

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Antropogén tevékenységek hatása ízeltlábú
szervezetek morfológiai jellemzőire és
mikroelem összetételére**

Papp Dalma

Témavezető: Dr. Kundrát-Simon Edina
egyetemi docens



DEBRECENI EGYETEM
Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola

Debrecen, 2020

Bevezetés

Az antropogén tevékenységek jelentős kockázatot jelentenek a szárazföldi ökoszisztémára, különösen a környezetszennyezéssel terhelt élőhelyek élővilágára (Ciadamidaro et al. 2017, Touceda-González et al. 2017). A szennyezőanyagok, köztük számos potenciálisan toxikus mikroelem folyamatos, nagymennyiségű kibocsátása jelentős mértékben képes befolyásolni a biotikus és az abiotikus rendszerek összetett működését (Gál et al. 2008). Az urbanizáció additív stressztényezői, mint például a kedvezőtlen mikro- és makroklimatikus viszonyok, a növekvő beépítettség, a fokozódó gépjárműközlekedés, és az ezekkel járó élőhelyfragmentáció és izoláció változó mértékben járulnak hozzá az élőhelyek minőségi romlásához egy urbanizációs grádiens mentén (Saunders et al. 1991, Ikeda 2006), jelentős hatást gyakorolva a fajösszetételre, a populációkat alkotó egyedek fejlődési ciklusára, túlélésére, reprodukciójára és morfológiai tulajdonságaira egyaránt (Eeva et al. 2000, Shingleton et al. 2007).

Az urbanizáció hatásai bioindikátor szervezetek segítségével élőlényközpontúan, egyedek szintjén vizsgálhatók (Eeva et al. 2000). Az ízeltlábúak, köztük a szárazföldi ászkarákok (Crustacea: Isopoda) és a futóbogarak (Coleoptera: Carabidae) az antropogén eredetű stressz hatékony indikátorai (Zödl & Wittmann 2003). A környezeti stresszfaktorok negatív hatásai kimutathatók az ászka és futóbogár egyedek mikroelem összetételében és koncentrációiban, illetve morфомetriai paramétereiben és testi szimmetriájában bekövetkező változások vizsgálatával (Palmer & Strobeck 1992, Jones & Hopkin 1998, Ribrera et al. 2001, Witzel 2000, Weller & Ganzhorn 2003, Skalski et al. 2010, Godet et al. 2011, Simon et al. 2016).

Célkitűzés

Az urbanizáció hatásai Armadillidium vulgare (Latreille, 1804) egyedek mikroelem összetételére és morfológiájára

Vizsgálatunk célja antropogén hatások vizsgálata volt *Armadillidium vulgare* egyedek mikroelem (Ba, Cu, Fe, Mn és Pb) összetételére és testi szimmetriájára egy urbanizációs grádiens mentén, Debrecenben és környékén. További célunk volt bioakkumulációs factor (BAF) számítással feltárni, van-e kapcsolat a három szinten tanulmányozott trofikus rendszer tagjai, azaz az ászka egyedek szervezetében mért mikroelem koncentrációk, a talaj és avar szennyezettsége között. Hipotéziseink a következők voltak: (1) a városi mintavételi területek irányába növekvő mikroelem koncentrációkat tapasztalunk az *A. vulgare* egyedek szervezetében; (2) a hím és nőstény egyedek akkumulációs hatékonysága eltérő; (3) az ászka egyedek a talaj és avar környezeti elemekből jutnak hozzá a szervezetükben akkumulált mikroelemek jelentős részéhez; (4) a vizsgált metrikus paraméterek állapota, valamint a testi aszimmetria mértéke változik a grádiens mentén.

Az urbanizáció hatásai futóbogarak (Coleoptera: Carabidae) morfológiájára

Vizsgálatunk célja antropogén hatások vizsgálata volt futóbogár fajok (*Abax parallelepipedus*, *Pterostichus oblongopunctatus*, *Carabus scheidleri* és *Carabus violaceus*) morfológiájára paramétereinek állapotára egy-egy általunk kijelölt urbanizációs grádiens mentén Bács és Debrecen területén. Hipotéziseink a következők voltak: az általunk vizsgált metrikus paraméterek értékei változnak az antropogén tevékenységek okozta stressz hatására, tehát (1) a vizsgált fajok, (2) a mintavételi területek, (3) a hím és nőstény egyedek elkülönülnek egymástól a vizsgált

morfometriai paraméterek alapján. Továbbá feltételeztük, hogy (4) a vizsgált metrikus bélyegek mérete csökkenni fog a városi területek irányába minden vizsgált faj esetében; illetve (5) a bilaterális szervek szimmetria viszonya változik a kijelölt urbanizációs grádiensek mentén, ezáltal a mintavételi területek elkülönülnek az aszimmetria mértéke alapján.

Metaanalízis: Futóbogár fajok expozíciófüggő fém-akkumulációja

A metaanalízis célja az volt, hogy hiteles áttekintést nyerjünk kontroll és szennyezett mintavételi területekről gyűjtött futóbogár fajok Cd, Cu, Mn és Pb akkumulációjáról. Hipotéziseink a következők voltak: (1) a szennyezőanyagok regulációja, ártalmatlanítása (eliminációja, exkréciónja) az egyedek szervezete által, a kissé és közepesen szennyezett élőhelyeken hatékonyabb, mint az erősen szennyezett élőhelyek esetében; (2) a kevésbé hatékony exkréción, a szennyezőanyagok nagyobb mértékű akkumulációját eredményezi a futóbogarak szervezetében.

Anyag és módszer

Terepi mintavételezés

Az *A. vulgare* egyedek gyűjtése általunk kijelölt urbanizációs grádiens mentén, városon kívüli, városszéli és városi erdőfoltok területéről 2012-ben áprilistól októberig történt, Debrecenben és környékén. A következő mintavételi protokollt alkalmaztuk: mintavételi területenként 20 mintavételi pontot jelöltünk ki, így összesen 60 db Barber-féle élvefogó talajcsapda került kihelyezésre, melyek ürítését 3 naponta végeztük. Ezen kívül területenként 3 részmintából álló kompozit avar- és talajminta került begyűjtésre április és október folyamán. A talajminta vételezés a talaj felső 20 cm-éből történt.

Az *A. parallelepipedus* és *C. scheidleri* egyedek Bécsben és a város környékén, a *C. violaceus* és *P. oblongopunctatus* egyedek Debrecenben és környékén kerültek begyűjtésre az általunk kijelölt urbanizációs grádiensek mentén, 2010-ben májustól augusztusig. A következő mintavételi protokollt alkalmaztuk Simon és mtsai (2013, 2015) alapján mindkét geográfiai régió esetében: a grádiensek mentén egy városon kívüli, természetközeli erdőfoltot, egy városszéli erdőfoltot és egy városi ligetet választottunk a vizsgálat céljára. A mintavételi területeken belül négy mintavételi hely került kijelölésre, melyek 20-20 mintavételi pontot foglaltak magukba, tehát mintavételi területeként összesen 80 darab Barber-féle talajcsapda került kihelyezésre.

A metaanalízishez szükséges szakirodalmi áttekintés és adatgyűjtés

A szakirodalmi áttekintést a Web of Science bibliográfiai adatbázis használatával végeztük, melybe az 1975 és 2018 között megjelent tanulmányokat vontuk be. A következő keresőszavakat alkalmaztuk: TOPIC=(metal) AND TOPIC=(accumulat* OR stor* OR accru* OR collect* OR* aggregat* OR accret* OR buil* OR grow* OR inflat* OR add*) AND TOPIC=(carabid* OR ground beetle*). A keresés eredményeként kapott, releváns közleményekhez tartozó irodalomjegyzékeket is áttekintettük. Az általunk támasztott kritériumoknak, azok a közlemények feleltek meg, melyek egy vagy több futóbogár faj egyedeinek szennyeztelen (kontroll) valamint szennyezett körülmények között vizsgált Cd, Cu, Mn, Pb és Zn koncentráció értékeit (mintanagyság \pm SD), valamint a talajra vonatkozó koncentráció adatokat is tartalmazták.

Morfometriai vizsgálatok

A következő metrikus paraméterek mérését végeztük el az *A. vulgare* egyedek esetében: általunk kijelölt két flagellomer és egy

antennomer hossza a jobb és bal oldali antenna esetében; a harmadik pereomer szélessége, amely két mérési szakaszt foglalt magába; valamint a testhossz (a cephalotorax és a pleotelson disztális vége közötti távolság) (Schmölzer 1965; Farkas 2013).

A vizsgált futóbogár fajok esetében a következő metrikus paraméterek mérését végeztük el Elek és mtsai (2014) módszere alapján: általunk kijelölt három antennomer hossza a jobb és bal oldali antenna esetében; a jobb és bal oldali femur és tibia hossza az első pár láb esetében; jobb és bal oldali elytrum belső élének hossza. A szájszerv metrikus paraméterei, azaz a palpus maxillaris és palpus labialis palpomerek paraméterei az *A. parallelepipedus*, *C. scheidleri* és *C. violaceus* egyedek esetében voltak mérhetőek.

A morfometriai vizsgálatokhoz szükséges digitalizálást Olympus C-7070 digitális kamera, Olympus SZX7 sztereomikroszkóp és kalibrációs tárgylemez használatával, a méréseket Winimag 1.0. program segítségével háromszoros ismétléssel végeztük.

Mikroelem összetétel vizsgálat az Armadillidum vulgare egyedek laboratóriumi feltárásával

Mintafeltárást Braun és mtsai (2009, 2012) valamint Simon és mtsai (2011, 2017) alapján végeztünk. Az *A. vulgare* egyedeket 105 °C-on, 24 órán keresztül szárítottuk szárítószekrényben. Ezt követően atmoszférikus nyomáson történő roncsolást alkalmaztunk 2 ml 65 % (m/m) –os salétromsav és 0,5 ml hidrogén-peroxid hozzáadásával 100 °C-on. Az állatokat egyedenként dolgoztuk fel, a homogenizált avarmintákból és talajmintákból 0,2 g mennyiségeket használtunk. A mikroelem koncentrációk meghatározását ICP-OES IRIS Intrepid II XSP készülék használatával végeztük el.

Statisztikai módszerek

A mintavételi területek, a hím és nőstény *A. vulgare* egyedek elkülönítésére mikroelem koncentrációk alapján Levene-tesztet, kanonikus diszkriminancia analízist, és varianciaanalízist, szignifikáns különbségek esetén Tukey-tesztet alkalmaztunk. Az értékelést az SPSS PC+ segítségével végeztük.

A futóbogarak mérési adatainak feldolgozását az SPSS PC+ és a CANOCO szoftverekkel végeztük. Levene-tesztet, főkomponens analízist, és varianciaanalízist, szignifikáns különbségek esetén Tukey-tesztet alkalmaztunk, hogy kiderítsük a mintacsoportok, mely módon különböznek egymástól. A testi szimmetriában bekövetkező változások feltárásához Mann-Whitney U tesztet használtunk.

Az *A. vulgare* egyedek esetében FA analízist Palmer (1994) alapján végeztük. Egymintás t-próbát alkalmaztunk a direkcionális aszimmetria tesztelésére. A következő Palmer-féle FA indexet alkalmaztuk: $FA2 = \frac{[J-B]}{[(J+B)/2]}$ a jobb és bal oldali bélyegek mintacsoportonkénti (mintavételi területek és ivar) átlagértékeivel számolva. Varianciaanalízist alkalmaztunk a mintavételi területek, valamint hímek és nőstények közötti különbségek tesztelésére az FA mértéke alapján.

A metaanalízisbe vont szakirodalmi adatok statisztikai értékelése során a kontroll és szennyezett élőhelyekről származó futóbogár mintacsoportok összehasonlítása esetében Hedges-féle g hatásnagyság-értéket számoltunk. Mintacsoporton belüli metaanalízist alkalmaztunk a különböző mértékben szennyezett élőhelyekről származó alcsoportok elkülönítésére. Az élőhelyek szennyezettségének becsléséhez, szennyezettségi indexet (PI) alkalmaztunk (Faiz et al. 2009, Salimen et al. 2006). A teljes hatást, illetve a különböző szennyezettségi szintek egyenkénti hatását véletlenhatás-modellek segítségével vizsgáltuk, valamint kiegészítő heterogenitási vizsgálatokat alkalmaztunk a Q, T2 és I2 értékek meghatározásával (Borenstein et al. 2009). A publikációs torzítás

kiszűréséhez flunnel plot-okat készítettünk és Egger-féle tesztet alkalmaztunk, szignifikáns aszimmetria esetén trim and fill módszert használtunk (Duval & Tweedie 2000, Borenstein et al. 2009). A vizsgálatokat az R 3.2.4. verziója, valamint a MAd és metafor csomagok segítségével végeztük Windows környezetben (Viechtbauer 2010, Del Re & Hoyt 2014, R Core Team 2018).

Új tudományos eredmények

Aramidillidum vulgare egyedek mikroelem tartalmának és morfolometriai paramétereinek változása urbanizációs grádiens mentén

1. Szignifikáns különbségeket csak az *A. vulgare* egyedek Ba és Cu koncentrációja alapján tapasztaltunk a mintavételi területek között.
2. A hím és nőtény egyedek akkumulációs hatékonysága a Ba esetében mutatott eltérést, valamint a nőtények szervezetében szignifikánsan nagyobb Ba koncentrációt tapasztaltunk.
3. A vizsgált mikroelemek közül a Cu esetében bizonyult a talaj és az avar fő expozíciós forrásnak.
4. A bilaterális szervek szimmetria viszonya, és a vizsgált metrikus paraméterek nem változtak szignifikánsan a grádiens mentén.
5. Ivari különbségek a flagellomer és antennomer paraméterek esetében voltak mérhetőek.

Az urbanizáció hatása futóbogarak (Coleoptera: Carabidae) morfolometriai jellemzőire

1. A vizsgált morfolometriai paraméterek alapján szignifikáns különbségeket tapasztaltunk a mintavételi területek között, az eredmények azonban a vizsgált jellegek, futóbogár fajok és az ivarok esetében is variabilitást mutattak a grádiens mentén.

2. Az átlagos elytra hossz csökkent a városi területek irányába a *C. schiedleri*, *C. violaceus* és *P. oblongopunctatus* esetében.
3. A *C. schiedleri*, *C. violaceus* és a *P. oblongopunctatus* esetében a legnagyobb átlagos elytra hosszal a városszéli mintavételi területekről származó egyedek rendelkeztek.
4. A futóbogár fajok nőtény egyedek esetében pedig általánosan nagyobb elytra hossz volt megfigyelhető, a hímekhez viszonyítva.
5. Szignifikáns különbségeket tapasztaltunk a mintavételi területek között az *A. parallelepipedus* tibia hossza, valamint *P. oblongopunctatus* egyedek tibia és femur hossza alapján.
6. Az *A. parallelepipedus* esetében a városi, a *P. oblongopunctatus* esetében a városszéli mintavételi területen volt tapasztalható a legnagyobb átlagos tibia hossz.
7. A femur hossz a nőtény *C. schiedleri* egyedek, valamint a hím *A. parallelepipedus* egyedek esetében volt nagyobb.
8. A vizsgált palpomer paraméterek a városszéli mintavételi területek irányába növekedtek, kivéve a nőtény *C. violaceus* egyedek esetében.
9. A hím egyedek általánosan nagyobb palpomer és antennomer paraméterekkel rendelkeztek, mint a nőtény egyedek.
10. A vizsgált antennomer paraméterek a városszéli és városi mintavételi területek irányába növekedtek az összes vizsgált faj, kivéve a *C. schiedleri* nőtények esetében.
11. A vizsgált morfológiai paraméterek degradációja a legtöbb esetben a városi területekről származó nőtény egyedek esetében figyelhető meg, ezzel ellentétben a hímek paraméterei növekedést mutatnak az urbanizált mintavételi területek irányába.

Futóbogár fajok expozíciófüggő fémakkumulációja a metaanalízis eredményei alapján

1. Eredményeink igazolták, hogy az alacsony és közepes mértékben Cd-, Pb- és Zn-szennyezett környezetben a futóbogarak detoxifikációs mechanizmusai hatékonyabbnak bizonyultak, mint extrém mértékű szennyezettség esetében.
2. A kontroll környezeti feltételekkel összevetve a szennyezett élőhelyekről származó futóbogár egyedek szervezetében nagyobb koncentrációban akkumulálódott Cd, Pb és Zn. Eredményeink a Cd esetében voltak szignifikánsak.
3. A Cu és Mn akkumulációjának mértéke nem mutatott jelentős különbségeket a szennyezett és kontroll területek között.



Nyilvántartási szám: DEENK/245/2020.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Papp Dalma
Neptun kód: BW2TOG
Doktori Iskola: Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10063554

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

1. **Papp, D.**, Mizser, S., Nagy, L., Vidic, A., Simon, E., Tóthmérész, B.: Changes in Morphometric Traits of Ground Beetles Along Urbanization Gradients.
J Insect Sci. 20 (1), 1-9, 2020. ISSN: 1536-2442.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/jisesa/iez127>
IF: 1.325 (2019)
2. Tózsér, D., Magura, T., Simon, E., Mizser, S., **Papp, D.**, Tóthmérész, B.: Pollution intensity-dependent metal accumulation in ground beetles: a meta-analysis.
Environ. Sci. Pollut. Res. 26 (31), 32092-32102, 2019. ISSN: 0944-1344.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-019-06294-5>
IF: 3.056
3. **Papp, D.**, Simon, E., Nagy, L., Mizser, S., Tóthmérész, B.: The Effect of Urbanization on Trace Element Concentration and Symmetry of Woodlice (*Armadillidium vulgare* Latreille, 1804).
Biol. Trace Elem. Res. 189 (1), 251-258, 2019. ISSN: 0163-4984.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12011-018-1454-3>
IF: 2.639

A közlő folyóiratok összesített impact faktora: 7,02

A közlő folyóiratok összesített impact faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 7,02

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

Debrecen, 2020.08.26.



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

**Impact of urbanization on morphometric parameters
and trace element concentrations of arthropods**

by: **Dalma Papp**

Supervisor: Dr. Edina Kundrať-Simon



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Doctoral School of Pál Juhász-Nagy

Debrecen, 2020

Impact of urbanization on morphometric parameters and trace element concentrations of arthropods

Introduction

Human activities have significant impact on terrestrial ecosystems. A wide variety of emitted substances (mostly trace elements) directly and indirectly influences abiotic and biotic factors (Gál et al. 2008). In addition, unfavorable climatic conditions, increasing traffic density and build-up rate, habitat fragmentation, and isolation can also result specific changes in habitat quality and pose environmental stress (Saunders et al. 1991, Ikeda 2006). The influence can be detected at moderate levels such as changes in trace element concentrations, life cycle and reproduction, as well as morphometry of bioindicator organisms (Peakall 1992, Eeva et al. 2000). Arthropod species, including woodlice and ground beetles are sensitive indicators of biotic and abiotic stress (Zödl & Wittmann 2003). Due to their life cycle, high density and variability, they are widely used indicators in environmental risk assessments (Hopkin et al. 1993, Zödl & Wittmann 2003, Magura et al. 2010, Sukhodolskaya 2013). Earlier studies proved that negative effects of urbanization were detectable based on the amount of trace elements in woodlice and ground beetles (Witzel 2000, Skalski et al. 2010, Godet et al. 2011, Simon et al. 2016); furthermore, morphological traits and symmetry of the individuals' body can be influenced by environmental stress (Palmer & Strobeck 1992, Jones & Hopkin 1998, Ribrera et al. 2001, Weller & Ganzhorn 2003). Thus, woodlice and ground beetles as bioindicators may be useful in urbanized areas by indicating anthropogenic effects.

Aims and hypotheses

We tested the effects of urbanization on Ba, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn concentrations and symmetry of *Armadillidium vulgare* (Crustacea: Isopoda) specimens along an urbanization gradient in and around Debrecen city, Hungary. We hypothesized that (1) microelement concentrations of specimens are significantly higher in urbanized areas, (2) males and females have different accumulation efficiency and (3) the bioaccumulation factor (BAF) values reflect the accumulation pathway of trace elements along soil, leaf litter and woodlice. It was also hypothesized that (4) body size and FA of woodlice are changing along an urbanization gradient.

To assess the effect of urbanization on morphometrical parameters of ground beetles we studied the morphometric characters of *Abax parallelepipedus*, *Pterostichus oblongopunctatus* (Pterosticini tribus), *Carabus scheidleri* and *Carabus violaceus* (Carabini tribus) along urbanization gradients in and around the cities of Vienna (Austria) and Debrecen (Hungary). We hypothesized that (1) the tested morphometric traits would change under different levels of anthropogenic stress along the gradients, (2) the size of the measured traits would be different for males and females, and (3) the size of the affected traits would decrease towards urban areas, (4) the symmetry of bilateral traits would be affected by urbanization.

By studying ground beetle species as model organisms we tested our pollution intensity-dependent disposal hypothesis in the cases of five potential pollutants (Cd, Cu, Mn, Pb and Zn) among four soil pollution intensity levels (low, moderate, high, and extreme) using categorical meta-analysis on published data. We hypothesized that (1) decontamination and excretion of pollutants in ground beetles are effective in lowly or moderately polluted habitats, while in (2) highly or extremely polluted habitats disposal is restricted, contributing to intense accumulation of pollutants in ground beetles.

Materials and methods

Study area and sampling design

A. vulgare individuals were collected along an urban-suburban-rural gradient from three forested areas in and around Debrecen city (Hungary). In each sampling sites, 20 live-capture traps were used, and it was emptied in every third day from April to October in 2012. At each study area three bulk soil and leaf litter samples were collected in each time.

Sampling areas of ground beetle collection were located in and around the cities of Vienna (Austria) and Debrecen (Hungary) similarly to the globenet protocol (Niemelä et al. 2000). We used an identical sampling design in both countries; based on Simon et al. (2013, 2016). Along the gradients three areas were selected with increasing levels of urbanization: rural, suburban, and urban. Four spatial replicates (sites) were selected within each sampling area. In each site, 20 traps were used from May to August in 2010. *A. parallelepipedus* (Pterostichini tribus) and *C. scheidleri* (Carabini tribus) specimens collected in and around the city of Vienna. *C. violaceus* (Carabini tribus) and *P. oblongopunctatus* (Pterostichini tribus) specimens collected in and around Debrecen city.

Literature search and data selection for meta-analysis

Data were collected by a literature search on Web of Science for the period 1975–2018. The following search terms were used: TOPIC = (metal) AND TOPIC = (accumulat* OR stor* OR accru* OR collect* OR aggregat* OR accret* OR buil* OR grow* OR inflat* OR add*) AND TOPIC = (carabid* OR ground beetle*). For further, relevant publications, we revised the references of publications resulted in the search. To be suitable for the meta-analysis, publications had to publish metal (Cd, Cu, Mn, Pb, and Zn)

concentrations (\pm SD with sample sizes) in one or more ground beetle species reared/found in unpolluted (control) vs. polluted habitats, and soil metal concentrations.

Measurement of morphometric parameters

In *A. vulgare* individuals the following metric traits were measured: the length of two segments of the antennal flagellum, and one antennomer of the antennae, the body length and the width of the 3rd segment of pereon (Schmölzer 1965; Farkas 2013).

The following metric traits were measured in all ground beetle species studied (Elek et al. 2014): the lengths of the right and second, third, and fourth segments of the antennae, the lengths of the first femora, the first tibiae, and the lengths of the elytra (inner edges). The lengths of the second palpomer, the lengths and widths of the third palpomer of the right and left maxillary palpus; the distance between the two extreme setae on the first palpomer; and the widths and lengths of the second palpomer of the right and left labial palpus were measured in *A. parallelepipedus*, *C. scheidleri*, and *C. violaceus*.

Photos of woodlice and ground beetle individuals were taken using a digital camera (Olympus C-7070) assembled to a stereomicroscope (Olympus SZX7). The measurement of the body parts was repeated three times and it was performed by WinImag 1.0 data acquisition system.

Trace element analysis of A. vulgare samples

The samples were digested based on the method of Braun et al. (2009, 2012) and Simon et al. (2011, 2017). *A. vulgare* individuals were dried overnight at 105 °C at 24h. For elemental analysis, 0.2 g of soil and leaf samples was used. After drying the material was digested using 2 mL 65% (m/m) nitric acid and 0.5 ml 30% (m/m) hydrogen-peroxide. Digested samples were diluted to 20 mL using a 1% (m/m) nitric acid. Analysis of the elements was performed by ICP-OES IRIS Intrepid II XSP.

Statistical methods

We used the SPSS/PC+ software during the calculations based on the data of trace element analysis of *A. vulgare* samples. The homogeneity of variances was tested by Levene test. CDA was used to test the separation of the sampling areas based on the elemental concentrations of individuals. GLM was used to test the differences between males and females. In case of significant differences, Tukey's test was used.

In ground beetles SPSS/PC+ and CANOCO program packages were used during the statistical analyses of measurement data. The homogeneity of variances was tested by Levene's test. PCA was used to explore the differences in the measured traits. Generalized GLM was used to test the differences in the morphological traits of the studied ground beetle species in the studied areas, and the sex of the specimens, and for the interaction analysis between urbanization and sex. Asymmetry was tested by the Mann–Whitney U test.

During the FA analysis, the work of Palmer (1994) was followed. Directional asymmetry was tested by one-sample t test. We calculated size corrected and unsigned FA index ($FA = |R-L| / \text{mean} [(R+L)/2]$). We tested differences in FA index by GLM with habitats and sex as fixed factors.

In meta-analysis for each unpolluted-to-polluted comparison, a common effect size, Hedges' g was calculated between unpolluted and polluted ground beetle groups. A negative g value refers to higher metal concentration in ground beetles from polluted than from unpolluted soil. We used subgroup meta-analysis to determine whether metal accumulation was similar among the differently polluted habitats. Pollution levels were determined by the calculation of the pollution index (PI). We estimated the overall effect and examined the effects of moderators (pollution levels) using a random-effects model (Borenstein et al. 2009). To assess the heterogeneity of effects between studies, complementary measures of heterogeneity, Q , T^2 , and I^2 , were calculated (Borenstein et al. 2009). We tested publication bias by using funnel plots and Egger's test (Borenstein et al. 2009). By significant asymmetry, we used the trim-and-fill method (Duval & Tweedie 2000). Meta-analyses, heterogeneity measures, and assessment of publication bias were completed by the MA and metafor packages (Viechtbauer 2010; Del Re and Hoyt 2014) operated in the R version 3.5.0 (R Core Team 2018).

Novel scientific findings

*Impact of urbanization on trace element concentration and symmetry of woodlice (*Armadillidium vulgare* Latreille, 1804)*

1. We found significant differences in Ba and Cu concentration of woodlice along the urbanization gradient.
2. Our study demonstrated that Ba concentration was higher in females, than in males.
3. BAF values indicated that *A. vulgare* accumulated Cu from soil and leaf litter.

4. We found significant differences between males and females based on parameters of flagellomers and antennomers.
5. Urbanization had no effect on woodlice morphometry and symmetry along the gradient.

Impact of urbanization on morfometric traits of ground beetles (Coleoptera: Carabidae)

1. We found significant differences among urban, suburban, and rural areas in the parameters of antennomers, labial palpus, maxillary palpus, the length of femur, tibia and elytra of the carabids.
2. We also found significant differences between males and females based on the parameters of antennomers, labial palpus, maxillary palpus, femur, tibia and elytra.
3. Interaction between urbanization and sex was found in the case of antennomers, maxillary palpus, labial palpus, femur, tibia and elytra.
4. The morphometric parameters of females reduced, while the parameters of males were increased towards the urbanized areas.
5. Significant asymmetry was found in maxillary palpus and labial palpus for all tested species along the gradient.

Accumulation of metals in ground beetles – a meta-analysis

1. We found that detoxification mechanisms of ground beetles were significantly more effective in low and moderate pollution levels, than in extremely polluted habitat.
2. In extremely polluted habitats the accumulation of Cd, Pb, and Zn in ground beetles was significantly higher than in lowly polluted ones.
3. In our study the pollution level of habitat had no effect on accumulation pattern of Cu és Mn.

Irodalomjegyzék / References

- Borenstein, M., Hedges, L.V., Higgins, J.P.T. & Rothstein, H.R. 2009: Introduction to meta-analysis. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK.
- Braun, M., Simon, E., Fábíán, I. & Tóthmérész, B. 2009: The effects of ethylene glycol and ethanol on the body mass and elemental composition of insects collected with pitfall traps. *Chemosphere* 77: 1447–1452.
- Braun, M., Simon, E., Fábíán, I. & Tóthmérész, B. 2012: Elemental analysis of pitfall-trapped insect samples: effect of ethylene glycol grades. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 143: 89–94.
- Ciadamidaro, L., Puschenreiter, M., Santner, J., Wenzel, W.W., Madejón, P. & Madejón, E. 2017: Assessment of trace element phytoavailability in compost amended soils using different methodologies. *Journal of Soils and Sediments* 17: 1251–1261.
- Del Re, A.C. & Hoyt, W.T. 2014: MAd: Meta-analysis with mean with mean differences. R package version 0.8-2. URL: <http://cran.r-project.org/web/packages/MAd>.
- Duval, S. & Tweedie, R. 2000: Trim and fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics* 56: 455–463.
- Eeva, T., Tanhuanpää, S., Råbergh, C., Airaksinen, S., Nikinmaa, M. & Lehikoinen, E. 2000: Biomarkers and fluctuating asymmetry as indicators of pollution-induced stress in two hole-nesting passerines. *Functional Ecology* 14: 235–243.

- Elek, Z., Lövei, G.L. & Bárti, M. 2014: No increase in fluctuating asymmetry in ground beetles (Carabidae) as urbanisation progresses. *Community Ecology* 15: 131–138.
- Faiz, Y., Tufail, M., Javed, M.T., Chaudhry, M.M. & Siddique, N., 2009: Road dust pollution of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn along Islamabad Expressway, Pakistan. *Microchemical Journal* 92: 186–192.
- Farkas, S. & Vilisics, F. 2013: Magyarország szárazföldi ászkarák faunájának határozója (Isopoda: Oniscidea). *Natura Somogyiensis* 23: 89–124.
- Gál, J., Markiewicz-Patkowska, J., Hursthouse, A. & Tatner, P., 2008: Metal uptake by woodlice in urban soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 69: 139–149.
- Godet, J.P., Demuynck, S., Waterlot, C., Lemièrre, S., Souty-Grosset, C., Scheifler, R., Douay, F., Leprêtre & A., Pruvot, C. 2011: Growth and metal accumulation in *Porcellio scaber* exposed to poplar litter from Cd-, Pb-, and Zn-contaminated sites. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74: 451–458.
- Hopkin, S.P., Jones, D.T. & Dietrich, D. 1993: The isopod *Porcellio scaber* as a monitor of the bioavailability of metals in terrestrial ecosystems: towards a global ‘woodlouse watch’ scheme. *Science of the Total Environment* 134: 357–365.
- Ikeda, H., Homma, K. & Kubota, K. 2006: Body sizes of some carabid beetles on Sado Island, Japan, compared with the mainland. *Biogeography* 8: 11–16.
- Jones, D.T. & Hopkin, S.P. 1998: Reduced survival and body size in terrestrial isopod *Porcellio scaber* from a metal-polluted environment. *Environmental Pollution* 90: 215–233.

- Niemelä, J., Kotze, J., Ashworth, A., Brandmayr, P., Desender, K., New, T., Penev, L., Samways, M. & Spence, J. 2000: The search for common anthropogenic impacts on biodiversity: a global network. *Journal of Insect Conservation* 4: 3–9.
- Magura, T., Lövei, G.L. & Tóthmérész, B. 2010: Does urbanization decrease diversity in ground beetle (Carabidae) assemblages? *Global Ecology and Biogeography* 19: 16–26.
- Palmer, A.R. 1994: Fluctuating asymmetry analyses: a primer. In: Markow TA (ed) *Developmental instability: its origins and evolutionary implications*. Kluwer, Netherlands, pp 335–364.
- Palmer, A.R. & Strobeck, C. 1992: Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: implications of non-normal distributions and power of statistical tests. *Acta Zoologica Fennica* 191: 57–72. Palmer, A.R. 1996: Waltzing with asymmetry. *BioScience* 46: 518–532.
- Peakall, D. 1992: *Animal Biomarkers as Pollution Indicators*. Chapman & Hall, London.
- R Core Team. 2018: R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>
- Ribrera, I., Doledec, S., Downie, I.S. & Foster, G.N. 2001: Effect of land disturbance and stress on species traits of ground beetle assemblages. *Ecology* 82: 1112–1129.
- Salimen, R., Plant, J. & Reeder, S. 2006: *Geochemical atlas of Europe. Part 1, Background information, methodology and maps*. Espoo, Finland, Geological Survey of Finland.

- Saunders, D.A., Hobbs, R.J. & Margules, C.R. 1991: Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology* 5: 18–32.
- Schmölzer, K. 1965: Ordnung Isopoda (Landasseln). Bestimmungsbücher zur Bodenfauna Europas, Akademie Verlag, Berlin.
- Shingleton, A.W., Frankino, W.A., Flatt, T., Nijhout, H.F., & Emlen, D.J. 2007: Size and shape: the developmental regulation of static allometry in insects. *Bioessays* 29: 536–548.
- Simon, E., Braun, M., Vidic, A., Bogyó, D., Fábíán, I. & Tóthmérész, B. 2011: Air pollution assessment based on elemental concentration of leaves tissue and foliage dust along an urbanization gradient in Vienna. *Environmental Pollution* 159: 1229–1233.
- Simon, E., Vidic, A., Braun, M., Fábíán, I. & Tóthmérész, B. 2013: Trace element concentrations in soils along urbanization gradients in the city of Wien, Austria. *Environmental Science and Pollution Research* 20: 917–924.
- Simon, E., Harangi, S., Baranyai, E., Braun, M., Fábíán, I., Mizser, Sz., Nagy, L. & Tóthmérész, B. 2015: Distribution of toxic elements between biotic and abiotic components of terrestrial ecosystem along an urbanization gradient: Soil, leaf litter and ground beetles. *Ecological Indicators* 60: 258–264.
- Simon, E., Harangi, S., Baranyai, E., Braun, M., Fábíán, I., Mizser, Sz., Nagy, L. & Tóthmérész, B. 2016: Distribution of toxic elements between biotic and abiotic components of terrestrial ecosystem along an urbanization gradient: Soil, leaf litter and ground beetles. *Ecological Indicators* 60: 258–264.
- Simon, E., Kis, O., Jakab, T., Koložsvári, I., Málnás, K., Harangi, S., Baranyai, E., Miskolczi, M., Tóthmérész, B. & Dévai, G.

- 2017: Assessment of contamination based on trace element concentration of dragonfly larvae in the Upper Tisza Region. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 13: 55–61.
- Skalski, T., Stone, D., Kramarz, P. & Lakowski, R. 2010: Ground beetle community responses to heavy metal stress. *Baltic Journal of Coleopterology* 10: 1–12.
- Sukhodolskaya, R. 2013: Intraspecific body size variation in ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in urban – suburban – rural – natural gradient. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis* 13: 121–128.
- Touceda-González, M., Prieto-Fernández, A., Renella, G., Giognoni, L., Sessitsch, S., Brader, G., Kumpiene, J., Dimitriou, I., Eriksson, J., Friesl-Hanl, W., Galazka, R., Janssen, J., Mench, M., Müller, I., Neu, S., Puschenreiter, M., Siebelec, G., Vangronsveld, J. & Kidd, P.S. 2017: Microbial community structure and activity in trace element-contaminated soils phytomanaged by Gentle Remediation Options (GRO). *Environmental Pollution* 231: 237–251.
- Viechtbauer, W. 2010: Conducting meta-analyses in R with the metafor package. *Journal of Statistical Software* 36: 1–48.
- Weller, B. & Ganzhorn, J.U. 2004: Carabid beetle community composition, body size, and fluctuating asymmetry along an urban-rural gradient. *Basic and Applied Ecology* 5: 193–201.
- Witzel, B. 2000: The influence of zinc on the uptake and loss of cadmium and lead in the woodlouse, *Porcellio scaber* (Isopoda, Oniscidea). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 47: 43–53.

Zödl, B. & Wittmann, K.J. 2003: Effects of sampling, preparation and defecation on metal concentrations in selected invertebrates at urban sites. *Chemosphere* 52: 1095–1103.

Papp Dalma publikációi / Publications of Dalma Papp

Impakt faktorral rendelkező, angol nyelvű közlemények / Papers with impact factor in English

Papp, D., Mizser, Sz., Nagy, L., Vidic, A., Simon, E. & Tóthmérész, B. 2020: Changes in morphometric traits of ground beetles along urbanization gradients. *Journal of Insect Science* 20: 1–9.

IF: 1.446 (2018)

Tózsér, D., Magura, T., Simon, E., Mizser, Sz., **Papp, D.** & Tóthmérész, B. 2019: Pollution intensity-dependent metal accumulation in ground beetles: a meta-analysis. *Environmental Science and Pollution Research* 26: 32092–32102.

IF: 2.914 (2018)

Papp, D., Simon, E., Nagy, L., Mizser, Sz. & Tóthmérész, B. 2019: The effect of urbanization on trace element concentration and symmetry of woodlice (*Armadillidium vulgare* Latreille, 1804). *Biological Trace Element Research* 189: 251–258.

IF: 2.431 (2018)

Konferenciák / Conferences

Papp, D., Simon, E., Mizser, Sz., Nagy, L., Vidic, A. & Tóthmérész, B. Toxikus környezet hatásának vizsgálata ízeltlábú szervezetek morfológiai jellemzőire és elemösszetételére. VIII. Ökotoxikológiai Konferencia, Budapest, 2018. november 23.

Papp, D., Mizser, Sz., Nagy, L., Vidic, A., Simon, E. & Tóthmérész, B. Urbanizáció hatása futóbogarakra: morfológiai elemzés. XI. Magyar Ökológus Kongresszus, Nyíregyháza, 2018. augusztus 28-30.

Tóthmérész, B., **Papp D.**, Nagy, L., Mizser, Sz. & Simon, E. Urbanization and trace element concentration of woodlice (*Armadillidium vulgare* Latreille, 1804). XIV. Central European Workshop on Soil Zoology, České Budějovice, 2018. április 16-18.

Mizser, Sz., Tózsér, D., Magura, T., **Papp, D.**, Simon, E. & Tóthmérész B. Accumulation of metals in ground beetles – a meta-analysis. XIV. Central European Workshop on Soil Zoology, České Budějovice, 2018. április 16-18.

Papp, D., Tóthmérész, B., Nagy, L., Mizser, Sz. & Simon, E. Urbanization and trace element concentration of woodlice (*Armadillidium vulgare* Latreille, 1804). VI. Kárpátok Eurorégió Környezetvédelmi Nemzetközi Konferencia, Beregszász, 2017. március 30.



Registry number: DEENK/245/2020.PL
Subject: PhD Publikációs Lista

Candidate: Dalma Papp
Neptun ID: BW2T0G
Doctoral School: Pál Juhász-Nagy Doctoral School of Biology and Environmental Sciences
MTMT ID: 10063554

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (3)

1. **Papp, D.**, Mizser, S., Nagy, L., Vidic, A., Simon, E., Tóthmérész, B.: Changes in Morphometric Traits of Ground Beetles Along Urbanization Gradients.
J Insect Sci. 20 (1), 1-9, 2020. ISSN: 1536-2442.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/jisesa/iez127>
IF: 1.325 (2019)
2. Tózsér, D., Magura, T., Simon, E., Mizser, S., **Papp, D.**, Tóthmérész, B.: Pollution intensity-dependent metal accumulation in ground beetles: a meta-analysis.
Environ. Sci. Pollut. Res. 26 (31), 32092-32102, 2019. ISSN: 0944-1344.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-019-06294-5>
IF: 3.056
3. **Papp, D.**, Simon, E., Nagy, L., Mizser, S., Tóthmérész, B.: The Effect of Urbanization on Trace Element Concentration and Symmetry of Woodlice (*Armadillidium vulgare* Latreille, 1804).
Biol. Trace Elem. Res. 189 (1), 251-258, 2019. ISSN: 0163-4984.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12011-018-1454-3>
IF: 2.639

Total IF of journals (all publications): 7,02

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 7,02

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.



26 August, 2020

