

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Urbanizációs változások hatása
ízeltlábúak viselkedésére**

Csicsek Réka

Témavezető: Prof. Dr. Tóthmérész Béla

Témavezető: Dr. Nagy Dávid



DEBRECENI EGYETEM

Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola

Debrecen, 2024

Bevezetés

Az urbanizáció a városok területének és népességének növekedésével, valamint a városi életforma elterjedésével járó folyamat (McIntyre, 2011). Az urbanizáció a természetes élőhelyek megváltozásához, feldarabolódásához vagy pusztulásához vezethet (McKinney, 2006). A feldarabolódott természetes élőhelyfoltok gyakran elszigetelődnek, és ezáltal korlátozzák a fajok elterjedését és a foltok közötti tápanyag áramlását (Forman, 2008; Niemelä, 1999). Az urbanizáció nagymértékben módosíthatja a szennyezőanyag-lerakódásokat (Simon és mtsai., 2016), számos éghajlati paramétert (Kalnay és Cai, 2003), a tápanyagok mennyiségét (Pouyat és mtsai., 1997) továbbá bizonyos biológia folyamatokat, mint például a lebomlás és mineralizáció (McDonnell és mtsai., 1997), a génáramlás (Niemelä, 1999).

Ezek a változások negatívan befolyásolják ezeken az élőhelyeken megtalálható szervezetek viselkedését, fenológiáját, térbeli eloszlását, testük állapotokat és az aktivitásukat (McIntyre, 2011; Magura és mtsai., 2021; Eötvös és mtsai., 2018). A szárazföldi ízeltlábúakat kevésbé vizsgálták, de a fellelhető adatok azt mutatják, hogy az urbanizáció veszélyezteti a rovarok sokféleségét (Wagner és mtsai., 2021; Fenoglio és mtsai., 2020). A futóbogarak (Coleoptera: Carabidae) kedvelt csoportja az urbanizációs vizsgálatoknak (Niemelä és Kotze, 2009; Martinson és Raupp, 2013; Magura és mtsai., 2020). Az élőlények különbözően reagálhatnak a környezetükben történő változásokra, a leggyorsabb módja a viselkedésük megváltoztatása. Ezek a válaszok előre meghatározhatóak, éppen ezért kedvelt kutatási terület. Egyes állatok konzisztensen reagálnak az őket érő környezeti ingerekre, azaz személyiséggel rendelkeznek.

Célkitűzések

Vizsgálatunk célja az urbanizációnak köszönhető viselkedésbeli válaszok vizsgálata futóbogarak és holyvák esetében a debreceni Nagyerdő területén. További célunk volt megfigyelni, hogy az egyedek viselkedése konzisztens marad-e, azaz rendelkeznek személyiséggel a vizsgált fajok. Hipotéziseink a következők voltak: 1. A városi egyedek sokkal aktívabbak, felfedezőbbek és magasabb kockázatvállaló viselkedést mutatnak, mint a vidékiek. 2. A városi nőstények felfedezőbbek és kockázatvállalóbbak, mint a városi híemek. 3. Az egyedek viselkedése konzisztens az idő múlásával.

Anyag és módszerek

Mintavételi terület

Mindhárom vizsgálatunkban a mintavételezés a debreceni Nagyerdő területén zajlott. A debreceni Nagyerdő a Nyírségi homokbuckás erdősgyepes mozaiktájban helyezkedik el, melynek jelentős részét homoki gyöngyvirágos tölgyek (*Convallario-Quercetum roboris*) adja (Török és Tóthmérész, 2004). A kocsányos tölgy (*Quercus robur*) az uralkodó fa faj ezen a területen. Az urbanizáció hatására a város növekedésével párhuzamosan csökken a természetes élőhely nagysága, de még így is elég nagy kiterjedésű ahhoz, hogy számos erdei-specialista növény- és állatfaj számára élőhelyet biztosítson (Magura és mtsai., 2004).

Mintavételezés

A futóbogarakat és a holyvákat négy kiterjedt természetközeli állapotú erdőfoltból gyűjtöttük, illetve négy városi erdei élőhelyfragmentumból. Az egyedeket begyűjtéshez 15 csali nélküli élve fogó talajcsapdát használtunk (2 terület * 4 élőhelyfolt * 15 csapda, azaz 120 csapda összesen). A csapdába esett egyedeket a laboratóriumba szállítva egyenként Petri csészékbe helyeztük. A vizsgálatok után az egyedeket mikroszkóp alatt meghatároztuk faj-és ivari szinten.

Viselkedési jellegek mérése és kiértékelése

A futóbogarakat és holyvákat a laboratóriumba szállítást követően egyesével Petri csészékbe helyeztük és azonos körülmények között tartva. Az egyedeket egyesével teszteltük, először nyílt teres aréna tesztel megmértük az aktivitásukat (Réale és mtsai., 2007; Kortet és Hedrick, 2007). Az egyedek mozgását kamerával rögzítettük majd feljegyeztük az érintett négyzetek számát, a fallal nem szomszédos négyzetek számát, amiket érintett és azt az időt amíg az egyed elért a műanyag doboz faláig. A meglátogatott négyzetek számával és a fal eléréséig eltelt idővel meghatározhatjuk az ízeltlábúak aktivitását és feldedezőkészségét (Schuett és mtsai., 2018; Tremmel és Müller, 2013; Gyuris és mtsai., 2011), amíg a belső négyzetek meglátogatása a kockázatvállalás, bátorság paramétere (Labaduel és mtsai., 2018). Az egyedek fenyegetésre adott reakcióit egy nyolc egyenlő szegmensre osztott gyűrű alakú arénában teszteltük (Labadue és mtsai., 2018). Az egyedeket külön-külön helyeztük el az arénában és megvártuk amíg teljesen mozdulatlaná nem váltak. Ezután mechanikus ingerrel váltottuk ki

a reakciót, az egyedek háti oldalára csipesszel kisebb nyomást fejtettünk ki. Feljegyeztük a futással töltött időt (menekülési időtartam) és a megtett négyzetek számát (menekülési távolság). A menekülés időtartamát és távolságát a fenyegetésekre adott válasznak tekintettük (Labadue és mtsai., 2018). A viselkedés megismételhetőségének becslésének érdekében minden egyedden kétszer hajtottuk végre a teszketet, és a két vizsgálat között egy nap telt el.

Statisztikai analízis

Az urbanizációs szint hatásait teszteltük a mért paraméterekre általánosított lineáris vegyes modellek (GLMM) segítségével az *lme4* csomaggal (Bates és mtsai., 2015). Teszteltük a legmegfelelőbb valószínűségi eloszlást a válasz változóinkra a *car* (Fox és Weisberg, 2019) és *MASS* (Venables és Ripley, 2002) csomagokkal. Poisson-eloszlással modelleztük a válasz változókat log-link függvény segítségével, míg a többi változónál normál hiba-eloszlást alkalmaztunk a log-link függvénnyel (Zuur és mtsai., 2009). Amikor a GLMM szignifikáns különbséget mutatott az átlagok között, az LSD tesztet használtuk az átlagok többszöri összehasonlítására (Zuur és mtsai., 2009). Annak érdekében, hogy tanulmányozzuk azt, hogy az ízeltlábúak viselkedése konzisztens volt-e az összes kontextuson keresztül a *DescTools* csomag segítségével kiszámoltuk a Kendall-féle konkordancia együtthatót (Signorell és mtsai., 2021). Kiszámoltuk a Spearman rangkorrelációt azért, hogy felmérjük az egyének viselkedési mutatóinak konzisztenciáját a kísérletek között az *RVAideMemoire* csomag segítségével (Hervé, 2021).

Új tudományos eredmények

*Urbanizáció hatása a *Carabus convexus* egyedek viselkedésére*

1. A *C. convexus* egyedek konzisztensen viselkedtek az idő múlásával; az összes tesztelt viselkedési mérőszám szignifikánsan konzisztens volt a rangsorral és szignifikáns megismételhetőséget mutatott a két egymást követő vizsgálat során.
2. A bogarak személyisége felfedező dimenziójának három viselkedési mérőszáma hasonló mintákat mutatott: a városi területekről származó nőstények által megtett négyzetek száma, a megtett távolsága és mozgási ideje is szignifikánsan magasabb volt, mint a városi hímek esetében.

3. Az urbanizáció szintje és az egyedek neme jelentős tényezőknek bizonyultak, amely magyarázza a *C. convexus* egyedek által megtett távolságot és mozgási idejét.
4. A bogarak személyisége felfedező dimenziójának másik két mérőszáma, a belső tér látogatása és a falig megtett idő nem különbözött szignifikánsan a különböző urbanizációs szintű élőhelyeken élő nemek között.
5. A városi területeken élő nőstények kockázatvállalóbb magatartást tanúsítottak, mint a természetközeli állapotú élőhelyen élők, mivel a városi nőstények repülési időtartama és távolsága lényegesen alacsonyabb volt, mint a vidéki nőstényeké.
6. Szignifikáns különbség volt a vidéki nőstények és a városi hímek repülési reakciójában. A városi hímek szignifikánsan rövidebb repülési távolságot mutattak, mint a vidéki nőstények.

Antropogén hatások vizsgálata a hollyvák viselkedésére

1. A Kendall-féle konkordancia együttható mindhárom faj esetében szignifikáns volt, ami azt jelenti, hogy a rovarok minden viselkedési mutatója hasonlóan viselkedett, ami azt bizonyítja, hogy a vizsgált hollyvák következetesen reagáltak a különböző viselkedési tesztekre.
2. A menekülési idő konzisztens és megismételhető volt az *A. chloropterus* és a *P. fulvipes* esetében, míg a menekülési távolság és időtartam csak az *O. nitens* esetében volt állandó.
4. Mindhárom hollyvafaj esetében pozitív és szignifikáns volt a korreláció az érintett négyzetek száma és meglátogatott belső négyzetek száma között.
5. A meglátogatott négyzetek száma és a menekülési idő közötti kapcsolat is mindig szignifikáns volt, de ez a kapcsolat mindig negatív volt. A menekülési időtartam és a menekülési távolság szignifikánsan pozitív korrelációt mutatott minden vizsgált faj esetében.
6. A felfedezési dimenzió viselkedési mérőszámai közül az *O. nitens* hímek által meglátogatott négyzetek száma szignifikánsan magasabb volt, mint a nőstényeké, de a viselkedési mutatók egyéb szexuális különbségei nem voltak szignifikánsak.
7. Sem az urbanizációs szint, sem az urbanizáció és a nemek közötti kölcsönhatás nem volt szignifikáns.

Szeretném kifejezni köszönetem Dr. Magura Tibor György professzornak, hogy csatlakozhattam kutatási tevékenységéhez. Dr. Nagy Dávidnak és Dr. Tóthmérész Bélának, hogy témavezetőimként végig segítették a munkámat, valamint Az Ökológiai Tanszék minden munkatársának, hogy segítették a munkámat. Rendkívül hálás vagyok Málík-Roffa Hajnalkának a disszertáció és a tézisek elkészítéséhez nyújtott segítségéért, valamint az értekezés benyújtásában való segítségéért. A terepmunkában nyújtott segítségért hálás vagyok Tóth Máriának, Dr. Mizser Szabolcsnak és Dr. Horváth Rolandnak.



Nyilvántartási szám: DEENK/384/2023.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Csicsek Réka
Doktori Iskola: Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10071701

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

1. Magura, T., Horváth, R., Mizser, S., Tóth, M., Nagy, D., **Csicsek, R.**, Balla, E., Lövei, G. L.: Urban individuals of three rove beetle species are not more exploratory or risk-taking than rural conspecifics.
Insects. 13 (8), 1-13, 2022. EISSN: 2075-4450.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/insects13080757>
IF: 3
2. Magura, T., Mizser, S., Horváth, R., Nagy, D., Tóth, M., **Csicsek, R.**, Lövei, G. L.: Are there personality differences between rural vs. urban-living individuals of a specialist ground beetle, *Carabus convexus*?
Insects. 12 (7), 1-13, 2021. EISSN: 2075-4450.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/insects12070646>
IF: 3.139
3. Magura, T., Mizser, S., Horváth, R., Nagy, D., Tóth, M., **Csicsek, R.**, Lövei, G. L.: Differences in life history traits in rural vs. urban populations of a specialist ground beetle, *Carabus convexus*.
Insects. 12 (6), 1-11, 2021. EISSN: 2075-4450.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/insects12060540>
IF: 3.139

A közlő folyóiratok összesített impact faktora: 9,278

A közlő folyóiratok összesített impact faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 9,278

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2023.08.21.



Irodalomjegyzék

- Bates D., Mächler M., Bolker B., Walker S. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *J. Stat. Softw. Artic.* 2015;67:1–48.
- Bibi, D., D Tózsér, B Sipos, B Tóthmérész, E Simon 2023: Heavy metal pollution of soil in Vienna, Austria. *Water, Air, & Soil Pollution* 234 (4), 232.
- Bibi, D., D Tózsér, B Sipos, VÉ Molnár, E Simon, B Tóthmérész 2023: Complex study of air pollution based on tree species in Vienna. *Air Quality, Atmosphere & Health* 17 (2), 417-424.
- Bogyó, D., T Magura, DD Nagy, B Tothmérész 2015: Distribution of millipedes (Myriapoda, Diplopoda) along a forest interior–forest edge–grassland habitat complex. *ZooKeys*, 181.
- Bogyó D., Magura T., Simon E., Tóthmérész B. 2015: Millipede (Diplopoda) assemblages alter drastically by urbanisation. *Landscape and Urban Planning* 133: pp. 118-126.
- Eötvös C.B., Magura T., Lövei G.L. A meta-analysis indicates reduced predation pressure with increasing urbanization. *Landsc. Urban Plan.* 2018;180:54–59.
- Fenoglio M.S., Rossetti M.R., Videla M. Negative effects of urbanization on terrestrial arthropod communities: A meta-analysis. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 2020;29:1412–1429.
- Forman R.T.T. *Urban Regions: Ecology and Planning beyond the City.* Cambridge University Press; Cambridge, UK: 2008.
- Fox J., Weisberg S. *An R Companion to Applied Regression.* 3rd ed. SAGE Publications; Thousand Oaks, CA, USA: 2019.
- Gyuris E., Feró O., Tartally A., Barta Z. Individual behaviour in firebugs (*Pyrrhocoris apterus*) *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 2011;278:628–633.
- Hervé M. RVAideMemoire: Testing and Plotting Procedures for Biostatistics. [(accessed on 1 February 2021)];2021 R package version 0.9-79.
- Kalnay E., Cai M. Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature.* 2003;423:528–531.
- Kortet R., Hedrick A.N.N. A behavioural syndrome in the field cricket *Gryllus integer*: Intrasexual aggression is correlated with activity in a novel environment. *Biol. J. Linn. Soc.* 2007;91:475–482.
- Labaude S., O'Donnell N., Griffin C.T. Description of a personality syndrome in a common and invasive ground beetle (Coleoptera: Carabidae) *Sci. Rep.* 2018;8:17479.
- Magura, T., D Bogyó, S Mizser, DD Nagy, B Tóthmérész 2015: Recovery of ground-dwelling assemblages during reforestation with native oak depends on the mobility and feeding habits of the species. *Forest Ecology and Management* 339, 117-126.

- Magura, T., Nagy, D. and Tóthmérész, B. 2013: Rove beetles respond heterogeneously to urbanization. *Journal of Insect Conservation* 17: 715–724.
- Magura, T., GL Lövei, B Tóthmérész 2017: Edge responses are different in edges under natural versus anthropogenic influence: a meta - analysis using ground beetles. *Ecology and evolution* 7 (3), 1009-1017. Magura T., Ferrante M., Lövei G.L. Only habitat specialists become smaller with advancing urbanisation. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 2020;29:1978–1987.
- Magura T., Lövei G.L. Consequences of urban living: Urbanization and ground beetles. *Curr. Landsc. Ecol. Rep.* 2021;6:9–21.
- Magura T., Tóthmérész B., Molnár T. Changes in carabid beetle assemblages along an urbanisation gradient in the city of Debrecen, Hungary. *Landsc. Ecol.* 2004;19:747–759.
- Martinson H.M., Raupp M.J. A meta-analysis of the effects of urbanization on ground beetle communities. *Ecosphere.* 2013;4:60.
- Málik-Roffa, H., D Tózsér, B Tóthmérész, T Magura 2023: BugTracker: Software for Tracking and Measuring Arthropod Activity. *Diversity* 15 (7), 846.
- McDonnell M.J., Pickett S.T.A., Groffman P., Bohlen P., Pouyat R.V., Zipperer W.C., Parmelee R.W., Carreiro M.M., Medley K. Ecosystem processes along an urban-to-rural gradient. *Urban Ecosyst.* 1997;1:21–36.
- McIntyre N.E. Urban Ecology-Definitions and Goals. In: Douglas I., Goode D., Houck M., Wang R., editors. *The Routledge Handbook of Urban Ecology.* Routledge; London, UK: 2011. pp. 7–16.
- McKinney M.L. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biol. Conserv.* 2006;127:247-260.
- Nagy, D.D., T Magura, R Horváth, Z Debnár, B Tóthmérész 2018: Arthropod assemblages and functional responses along an urbanization gradient: A trait-based multi-taxa approach. *Urban Forestry & Urban Greening* 30, 157-168.
- Nagy, D.D., T Magura, Z Debnár, R Horváth, B Tóthmérész 2015: Shift of rove beetle assemblages in reforestations: Does nativity matter? *Journal of Insect Conservation* 19, 1075-1087.
- Niemelä J. Ecology and urban planning. *Biodivers. Conserv.* 1999;8:119–131.
- Niemelä J., Kotze D.J. Carabid beetle assemblages along urban to rural gradients: A review. *Landsc. Urban Plan.* 2009;92:65–71.
- Pouyat R.V., McDonnell M.J., Pickett S.T.A. Litter decomposition and nitrogen mineralization in oak stands along an urban-rural land use gradient. *Urban Ecosyst.* 1997;1:117–131.

- Réale D., Reader S.M., Sol D., McDougall P.T., Dingemanse N.J. Integrating animal temperament within ecology and evolution. *Biol. Rev.* 2007;82:291-318.
- Schuett W., Delfs B., Haller R., Kruber S., Roolfs S., Timm D., Willmann M., Drees C. Ground beetles in city forests: Does urbanization predict a personality trait? *PeerJ.* 2018;6:e4360.
- Signorell A., Aho K., Alfons A., Anderegg N., Aragon T., Arachchige C., Arppe A., Baddeley A., Barton K., Bolker B., et al. DescTools: Tools for Descriptive Statistics 2021.
- Simon E., Harangi S., Baranyai E., Braun M., Fábíán I., Mizser S., Nagy L., Tóthmérész B. Distribution of toxic elements between biotic and abiotic components of terrestrial ecosystem along an urbanization gradient: Soil, leaf litter and ground beetles. *Ecol. Indic.* 2016;60:258–264.
- Tajthi, B., R Horváth, S Mizser, DD Nagy, B Tóthmérész 2017: Spider assemblages in floodplain forests along an urbanization gradient. *Community ecology* 18 (3), 311-318.
- Török, P. és Tóthmérész, B. A debreceni Nagyerdő növényzeti arculatának vizsgálata Természetvédelmi Közlemények 11: 107-116.
- Tóthmérész, B., DD Nagy, S Mizser, D Bogyó, T Magura 2014: Edge effects on ground-dwelling beetles (carabidae and Staphylinidae) in oak forest-forest edge-grassland habitats in Hungary. *Eur. J. Entomol* 111 (5): 686–691.
- Tremmel M., Müller C. Insect personality depends on environmental conditions. *Behav. Ecol.* 2013;24:386–392.
- Venables W., Ripley B. *Modern Applied Statistics with S.* 4th ed. Springer; New York, NY, USA: 2002.
- Wagner D.L., Grames E.M., Forister M.L., Berenbaum M.R., Stopak D. Insect decline in the Anthropocene: Death by a thousand cuts. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2021;118 doi: 10.1073/pnas.2023989118.
- Zuur A., Ieno E.N., Walker N., Saveliev A.A., Smith G.M. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R.* Springer; New York, 2009.

Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

The effect of urbanization to the behaviour of insects

Csicsek Réka

Supervisors

Prof. Dr. Tóthmérész Béla and Dr. Nagy Dávid



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Juhász-Nagy Pál Doctoral School

Debrecen, 2024

Introduction

Urbanisation reduces species richness, mainly in the densely populated city centres, but urbanization effects have a considerable difference between each taxonomic group (McKinney 2008). Arthropods are the most diversified invertebrate group in the world (Footitt and Adler 2009). Global environmental changes cause a biodiversity loss in altered habitats; therefore, several indigenous arthropod species may become seriously threatened (Stork 2010). It is important to stress that the disappearance of these species from their original habitats influence adversely the function of ecosystems (Cardinale et al. 2012). Investigation of arthropod assemblages and their interactions can provide a good opportunity to get an insight into urbanization processes which may influence ecosystem structure and function (Gardnier et al. 2013). Because of their relatively short generation times, arthropod populations quickly respond to environmental changes; thus, they are suitable indicators of the changing of biodiversity (McIntyre 2000, McIntyre et al. 2001).

Behavioural change is the first consequence of the environmental and body alterations in many animals (Wong and Candolin 2015). It has an important role to understand individual and social differences within a population, and their connection with the environment (Sih et al. 2011, Tuomainen et al. 2011, Gyuris et al. 2016). Previous studies highlighted that individuals within a population show permanent behaviour across time and space (Dall et al. 2004, Bergmüller 2010). Consistent behaviour is also called as personality which is influenced by many factors such as individual's gene, environmental events and interactions with other organisms (Réale et al. 2007). Individuals differ in their personality as some of them tend to be more explorative, aggressive or bolder than the others (Sih et al. 2004). For better understanding of behavioural correlations the number of animal behavioural studies focused on personality (consistency in a single behaviour) and behavioural syndromes (consistency between different behaviours) have been increased during the past decades (Labaude et al. 2018).

Urbanization means selective forces acting on various reactions of urban-associated species, including their behaviour. During the research isopods, carabid and rove beetles were studied. Rural and urban individuals of a forest specialist ground beetle, *Carabus convexus* were studied for their exploratory and risk-taking behaviour. Also, exploratory and risk-taking behaviour of rural and urban individuals of three forest-associated rove beetle species were studied during their reproductive period.

Materials and methods

Sampling

Samples for each species were collected in the Nagyerdő Forest located in and around the city of Debrecen city (Northeast Hungary). This area is covered by Pannonic mesophile steppe oak forest (*Convallario-Quercetum roboris*) (Török és Tóthmérész 2004).

There were samplings in spring, summer and autumn of 2018 for isopods. In each season 45 individuals were collected. The field-collected woodlice were kept separately in plastic box under the same temperate laboratory conditions. Soil, woody debris, leaf and a piece of wet sponge were provided in each plastic box. To keep it moist we spritzed fresh water in the plastic boxes in every second day.

Ground beetles (*Carabus convexus*) and rove beetles (*Abemus chloropterus*, *Ocypus nitens*, *Platydracus fulvipes*) were collected using live pitfall traps. The location of the traps in sites were determined using a random number table, but ensuring that traps were installed at least 10 m apart from each other and at least 50 m from the nearest forest edge in order to avoid edge effects. Traps were square plastic containers (170 mm long × 110 mm wide × 105 mm deep) containing shredded leaves to reduce predation on small, trapped arthropods by larger ones. Traps were covered with a fiberboard to protect them from litter and rain.

During the study of the behaviour of isopods an experimental set 3 different stimulus types (drop, touch, squeeze) were used to induce tonic immobility. As drop stimulus woodlice were elevated to 10 cm and dropped back to the experimental tray similarly to birds or reptiles when they attack and drop their prey representing low predation risk. To imitate arthropod attacks by their mandibles woodlouse individuals were softly poked with the pointed tip of forceps. Small mammal attacks with their paws were imitated by squeeze stimulus pushing both sides of individuals with a pair of flat forceps. Squeeze stimulus has the highest predation-risk among the stimulus types, because the tight constrict significantly decrease the chance of successful escape. Each stimulus type was repeated maximum five times during an experimental set. When woodlice became entirely immobile (body, antennas, legs were strained including conglotation) by stimulus type, they were taken as responsive. If the fifth stimulus did not trigger a response, individuals were determined as non-responsive. Duration of tonic immobility from immobile posture until the first move of antennas or legs was also measured.

In the laboratory experiment with carabids and rove beetles there were standardized conditions. Individual beetles were left to rest for 2 h with access to water but no food. After this resting period, beetles were individually tested. First, we measured their activity in a novel environment, which is often applied to assess exploratory behaviour. The novel environment consisted of an open white plastic box, on the bottom of which 35 equal-sized squares were marked. At the beginning of the test, the individual was placed in the central square and was covered with a Petri dish to calm it down. As soon as the beetle stopped moving around, the lid was lifted, and the behaviour was recorded. We registered the number of squares crossed by the individual, the covered distance, and the total amount of time spent in motion. We also recorded the number of squares not adjacent to the wall that were crossed, and the time when the individual reached the wall of the plastic box. Square visit, covered distance, motion time, and wall time are commonly used as a measure of activity level and exploration in invertebrates, while the inner square visit is considered a parameter of both exploration and risk-taking/boldness. After the novel environment test, we tested individuals for their reaction to threats. To assess the repeatability of behavior, the tests were repeated twice for each individual, with 24 h between the two occasions. T

Data analyses

During the statistical analyses R statistical packages were used. Behavioural consistency of the response variables within sets (time) and between stimulus types was assessed by Spearman's rank correlation coefficient using 'DescTools' package (Signorell 2019). Generalized linear mixed models (GLMMs) were used to test the effect of stimulus types (drop, touch, squeeze) on activity behaviour

The effect of urbanization (non-urbanized vs. urbanized) on the behavioural traits was tested with generalized linear mixed models (GLMMs) using the lme4 package. Fixed effects included urbanization level, sex of the tested individual, as well as their interaction. In the models on behavioural measures, trials were regarded as repeated measures, and the person performing the test was added as random factor.

Kendall's coefficient of concordance was used to investigate the consistence of the behaviour of beetles. An agglomerative cluster analysis was used to explore associations among the different behavioural measures defining personality dimensions.

Result

Significant correlation was found between the two successive sets of the relative frequency of tonic immobility triggered by drop and squeeze stimulus types; the third run did not show significant repeatability. In contrast, the duration of tonic immobility showed significant consistency over the three stimulus types and sets. The results of GLMMs showed that tonic immobility of *A. vulgare* individuals was triggered higher relative frequency by squeeze than drop stimulus type, while touch stimulus type did not differ from the others. Body length and sex as well as interactions between the experimental variables were not entered into the model. Duration of tonic immobility was longer period following the touch and squeeze, than after the drop stimulus type. GLMM also showed that body length of *A. vulgare* could be an important factor in the duration of tonic immobility, while sex and interactions between experimental variables were not entered into the final model. Spearman's rank correlation coefficient showed that body length and sex were not significantly correlated with relative frequency of tonic immobility. Duration of tonic immobility also showed no significant relationship with individual's sex, while significant positive correlation was detected between the individual's body length and the duration of tonic immobility.

During the reproduction period of *C. convexus* (from April to May) we sampled 37 individuals in the studied habitats. All individuals had sharp or minimally worn mandibles, indicating that they were overwintered individuals in their first breeding season. Twenty-five individuals (15 females and 10 males) were caught in the rural sites, while 12 beetles (7 females and 5 males) in the urban ones.

Significant Kendall's coefficient of concordance indicated that beetles responded consistently in the different contexts, meaning that beetles were similarly ranked by all behavioural measures. *C. convexus* individuals behaved consistently over time as all behavioural measures tested (square visit, covered distance, motion time, inner square visit, wall time, fight duration and fight distance) were significantly rank-consistent and/or showed significant repeatability between the two successive trials. Based on the agglomerative cluster analysis and the assessment of the average overall silhouette width, the studied behavioural measures could be divided into two group. The first group consisted of square visit, covered distance, motion time, inner square visit, and wall time, and it can be considered to be the exploratory dimension of the beetle personality. The second group included fight duration and distance, and it can be linked to the risk-taking dimension of the personality. Within each group, all behavioural measures were

significantly correlated with each other. Between the behaviour measures belonging to the two different groups, none of the correlations were significant.

Three behavioural measures of the exploratory dimension of beetle personality showed similar patterns: square visit, covered distance, and motion time of urban females were significantly higher than those of urban males. In addition, urbanization level and sex were significant factors explaining the covered distance and the motion time in *C. convexus*. The other two measures of the exploratory dimension of beetle personality, inner square visit and the wall time were not significantly different among sexes living in habitats with different urbanization levels.

Regarding the risk-taking personality dimension, there were significant differences in fight reaction between rural and urban females. Urban females showed more risk-taking behaviour than rural ones, as the fight duration and distance of urban females were significantly lower than those of rural females. Furthermore, there was a significant difference in the fight reaction between the rural females and urban males, urban males showing significantly shorter fight distance than rural.

In the sampling period (from April to June 2020) 233 individuals of the three studied rove beetle species were captured and tested. We collected 99 individuals (28 females and 71 males) from the rural sites, and 134 beetles (23 females and 111 males) from the urban ones. There were few urban females caught of *O. nitens* and *P. fulvipes*.

The results indicate that the studied rove beetles responded consistently in the different behavioural tests. The number of squares visited was significantly rank-consistent and/or was significantly repeatable between the two consecutive trials for all three species. The behaviour of rove beetles measured by the number of inner squares visited. The time to wall was significantly rank-consistent and repeatable for *A. chloropterus* and *P. fulvipes*, while escape duration and distance was consistent over time only for *O. nitens*. The studied behavioral measures could be divided into two groups for all studied rove beetle species by agglomerative cluster analysis. The number of squares visited, the number of inner squares visited, and the time to wall were clustered into the first group, representing the exploratory dimension of beetles' personality. The escape duration and the escape distance formed the second group, which can be considered as the risk-taking dimension of the beetles' personality.

Conclusion

To increase their survival success preys use a variety of anti-predatory strategies against the aggressor. Tonic immobility is one of the most frequently studied anti-predator strategy reflecting behavioural responses of organisms. This study highlighted that features of tonic immobility could be suitable predictors of animal personality as we found consistent repeatability in studied behavioural traits of *A. vulgare* individuals. Nevertheless, due to the repeatability loss of behavioural responses for the third run, we recommended three replicates of experimental run during animal personality tests to allow reliable conclusion. Our results also suggest that the predation risk generated by predator's stimulus type have significant effect on the anti-predatory response. It seems that *A. vulgare* individuals are bolder if the predation risk is low, while under high predation pressure the individuals become shier. Moreover, our study also showed that body length of *A. vulgare* individuals could be an important factor influencing the duration of tonic immobility predicting that larger individuals are bolder than the smaller ones. By contrast, similarity in responses of male and female individuals pointed out that species living in aggregation can lose their behavioural dimorphism to reduce the effects of selective predation. These findings predict that the tonic immobility could be a useful indicator of predator pressure during ethology and ecology studies. We suggest that ecologists should focus on the following questions during behavioural studies to reveal which environmental factors influence most the animal behaviour. Which behavioural traits are used? Which abiotic (temperature, humidity) and biotic (predation pressure, vegetation cover) factors drive the behavioural responses? How different taxa respond to these factors? How can we use this knowledge to follow and understand the environmental changes? We argue that ecologists should adopt more mechanistic approaches to study the effects of biotic and abiotic conditions on animal behaviour, and increase the understanding of how behavioural changes indicate ecosystem functioning and services.

Our findings demonstrated the existence of personalities in *C. convexus*. Urbanization has considerable effects: the exploratory behaviour of females and males depended on the urbanization level of the habitats. There was no difference in female vs. male's exploratory behaviour in the rural area. Urban females were more exploratory than urban males. Increased exploratory behaviour of urban females could be explained by the searching activity for high quality food required to mature eggs, and by looking for favourable microsites for oviposition. We found that urban females and males have more

risk-taking behaviour than rural females, indicating the adaptation to urbanization-driven disturbance events and threats.

Our findings suggest that the activity, and exploratory behaviour of rove beetles can be assessed consistently in a test arena by counting the number of equally sized zones of the arena crossed by beetles, as well as by measuring the time when the individuals reached the wall of the arena. Using these behavioural measures we demonstrated the existence of personalities in individuals from wild populations of three forest-associated rove beetle species. Sex-related differences in the exploratory behaviour of *O. nitens* could be explained by the generally higher activity of males, especially during the breeding period. We found that urbanization (rural vs. urban) had no significant effect on the exploratory behaviour of these rove beetles, possibly because their good dispersal ability allows them to easily find suitable microhabitats; thus, behavioural changes (being more exploratory) would not deliver additional fitness benefits.



Registry number: DEENK/384/2023.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Réka Csicsek

Doctoral School: Pál Juhász-Nagy Doctoral School of Biology and Environmental Sciences

MTMT ID: 10071701

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (3)

1. Magura, T., Horváth, R., Mizser, S., Tóth, M., Nagy, D., **Csicsek, R.**, Balla, E., Lövei, G. L.: Urban individuals of three rove beetle species are not more exploratory or risk-taking than rural conspecifics.
Insects. 13 (8), 1-13, 2022. EISSN: 2075-4450.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/insects13080757>
IF: 3
2. Magura, T., Mizser, S., Horváth, R., Nagy, D., Tóth, M., **Csicsek, R.**, Lövei, G. L.: Are there personality differences between rural vs. urban-living individuals of a specialist ground beetle, *Carabus convexus*?
Insects. 12 (7), 1-13, 2021. EISSN: 2075-4450.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/insects12070646>
IF: 3.139
3. Magura, T., Mizser, S., Horváth, R., Nagy, D., Tóth, M., **Csicsek, R.**, Lövei, G. L.: Differences in life history traits in rural vs. urban populations of a specialist ground beetle, *Carabus convexus*.
Insects. 12 (6), 1-11, 2021. EISSN: 2075-4450.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/insects12060540>
IF: 3.139

Total IF of journals (all publications): 9,278

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 9,278



The Candidate's publication data submitted to the IDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

21 August, 2023

References

- Bergmüller R (2010) Animal personality and behavioural syndromes. *Animal Behaviour*: Evolution and Mechanisms: 587–621.
- Dall SRX, Houston AI, McNamara JM (2004) The behavioural ecology of personality: Consistent individual differences from an adaptive perspective. *Ecology Letters* 7(8): 734–739.
- Footitt, R.; Adler, P. *Insect Biodiversity: Science & Society* Oxford: Wiley-Blackwell: 223-263, 2009
- Gardner JL, Peters A, Kearney MR, Joseph L, Heinsohn R (2011) Declining body size: A third universal response to warming? *Trends in Ecology and Evolution* 26: 285-291.
- Gyuris E, Hankó JF, Ferő O, Barta Z (2016) Personality and ectoparasitic mites (*Hemipteroseius adleri*) in firebugs (*Pyrrhocoris apterus*). *Behavioural Processes* 122: 67–74.
- Labaude S., O'Donnell N., Griffin C.T. Description of a personality syndrome in a common and invasive ground beetle (Coleoptera: Carabidae) *Sci. Rep.* 2018;8:17479.
- McKinney M.L. Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosyst.* 2008;11:161–176.
- McIntyre N. Ecology of Urban Arthropods: A Review and a Call to Action, January 2009 *Annals of the Entomological Society of America* 93(Jul 2000):825-835.
- McIntyre N.; RangoWilliam J.; FaganWilliam F., FaganStanley F.; FaethStanley H.; Faeth H. Ground arthropod community structure in a heterogeneous urban environment January 2001 *Landscape and Urban Planning* 52(4):257-274.
- Réale D., Reader S.M., Sol D., McDougall P.T., Dingemanse N.J. Integrating animal temperament within ecology and evolution. *Biol. Rev.* 2007;82:291–318.
- Signorell A., Aho K., Alfons A., Anderegg N., Aragon T., Arachchige C., Arppe A., Baddeley A., Barton K., Bolker B., et al. *DescTools: Tools for Descriptive Statistics* 2021.
- Sih A., Bell A., Johnson J.C. Behavioral syndromes: An ecological and evolutionary overview. *Trends Ecol. Evol.* 2004;19:372–378.
- Sih A, Ferrari MCO, Harris DJ (2011) Evolution and behavioural responses to human-induced rapid environmental change. *Evolutionary Applications* 4(2): 367–387.
- Török, P. és Tóthmérész, B. A debreceni Nagyerdő növényzeti arculatának vizsgálata *Természetvédelmi Közlemények* 11, 107-116.

Tuomainen U, Sylvén E, Candolin U (2011) Adaptive phenotypic differentiation of courtship in response to recent anthropogenic disturbance. *Evolutionary Ecology Research* 13: 697–710.

Wong BBM, Candolin U (2015) Behavioral responses to changing environments. *Behavioral Ecology* 26(3): 665–673.