

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Török Henrietta Kinga

Gödöllő

2026



**MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM
SZENT ISTVÁN CAMPUS**

BIOLÓGIA TUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

A doktori iskola vezetője:

DR. NAGY ZOLTÁN

Témavezető:

DR. HOFFMANN ORSOLYA IVETT

**A VAD ÉS LABORATÓRIUMI MUS NEMZETSÉG
TAGJAINAK ÖSSZEHAJONLÍTÓ ETOLÓGIAI
VIZSGÁLATA**

Készítette:

TÖRÖK HENRIETTA KINGA

Gödöllő

2026

A doktori iskola

Megnevezése: Biológia Tudományi Doktori Iskola

Tudományága: Természettudományok

Vezetője: Dr. Nagy Zoltán
tanszékvezető, egyetemi tanár
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Növénytermesztési-tudományok Intézet,
Növényélettan és Növényökológiai Tanszék

Témavezető: Dr. Hoffmann Orsolya Ivett
tudományos főmunkatárs
Magyar Agrár-és Élettudományi Egyetem,
Genetika és Biotechnológia Intézet,
Állatbiotechnológia Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

1. TARTALOMJEGYZÉK

1. A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉS -----	3
1.1. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI -----	3
2. ANYAG ÉS MÓDSZER -----	6
2.1. A vizsgálathoz használt egérállomány elhelyezése-----	6
2.2. A güzü- és háziegér mászási képességének a vizsgálata-----	6
2.3. A vad és domesztikált egerek felfedező viselkedésének az összehasonlítása- 8	
2.4. Két laboratóriumi egértörzs viselkedésének összehasonlítása különböző megvilágítási körülmények között -----	9
2.5. A három laboratóriumi egértörzs mászási képességének a vizsgálata -----	10
3. EREDMÉNYEK -----	12
3.1. A güzü- és háziegér mászási képességének a vizsgálata-----	12
3.2. A vad és domesztikált egerek felfedező viselkedésének az összehasonlítása 12	
3.3. Két laboratóriumi egértörzs összehasonlítása különböző megvilágítási körülmények esetén -----	13
3.4. A három laboratóriumi egértörzs mászási képességének a vizsgálata -----	15
4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK -----	17
5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK-----	21
6. IRODALOMJEGYZÉK -----	22
7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBŐL ÍRT TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK; ISMERETTERJESZTŐ PUBLIKÁCIÓK; ELŐADÁSOK-----	24

1. A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉS

A laboratóriumi egerek (*Mus musculus domesticus*) az elmúlt évszázad során a tudományos kutatások egyik legfontosabb modellállatává váltak. Egyszerű tartásuk, gyors szaporodásuk és genomjuk rendkívül részletes ismerete miatt az orvosi, farmakológiai és viselkedési kutatások alapvető szereplői (Silver, 1995). A laboratóriumi modellállatként használt egerek a *Mus* genus különböző fajából származnak, amelyek közül genetikai vizsgálatok alapján négy szülői komponenst azonosítottak: *Mus musculus domesticus*, *Mus musculus musculus*, *Mus musculus castaneus* és *Mus musculus molossinus* (Frazer et al., 2007). Ezek az eredetek jelentős genetikai diverzitást biztosítanak, amely befolyásolja a laboratóriumi egerek fiziológiai és viselkedési tulajdonságait. Az egerek házasítása és célzott tenyésztése a 18-19. században kezdődött Japánban és Európában, azonban laboratóriumi egereket a 19. század közepétől használják tudományos kutatásokhoz. A házasítás hosszú folyamata nemcsak morfológiai és fiziológiai változásokat idézett elő a laboratóriumi egerekben, hanem jelentős hatással volt viselkedési mintázataikra is (Trut et al., 2009). A házasított állatok általában kevésbé agresszívek, aktivitásuk csökkent, és alkalmazkodóbbak az emberi jelenlét felé. Ezek a változások nemcsak az irányított szelekció eredményei, hanem az új környezethez való alkalmazkodás, például a fogságban való élet és az emberi interakciók következményei is. A laboratóriumi környezet egyedi kihívásokat jelentett, amelyek generációk során alakították a laboratóriumi egerek genetikai és viselkedési jellemzőit (Benjamini et al., 2001).

A vad Mus fajok viselkedésének tanulmányozása értékes összehasonlítási alapot nyújt a házasítás során bekövetkezett változások megértéséhez. Jelen dolgozat célja, hogy összehasonlítsa a vad Mus nemzetség tagjainak (güzüegér és háziegér) és a leggyakrabban használt laboratóriumi beltenyésztett egértörzsek mint a BALB/c, C3H és C57BL/6 viselkedési mintázatait. E három egértörzs különböző viselkedési profilokkal rendelkezik az eddigi tanulmányok alapján. A C3H törzs különösen érdekes, mivel gyakran alkalmazzák tanulási és memóriefunkciókat érintő vizsgálatokban (Bryan et al., 2008). A BALB/c egerek magasabb szorongási szintet és alacsonyabb explorációs aktivitást mutatnak, míg a C57BL/6 törzs inkább exploratív és kevésbé szorongó természetű (O'Leary et al., 2013). Ez a három törzs különböző viselkedési profilja lehetőséget nyújt a viselkedésbeli változatosság genetikai és környezeti alapjainak tanulmányozására, továbbá, hogy a laboratóriumi egerek viselkedése mennyiben tér el a vad őseik viselkedési mintázataitól. Kutatási eredményeim lehetőséget adhatnak a laboratóriumban tartott egerek tartási körülményeinek finomítására.

1.1. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI

Kutatásomban laboratóriumi körülmények között vizsgáltam a güzü- és háziegerek viselkedését, mivel ezen fajokat eddig nem vizsgálták zárttéri tartásban, továbbá ezen vad egérfajok viselkedését hasonlítottam össze laboratóriumi törzsekkel. A dolgozatom második részében pedig a leggyakrabban használt laboratóriumi egértörzseket viselkedését vizsgáltam.

1. A két közelrokon faj, a güzü- és háziegér mászási képességének a vizsgálata.
2. A két közelrokon faj, a güzü- és háziegér felfedező viselkedésének az összehasonlítása a két leggyakrabban használt laboratóriumi egértörzs, a BALB/c és a C57BL/6 viselkedésével.
3. Két laboratóriumi egértörzs, az albínó BALB/c és a pigmentált C57BL/6 egerek viselkedésének az összehasonlítása különböző megvilágítási körülmények között.

4. A három laboratóriumi egértörzs, a BALB/c, a C57BL/6 és a C3H egerek mászási képességének a vizsgálata.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A vizsgálathoz használt egérállomány elhelyezése

A vizsgálatok a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Kaposvári Campusának rágcsálólházában történtek. A rágcsálólház saját egértenyésztéssel rendelkezett, ahol ismert korú, nemű és származású egyedek voltak. A güzü- és háziegér állomány Magyarország különböző pontjain befogott vad egerek laboratóriumban született utódai. A laboratóriumi egér törzsek törzsállománya az Akronom Kft. állományából származik (BALB/c, C57BL/6, C3H) a vizsgálatok ezen állomány utódaival zajlottak. Az egerek T4-es (600 ×200 ×380 mm) laboratóriumi egérdozban, kiscsoportos tartásban (1 hím, 2-3 nősténnyel) voltak elhelyezve, mélyalommal (SAFE® 3-4 S Fibrillated fibers) és fészekanyaggal (SAFE® crinklets natural és SAFE® nesting small) ellátva. Az állatok számára ivóvíz és takarmány (SAFE® 132 laboratory mouse feed) *ad libitum* állt rendelkezésre. Az állatok egy elsötétített helyiségben voltak elhelyezve, fordított nappalos világítási ütemezéssel, reggel 8 órától este 8-ig 10 lux erősségű vörös fény, majd este 8 órától reggel 8-ig egy 220 lux erősségű sárga fény megvilágításban 20-22 Celsius-fok hőmérséklet és 50-55%-os páratartalom mellett. Az egerek napi szinten voltak ellenőrizve állatgondozó által, évenkénti állatorvosi ellenőrzéssel.

2.2. A güzü- és háziegér mászási képességének a vizsgálata

Az állatok a teszt idején kívül csoportosan (3-4 egyed együtt) voltak elhelyezve egy T4-es laboratóriumi egérdozban, alommal és fészeképítő anyaggal ellátva. Az állatok 21 Celsius fokos laboratóriumi hőmérsékleten voltak tartva, fordított nappalos megvilágításban. A takarmány- és vízellátás *ad libitum* állt rendelkezésre az állatok számára.

A felmászó vizsgálathoz 44 güzüegeret választottunk, ebből 22 fiatal volt és 22 pedig felnőtt, a háziegerek közül szintén 44 került kiválasztásra, itt is 22 fiatal és 22 felnőtt. A fiatal egerek 28-35 napos kor között voltak, míg a felnőtt egerek

körülbelül 500 naposak voltak. A güzü-és a háziegereknél a vizsgálatban hímek és nőtények azonos arányba lettek kiválasztva.

A felmászó teszthez az eszközöket magunk készítettük, mely egy 27 cm magas, 0,9 cm átmérőjű rúdból állt, amely egy 10 cm átmérőjű kerek talpon áll, amivel 90 fokos szöget zárt. A rúd és a talp is kezeletlen fából készült, egyik sem lett simára csiszolva. A teszthez 5 darab mászórudat használtunk, amelyeket egy 65 cm átmérőjű és 55 cm magas kör alakú piros színű műanyag open-field arénában helyeztünk el.

A kiválasztott egerek egyenként lettek tesztelve, majd minden egyes teszt után alkohollal áttöröltük az arénát és a felmászórudakat is, hogy az egereket ne befolyásolja az előző egér szaga. A teszt teljes időtartama 15 perc volt, amiből 10 perc a „pihenőidő”, ami arra szolgált, hogy az egér megszokja és felfedezze az új környezetet. Majd 5 perc tesztidő következett, amely alatt feljegyzésre került, hogy az egér felmászott-e a rúdra vagy sem, ha felmászott, akkor hányszor, továbbá, hogy az első felmászás a tesztidő hányadik másodpercében történt. Ezenkívül a mászás során rögzítésre került, hogy az adott egér használta-e a farkát vagy sem, ez a módszer Earl 1976-os vizsgálata szerint lett vizsgálva. Az elemzéshez az egereket fajok és korcsoportok szerint csoportosítottuk.

A statisztikai elemzéshez SAS 9.4 szoftvercsomagot használtunk, a LIFEREG (SAS Inst. Inc., 2013) és a PHREG (SAS Inst. Inc., 2014) eljárásokat alkalmazva. A vizsgálatban az első sikeres mászás időtartamát külön elemeztük a fajra és az életkorra vonatkozóan a túlélési függvény segítségével (Kaplan és Meier, 1958), ahol a túlélési függvény ($S(t)$) azt a valószínűséget (P) becsüli meg, hogy egy esemény nem következik be (T) egy meghatározott időn belül (t): $S(t) = P(T > t)$. Ebben a vizsgálatban ez azt jelenti, hogy az állatnak még nem sikerült felmásznia a rúdra.

A különböző túlélési függvény görbéi között adódó szignifikáns különbségeket a Log-rank teszt alkalmazásával határoztuk meg (Kaplan és Meier, 1958). Emellett

a faj és az életkor hatását az első sikeres mászás időtartamára a Cox Proportional Hazard modell (Cox, 1972) (más néven Cox regresszió) alkalmazásával elemeztük. A Cox-regresszió megadja a regressziós együtthatókat (b) a fajra és az életkorra. Az együtthatók exponenciális állandó hatványára emelése (kb. 2,718) pedig a veszélyességi arányt vagy a relatív veszélyt: Veszélyességi arány = $\exp(b)$. A kockázati arány állandó a vizsgálat teljes időtartama alatt (ebben az esetben 5 perc). Jelen vizsgálatunkban a relatív veszélyesség annak valószínűségét mutatja, hogy a következő időegységben a vizsgált fajra, illetve korcsoportokban sikeres mászás következik be (Woodward, 2014).

2.3. A vad és domesztikált egerek felfedező viselkedésének az összehasonlítása

Fajonként (güzü-és háziegér) és törzsenként (BALB/c és C57BL/6) 32 egyed került random módon kiválasztásra, a fajokon/törzseken belül 16 nőstény és 16 hím, ezen belül pedig 8 fiatal és 8 felnőtt egyed került kiválasztásra. A vizsgálatához a kiválasztott egyedek egyesével kerültek tesztelésre egy 36,5 x 21 x 18 cm-es tejfehér műanyag egérdobozban, ami be volt rendezve alomanyaggal, fészeképítő anyaggal, egértáppal és ivóvízzel. Az teszthez használt egérdoboz oldalán egy 10 cm hosszú, 5 cm átmérőjű cső vezetett az open-field arénába, amely a külvilágot modellezte. Minden egyes teszt után az alom és a fészekanyag lecserélésre került és a doboz ki lett fertőtlenítve, hogy az esetleges szagok ne befolyásolják az egymást követő egerek viselkedését. A teszt teljes ideje 15 perc volt, ebből 10 perc a pihenőidő, amíg az egérdoboz oldalán lévő cső le volt zárva, majd pihenőidő lejártá után a cső vége szabaddá vált. A megfigyelési idő 5 perc volt, ami alatt felvételezésre került az állat viselkedése, hogy elhagyja-e az egérdobozt a csövön keresztül vagy sem és ha elhagyja, az hányadik másodpercben történik meg.

A statisztikai elemzéshez IBM SPSS 29.0 szoftvercsomagot használtunk. A felfedező viselkedés időtartamát külön elemeztük a vad és domesztikált csoportok között és külön a fajok és törzsek összehasonlítását túlélés függvény segítségével. A túlélés görbék közötti szignifikáns különbségeket Log-rank teszt alkalmazásával határoztuk meg. Végül a vad és laboratóriumi egerek esetén a nemek és az életkorok hatását a felfedező viselkedés időtartamára Cox Proportional Hazard modell alkalmazásával határoztuk meg.

2.4. Két laboratóriumi egértörzs viselkedésének összehasonlítása különböző megvilágítási körülmények között

Ebben a vizsgálatban open-field tesztet használtuk az egerek viselkedésének a leírásához két különböző erősségű megvilágításon. A vizsgálatához BALB/c és C57BL/6 laboratóriumi egereket használtunk, összesen 64 egyed, ebből 32 (16 BALB/c és 16 C57BL/6) egeret nappali megvilágításban vizsgáltunk, 220 lux sárga fényű, 32 egeret pedig gyenge 10 lux-os vörös fényű megvilágításban vizsgáltuk, mivel a szakirodalmi adatok szerint a rágcsálók az alacsony intenzitású vörös fényt kevésbé érzékelik (Finley, 1959). Az állatokat a vizsgálaton kívül szabványos (T4) laboratóriumi műanyag rágcsálódobozban tartottuk, alommal és fészeképítő anyaggal ellátva, 20–22 °C-os laboratóriumi hőmérsékleten. A takarmány és a víz *ad libitum* állt az állatok rendelkezésére. A világítás ciklusa 12 - 12 órás, fordított nappalos. A világítás az állatházban automatizált, világos periodusban OSRAM típusú L36W/640 fénycső világít, sötét fázisban pedig a Philips típusú TL-D 36W/10 vörös fénycső.

A vizsgálatához kiválasztott egyedeket egyenként teszteltük egy 36,5 x 21 x 18 cm-es fehér műanyag tárolóban. A teszt időtartama 300 másodperc, ezt stopperórával mértük. A vizsgálat alatt feljegyzésre került az állat viselkedése. A vizsgált tulajdonságok a vizsgáló kezének megközelítése, a megközelítések száma, a tesztidő alatt ürített bélsár mennyisége és az első megközelítés ideje volt,

amelyeket potenciálisan a megvilágítás fényerőssége és az egértörzs is befolyásolhatott.

Az első megközelítés idejét túlélés függvényrel vizsgáltuk (Kaplan és Meier, 1958) ahol a függvény ($S(t)$), annak a valószínűségét adja meg, hogy a vizsgált egyedek "t" idő alatt a vizsgáló kezét még nem közelítették meg: $S(t) = P(T > t)$.

A fényerősség és az egyes törzsek alapján megkülönböztethető csoportok túlélés függvényeinek különbözőségét Log-rank teszt segítségével határoztuk meg (Kaplan és Meier, 1958). A fényerősségek, a pigmentált és albínó csoportok, és az életkorok hatását a felfedező viselkedés időtartamára Cox Proportional Hazard modell alkalmazásával határoztuk meg.

A megközelítések száma Poisson eloszlású tulajdonság, ezért az erre ható tényezők hatásának megállapításához Poisson regressziót alkalmaztunk. A bélsár mennyisége és a felfedező viselkedés közötti összefüggést Pearson-féle korreláció alapján vizsgáltuk. Valamennyi statisztikai vizsgálatához a IBM SPSS Statistics 29.0 programot használtuk.

2.5. A három laboratóriumi egértörzs mászási képességének a vizsgálata

A vizsgálatához 20 darab BALB/c egeret, 20 darab C57BL/6 egeret és 20 darab C3H egeret használtunk. A kiválasztott egereket egyenként helyeztük a berendezett open-field arénában, és minden egyes egér után az arénát és a mászórudakat alkohollal áttöröltük át, hogy az előző egér szaga ne befolyásolja a következő tesztalanyokat. A teszt teljes időtartama 15 perc volt, ebből 10 perc az úgynevezett „pihenőidő”, amely alatt az egérnek lehetősége volt megszokni és felfedezni az új környezetét. Az időt stopperórával mértük. A 10 perc letelte után 5 percnyi tesztidőt rögzítettünk. Feljegyeztük, hogy az egér felmászott-e a rúdra az 5 perc alatt, ha igen, hányszor mászott fel, továbbá, hogy hányadik másodpercben történt az első mászás. Az egereket törzs és korcsoport szerint csoportosítottuk.

Fiatal egereket 28 és 35 napos kor között, míg felnőtt egereket körülbelül 500 napos korukban választottunk ki. A teszt során hím és nőstény egereket egyaránt használtunk.

Az első felmászás idejét túlélés függvénnyel vizsgáltuk (Kaplan és Meier, 1958) ahol a függvény ($S(t)$), annak a valószínűségét adja meg, hogy a vizsgált egyedek "t" idő alatt még nem másztak fel a rúdra: $S(t) = P(T > t)$.

Az egyes törzsek, a nemek és a korok alapján megkülönböztethető csoportok túlélés függvényeinek különbözőségét Log-rank teszt segítségével határoztuk meg (Kaplan és Meier, 1958). A törzsek, a nemek és az életkorok hatását a felmászás időtartamára Cox Proportional Hazard modell alkalmazásával határoztuk meg.

A felmászások száma Poisson eloszlású tulajdonság, ezért az erre ható tényezők hatásának megállapításához Poisson regressziót alkalmaztunk. Valamennyi statisztikai vizsgálathoz a IBM SPSS Statistics 29.0 programot használtuk.

3. EREDMÉNYEK

3.1. A güzü- és háziegér mászási képességének a vizsgálata

A log-rank teszt alapján a faj és a kor is szignifikáns különbséget mutatott ($p < 0,05$). a güzüegerek (1-es csoport) csoportjánál 101 másodperc volt, mire az első felmászás megtörtént, ezzel szemben a háziegereknél (2-es csoport) az első felmászás a 32. másodpercben történt meg.

A güzüegerek közül 28 egyed nem mászott fel a rúdra, ami azt jelenti, hogy a güzüegerek több mint 63 %-a nem mutatott mászási hajlandóságot. A háziegereknél ezzel szemben viszont csak 10 egyed nem mutatott mászási hajlandóságot a teszt ideje alatt, azaz a háziegereknek csak kevesebb, mint 23 %-a nem mászott fel a rúdra.

A güzüegér, mind a háziegér fiatal egyedei (2-es csoport) előbb másztak fel a rúdra, mint a felnőtt egyedek (1-es csoport). Továbbá a felnőttek közül 25 egér nem mászott fel a rúdra a teszt ideje alatt, így a felnőtt egyedek több mint 56 %-a nem mutatott mászási hajlandóságot. A fiataloknál 11 egyed nem mászott fel a rúdra, ez a fiatalok 25%-át. A becsült Cox regressziós együtthatók szignifikánsnak bizonyultak ($p < 0,005$), jelezve a faj és az életkor szignifikáns hatását a vizsgált tulajdonságra. A becsült Hazard arányok alapján annak a valószínűsége, hogy a következő időegységben a felmászás megtörténik, a háziegereknél négyszer nagyobb valószínűséggel történik meg, mint a güzüegereknél, továbbá a fiatal egyedeknél háromszor akkora valószínűséggel történik meg, mint a felnőtteknél.

3.2. A vad és domesztikált egerek felfedező viselkedésének az összehasonlítása

A vad és a domesztikált egércsoportokra vonatkozó túlélési függvényében a log-rank teszt alapján a két csoport között szignifikáns különbség van ($p < 0,001$). A vad egérfajok csoportjánál az első felfedezés ideje már jóval 50 másodperc előtt

megettörtént, míg a laboratóriumi egerek csoportjánál az első felfedezés valahol a 70-75. másodperc környékén.

A csoportokon belül, ha a güzüegeret, a háziegeret, a BALB/c és a C57BL/6 egeret hasonlítjuk össze túlélés függvényével, akkor azt kapjuk, hogy a güzüegerek fedezik fel a külvilágot a legnagyobb arányban, majd utána következnek a háziegerek, majd ezt követően a BALB/c és a C57BL/6 egerek nagyon hasonló arányban. A log-rank teszt alapján a BALB/c és a C57BL/6 egerek között nincs jelentős eltérés különbség ($p=0,328$), viszont a güzüegerek és a háziegerek között szignifikáns különbség van ($p=0,002$). A güzüegerek és a két laboratóriumi egértörzs között szignifikáns különbséget mértünk ($p<0,001$), ahogy a háziegerek és a két laboratóriumi egértörzs között is ($p=0,041$). Az 4 csoport összehasonlításában látszik, hogy a güzüegerek azok, akik időben legkorábban fedezték fel a külső környezetet, ez valamikor a 35. másodpercnél történt, ezt követi a háziegerek csoportja, ahol az első felfedezés az 50. másodperc körül volt. A laboregerek közül a C57BL/6 egerek első felfedezése a 75. másodperc körül történt, míg a BALB/c egereké a 100. másodperc körülire tehető. A becsült Cox regressziós együttható a vad/laboratóriumi egerek tekintetében szignifikánsnak bizonyult, jelezve a szignifikáns hatást a vizsgált tulajdonságra, azaz az első felfedezés idejére. A nemeknél és az életkornál nem találtunk szignifikáns eltérést a felfedezés idejére.

3.3. Két laboratóriumi egértörzs összehasonlítása különböző megvilágítási körülmények esetén

A 10 lux fényintenzitáson az első felfedezés ideje jóval az 50. másodperc előtt megettörtént, míg 220 lux fényintenzitáson az első felfedezés csak valamikor a 140-150. másodperc körül történt meg. A túlélés elemzés alapján tudjuk, hogy a 220 lux erősségű sárga fényen a 32 egerből 14 ment oda a vizsgáló kezéhez, ami az egereknek körülbelül a 44%-át jelenti. A 10 lux erősségű piros fényen a 32 egerből 27 ment oda, ami azt jelenti, hogy az egerek 84%-a közelítette meg a

vizsgáló kezét. A 10 lux fényerősségen a BALB/c egerek nagyobb arányban mentek oda a felvételező kezéhez. Az első felfedezés 10 lux fényintenzitáson valamikor a 70-80. másodpercben történt, míg 220 lux fényintenzitáson az első felfedezés csak a 150. másodperc környékén történt. A túlélés elemzés alapján a BALB/c egerek közül a 220 lux erősségű fényen a 16 egérből csak 6 ment oda a felvételező kezéhez, ami az egerek 37,5%-át jelenti. A 10 lux erősségű fényen a 16-ból 13 egér ment oda, ami azt jelenti, hogy az egerek 81%-a ment oda a felvételező kezéhez. A függvény alapján a C57BL/6 egerek szintén a 10 lux erősségű fényen mentek nagyobb arányban a felvételező kezéhez, mint a 220 lux erősségű fényen. Az első felfedezés a 10 lux erősségű fényen már az 50. másodperc előtt megtörtént, míg a 220 lux erősségű fényen az első felfedezés csak a 150. másodperc körül történt meg. A C57BL/6 egerek közül a 220 lux erősségű fényen a 16-ból 10 egér ment oda a felvételező kezéhez, ami az egerek 62,5%-át jelenti. A 10 lux erősségű piros fényen pedig a 16-ból 14 egér ment oda a felvételező kezéhez, ami az egerek 87,5%-át jelenti. A pigmentált szemű C57BL/6 egerek első megközelítése a két különböző fényintenzitáson szintén szignifikáns különbséget mutat a log-rank teszt alapján. A Cox regressziós modell alapján az első megközelítés idejére, azaz, hogy mikor ment oda a felvételező kezéhez először az egér, szignifikáns hatással ($p < 0,005$) volt az egerek kora és a fényintenzitás, a modell alapján az egértörzsnek nem volt hatása ($p = 0,148$) a felfedezés idejére, ezáltal azt feltételezhetjük, hogy a szemszín, hogy pigmentált-e vagy sem nem befolyásolta az állat viselkedését. Az állatok aktivitásában, hogy hányszor mentek oda a felvételező kezéhez, a Poisson regresszió alapján azt találtuk, hogy szignifikáns különbség van a két fény között ($p < 0,001$), a piros fényen az állatok aktívabbak. Továbbá a korok között is szignifikáns különbséget ($p = 0,022$) találtunk az aktivitást tekintve. A fiatal állatok aktívabbak voltak, mint a felnőttek. A két egértörzs között, az aktivitás tekintetében nem találtunk szignifikáns különbséget ($p = 0,784$).

A teszt ideje alatt ürített bélsár tekintetében a Pearson-korreláció alapján az alábbi eredményeket kaptuk. A bélsár mennyisége és a kor között pozitív kapcsolat van ($p < 0,001$), minél idősebb az egér, annál több bélsarat ürített a teszt ideje alatt ($r = 0,470$). Továbbá a bélsár mennyisége és a fény erőssége között is pozitív kapcsolat van ($p < 0,001$), a nagyobb fényerősségen több bélsarat ürítettek az állatok ($r = 0,688$). A bélsár mennyisége és az aktivitás között egy negatív kapcsolatot találtunk ($p < 0,001$), minél inaktívabb volt az állat, annál több bélsarat ürített a teszt során ($r = -0,484$).

3.4. A három laboratóriumi egértörzs mászási képességének a vizsgálata

A három laboratóriumi egértörzsre vonatkozó túlélés függvényben a log-rank teszt alapján nincs szignifikáns különbség a három egértörzs között ($p = 0,118$). A BALB/c és a C57BL/6 egerek első felmászási idejében már az 50. másodperc közelében megtörtént, míg a C3H egerek első felmászási idejében csak a 130. másodperc körül történt meg. A BALB/c egerek 55%-a mászott fel, a C57BL/6 egerek 65%-a, a C3H egereknek viszont csak a 35%-a mászott fel a rúdra az 5 perces tesztidő alatt.

Nemekre bontva a felmászási idejüket a következőket kaptuk. A Log-rank teszt alapján a hím és a nőstény egerek között nincs szignifikáns különbség a felmászásban ($p = 0,869$). A hím és a nőstény egerek csoportjai között első felmászási idejében nagy eltérés, mindkét nem első felmászási ideje az 50. másodperc körül megtörtént. A hím egerek 53%-a mászott fel a rúdra, a nőstények 50%-a. A fiatal és felnőtt egerek felmászásban a következő eredményeket kaptuk. A log-rank teszt alapján a felnőtt és fiatal egerek között szignifikáns különbség van felmászásban ($p < 0,001$). A fiatal egerek első felmászási idejében már az 50. másodperc előtt megtörtént, míg a felnőtt egerek első felmászási ideje valahol a 190. másodperc körül történt meg.

Továbbá a fiatal egerek nagyobb arányban fel a rúdra, mint a felnőtt egerek. A felnőttek 36%-a mászott fel, a fiataloknak viszont a 63%-a mászott fel a rúdra az

5 perces tesztidő alatt. A Cox regresszió alapján az első felmászás idejére az egértörzsek és a nemek nem voltak szignifikáns hatással, a kor viszont szignifikáns hatással volt.

A Poisson-regresszió alapján az aktivitásban, hogy hányszor másztak fel az egerek a tesztidő alatt azt kaptuk, hogy az egértörzsek között nincs szignifikáns különbség ($p=0,417$), ahogy a nemek között sincs szignifikáns különbség ($p=0,363$), viszont a korok között az aktivitásban szignifikáns különbséget találtunk ($p=0,004$), a fiatal egerek többször másztak fel a tesztidő alatt a rúdra, mint a felnőttek.

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

4.1. A güzü- és háziegér mászási képességének a vizsgálata

Vizsgálataim során a háziegér (*Mus musculus*) és a güzüegér (*Mus spicilegus*) mászási képességét hasonlítottam össze laboratóriumi körülmények között. Az eredmények megerősítették, hogy a háziegerek általában jelentősen erősebb mászási hajlandóságot mutatnak, mint a güzüegerek. A fiatal egyedek mindkét faj esetében nagyobb mászási hajlandóságot tanúsítottak, mint a felnőtt egyedek. A Cox-regresszió alapján a háziegerek esetében négyszer nagyobb volt annak valószínűsége, hogy a következő időegységben a felmászás megtörténik, mint a güzüegerek esetében. A fiatal egyedeknél háromszor akkora volt a valószínűsége a sikeres mászásnak, mint a felnőtteknél. Ezek az eredmények rávilágítanak arra, hogy a fajok élőhelyi környezete, valamint morfológiai sajátosságaik (például a farokhossz) nagyban befolyásolják a mászási képességet. A háziegér jobb mászóképesége valószínűleg az antropogén élőhelyekhez való alkalmazkodás eredménye, ahol a vertikális mozgás kulcsfontosságú lehet. Ezzel szemben a güzüegerek, amelyek mezőgazdasági területekhez köthetőek, kevésbé szorulnak rá a mászásra a többnyire lágyszárú növényekkel borított környezetükben.

A jelen tanulmány laboratóriumi körülmények között történt. A terepi megfigyelések segítségével további bizonyítékok nyerhetők arra vonatkozóan, hogy a fiatal güzüegerek milyen szerepet játszanak a halompépítés során, és hogyan használják a mászási képességet a természetes élőhelyükön. Az élőhelyek és a mászási képesség kapcsolatának mélyebb megértése érdekében összehasonlító vizsgálatokat érdemes végezni különböző ökológiai kontextusban élő rágcsálófajokkal. A güzüegér mezőgazdasági területekhez való kötődése és az emberi tevékenység élőhelyekre gyakorolt hatása miatt további kutatásokra van szükség az állomány megőrzése érdekében.

4.2. A güzü- és háziegér felfedező viselkedésének összehasonlítása a két laboratóriumi egértörzs viselkedésével

A vizsgálat során a vad (*Mus musculus* és *Mus spicilegus*) és a domesztikált laboratóriumi egérfajok (BALB/c és C57BL/6) felfedező viselkedését hasonlítottuk össze. Az eredmények alapján a vad egérfajok jelentősen aktívabbak voltak, gyorsabban és nagyobb arányban hagyták el az ismerős környezetet, mint a laboratóriumi egérfajok. A vizsgálat megerősítette, hogy a domesztikáció során csökken az aktivitási szint, illetve lassul a felfedező viselkedés megkezdésének időpontja. A vad egérfajok között is különbségek állapíthatóak meg: a güzüegerek gyorsabban és nagyobb arányban fedezték fel a külvilágot, mint a háziegerek. Ez valószínűleg az eltérő élőhelyi követelmények és életmódbeli sajátosságok eredménye. A laboratóriumi egérfajok között nem találtunk jelentős különbségeket a felfedező viselkedés tekintetében, ami valószínűleg a kis genetikai eltéréssel magyarázható. Az eredmények alátámasztják, hogy a domesztikáció során a viselkedésbeli változások inkább mennyiségi, mint minőségi jellegűek.

A domesztikáció okozta viselkedésbeli változások genetikai alapjainak pontosabb megértése érdekében érdemes lenne összehasonlító vizsgálatokat végezni más rágcsálófajokkal is. Különösen érdekes lehet az aktivitási szintek és a stresszreakciók genetikai hátterének feltárása.

A laboratóriumi egérfajok genetikai diverzitásának növelése érdekében szükséges lehet vad egérfajok bevonása a tenyészállományok frissítésére. Ez javíthatja a laboratóriumi tesztek ökológiai relevanciáját.

Az eredmények hozzájárulhatnak a laboratóriumi egerek modellezési alkalmazásainak fejlesztéséhez, különösen az olyan viselkedési zavarok vizsgálatánál, amelyek a csökkent aktivitási szinthez vagy stresszreakciókhoz kapcsolódnak.

4.3. Két laboratóriumi egértörzs viselkedésének összehasonlítása különböző megvilágítási körülmények között

A vizsgálat eredményei alapján megállapítható, hogy a fény intenzitása jelentős hatással van a laboratóriumi egerek viselkedésére. Az erős megvilágítás (220 lux) jelentősen csökkentette az egerek aktivitását, míg a gyenge vörös fény (10 lux) alatt az egerek szignifikánsan aktívabbak voltak. Ez a különbség nemcsak az aktivitási szinteken volt kimutatható, hanem az állatok stresszreakcióiban is: az erős megvilágítás alatt nagyobb mértékű ürített bélsár mennyiséget regisztráltunk, ami a megnövekedett stressz jele lehet. A pigmentált szemű C57BL/6 egerek valamivel kevésbé voltak érzékenyek az erős fényre, mint az albínó BALB/c egerek, azonban mindkét egértörzs esetében kimutatható volt az erős megvilágítás negatív hatása az aktivitásra. Az albínó egerek különösen érzékenyek a fényre, ami összefügghet a fény által kiváltott fotoreceptor-degenerációval. A vizsgálataink arra is rávilágítottak, hogy az életkor szintén befolyásolja az egerek aktivitását: a fiatalabb egerek aktívabbak voltak, mint idősebb társaik, ami a fiatal egyedek nagyobb kíváncsiságával és kisebb stresszérzékenységgel magyarázható.

A laboratóriumi egértartásban javasolt az alacsony intenzitású vörös fény használata, mivel ez kevésbé zavarja az állatok viselkedését és napi ritmusát. Az erős megvilágítás kerülése segítheti az egerek esetén a stressz szintjét, amely javíthatja a kutatási eredmények megbízhatóságát.

A fordított nappalos rendszer alkalmazása lehetővé teszi az egerek aktív periódusban történő vizsgálatát, így növelve a viselkedési tesztek biológiai relevanciáját.

A viselkedési tesztek tervezésekor érdemes figyelembe venni az állatok életkorát, mivel a fiatalabb egyedek aktívabbak és kevésbé szorongóak lehetnek. Ez a tényező jelentős hatással lehet a kutatási eredmények értelmezésére. Javasolt

további kutatásokat végezni a különböző spektrumú és intenzitású fények hatásáról az egerek viselkedésére és élettani folyamataira.

4.4. Laboratóriumi egértörzsek mászási képességének vizsgálata

A laboratóriumi egértörzsek viselkedési különbségei az egyszerűbb viselkedési tesztekben, mint például a felmászó tesztben, minimálisak. Vizsgálatunk eredményei megerősítik, hogy a törzsek közötti különbségek nem szignifikánsak, továbbá a nemek közötti eltérések sem mutattak jelentős hatást. Az egerek életkora azonban lényeges tényező, amely szignifikáns hatást gyakorolt mind az első felmászás idejére, mind az aktivitás mértékére. A fiatal egerek szignifikánsan gyorsabbak és aktívabbak voltak, mint a felnőttek.

Kísérletek tervezésekor az életkort érdemes figyelembe venni. Az eredmények alapján javasolt azonos életkorú egerek használata a viselkedési tesztek során, hogy elkerüljük az életkorból adódó variabilitás befolyásoló hatását.

Bár a felmászó teszt során a törzsek közötti különbségek nem bizonyultak jelentősnek, más viselkedési paradigmák alkalmazásával (például a szorongás, memória, vagy tanulási tesztek) érdemes további kutatásokat végezni, amelyek a genetikai eltérések finomabb hatásait feltárhatják. A vizsgálatok összehasonlíthatósága érdekében elengedhetetlen az egységes tartási körülmények biztosítása, mivel a laboratóriumi környezet szintén hatással lehet a viselkedési eredményekre.

Egyes törzsek speciális fenotípusai, például a BALB/c egerek albínó jellege, bizonyos tesztekben, például erős megvilágítás mellett, befolyásolhatják az eredményeket, ezért ezekhez igazított vizsgálati feltételek javasoltak.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A vizsgálataink során bebizonyítottuk, hogy a két közelrokon egérfaj, a güzü-és háziegér között a felmászóképességben különbség van. A háziegér nagyobb mászási hajlandóságot mutatott, mint a güzüegér, ami valószínűleg abból adódik, hogy a két egérfaj a természetben eltérő élőhelyen fordul elő.

2. A vad egérfajok és a laboratóriumi egértörzsek felfedező viselkedésének a vizsgálatokor bebizonyítottuk, hogy a vad egérfajok nagyobb arányban és időben korábban hagyták el az ismerős környezetet, mint a laboratóriumi egértörzsek.

3. Bizonyítottuk, hogy a három laboratóriumi egértörzs (BALB/c, C57BL/6 és C3H) között nem kaptunk viselkedésbeli különbséget a felmászás tekintetében. Az életkornak nagyobb hatása volt a felmászásra, mint annak, hogy a vizsgálatban részt vevő állatok mely egértörzsbe tartoztak.

6. IRODALOMJEGYZÉK

Benjamini, Y., Drai, D., Elmer, G., Kafkafi, N., Golani, I. (2001): Controlling the false discovery rate in behavior genetics research. *Behavioural Brain Research*, 125(1–2): 279–284.

Bryan, C. D., Smiley, K. O., Cooper, J. J. (2008): Behavioral differences among inbred mouse strains: implications for brain function. *Behavior Genetics*, 38(3): 345–356.

Cox, D. R. (1972): Regression Models and Life Tables. *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, 34: 187–220.

Earl, S. R., Smith, L. B., Wang, W. Z. (1976): Tail length and climbing ability in three African rodent species. *Mammalia*, 40(3): 377–384.

Finley, R. B. (1959): The evolution and occurrence of arboreal habits in rodents. University of Kansas Publications, Museum of Natural History, 9(1): 1–48.

Frazer, K. A., Eskin, E., Kang, H. M., Bogue, M. A., Hinds, D. A., Beilharz, E. J., et al. (2007): A sequence-based variation map of 8.27 million SNPs in inbred mouse strains. *Nature*, 448: 1050–1053.

Kaplan, E. L., Meier, P. (1958): Nonparametric Estimation from Incomplete Observations. *Journal of the American Statistical Association*, 53(282): 457–481.

O’Leary, T. P., Savoie, V., Brown, R. E. (2013): Learning, memory and search strategies of inbred mouse strains with different visual abilities in the Barnes maze. *Behavioural Brain Research*, 246: 29–37.

SAS Institute Inc. (2013): SAS/STAT® 13.1 User’s Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

SAS Institute Inc. (2014): Base SAS® 9.4 Procedures Guide: Statistical Procedures, Third Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Silver, L. M. (1995): Mouse Genetics: Concepts and Applications. Oxford University Press, New York.

Trut, L., Oskina, I., Kharlamova, A. (2009): Animal evolution during domestication: the domesticated fox as a model. *BioEssays*, 31(3): 349–360.

Woodward, B. D. (2014): Climbing behavior of wild *Peromyscus*: variation within and between species. *Journal of Mammalogy*, 95(5): 963–972.

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBŐL ÍRT TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK; ISMERETTERJESZTŐ PUBLIKÁCIÓK; ELŐADÁSOK

Idegen nyelvű folyóiratcikk

Bárdos, Boróka; Altbacker, Vilmos; Szabó, András; Török, Henrietta Kinga; Nagy, István: Study of climbing ability for two closely related mouse species. EUROPEAN ZOOLOGICAL JOURNAL 90: 1 pp. 395-400., 6 p. (2023)

Bárdos, Boróka; Török, Henrietta Kinga; Nagy, István: Comparison of the exploratory behaviour of wild and laboratory mouse species. BEHAVIOURAL PROCESSES 217 Paper: 105031 (2024)

Török, Henrietta Kinga; Bárdos, Boróka; Hoffmann, Orsolya Ivett: Comparison of the behaviour of three strains of laboratory mice in the climbing test. ANIMAL WELFARE, ETHOLOGY AND HOUSING SYSTEMS 21: 1 (2025)

Török, Henrietta Kinga; Bárdos, Boróka: Ethological Constraints and Welfare-Related Bias in Laboratory Mice: Implications of Housing, Lighting, and Social Environment. ANIMALS 16(2) 314 (2026)