4628
	♀	21	0,0977	0,4267	21	1,0110			21	1,5354

***Megjegyzések:** Elpusztult egyedek kihagyva, különböző stádiumban bebábozódók együtt kezelve

10.13147/SOE.2021.002

III. a. melléklet: Különböző tápnövényen nevelt hernyók fejlődési idejének és a hernyótömeg-növekedésének alakulása

Mintahalmazok	Nem	♂: L1 - L3; ♀: L1-L4		♂: L4	L5		L6		L7		Teljes hernyófejlődés	
		N	Fejlődési idő átlaga (nap)	Fejlődési idő átlaga (nap)	N	Fejlődési idő átlaga (nap)	N	Fejlődési idő átlaga (nap)	N	Fejlődési idő átlaga (nap)	N	Fejlődési idő átlaga (nap)
							[1]Megjegyzés				[2]Megjegyzés	
Cs	♂	15	22	8	15	13					15	44
	♀	11	25		11	8	11	16			11	50
CsGy3	♂	5	21	9	5	17					5	46
	♀	16	27		16	9	16	19			16	54
CsGy5	♂	11	25	8	10	16					11	49
					1	8	1	14				
	♀	10	28		10	8	9	17			10	54
							1	0,3289	1	0,5022		
Gy	♂	7	31	8	7	13					7	52
	♀	3	32		3	6	3	19			3	63
Mintahalmazok	**Nem**		**N**	**Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)**	**N**	**Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)**	**N**	**Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)**	**N**	**Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)**	**N**	**Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)**
Cs	♂		15	0,1311	15	0,3274					15	0,4585
	♀				11	0,3576	11	1,0752			11	1,4328
CsGy3	♂		5	0,1288	5	0,3063					5	0,4351
	♀				16	0,2170	16	0,6174			16	0,8344
CsGy5	♂		11	0,1016	10	0,2945					11	0,391227273
					1	0,1105	1	0,2407				
	♀				10	0,2759	9	0,5428			10	0,8767
							1	0,3289	1	0,5022		
Gy	♂		7	0,0819	7	0,2945					7	0,3764
	♀				3	0,1267	3	0,4462			3	0,8598

[1]**Megjegyzés:** A Gy mintacsoportban két hernyó L7-es
[2]**Megjegyzés:** Különböző stádiumban bebábozódók együtt kezelve

10.13147/SOE.2021.002

III. b. melléklet: Különböző tápnöényen nevelt hernyók száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulás

Mintahalmazok	Nem	♂: L4		L5		L6		L7		Teljes hernyófejlődés	
		N	Száraz levéltömeg-fogyasztás átlaga (g)	N	Száraz levéltömeg-fogyasztás átlaga (g)	N	Száraz levéltömeg-fogyasztás átlaga (g)	N	Száraz levéltömeg-fogyasztás átlaga (g)	N	Száraz levéltömeg-fogyasztás átlaga (g)
						[1]Megjegyzés				[2]Megjegyzés	
Cs	♂	15	0,1667	15	0,5647					15	0,7315
	♀			11	0,3278	11	1,8027			11	2,1305
CsGy3	♂	5	0,2539	5	0,9336					5	1,1876
	♀			16	0,4572	16	1,9570			16	2,4142
CsGy5	♂	11	0,1656	10	0,8618					11	1,107541909
				1	0,2148	1	0,8822				
	♀			10	0,4739	9	1,7126			10	2,2980
						1	0,8125	1	1,9271		
Gy	♂	7	0,1678	7	0,7725					7	0,9403
	♀			3	0,2297	3	1,1416			3	2,6021

[1]**Megjegyzés:** A Gy mintacsoportban két hernyó L7-es
[2]**Megjegyzés:** Különböző stádiumban bebábozódók együtt kezelve

10.13147/SOE.2021.002

IV. a. melléklet: Különböző populációból származó hernyók fejlődési idejének és a hernyótömeg-növekedésének alakulása

Mintahalmazok	Nem	L5		L6		L7		Teljes hernyófejlődés	
		N	Fejlődési idő átlaga (nap)	N	Fejlődési idő átlaga (nap)	N	Fejlődési idő átlaga (nap)	N	Fejlődési idő átlaga (nap)
		Mortalitás: H: 1 db; A: 3 db		**Mortalitás:** H: 3 db; A: 2 db				[1]Megjegyzés	
CR	♂	7	14					25	47
		18	9	18	15				
	♀	25	9	19	17			25	54
				6	10	6	16		
H	♂	4	13					18	45
		14	8	14	15				
	♀	28	9	23	16			28	47
				5	10	5	17		
A	♂	2	17					14	46
		12	9	12	19				
	♀	31	8	28	18			31	46
				3	9	3	17		
Mintahalmazok	**Nem**	**L5**		**L6**		**L7**		**Teljes hernyófejlődés**	
		N	**Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)**	**N**	**Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)**	**N**	**Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)**	**N**	**Hernyótömeg-növekedés átlaga (g)**
		Mortalitás: H: 1 db;		**Mortalitás:** H: 3 db;				**Megjegyzés:**	
CR	♂	25	0,2072					25	0,4654
				18	0,3586				
	♀	25	0,2525	25	0,9281			25	1,4855
						6	1,3388		
H	♂	18	0,1539					18	0,4190
				14	0,3408				
	♀	28	0,2818	28	1,0698			28	1,5669
						5	1,2054		
A	♂	14	0,1857					14	0,4801
				12	0,3435				
	♀	31	0,2668	31	1,0974			31	1,5112
						3	1,5194		

[1]**Megjegyzés:** Különböző stádiumban bebábozódók együtt kezelve

10.13147/SOE.2021.002

IV. b. melléklet: Különböző populációból származó hernyók száraz levéltömeg-fogyasztásának alakulása

Mintahalmazok	Nem	L5		L6		L7		Teljes hernyófejlődés	
		N	Száraz levéltömeg-fogyasztás átlaga (g)	N	Száraz levéltömeg-fogyasztás átlaga (g)	N	Száraz levéltömeg-fogyasztás átlaga (g)	N	Száraz levéltömeg-fogyasztás átlaga (g)
		Mortalitás: H: 1 db; A: 3 db;		**Mortalitás:** H: 3 db; A: 2 db;				[1]**Megjegyzés**	
CR	♂	7	0,5252					25	0,9143
		18	0,2687	18	0,7946				
	♀	25	0,2649	19	2,4458			25	2,9355
				6	0,5886	6	2,7934		
H	♂	4	0,5694					18	0,7634
		14	0,1834	14	0,6354				
	♀	28	0,2722	23	1,8716			28	2,3002
				5	0,4105	5	2,3373		
A	♂	2	0,5146					14	0,9940
		12	0,2499	12	0,8681				
	♀	31	0,2527	28	1,6459			31	1,9810
				3	0,4049	3	2,0918		

[1]**Megjegyzés:** Különböző stádiumban bebábozódók együtt kezelve