

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Török Henrietta Kinga

Gödöllő

2026



MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM
SZENT ISTVÁN CAMPUS

A VAD ÉS LABORATÓRIUMI MUS NEMZETSÉG TAGJAINAK
ÖSSZEHASONLÍTÓ 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 Növényökológia Tanszék

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

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető(k) jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	6
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	8
2.1. A domesztikáció hatása az állatok viselkedésére	8
2.2. A házi és güzüegér bemutatása etológiai és ökológiai szempontból	10
2.3. A különböző egérfajok mászási technikájának áttekintése	12
2.4. A laboratóriumi egér kialakulásának története	14
2.5. A leggyakrabban használt laboratóriumi egértörzsek bemutatása	16
2.6. A laboratóriumi egerek tartástechnológiája és állatjóléti kérdései	19
2.6.1. A fény egerekre gyakorolt hatása	20
2.6.2. A fordított nappalos megvilágítás előnyei	23
2.6.3. Az állatjólét és a tartástechnológia kapcsolata	24
2.6.4. A környezetgazdagítás fontossága a laboratóriumi egereknél	28
2.6. A viselkedés-tesztek bemutatása	30
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	34
3.1. A vizsgálathoz használt egérállomány elhelyezése	34
3.2. Handling	34
3.3. A güzü-és háziegér mászási képességének a vizsgálata	35
3.4. A vad és domesztikált egerek felfedező viselkedésének az összehasonlítása	38
3.5. Két laboratóriumi egértörzs viselkedésének összehasonlítása különböző megvilágítási körülmények között	39
3.6. A három laboratóriumi egértörzs mászási képességének a vizsgálata	40
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	42
4.1. A güzü-és háziegér mászási képességének a vizsgálata	42
4.2. A vad és domesztikált egerek felfedező viselkedésének az összehasonlítása	45
4.3. Két laboratóriumi egértörzs viselkedésének összehasonlítása különböző megvilágítási körülmények között	49

4.4. A három laboratóriumi egértörzs mászási képességének a vizsgálata-----	55
5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK-----	61
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK-----	64
7. ÖSSZEFOGLALÁS-----	65
8. SUMMARY-----	67
9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS-----	69
10. IRODALOMJEGYZÉK-----	70
11. A DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉBŐL MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK-----	100
12. A DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉN KÍVÜLI PUBLIKÁCIÓK-----	101

1. BEVEZETÉS

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 fajaiból származnak, amelyek közül genetikai vizsgálatok alapján négy szülői komponenst azonosítottak: *Mus musculus domesticus*, *Mus musculus musculus*, *Mus musculus castaneus* és *Mus musculus molossinus* (Frazer és mtsai., 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 és mtsai., 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 és mtsai., 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 (güzüeger és házieger) 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 és mtsai., 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 és mtsai., 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.

CÉLKITŰZÉSEK

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. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A domesztikáció hatása az állatok viselkedésére

Az állatok domesztikációja az emberiség történetének egyik legfontosabb mérföldköve. Ez az esemény nem csupán az állatok életét formálta át, hanem alapjaiban megváltoztatta az emberi civilizáció fejlődésének menetét is. A domesztikáció folyamata során az emberek célzottan szelektáltak bizonyos viselkedési, fiziológiai és morfológiai tulajdonságokat, amelyek lehetővé teszik, hogy a házasított állatok jobban alkalmazkodjanak az emberi környezethez és igényekhez. A házasítás következményeként az állatok viselkedése nagy mértékben megváltozik, a vadon élő őseikhez képest és számos új adaptációval gazdagodtak.

A domesztikáció folyamata nagyjából 10-12 ezer évvel ezelőtt kezdődött, ekkor az emberek vadállatokat kezdtek el házasítani, élelmezési, védelmi vagy munka céljából. Az emberiség a vadállatokat körülbelül időszámítás előtt 14.-15. évezredben, a neolitikumban kezdte el házasítani. Domesztikációnak nevezzük azt a folyamatot, amikor a vadállatokat számos generáción át mesterségesen szabályozott tenyésztésbe vonják és irányított szelekcióval új fajtákat hoznak létre (Fox, 1978; Haase és Donham, 1980; Herre és Röhrs, 1990; Nachtsheim és Stengel, 1977). A domesztikáció legfőbb jellemzője, hogy az állatok tenyésztését, gondozását, takarmányozását az ember látja el és irányítja (Clutton-Brock, 1989; Darwin, 1859, 1868; Hale, 1969; Price, 1999; Price és King, 1968).

Az első házasított állat a kutya volt (*Canis lupus familiaris*), amit a szürke farkas (*Canis lupus*) vadon élő populációiból szelektáltak. A korai domesztikációra példa még a kutyák mellett a juh, kecske, szarvasmarha és sertés is, melyek jelentős szerepet játszottak az emberi társadalmak fejlődésében (Diamond, 2002).

A házasított állatok fontos szerepet töltenek be az emberek mindennapjaiban, például társállatként, mint a kutya és macska, vagy munkaeszközként vagy haszonállatként táplálékkal látják el az embereket, alapanyagként, mint a szőrme, bőr vagy a toll és laboratóriumi állatként fontosak a kutatások szempontjából, mint az egerek és patkányok.

A háziállatok a vadon élő állatokból származnak, ez egy fokozatos átalakulási folyamat (Kruska, 2005; Fox, 1978; Haase és Donham 1980). A domesztikáció során a vadállatoknak az új környezeti kihívásokhoz kellett alkalmazkodniuk, mint a fogság és az emberi jelenlét, ez számos generáció alatt történt, ami hosszútávú genetikai változásokhoz vezetett (Herre és Röhrs, 1990; Ratner és Boice, 1975). A domesztikáció folyamatát morfológiai, fiziológiai és viselkedésbeli változások is kísérik (Clutton-Brock, 1989; Darwin, 1859, 1868; Fox, 1978;

Hale, 1969; Herre és Röhrs, 1990; Price, 1984). A háziasítás okozta változások együttesen teszik lehetővé a háziállatok és az őseik közötti különbségek kialakulását (Kaiser és mtsai., 2015). A viselkedési formák szintjén a háziasított állatoknál a vad őseikhez képest csökkent agresszió és aktivitás figyelhető meg, továbbá az udvarlási viselkedés fokozódása jellemző egyes fajokat (Hemmer, 1983; Herre és Röhrs, 1990).

A domesztikáció folyamata az állatok viselkedésére mélyreható hatást gyakorolt. Az emberekkel és más háziállatokkal való harmonikus együttélést tette lehetővé, hogy a folyamat során az állatok fokozatosan veszítettek természetes félelmükből, agresszivitásuk csökkent, és kialakult bennük egyfajta szociális tolerancia. A kutyák viselkedése jelentősen eltér a farkasokétól, mivel képesek felismerni és értelmezni az emberi kommunikáció jeleit, például a gesztikuláció vagy a szemkontaktus jelentőségét (Hare és mtsai., 2002).

A domesztikáció során az állatok szelektív tenyésztése a gazdasági értékmérőkön kívül olyan tulajdonságokra irányult, mint a barátságosság, a szelídség és a taníthatóság. E folyamat során megjelent az úgynevezett "domesztikációs szindróma," amely sok viselkedési és morfológiai jegyet foglal magában, például a kisebb agyméretet, csökkentett stresszválaszt, valamint a változatos szín- és mintázatbeli eltéréseket (Wilkins és mtsai., 2014).

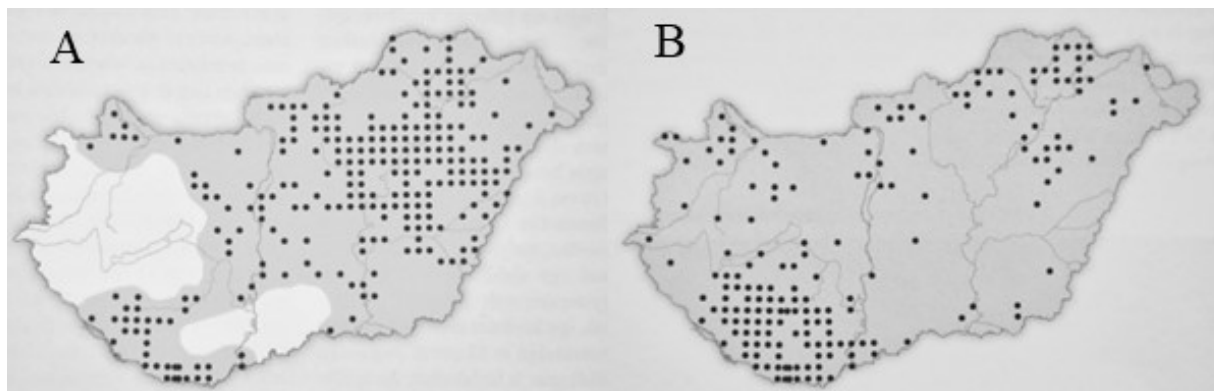
Szintén a háziasítás hatásai közé sorolandó az szociális viselkedés változása. A domesztikált állatok sokkal jobban tolerálják az emberek és más állatok jelenlétét. A macskák (*Felis catus*) például vadon élő őseikhez képest jobban alkalmazkodtak az emberi környezethez, és képesek érzelmi kötődéseket kialakítani gazdáikkal (Bradshaw, 2016). A domesztikáció hatásaihoz sorolhatóak a különböző tanulási képességek is. A domesztikált állatok sok esetben jobban teljesítenek az ember által vezérelt tanulási helyzetekben. A lovak (*Equus caballus*) például érzékenyek az emberi testbeszédre, ami lehetővé teszi számukra az összetett kommunikációt a lovasukkal. A stresszválaszok vonatkozásában a domesztikált állatok kevésbé reagálnak stresszel az emberi jelenlétre vagy más szociális ingerekre, mint vadon élő társaik. Ez a tulajdonság különösen fontos az olyan fajok esetében, amelyeket mezőgazdasági célokra tenyésztnek, vagy az állattenyésztésben vannak jelen, például a szarvasmarháknál és a baromfiknál (Diamond, 2002).

Összességében elmondható, hogy az állatok domesztikációja az evolúciós alkalmazkodás egyik különleges példája, amely az ember és állat közötti kölcsönös előnyökön alapszik. Bár a domesztikált állatok viselkedése jelentősen eltér vadon élő őseikétől, ezek a változások tükrözik az emberi környezethez való alkalmazkodásukat és az emberi igényekhez való igazodásukat. A domesztikáció és annak folyamata továbbra is rendkívül fontos kutatási terület, amely segít megérteni az ember és állat közötti kapcsolat alakulását és fejlődését.

2.2 A házi- és güzüegér bemutatása etológiai és ökológiai szempontból

Magyarország területén őshonos a *Mus* genusba tartozó güzüegér (*Mus spicilegus*) és háziegér (*Mus musculus*). Mindkét faj esetében sok az átfedés morfológiai jellemzők tekintetében (Demeter és mtsai., 1995), emiatt 1983-ig a természettudomány területén dolgozó kutatók nem tekintettek rájuk külön fajként, a később végzett genetikai vizsgálatok alátámasztották, hogy két külön fajként lehet rájuk tekinteni (Orsini és mtsai., 1983). A Kárpát-medencében van a güzüegér előfordulásának legnyugatibb határa. Az intenzív mezőgazdaság térhódításának következményeként tudható be, hogy a güzüegér élőhelye szűkül, így a faj egyedszáma is valószínűleg csökkenést mutathat (Szenczi és mtsai., 2011).

A két egérfaj hazai elterjedése jelentős mértékű átfedést mutat. A güzüegér a Balaton mentén és a hansági területeken nem található meg, míg a háziegér Magyarország teljes területén jelen van (1.ábra).



1. ábra: A térképek a két faj elterjedési területét mutatják, az „A” térképen látható a güzüegéré, míg a „B” térképen a háziegéré. A szürke színnel jelölt terület az mutatja, hol fordul elő a faj nagy valószínűséggel. A fekete színnel jelölt pontok jelölik azokat a területeket, ahol valós befogás történt (Kisemlős lexikon, 2002).

A güzüegér és a háziegér emberhez való viszonya, úgynevezett szociális viselkedése és az élőhelye is nagy mértékben eltér egymástól. A háziegér velünk együtt élő, antropogén táplálékforráshoz, emberi jelenlétéhez szokott faj. A güzüegér az egész évet a szabadban tölti, a házi egér a vegetációs időszakban főleg a mezőgazdasági területeken tartózkodik, amik az ember által lakott területekkel, falvakkal vagy mezőgazdasági épületekkel határosak. Ősszel ezekben az épületekben keres a tél elől való elbújásra alkalmas menedéket. A güzüegér a

megfigyelések alapján a mezőgazdasági területeken fordul elő és kerüli az emberi által lakott településeket (Bihari, 2004; Sokolov és mtsai., 1998).

A téli időszak egyik faj számára sem kedvező, hiszen a mortalitási arányt leginkább ez az időszak befolyásolja. Egyik faj sem alszik téli álmat, ezért, ha kemény telek vannak, nehéz nekik a túlélés. A körülményekhez való alkalmazkodásnak több alternatívája is van, ilyen a morfológiai adaptáció, mint például a zsírtartalék képzés (ez jellemző az ürgékre is), vagy a fiziológiai állapot megváltoztatása. Viselkedésbeli alkalmazkodásra példa az elvándorlás, a házi egerre jellemző, hogy ősszel a szántóföldeket, mezőgazdasági területeket elhagyja és az ember által létrehozott építményekbe húzódik (Carlsen, 1993). Vannak olyan rágcsálófajok, amelyek a táplálékraktárakat készítik és ebből fedezik az energiaszükségleteiket, amely a testhőmérsékletük megtartásához fontos, ilyen például az európai mókus (*Sciurus vulgaris*). A güzüegernél is megfigyelhető az úgynevezett összebújás mint viselkedésbeli adaptációs mechanizmus (Groó és mtsai., 2011). A háziegerek 90 %-a nem éli túl a telet (Simeonovska-Nikolova, 2003, Berry, 1970), míg a güzüknek csak 14 %-a pusztul el (Szenczi és mtsai., 2011). A két faj áttelelési módszere nagyban eltér, emiatt a túlélési arányok is másként alakulnak. A közös áttelelés fogalma fontos, hiszen ez az a kooperatív viselkedésforma, amiben rejlik a güzüegerek sikeressége. A *Mus* genusba tartozó fajok közül, a güzüegerek azok, akik egyedülálló módon kooperatívak. Néhány egyed közösen földből és növényi anyagból halmot épít ősszel (Simeonovska-Nikolova és Gerasimov, 2000). Az elkészített fészek a halom alatt van és itt töltik a telet az egerek. Ennek a halomnak különlegessége, hogy szárazon tartja az alatta levő talajt (Szenczi és mtsai., 2011). Így megakadályozva azt, hogy a fészek esetleg nedves legyen, beázzon, és így csökkenti a hőveszteséget is (Gedeon és mtsai., 2010). A halom alatt mélyen van a fészek, amely többségében egyszikű fajok hosszú száraz leveleiből álló (Szenczi és mtsai., 2011) gömb alakú építmény.

Az eddigi megfigyelések összegzése alapján a háziegerek kevésbé hatékony módon élik túl a telet, mint güzüeger társaik. Sikerességük fő oka az említett adaptációs mechanizmusaikban keresendő, mint a halom építés és az összebújás. Az áttelelő egyedek különböző rokonsági kapcsolatban állnak egymással, például rokon nőstények nem rokon apáktól származó utódai (Garza és mtsai., 1997). A közös áttelelés csökkentett agressziót igényel, ezt segíti a késleltetett ivarérettség, ami a csoportos szociális élet hatására következik be (Gouat és mtsai., 2003; Naumov, 1940; Orsini és mtsai., 1983).

A házi és güzüeger szaporodási jellemzői jelentősen eltérnek. A güzüeger a monogámia jellemzőit mutatja, például a hímek ivadékgondozása, az erős kötődés a szaporodó párok között, valamint a nőstények intoleranciája másik nősténnyel szemben (Baudoin, 2005; Patris és

Baudoin, 1998; Patris és Baudoin, 2000). Vannak olyan vizsgálatok, amelyek megkérdőjelezik a kizárólagos monogámiát (Gouat és mtsai., 2003). A rágcsálók többségéhez hasonlóan a háziegér is poligám, szaporodási közösségekben élnek, ami több közelrokon nőtényből és egy hímből áll (Crowcroft és Rowe, 1963). A fajra jellemző, hogy együtt nevelik utódaikat az együtt maradt rokon nőtények (Crowcroft és Rowe, 1963; König, 1994). A güzüegér nőtényekre jellemző az egymással szembeni agresszió (Patris és mtsai., 2002; Simeonovska-Nikolova, 2003), nem maradnak együtt és az alomból való elvándorlás jellemzi őket. Ez leginkább a tavaszi diszperziós időszakban történik.

A két faj fészekelhagyása is különbözőséget mutat. Az eddigi kutatások alapján a háziegérnél (Gerlach, 1990; Krackow, 2003) az elvándorlás és az ivarézés is előbb történik meg, a hím utódok előbb vándorolnak el, mint nőtény testvéreik. A nőtényeknek ez lehetőséget ad arra, hogy helyben maradjanak. A nemek elvándorlása között a güzüegérnél nincs különbség (Groó és mtsai., 2013). A diszperziós viselkedésben a fajok között és a fajon belüli egyes egyedek között is lehetséges eltérés (Lawrence, 1987; Verhulst és mtsai., 1997; Groó és mtsai., 2013). Ennek oka még nincs tisztázva (Pasinelli és Walters, 2002), de fontos a környezeti és szociális kényszerekre adott egyéni, például kondíciófüggő válasz. A diszperzió időzítésében nagy valószínűséggel szerepet játszhat az elért kondíció (Groó és mtsai., 2013).

A güzüegereknél az elvándorlás egyik oka, hogy azokat a parlagokat, amelyek élőhelyükként szolgáltak, nagy valószínűséggel beszántják, így vándorolniuk kell más területre (Szenczi és mtsai., 2011). A güzüegér előfordulási helyéből kiindulva, főként síkvidéki és lágyszárú növényekből álló vegetációhoz szokott faj. Míg a háziegér, embert követő, változatos élőhelyhez és domborzati viszonyhoz jól alkalmazkodó faj. A vertikális/függőleges térhasználat számos kisemlős fajnál megfigyelhető. A térhasználatot a sivatagban vizsgálták több kisemlős fajnál (Albanese és mtsai., 2011). A vizsgálatban résztvevő kisemlős fajok közül két faj használta a teret függőlegesen is, a többi faj egyáltalán nem. Az említett két faj a *Graomys griseoflavus* és a *Thylamys pallidior*. A megfigyelések alapján az a két faj a teret függőlegesen inkább száraz időszakban használta, amikor kevesebb volt a táplálék. A nagyobb térhasználat a több erőforráshoz való hozzájutást segíti (Albanese és mtsai., 2011).

2.3 A különböző egérfajok mászási technikájának áttekintése

A mászás technikáját két csoportra oszthatjuk az állatvilágban, az egyik csoportba azok az állatok tartoznak, amelyek végtagjaik segítségével toló- és húzóerőt fejtenek ki, így ellensúlyozzák a gravitációs erőt. A másik csoportba elsősorban hullók és kétéltűek sorolhatók,

amelyek végtagjaikon található tapadókorongokkal képesek függőleges felületeken mászni (Cartmill, 1985). A kisemlősök, ezen belül az egerek, mászó képessége több mindentől függ, például a test méretének nagyságától, vagy a legmegfelelőbb mászó technika elsajátításához szükséges gyakorlatozástól (Gioannoni és mtsai., 1999).

Earl és mtsai. (1976) egy tesztben vizsgáltak három afrikai rágcsáló faj mászási képességét laboratóriumi körülmények között. A kutatáshoz egy természetes, faanyagból készült függőleges mászó berendezést használtak. A mászási képesség mellett, vizsgálták az első felmászás idejét és a mászó berendezésen töltött időt. Eredményként azt kapták, hogy az a faj amelyik a leghosszabb farkhosszal rendelkezik (*Thallomys paedulcus*), erőteljesebb mászási hajlandóságot mutatott, valamint több időt töltött a mászó berendezésen, mint a másik két faj, amelyek rövidebb farkokkal rendelkeztek (*Praomys natalensis* és a *Saccostomus campestris*) (Earl és mtsai., 1976). Folytak olyan vizsgálatok az Észak-Amerikában honos *Peromyscus* fajoknál, ahol mérték az élőhely, a farkhosszt és a mászóképeség kapcsolatát, plusz az élőhely típus és az agyméret kapcsolatát is (Dice, 1938). Ezek a fajok előfordulnak hegy- és dombvidékeken, ahol többnyire erdei fajok vannak jelen, illetve vannak síkvidéki sztyepp fajok is (Osgood, 1909; Hall és Kelson, 1959). A *Peromyscus maniculatus*, magyar nevén az őzegér egy erdei faj, külső jellemzőiben nagyon hasonlít egy rokonához, a fehérlábú egérhez (*Peromyscus leucopus*) (Hamilton, 1943), utóbbi viszont inkább sztyeppéken fordul elő (Owings és Lockard, 1971; Smartt, 1978). A két faj élőhelyi elterjedése nagy átfedést mutat, és morfológiájuk is nagyon hasonló (Le Berre és Le Guelte, 1993). Gyakorlati tapasztalat, hogy hasonló kinézetük miatt elkülönítésük igen nehéz, csak egy bélyeg van, ami biztos segítség, az a farkhossz. Az őzegérnek hosszabb a farka, mint a fehérlábú egéré (Thompson, 1990). További kutatások alkalmával kiderült, hogy az erdei fajoknak hosszabb a farkuk, mint sztyeppi társaiké. Laboratóriumi tesztek során az is kiderült, hogy erdei hosszabb farkú őzegér nagyobb hajlandóságot mutatott a mászás iránt, mint a rövidebb farkú fehérlábú egér (Horner, 1954). Továbbá a vizsgálatból kiderült az is, hogy az erdei fajoknak nagyobb az agytérfogatuk, amit a változatosabb élőhelynek tudtak be a kutatók (King, 1968).

Egy japán kutatás szerint (Ishiwaka és mtsai., 1999) a törpeegereknek (*Micromys minutus*) már igen fiatal korukban kialakul a mászási képessége. Ez a faj a növények szárán alakítja ki fészket, így a fiatal egerek már korán rá vannak kényszerülve a mászóképeség fejlesztésére. Nagyjából 3 napos korban, amikor az egerek szeme még ki sem nyílt, kialakul a mellső lábak fogóképessége, majd kis idő elteltével a hátsó lábak fogóképessége is. A 10. napon az egerek a farkukat már képesek kapaszkodásra használni, ilyenkor válnak a fiatal egyedek önállóvá. Ez azért is szükségszerű, mert a fajra jellemző, hogy az anyák tejtermelése ekkorra csökken és az

esetek többségében újravemhesülés is bekövetkezik. A vizsgálatból az is kiderül, hogy a törpeegerek hátsó lábaiknak izomzata sokkal fejlettebb, mint a vándorpatkányé (*Rattus norvegicus*). A háziegér izomzata elmarad a törpeegérétől. A törpeegerek masszív izomzata és erős farka a függőleges kapaszkodást segíti elő, amely életmódjuk elengedhetetlen része (Ishiwaka és mtsai., 1999).

2.4. A laboratóriumi egérfajok története

Úgy tartják, hogy a háziegér eredetileg Közép-Ázsia sztyeppéin volt őshonos, majd innét terjedt el Európába és Ázsiába. Az *Mus musculus* emberi településeken való megjelenése körülbelül 15 000 évvel ezelőtt történt a Közel-Keleten (Weissbrod és mtsai., 2017), majd ezt követően az egerek az emberi vándorlással terjedtek el Európában, majd az egész világon.

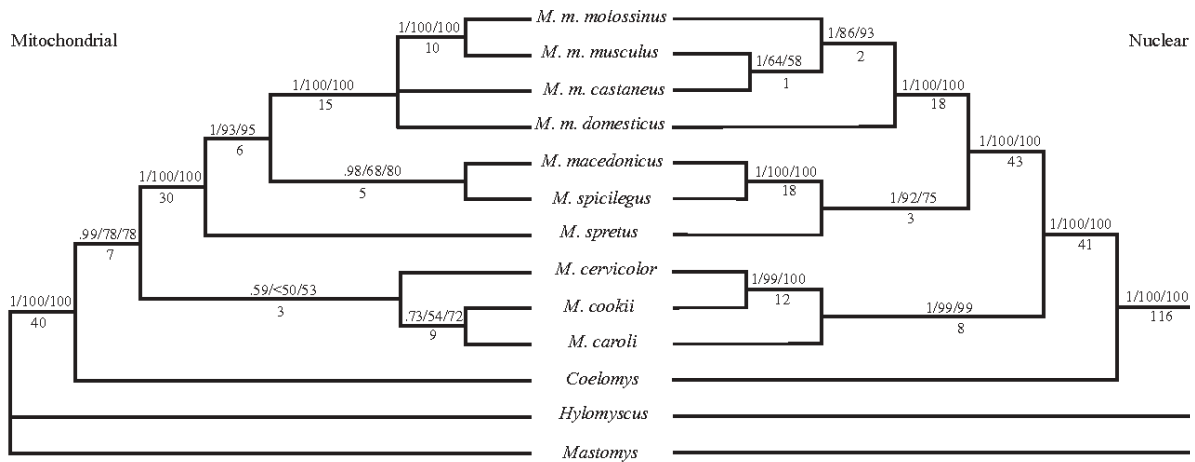
A háziegerek jó alkalmazkodóképességüknek köszönhetően élőhely és táplálkozás tekintetében nem válogatósak, négy alfajuk alakult ki az elmúlt 0,6 millió évben (Bonhomme és Guenet 1996; Auffray és mtsai., 1990; Britton-Davidian 1990; She és mtsai., 1990; Nagamine és mtsai., 1994). A *Mus musculus domesticus* Nyugat-Európában, Afrikában és a Közel-Keleten őshonos. A gyarmatosítások eredményeképpen eljutott az amerikai kontinensre, Ausztráliába és számos atlanti- és csendes-óceáni szigetre. A *Mus musculus musculus* élőhelye Észak- és Kelet-Európától Ázsián át a Himalájától északra a Csendes-óceánig terjed. A *Mus musculus bactriinus* Irán és Burma közötti régiót foglalja el, és a *Mus musculus castaneus* Délkelet-Ázsiában honos, beleértve az Indo-Maláj szigetcsoportot és Kína egyes részeit, a Jangce folyótól délre eső területeket (She és mtsai., 1990; Nagamine és mtsai., 1994).

A laboratóriumi egértörzseket kezdetben a háziegér különleges színváltozataiból kezdték el kitenyészteni (Bonhomme és Guenet, 1996; Yonekawa és mtsai., 1980). A 18. század végén Japánban az egértenyésztők számos beltenyészített egértörzset hoztak létre, mint például az albínó, az agouti, a waltzer és piebald törzsek (Tokuda, 1935). Később ezek az egértörzsek bekerültek Európába, majd Észak-Amerikába, ahol leírták a fenotípusaikat és némelyik fenotípus genetikai alapját is (Darbishire, 1902; 1903; 1904; Koide és mtsai., 1998; Little és Tyzzer, 1915; So és Imai, 1920; Tyzzer, 1915; Yerks, 1907). Az viszont nem egyértelmű, hogy ezen egértörzsek létrehozásához a *Mus* genus mely fajait használták fel. A genetikai bizonyítékok egyre inkább alátámasztják (2. ábra), hogy a laboratóriumi egértörzsek több *Mus musculus* alfajtól származnak (Bonhomme és mtsai., 1987, Wade és mtsai., 2002) és a genetikai vizsgálatok négy szülői komponenst mutattak ki, a *Mus musculus domesticus*, *Mus musculus musculus*, *Mus musculus castaneus* és a *Mus musculus molossinus* (Wade és mtsai., 2002).

Ezáltal az egértörzsek közötti viselkedési különbségek nemcsak a szelekcióhoz köthetők, hanem a genetikai háttér is befolyásolhatja (Wade és mtsai., 2002).

A patkányokat, egereket és más kisebb gerinceseket a 16. század közepe óta használják az orvosbiológiai kutatásokban, amikor a biológia fokozatosan a leíró tudományból kísérleti tudománnyá alakult át. Morse (1981) szerint William Harvey egereket használt alapvető kutatásaihoz a szaporodás és a vérkeringés területén. Berry (1970) szerint az egerek tudományos kutatásban való alkalmazásának legkorábbi feljegyzése Angliából, 1664-ből származik, amikor Robert Hooke egereket használt annak tanulmányozására, hogy a légnyomás növekedése milyen biológiai következményekkel jár. Jóval később Joseph Priestley (1733–1804) és szellemi örököse, Antoine Lavoisier (1743–1794) szintén ismételten egereket alkalmaztak a légzéssel kapcsolatos kísérleteikben. A 20. század során az egereket széles körben alkalmazták az orvosbiológiai kutatások szinte minden területén, e faj egyedei kulcsfontosságú szerepet játszottak az immunológiai, onkológiai és genetikai kutatásokban. A szaporítási rendszerek lehetővé tették olyan, rendkívül szabványosított törzsek kialakítását, amelyek tulajdonságai generációról generációra pontosan ismertek és ellenőrzöttek. A legtöbb laboratóriumi egértörzs néhány kisállat-kereskedőtől származik, akik idővel „laboratóriumi” egerek beszállítóivá váltak. Sok éven keresztül a laboratóriumokban használt albínó törzseket összefoglalóan „svájci” egereknek nevezték, hogy ezzel is utaljanak az eredetükre. A DBA/2 törzs (korábban dba, majd DBA) az összes beltenyésztett törzs közül a legősibb, mivel C.C. Little hozta létre 1909-ben (Russell, 1978). Ezt úgy érte el, hogy olyan egereket párosított, amelyek homozigóták voltak a szőrszínért felelős markerekre. Körülbelül tíz évvel később Miss Lathrop (Granby, Massachusetts, USA) létrehozta a C57BL/6 törzset, amikor egy fekete színű nőtényének (57-es nőtény) utódait párosította. Eközben L.C. Strong – egy rákkutató, aki a Cold Spring Harbor Laboratory-ban dolgozott – létrehozta a C3H, CBA és A törzseket (Strong, 1935). Ebben az időszakban érdekes megjegyezni, hogy L.C. Strong által létrehozott törzsek közül a CBA és C3H törzsek egy olyan alomból származtak, amelynek egyik őse egy vad típusú egér volt, amelyet egy galambkötrecben találtak Cold Spring Harborban. Ez magyarázza, hogy az agouti lokusz (A) vad típusú allélja hogyan került vissza bizonyos laboratóriumi törzsekbe. A laboratóriumi egértörzsek genetikai homogenitása kulcsfontosságú a kutatásokban, mivel biztosítja a kísérletek nagyfokú ismételtetését. A legtöbb törzs beltenyésztett, vagyis generációkon át rokon egyedeket párosítottak, így az adott törzs egyedei szinte teljesen homozigóták. Ez azt jelenti, hogy genetikai különbségek alig fordulnak elő közöttük, így a

kísérletek során megfigyelt eltérések elsősorban a vizsgált tényezők hatásának tulajdoníthatók, nem pedig genetikai variabilitásnak.



2. ábra: Mitokondriális és nukleáris szekvenciákon alapuló Mus nemzetség vizsgálata (Tucker és mtsai. 2005)

2.5 A leggyakrabban használt laboratóriumi egértörzsek bemutatása

A számos rendelkezésre álló törzs közül a C57BL/6, BALB/c, CBA/J és C3H/He vonalak a leggyakrabban használt egértörzsek az orvosi biológiai kutatásokban (van de Lagemaat és mtsai., 2017). Noha túlnyomórészt hatalmas irodalom áll rendelkezésre ezen egértörzsek viselkedésének értékelésére (Bullock és mtsai., 1997; Kim és mtsai., 2005; Bortolato és mtsai., 2013) a törzsek viselkedésének összehasonlítása mégis problémás lehet, mivel a törzsek viselkedési jellemzői a gyakori tesztekben (például szociabilitás, újdonság, kétségbeesés, megismerés, szorongás, tanulás és memória stb.) hasonlóságot mutat (Bailey és mtsai., 2006). Továbbá nehézséget jelent, ha a vizsgálatokat különböző laboratóriumokban eltérő körülmények között végezték, hiszen ez hozzájárulhat az egértörzsek viselkedése között tapasztalt nagy eltéréséhez vagy hasonlóságához (Korte és mtsai., 2003; Mistry és mtsai., 2014). Ezenkívül a különböző háttérű genetikai mutációk az eltérő törzseknél változó viselkedési fenotípusokhoz vezethetnek (Kammenga, 2017), amik szintén befolyásolják a vizsgálati eredményeket.

Valójában a viselkedési vizsgálatok bizonyos mértékig a kísérleti állat genetikai háttérétől függenek (Grant és mtsai., 1992) és a törzsek között apró viselkedésbeli különbségek

(Schauwecker, 2011; Brooke és mtsai., 2010; Bothe és mtsai., 2005) amelyek befolyásolhatják a vizsgálatunk eredményét.

Miss Lathrop 1921-ben hozta létre a C57BL/6 laboratóriumi beltenyésztett egértörzset, ami a mai napig az egyik legelterjedtebb egértörzs a laboratóriumokban. A C57BL/6 egerek fekete színűek, szemük pigmentált, orvosbiológiai kutatásokban általánosan használható több célra is (3. ábra). A C57BL/6 egér nevének jelentése: C vonal, 57-es nőstény, fekete. Fekete szőrzete van, néha fehér foltokkal tarkítva, illetve fekete szeme. Előszeretettel használják hasnyálmirigy- és glükóz vizsgálatokhoz, illetve genetikai kutatásokhoz az egyik legkedveltebb egértörzs. Sok orvosbiológiai, mutációs és transzgenikus vizsgálathoz használják (Harrison és mtsai., 2009). A kutatás során leggyakrabban használt beltenyésztett törzs a C57BL/6 egerek. C57BL/6 egérkolóniáink genetikailag azonosak az egyes törzsekben belül, így mentesek a kutatási eredményeket befolyásoló genetikai különbségektől. A beltenyésztett egértörzsek nagyfokú egységességet mutatnak öröklött jellemzőikben vagy fenotípusaikban, beleértve a megjelenést, a viselkedést és a kísérleti kezelésekre adott választ (Potter, 1978).

A Nemzetközi Genetikai Szabványosítási (IGS) programban piramis párosítási rendszerrel párosítják, amely a legmagasabb szintű genetikai egységességet biztosítja C57BL/6 egerekben. A piramis párosítási rendszer biztosítja, hogy C57BL/6 egerek genetikailag azonosak minden egértörzsben (forrás: www.criver.com).



2. ábra: C57BL/c egér (forrás: www.criver.com)

A másik híres egértörzset, a BALB/c-t, a H. J. Bagg által létrehozott „Bagg albinó” vonalból G. D. Snell hozta létre a Jackson Laboratoryban 1932 körül. A BALB/c egy fehér színű, albinó egértörzs, amely szintén általánosan használható többféle kutatáshoz (Suckow és mtsai., 2001). Az egyik legnépszerűbb beltenyésztett törzs. Egyedeinek fehér szőrzete és vörös szemei vannak (4. ábra). Immunológiai, szív-, és érrendszeri, illetve fertőző betegségek kutatásában

előszeretettel használják (Suckow és mtsai., 2001). A BALB/c egér az egyik legszélesebb körben használt beltenyésztett modell, amelyet az orvosbiológiai kutatásokban használnak, továbbá használnak az immunológiában és a fertőző betegségek kutatásában is. Érdekessége, hogy plazmasejtes daganatokat képes létrehozni a légyszövetekben ez a képességük fontos a monoklonális antitestek (mAb) termelésében. A BALB/c egereknél a Th2 sejtek könnyen aktiválhatók immunizálással, ami azt jelenti, hogy ez az egértörzs kivételesen jól reagál az immunizálásra.

A BALB/c modell segítségével azonosíthatók azok a gének, amelyek meghatározzák a fertőző és daganatos betegségekre való fogékonyságot. A BALB/c 3T3 sejt vonalak nagymértékben hajlamosak a szövettényészetben az onkogén DNS-vírus SV40 és az egér szarkóma vírus általi transzformációjára, így a karcinogenezis kutatásának választott modellje. Továbbá a BALB/c egerek arról is ismertek, hogy viszonylag ellenállóak az étrend által kiváltott érelmeszesedéssel szemben, így ideálisak a szív- és érrendszeri kutatásokhoz.



3. ábra: BALB/c egér (forrás: www.criver.com)

A C3H/HeJ egereket, amelyeket általában C3H-nak hívnak, általános célú törzsként használják számos kutatási területen, beleértve a rák, fertőző betegségek, szenzorineurális és kardiovaszkuláris biológiai kutatásokat. A C3H szülő törzset az L. C. Strong fejlesztette ki 1920-ban egy „Bagg albínó” nőtény és egy DBA hím keresztezéséből (Strong, 1935). Strong által létrehozott egerekből 4 nőtényt és 2 hímeket Andervontba küldtek, majd több generációval később 1974-ben a Charles Riverhez kerültek (Potter, 1978). Ismeretesek a kórokozók széles skálájával szembeni fogékonyságukról, valamint arról, hogy nagy arányban képesek spontán daganatokat előidézni. A C3H egereket széles körben alkalmazzák viselkedési vizsgálatokban is, előre látható viselkedési mintáik miatt. A C3H egerek élettartama jellemzően 2-2,5 év. Hajlamosak rákos megbetegedésekre, különösen emlőmirigydaganatokra, spontán izomdisztrófiára és autoimmun betegségekre. Egyes C3H egereken fiatal korukban rohamokat

és remegést tapasztalhatunk. Ezek a tünetek azonban nem befolyásolhatják a viselkedést. A C3H egerek agresszív viselkedésükről és hiperaktivitásukról ismertek. Fokozott szorongásszerű viselkedést mutatnak, és hajlamosak elkerülni a nyílt tereket. A C3H egerek kognitív képességeik kiválóak, különösen a tanulási és memóriefeladatokban, így ideális modellszervezetek a kognitív zavarok és a kognitív képességet befolyásoló gyógyszerek hatásainak tanulmányozására (forrás: www.criver.com).



4. ábra: C3H egér (forrás: www.criver.com)

2.6 A laboratóriumi egerek tartástechnológiája és állatjóléti kérdései

Az Európai Unió jogszabályai szigorúan szabályozzák a laboratóriumi egereket tartó létesítmények működését, biztosítva az állatok jólétét és a kutatási eredmények megbízhatóságát. Az alábbiakban összefoglaljuk a főbb követelményeket: A kísérleti helyiségek hőmérsékletét $22\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ között kell tartani. Az ideális relatív páratartalom 50–60%, de legalább 40%-nak kell lennie, és lehetőleg nem haladhatja meg a 70%-ot, kivéve a takarítás idejét. A világításnak mesterségesnek kell lennie, 12 óras világos és 12 óras sötét periódusok váltakozásával. Az egerek számára standard laboratóriumi takarmányt kell biztosítani, korlátlan mennyiségű ivóvízzel. A takarmány megválasztásakor figyelembe kell venni, ha a vizsgálati vegyi anyagot a takarmányhoz keverve adják be. Az egereket azonos nemű és azonosan kezelt csoporthoz tartozó kis csoportokban (legfeljebb öt egyed) kell tartani, lehetőleg szilárd aljú, megfelelő környezetgazdagítással ellátott ketrecekben. Az állatok egyedül tartása csak tudományosan indokolt esetben megengedett (EUR-Lex - 02017R0735-20170428 – EN). A vizsgálati rendszerek alkalmazására és tárolására szolgáló helyiségeket és tartályokat rendszeres időközönként tisztítani és fertőtleníteni kell. Az állatok almát a megfelelő állattenyésztési gyakorlat szerint kell cserélni. A rovarirtó szerek használatát dokumentálni kell

(az európai parlament és a tanács 2004/10/ek irányelve). A laboratóriumi állatokat tartó létesítményeknek meg kell felelniük a 2019/2035/EU rendeletben foglalt követelményeknek, és engedélyt kell szerezniük az illetékes hatóságoktól. Ez magában foglalja a nyilvántartás vezetését, szerződést állatorvossal, járványfelügyeleti tervet és szükség esetén karanténlétesítmények biztosítását. Az egerek tartására használt polcrendszerek rozsdamentes acélból vagy más könnyen fertőtleníthető anyagból készülnek, hogy ellenálljanak a gyakori tisztításnak. Az egérdobozok leggyakrabban polikarbonátból készülnek, melyek átlátszóak és hőállóak. A méretük az egerek életkorától és számától függően változó, de az EU-s jogszabályok minimális alapterületet és magasságot írnak elő egy-egy állatra. Például egy egérnek legalább 250 cm² terület szükséges. A 40/2013. (II. 14.) Korm. rendelet alapján a laboratóriumban tartott rágcsálóknál kötelező a környezetgazdagító eszköz biztosítása.

2.6.1 A fény egerekre gyakorolt hatása

A kisemlősök éjszakai viselkedését nagyban befolyásolja a holdfény. Kihat a táplálkozásukra, szaporodásukra és egyéb viselkedési szokásaikra (Zollner és mtsai., 1999). Az Amerikai Egyesült Államok délkeleti részén őshonos *Peromyscus polinatus* egérfaj esetén több kutató is vizsgálta, hogy a holdfény milyen hatással van az állatok életvitelére. A tesztet 1985 novemberében és 1986 áprilisában végezték, havonta 8 alkalommal (Wolfe és Summerlin, 1989). A kutatás lényege az volt, hogy megfigyeljék a vizsgált egyedek aktivitását a következő tényezőktől függően: eltérő intenzitású fényerősség, a hold ciklusa, valamint a növényzet sűrűsége. A teszteket egy 5 méter átmérőjű arénában végezték, amely 2 részre volt osztva. Egyik fele növényekkel gazdagon borított, a másik növények nélküli nyílt terület volt. A tesztben résztvevő egereket a környéken fogták be, és a vizsgálat előtt 24 órával helyezték őket a vizsgálati területre. Az éjszakákat a hold fázisától függően 4 szakaszra osztották fel. Megállapították, hogy telihold idején 70%-kal, $\frac{3}{4}$ hold idején 56%-kal, félhold idején 32%-kal, míg az $\frac{1}{4}$ hold alatt pedig 23%-kal csökkent az aktivitás a legsötétebb szakaszhoz, az újholdhoz képest. A sötétebb éjszakákon, mikor a holdállás alacsony volt, az egerek aktivitása az aréna mindkét részén azonos volt (Falls, 1953). A holdfény növekedésével a nyílt területeken az egerek aktivitása inkább csökkent, a növényzettel borított felén pedig nőtt (Wolfe és Summerlin, 1989). Prugh és Golden (2014) vizsgálatai alapján, azt feltételezték, hogy a sikerességi ráta magasabb az éjszakai ragadozók esetében, mivel könnyebben észlelik a prédát. Ez viszont főként a madarakra igaz, nekik fő érzékszervük a látás. Azok a ragadozók, akiknek más érzékszervük is fejlettebb, például a szaglás vagy echolokáció, nem annyira sikeres

vadászok az erősebb holdfény jelenlétének. Ennek oka, hogy ők lassú, lopkodással próbálják becserkészni a zsákmányállatot, amik viszont a megnövekedett fényintenzitás miatt könnyebben észreveszik a predátort és időben elmenekülnek. Ezzel ellentétben a holdfényben a legsikeresebbek a ragadozó madarak, hiszen ők fejlett látással rendelkeznek. Gyors és hirtelen támadásaikkal könnyen elkapják a zsákmányállatot (Prugh és Golden, 2014).

Clarke 1983-ban végzett egy kutatást, amelyben vizsgálta a ragadozók vadászati szokásait és a zsákmányállatok aktivitását különböző fényintenzitások mellett (Clarke, 1983). A kutatást egy olyan helyiségben végezte, aminek aljára homokot szórt, annak érdekében, hogy a zsákmányállat mozgását tudja követni, illetve kamerákat helyezett el, továbbá változatos módon helyezett el különböző tereptárgyakat. A hold fázisainak imitálásához változó fényerősségeket használt, 3 lux a telihold, 1,5 lux a negyedhold, 0,5 lux az újhold során fellépő fény körülményeket szimulálta. A vizsgálatban a réti fülesbagoly (*Asio flammeus*), mint ragadozó, az Észak-Amerikában honos őzegér (*Peromyscus maniculatus*) a zsákmányállat volt. A vizsgálatok során megfigyelték a vadászat különböző fázisait, a hajszát, keresést, üldözést és a fogva tartási időt, valamint a zsákmányállat meneküléseinek számát. A vizsgálat minden esetben a prédaállat elejtésével végződött. A fényintenzitás növelésével a predátor kereséssel töltött ideje csökkent, és a vadászat többi szakaszának ideje nem változott lényegesen. A magasabb holdfázisban a prédaállat kivétel nélkül elbújt, aktivitása nyílt terepen csökkent. A sikeres fogásoknál előfordult, hogy az egér kiszabadult. Ezek aránya 1,5 luxnál 43%, 0,5 luxnál 9%, 3 luxnál 0% volt (Clarke, 1983).

Egyik fő probléma a laboratóriumi egerek tartástechnológiájának szempontjából a megvilágítás. Az éjszaka aktív rágcsálók szeme a sötét fényviszonyokhoz alkalmazkodott, a laboratóriumokban az erős fényű megvilágítás az állatok számára stresszforrásként vehető figyelembe (Zollner és mtsai., 1999). Az egerek fényre adott stresszreakciója a fent említett predátor-prédaállat aktivitással magyarázható. A teliholdas éjszakákon, ha az egerek táplálékot gyűjtenek, jóval nagyobb a ragadozási kockázat, mivel a ragadozók elől világosban kevésbé tudnak elrejtőzni (Zollner és mtsai., 1999). Egy egerek számára létesített állattartó helyiség 12:12, vagy 14:10 L:D arányban kapnak fényt, ami 12 óra sötét, illetve 12 óra világos fázist jelent. A világos ciklus alatt a ketrecekben mért fényerősség, a ketrec szobában való elhelyezkedésétől függően, általában 130-325 lux között mozog. A tenyésztésre használt állomány szobájában a világos ciklus hosszát megemelik, ez elősegíti a tenyésztést (Harrison és mtsai., 2009).

Éjszakai rágcsálóként az egerek nem függenek a látórendszerüktől akkora mértékben, ehelyett szaglási, tapintási és hallási jelekre hagyatkoznak a táplálék felkutatása, a fajtársaikkal való

interakció és a ragadozás elkerülése érdekében. Az egerek látásélessége gyenge, becslések szerint 1/100 emberi látással egyenértékű (Baker, 2013). Noha az egerek vizuális képességei egyértelműen korlátozottak, számos tanulmány kimutatta, hogy az egerek vizuálisan irányított viselkedést mutatnak, és speciális tesztek széles skáláját fejlesztették ki az egérlátás tanulmányozására (Prusky és Douglas, 2008). Például a vizuális szakadék egyszerű tesztet biztosít a vizuálisan irányított viselkedés értékelésére (Crawley, 1999), míg az összetettebb feladatok, mint például a vizuális vízlabirintus és az optomotoros teszt, lehetővé teszik a látásélesség és a kontrasztérzékenység meghatározását (Douglas és mtsai., 2005; Prusky és Douglas, 2008).

A laboratóriumi egerek eltérő vizuális környezetnek vannak kitéve, mint őseik, a beltenyésztett törzsek szemén végzett vizsgálatok nem mutattak ki különbséget a retina anatómiájában és a vizuális pigmentexpresszióban a vadon élő egerekhez képest (Shupe és mtsai., 2006). Anatómiailag az egérszem nagyjából összehasonlítható a legtöbb gerinces fajéval, szaruhártyájával és lencséjével, amelyek megtörik a fényt, így képet alkotnak a fényérzékeny retinán. A szem tengelyirányú hossza 3,4 mm (Leamey és mtsai., 2008; Remtulla és Hallett, 1985), és ez a kis méret szükségessé teszi egy nagy lencsét, amely az axiális hossz 60%-át teszi ki (Remtulla és Hallett, 1985). Sok más emlősfajhoz hasonlóan ez a lencse is átengedi az ultraibolya fényt, amely szükséges az egér retinájában található ultraibolya érzékeny fotoreceptorokhoz (Douglas és Jeffery, 2014). Mint minden gerincesnél, a retina egy erősen rétegzett szerkezet, amely a fotoreceptor sejtesteket és külső szegmenseket tartalmazó külső retinát, valamint a bipoláris sejtekből, amakrin sejtekből és a retina ganglion sejtekből (RGC) álló belső retinát tartalmazza. A retina körülbelül 200 μm vastag, ennek körülbelül a felét a fotoreceptorok teszik ki. A retina-degenerációban szenvedő törzsekben, a retina észrevehetően vékonyabb lehet.

A beltenyésztett egérvonalak talán legismertebb mutációja az albinizmus, amely a tirozin-3-monooxigenáz (tirozináz) mutációiból ered, amely enzim a melanint szintetizálja tirozinból a bőrben és a szemekben (Jeffery, 1997). Az ismert fehér szőrzet színe mellett a tirozináz mutációk melaninhányt okoznak a retina pigment epitéliumában (RPE), ami rózsaszínes szemszín eredményez. Mivel az RPE általában elnyeli a retinán áthaladó fényt, hogy megakadályozza a szóródást, az albínó egerek is érzékenyebbek a fényre, és károsodott látási funkciót mutatnak. Az albínó egerek érzékenyebbek a fény által kiváltott retinakárosodásra is (De Vera Mudry és mtsai., 2013).

A retina degenerációjának (rd) számos formáját jellemezték egérben (Chang és mtsai, 2002; Chang és mtsai, 2005). Az eredeti rd mutációt először számos gyakori laboratóriumi

beltenyésztett vonalban jellemezték, mint a C3H és a CBA törzsekben (Keeler, 1966; Pittler és mtsai., 1993).

A rd8 mutációja (Crb1rd8) számos C57BL/6N törzsnél kimutatható (Mattapallil és mtsai., 2012). Az rd8-ra homozigóta egerek lassú degenerációt mutatnak, amelyet nagy fehér retinalerakódások kísérnek.

Nob5 mutáció (Gpr179nob5) egy másik vizuális mutáció, amelyet laboratóriumi egerek gyakori törzseiben észleltek, a nob5 mutáció, amely spontán módon keletkezett a Pde6brd1 mutációt nem tartalmazó C3H egerek kolóniájában (Peachey és mtsai., 2012), de egy tanulmány azonban azt sugallta, hogy ez a mutáció nem olyan széles körben elterjedt ezekben a törzsekben, mint azt korábban feltételezték (Chang, 2015).

A melatonin egy hormon, amelyet a sötét fázisban termel az emlős tobozmirigye. Amellett, hogy szerepet játszik a cirkadián ritmus szabályozásában, a szezonálisan szaporodó állatokban a melatonin kulcsszerepet játszik a naphosszra adott fotoperiodikus reakcióban (Pevet, 2003). Számos beltenyésztett laboratóriumi egértörzs, köztük a BALB/c és a C57BL/6J vonalak, nem termelnek megfelelő mennyiségű melatonint (Ebihara és mtsai., 1986). A későbbi vizsgálatok kimutatták, hogy a legtöbb beltenyésztett egérvonal melatoninhiányos, kivéve a C3H/He és a CBA törzseket (Goto és mtsai., 1989).

2.6.2 A fordított nappalos megvilágítás előnyei

Az egerek a fényviszonyok változásaira, az éjszakai aktivitásuk miatt rendkívül érzékenyek. A kutatások során alkalmazott fordított nappalos megvilágítási rendszerek lehetővé teszik, hogy a kísérletek során nappali körülmények között az egerek éjszakai aktivitási fázisát tanulmányozzák (Shih és mtsai., 2007). Ez a módszer rendkívül fontos az élettani és viselkedéstani vizsgálatok során, mivel biztosítja, hogy az állatok a természetes aktivitási ciklusukban végezhesék tevékenységeiket. A fordított nappalos megvilágítás lényege abban rejlik, hogy az állattartó helyiségek megvilágítása során az állatok világos fázisa éjszakára, a sötét fázisa pedig nappalra esik. Példaként, egy tipikus 12:12 órás világos-sötét ciklus esetén a világos fázis reggel 8-tól este 8-ig tart, míg fordított rendszerben este 8-tól reggel 8-ig van (Comas és mtsai., 2008). A fordított megvilágítás egyik legnagyobb előnye, hogy jobban illeszkedik az éjszakai állatok természetes viselkedéséhez, miközben a kutatók számukra kedvezőbb időpontban tudnak adatokat gyűjteni (Deboer és mtsai., 2007).

Nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a fény és sötétség váltására az állatok cirkadián ritmusa érzékenyen reagál. A megvilágítási ciklus mesterséges megváltoztatása az állatok

hormonális rendszerét, alvási, valamint viselkedési mintázatát befolyásolhatja (Gorman és Lee, 2001). Az állatok cirkadián órája a szuprachiaszmatikus magban (SCN) található, amely az agyban az endogén időzítési rendszer központja (Golombek és Rosenstein, 2010).

A fordított nappalos megvilágítás használata elengedhetetlen például a stressz, szorongás, vagy neurodegeneratív betegségek modelljeinek vizsgálatakor. Egy vizsgálatban kimutatták, amely az egerek alvás-ébrenlét ciklusát tanulmányozta, hogy a fordított megvilágítás segít minimalizálni az emberi beavatkozás okozta stresszt, így a kapott adatok megbízhatóbbak (Moore-Ede és mtsai., 1982).

Összefoglalva a fordított nappalos megvilágítás az egerek tanulmányozásának egyik legfontosabb eszköze. Mivel lehetővé teszi a természetes viselkedési mintázatok megfigyelését a mesterséges környezetben. A módszer maga számos előnnyel jár, mégsem szabad megfeledkezni és figyelmet kell fordítani az esetleges hosszú távú hatásokra. Különösen a cirkadián ritmus zavaraiából fakadó fiziológiai következményekre.

2.6.3 Az állatjólét és a tartástechnológia kapcsolata

Az Egyesült Királyságban történt az állatok jólétével kapcsolatos első mérföldkő 1965-ben Ruth Harrison által írt és 1964-ben kiadott *Animal Machines* című könyve. A könyv az intenzív állattartás kegyetlen és embertelen körülményeire hívta fel a figyelmet. A könyv részletesen bemutatja, hogyan tartják az ipari állattenyésztésben a csirkéket, sertéseket és marhákat kis helyen, gyakran természetellenes és szenvedést okozó körülmények között, kizárólag a termelékenység növelése érdekében. A könyv hatalmas társadalmi felháborodást keltett, és közvetve hozzájárult az állatvédelmi szabályozások szigorításához az Egyesült Királyságban. Ez vezetett az állatjóléti törvények kidolgozásához és az öt szabadság elvének (Five Freedoms) kialakulásához, amely az állatok jólétének biztosítását célozza (Appleby, 2008). A vizsgálatot, Roger Brambell professzor vezette, a Brambell Report-ban került elő elsőként az állatok „szabadsága” mint fogalom. Az öt szabadság elve biztosítja, hogy az állatok jólétét megfelelő módon figyelembe vegyék, és az alábbiakat tartalmazza:

Szabadság az éhségtől és szomjúságtól: Az állatoknak megfelelő táplálékhoz és friss vízhez kell jutniuk.

Szabadság a kényelmetlenségtől: Az állatoknak megfelelő környezetet kell biztosítani, amely védelmet nyújt és kényelmes pihenőhelyet biztosít.

Szabadság a fájdalomtól, sérüléstől és betegségtől: Az állatoknak megfelelő orvosi ellátásban kell részesülniük, és meg kell előzni a betegségeket és sérüléseket.

Szabadság a normális viselkedés kifejezésére: Az állatoknak lehetőséget kell kapniuk arra, hogy természetes viselkedésüket gyakorolják (például a csirkék kapirgálhassanak, a sertések turkálhassanak).

Szabadság a félelemtől és szenvedéstől: Az állatokat úgy kell tartani és kezelni, hogy ne tapasztaljanak szükségtelen stresszt vagy szenvedést.

Ez az elv az állatjóléti szabályozások alapját képezi világszerte, és az állattartás etikai normáinak egyik legfontosabb hivatkozási pontja (Appleby, 2008).

Az öt szabadság elvét 1993-ban a Farm Animal Welfare Advisory Committee az alábbiak szerint módosította: mentesség a szomjúságtól, éhségtől és rossz minőségű takarmánytól, mentesség a kényelmetlenségektől a megfelelő környezet biztosításával, ide sorolva a menedékhely és a pihenőhely kialakítását is. Valamint a fájdalomtól, sérülésektől való mentesség biztosítása, a fajra jellemző viselkedési formák kifejezésének a szabadsága, mentesség a félelemtől és szorongástól. Webster (1994) viszont úgy vélte, hogy irreális mind az „öt szabadság” elérése. Napjainkban viszont ezen feltételek megvalósulása a fogyasztóknak és a termelőknek egyaránt fontos. A Brambell Report eredményeképpen jött létre a Farm Animal Welfare Advisory Committee, majd a Farm Animal Welfare Council váltotta fel.

A laboratóriumi állatokra vonatkozó törvényi szabályozások a 19–20. század folyamán fokozatosan alakultak ki, a tudományos kutatás fejlődésével és az állatvédelem előtérbe kerülésével párhuzamosan. Az Egyesült Királyságban 1876-ban elfogadták a Cruelty to Animals Act törvényt, amely az egyik első kísérleti állatokra vonatkozó szabályozás volt. Ez engedélyhez kötötte az állatkísérleteket és előírta, hogy minimalizálni kell a szenvedést. Russell és mtsai. (1959) megfogalmazták a 3R elvet (Replacement, Reduction, Refinement), amely az állatkísérletek humánusabbá tételére törekedett (helyettesítés, csökkentés, finomítás). Az Egyesült Államok 1966-ban elfogadta az Animal Welfare Act törvényt, amely először szabályozta az állatok kutatási célú felhasználását. 1986-ban az Európai Unió bevezette a 86/609/EEC irányelvet, amely előírta az állatkísérletek szigorúbb szabályozását és a 3R elv alkalmazását. Az EU 2010-ben elfogadta az 2010/63/EU irányelvet, amely tovább szigorította az állatkísérleteket, és előírta az alternatív módszerek alkalmazását, ahol lehetséges. Jelenleg a világ legtöbb fejlett országában szigorú szabályozások vonatkoznak a laborállatok védelmére, és folyamatosan keresik az alternatív módszereket az állatkísérletek csökkentésére.

A 3R elv (Replacement, Reduction, Refinement) a laboratóriumi állatkísérletek etikai és tudományos alapelve, amelyet az Európai Unió és a nemzetközi kutatási közösség is támogat. Az egerek tartása és felhasználása során is ez az alapelv érvényesül.

Replacement (Helyettesítés): Az állatkísérletek helyettesítése, ahol csak lehetséges. Alternatív módszerek alkalmazása, például *in vitro* sejtenyészetek, számítógépes modellezés vagy humán önkénteseken végzett nem invazív vizsgálatok. Ha az állatok teljes helyettesítése nem lehetséges, akkor alacsonyabb rendű fajok (pl. gerinctelenek, sejt kultúrák) használata előnyben részesítendő.

Reduction (Csökkentés): A felhasznált állatok számának minimalizálása statisztikailag megfelelő kísérlettervezéssel. Kettős célú vizsgálatok: egy adott állatkísérletből többféle adat nyerése. Az állatok genetikai homogenitásának növelése, hogy kisebb egyedszámmal is megbízhatóbb eredményeket lehessen kapni.

Refinement (Javítás, tökéletesítés): Az állatok jólétének maximalizálása, a stressz és a fájdalom minimalizálása. Környezetgazdagítás (pl. búvóhelyek, fészekanyag, mászási lehetőségek biztosítása). Nem invazív vagy minimálisan invazív módszerek alkalmazása. Fájdalomcsillapítás és altatás megfelelő alkalmazása a kísérletek során.

Az EU 2010/63/EU irányelve szigorúan szabályozza az állatkísérleteket, és a 3R elvet kötelezően alkalmazni kell minden laborállatnál.

Az állatjólét kérdés problémája, a haszonállatokon kívül a 21. századtól a kísérleti állatokat is érinti. A RSPCA/UFAW Rágcsáló Jóléti Csoport 2015-ben megtartott ülésén elhangzott, hogy a kísérleti állatokat vadállatoknak kellene tekinteni és tartásukat is ehhez kellene igazítani (Hawkins és mtsai, 2015). Sok kutató gondolkodott arról, hogy vajon, hogyan hat ezen állatok jóléte a kísérletek kimenetelére. A nem ideális tartásból adódó stressz és a szüntelen szorongás gyengíti az állatok immunrendszerét, viselkedésük negatív irányt vehet, illetve sztereotip és addiktív viselkedési formák alakulhatnak ki (Engel, 1967; Epple, 1978; Moberg, 1985; Suomi, 1987). A laboratóriumi állatok tartástechnológiáját úgy kell kialakítani, hogy figyelembe kellene vennünk a fajok ökológiai igényeit és természetes viselkedését. Ennek eredményeként a krónikus stressz csökkenthető, ami pozitív irányban hathat a vizsgálati eredményekre és azok megbízhatóságára (Dawkins, 2021).

A napjainkban alkalmazott laboratóriumi tartástechnológiában számos olyan probléma merül fel, amely a fajok ökológiai igényeiben, valamint természetes viselkedésében keresi a választ (Ginsburg és Jablonka, 2019). A laboratóriumban tartott rágcsálók tartástechnológiával kapcsolatos egyik probléma a rágcsálók egyedi vagy csoportos tartása. Azok a fajok, amikből a laboratóriumi törzsek származnak, tehát a vadonélő egerek (*Mus musculus*) és a patkányok (*Rattus norvegicus*), eredeti élőhelyükön csoportokban élnek és egy-egy területet birtokolnak. Ezek a kis csoportok általában egy domináns hímből és több nőtényből, illetve fiatal egyedből állnak (Van Zegeren, 1980). A hímek elvándorlása az ivaréreszkori testtömegüktől függ. Az

apróbb hímek nem birtokolnak saját területet és elvándorolnak, a nagyobb testméretű hímek viszont versengenek egymással (Crowcroft, 1966; Mackintosh, 1970; 1973). A laboratóriumi egerek és patkányok esetében a fent említett viselkedési forma, hogy a hímek agresszívek a másik hímmel, megmaradt, függetlenül attól, hogy generációk óta fogságban élnek (Brain és mtsai., 1989; Latham, 2004). Emiatt örök vita forrása a hím egerek egyedi vagy társas elhelyezése az állatházban, mivel az agresszió egy természetes viselkedési forma, viszont laboratóriumi körülmények között káros.

A hímvárú egyedek közötti agresszió súlyos stresszt, sérüléseket és esetenként elhullást is okozhat (Van Loo és mtsai., 2003; Weber és mtsai., 2017). Viszont az egyedi elhelyezés a hímek jólétét jelentősen csökkentheti a társas interakció hiánya miatt (Capdevila és Kelly, 2016). 2017-ben bevezették az Egyesült Királyságban a laboratóriumi egerek kötelező csoportos tartását (Kappel és mtsai., 2017). A megkérdőjelezés oka pedig a hím egerek egymással szembeni agresszív viselkedése (Kappel és mtsai., 2017; Weber és mtsai., 2017). Egy franciaországi kutatásban az egyedileg és a csoportosan tartott hím egerek stresszhormon szintjét mérték. A vizsgálatban az egereket először csoportosan tartották, majd egyedileg helyezték el, mindkét esetben mérték az állatok stresszhormon szintjét. Az egyedileg elhelyezett egerek stresszhormonszintje nőtt és fordítottan arányosan a kognitív funkciók csökkentek ezzel egyidejűleg (Manouze és mtsai., 2019). A társadalmi elszigeteltség és az ingerszegény környezet a rágcsálókra negatívan hat (Arakawa 2018, Mumtaz és mtsai., 2018). A rágcsálók elválasztás utáni szociális elszigeteltsége, az emberekhez hasonlóan, szorongást, depressziót és addiktív viselkedést eredményezhet (Bianchi és mtsai., 2006, Brenes és mtsai., 2008). A viselkedésbeli változások mellett a szervezetben megnő a stresszhormon szint és a gyulladáscsökkentő citokinek termelése is (Möller és mtsai., 2013, Krügel és mtsai., 2014, Butler és mtsai., 2016). A csoportosan tartott hímeknél viszont a domináns hím agresszív viselkedése a társaival szemben, szintén növeli a stresszhormon szintet, továbbá az esetleges sérülések gyengítik az állat immunrendszerét (Moberg, 1985). A természetben a gyengébb hímek a dominánsabb elöl el tudnak menekülni, zárt térben, laboratóriumi körülmények között viszont ez nem megoldható. Rengeteg kérdés merül fel azon tartástechnológiákkal kapcsolatban, melyek az állatok természetes életmódját próbálják leutánozni (Acklin és Gault, 2015). A kutatók többsége egyetértésben van azzal kapcsolatban, hogy a környezetgazdagítás az állatok jólétére pozitívan hat továbbá csökkenti a stresszszintjüket. A noninvaszív módon történő stresszhormon vizsgálat, például bélsárból mérhető kortikoszteron és kortizol szint, az egyik legjobban mérhető és objektív mutatója az állatok jólétének (Touma és mtsai., 2004).

2.6.4 A környezetgazdagítás fontossága a laboratóriumi egereknél

A fajmegőrzési programok és a nyilvánosság hatására a környezetgazdagítás igénye az elmúlt évtizedekben az állatkertekből indult ki. Az Európai Unióban 2010-ben a kísérleti állatházakat is elérte a környezetgazdagítás. A környezetgazdagításnak számtalan előnyét írták le (Tripp, 1985; Wilson, 1982). Ilyen például, hogy csökkenti az agressziót, és a rendellenes sztereotip viselkedésformákat, növeli az aktivitást, az általános egészségi állapotot, csökken a krónikus stressz és nő a túlélés a fogságban tenyésztett és a szabadba visszaengedett állatok esetében is (Markowitz és mtsai., 1978; Chamove és mtsai., 1982; Wilson, 1982; Tripp, 1985). A fogságban élő állatoknál nagy a valószínűsége, hogy krónikus stressz alakul ki, ha nem tudnak megküzdeni a környezeti kihívásokkal (Tripp, 1985).

A környezetgazdagítás nagy mértékben segíthet ezen, viszont nem biztosítja, hogy a bezártság miatti negatív hatások teljesen megszűnnek. A potenciális stresszor az aktív elkerülés hiánya, az, amikor az egyednek nincs lehetősége a menekülésre a félelmet okozó tényezők elől (Hediger, 1964). Nem csak az állatkertekben, hanem a kísérleti állatoknál is fontos a környezetgazdagítás. A laboratóriumi állatok elhelyezését a következő szempontok irányítják: gazdaságosság, a hely és erőforrások kihasználása, a higiénia, a szabványosítás, az állatok egyszerű elhelyezése és kezelhetősége. Ezen tartási körülmények között korlátozva vannak a fajokra jellemző viselkedési formák és nincs megfelelő érzékszervi stimuláció. Több kutatás tárgya a laboratóriumi kismamák modellállatok tartási helyének környezetgazdagítása, ezzel pozitív irányba terelve az állatok jólétét. Számos neurobiológiai kutatás bizonyította a környezetgazdagítás pozitív hatását a rágcsálókra. Moncek és mtsai. (2004) azt kutatták, hogy miként hat a tartási környezet a rágcsálók memóriájára. Kimutatták, hogy a környezetgazdagítás mellett elhelyezett csoport tagjainak a memóriájuk jobb volt, mint a hagyományos, környezetgazdagítás mentes ketrecben tartott egyedeké. *Frontiers in Immunology* folyóirat egyik 2016-os tanulmánya szerint a környezetgazdagított környezetben elhelyezett egereknél, ahol színes fajtékók voltak, mászóval, kerékkel és alagutakkal, a T-sejtek differenciálódásban és gén expressziós profiljában pozitív változások következtek be, ellentétben a hagyományos ketrecben tartott társaikkal (Rattazzi és mtsai., 2016). A tanulmányból kiderült, hogy a környezet képes befolyásolni az egyedek immunválaszát és a szervezetben a gyulladási folyamatok gyorsabb megszüntetését.

Egyik főbb probléma, hogy a háziegeret, valamint annak beltenyésztett törzseit használják legszélesebb körben a kutatásokban, mégis csekély az információk azzal kapcsolatban, hogy

a viselkedésbiológiája hogyan viszonyul a jelenlegi laboratóriumi tartási körülményekhez (Latham és Mason, 2004; Gaskill és mtsai 2011).

A jelenleg jogszabályok lehetővé teszik, hogy egy átlátszó, cipősdoboz méretű egérdobozban tartják az egereket, alomanyaggal, vízzel és élelemmel ellátva. Az ilyen tartási körülményekből hiányzik mindenféle érzékszervi és motoros stimuláció (Würbel, 2001; Latham és Mason, 2004). Már a kismértékű környezetgazdagítás is képes arra, hogy a stresszhormonszint jelentősen csökkenjen (Latham és Mason, 2010) főként, ha ez az apró változtatás a standard tartáshoz képest a fészekanyag hozzáadását jelenti (Olsson és Dahlborn, 2002). A fészekanyag lehetővé teszi a fajra jellemző fészeképítési viselkedés kifejeződését, ezáltal növeli az állatjólétet.

Az állatok jólétét, a vizsgálatok megbízhatóságát és az állatkísérletek etikus mivoltáról alkotott társadalmi véleményt a környezetgazdagítás javíthatja (Baumans, 2005a; 2005b; Garner, 2005; Würbel és Garner, 2007). Megannyi kutató és szakember tartja fontosnak a biológiailag releváns környezetgazdagítást, amely lehetővé teszi az állatoknak, a természetes viselkedési formák érvényesülését, ezáltal csökkentve a zárttéri tartásból eredő krónikus stresszt (Garner, 2005; Olsson és Dahlborn, 2002; Würbel és Garner 2007; Gurfein és mtsai., 2012).

A zárttéri tartásban a rágcsálók stresszszintjének csökkentése tekintetében, a fészeképítő anyag, mint környezetgazdagító elem biztosítása nagyon fontos. Az egerek nagy mértékben részesítik előnyben azt a ketrecet, ami fészeképítőanyagot is tartalmaz (Heizmann és mtsai., 1998), így az egerek választását a fészekanyag jobban befolyásolja, mint az üres, de fedett fészekdoboz, még akkor is, ha a fészekanyag rácsos padozaton volt található, amiről tudjuk, hogy kényelmetlen az egerek számára (van de Weerd és mtsai., 1998).

A fészekanyaggal kapcsolatos kutatási eredmények során Svájc kötelezővé tette a laboratóriumi állatok tartásánál a fészekanyag használatát (Bailoo és mtsai, 2018). A fészekanyag a rágcsálók számára a hő megtartásának legfontosabb szereplője, ugyanakkor természetesen az utódok gondozásában, védelmében és elbújtatásában is döntő szerepe van. Mivel az egerek csupaszon és önálló hőmegtartás nélkül születnek, rendkívül fontos a megfelelő minőségű fészek az utódok túléléséhez, továbbá a ragadozók elől menedékként is szolgál (Deacon, 2006a; 2006b; Hess és mtsai., 2008; Latham és Mason, 2004). Az egerek, apró testméretük miatt érzékenyen reagálnak a hővesztésre, emiatt mindkét ivar épít fészket (Lisk és mtsai., 1969), az egereknél a fészek építése nem csak szaporodási és utódgondozási funkciót lát el (Van de Weerd és mtsai., 1998), mint az üregi nyulaknál. Mindkét ivar hasonló nagyságú fészket készít, ha biztosított számukra a megfelelő fészeképítő anyag (Lisk és mtsai., 1969; Sherwin, 1997). A fészeképítés az élethosszig tartó szaporodási sikert növeli az egereknél (Berry, 1970; Bult és Lynch, 1997).

A fészeképítésre jellemző viselkedés a beltenyésztett laboratóriumi egértörzseknél is megmaradt (Estep és mtsai., 1975). A fészek, főként a laboratóriumi környezetben, lehetőséget nyújt az elbújásra, akár a fajtársak, akár az emberek elől, vagy egyéb külső ingerektől, például a fénytől (Clough, 1982). A legtöbb standard állattartó telepen a környezeti hőmérséklet a termoneutrális hőmérséklet (20-22 Celsius-fok) alatt van (Johnson és mtsai., 2017), emiatt a laboratóriumban tartott egereknek hőszabályozási szempontból rendkívül fontos, hogy lehetőségük legyen fészket építeni (Gaskill és mtsai., 2012). A hőveszteséget és a takarmányfogyasztást is csökkenti a megfelelő fészekanyag (Gaskill és mtsai., 2013). Hőpreferencia vizsgálatok kimutatták, hogy az egerek a 30 Celsius-fokhoz közeli hőmérsékletet preferálják (Gaskill és mtsai., 2009; 2011; Gordon és mtsai., 1998), más kutatások kimutatták, hogy a melegebb hőmérséklet növelheti az agressziót (Greenberg, 1972), így a laboratóriumi hőmérséklet növelése nem a legjobb megoldás. A szélsőséges klimatikus viszonyok ellen a vadon élő egerek fészket építenek (Latham és Mason, 2004; Crowcroft, 1966), és laboratóriumi körülmények között a megfelelő fészekanyag biztosítása megoldást jelent a hidegstressz problémájára kísérleti egereknél is.

2.7 A viselkedés tesztek bemutatása

A vadon élő állatok és háziállatok esetében a viselkedés különböző variációinak a leírására és azok számszerűsítésére a viselkedési tesztek használják (Bell és mtsai., 2010).

Az állati személyiség sokféle módon mérhető és vizsgálható, például az egyeden belüli változatosságok alapján, az egyedek közötti különbségek szerint, és a populációk szintjén (Uher, 2011). Az állatok személyiségével foglalkozó tudományterület az elmúlt két évtizedben került előtérbe, sok kutató és szakember próbált módszertani keretet létrehozni a kutatás minőségének és megismerhetőségének a javítása érdekében (Taylor és Mills, 2006; Uher és mtsai., 2008). Két fajta módszert használnak az állati személyiség azonosítására. Az egyik ilyen módszer az állati viselkedés kódolása, a másik a viselkedési tulajdonságok szubjektív értékelése (Gosling, 2001). A viselkedés kódolása alatt a vizsgált egyed egy meghatározott teszhelyzetbe kerül és ez idő alatt a helyzetre adott viselkedési válaszait rögzítik (Kurvers és mtsai., 2009). A szubjektív értékelés esetében az állat személyiségjegyeit vizsgálja egy vagy több megfigyelő (Gosling, 2001; Mehta és Gosling, 2008; Fox és Millam, 2010). Az említett két módszert néha felcserélik, de a legújabb tanulmányok szerint a két módszer más-más viselkedési területek mérésére alkalmas (Uher és mtsai., 2013).

Rengeteg módszer alkalmazható a viselkedés tanulmányozására, amelyek két alapvető csoportba sorolhatók. Az első csoportba azok a módszerek és tesztek sorolhatóak, amik az adott egyed spontán viselkedését vizsgálják, mint az aktivitást és a mozgásmintázatot rögzítik, ilyen például az open-field teszt. Léteznek úgynevezett preferencia módszerek, amelyeknek lényege, hogy adott ízeket, mozgásmintákat stb. előnyben részesít (preferencia), vagy éppen elkerül (pl. passzív elkerülés teszt) az állat. Vannak a helyzeti szorongást vizsgáló eljárások, amik az esetek többségében valamilyen konfliktushelyzetre épülnek. Ez a konfliktushelyzet olyan, amely az állat számára szorongást kelt, ezért azt az állat nem szereti, viszont a kíváncsiság vagy más motiváció (pl. éhség, szomjúság) mégis odahajtja (pl. emelt labirintus teszt, Open-field). Külön csoportot alkotnak azok a tesztek, amelyek a motivációt vizsgálják (pl. a Porsolt-féle úszási teszt, az új tárgy felismerési teszt).

A másik nagy csoportba tartoznak azok a módszerek, amik a tanulást és memóriát vizsgálják. Ilyen például az útvonal-tanulási tesztek (labirintus tesztek). A labirintusok típus szerint lehetnek egyszeresen vagy többszörösen elágazóak (T-labirintus, Y-labirintus, sugárlabirintus). A labirintus tesztek használhatók a memória vizsgálatára is, míg például a Morris-féle vízi labirintus teszt a térbeli tájékozódás tanulmányozására alkalmas.

Vannak továbbá asszociatív tanulást vizsgáló eljárások. Ide sorolhatóak a félelem- és elhárító-kondicionálások, illetve a pedálos operáns-kondicionáló kamrák, amelyek leginkább a tanulási folyamatok vizsgálatára alkalmasak.

A merészség az állatoknál az egyik leggyakrabban vizsgált személyiségjegye (Conrad és mtsai., 2011). Azt, hogy a kutatók mit gondolnak a merészség fogalma alatt, jelenleg még nem született egység. Egyes kutatók kockázatvállalói hajlandóságként értelmezték, mikor az állat új helyzetekbe kerül (Coleman és Wilson, 1998; Toms és mtsai., 2010), más kutatók pedig kizárólag a kockázatos helyzetekre adott választ tekintették annak (Réale és mtsai., 2007). A merészséget így több teszttel is vizsgálják, ilyen például az új tárgy-teszt, új környezet-teszt, és a ragadozó kockázatra adott válaszreakciót mérő teszt (Toms és mtsai., 2010).

A viselkedéstesztek esetében a cél az egyéni viselkedési mintázat állatok közötti összehasonlíthatósága, illetve fontos, hogy a teszteknek ökológiai relevanciájuk is legyen.

A viselkedési teszteknek relevánsnak kell lennie az adott vizsgált faj viselkedésének szempontjából. Egy adott fajra vagy taxonra vonatkozó vizsgálat nem feleltethető meg egy másik fajra vonatkozó vizsgálattal (Weiss és Adams, 2013), mivel vannak olyan fajok, melyek esetében a predáció kockázatát nyílt terepen (Blumstein és Daniel, 2002), míg más fajokat inkább zárt terepen szükséges vizsgálni (Whittingham és mtsai., 2005). Ezt a típusú tesztet gyakran használják aktivitás és felfedező-képesség mérésére is (Boyer és mtsai., 2010), de

ugyanúgy használható a merészség feltérképezésére is (Brown és Braithwaite, 2004). Elővigyázatosan és megfontoltan kell eljárni a tesztek kiválasztásával és összehasonlításával kapcsolatban, főként akkor, mikor egy teszt több tulajdonság mérésére is alkalmas (Carter és mtsai., 2013).

Természetes körülmények között a rágcsálóknál és a nyúlalakúaknál már feljegyeztek többféle személyiségtypust (Rödel és mtsai., 2015). Az üregi nyúlnak az egyik jelentős kompromisszuma a táplálékhoz való hozzájutás és a táplálék kutatása ragadozó jelenlétében. A POLS-hipotézis (pace-of-life-syndrome) feltételezi, hogy a merészség és a felfedező viselkedés összekapcsolható, ezáltal a populációban reaktív és proaktív egyedek lesznek (Réale és mtsai., 2010). Viszont több tanulmány is kimutatta, ennek az összefüggésnek a hiányát (Carter és mtsai., 2012; Martínez-Byer és mtsai., 2020).

A felfedező-képességet általában a rágcsálóknál új tárgy vagy open-field teszt segítségével mérik (Fitzgibbon, 1994; Andersson és mtsai., 2014; Yuen és mtsai., 2017). Az új tárgy teszt könnyen ismételhető, új és megszokott környezetben is alkalmazható (Andersson és mtsai., 2014). Az állat számára új környezetben vizsgálhatjuk az állat felfedező-viselkedését megszokott környezetben pedig a merészségét (Coleman és Wilson, 1998). Új táplálék esetén fontos, hogy legyen biológiai relevanciája, ez lehet olyan táplálék, amivel az állat korábban még nem találkozott (pl. rágcsálók esetében alma, magvak) (Martínez-Byer és mtsai., 2020).

Az összehasonlító pszichológiával foglalkozók a személyiségjegyek eredetét keresve, a fajok, és az ember személyiségét hasonlítják össze. Az alkalmazott kutatások pedig a személyiségkonstrukciók feltárására irányulnak, annak érdekében, hogy a változó kihívások kezelésére fel tudják használni. Az alkalmazott kutatások lényegesek a fogságban tartott állatoknál, a megfelelő állatjóléti szempontok biztosításának érdekében (Doane és Sarenbo, 2019), valamint az állattenyésztők számára szelekciós szempontként szolgálhatnak az alkalmazott kutatások eredményei (Sinn és mtsai., 2010; Voisinet és mtsai., 1997).

Az állattenyésztésben dolgozó szakemberek számára fontos, hogy hogyan változik az állat személyisége fejlődésének szenzitív periódusaiban (Foyer és mtsai. 2014), ilyen módon tudják összehangolni azokat a környezeti feltételeket, amikkel elősegítik, hogy jövőben várható körülményekhez könnyen alkalmazkodó állatokat sikerüljön nemesíteni. Az említett kutatások eredményeként több állatfaj esetében ismerjük és értjük a személyiség adaptív értékét, hiszen számos módszertan és statisztikai elemzés áll a rendelkezésünkre (Uher és mtsai., 2008, Metha és Gossling, 2008, Weiss és Altschul, 2017). A személyiségjegyek közötti kapcsolatot és fiziológiai folyamatokat kereső kutatások megállapították, hogy a makákókban (*Macaca mulatta*) a páviánokban (*Papio anubis*), és az európai szécinkében (*Parus major*) a keringő

HPA-hormonszintek (kortikoszteron és a kortizol) összeköthetők a személyiség jellemzőivel, az ingerlékenységgel, a magabiztossággal, agresszióval vagy az óvatossággal (Ray és Sapolsky 1992, Capitanio és mtsai., 2005). Azoknál a fajok egyedeinél, ahol állandó HPA aktiválás történik, jelen van a rossz egészségi állapot, ami fogságban tartott állatok egészségügyi kérdését veti fel (Ray és Saplosky 1992). A fekete rinocéroszoknál (*Diceros bicornis*) a viselkedést és a temperamentumot pontosítják és ezek eredményeit szaporítási programokban tudják használni (Carlstead és mtsai. 1999).

Ezek az információk azért fontosak, mert a fenntartható állattenyésztés központi részévé váltak az állatjóléti szempontok, ezek megfelelő betartásához ismerniük kell a gazdáknak az állatok viselkedését. A viselkedést figyelembe vevő tenyésztés nehéz a fenotípussal vagy gazdaságilag fontos tulajdonságokra való szelekcióval összehasonlítva, mert a tenyésztési programokhoz szükséges sok egyed viselkedését pontosan mérni sok időt vehet igénybe (D'Eath és mtsai. 2010). A viselkedési tulajdonságok mérésére kifejlesztett pontos módszerek ellenére ez a helyzet nem egyszerű, a tenyésztők mégis a viselkedési tulajdonságokat elkezdtek figyelembe venni.

A viselkedési tesztek fontos eszközei az idegtudományi, pszichológiai és gyógyszerfejlesztési kutatásoknak is. Ezek segítségével tanulmányozható például a memória, a tanulás, a szorongás vagy a depresszió állatmodellekben. Az olyan tesztek, mint a nyílt tér teszt (OFT) vagy a Morris-vízilabirintus, segítenek megérteni az agyműködés alapvető mechanizmusait, valamint az új gyógyszerek és terápiák hatékonyságát. Fontos kiemelni, hogy az állatjóléti normák betartása nemcsak etikai kötelesség, hanem a kutatások megbízhatóságának és reprodukálhatóságának alapfeltétele is. A stressz, a nem megfelelő tartási körülmények vagy a rosszul kezelt állatok viselkedése és fiziológiai állapota jelentősen befolyásolhatja a kísérletek eredményeit, torzíthatja az adatokat, és csökkentheti a vizsgálatok érvényességét.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 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 laboratóriumában 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 egérdobozban, 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.

3.2 Handling

Az egerek kézhez szoktatásakor (handling) kerültük az állatok farkánál fogva történő megemelését, mivel ez az egerek számára különösen kellemetlen és stresszes (Hurst és West 2010; Clarkson és mtsai. 2018). A fark megemelése helyett az egereket nyitott tenyérrel vettük fel (open hand method), melynek a lényege, hogy az ember a kezét az egér alá helyezi, lehetővé téve, hogy az állat magától másszon rá. A handlinget az egereknél 21 napos korban kezdtük, az elválasztás után. A kézhez szoktatás fokozatosan történt, az első lépések során az egerek a ketrecükben maradtak, miközben az emberi jelenlétéhez és érintéséhez szoktattuk őket, később az állatok rövid időre kézbe kerültek. A handling naponta 1 alkalommal történt és maximum 5 percig tartott (6. ábra), minden állat 1 héten keresztül volt handlingelve, mivel a megfigyeléseink alapján ennyi alkalom elég volt az egereknek, hogy megszokják a velük dolgozó embereket



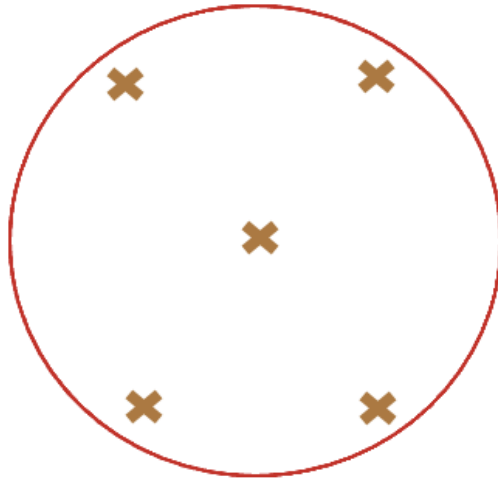
5. ábra: Fiatal egér handlingje

3.3 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 egérdozobban, 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.

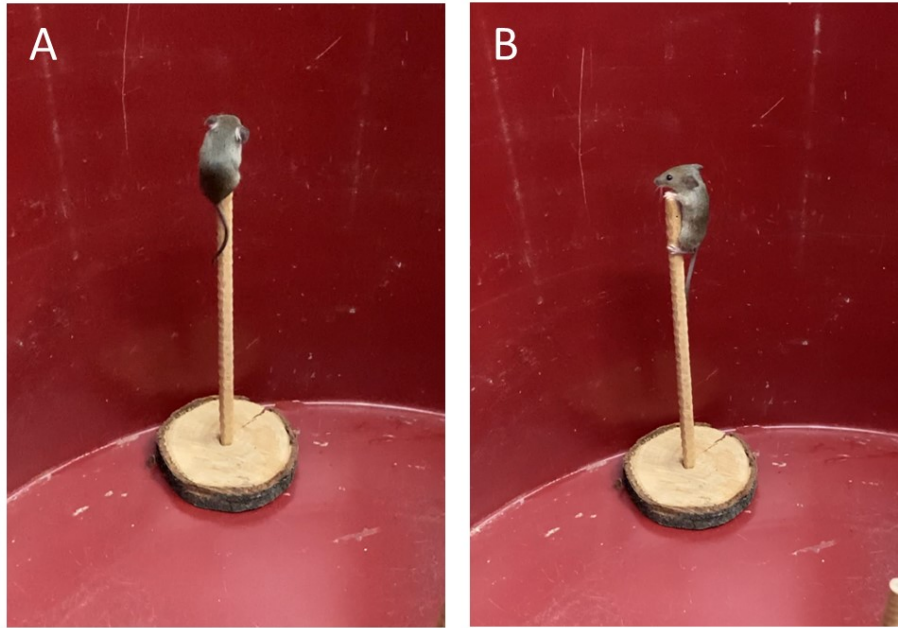
A felmászó vizsgálathoz 44 güzüegeret választottunk, ebből 22 fiatal volt és 22 pedig felnőtt, a háziegerek közül szintén 44 került kiválasztásra, itt is 22 fiatal és 22 felnőtt. A fiatal egerek 28-35 napos kor között voltak, míg a felnőtt egerek körülbelül 500 naposak voltak. A güzü-és a háziegereknél a vizsgálatban hímek és nőstények 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 (7. ábra).



6. ábra: Az open-field arénában elhelyezett 5 darab felmászó rúd pozíciója

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 végrehajtva. Az elemzéshez az egereket fajok és korcsoportok szerint csoportosítottuk.



7. ábra: A - háziegér a felmászó rúdon hátulnézetből, B – háziegér a felmászórúdon oldalnézetből

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).

3.4 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 fajkon/törzseken belül 16 nőstény és 16 hím, ezen belül pedig 8 fiatal és 8 felnőtt egyed került kiválasztásra.

A vizsgálathoz 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 (9. ábra). A 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.



8. ábra: A berendezett tesztdoboz elhelyezve az open-filed arénában

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.

3.5 Két laboratóriumi egértörzs viselkedésének összehasonlítása különböző megvilágítási körülmények között

Ebben a vizsgálatban az 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 egyedet, 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 periódusban OSRAM típusú L36W/640 fénycső világít, sötét fázisban pedig a Philips típusú TL-D 36W/10 vörös fénycső.



9. ábra: A piros fényben végzett teszt egy C57BL/6-os egérrel

A vizsgálathoz kiválasztott egyedeket egyenként teszteltük egy 36,5 x 21 x 18 cm-es fehér műanyag tárolóban (10. ábra). 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 függvényével 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 albinó 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 vizsgálathoz a IBM SPSS Statistics 29.0 programot használtuk.

3.6 A három laboratóriumi egértörzs mászási képességének a vizsgálata

A vizsgálathoz 20 darab BALB/c egeret, 20 C57BL/6 egeret és 20 C3H egeret használtunk.



11. ábra: BALB/c egerek (balra), C57BL/6 egerek (középen) és C3H egerek (jobbra)

A kiválasztott egereket egyenként helyeztük a berendezett open-field arénában, és minden egyes egér után az arénát és a mászórudakat alkohollal áttöröltük, 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 korszoport 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: $S(t) = P(T > t)$.



10. ábra: BALB/c egér a felmászó rúdon

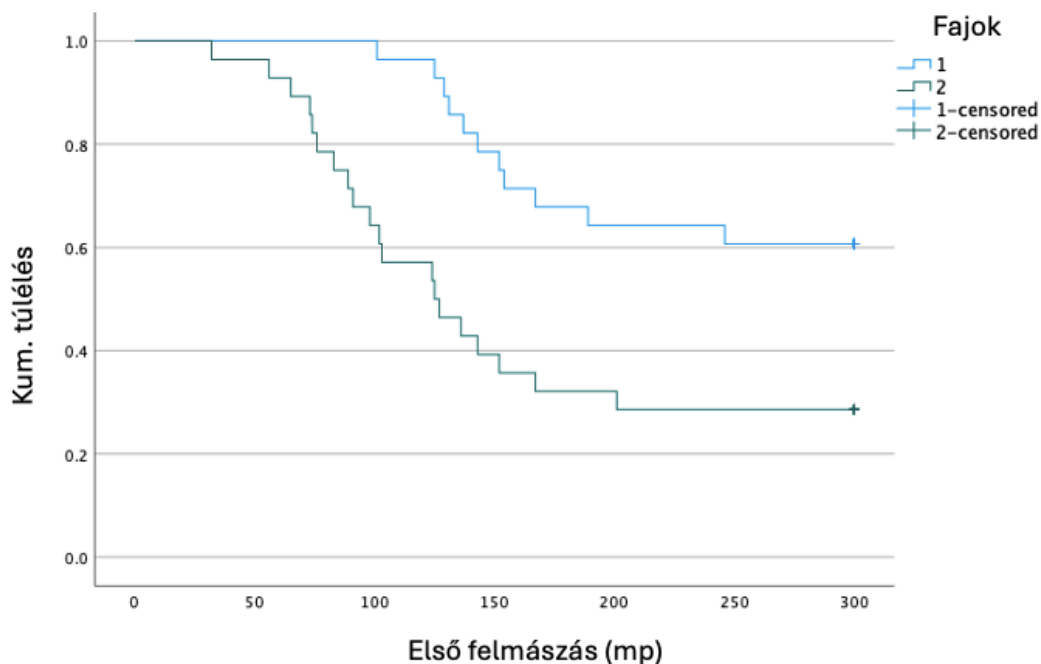
Az egyes törzsek, a nemek és a korok alapján megkülönböztethető csoportok túlélés függvényeinek különbözőségét Log-rank teszt segítségével határoztuk meg (Kaplan és Meier, 1958). A törzsek, a nemek és az életkorok hatását a felmászás időtartamára Cox Proportional Hazard modell alkalmazásával határoztuk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

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

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1 A güzü-és háziegér mászási képességének a vizsgálata

A különböző fajokra és korcsoportokra vonatkozó túlélési függvény görbéit a 13. ábra mutatja. Egy faj vagy korcsoport alsó görbéi azt jelzik, hogy a másik csoport állataihoz képest nagyobb arányban másznak fel a rúdon. A log-rank teszt alapján a faj és a kor is szignifikáns különbséget mutatott ($p < 0,05$).



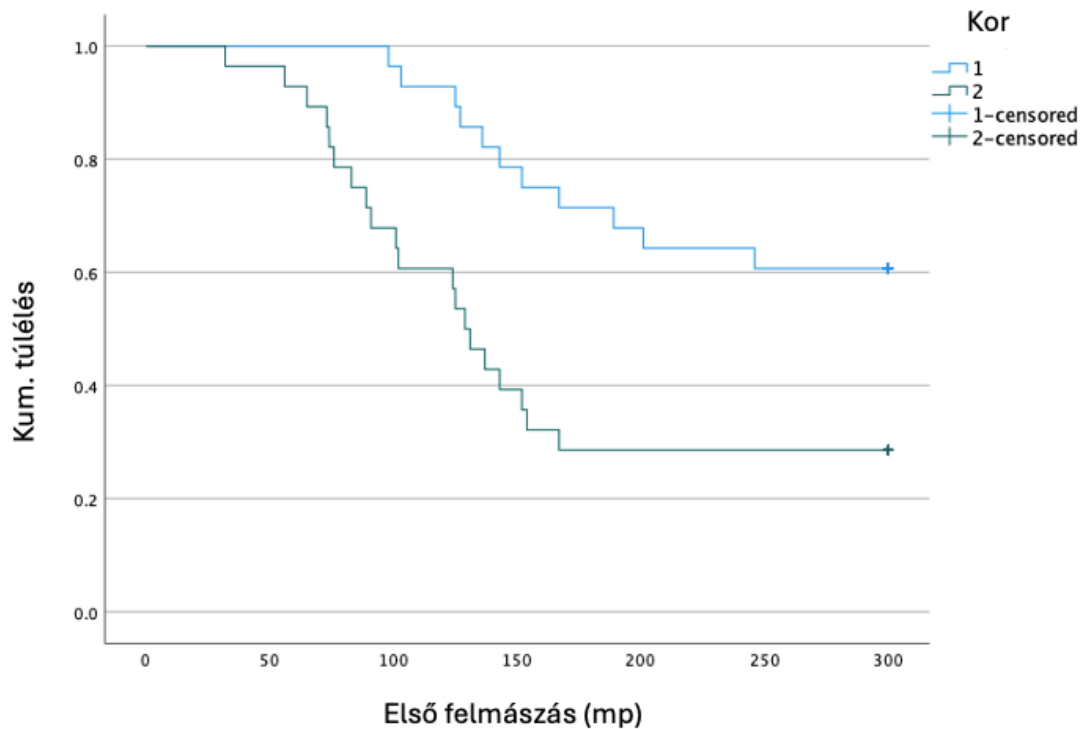
11. ábra: A túlélés-görbe az első felmászás idejére a fajok alapján (1: güzüegér, 2: háziegér)

A 13. ábrán látható, hogy 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 14. ábrán jól látható, hogy mind 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.



14. ábra: A túlélés-görbe az első felmászás idejére a korcsoportok alapján (1: felnőtt, 2: fiatal)

A PHREG eljárással becsült Cox-regressziós paramétereket a 1. táblázat mutatja be.

A becsült Cox regressziós együtthatók szignifikánsnak bizonyultak, 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 háziegerekénél négyszer nagyobb valószínűséggel történik meg, mint a gúzüegerekénél, továbbá a fiatal egyedeknél háromszor akkora valószínűséggel történik meg, mint a felnőtteknél.

1. táblázat: A Cox-regressziós együtthatók (B) és a Hazard arányok (Exp(B)) Maximum Likelihood becsülései az egérfajok és korcsoportok hatását vizsgálva az első sikeres mászás időtartamára

Faktor	B	SE	p	Exp(B)
Faj	1,40	0,30	<0,001	4,094
Kor	1,19	0,29	<0,001	3,305

B=Cox-regressziós együtthatók

SE=Standard hiba

p=p-érték

Exp(B)=Hazard arányok

Az elvégzett kísérletekből kiderült, hogy a háziegerek, mind a felnőtt, mind a fiatal egyedek nagyobb hajlandóságot mutatnak a mászás iránt, mint a güzüegerek csoportjai. Továbbá a güzüegerek csoportjain belül is különbség fedezhető fel a fiatal és a felnőtt egyedek között, a fiatal güzüegerek nagyobb mászási hajlandóságot mutatnak, mint a felnőtt güzüegerek.

Előző vizsgálatainkból tudjuk (Bárdos és mtsai. 2022), hogy a háziegerek farka testükhöz képest hosszabb, mint a güzüegerek esetén. Ezen eredmények jól párhuzamba állíthatók Horner (1954) vizsgálataival, miszerint a hosszabb farkkal rendelkező őzegér (*Peromyscus maniculatus*) nagyobb hajlandóságot mutat a mászás iránt, mint a rövidebb farkkal rendelkező fehérlábú egér (*Peromyscus leucopus*). Az őzegéرنél a hosszabb farkat és a nagyobb mászási hajlandóságot a kutatók az élőhellyel hozták összefüggésbe, mivel az őzegér erdős területeken él, ahol a függőleges mászás képessége előnyt jelent. A fehérlábú egér viszont füves pusztákon fordul elő leginkább, ahol kevésbé van rászorulva a mászásra, így a farka is rövidebb, mint erdei társáé (Horner, 1954; King és mtsi. 1968).

A háziegér egy emberrel együtt élő, széles földrajzi elterjedéssel rendelkező faj (Brown, 1953), ami a kiváló alkalmazkodási képességének köszönhető. Az emberi építményekben való közlekedés szükséges az életben maradáshoz, ami a háziegér számára nélkülözhetetlenné teszi a jó mászási képességet. A háziegérrel szemben a güzüegér leginkább a mezőgazdasági területeken előforduló faj (Bihari, 2004). A főleg lágyszárú növényekkel borított síkvidéki mezőgazdasági területeken a güzüegérnek, akár csak az amerikai fehérlábú egérnek és a floridai egérnek, amelyek szintén síkvidéki élőhelyekhez köthető fajok (Layne, 1963), kevésbé szükséges a jó mászóképeség a túléléshez (Horner, 1954; Layne, 1970).

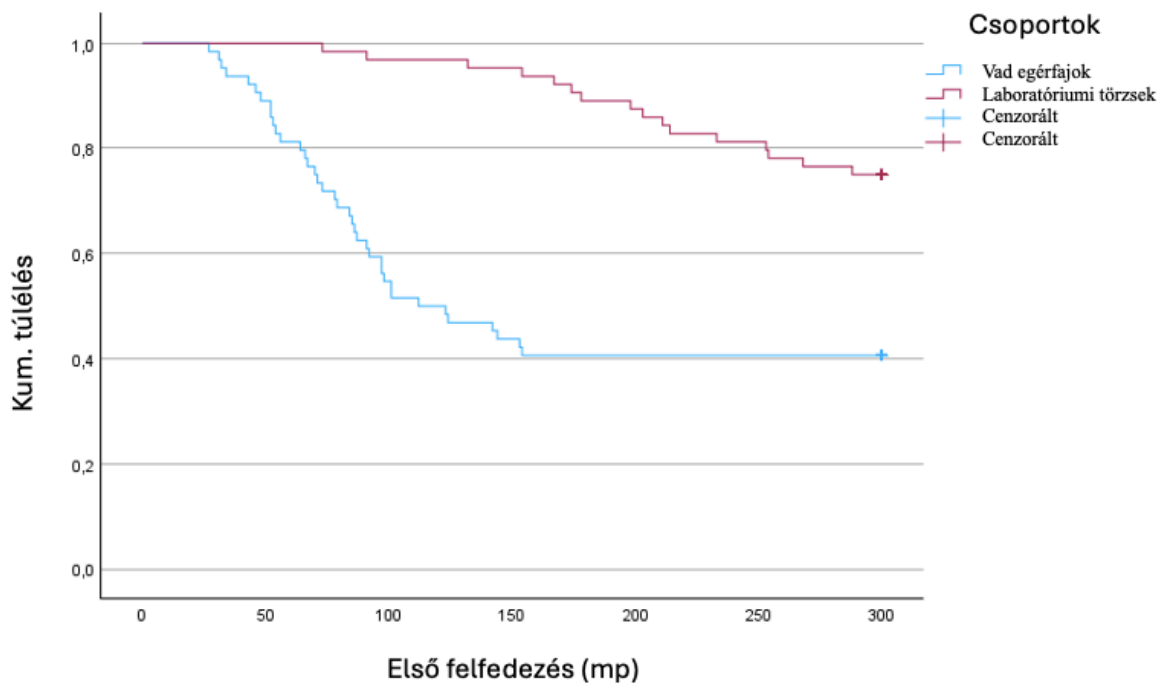
Számos más rágcsálófajnál megfigyelhető ugyanez a jelenség, hogy a komplexebb élőhelyen élő fajok farka hosszabb és jobb mászási képességgel rendelkeznek, mint szegényesebb növényzettel borított élőhelyen élő fajoké (Holbrook, 1979a; Holbrook, 1979b). Az Afrikában őshonos *Thallomys paedulus* nevű rágcsálófaj egy kísérletben nagyobb mászási hajlandóságot mutatott, mint a rövidebb farkokkal rendelkező sivatagi fajok (*Praomys natalensis* és a *Saccostomus campestris*) (Earl és mtsai. 1976).

A háziegér és güzüegér áttelelési stratégiája jelentősen különbözik, a háziegér ősszel az emberi építményekbe húzódik (Carlsen, 1993), a güzüegerekről viszont tudjuk, hogy ősszel több egyed

közös halmot épít földből és növényi anyagokból (Simeonovska-Nikolova és Gerasimov, 2000), a növényi töltet főleg kalászvirágzatokból áll, amit a növény csúcsáról rágnak le. A güzüegerek a *Mus* genusban egyedülálló módon kooperatívak (Simeonovska-Nikolova és Gerasimov, 2000) és a vizsgálatainkból kiderült, hogy a güzüegereken belül a fiatal egyedek jobb mászási hajlandósággal rendelkeznek, mint a felnőtt egyedek, így lehetségesnek tartjuk, hogy a fiatal güzüeger egyedek másznak fel az egyszikű növények szárán rágják le a kalászvirágzatot, amit a felnőtt egyedek beépítenek a halomba (Szenczi és mtsai., 2011). Ezen elmélet bizonyításához terepi megfigyelések lennének szükségesek a güzüegerek halomépítésekor.

4.2 A vad és domesztikált egerek felfedező viselkedésének az összehasonlítása

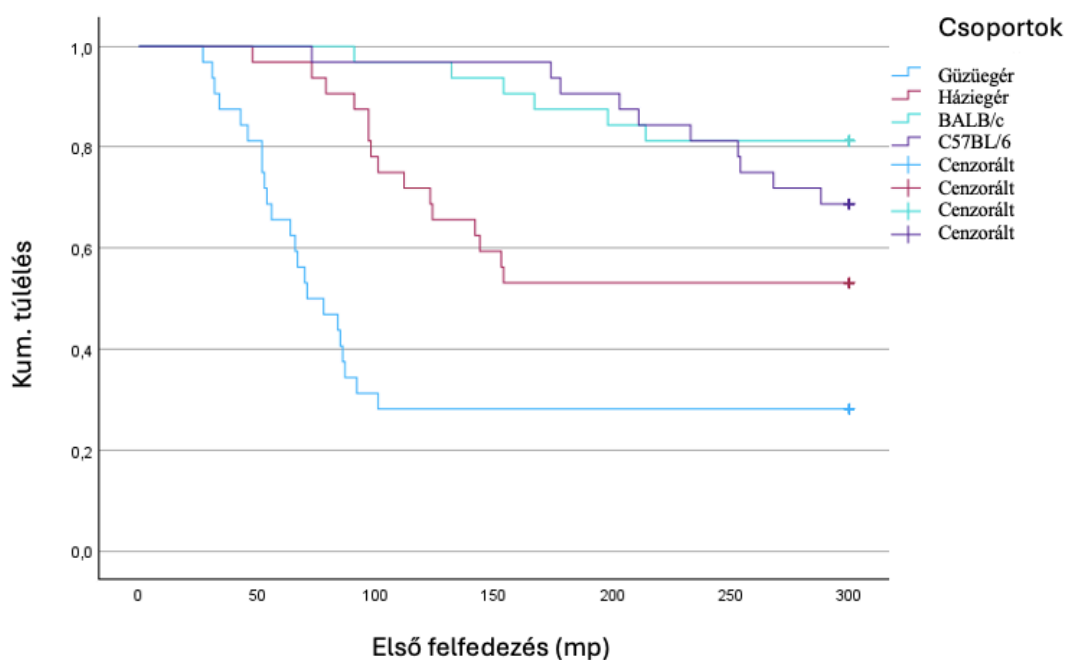
A vad és a domesztikált egercsoportokra vonatkozó túlélési függvényt az 15. ábra mutatja. Az alsó görbe azt mutatja, hogy az a csoport, jelen esetben a vad egérfajok csoportja nagyobb arányban fedezték fel a csövön keresztül a külvilágot. A log-rank teszt alapján a két csoport között szignifikáns különbség van ($p < 0.001$).



12. ábra: A vad és a laboratóriumi egerek első felfedezésének a túlélési görbéje

A 15. ábrán jól látható, hogy a vad egérfajok csoportjánál az első felfedezés ideje már jóval 50 másodperc előtt megtörtént, 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 (16. ábra), 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 ($p=0.041$).



13. ábra: A két vad egérfaj és a laboratóriumi egerek túlélési görbéje

Az 4 csoport összehasonlítását mutató ábrán (16. ábra) látszik, hogy a güzüegerek azok, akik időben legkorábban fedezték fel a külső környezetet, ez valamikor a 35. másodpercél történt, ez 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.

2. táblázat: Cox regressziós tábla

Faktor	B	SE	p	Exp(B)
Vad/Lab	-1,343	0,300	<0,001	0,261
Nemek	-0,007	0,274	0,979	0,993
Korok	0,327	0,275	0,235	1,387

B=Cox-regressziós együtthatók

SE=Standard hiba

p=p-érték

Exp(B)=Hazard arányok

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.

A vad és laboratóriumi egerek felfedező viselkedésének vizsgálata alapján azt találtuk, hogy a vad egerek sokkal nagyobb arányban és időben is előbb fedezik fel az egérdobozon kívüli teret, mint a laboratóriumi egerek. Eredményeink megegyeznek Smith (1972) vizsgálataival, ahol két beltenyészett egértörzset hasonlított össze vad háziegerekkel viselkedés szempontjából és azt találta, hogy a vad háziegerek aktívabbak voltak, mint a laboratóriumi egerek. Továbbá ezen eredmények megegyeznek Kavanau (1966) vizsgálataival is, ahol a vad háziegerek nagyobb aktivitást mutattak az open-field tesztben és a kerék (futó-kerék) aktivitásban is, mint a beltenyészett laboratóriumi egértörzsek.

A laboratóriumi egerek csökkent aktivitása és az időbeli késleltetése a külső világ felfedezését illetően magyarázható Adams és Boice (1981) egereken végzett vizsgálataikkal, ahol azt találták, hogy a laboratóriumi egerek és a vad háziegerek viselkedése között nem maga a viselkedés mintázatában találtak különbséget, hanem a viselkedés időbeli megkezdésében. A laboratóriumi egerek időben később kezdtek neki vizsgálatban adott tevékenységnek, például az ásásnak (Adams és Boice, 1981). A laboratóriumi egerek és a háziegerek közötti legszembetűnőbb viselkedési különbség, ami a domesztikáció alatt végbement, az az aktivitás csökkenése (Smith, 1972) a laboratóriumi egerek részéről. A domesztikáció hatásai ritkán minőségek abból a szempontból, hogy a viselkedési minták elvesznek vagy nagyban megváltoznak, ehelyett inkább a kulcsingerekre való csökkent reakció a jellemző, ami mennyiségi változásokat eredményezhet a viselkedésben (Price, 1999). Price (1999) azt a

következtetést vont le, hogy a domesztikáció egyetlen legfontosabb hatása a rágcsálóknál a reagálóképesség csökkenése. A házasított állatok szelídsege és a csökkent aktivitás a félelem/stressz rendszer csökkenésével, különösen a hipotalamusz-hipofízis-mellékvese tengely és a szerotonin szint csökkenésével jár (Wilkins és mtsai. 2014). A laboratóriumi egerekben a szelídsege egy nagyon változékony tulajdonság és a genetikai háttér befolyásolja (Goto és mtsai. 2013; Wahlsten és mtsai. 2003). Wilkins és mtsai. (2014) tanulmánya szerint a szelídsegre való szelekció csökkenti a gerincvelőcső sejtek bemenetét, ami befolyásolja a stresszszintet, az agressziót, a menekülési reakciót, valamint fenotípusosan lerövidül az állat orra és a szőrzetben fehér foltok jelennek meg. Ezen megállapítások illeszkednek a BALB/c egerek jelen tanulmányban mutatott viselkedésével is, hiszen a BALB/c egerek csoportja fedezte fel a külső világot a legkisebb arányban és időben is ez a csoport reagált a legkésőbb.

A laboratóriumi egerek alacsonyabb aktivitási szintjét Blanchard és mtsai. (1998) is vizsgálták, ahol Swiss laboratóriumi egerek viselkedését hasonlították össze vad háziegérével, azt kapták, hogy a viselkedési mintázatok nagyrészt megegyeznek, a különbség annak intenzitásában van. A vad háziegerek magasabb szintű elkerülési, ugrási, mászási viselkedéseket mutattak a ragadozó jelenlétében, mint a laboratóriumi egerek.

Augustsson és Meyerson (2004) vizsgálataikban, ahol vad háziegereket hasonlítottak össze az általunk is használt laboratóriumi törzsekkel (BALB/c és C57BL/6) különböző viselkedési tesztekben. Az eredményeik alapján a vad háziegerek kerülték a nyílt terek használatát és több időt töltöttek a start box-okban, míg a laboratóriumi egerek aktívabban vettek részt a felfedezésben. Ezen vizsgálatok eredményei pont ellentétesek a mi megfigyeléseinkkel, ahol a vad egérfajok sokkal érdeklődőbbek és aktívan fedezték fel a külső környezetüket, ennek lehetséges magyarázata az lehet, hogy a mi állományunk több mint 25 generáció óta laboratóriumban tenyésztett vad egérfajokból áll, az emberi jelenléthez jobban hozzá vannak szokva, ellentétben Augustsson és Meyerson (2004) vizsgálataiban használt vad háziegerekkel, ahol a szerzők leírták, hogy a vad háziegerek 75%-a a kisebb emberi zajoktól is megijedt és fedezékbe bújt.

Az eredményeinkben a két vad egérfaj között talált különbség azzal magyarázható, hogy a háziegér régóta az emberrel együtt élő faj. A háziegér a hideg évszakot az emberi építményekben vészeli át, így az ember alkotta környezethez jobban hozzá van szokva, hasonlóan, mint a laboratóriumi egerek, ezzel ellentétben a gűzüegér az emberi településektől távol, a mezőgazdasági területeken tölti az egész évet és inkább emberkerülő fajnak mondható (Bihari, 2004; Sokolov és mtsai. 1998). A két laboratóriumi egértörzs között a minimális eltérés

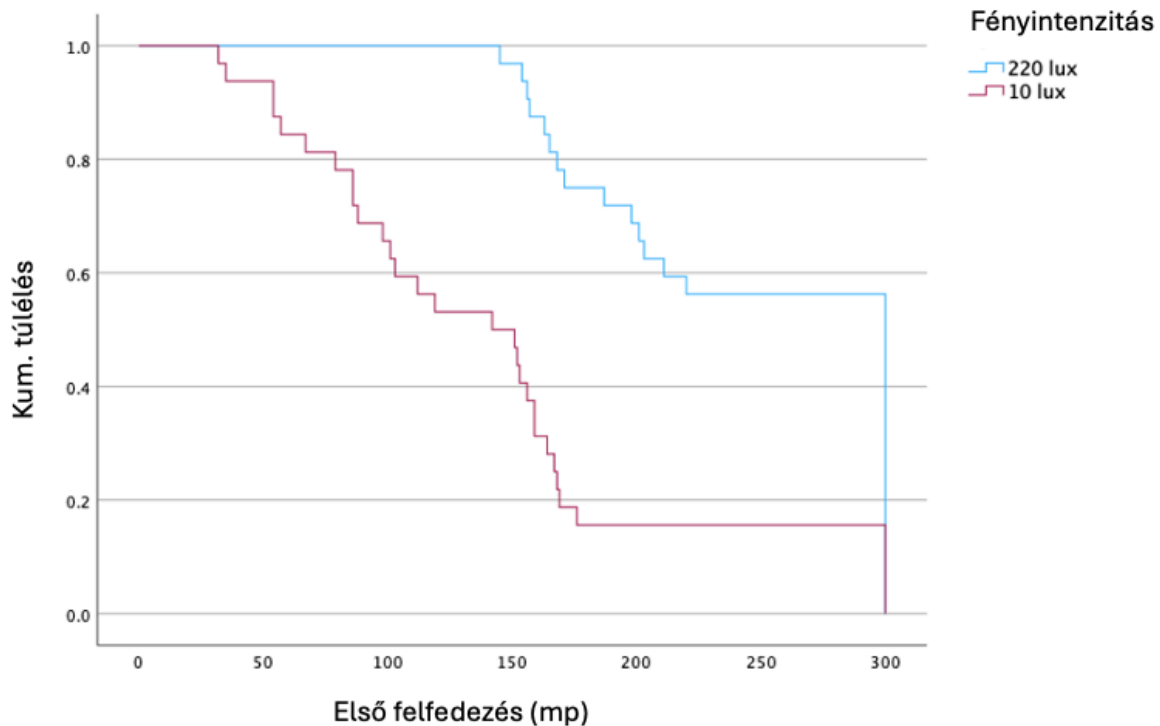
a viselkedésben azzal magyarázható, hogy a laboratóriumi egértörzsek közeli rokonságban állnak egymással és a genetikai eltérés is minimális az egyes törzsek között (Potter, 1978).

Az eredményeink jól összehasonlíthatóak más, laboratóriumban használt rágsálófajjal is, mint például a tengerimalaccal. Zipser és mtsai. (2014) vad és domesztikált tengerimalacokat hasonlított össze a viselkedésük alapján. Vizsgálataik eredménye alapján a domesztikált tengerimalacok kevésbé aktívak és kevesebb kockázatot vállalnak, mint a vad társaik. Zipser és mtsai (2014) elmélete szerint azért, mert az ember alkotta környezetben a domesztikált állatok számára minden lényeges erőforrás, mint például az élelem, a fészekanyag, búvóhely rendelkezésre áll.

Összefoglalásként elmondható, hogy a laboratóriumi egerek a felfedező tesztben kevésbé voltak aktívak és ha fel is fedezték a külső teret, azt időben sokkal később tették meg, mint a vad egérfajok. A vad egérfajok közötti viselkedésbeli különbséget a két faj eltérő ökológiai és etológiai tulajdonságai adhatják. Míg a laboratóriumi egértörzsek olyan közeli rokonságban állnak egymással, hogy ott a két törzs között nem mutatható ki viselkedésbeli különbséget az adott teszt során.

4.3 Két laboratóriumi egértörzs viselkedésének összehasonlítása különböző megvilágítási körülmények között

A két különböző fényintenzitáson végzett viselkedés tesztre vonatkozó túlélés függvényt a 17. ábra mutatja. A két görbe a két fényintenzitást jelöli. Az alsó görbe azt mutatja, hogy a 10 lux fényintenzitású piros fényen az egerek nagyobb arányban mentek oda a felvételező kezéhez, mint a 220 lux fényintenzitású fényen. Az y-tengely azt mutatja, hogy mekkora arányban mentek oda az egerek a különböző megvilágításon, a 0-hoz való közelítés nagyobb megközelítési arányt jelent, az x-tengely pedig az időt jelöli másodpercben.



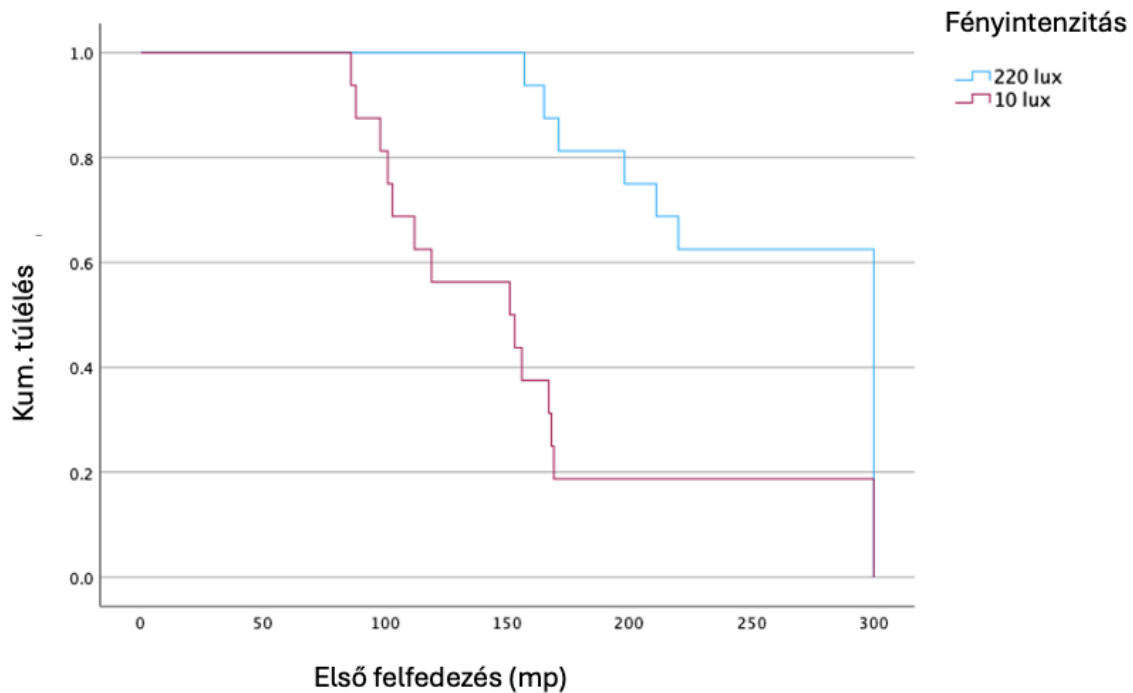
14. ábra: Az egerek (BALB/c és C57BL/6 együtt) első felfedezés idejének különbsége a két fényerősségen

Az ábrán jól látható, hogy a 10 lux fényintenzitáson az első felfedezés ideje jóval az 50. másodperc előtt megtörtént, 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 egérből 14 ment oda a vizsgáló kezéhez, ami az egereknek körülbelül a 44%-át jelenti. A 10 lux erősségű piros fényen a 32 egérből 27 ment oda, ami azt jelenti, hogy az egerek 84%-a közelítette meg a vizsgáló kezét.

A log-rank teszt alapján a két különböző fényintenzitáson történő vizsgálat között szignifikáns különbség található ($p < 0,001$).

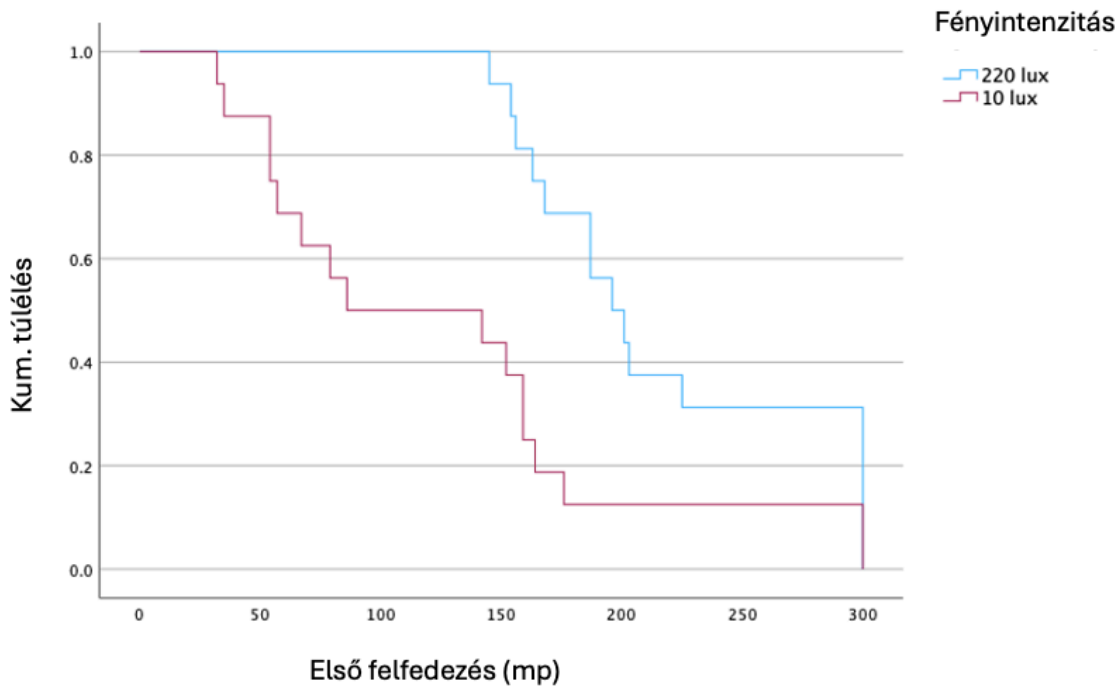
A BALB/c egerek túlélés függvényét a 18. ábra mutatja. Az előző ábrához hasonlóan itt is az alsó görbe azt mutatja, hogy a 10 lux fényerősségen a BALB/c egerek nagyobb arányban mentek oda a felvételező kezéhez. Az első felfedezés 10 lux fényintenzitáson valamikor a 70-80. másodpercben történt, míg 220 lux fényintenzitáson az első felfedezés csak a 150. másodperc környékén történt.



15. ábra: A BALB/c egértörzs felfedezési ideje a két fényintenzitáson

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 log-rank teszt alapján a BALB/c egerek első megközelítés idejében szignifikáns különbséget mutat a két eltérő intenzitású fényen ($p < 0,001$).

A C57BL/6 egerek túlélés függvényét a 19. ábra mutatja. 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.



16. ábra: A C57BL/6 egértörzs felfedezési ideje a két fényintenzitáson

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 ($p < 0,005$).

A Cox regressziós modell alapján (3.táblázat) az első megközelítés idejére, azaz, hogy mikor ment oda a felvételező kezéhez először az egér, szignifikáns hatással volt az egerek kora és a fényintenzitás, a modell alapján az egértörzsnek nem volt hatása a felfedezés idejére, ezáltal azt feltételezhetjük, hogy a szemszín, hogy pigmentált-e vagy sem nem befolyásolta az állat viselkedését.

3.táblázat: Cox regressziós tábla

Faktor	B	SE	p	Exp(B)
Egértörzs	0,373	0,257	0,148	1,452
Kor	0,853	0,275	0,002	2,346

Fényintenzitás	1,261	0,279	<0,001	3,529
----------------	-------	-------	--------	-------

B=Cox-regressziós együtthatók

SE=Standard hiba

p=p-érték

Exp(B)=Hazard arányok

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 voltak. 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 ($r = -0,484$).

Eredményeink alapján kijelenthetjük, hogy a fény fokozatos erősödésével az egerek aktivitása egyértelműen csökken, függetlenül az egér törzstől. A vizsgálatunk eredményei megegyeznek azzal az 1967-ben végzett vizsgálattal, ahol azt az eredményt kapták, hogy az egereknél az erős fény csökkenti az aktivitást, függetlenül attól, hogy melyik egértörzsbe tartozik az adott egyed (McReynolds, 1967). A túlélés elemzés alapján azért az látható, hogy a pigmentált szemű C57BL/6 egereket az erős fény feltehetőleg nem zavarja annyira, mint az albínó BALB/c egereket, hiszen a C57BL/6 egerek majdnem 63%-a ment oda a felvételező kezéhez az erős fényben is, ellenben a BALB/c egerekkel, ahol erős fényen csak körülbelül az egerek 38%-a ment oda a felvételező kezéhez, ami hasonló Yeritsyan és mtsai. (2012) vizsgálatainak eredményeihez. Az albínó egerek szemét a fény sokkal jobban zavarja és magasabb a fény által kiváltott fotoreceptor-degeneráció mértéke is (La Vail és mtsai., 1987; De Vera Mudry és mtsai., 2013; Ross és mtsai., 1966).

A fényintenzitás hatását az emlősök aktivitására a Lincoln Állatkert kameracsapdáinak felvételei is jól bizonyítják. Az elmúlt évtized során több mint 1 millió állatról készült felvétel

alapján az oposzumok, borzok, mosómedvék és egyéb állatok 19,6%-kal voltak aktívabbak a sötétebb területeken (Schirmer és mtsai., 2019).

Az éjszakai rágcsálóknál, mint például a szíriai aranyhórcsög (*Mesocricetus auratus*) természetben történő megfigyeléséből is kiderül, hogy az állatok a terepi környezetben újholdkor a legaktívabbak és teliholdkor inaktívak (Biberman és mtsai, 1966; Thorington, 1980), hiszen minél nagyobb a megvilágítás, annál nagyobb a ragadozás kockázata. Az amerikai kontinensen őshonos *Peromyscus* egérfajok vizsgálatakor szintén azt kapták, hogy a vad egerek természetben is és a laboratóriumi vizsgálatokkor is az erősebb megvilágításnál kevésbé voltak aktívak és az open-field tesztben használt arénában az erősebb megvilágításkor szignifikánsan nőtt a falak melletti térhasználat (Dianne és Brillhart, 1991; Blair 1943), jelezvén, hogy az állatok félelmi állapotba kerültek. Eredményeink megegyeznek egy korábban vad egérfajokon végzett vizsgálat eredményeivel, ahol a háziegér (*Mus musculus*) és a güzüegér (*Mus spicilegus*) aktivitását vizsgáltuk két különböző fényerősségen (Bárdos és mtsai., 2022). Jelen tanulmányban a félelmi reakciót a teszt ideje alatt ürített bélsár mennyisége alapján vizsgáltuk, mivel a rágcsálóknál a stressz megnöveli az ürített bélsár mennyiségét (Barone és mtsai., 1990). Eredményeinkből jól látszott, hogy az ürített bélsár mennyisége összefüggést mutatott a fényerősséggel, az erősebb fényben nőtt a bélsár mennyisége, ami arra enged következtetni, hogy az állatokban az erősebb fény egy félelmi reakciót válthatott ki.

A korrall kapcsolatos eredményeik, hogy a fiatalabb egerek aktívabbak voltak és kevesebb bélsarat ürítettek a teszt során, azzal lehet összefüggésbe, hogy a fiatalabb állatok kíváncsibbak és kevésbé szorongóak idősebb társaikhoz képest (Shoji és mtsai., 2016).

Számos állattartó létesítményben nem veszik figyelembe az éjszaka aktív rágcsálók megfelelő színű és intenzitású megvilágításának lehetséges hatásait a viselkedésre vagy az állatok egészségére.

Laboratóriumi vizsgálatok bizonyítják, hogy már az alacsony szintű fehér fényű megvilágítás elegendő ahhoz, hogy elnyomja a melatonin éjszakai szekrécióját a rágcsálóknál, ezzel befolyásolva az aktivitásukat, a fény hatására az éjszakai állatok inaktívabbá válnak (Brainard és mtsai, 1982; Ikeno és mtsai, 2014). A cirkadián ritmust felborulása káros lehet az állatok számára, mivel zavart okozhat a táplálkozásban és egyéb élettani folyamatok is felborulhatnak, mint a normál testhőmérséklet fenntartása vagy a hormonrendszer normál működése (Dauchy és mtsai, 2011; Zhang és mtsai, 2017).

A vizsgálataink alapján kijelenthetjük, hogy az egerek a piros fényben sokkal aktívabbak a viselkedéstudományokban, ezáltal sokkal relevánsabb eredményeket kaphatunk az ilyen jellegű kutatásokban, mivel a fény nem egy plusz zavaró tényezőként jelenik meg az állatoknál.

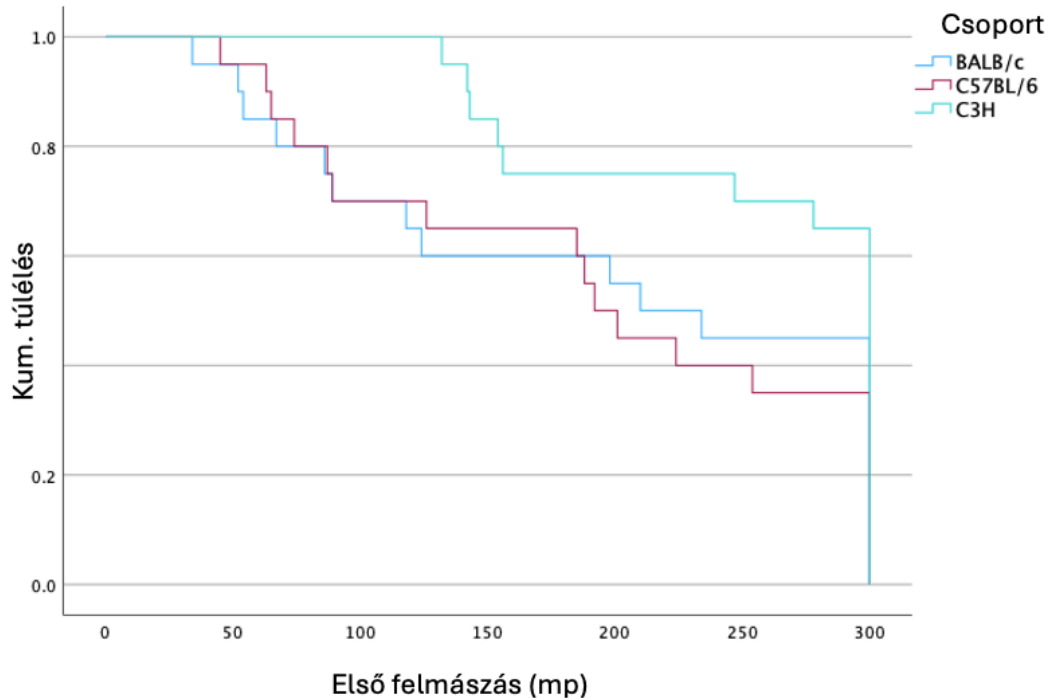
A kísérletek tervezésekor érdemes figyelembe venni a teszt helyiségében a megvilágítás erősségét és színét. A laboratóriumi rágcslókat tartó állatházakban az egérszobákban javasolt az alacsony intenzitású piros fény használata, hiszen az egerek a piros fényt kevésbé érzékelik, így számukra ez a fajta megvilágítás kevésbé zavaró (Lyubarsky és mtsai., 1999; Nikonov és mtsai., 2006).

A piros fény használata állatjóléti szempontból is javasolt, hiszen az egerek a folyamatos erős megvilágítás során inaktívabbá válnak, napi ritmusuk felborul, ami az élettani folyamatok megváltozásához vezethet, így az állatok egészségét veszélyezteti (Dauchy és mtsai, 2011; Zhang és mtsai., 2017). Hasonlóan ajánlható a fordított nappalos megvilágítás, aminek a fő előnye, hogy az állatokat a mi munkaidőnkben az ő aktív periódusukban tudjuk vizsgálni, ami tovább segíti a vizsgálatok biológiai relevanciáját.

Továbbá az eredményeink azt is jelzik, hogy az életkor egy kritikus tényező lehet, amelyet figyelembe kell venni a viselkedési tesztek tervezésekor és a kísérleti manipulációk által kiváltott viselkedésbeli különbségek értelmezésekor.

4.4 A három laboratóriumi egértörzs mászási képességének a vizsgálata

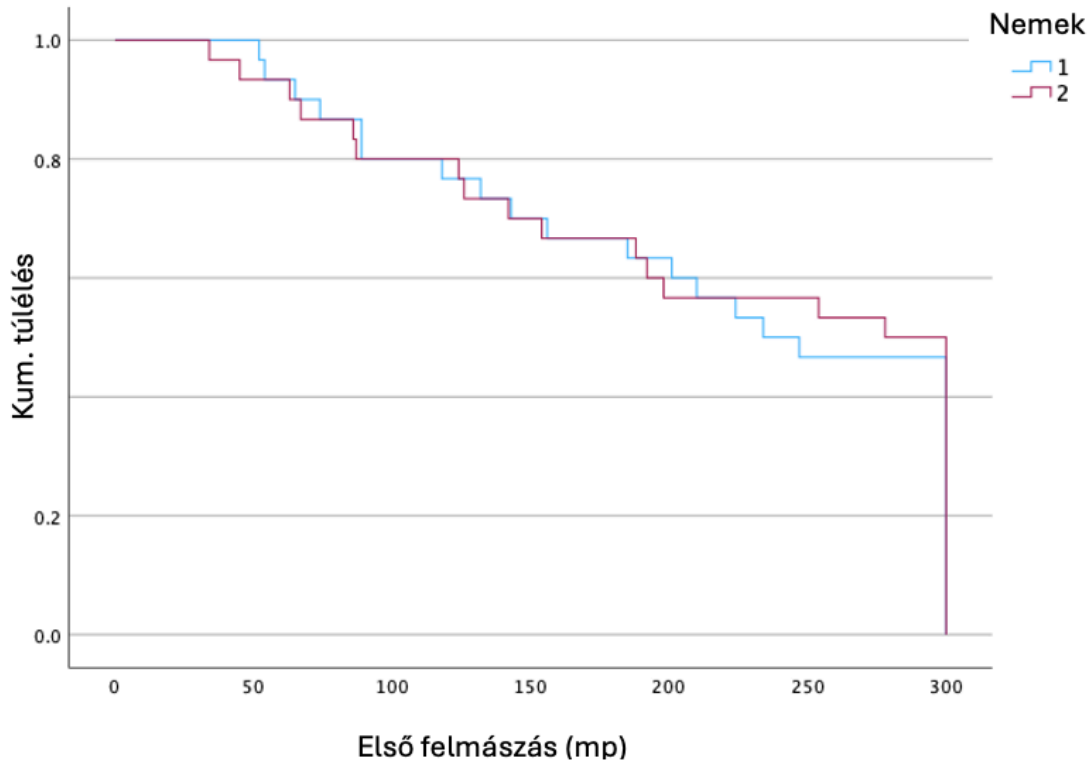
A három laboratóriumi egértörzsre vonatkozó túlélés függvényét az 20. ábra mutatja. A görbék azt mutatják, hogy az adott egértörzs mekkora arányban mászott fel a rúdra. A log-rank teszt alapján nincs szignifikáns különbség a három egértörzs között ($p=0,118$).



17. ábra: A három laboregér törzs első felmászását mutató túlélési görbe

Az ábrán látható, hogy a BALB/c és a C57BL/6 egerek első felmászása időben már az 50. másodperc közelében megtörtént, míg a C3H egerek első felmászása 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.

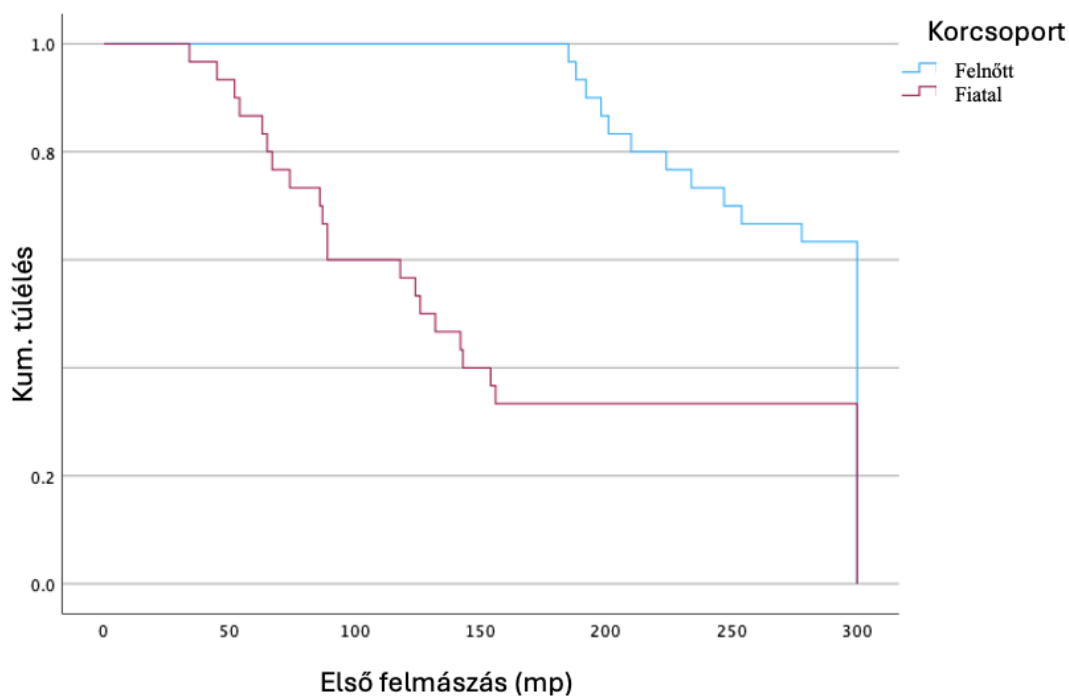
Nemekre bontva a felmászást a következőt kaptuk. A log-rank teszt alapján a hím és a nőstény egerek között nincs szignifikáns különbség a felmászásában ($p=0,869$) (21. ábra).



18. ábra: A hím (1) és nőstény (2) egerek első felmászását mutató túlélési görbe

A 21. ábrán jól látható, hogy a hím és a nőstény egerek csoportjai között első felmászás idejében nincs szignifikáns eltérés, mindkét nem első felmászása 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 ($p < 0,001$) (22. ábra).



19. ábra: A fiatal és felnőtt egerek első felmászását mutató túlélési görbe

A 22. ábrán látható, hogy a fiatal egerek első felmászása időben már az 50. másodperc előtt megtörtént, míg a felnőtt egerek első felmászása valahol a 190. másodperc körül történt meg. Továbbá a fiatal egerek nagyobb arányban másztak 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.

2. táblázat: A Cox-regressziós együtthatók (B) és a veszélyarányok (Exp(B)) Maximum Likelihood becslései, amelyek az egér törzsének, nemének és életkorának az első mászásuk időtartamára gyakorolt hatását vizsgálják

Faktor	B	SE	p	Exp(B)
Egértörzs	- 0,225	0,155	0,145	0,798
Nemek	-0,010	0,258	0,969	0,990
Kor	0,677	0,264	0,010	1,968

B=Cox-regressziós együtthatók

SE=Standard hiba

p=p-érték

Exp(B)=Hazard arányok

A Cox regresszió alapján (4. táblázat) 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, mind a felnőttek.

Eredményeinkből láthatjuk, hogy a laboratóriumi egértörzsek között viselkedésben minimális a különbség, ez azzal magyarázható, hogy a törzsek között nincs nagy genetikai eltérés (Kirby és mtsai. 2010). A laboratóriumi egér viselkedési fenotípus kifejeződése nemcsak a genotípusától függ (Morice és mtsai. 2004; Young és mtsai. 2002), hanem számos környezeti változótól is, beleértve a laboratóriumi változókat is (Crabbe és mtsai. 1999) mint például, a kísérletező (Chesler és mtsai. 2002), vagy az egérketrec pozíciója a tesztelés előtt (Izidio és mtsai. 2005). Továbbá eredményeink igazolják Bailey és mtsai. (2006) kutatásait, ahol azt mondták ki, hogy a beltenyésztett laboratóriumi egértörzsek az általános viselkedés-teszteken hasonlóan teljesítettek.

Az általunk használt felmászó-tesztben mindhárom egértörzs jól teljesített, ami azzal is magyarázható, hogy a laboratóriumi egerek a háziegerekől (*Mus musculus*) származnak, amikről korábbi kutatásunkból tudjuk, hogy a *Mus* genuson belül is kiváló mászóknak tekinthetők (Bárdos és mtsai. 2023), ami a háziegerek széles körben való elterjedésének köszönhető, hogy az egész világon előfordulnak és főleg emberi településeken élnek (Brown, 1953), ahol az épületek függőleges térhasználata is szükséges, ezáltal a jó mászási képesség megléte szükségszerű.

Vizsgálatunkban nem csak az egértörzsek, de a nemek között sem tapasztaltunk különbséget a felmászó-tesztben, ami azzal magyarázható, hogy az egereknél nincs jelentős ivari dimorfizmus (Haisová-Slávová és mtsai. 2010), a hím és a nőstény háziegerek életmódja nagyon hasonló, ami megnyilvánul abban is, hogy például mindkét nem fészket épít (Lisk és mtsai., 1969), ahogy mindkét nem ugyanúgy táplálékot gyűjt, ezáltal a mászási képesség nem korlátozódik egyik vagy másik nemre.

Ezzel ellentétben a vizsgálataink alapján kijelenthetjük, hogy az egerek kora egy fontos befolyásoló tényező a viselkedés-tesztek tervezésekor, hiszen jól látszik az a különbség, hogy a fiatal laboratóriumi egerek sokkal gyorsabban és sokkal nagyobb arányban másztak fel a felmászó-tesztben, mint a felnőtt egyedek. Ezen eredmények megegyeznek egy C57BL/6 egereken végzett tanulmánnyal, ahol a felnőtt és az öregedő egereket kevésbé találták aktívnak

az open-field tesztekben, mint a fiatal egereket (Sprott és Eleftheriou, 1974). Az előbb említett állítás megegyezik DeFries és mtsai. (1967) vizsgálatának az eredményével, ahol azt kapták, hogy a 40 napos egerek sokkal aktívabbak voltak, mint a másik csoport, ahol 120 napos egerek aktivitását nézték szintén open-field tesztben.

Összefoglalásként elmondhatjuk, hogy az egyszerűbb viselkedés-vizsgálatokban a laboratóriumi egereknél, hogy melyik törzsbe tartozik kevésbé lényeges, persze az egyes törzsek fenotípusos jellemzői, mint például az BALB/c albínó szeme egy erős megvilágításban befolyásolhatja az egyes tesztek eredményét, de megfelelő tartási körülmények között általánosságban elmondható, hogy a laboratóriumi egértörzsek viselkedése nagyon hasonló, ami a törzsek közötti kis mértékű genetikai eltérésnek köszönhető (Bailey és mtsai. 2006). Az állatok kora viszont jelentősen befolyásolja a tesztek eredményét. Ezáltal egy viselkedési teszt megtervezésekor figyelembe kell vennünk a tesztelni kívánt egerek korát.

Az egerekkel végzett viselkedési vizsgálatok megtervezésekor figyelembe kell venni, hogy a különböző egértörzsek viselkedési különbségei elenyészőek, főleg a megfelelő tartási körülmények között, ezzel szemben viszont a vizsgálni kívánt egerek korát megfontoltan kell kiválasztani a viselkedési tesztek tervezésekor, hiszen a fiatal állatok sokkal aktívabbak lehetnek, mint a felnőtt egyedek. Fontos, hogy az eredmények ismételtetősége érdekében hasonló korú egerekkel végezzük a viselkedés vizsgálatokat.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

5.1 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 sajátosságai (például a farkhossz) 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 halomépítés 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.

5.2 A vad és domesztikált egerek felfedező viselkedésének összehasonlítása

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 állapíthatók meg: a gűzüegerek 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.

5.3 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.

5.4 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.

6. 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 viselkedéssbeli különbséget a felmászás tekintetében. Az életkornak nagyobb hatása volt a felmászásra, mint annak, hogy a vizsgálatban részt vevő állatok mely egértörzsbe tartoztak.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat célja a laboratóriumi egértörzsek (BALB/c, C57BL/6, C3H), valamint a vad egérfajok (güzü- és háziegér) viselkedési mintázatainak összehasonlítása volt, különböző fényviszonyok közötti aktivitásuk, felfedező viselkedésük, illetve mászóképeség-vizsgálat elemzésével. Az eredmények a domesztikáció és környezeti hatások szerepét támasztják alá a viselkedési változásokban, továbbá a laboratóriumi egértörzsek közötti viselkedésbeli eltérésekre és hasonlóságokra mutatnak rá.

A güzü- és háziegerek viselkedésének összehasonlítása alapján elmondhatjuk, hogy a két egérfaj között szignifikáns eltérések mutatkoztak a felfedező viselkedésben és a mászási hajlandóságban is. A háziegerek gyorsabban és nagyobb arányban másztak fel a felmászó rúdra, mint a güzüegerek. Ez valószínűleg az ökológiai alkalmazkodásukból fakad, mivel a háziegerek gyakran találkoznak ember alkotta struktúrákkal, ahol a mászás előny jelenthet. A fiatal egyedek mindkét fajban nagyobb aktivitást mutattak, mint az idősebbek.

A vad és laboratóriumi egerek felfedező viselkedését tekintve a güzüegerek voltak, akik a leghamarabb hagyták el az ismerős környezetet és fedezték fel az ismeretlen külvilágot, őket követték a háziegerek. A laboratóriumi egerek mindkét törzsének az egyedei csak kis arányban és időben is később hagyták el az ismerős környezetet. Eredményeink alátámasztják, hogy a domesztikáció csökkentette a laboratóriumi egerek exploratív aktivitását.

A laboratóriumban alkalmazott különböző fényviszonyok jelentősen befolyásolták az egértörzsek aktivitását. Piros fényben (10 lux) mindkét laboratóriumi egértörzs aktívabb volt, mint erős sárga megvilágítás (220 lux) alatt. Az albínó BALB/c törzs aktivitását jelentősen csökkentette a magas fényintenzitás, míg a pigmentált C57BL/6 egerek kevésbé érzékenyen reagáltak. Ez rávilágít az albínó egértörzsek érzékenyebb szemének élettani következményeire. A laboratóriumban használt egerek három legkedveltebb törzsének (BALB/c, C57BL/6 és C3H) viselkedésbeli összehasonlítását végeztük el, egy egyszerű viselkedés tesztben, a felmászásban. A vizsgálat fő eredményei szerint az egértörzsek között nem volt szignifikáns különbség a felmászás idejében és gyakoriságában, ami feltételezhetően a minimális genetikai eltérések hiányával magyarázható. A nemek között sem mutatkozott szignifikáns eltérés, ami az egerek nemek közötti hasonló életmódjára vezethető vissza. Ugyanakkor az életkor jelentős hatással volt az eredményekre: a fiatal egerek gyorsabban és nagyobb arányban másztak fel, mint a felnőttek.

A vizsgálatok rámutatnak, hogy a laboratóriumi egértörzsek általános viselkedési teszteken hasonlóan teljesítenek, de a kor fontos tényező a viselkedési mintázatok vizsgálata alapján.

A dolgozat eredményei alátámasztják, hogy a domesztikáció és az ökológiai környezet különbségei jelentősen befolyásolják a viselkedési mintázatokat az egereknél. A laboratóriumi egerek kevésbé aktívak és exploratívak, mint vad társaik. Az eltérő fényintenzitások kimutathatóan befolyásolják az aktivitást, ami fontos szempont az állatjóléti és kutatási feltételek kialakításában. Az ökológiai és domesztikációs hatások vizsgálata hozzájárulhat a rágcsálók viselkedésének és fiziológiájának mélyebb megértéséhez.

8. SUMMARY

The aim of the thesis was to compare the behavioral patterns of laboratory mouse strains (BALB/c, C57BL/6, C3H) and wild mouse species (mound-building mice and house mice) by analyzing their activity under different lighting conditions, exploratory behavior, and climbing ability. The results highlight the role of domestication and environmental influences in behavioral changes and shed light on both the differences and similarities in behavior among laboratory mouse strains.

Based on the comparison of mound-building and house mice, significant differences were observed in exploratory behavior and climbing willingness. House mice climbed the rod faster and more frequently than mound-building mice, likely due to their ecological adaptation, as house mice often encounter human-made structures where climbing may be advantageous. Younger individuals in both species exhibited higher activity levels than older ones.

Regarding exploratory behavior, mound-building mice were the quickest to leave the familiar environment and explore the unfamiliar surroundings, followed by house mice. Laboratory mice from both strains left the familiar environment less frequently and later. Our findings support the notion that domestication has reduced the exploratory activity of laboratory mice. Different lighting conditions in the laboratory significantly influenced the activity of mouse strains. Under red light (10 lux), both laboratory strains were more active compared to strong yellow lighting (220 lux). The activity of the albino BALB/c strain was notably reduced under high light intensity, while pigmented C57BL/6 mice were less sensitive. This highlights the physiological consequences of the more sensitive eyes of albino mouse strains.

We compared the behavior of the three most commonly used laboratory strains (BALB/c, C57BL/6, and C3H) in a simple behavioral test involving climbing. The main findings indicate no significant differences among strains in climbing time and frequency, which can be attributed to minimal genetic variation. No significant differences were observed between sexes, likely due to the similar lifestyles of male and female mice. However, age had a significant impact: younger mice climbed faster and more frequently than adults.

These studies demonstrate that laboratory mouse strains perform similarly in general behavioral tests, but age is a crucial factor in assessing behavior.

The results of the thesis confirm that domestication and ecological environmental differences significantly influence behavioral patterns in mice. Laboratory mice are less active and exploratory than their wild counterparts. Varying light intensities markedly affect activity levels, an important consideration for designing animal welfare and research conditions.

Investigating ecological and domestication effects can contribute to a deeper understanding of the behavior and physiology of rodents.

9 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek Dr. Hoffmann Orsolya Ivettnak a munkámban nyújtott segítségéért.

Köszönöm a vizsgálatokban és tesztekben nyújtott segítséget Dr. Bárdos Borókának.

Köszönöm szüleimnek a sok gondoskodást, ami elkísért a tanulmányaim során.

Hálásan köszönöm vőlegényemnek a türelmét és a mindennapi feladatokban nyújtott segítségét.

10. IRODALOMJEGYZÉK

ACKLIN, C. J., & GAULT, R. A. (2015): Effects of natural enrichment materials on stress, memory and exploratory behavior in mice. *Lab Animal*, 44(7), 262-267.

ADAMS, N., BOICE, R. (1981): Mouse (Mus) burrows. effects of age. strain. and domestication. *Animal Learning & Behavior*, 9(1). 140-144.

ALBANESE, A., RODRÍGUEZ, D., OJEDA, R. A. (2011): Differential use of vertical space by small mammals in the Monte Desert. Argentina. *Journal of Mammalogy*, 92(6). 1270-1277.

ANDERSSON, A., LAIKRE, L.; BERGVALL, U. A. (2014): Two shades of boldness. novel object and anti-predator behavior reflect different personality dimensions in domestic rabbits. *Journal of Ethology*, 32(3) 123-136.

APPLEBY, M. C. (2008): Science of animal welfare. In Long distance transport and welfare of farm animals (pp. 1-17). Wallingford UK: CABI.

ARAKAWA, H. (2018): Ethological approach to social isolation effects in behavioral studies of laboratory rodents. *Behavioural Brain Research*, 341, 98–108.

AUFFRAY, J. C., VANLERBERGHE, F., BRITTON-DAVIDIAN, J. (1990): The house mouse progression in Eurasia. a palaeontological and archaeozoological approach. *Biological Journal of the Linnean Society*, 41(1-3). 13-25.

AUGUSTSSON, H., MEYERSON, B. J. (2004): Exploration and risk assessment. a comparative study of male house mice (*Mus musculus musculus*) and two laboratory strains. *Physiology & behavior*, 81(4). 685-698.

BAILEY, K. R., RUSTAY, N. R., CRAWLEY, J. N. (2006): Behavioral phenotyping of transgenic and knockout mice. practical concerns and potential pitfalls. *ILAR Journal*, 47. 124-131.

BAILOO, J. D., MURPHY, E., BOADA-SAÑA, M., VARHOLICK, J. A., HINTZE, S., BAUSSIÈRE, C., WÜRBEL, H. (2018): Effects of cage enrichment on behavior, welfare and outcome variability in female mice. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 12. 232.

BAKER, M. (2013): Neuroscience: Through the eyes of a mouse. *Nature*, 502, 156-158.

BÁRDOS, B., ALTBACKER, V., SZABÓ, A., TÖRÖK, H. K., NAGY, I. (2023): Study of climbing ability for two closely related mouse species. *The European Zoological Journal*, 90(1). 395-400.

BÁRDOS, B., KOVÁCS, B., ISTVÁN, N., ALTBÄCKER, V. (2022): In vivo classification of two closely related species of mice, mound-building mouse (*Mus spicilegus*) and house mouse (*Mus musculus*). *Acta Agraria Kaposváriensis*, 26(1). 27-35.

BÁRDOS, B., NAGY, I., ALTBÄCKER, V. (2022): A fényintenzitás hatása az egerek aktivitására. XXVIII. Ifjúsági Tudományos Fórum. Keszthely, Magyarország. Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Georgikon Campus pp. 173-177. 5 p.

BARONE, F. C., DEEGAN, J. F., PRICE, W. J., FOWLER, P. J., FONDACARO, J. D., ORMSBEE 3RD, H. S. (1990): Cold-restraint stress increases rat fecal pellet output and colonic transit. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 258(3). G329-G337.

BAUDOIN, C., BUSQUET, N., DOBSON, F. S., GHEUSI, G., FERON, C., DURAND, J. L., HETH, G., PATRIS, B., TODRANK, J. (2005): Male-female associations and female olfactory neurogenesis with pair bonding in *Mus spicilegus*. *Biological Journal of the Linnean Society*, 84. 323-334.

BAUMANS, V. (2005a): Environmental enrichment for laboratory rodents and rabbits. requirements of rodents, rabbits, and research. *ILAR Journal*, 46. 162-170.

BAUMANS, V. (2005b): Science-based assessment of animal welfare. laboratory animals. *Revue scientifique et technique-office international des epizooties*, 24(2). 503.

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.

BELL, A. M., AUBIN-HORTH, N. (2010): What can whole genome expression data tell us about the ecology and evolution of personality? *Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences*, 365(1560) 4001-4012.

BERRY, R. J. (1970): The natural history of the house mouse. *Field Studies*, 3 219-62.

BIANCHI, M., FONE, K. F., AZMI, N., HEIDBREDE, C. A., HAGAN, J. J., & MARSDEN, C. A. (2006): Isolation rearing induces recognition memory deficits accompanied by cytoskeletal alterations in rat hippocampus. *Neuroscience*, 141(1), 327–334.

BIBERMAN, L. M., DUNKELMAN, L., FICKETT, M. L., FINKE, R. G. (1966): Levels of nocturnal illuminance (Report No. P-232). Washington. D.C. Institute for Defense Analyses. Research, and Engineering Support Division.

BIHARI, Z. (2004): A gűzűegér (*Mus spicilegus*) életműdjának sajátűságyai és mezűgazdaságyi jelentűsége. *Nűvűnyvűdelem*, 40. 245-250.

BLAIR, W. F. (1943): Activities of *Peromyscus* with relation to light intensity. *The Journal of Wildlife Management*, 7(1), 92-97.

BLANCHARD, R. J., HEBERT, M. A., FERRARI, P., PALANZA, P., FIGUEIRA, R., BLANCHARD, D. C., PARMIGIANI, S. (1998): Defensive behaviors in wild and laboratory (Swiss) mice. the mouse defense test battery. *Physiology & behavior*, 65(2). 201-209.

BLUMSTEIN, D. T., DANIEL. J. C. (2002): Isolation from mammalian predators differentially affects two congeners. *Behavioral Ecology*, 13 657-663.

BONHOMME, F., GUÉNET. J.-L. (1996): The laboratory mouse and its wild relatives. In Lyon. M.F. Rastan. S. & Brown. S. D. M. (eds). *Genetic Variants and Strains of the Laboratory Mouse*. (pp. 1577–1596). Oxford. Oxford University Press.

BONHOMME, F., GUENET, J., DOD, B., MORIWAKI, K., BULFIELD, G. (1987): The polyphyletic origin of laboratory inbred mice and their rate of evolution. *Biological Journal of the Linnean Society*, 30, 51-58.

BORTOLATO, M., GODAR, S. C., ALZGHOUL, L., ZHANG, J., DARLING, R. D., SIMPSON, K. L., ... SHIH, J. C. (2013): Monoamine oxidase A and A/B knockout mice display autistic-like features. *International Journal of Neuropsychopharmacology*, 16(4), 869-888.

BOTHE, G. W. M., BOLIVAR, V. J., VEDDER, M.J., GEISTFELD, J. G. (2005): Behavioral differences among fourteen inbred mouse strains commonly used as disease models. *Comparative medicine*, 55(4), 326-334.

BOYER, N., RÉALE, D., MARMET, J., PISANU, B., CHAPUIS, J. L. (2010): Personality space use and tick load in an introduced population of Siberian chipmunks *Tamias sibiricus*. *Journal of Animal Ecology*, 79(3), 538-547.

BRADSHAW, J. W. S. (2016): *The Animals Among Us. How Pets Make Us Human*. Basic Books.

BRAIN, P. F., MAINARDI, D., PARMIGIANI, S. (1989): *House mouse aggression*. Harwood Academic Publishers. Chur, Switzerland, 1-21.

BRAINARD, G. C., PETTERBORG, L. J., RICHARDSON, B. A., REITER, R. J. (1982): Pineal Melatonin in Syrian Hamsters. Circadian and Seasonal Rhythms in Animals Maintained under Laboratory and Natural Conditions. *Neuroendocrinology*, 35, 342-348.

BRENES, J. C., RODRÍGUEZ, O., & FORNAGUERA, J. (2008): Differential effect of environment enrichment and social isolation on depressive-like behavior, spontaneous activity, and serotonin and norepinephrine concentration in prefrontal cortex and ventral striatum. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 89, 85–93.

BRITTON-DAVIDIAN, J. (1990): Genic differentiation in *M. m. domesticus* populations from Europe, the Middle East and North Africa. geographic patterns and colonization events. *Biological Journal of the Linnean Society*, 41(1-3), 27-45.

BROOKE, H. M., LAURA, E. S., ANISHA, G., ANDREW, I. S., MATHEW, T. P. (2010): Phenotypic characterization of a genetically diverse panel of mice for behavioral despair and anxiety. *PLoS ONE*, 5, e14458.

BROWN, C., BRAITHWAITE, V. A. (2004): Size matters. a test of boldness in eight populations of bishop. *Brachyrhaphis episcopi*. *Animal Behaviour*, 68, 1325-1329.

BROWN, R. Z. (1953): Social behavior, reproduction, and population changes in the house mouse (*Mus musculus* L.). *Ecological Monographs*, 23(3), 218-240.

BRYAN, K., LEE, H. G., PERRY, G., CASTELLANI, R. J., SMITH, M. A., CASADESUS, G. (2008): Nonestrogen-Based Hormonal Therapies for Alzheimer's Disease. *Future Neurology*, 3(4), 399-407.

BULLOCK, A. E., SLOBE, B. S., VAZQUEZ, V., COLLINS, A. C. (1997): Inbred mouse strains differ in the regulation of startle and prepulse inhibition of the startle response. *Behavioral Neuroscience*, 111, 1353-1360.

BULT, A., LYNCH, C. B. (1997): Nesting and fitness. lifetime reproductive success in house mice bidirectionally selected for thermoregulatory nest-building behavior. *Behavior Genetics*, 27, 231-40.

BUTLER, T. R., KARKHANIS, A. N., JONES, S. R., & WEINER, J. L. (2016): Adolescent social isolation as a model of heightened vulnerability to comorbid alcoholism and anxiety disorders. *Alcoholism. Clinical and Experimental Research*, 40, 1202–1214.

CAPDEVILA, S., KELLY, H. (2016): No One Likes to Live Alone. Social Housing of Lab Animals. *ALN Magazine*. Amherst. USA.

CAPITANIO, J., MENDOZA, S., MASON, W., MANINGER, N. (2005): Rearing environment and hypothalamic-pituitary-adrenal regulation in young rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). *Developmental Psychobiology*, 46, 318-330.

CARLSEN, M. (1993): Migrations of *Mus musculus musculus* in Danish farmland. *Zeitschrift für Säugetierkunde*, 58, 172-180.

CARLSTEAD, K., MELLEN, J., KLEIMAN, D. G. (1999): Black rhinoceros (*Diceros bicornis*) in US zoos. I. Individual behavior profiles and their relationship to breeding success. *Zoo Biology*, 18(1), 17-34.

CARTER, A. J., FEENEY, W. E., MARSHALL, H. H., COWLISHAW, G., HEINSOHN, R. (2013): Animal personality. what are behavioural ecologists measuring? *Biological Reviews*, 88(2), 465-475.

CARTER, A. J., MARSHALL, H., HEINSOHN, R., COWLISHAW, G. (2012): How not to measure boldness. novel object and antipredator responses are not the same in wild baboons. *Animal Behaviour*, 84, 603-609.

CARTMILL, M. (1985): Climbing. Pp.73-83. in. Functional vertebrate morphology. Eds. Hildebrand et al., Belknap Press of Harvard University. Cambridge.

CHAMOVE, A. S., ANDERSON, J. R., MORGAN-JONES, S. C., JONES, S. P. (1982): Deep woodchip litter. hygiene. feeding and behavioural enhancement in eight primate species. *International Journal for the Study of Animal Problems*, 3, 308-318.

CHANG, B., HAWES, N.L., HURD, R.E., DAVISSON, M.T., NUSINOWITZ, S., AND HECKENLIVELY, J.R. (2002): Retinal degeneration mutants in the mouse. *Vision Research*, 42, 517-525.

CHANG, B., HAWES, N.L., HURD, R.E., WANG, J., HOWELL, D., DAVISSON, M.T., RODERICK, T.H., NUSINOWITZ, S., AND HECKENLIVELY, J.R. (2005): Mouse models of ocular diseases. *Visual Neuroscience*, 22, 587-593.

CHANG, B. (2015): Survey of the nob5 mutation in C3H substrains. *Molecular Vision*, 21, 1101-1105.

CHESLER, E. J., WILSON, S. G., LARIVIERE, W. R., RODRIGUEZ-ZAS, S. L., MOGIL, J. S. (2002): Influences of laboratory environment on behavior. *Nature Neuroscience*, 5, 1101-1102

CLARKE, J. A. (1983): Moonlight's influence on predator/prey interactions between short-eared owls (*Asio flammeus*) and deermice (*Peromyscus maniculatus*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 13, 205-209.

CLARKSON, J. M., DWYER, D. M., FLECKNELL, P. A., LEACH, M. C., ROWE, C. (2018): Handling method alters the hedonic value of reward in laboratory mice. *Scientific reports*, 8(1), 2448.

CLOUGH, G. (1982): Environmental effects on animals used in biomedical research. *Biological Reviews*, 57(3), 487-23.

CLUTTON-BROCK, J. (1989): *A Natural History of Domesticated Mammals* Cambridge. Cambridge University Press.

COLEMAN, K., WILSON, D. S. (1998): Shyness and boldness in pumpkinseed sunfish. individual differences are context-specific. *Animal Behaviour*, 56(4), 927-936.

COMAS, M., BEERSMA, D. G. M., HUT, R. A., & DAAN, S. (2008): Circadian phase resetting in response to light-dark and dark-light transitions. *Journal of Biological Rhythms*, 23(5), 425-434.

CONRAD, J. L., WEINERSMITH, K. L., BRODIN, T., SALTZ, J. B., SIH. A. (2011): Behavioural syndromes in fishes. a review with implications for ecology and fisheries management. *Journal of fish biology*, 78(2), 395-435.

COX, D. R. (1972): Regression models and life-tables. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 34(2), 187-202.

CRABBE, J.C., WAHLSTEN, D., DUDEK, B. C. (1999): Genetics of mouse behavior. interactions with laboratory environment. *Science*, 284, 1670-1672.

CRAWLEY, J.N. (1999): Behavioral phenotyping of transgenic and knockout mice: experimental design and evaluation of general health, sensory functions, motor abilities, and specific behavioral tests. *Brain Research*, 835, 18-26.

CROWCROFT, P. (1966): Mice all over. G. T. Foulis & Co. Ltd. London. 1-121.

CROWCROFT, P., ROWE, F. P. (1963): Social organization and territorial behaviour in the wild house mouse (*Mus musculus* L.). Proceedings of the Zoological Society (London) 140. 517-531.

D'EATH, R. B., TURNER, S. P., KURT, E., EVANS, G., THÖLKING, L., LOOFT, H., MORMÈDE, P. (2010): Pigs' aggressive temperament affects pre-slaughter mixing aggression. stress and meat quality. *Animal*, 4(4), 604-616.

DARBISHIRE, A. D. (1902): I. Note on the Results of Crossing Japanese Waltzing Mice with European Albino Races. *Biometrika*, 2(1), 101-113.

DARBISHIRE, A. D. (1903): Second report on the result of crossing Japanese waltzing mice with European albino races. *Biometrika*, 2(2), 165-173.

DARBISHIRE, A. D. (1904): On the result of crossing Japanese waltzing with albino mice. *Biometrika*, 3(1), 1-51.

DARWIN, C. (1859): On the Origin of Species by Means of Natural Selection. London. John Murray

DARWIN, C. (1868): The Variation of Animals and Plants under Domestication. London. John Murray

DAUCHY, R. T., DUPEPE, L. M., OOMS, T. G., DAUCHY, E. M., HILL, C. R., MAO, L., ... BLASK, D. E. (2011): Eliminating animal facility light-at-night contamination and its effect on circadian regulation of rodent physiology, tumor growth, and metabolism: a challenge in the relocation of a cancer research laboratory. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 50(3), 326-336.

DAWKINS, M.S. (2021): *The Science of Animal Welfare. Understanding What Animals Want.* Oxford University Press. Oxford.

DE VERA MUDRY, M.C., KRONENBERG, S., KOMATSU, S., AGUIRRE, G.D. (2013): Blinded by the light. retinal phototoxicity in the context of safety studies. *Toxicologic pathology*, 41(6), 813-825.

DEACON, R. M. (2006a): Assessing nest building in mice. *Nature Protocols*, 1, 1117-9.

DEACON, R. M. (2006b): Assessing hoarding in mice. *Nature Protocols*, 1, 2828-30.

DEBOER, T., RUIJGROK, G., & MEIJER, J. H. (2007): Short light–dark cycles affect sleep in mice. *European journal of neuroscience*, 26(12), 3518-3523.

DEFRIES, J. C., WEIR, M. W., HEGMANN, J. P. (1967): Differential effects of prenatal maternal stress on offspring behavior in mice as a function of genotype and stress. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 63, 332-332.

DEMETER, A., RÁCZ, G., CSORBA, G. (1995): Identification of house mice (*Mus musculus*) and mound-building mice (*Mus spicilegus*) using distance and landmark data. In: *Advances in Morphometrics* (Marcus. L. F., Corti. M., Loy. A., Naylor. G. & Slice. D. E. eds). Plenum Press. New York 359-369.

DIAMOND, J. (2002): Evolution. consequences and future of plant and animal domestication. *Nature*, 418(6898), 700-707.

DIANNE, B., BRILLAHART, D. W. (1991): Influence of illumination and surface structure on space use by prairie deer mice (*Peromyscus maniculatus bairdii*). *Journal of Mammalogy*, 72(4), 764-768.

DICE, L. R. (1938): Variation in nine stocks of the deermouse. *Peromyscus maniculatus* from Arizona. *Occasional Papers, Museum of Zoology*, 375, 1-19.

DOANE, M., SARENBO, S. (2019): A modified combined C-BARQ and QoL for both the companion dog and its owner. An embryo to a companion dog welfare assessment? *Applied Animal Behaviour Science*, 213, 91-106.

DOUGLAS, R.M., ALAM, N.M., SILVER, B.D., MCGILL, T.J., TSCHETTER, W.W., AND PRUSKY, G.T. (2005): Independent visual threshold measurements in the two eyes of freely moving rats and mice using a virtual-reality optokinetic system. *Visual Neuroscience*, 22, 677-684.

DOUGLAS, R.H., AND JEFFERY, G. (2014): The spectral transmission of ocular media suggests ultraviolet sensitivity is widespread among mammals. *Proceedings of the Royal Society B*, 281, 20132995.

EBIHARA, S., MARKS, T., HUDSON, D.J., AND MENAKER, M. (1986): Genetic control of melatonin synthesis in the pineal gland of the mouse. *Science*, 231, 491-493.

EARL, Z., NEL, J. A. J. (1976): Climbing behaviour in three african rodent species. *Zoologica Africana*, 11(1), 183-192.

ENGEL, G. L. (1967): A psychological setting of somatic disease. the giving up-given up complex. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 60, 553-555.

EPPLER, G. (1978): Lack of effects of castration on scent marking displays and aggression in a South American primate (*Saguinus fuscicollis*). *Hormones and Behaviour*, 11, 139-150.

ESTEP, D. Q., LANIER, D. L., DEWSBURY, D. A. (1975): Copulatory behavior and nest building behavior of wild house mice (*Mus musculus*). *Animal learning & behavior*, 3, 329-36.

FALLS, J. B. (1953): Activity and local distribution of deermice in relation to certain environmental factors. PhD dissertation. University Toronto.

FINLEY, R. T. (1959): Observation of nocturnal animals by red light. *Journal of Mammology*, 40, 591-594.

FITZGIBBON, C.D. (1994): The costs and benefits of predator inspection behaviour in Thomson's gazelles. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 34(2), 139-148.

FOX, M.W. (1978): *The Dog. Its Domestication and Behavior* New York/London. Garland STPM Press.

FOX, R. A., MILLAM, J. R. (2010): The use of ratings and direct behavioural observation to measure temperament traits in cockatiels (*Nymphicus hollandicus*). *Ethology*, 116(1), 59- 75.

FOYER, P., BJÄLLERHAG, N., WILSSON, E., JENSEN, P. (2014): Behaviour and experiences of dogs during the first year of life predict the outcome in a later temperament test. *Applied Animal Behaviour Science*, 155, 93-100.

FRAZER, K. A, et al. (2007): A second generation human haplotype map of over 3.1 million SNPs. *Nature*, 449(7164), 851-861.

GARNER, J. P. (2005): Stereotypies and other abnormal repetitive behaviors. potential impact on validity. reliability. and replicability of scientific outcomes. *ILAR journal*, 46(2), 106-117.

GARZA, J. C., DALLAS, J., DURYARDI, D., GERASIMOV, S., CROSET, H., BOURSOT, P. (1997): Social structure of the mound-building mouse *Mus spicilegus* revealed by genetic analysis with microsatellites. *Molecular Ecology*, 6, 1009-1017.

GASKILL, B. N., GORDON, C. J., PAJOR, E. A., LUCAS, J. R., DAVIS, J. K., GARNER, J. P. (2012): Heat or insulation. behavioral titration of mouse preference for warmth or access to a nest. *PLoS ONE*, 7, 32799.

GASKILL, B. N., ROHR, S. A., PAJOR, E. A., LUCAS, J. R., GARNER, J. P. (2011): Working with what you've got. changes in thermal preference and behavior in mice with or without nesting material. *Journal of Thermal Biology*, 36, 193-199.

GASKILL, B. N., ROHR, S. A., PAJOR, E. A., LUCAS, J. R., GARNER, J. P. (2009): Some like it hot. mouse temperature preferences in laboratory housing. *Applied Animal Behaviour Science*, 116, 279-285.

GASKILL, B. N., GORDON, C. J., PAJOR, E. A., LUCAS, J. R., DAVIS, J. K., GARNER, J. P. (2013): Impact of nesting material on mouse body temperature and physiology. *Physiology & Behavior*, 110, 87-95.

GEDEON, C. I., MARKÓ, G., NÉMETH, I., NYITRAI, V., ALTBÄCKER, V. (2010): Nest material selection affects nest insulation quality for the European ground squirrel (*Spermophilus citellus*). *Journal of Mammalogy*, 91(3), 636-641.

GERLACH, G. (1990): Dispersal Mechanisms in a Captive Wild House Mouse-Population (*Mus domesticus* Ruddy). *Biological Journal of the Linnean Society*, 41, 271-277.

GINSBURG, S., JABLONKA, E. (2019): *The Evolution of the Sensitive Soul. Learning and the Origins of Consciousness*. MA. MIT Press. Cambridge.

GIOANNONI, S. M., BORGHI, C. E., LACONI, M. R. (1999): Climbing ability of *Microtus (Terricola) duodecimcostatus* and *M.(T.) gerbei*. *Mammalia*, 63(1), 41-49.

GOLOMBEK, D. A., ROSENSTEIN, R. E. (2010): Physiology of circadian entrainment. *Physiological Reviews*, 90(3), 1063-1102.

GORDON, C. J., BECKER, P., ALI, J. S. (1998): Behavioral thermoregulatory responses of single- and group-housed mice. *Physiology & Behavior*, 65, 255-262.

GORMAN, M. R., LEE, T. M. (2001): Daily novel environments alter phase relationships among circadian rhythms. *Physiology & Behavior*, 74(1), 127-133.

GOSLING, S. D. (2001): From mice to men. what can we learn about personality from animal research? *Psychological Bulletin*, 127(1), 45.

GOTO, M., OSHIMA, I., TOMITA, T., AND EBIHARA, S. (1989): Melatonin content of the pineal gland in different mouse strains. *Journal of Pineal Research*, 7, 195-204.

GOTO, T., TANAVE, A., MORIWAKI, K., SHIROISHI, T., KOIDE, T. (2013): Selection for reluctance to avoid humans during the domestication of mice. *Genes. Brain and Behavior*, 12(8), 760-770.

GOUAT, P., FERON, C., DEMOURON, S. (2003): Seasonal reproduction and delayed sexual maturity in mound-building mice *Mus spicilegus*. *Reproduction Fertility and Development*, 15, 187-195.

GRANT, S., O'DELL, T., KARL, K., STEIN, P., SORIANO, P., KANDEL, E. (1992): Impaired long-term potentiation. spatial learning. and hippocampal development in *fyn* mutant mice. *Science*, 258, 1903-1910.

GREENBERG, G. (1972): The effects of ambient temperature and population density on aggression in two inbred strains of mice. *Mus musculus*. *Behaviour*, 42, 119-130.

GROÓ, Z., DÚCS, A., ALTBACKER, V. (2011): Mitől függ az összebújás az egereknél? A Magyar 30 Etológiai Társaság XIII. Kongresszusa. Viselkedésökológiai Kutatócsoport. Debrecen 2011. 11. 25-26, 8.

GROÓ, Z., SZENCZI, P., BÁNSZEGI, O., ALTBACKER, V. (2013): Natal dispersal in two mice species with contrasting social systems. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 67, 235-242.

GURFEIN, B. T., STAMM, A. W., BACCHETTI, P., DALLMAN, M. F., NADKARNI, N. A., MILUSH, J. M., ...& NIXON, D. F. (2012): The calm mouse: an animal model of stress reduction. *Molecular Medicine*, 18, 606-617.

HAASE, E., DONHAM, R.S. (1980): Hormones and domestication. In Avian Endocrinology. San Diego. Academic Press.

HAIŠOVÁ-SLÁBOVÁ, M., MUNCLINGER, P., FRYNTA, D. (2010): Sexual size dimorphism in free-living populations of *Mus musculus* are male house mice bigger. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 56(2), 139-151.

HALE, E.B. (1969): Domestication and the evolution of behavior. In Behaviour of Domestic Animals. (pp. 22-42). Baltimore. Williams & Wilkins. Edited by Hafez ESE.

HALL, E., KELSON, K. R. (1959): The mammals of North America. 2 Vols. Ronald Press.

HAMILTON, W. J. (1943): The mammals of eastern United States. Comstock Publ. Co. Ithaca. New York. 432 pp.

HARE, B., BROWN, M., WILLIAMSON, C., TOMASELLO, M. (2002): The domestication of social cognition in dogs. *Science*, 298(5598), 1634-1636.

HARRISON, D. E., STRONG, R., SHARP, Z. D., NELSON, J. F., ASTLE, C. M., FLURKEY, K., &... MILLER, R. A. (2009): Rapamycin fed late in life extends lifespan in genetically heterogeneous mice. *Nature*, 460(7253), 392-395.

HAWKINS, P., BERDOY, M., BURN, C., BURSNALL, D., CRUDEN J., MCCORMICK, W., & HUBRECHT, R. (2015): Report of the 2014 RSPCA/UFAW Rodent Welfare Group meeting.

HEDIGER, H. (1964): Wild Animals in Captivity. Dover Publications. New York. US.

HEIZMANN, V., JONAS, I., HIRSCHENAUER, K., HAVELEC, L. (1998): Choice tests with groups of mice. nestbox. nesting material. and tubes as enrichment items for laboratory mice. *Journal of Experimental Animal Science*, 39, 43-60.

HEMMER, H. (1983): Domestikation-Verarmung der Merkwelt Braunschweig. Wiesbaden. Vieweg.

HERRE, W., RÖHRS, M. (1990): *Haustiere-zoologisch gesehen* Stuttgart. New York. Gustav-Fischer-Verlag.

HESS, S. E., ROHR, S., DUFOUR, B. D., GASKILL, B. N., PAJOR, E. A., GARNER, J. P. (2008): Home improvement. C57BL/6J mice given more naturalistic nesting materials build better nests. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 47, 25-31.

HOLBROOK, S. J. (1979a): Habitat utilization. competitive interactions. and coexistence of three species of Cricetine rodents in east-central Arizona. *Ecology*, 60, 758-769.

HOLBROOK, S. J. (1979b): Vegetational affinities. arboreal activity. and coexistence of three species of rodents. *Journal of Mammalogy*, 60, 528-542.

HORNER, B. E. (1954): Arboreal adaptations of *Peromyscus* with special reference to use of the tail. Contributions from the Laboratory of Vertebrate Biology of the University of Michigan, 61,1-84.

HURST, J. L., WEST, R. S. (2010): Taming anxiety in laboratory mice. *Nature Methods*, 7, 825-826.

IKENO, T., WEIL, Z. M., NELSON, R. J. (2014): Dim light at night disrupts the short-day response in Siberian hamsters. *General and Comparative Endocrinology*, 197, 56-64.

ISHIWAKA, R., MORI, T. (1999): Early development of climbing skills in harvest mice. *Animal Behaviour*, 58, 203-209.

IZIDIO, G. S., LOPES, D. M., SPRICIGO, L., RAMOS, A. (2005): Common variations in the pretest environment influence genotypic comparisons in models of anxiety. *Genes, Brain and Behavior*, 4, 412-419.

JEFFERY, G. (1997): The albino retina: an abnormality that provides insight into normal retinal development. *Trends in Neurosciences*, 20, 165-169.

- JOHNSON, J. S., TAYLOR, D. J., GREEN, A. R., GASKILL, B. N. (2017): Effects of nesting material on energy homeostasis in BALB/cAnNCrl. C57BL/6NCrl. and CrI. CD1(ICR) mice housed at 20°C. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 56, 254-259.
- KAISER, S., HENNESSY, M. B., SACHSER, N. (2015): Domestication affects the structure. development and stability of biobehavioural profiles. *Frontiers in Zoology*, 12(1), 1-11.
- KAMMENGA, J. E. (2017): The background puzzle: how identical mutations in the same gene lead to different disease symptoms. *The FEBS Journal*, 284(20), 3362-3373.
- KAPLAN, E. L., MEIER, P. (1958): Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American Statistical Association*, 53, 457-481.
- KAPPEL, S., HAWKINS, P., MENDEL, M. T. (2017): To Group or Not to Group? Good Practice for Housing Male Laboratory Mice. *Animals*, 7, 88.
- KAVANAU, J. L. (1966): Wheel-running preferences of mice. *Zeitschrift fur Tierpsychologie*, 23, 858-866.
- KEELER, C. (1966): Retinal degeneration in the mouse is rodless retina. *The Journal of Heredity*, 57, 47-50.
- KIM, D., CHAE, S., LEE, J., YANG, H., SHIN, H. S. (2005): Variations in the behaviors to novel objects among five inbred strains of mice. *Genes, Brain and Behavior*, 4, 302-306.
- KING, J. A. (1968): Psychology. In *Biology of Peromyscus (Rodentia)*. ed. J. A. King. Spec. Pubis *American Society of Mammalogist*, 2, 496-542.
- KIRBY, A., KANG, H. M., WADE, C. M., COTSAPAS, C., KOSTEM, E., HAN, B., ... & DALY, M. J. (2010): Fine mapping in 94 inbred mouse strains using a high-density haplotype resource. *Genetics*, 185(3), 1081-1095.

KOIDE, T., MORIWAKI, K., UCHIDA, K., MITA, A., SAGAI, T., YONEKAWA, H., KATOH, H., MIYASHITA, N., TSUCHIYA, K., NIELSEN, T. J., SHIROISHI, T. (1998): A new inbred strain JF1 established from Japanese fancy mouse carrying the classic piebald allele. *Mammalian Genome*, 9, 15-19.

KORTE, S. M., DE BOER, S. F. (2003): A robust animal model of state anxiety. fear-potentiated behaviour in the elevated plus-maze. *European journal of pharmacology*, 463(1-3), 163-175.

KOVÁCS, L. (2002): Kisemlős lexikon Bp. Saxum. 156 p.

KÖNIG, B. (1994): Components of lifetime reproductive success in communally and solitarily nursing House mice. a laboratory study. *Behavioral Ecology and Socialbiology*, 34, 275-283.

KRACKOW, S. (2003): Motivational and heritable determinants of dispersal latency in wild male house mice (*Mus musculus musculus*). *Ethology*, 109, 671-689.

KRUSKA, D. (2005): On the evolutionary significance of encephalization in some eutherian mammals. effects of adaptive radiation. domestication. and fertilization. *Brain, Behavior and Evolution*, 65, 73-108.

KRÜGEL, U., FISCHER, J., BAUER, K., SACK, U., & HIMMERICH, H. (2014): The impact of social isolation on immunological parameters in rats. *Archives of Toxicology*, 88, 853–855.

KURVERS, R. H., EIJKELINKAMP, B., VAN OERS, K., VAN LITH, B., VAN WIEREN, S. E., YDENBERG, R. C., PRINS, H. H. (2009): Personality differences explain leadership in barnacle geese. *Animal Behaviour*, 78(2), 447-453.

LA VAIL, M. M., GORRIN, G. M., REPACI, M. A. (1987): Strain differences in sensitivity to light-induced photoreceptor degeneration in albino mice. *Current eye research*, 6(6), 825-834.

LATHAM, N., MASON, G. (2004): From house mouse to mouse house. The behavioural biology of free-living *Mus musculus* and its implications in the laboratory. *Applied Animal Behaviour Science*, 86, 261-289.

LATHAM, N., MASON, G. (2010): Frustration and perseveration in stereotypic captive animals. is a taste of enrichment worse than none at all? *Behavioural Brain Research*, 211, 96-104.

LAWRENCE, W. S. (1987): Dispersal – an Alternative Mating Tactic Conditional on Sex- Ratio and Body Size. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 21, 367-373.

LAYNE, J. N. (1963): A study of the parasites of the Florida mouse. *Peromyscus floridanus*. in relation to host and environmental factors. *Journal of Mammalogy*, 99(1), 283-292.

LAYNE, J. N. (1970): Climbing behavior of *Peromyscus floridanus* and *Peromyscus gossypinus*. *Journal of Mammalogy*, 51, 580-591.

LEAMEY, C.A., PROTTI, D.A., AND DREHER, B. (2008): Comparative survey of the mammalian visual system with reference to the mouse. In *Eye, Retina and Visual System of the Mouse*, L.M. Chalupa, and R.W. Williams, eds. (Cambridge MA: MIT Press), pp. 35-60.

LE BERRE, M., LE GUELTE, L. (1993): Climbing abilities in four species of desert rodents. *Tropical Zoology*, 6(2), 237-241.

LISK, R. D., PRETLOW 3RD, R. A., FRIEDMAN, S. M. (1969): Hormonal stimulation necessary for elicitation of maternal nest-building in the mouse (*Mus musculus*). *Animal Behaviour*, 17, 730-737.

LITTLE, C. C., TYZZER, E. E. (1915): Further experimental studies on the inheritance of susceptibility to a transplantable tumor. carcinoma (J.w.A.) of the Japanese waltzing mouse. *The Journal of Medical Research*, 33, 393-427.

LYUBARSKY A, FALSINI B, PENNESI M, VALENTINI P, PUGH E JR. (1999): UV- and midwave-sensitive cone-driven retinal responses of the mouse: a possible phenotype for coexpression of cone photopigments. *Journal of Neurosci*. 19:442–455.

MACKINTOSH, J. H. (1970): Territory formation by laboratory mice. *Animal Behaviour*, 18, 177- 183.

MACKINTOSH, J. H. (1973): Factors affecting the recognition of territory boundaries by mice (*Mus musculus*). *Animal Behaviour*, 21, 464-470.

MANOUZE, H., GHESTEM, A., POILLERAT, V., BENNIS, M., BA-M'HAMED, S., BENOLIEL, J. J., BECKER, C., & BERNARD, C. (2019): Effects of single cage housing on stress, cognitive, and seizure parameters in the rat and mouse pilocarpine models of epilepsy. *eNeuro*, 6(4), 0179-18.

MARKOWITZ, H., SCHMIDT, M. J., MOODY, A. (1978): Behavioral engineering and animal health in the zoo. *International Zoo Yearbook*, 18, 190-194.

MARTÍNEZ-BYER, S., URRUTIA, A., SZENCZI, P., HUDSON, R., BÁNSZEGI, O. (2020): Evidence for Individual Differences in Behaviour and for Behavioural Syndromes in Adult Shelter Cats. *Animals*, 10(6), 962.

MATTAPALLIL, M.J., WAWROUSEK, E.F., CHAN, C.C., ZHAO, H., ROYCHOUDHURY, J., FERGUSON, T.A., AND CASPI, R.R. (2012): The Rd8 mutation of the *Crb1* gene is present in vendor lines of C57BL/6N mice and embryonic stem cells, and confounds ocular induced mutant phenotypes. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 53, 2921-2927.

MCREYNOLDS, W. E., WEIR, M. W., DEFRIES, J. C. (1967): Open-field behavior in mice. Effect of test illumination. *Psychonomic Science*, 9, 277-278.

MEHTA, P. H., GOSLING, S. D. (2008): Bridging human and animal research. A comparative approach to studies of personality and health. *Brain, Behavior and Immunity*, 22(5), 651- 661.

MISTRY, A. M., THOMPSON, C. H., MILLER, A. R., VANOYE, C. G., GEORGE, A. L., KEARNEY, J. A. (2014): Strain- and age- dependent hippocampal neuron sodium currents correlate with epilepsy severity in Dravet syndrome mice. *Neurobiology of disease*, 65, 1-11.

MOBERG, G. (1985): Influence of stress on reproduction. measure of well-being. In. Moberg. G.P. (ed.) *Animal Stress*. American Physiological Society. Bethesda. Maryland. pp. 245- 267.

MONCEK, F., DUNCKO, R., JOHANSSON, B. B., JEZOVA, D. (2004): Effect of environmental enrichment on stress related systems in rats. *Journal of neuroendocrinology*, 16(5), 423-431.

MOORE-EDE, M. C., SULZMAN, F. M., FULLER, C. A. (1982): *The Clocks That Time Us. Physiology of the Circadian Timing System.* Harvard University Press.

MORICE, E., DENIS, C., GIROS, B., NOSTEN-BERTRAND, M. (2004): Phenotypic expression of the targeted null-mutation in the dopamine transporter gene varies as a function of the genetic background. *European Journal of Neuroscience*, 20(1), 120-126.

MORSE, H. C. (1981): The laboratory mouse—a historical perspective. *The mouse in biomedical research*, 1-16.

MÖLLER, M., DU PREEZ, J. L., VILJOEN, F. P., BERK, M., EMSLEY, R., & HARVEY, B. H. (2013): Social isolation rearing induces mitochondrial, immunological, neurochemical and behavioural deficits in rats, and is reversed by clozapine or N-acetyl cysteine. *Brain Behavior and Immunity*, 30, 156–167.

MUMTAZ, F., KHAN, M. I., ZUBAIR, M., & DEHPOUR, A. R. (2018): Neurobiology and consequences of social isolation stress in animal model—A comprehensive review. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 105, 1205–1222.

NACHTSHEIM, H., STENGEL, H. (1977): *Vom Wildtier zum Haustier.* Hamburg/Berlin. Verlag Paul Parey.

NAGAMINE, C. M., SHIROISHI, T., MIYASHITA, N., TSUCHIYA, K., IKEDA, H., NAMIKAWA, T., WU, X.-L., JIN, M.-L., WANG, F.-S., KRYUKOV, A.P., AKBARZADE, J., MORIWAKI, K. (1994): Distribution of the molossinus allele of Sry. the testis-determining gene. in wild mice. *Molecular Biology and Evolution*, 11, 864-874.

NAUMOV, N. P. (1940): Ecology of the mound-builder mouse *Mus musculus hortolanus*. *Works Institute Evolutionary Morphology USSR*, 3, 33-76.

NIKONOV S, KHOLODENKO R, LEM J, PUGH E JR. (2006): Physiological features of the S-and M-cone photoreceptors of wild-type mice from single-cell recordings. *Journal of General Physiology*. 127:359–374.

O'LEARY, T. P., et al. (2013): Behavioural phenotyping of BALB/c mice in the Morris water maze and elevated plus maze. *Journal of Neuroscience Methods*, 214(1), 1-8.

OLSSON, I. A. S., DAHLBORN, K. (2002): Improving housing conditions for laboratory mice. a review of “environmental enrichment”. *Laboratory Animals*, 36, 243-270.

ORSINI, P., BONHOMME, F., BRITTON-DAVIDIAN, J., CROSET, H., GERASIMOV, S., THALER, L. (1983): Le complexe d'espèces du genre *Mus* en Europe Centrale et Orientale. II. Critères d'identification. répartition et caractéristiques écologiques. *Zeitschrift für Säugetierkunde*, 48, 86-95.

OSGOOD, W. H. (1909): Revision of the mice of the American genus *Peromyscus*. Washington. Bureau of Biological Survey. *North American Fauna*, 28, 1- 285.

OWINGS, D. H., LOCKARD, R. B. (1971): Different nocturnal patterns of *Peromyscus californicus* and *Peromyscus eremicus* in lunar lighting. *Psychonomic Science*, 22(1), 63-64.

PASINELLI, G., WALTERS, J. R. (2002): Social and environmental factors affect natal dispersal and philopatry of male red-cockaded woodpeckers. *Ecology*, 83, 2229-2239.

PATRIS, B., BAUDOIN, C. (1998): Female sexual preferences differ in *Mus spicilegus* and *Mus musculus domesticus*. the role of familiarization and sexual experience. *Animal Behaviour*, 56, 1465-1470.

PATRIS, B., BAUDOIN, C. (2000): A comparative study of parental care between two rodent species. implications for the mating system of the mound-building mouse *Mus spicilegus*. *Behavioural Processes*, 51, 35-43.

PATRIS, B., GOUAT, P., JACQUOT, C., CHRISTOPHE, N., BAUDOIN, C. (2002): Agonistic and sociable behaviors in the mound-building mice. *Mus spicilegus*. A comparative study with *Mus musculus domesticus*. *Aggressive Behavior*, 28, 75-84.

PEACHEY, N.S., RAY, T.A., FLORIJN, R., ROWE, L.B., SJOERDSMA, T., CONTRERAS-ALCANTARA, S., BABA, K., TOSINI, G., POZDEYEV, N., IUVONE, P.M., ET AL. (2012): GPR179 is required for depolarizing bipolar cell function and is mutated in autosomal-recessive complete congenital stationary night blindness. *American Journal of Human Genetics*, 90, 331-339.

PEVET, P. (2003): Melatonin: from seasonal to circadian signal. *Journal of Neuroendocrinology*, 15, 422-426.

PITTLER, S.J., KEELER, C.E., SIDMAN, R.L., AND BAEHR, W. (1993): PCR analysis of DNA from 70-year-old sections of rodless retina demonstrates identity with the mouse rd defect. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 90, 9616-9619.

POTTER, M. (1978): Comments on the relationship of inbred strains to the genus *Mus*. In *Origins of inbred mice*. (pp. 497–509). New York. Academic Press.

PRICE, E.O. (1999): Behavioral development in animals undergoing domestication. *Applied Animal Behaviour Science*, 65, 245-271.

PRICE, E.O., KING, J.A. (1968): Adaptation of domestication. In *Adaptation of Domestic Animals*. (pp. 34–45). Philadelphia. Lea & Febiger. Edited by Hafez ESE.

PRUGH, L.R., GOLDEN, C.D. (2014): Does moonlight increase predation risk? Meta-analysis reveals divergent responses of nocturnal mammals to lunar cycles. *Journal of Animal Ecology*, 83, 504-514.

PRUSKY, G.T., AND DOUGLAS, R.M. (2008): Measuring vision in the awake behaving mouse. In *Eye, Retina and Visual System of the Mouse*, L.M. Chalupa, and R.W. Williams, eds. (Cambridge MA: MIT Press), pp. 107-118.

RATNER, S.C., BOICE, R. (1975): Effects of domestication on behavior. In *The Behaviour of Domestic Animals*. (3 Eds.) (pp. 3–19). Baltimore. Williams & Wilkins. Edited by Hafez ESE.

RATTAZZI, L., PIRAS, G., BROD, S., SMITH, K., ONO, M., & D'ACQUISTO, F. (2016): Impact of enriched environment on murine T cell differentiation and gene expression profile. *Frontiers in immunology*, 7, 381.

RAY, J. C., SAPOLSKY, R. M. (1992): Styles of male social behavior and their endocrine correlates among high-ranking wild baboons. *American Journal of Primatology*, 28(4), 231-250.

RÉALE, D., GARANT, D., HUMPHRIES, M. M., BERGERON, P., CAREAU, V., MONTIGLIO, P. O. (2010): Personality and the emergence of the pace-of-life syndrome concept at the population level. *Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences*, 365(1560), 4051-4063.

RÉALE, D., READER, S. M., SOL, D., MCDUGALL, P. T., DINGEMANSE, N. J. (2007): Integrating animal temperament within ecology and evolution. *Biological Reviews*, 82(2), 291-318.

REMTULLA, S., AND HALLETT, P.E. (1985): A schematic eye for the mouse, and comparisons with the rat. *Vision Research*, 25, 21-31.

ROSS, S., NAGY, Z. M., KESSLER, C., SCOTT, J. P. (1966): Effects of illumination on wall-leaving behavior and activity in three inbred mouse strains. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 62(2), 338.

RÖDEL, H. G., ZAPKA, M., TALKE, S., KORNTATZ, T., BRUCHNER, B., HEDLER, C. (2015): Survival costs of fast exploration during juvenile life in a small mammal. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 69(2), 205-217.

RUSSELL, E. S. (1978): Origins and history of mouse inbred strains: contributions of Clarence Cook Little. *Origins of inbred mice*, 33-43.

RUSSELL, W. M. S., BURCH, R. L., HUME, C. W. (1959): The principles of humane experimental technique. London: Methuen. pp. 1-229.

SCHAUWECKER, P. E. (2011): The relevance of individual genetic background and its role in animal models of epilepsy. *Epilepsy research*, 97(1-2), 1-11.

SCHIRMER, A. E., GALLEMORE, C., LIU, T. (2019): Mapping behaviorally relevant light pollution levels to improve urban habitat planning. *Scientific Reports*, 9, 11925.

SHE, J. X., BONHOMME, F., BOURSOT, P., THALER, L., CATZEFLIS, F. (1990): Molecular phylogenies in the genus *Mus*. comparative analysis of electrophoretic. scnDNA hybridization. and mtDNA RFLP data. *Biological Journal of the Linnean Society*, 41(1-3), 83-103.

SHERWIN, C. M. (1997): Observations on the prevalence of nest-building in non-breeding TO strain mice and their use of two nesting materials. *Laboratory Animals*, 31, 125-32.

SHIH, K., LIU, L., KWOK, C., HWU, C., JUAN, C., HSU, Y., & HO, L. (2007): Effect of reversing dark-light cycles on normal diurnal variation and related metabolic disturbance in rats. *Chinese Journal of Physiology*, 50(2), 69.

SHOJI, H., TAKAO, K., HATTORI, S., MIYAKAWA, T. (2016): Age-related changes in behavior in C57BL/6J mice from young adulthood to middle age. *Molecular brain*, 9(1), 1-18.

SHUPE, J.M., KRISTAN, D.M., AUSTAD, S.N., AND STENKAMP, D.L. (2006): The eye of the laboratory mouse remains anatomically adapted for natural conditions. *Brain, Behavior and Evolution*, 67, 39-52.

SILVER, L. M. (1995): *Mouse Genetics. Concepts and Applications*. Oxford University Press.

SIMEONOVSKA-NIKOLOVA, D. (2003): Social relationships and social structure of the mound-building mouse (*Mus spicilegus*) in intraspecific cage groups. *Acta Ethologica*, 6, 39-45.

SIMEONOVSKA-NIKOLOVA, D., GERASIMOV, S. (2000): Seasonal changes of some population characteristics of *Mus spicilegus* Petenyi in North Bulgaria. *Acta Zoologica Bulgarica*, 52, 81-90.

SINN, D. L., GOSLING, S. D., HILLIARD, S. (2010): Personality and performance in military working dogs. Reliability and predictive validity of behavioral tests. *Applied Animal Behaviour Science*, 127(1-2), 51-65.

SMARTT, R. A. (1978): A comparison of ecological and morphological overlap in a *Peromyscus* community. *Ecology*, 59(2), 216-220.

SMITH, R. H. (1972): Wildness and domestication in *Mus musculus*. A behavioral analysis. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 79, 22-29.

SO, M., IMAI, Y. (1920): The types of spotting in mice and their genetic behaviour. *Journal of Genetics*, 9, 319-333.

SOKOLOV, V. E., KOTENKOVA, E. V., MICHAILENKO, A. G. (1998): *Mus spicilegus*. *Mammalian Species*, 592, 1-6.

SPROTT, R. L., ELEFThERIOU, B. E. (1974): Open-Field Behavior in Aging Inbred Mice. *Gerontology*, 20, 155-162.

STRONG, L. C. (1935): The establishment of the C3H inbred strain of mice for the study of spontaneous carcinoma of the mammary gland. *Genetics*, 20(6), 586.

SUCKOW, M. A., DANNEMAN, P., BRAYTON, C. (2001): *The laboratory mouse*. CRC Press. New York

SUOMI, S. J. (1987): Genetic and maternal contributions to individual differences in rhesus monkey biobehavioural development. In. Krasnegor. N., Blass. E., Hofer. M. and Smotherman. W. (eds) *Perinatal Development. a Psychobiological Perspective*. Academic Press. New York. pp. 397-420.

- SZENCZI, P., BÁNSZEGI, O., DÚCS, A., GEDEON, C. I., MARKÓ, G., NÉMETH, I., ALTBÄCKER, V. (2011): Morphology and function of communal mounds of overwintering mound-building mice (*Mus spicilegus*). *Journal of Mammalogy*, 92, 852-860.
- TAYLOR, K. D., MILLS, D. S. (2006): The development and assessment of temperament tests for adult companion dogs. *Journal of Veterinary Behavior*, 1(3), 94-108.
- THOMPSON, D. B. (1990): Different spatial scales of adaptation in the climbing behavior of *Peromyscus maniculatus*. geographic variation. natural selection. and gene flow. *Evolution*, 44(4). 952-965.
- THORINGTON, L. (1980): Actinic effects of light and biological implications. *Photochemistry and photobiology*, 32(1), 117-129.
- TOKUDA, M. (1935): An eighteenth century Japanese guide-book on mouse-breeding. *Journal of Heredity*, 26(12), 481-484.
- TOMS, C. N., ECHEVARRIA, D. J., JOUANDOT, D. J. (2010): A methodological review of personality-related studies in fish. focus on the shy-bold axis of behavior. *International Journal of Comparative Psychology*, 23, 1-25.
- TOUMA, C., PALME, R., & SACHSER, N. (2004): Analyzing corticosterone metabolites in fecal samples of mice: a noninvasive technique to monitor stress hormones. *Hormones and behavior*, 45(1), 10-22.
- TRIPP, J. K. (1985): Increasing activity in orangutans. provision of manipulable and edible materials. *Zoo Biology*, 4, 225-234.
- TRUT, L., et al. (2009): Animal evolution during domestication. the domesticated fox as a model. *BioEssays*, 31(3), 349-360
- TUCKER, P. K., SANDSTEDT, S.A., LUNDRIGAN, B.L. (2005): Phylogenetic relationships in the subgenus *Mus* (genus *Mus*. family Muridae. subfamily Murinae). examining gene trees and species trees. *Biological Journal of The Linnean Society*, 84, 653-662.

TYZZER, E. E. (1915): The tumors of the Japanese waltzing mouse and of its hybrids. *The Journal of Medical Research*, 32, 331-360.

UHER, J. (2011): Individual behavioral phenotypes. An integrative meta-theoretical framework. Why “behavioral syndromes” are not analogs of “personality”. *Developmental Psychobiology*, 53(6), 521-548.

UHER, J., ASENDORPF, J. B., CALL, J. (2008): Personality in the behaviour of great apes. temporal stability. cross-situational consistency and coherence in response. *Animal Behaviour*, 75(1), 99-112.

UHER, J., WERNER, C. S., GOSSELT, K. (2013): From observations of individual behaviour to social representations of personality. Developmental pathways, attribution biases, and limitations of questionnaire methods. *Journal of Research in Personality*, 47, 647-667.

VAN DE LAGEMAAT, L. N. et al. (2017): Standardized experiments in mutant mice reveal behavioural similarity on 129S5 and C57BL/6J backgrounds. *Genes, Brain and Behavior*, 16, 409-418.

VAN DE WEERD, H. A., VAN LOO, P. L. P., VAN ZUTPHEN, L. F. M., KOOLHAAS, J. M., BAUMANS, V. (1998): Strength of preference for nesting material as environmental enrichment for laboratory mice. *Applied Animal Behaviour Science*, 55, 369-382.

VAN LOO, P. L. P., VAN ZUTPHEN, L. F. M., BAUMANS, V. (2003): Male management. coping with aggression problems in male laboratory mice. *Laboratory Animals*, 37, 300-313.

VAN ZEGEREN, K. (1980): Variation in Aggressiveness and the Regulation of Numbers in House Mouse Populations. *Netherlands Journal of Zoology*, 30, 635-770.

VERHULST, S., PERRINS, C. M., RIDDINGTON, R. (1997): Natal dispersal of Great Tits in a patchy environment. *Ecology*, 78, 864-872.

VOISINET, B. D., GRANDIN, T., TATUM, J. D., O'CONNOR, S. F., STRUTHERS, J. J. (1997): Feedlot cattle with calm temperaments have higher average daily gains than cattle with excitable temperaments. *Journal of Animal Science*, 75(4), 892-896.

WADE, C. M., KULBOKAS III, E. J., KIRBY, A. W., ZODY, M. C., MULLIKIN, J. C., LANDER, E. S., ...& DALY, M. J. (2002): The mosaic structure of variation in the laboratory mouse genome. *Nature*, 420, 574-578.

WAHLSTEN, D., METTEN, P., CRABBE, J. C. (2003): A rating scale for wilderness and ease of handling laboratory mice. results for 21 inbred strains tested in two laboratories. *Genes, Brain and Behavior*, 2, 71-79.

WEBER, E. M., DALLAIRE, J. A., GASKILL, B. N., PRITCHETT-CORNING, K. R., GARNER, J. P. (2017): Aggression in group-housed laboratory mice. Why can't we solve the problem? *Laboratory Animals*, 46, 157-161.

WEBSTER, J. (1994): *Animal Welfare - A cool eye towards eden*. Blackwell Science. Oxford. UK.

WEISS, A., ADAMS, M. J. (2013): Differential behavioral ecology. In Carere. C., Maestripieri. D. eds. *Animal personalities. behavior. physiology. and evolution*. University of Chicago Press. pp. 96-123.

WEISS, A., ALTSCHUL, D. M. (2017): Methods and applications of animal personality research. In Call. J., Burghardt. G. M., Pepperberg. I. M., Snowdon. C. T., Zentall. T. (Eds.). *APA handbook of comparative psychology. Basic concepts. methods. neural substrate. and behavior*. American Psychological Association. pp. 179-200.

WEISSBROD, L., MARSHALL, F. B., VALLA, F. R., KHALAILY, H., BAR-OZ, G., AUFFRAY, J. C. ...& CUCCHI, T. (2017): Origins of house mice in ecological niches created by settled hunter-gatherers in the Levant 15.000 y ago. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(16), 4099-4104.

WHITTINGHAM, M. J., SWETNAM, R. D., WILSON, J. D., CHAMBERLAIN, D. E., FRECK-LETON, R. P. (2005): Habitat selection by yellowhammers *Emberiza citrinella* on lowland farmland at two spatial scales. implications for conservation management. *Journal of Applied Ecology*, 270-280.

WILKINS, A. S., WRANGHAM, R. W., FITCH, W. T. (2014): The "domestication syndrome" in mammals. A unified explanation based on neural crest cell behavior and genetics. *Genetics*, 197(3), 795-808.

WILSON, S. F. (1982): Environmental influences on the activity of captive apes. *Zoo Biology*, 1, 201-209.

WOLFE, J. L., SUMMERLIN, C. T. (1989): The influence of lunar light on nocturnal activity of the old-field mouse. *Animal Behaviour*, 37. 410-414.

WOODWARD, M. (2014): Epidemiology. Study Design and Data Analysis. 3rd Edition. CRC Press Boca Raton.

WÜRBEL, H. (2001): Ideal homes? Housing effects on rodent brain and behaviour. *Trends in neurosciences*, 24, 207-211.

WÜRBEL, H., GARNER, J. P. (2007): Refinement of rodent research through environmental enrichment and systematic randomization. *NC3Rs*, 9, 1-9.

YERITSYAN, N., LEHMANN, K., PUK, O., GRAW, J., & LÖWEL, S. (2012): Visual capabilities and cortical maps in BALB/c mice. *European Journal of Neuroscience*, 36(6), 2801-2811.

YERKS, R. M. (1907): *The Dancing Mouse*. New York. The Macmillan Company.

YONEKAWA, H., MORIWAKI, K., GOTOH, O., WATANABE, J., HAYASHI, J. I., MIYASHITA, N., ...& TAGASHIRA, Y. (1980): Relationship between laboratory mice and the subspecies *Mus musculus domesticus* based on restriction endonuclease cleavage patterns of mitochondrial DNA. *The Japanese Journal of Genetics*, 55(4), 289-296.

YOUNG, K. A., BERRY, M. L., MAHAFFEY, C. L., SAIONZ, J. R., HAWES, N. L., et al. (2002): Fierce. a new mouse deletion of Nr2e1. violent behavior and ocular abnormalities are background-dependent. *Behavioural brain research*, 132(2), 145-158.

YUEN, C. H., SCHOEPP, I., SCHRADIN, C., PILLAY, N. (2017): Boldness. are open field and startle tests measuring the same personality trait? *Animal Behaviour*, 128, 143-151.

ZHANG, Z., WANG, H. J., WANG, D. R. (2017): Red light at intensities above 10 lx alters sleep–wake behavior in mice. *Light: Science & Applications*, 6(5), e16231-e16231.

ZIPSER, B., SCHLEKING, A., KAISER, S., SACHSER, N. (2014): Effects of domestication on biobehavioural profiles. a comparison of domestic guinea pigs and wild cavies from early to late adolescence. *Frontiers in zoology*, 11(1), 1-14.

ZOLLNER, P. A., LIMA, S. L. (1999): Illumination and the perception of remote habitat patches by white-footed mice. *Animal Behaviour*, 58(3), 489-500.

11. DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

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)

12. DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉN KÍVÜLI PUBLIKÁCIÓK

Török, Henrietta Kinga; Turgyán, Ágnes; Szentpáli, Fruzsina; Nagy, Gábor; Cshivincsik, Ágnes: The occurrence of *Dirofilaria repens* in dogs in the southern Transdanubia. ACTA AGRARIA KAPOSVÁRIENSIS 26: 2 pp. 75-85., 11 p. (2022)

Bárdos, Boróka; Altbacker, Vilmos; Török, Henrietta Kinga; Nagy, István: Housing European Ground Squirrels (*Spermophilus citellus*) for an Ex Situ Conservation Program. METHODS AND PROTOCOLS 7: 2 Paper: 18, 11 p. (2024)