

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**ROVE BEETLE (COLEOPTERA: STAPHYLINIDAE)
ASSEMBLAGES IN HUMAN MODIFIED FOREST HABITATS**

**HOLYVAEGYÜTTESEK (COLEOPTERA: STAPHYLINIDAE)
VIZSGÁLATA EMBER ÁLTAL ÁTALAKÍTOTT
ÉLŐHELYEKEN**

Nagy D. Dávid

Témavezető
Dr. Tóthmérész Béla
egyetemi tanár



DEBRECENI EGYETEM
Természettudományi Doktori Tanács
Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola
Debrecen, 2015

1. Introduction

The increasing of human population is typical worldwide (United Nations 2012). Urbanization results a gradient from the rural area characterized by low human disturbance and high naturalness to the densely built-up urban area and greatly disturbed by human activities (McIntyre, 2000). The GlobeNet project (Global Network for monitoring landscape change) is a global network to study the effect of urbanization on soil invertebrates (Niemelä et al., 2000). The protocol was built on ground beetles.

The increasing of human activities associated with altered landscape management can significantly change the original habitats. The intensive forest management is one of the most dangerous activities on the pattern and structure of natural landscape. The extent of planted forests is increased by 5 million hectares in every year in the world. In Europe there were more, than 59 million hectares forested areas in 2010 and 12% of these areas were planted by non-native tree species (FAO, 2010). In Hungary, the ratio of non-native tree species is 37% of the planted areas (Wisnovszky, 2014). The plantation of non-native tree species and the associated forest management practices can change the abiotic and biotic environmental variables of the natural habitats (Mátyás, 1996). Moreover, several microhabitats and substrate materials are eliminated during the establishment of plantations (Paillet et al., 2010). In order to conserve biodiversity it is necessary to know more details about the effects of reforestation with non-native tree species and the possible minimalization of its effects.

Intensive forest management causes changes in dynamic and ecological patterns of landscape and create fragmented habitats with specific transition zone (forest edge) between the adjoining forest and grassland habitat patches (Tóthmérész et al., 2014). Forest edges can function as a shelter (source habitat or stepping-stone) when the adjoining habitats become unfavourable for organisms (den Boer,

1981; Pulliam, 1988). Furthermore some species can associate with specific conditions of edges (edge-associated species) and generally they can be found in the edge and they are not present in the adjoining habitats (Magura et al., 2001). The edge-effect hypothesis assumes that the forest edge can maintain higher diversity compare to adjoining habitats (Tóthmérész et al. 2014). The number of forest edges increases and the landscape becomes more mosaic with smaller, homogenous patches due to fragmentation casing by the increasing human activities. Impacts of fragmentation caused by intensive forest management change the abiotic and biotic conditions of natural habitats and these have drastic effects on the flora and fauna (Ries et al., 2004). Therefore, better understanding of ecological functions of natural forest edges could be useful for creating suitable edge structure for conserving biodiversity in the intensive managed forests.

The family of rove beetles is one of the largest, cosmopolitan families of beetles, with more than 46,200 species worldwide (Newton et al., 2001). Several species are predators or parasitoids of other arthropods, but some species are specialized in the utilization of other food resources (decaying materials, pollen, fungi and alga) (Pohl et al., 2008). They have important ecological roles in the nutrient cycling and ecosystem productivity (Seevers & Herman, 1978), which may affect the ecosystems services and the human well-being (Pejchar & Mooney, 2009). Rove beetles are positive from an investigational point of view; they are diverse and abundant and they can be found practically in all ecosystem types (except open water surface and areas above the snowline). Furthermore, they are taxonomically and ecologically well-known and they respond sensitively to abiotic and biotic changes and human disturbance (Boháč, 1999; Magura et al., 2013). These properties mean that this taxon is especially useful for ecological monitoring such as bioindicators (Boháč, 1999).

In the dissertation I studied the following questions:

- (i) The effects of urbanization on rove beetle assemblages along an urbanization gradient.
- (ii) The effects of reforestation with non-native tree species on rove beetle assemblages.
- (iii) The effects of forest edge on the rove beetle assemblages.

2. Material and methods

2.1. Sampling design along the urbanization gradient

The study area was in and around the city of Debrecen, Hungary. Three forested sampling areas (*Convallario-Quercetum roboris*), representing rural, suburban and urban habitats, were selected along rural-urban gradient running from the adjacent Nagyerdő Forest Reserve to the city.

Two sites, at least 100 m apart, were selected within each of the three sampling areas. Rove beetles were collected using ten unbaited pitfall traps placed randomly at least 10 m apart from each other at each site. This resulted in a total of 60 traps; there were 10 traps in two replicated forest stands at each stage of the gradient (3 habitat types $\times$ 2 spatial replicates $\times$ 10 samples). Pitfall traps were plastic cups containing about 100 ml of 4% formaldehyde as a killing - preserving solution. Traps were covered by a square of fiberboard to minimize the accumulation of litter and rain. Rove beetles species were collected fortnightly from the end of April to the end of October 2009. Rove beetle species were classified according to their habitat affinity and ecological demands based on Koch (1989) and Stan (2008).

2.2. Sampling design in native and non-native plantations

The study area was in the northern part of Debrecen (Eastern Hungary) in the Nagyerdő Forest Reserve. Rove beetle assemblages of five habitat types were studied: (1) More than 100 years old native mature oak forest as control area. (2) 40-years-old native English oak

plantation established instead of mature lowland oak forest stands by planting acorns (3) 30-years-old black locust plantation created after clear-cutting of native lowland oak forest stands. (4) 39-years-old Scots pine plantation established instead of clear-cut lowland oak forest stands. (5) 31-years-old red oak plantation created after clear-cutting of native oak forest. In the course of the forest management the fallen, decaying woods were removed from plantations.

Rove beetles were collected at each stand using leaf litter sifter. Overall there were 50 litter sifter samples (5 habitat types $\times$ 2 spatial replicates $\times$ 5 samples). Sifted litter samples were collected every third week in a month from April to October in 2011. Rove beetle species were classified according to their ecological demands based on Koch (1989). The saprophilous, coprophilous and xylo-detriticol species were classified into the decaying material dependent species group. Moreover, eight environmental factors were measured, which can affect the diversity of rove beetles.

2.3. Sampling design in forest edge study

The research area was in the Hajdúság Landscape Protection Area (NE Hungary) in a lowland oak forest interior, forest edge and grassland habitat complex. Three habitat types were studied: (1) forest interior - a closed oak forest with thick litter, herb and shrub layer and 85-95% canopy cover; (2) forest edge - a shrubby forest edge with increased ground vegetation and shrub layer; and (3) grassland - mesophilous grassland with dense herbaceous vegetation.

Rove beetles were collected using pitfall traps containing about 100 ml of 70% ethylene-glycol as a killing-preserving solution. Ten traps were placed in parallel lines to the edge in every habitat type. There were 60 traps altogether (3 habitat types $\times$ 2 spatial replicates $\times$ 10 traps). The traps were emptied every fourth week from the beginning of May to the end of October 2009.

2.4. Statistical analysis

For the statistical analysis the catches per trap or per litter samples were pooled for the whole year. Generalized Linear Models (nested and factorial) were used to test differences in the number of rove beetle individuals and species and the number of specialist individuals and species between the habitat types. Multiple regression analysis was used to analyse the relationship between the eight environmental variables and the number of rove beetle individuals and species. Similarity of the species composition was displayed by multidimensional scaling (using Bray-Curtis and Rogers-Tanimoto indices of dissimilarity) and principal coordinates analysis (using Bray-Curtis index of dissimilarity). IndVal (Indicator Value) method was used to explore the characteristic species of the grassland, forest edge and forest habitats (using Monte Carlo permutation test). Calculations were performed by the ArcGIS, IndVal 2.0, PAST 3.01, STATISTICA 8.0 and NuCoSA 1.05 software packages (Tóthmérész, 1993).

3. Results and discussion

3.1. *Effect of urbanization on rove beetles*

Effects of urbanization on rove beetle assemblages were studied along a forested rural-suburban-urban gradient in Hungary using the GlobeNet protocol. The species richness of rove beetles was significantly increased with decreasing urbanization, thus the results supported the increasing disturbance hypothesis. Species composition of rove beetle assemblages changed remarkably along the studied rural-suburban-urban gradient, something that is likely to reflect disproportionate effects on species associated with organic matter and the degree of openness in forest habitats. However, some groups of species may decline with the habitat loss, while other species may colonize the urban habitats due to the disturbance and habitat alteration caused by urbanization. Thus, it seems that the

overall species richness itself is not easily interpreted as an indicator of the impacts of urbanization and accompanying disturbance. Impacts on species with different habitat affinity and ecological demands should be analyzed separately to better interpret the effects of urbanization (Magura et al., 2013).

The number of forest associated rove beetle species was significantly lower in the heavily disturbed urban area compared to the moderately and minimally disturbed suburban and rural area. The result suggests that forest specialist species require a particular kind of environmental heterogeneity associated with the provision of favorable microclimate, dead and decaying trees, and significant cover of leaf litter and vegetation, as in an undisturbed forest habitat (Magura et al., 2013).

Urbanization radically alters the original habitat, the urban forest patches become more open, drier and warmer compared to the suburban and rural ones (Magura et al., 2013). Therefore, the richness of hygrophilous species was the highest in the rural area, while the richness of thermophilous species was the highest in the urban area. Intensity of urbanization is a function of disturbance and the structural simplification of remaining habitat by management practices that remove not only the dead woody, herbaceous and decaying material, but the living trees, shrubs and herbs. Decaying materials provide favorable microclimate, shelter against predators, and sites suitable for feeding, aestivation, hibernation, overwintering, egg and larval development of rove beetles (Boháč, 1999; Magura et al., 2013). In the present study, reductions in coarse woody material and litter doubtlessly were associated with decreasing of the species richness using decaying material as habitat (saprophilous species and phytodetriticol species). The results suggest that dense decaying litter, plant and woody debris promote the establishment and maintenance of species rich assemblages.

Myrmecophilous rove beetles are specialized predators that eat ants or saprophages living on waste in or near ant nests (Boháč, 1999). Vepsäläinen et al. (2008) reported decreased ant species

richness in urban areas relative to surrounding rural areas, and that the decline varied directly with the degree of the urbanization. Therefore, the impoverishment of the myrmecophilous rove beetle species in the urban forest patches was expected. The results supported the myrmecophilous species hypothesis, which assumes the number of myrmecophilous species is lower in the disturbed urban areas than in the rural ones (Magura et al., 2013).

Mycetophilous rove beetles live in or near fungi (Boháč, 1999). Fungi are sensitive to environmental changes, specialized in substrate requirements, and depend on decomposing organic plant material as their living substrate (Rayner & Boddy, 1988). Thus, urbanization is associated with decreases in abundance and species richness in urban areas (McDonnell et al., 1997). In consequence of the impoverishment of fungi at the urban forest patches, the hypothesis assumed significant decrease of the mycetophilous rove beetle species along the rural-urban gradient (Magura et al., 2013).

3.2. Effect of reforestation with native and non-native tree species on rove beetle assemblages

The results pointed out that there were dramatic changes in the diversity and composition of rove beetles due to the establishment of non-native plantations. Moreover, the results demonstrated that reforestation with native oak more suitable habitat for rove beetles compared to the non-native ones.

Despite the fact that the number of rove beetle individuals and species showed increase in the native oak plantation compared to non-native ones, these were still significantly the highest in the mature oak forest. Thus, the results did not suggest that rove beetle assemblages altered drastically by clear-cutting recovered after 40 years of the reforestation with native tree species. However, it seems that native plantation ensure more suitable conditions for rove beetles than non-native ones.

In the study the number of hygrophilous species and their abundance were significantly the lowest in the non-native

plantations. These species rather associated with lower under light and moister conditions. However, the heavy site preparation and post-treatments drastically modify the environmental conditions of original habitats, which do not support the colonization of the hygrophilous rove beetles in plantations.

Response of decaying material dependent species, which strongly depended on decaying materials (dead woods, fungi, feces) was also separately examined. The results showed that their individual number and species richness were significantly higher in the mature oak forest stands than in the plantations. In the plantations the litter, humus and large pieces of dead woods were eliminated by forest treatments. Thus, the decaying materials were fresher and fewer. Contrarily, in the mature oak forest there were ample decayed materials contributing to the diversity of the decaying material dependent species.

Multiple regression analysis showed that the cover of herbs and shrubs, the soil pH and soil temperature were the most important factors controlling the spatial distribution of rove beetles. Moreover, there was no significant correlation between the cover of decaying wood materials, litter and canopy, soil moisture and the abundance and species richness of rove beetles.

Results of the non-metric multidimensional scaling also highlighted that the rove beetles did not recover in the native and non-native plantations after 30-40 years of establishment. The structure of understory vegetation and environmental conditions differed between the studied habitats, which resulted in characteristic rove beetle assemblages. The recovery time of rove beetles may be attributed to the fact that the recovery of rove beetles with specific environmental and ecological demands may be longer.

The results demonstrated that the reforestation of the native oak forest stands with non-native tree species had a harmful effect on rove beetle assemblages. The establishment of non-native plantations and the related treatments changed the original habitat and caused reduction in the total number of rove beetle individuals and species.

The degradation of natural habitats reduces and slows down the nutrients cycling and decomposition succession processes (Jha et al., 1992). Thus, these factors could significantly influence the number of the specialist species in the non-native plantations.

3.3. *Effect of forest edge on rove beetle assemblages*

In this study the role of forest edge in the maintenance of rove beetle diversity in oak forest interior-forest edge-grassland habitat complex was investigated. The results showed that the total number of individuals was significantly lower in the grassland than in the edge and forest interior. Overall species richness of rove beetles was not significantly higher in the forest edge than in the forest interior.

The composition of rove beetle assemblages slightly changed from the forest interior to the edge and drastically changed in the grassland. The PCoA ordination showed that the grassland assemblage separated from the forest interior and edge assemblages along the first axis. Thus, the composition of assemblages of forest interior and edge was more similar to each other than to the grassland.

The ordination and the IndVal method demonstrated that distinct species assemblages occurred in each of the three habitats: (1) forest specialist species (*Oxypoda acuminata*, *Othius punctulatus* and *Sepedophilus marshami*), (2) edge-associated species (*Tasgius winkleri*, *Falagrioma thoracica*, *Tasgius melanarius*, *Olophrum assimile*, *Platydracus fulvipes*, *Pella limbatus*, *Quedius limbatus* and *Oxypoda longipes*), (3) open-habitat species (*Staphylinus caesareus*, *Tasgius pedator*, *Philonthus concinnus* and *Philonthus coruscus*).

Based on the results of IndVal analysis several rove beetle species characteristic of the forest interior and open habitat (*Oxypoda acuminata*, *Othius punctulatus*, *Sepedophilus marshami*, *Tasgius pedator*, *Drusilla canaliculata*, *Quedius molochinus* and *Falagria sulcatula*) were also present in the forest edge. The edge-associated species and the species from the surrounding habitats contribute to the increased diversity of ground-dwelling

beetles in the forest edge. The species richness of rove beetles showed no significant difference between the forest interior and the edge. However, based on the results of the IndVal analysis some species were significantly associated with the forest edge, which indicates an edge effect. Forest edges have distinctive structure and microclimate, thus rove beetles can provide suitable sites for life cycle and feeding to the edge-associated species.

4. Conclusions

The results showed that the overall species richness is not a sufficient indicator of urbanization and its accompanying disturbance. Therefore, species with different habitat affinity should be analyzed separately to evaluate the real effects of urbanization. Besides the habitat affinity of the species, the species with different ecological demands also response variously to the urbanization and the accompanying processes. Thus, ecological demands of the species should be considered to detect accurately those environmental variables that drastically changed during the urbanization.

Based on the results, it is not advisable the further establishment of non-native plantations, because local rove beetle diversity and environmental services could be better enhanced in native broadleaved plantation than in non-native ones. It should be noted that although native oak plantation may be able to replace some important ecosystem functions, however the total recovery of rove beetles is likely to take much longer time. Therefore, precautions must be taken in assuming uniformity of the effects of reforestation with non-native tree species on rove beetles and it is necessary to support planting of native tree species in these areas, because arthropod assemblages can regenerate easier in native plantations (Magura et al., 2015).

During the alteration of the adjacent habitats the forest edge can ensure food resources and protection to the rove beetle species

characteristic of grassland and forest interior. Thus, the forest edges have viable populations from the adjacent habitats and they can serve as source habitat or stepping-stones for dispersal processes (den Boer, 1981; Pulliam, 1988). Furthermore, after the restoration of degraded habitat the forest edges can contribute to the recolonization of the rove beetle species in the adjacent habitats. The results suggest that forest edge plays vital role in the maintenance and preservation of the diversity of rove beetles. Thus, in a forest with poorly developed edges (in plantations and managed forests) it is necessary to create a more diverse edge by sowing or planting herbs and shrubs.

New scientific results

1. The number of rove beetle species richness decreased significantly along the rural-urban gradient in Hungary, supporting the increasing disturbance hypothesis.
2. The number of forest specialist rove beetle species was significantly higher in the rural and suburban area than in urban ones, confirming the habitat specialist hypothesis.
3. The number of hygrophilous rove beetle species decreased, while the number of thermophilous species increased with the increasing urbanization, supporting the hygrophilous and thermophilous species hypotheses.
4. The number of saprophilous, phytodetríticol, myrmecophilous and mycetophilous species were higher in the rural area than in the urban ones, supporting the saprophilous, phytodetríticol, myrmecophilous and mycetophilous species hypotheses.
5. Results demonstrated that urbanization could play a major role in species composition of rove beetle assemblages of the rural - suburban-urban sampling areas.
6. The number of rove beetle individuals and species richness were significantly higher in the mature oak forest than in the native and non-native plantations.

7. The reforestation with native tree species can maintain more viable populations of rove beetles compared to the non-native ones. However, the total recovery of rove beetles is likely to take much longer time than 40 years after the reforestation with native species.
8. The number of hygrophilous and decaying material dependent species were lower in the plantations than in the mature oak forest, supporting the hygrophilous and decaying material species hypotheses.
9. Multiple regression analysis showed that the cover of herbs and shrubs, the soil pH and soil temperature were the most important factors controlling the diversity of rove beetles.
10. The reforestation with non-native tree species does not provide suitable habitat for rove beetles and cause changes in composition of assemblages compared to mature oak forest.
11. The number of rove beetle individuals and species were higher in the forest interior and edge than in the grassland habitat.
12. The ordination by principal coordinates analysis revealed that compositions of the rove beetle assemblages in the forest interior and edge were more similar to each other than to that in the grassland.
13. Three groups of quantitative character species were classified, which were identified by IndVal method for the compared areas: (1) forest specialist species, (2) edge-associated species, (3) open-habitat species.
14. Based on the results of the IndVal analysis I showed eight edge - associated species (*Tasgius winkleri*, *Falagrioma thoracica*, *Tasgius melanarius*, *Olophrum assimile*, *Platydracus fulvipes*, *Pella limbatus*, *Quedius limbatus* and *Oxypoda longipes*), which can indicate an edge effect.

Acknowledgment

I have to thank to Professor Tibor Magura his professional help in article writing and field work. I am also grateful to György Makranczy and László Ádám for their help in identifications. I wish to thank to Roland Horváth his professional guidance and his great help in the sample collection. I am grateful to the Hortobágy National Park Directorate who provided the instrumental background to the studies presented in this contribution. I have to thank the Department of Ecology staff their inspiring helps. Special thanks to András Kelemen, Bence Tajthi, Dávid Bogyó, Edina Simon, Enikő Vida, Gyula Szabó, Katalin Varga, Leila Nagy Melinda Dorottya Babits, Szabolcs Mizser, Ottó Szalkovszki and Zsuzsanna Debnár. I am deeply grateful to my parents and my brother for their support and patience. This work was partially supported by the European Union and the European Social Fund through projects no. TÁMOP 4.2.1./B-09/1/KONV-2010-0007 and TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0024 and co-financed by the European Social Fund in the framework of TÁMOP 4.2.4. A/2-11-1-2012-0001 “National Excellence Program” . The research was supported by the Internal Research Project of the University of Debrecen and the SROP-4.2.2.B-15/1/KONV20150001 project.

1. Bevezetés és célkitűzés

Napjainkban az urbanizáció, a népességnövekedés és az emberi tevékenységek jelentős hatással vannak a bioszféra egészére és annak egyes elemeire. Az urbanizáció hatására kialakul egy természetességi grádiens, amelynek egyik végén a sűrűn beépített, utak által tagolt városi területek találhatók, míg a grádiens másik végét az emberi zavarás mértékének csökkenése és a természetesség fokának növekedése jellemzi (McIntyre, 2000).

Az erdősített területek kiterjedése évenként körülbelül 5 millió hektárral növekszik a világon. 2010-ben több, mint 59 millió hektárnyi erdősített terület volt Európában, aminek 12%-a nem őshonos fajokból állt (FAO, 2010). Magyarországon az újraerdősített területeink közel 37%-át nem őshonos fajok alkotják, mivel a múlt századok során természetes erdeink jelentős részét kitermelték és helyükre tájidegen fajokot ültettek (Mátyás, 1996; Wisnovszky, 2014). A tájidegen fajok ültetése és a hozzá kapcsolódó erdészeti kezelések (talajelőkészítés, ápolási munkák) jelentősen megváltoztatják az eredeti élőhelyek abiotikus és biotikus viszonyait. Az újratelepítési munkák során eltűnnek azok a makro- és mikroélőhelyek és szubsztrát anyagok, amelyek nélkülözhetetlenek a specialista, szűktűrűsű fajok számára (Paillet et al., 2010). Természetes és természetközeli erdeink biológiai sokféleségének megőrzése érdekében szükséges, hogy minél többet tudjunk a tájidegen fajok ültetésének biodiverzitásra gyakorolt káros hatásairól és azok minimalizálási lehetőségeiről.

Az erdőszegélyeknek fontos szerepe van az erdei élőhelyek biológiai sokféleségének megőrzésében (Tóthmérész et al., 2014). Mivel a szomszédos élőhelyek sérülése esetén az erdőszegélyek ökológiai menedékként működnek, védelmet és táplálékforrást nyújtanak az élőlényeknek, amelyek a sérült élőhelyek regenerációja után képesek visszatelepülni (den Boer, 1981; Pulliam, 1988). Az erdőszegélyben megtalálhatóak olyan karakterfajok, amelyek az

erdőszegélyek sajátos környezeti adottságainak (mikroklíma, vegetáció struktúra) köszönhetően kizárólag az erdőszegélyben vannak jelen és nem találhatóak meg a szomszédos élőhelyeken. Így a szegélyek karakterfajai és a szomszédos élőhelyekről bevándorló fajok együttesen járulnak hozzá az erdőszegélyekben tapasztalható diverzitás-növekedéshez (Tóthmérész et al., 2014).

A holyvák (Staphylinidae) a bogarak rendjének (Coleoptera) fajgazdag családjai közé tartoznak. Eddig több, mint 46 200 fajukat írták le világszerte (Newton et al., 2001). Nagyrészt ragadozók, azonban számos olyan fajuk ismert, amelyek bomló növényi anyagok, gombák, dögök, ürülékek fogyasztására, vagy más csoportok parazitálására (legyek, hangyák) specializálódott. Többségük speciális makro- és mikrohabitatokhoz kötődik, például gerincesek (emlősök, madarak) fészkeihez, hangyabolyokhoz és korhadó farönkökhöz (Boháč, 1999; Pohl et al., 2008). Fontos szerepet töltenek be a tápanyag-körforgásban és az ökológiai rendszerek termelési folyamataiban. Mindez hatással lehet az ökoszisztéma szolgáltatásokra és ebből kifolyólag az emberi jólétre is (Pejchar & Mooney, 2009; Seevers & Herman, 1978). Nagy faj- és egyedszámuk, valamint változatos élőhelyi és ökológiai igényük miatt gyakran alkalmazzák a holyvákat különböző ökológiai vizsgálatokban. Érzékenyen reagálnak az antropogén zavarásokra és a környezeti tényezők változásaira, ezért a monitoring vizsgálatok során kiválóan alkalmazhatóak, mint bioindikátorok (Boháč, 1999).

Kutatásaim céljai a következők voltak:

- (1) Urbanizáció holyvákra gyakorolt hatásainak vizsgálata egy urbanizációs grádiens mentén.
- (2) Tájidegen fafajok telepítésének holyvaegyüttesekre gyakorolt hatásainak vizsgálata.
- (3) Erdőszegély holyvákra gyakorolt hatásainak vizsgálata.

2. Anyag és módszer

2.1. *Urbanizáció hatása a debreceni Nagyerdő holyvaegyütteseire*

A mintavételi területek egy urbanizációs grádiens mentén voltak kijelölve a debreceni Nagyerdő területén (természetközeli állapotú erdő - városszéli erdő - városi erdős park). Mindegyik mintavételi területen a jellemző növénytársulás a gyöngyvirágos tölgyes (*Convallario-Quercetum roboris*) volt. A mintavételi területek közti legnagyobb különbség az emberi zavarás (erdészeti kezelés, rekreációs tevékenységek) mértékében és a beépített területek arányában mutatkozott.

Mindhárom mintavételi területet két egymástól független ismétlésben vizsgáltam. Mindegyik ismétlésben 10 véletlenszerűen kihelyezett talajcsapda működött (3 terület x 2 független ismétlés x 10 csapda = összesen 60 csapda). A csapdák ölü- és konzerváló folyadékként 100 ml 4%-os formalint tartalmaztak. A csapdákra fedőt helyeztem, ami megakadályozta az esővíz és az avar csapdádba kerülését. A csapdákat kéthetente ürítettem. A mintavételezés 2009 - ben történt április végétől október végéig. A gyűjtött fajokat irodalmi adatok alapján csoportosítottam élőhelyi (erdei specialisták, növényi törmeléklakók) és ökológiai (nedvességkedvelők, melegkedvelők, rothadáskedvelők, gombakedvelők, hangyakedvelők) igényük alapján (Koch, 1989; Stan, 2008).

2.2. *Tájidegen fajok ültetésének hatása a debreceni Nagyerdő holyvaegyütteseire*

A mintavételi területek a debreceni Nagyerdő területén helyezkedtek el. Idős tölgyes állományok tarvágása után létrehozott középkorú őshonos ültetvény és három tájidegen fajfajú ültetvény holyvaegyütteseit hasonlítottam össze egymással, valamint a természetközeli, idős tölgyes holyvaegyütteseivel: (1) Idős gyöngyvirágos tölgyes (*Convallario-Quercetum roboris*); az erdőkezelések során a kidőlt, korhadt fákat nem távolítják el. Az (2)

őshonos ültetvényben (*Quercus robur*) a cserjeszint ritka, míg a lágyszárúszint borítása mérsékelt volt. A (3) fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) ültetvényben a lágyszárúszint borítása dús volt. Az (4) erdeifenyő (*Pinus sylvestris*) ültetvény lágyszárú szintjében az adventív alkörmös (*Phytolacca americana*) tömeges volt. A (5) vöröstölgy (*Quercus rubra*) ültetvényben a lombkorona záródása miatt a gypszint gyér volt. A cserjeszint nagy részét vöröstölgy újulat alkotta. Az ültetvényekből az erdészeti kezelések során a kidőlt fákat eltávolították.

A holványakat avarrostás mintavétellel gyűjtöttem (5 élőhelytípus x 2 független ismétlés x 5 minta = összesen 50 minta). Az avarrostálás 3 hetente történt 2011 áprilisától október végéig. A holványakat élőhelyi és ökológiai igényük alapján külön kategóriákba soroltam (nedvességkedvelő fajok és bomló anyagokat kedvelő fajok; Koch 1989). Nyolc környezeti háttérváltozót mértem, amik hatással lehettek a holványok térbeli eloszlására.

2.3. Erdőszegély hatása a holývaegyüttesekre

A mintavételi terület a Hajdúsági Tájvédelmi Körzeten volt. Három eltérő élőhelytípusban vizsgáltam a holývaegyütteseket: (1) Erdő – zárt alföldi tölgyes, vastag avar, lágyszárú és cserjeborítással, valamint 85-95%-os borítottságú lombkorona szinttel. (2) Erdőszegély – cserjés erdőszegély megnövekedett lágyszárú és cserjeborítással. (3) Gyep – közepesen nedves gyep sűrű lágyszárú vegetációval.

A mintavételt talajcsapdákkal végeztem, amelyek ölü- és konzerváló folyadékként 70 %-os etilén-glikolt tartalmaztak. Minden élőhelytípusból két egymástól független ismétlés volt, amelyeken belül 10-10 csapda volt kihelyezve az erdőszegéllyel párhuzamos sorokba (3 élőhelytípus x 2 független ismétlés x 10 csapda = 60 csapda), amelyeket 2009-ben havonta ürítettem májustól október végéig.

2.4. Adatfeldolgozás

Az adatfeldolgozás során összevontam az egész éves mintavételi egységenkénti (talajcsapdánkénti, illetve avarrostás mintánkénti) fogást. A holyvák fajszámában, valamint a különböző ökológiai igényekkel rendelkező holyvafajok számában tapasztalható különbségek kimutatására általánosított lineáris modelleket (beágyazott és faktoriális GLM) használtam. Többszörös regresszió analízist használtam a mért háttérváltozók és a holyvák egyed- és fajszáma közötti kapcsolatok kimutatására. A mintavételi területek holyvaegyüttese közötti hasonlóságot nem-metrikus többdimenziós skálázással (Bray-Curtis és Rogers-Tanimoto távolságfüggvényt használva) és főkoordináta-elemzéssel (Bray-Curtis távolságfüggvényt használva) vizsgáltam. A karakterfaj analízis (IndVal) felhasználásával kerestem az erdő, az erdőszegély és a gyepek élőhelytípus karakterfajait, Monte Carlo permutációs tesztet használva. Az adatok feldolgozásához a következő programcsomagokat használtam: ArcGIS, IndVal 2.0, PAST 3.01, STATISTICA 8.0 és NuCoSA 1.05 (Tóthmérész, 1993).

3. Eredmények és megvitatásuk

3.1. Urbanizáció hatása a debreceni Nagyerdő holyvaegyütteseire

A diverzitás és a zavarás közötti kapcsolatok különböző aspektusait megragadva több hipotézist is leírtak az urbanizáció közösségekre gyakorolt hatásairól, melyek részben átfedik, részben pedig kiegészítik egymást. Ilyen a köztes zavarási hipotézis, miszerint a városi és a természetközeli élőhelyekhez képest a fajgazdagság a mérsékelten zavart, városszéli élőhelyen a legnagyobb (Connell, 1978). Míg a növekvő zavarási hipotézis szerint a fajgazdagság csökken a természetes és természetközeli élőhelytől az erősen zavart, városi élőhely irányába (Gray, 1989). Eredményeim alapján a holyvák fajgazdagsága szignifikánsan csökkent a természetközeli erdőtől a városi erdős park irányába, így

a növekvő zavarási hipotézis érvényesült.

A holyvaegyüttesek fajösszetétele jelentősen megváltozott a természetközeli erdő-városszéli erdő-városi erdős park grádiens mentén. Ez többek között a holyvafajok szerves anyagokhoz való kötődésével és az erdőfoltok környezeti viszonyainak változásaival magyarázható. A kezelések következtében a városi területek átalakulnak, ami az eredeti erdei élőhelyhez kötődő fajok számának csökkenéséhez, és új fajok bevándorlásához vezethet. Ebből arra következtethetünk, hogy a teljes fajszám vizsgálata nem minden esetben alkalmas a fajkészletben bekövetkező változások kimutatására, mivel rejtve maradnak azok az alapvető ökológiai mintázatok, amelyek egy élőhely minőségét jellemezhetik. Ezért a teljes fajszám mellett szükséges a holyvák ökológiai igényeit is vizsgálni, hogy jobban megérthessük az urbanizáció során bekövetkező változásokat. A habitat-specialista hipotézis szerint a háborítatlan, eredeti élőhelyekhez kötődő fajok száma csökken az erősen zavart városi élőhelyek felé haladva (Magura et al., 2004). Mindezt eredményeim is igazolták, mivel az erdei specialista holyvafajok száma alacsonyabb volt a városi erdős parkban, mint a városszéli és természetközeli erdőkben.

Az urbanizáció során a természetes élőhelyek feldarabolódnak, degradálódnak és homogenizálódnak, ami megváltoztatja a mikroklimatikus viszonyokat és ez jelentős hatással van az érzékeny, szűktűrésű fajokra (Horváth et al., 2012). A városi erdőfoltok feldarabolódása és a cserjeszint rendszeres ritkítása hozzájárul a meleg, száraz élőhelyeket kedvelő fajok (nyílt élőhelyre jellemző fajok, melegkedvelő fajok) bevándorlásához és tartós fennmaradásához, míg más fajok (erdei specialisták, nedvességkedvelő fajok) kiszorulnak a nyíltabb erdőfoltokból (Magura et al., 2013). Eredményeim alapján a nedvességkedvelő fajok száma jelentősen csökkent a természetközeli erdőtől a városi erdős park felé haladva, miközben a melegkedvelő fajok száma a városi erdős parkban volt a legnagyobb.

Számos speciális mikroélőhely (fészkek, kidőlt fák, avar) és

szubsztrát anyag (rothadó gyümölcsök, dögök, gombák, pollen, alga) nélkülözhetetlen a specialista fajok számára (Desender et al., 1999). A bomló állati- és növényi anyagok sajátos mikroklimával rendelkeznek, melyek védelmet nyújtanak a ragadozók ellen, táplálékforrást biztosítanak, valamint fontos szerepük van az áttelelésben és a peték vagy lárvák fejlődésében (Magura et al., 2013). Ezek az anyagok nagy számban fordulnak elő a természetközeli élőhelyeken, míg az intenzíven kezelt városi parkokból rendszeresen eltávolítják azokat. A bomló szubsztrátkedvelő és a növényi törmeléklakó fajok szorosan kötődnek ezekhez a szubsztrátokhoz, ezért számuk jelentősen alacsonyabb volt a városi erdőfoltokban, mint a természetközeli állapotú erdőben (Magura et al., 2013).

A hangyakedvelő holyvafajok alkalmazkodnak és szorosan kötődnek a hangyaközösségekhez. Többnyire a hangyafészkekben vagy azok közelében található szerves törmelékekkel táplálkoznak, de gyakran petéket és kifejlett hangyákat is elfogyasztanak (Boháč, 1999). Vepsäläinen et al. (2008) kimutatta, hogy a hangyák fajgazdagsága kisebb a városi területeken, mint a természetközeli élőhelyeken. Ennek következtében a hangyaközösségekhez szorosan kötődő hangyakedvelő holyvafajok száma várhatóan csökken a természetközeli erdőtől a zavarásnak kitett városi erdős park irányába. Eredményeim támogatták a hangyakedvelő faj hipotézist, miszerint a hangyakedvelő fajok száma jelentősen nagyobb a természetközeli erdőben, mint a városi erdős parkban (Magura et al., 2013).

Számos holyvafaj él gombákban vagy azok közelében. A gombák érzékenyen reagálnak a környezeti változásokra és jelentős mértékben függenek a lebomló növényi anyagok mennyiségétől és minőségétől (Rayner & Boddy, 1988). A gombák elszegényedése a városi területeken befolyásolja a hozzájuk kötődő gombakedvelő holyvafajok számát. Eredményeim is igazolták, hogy a gombakedvelő holyvafajok száma jelentősen csökken a városi erdős parkban (Magura et al., 2013).

3.2. Tájidegen ültetvények hatása a debreceni Nagyerdő holyvaegyütteseire

Idős kocsányos tölgyes állomány holyvaegyütteseit hasonlítottam össze őshonos (Kocsányos tölgy) és tájidegen (akác, erdeifenyő és vöröstölgy) ültetvények holyvaegyütteseivel a debreceni Nagyerdő területén. Eredményeim azt mutatják, hogy a tájidegen ültetvények telepítése drasztikus változásokat okoztak a holyvaegyüttesek összetételében.

A holyvák teljes faj- és egyedszáma szignifikánsan nagyobb volt az idős tölgyes állományban, mint az ültetvényekben. Továbbá a holyvák teljes fajszáma szignifikánsan nagyobb volt az őshonos ültetvényben, mint a tájidegen ültetvényekben. Eredményeimből arra következtethetünk, hogy az őshonos ültetvények megfelelőbb körülményeket biztosítanak a holyvaegyüttesek helyreállításához, mint a tájidegen ültetvények. Ugyanakkor, fontos megemlíteni, hogy a holyvaegyüttesek 40 évvel az őshonos fafajjal történő erdőfelújítás után sem képesek teljesen helyreállni.

A nedvességkedvelő holyvák faj- és egyedszáma szignifikánsan kisebb volt az ültetvényekben, mint az idős tölgyesben. Ezek a fajok inkább a fényszegényebb és nyirkosabb élőhelyeket kedvelik. A talajelőkészítés és az azt követő erdészeti kezelések drasztikusan megváltoztatják az eredeti élőhelyek mikroklimatikus viszonyait (Mátyás 1996), ami akadályozza a nedvességkedvelő holyvafajok betelepülését az ültetvények lombkoronaszintjének záródása után is.

Az ültetvények létesítése és kezelése során eltávolítják azokat a mikroélőhelyeket és bomló szubsztrát anyagokat, amik szükségesek a specialista holyvafajok számára (Mátyás 1996). Az ültetvényekben kevesebb és fiatalabb volt a korhadó, bomló anyagok száma. Ezzel szemben a kocsányos tölgyes állományokban nagy számban voltak jelen bomló anyagok, melyek hozzájárulnak a bomló anyagokat kedvelő, specialista fajok fennmaradásához. Eredményeim igazolták, hogy a bomló anyagokat kedvelő holyvák faj- és egyedszáma

szignifikánsan nagyobb volt a szubsztrátokban gazdag kocsányos tölgyes állományokban, mint a tájidegen ültetvényekben.

A lágyszárú- és cserjeszint borítása, valamint a talaj pH-ja és hőmérséklete volt a legfontosabb környezeti tényező a holyvák sokféleségének befolyásolásában. Nem találtam összefüggést azonban az avar, a talajnedvesség, a lombkorona borítás és a holyvák faj- és egyedszáma között. A többdimenziós skálázás azt mutatta, hogy az idős tölgyes állományok holyvaegyüttesének összetétele markánsan különbözik az őshonos és tájidegen ültetvények holyvaegyütteseinek összetételétől.

A természetes élőhelyek sérülése csökkenti és lassítja a tápanyagforgalmat és a lebomlási folyamatokat (Jha et al., 1992). Mindez jelentősen befolyásolja a nedvességkedvelő és bomló anyagokat kedvelő holyvák faj- és egyedszámát az ültetvényekben. Eredményeim azt mutatják, hogy a holyvaegyüttesek 30-40 évvel a telepítést követően sem képesek teljesen helyreállni, mivel a speciális igényekkel rendelkező holyvafajok rekolonizációs ideje valószínűleg hosszabb.

3.3. *Erdőszegély hatása a holyvaegyüttesekre*

Az erdőszegélyek biodiverzitás megőrzésében betöltött szerepét vizsgáltam holyvaegyüttesek esetében egy tölgyes erdő - erdőszegély - gyepterhelő élőhelymozaikban. A vizsgálat során kimutattam, hogy a holyvák teljes egyedszáma szignifikánsan alacsonyabb volt a gyepterhelőben, mint az erdőszegélyben és az erdőben. A teljes fajszám ugyan az erdőszegélyben volt a legmagasabb, azonban nem találtam szignifikáns különbséget a fajok számában a szegély és az erdő között. Ezért, a holyvák esetében nem teljesült a szegélyhatás hipotézis, miszerint a diverzitás magasabb a szegélyben, mint a szomszédos élőhelyeken.

A főkoordináta-elemzés eredményei alapján a gyepterhelő holyvaegyüttese az első tengely mentén jelentősen elkülönült az erdőszegély és az erdő holyvaegyüttesétől, míg a szegély és az erdő holyvaegyüttesei kis mértékben különültek el egymástól. Így

megállapíthatjuk, hogy az erdőszegély és az erdő holyvaegyüttesének összetétele jobban hasonlított egymásra, mint a gyep holyvaegyüttesére.

Az IndVal módszer segítségével kimutattam a három fő élőhelytípusra jellemző karakter fajokat: (1) erdei specialisták (*Oxypoda acuminata*, *Othius punctulatus* és *Sepedophilus marshami*), (2) erdőszegély karakterfajai (*Tasgius winkleri*, *Falagrioma thoracica*, *Tasgius melanarius*, *Olophrum assimile*, *Platydacus fulvipes*, *Pella limbatus*, *Quedius limbatus* és *Oxypoda longipes*), (3) nyílt élőhely karakterfajai (*Staphylinus caesareus*, *Tasgius pedator*, *Philonthus concinnus* és *Philonthus coruscus*).

Az IndVal elemzés alapján számos erdei és nyílt élőhelyhez kötődő holyvafaj (*Oxypoda acuminata*, *Othius punctulatus*, *Sepedophilus marshami*, *Tasgius pedator*, *Drusilla canaliculata*, *Quedius molochinus* és *Falagria sulcatula*) a szegélyben is megtalálható volt, hozzájárulva az erdőszegély biológiai sokféleségének növekedéséhez. Ezért a szomszédos élőhelyek holyvafajai és a szegélyben élő karakterfajok együttesen növelhetik az erdőszegély diverzitását. Az általánosított lineáris modell nem mutatott szignifikáns különbséget az erdő és az erdőszegély fajgazdagságában. Ugyanakkor az IndVal elemzés alapján néhány faj szignifikánsan kötődött az erdőszegélyhez. Az erdőszegély sajátos struktúrával és mikroklimával rendelkezik, amely megfelelő környezetet biztosít az erdőszegélyhez kötődő specialista fajok számára.

4. Következtetések

Eredményeimhez hasonlóan, korábbi tanulmányok is kimutatták, hogy az urbanizációs vizsgálatok során gyakran alkalmazott fajgazdagság nem minden esetben bizonyul megbízható mutatónak (Horváth et al., 2012; Magura et al., 2013). Élőhelyi és ökológiai igényeik alapján külön kell vizsgálni a fajokat, hogy pontosabb képet kapjunk az urbanizáció tényleges hatásairól. Ezek nélkül rejtve

maradnak azok az ökológiai mintázatok, amelyek az urbanizáció tényleges hatásait jelezhetik.

Eredményeim azt is mutatják, hogy az őshonos ültetvények megfelelőbb körülményeket biztosítanak a holvák számára, mint a tájidegen ültetvények. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy az őshonos ültetvények holvagyüttese 40 évvel a tarvágást követően sem képesek teljesen helyreállni. Ezért javasolt, hogy kerüljük a tájidegen fafajú ültetvények létesítését és helyettük őshonos fajokkal újítsanak, mivel ugyanebben a térségben futóbogarakra és ikerszelvényesekre vonatkozó vizsgálatok kimutatták, hogy az őshonos fafajú ültetvényekben a lombkorona zárodását követő néhány éven belül képesek helyreállni a talajfelszíni ízeltlábú-együttesek (Magura et al. 2015).

Az erdőszegélyek átmeneti zónát képeznek az élőhelyek között, ahol a nyílt és erdei élőhelyek fajai egyaránt megtalálják a számukra kedvező feltételeket, ezáltal növelve a szegélyeken belüli diverzitást. Ugyanakkor megjelenhetnek olyan karakterfajok is, amelyek a szomszédos élőhelyeken nem vagy csak elvétve találhatóak és szorosan a szegélyekhez kötődnek, ami szintén egyfajta jelzője a szegélyhatásnak. Eredményeim alapján látható, hogy az erdőszegélyek fontos szerepet játszanak a holvák sokféleségének megőrzésében, ezért érdemes figyelmet fordítani az intenzív erdőgazdálkodás során létrejövő strukturálatlan, jellegtelen erdőszegélyek heterogenitásának növelésére.

Az új tudományos eredmények összefoglalása

1. A GlobeNet nemzetközi projektben holvagyütteseket vizsgáltam egy urbanizációs grádiens mentén. A holvák alacsonyabb faj- és egyedszámban voltak jelen a városi területen a természetközeli és városszéli területekhez képest. Mindez a növekvő zavarás hipotézist igazolja.
2. Az erdei specialista holvafajok száma és egyedszáma szignifikánsan csökkent az urbanizációs grádiens mentén a

- természetközeli erdőtől a városi erdős őark irányába, mely az élőhely-specialista hipotézist igazolja.
3. A nedvességkedvelő fajok száma csökkent, míg a melegkedvelő fajok száma növekedet a zavarás mértékének növekedésével. Ez igazolta a nedvességkedvelő és a melegkedvelő faj hipotézist.
 4. A hangyakedvelő, a növényi törmelékkedvelő, a bomló anyagokat kedvelő és a gombakedvelő holyvafajok döntően a szubsztrát anyagokban gazdag természetközeli és városszéli élőhelyeken voltak nagy számban jelen. Eredményeim igazolták a hangyakedvelő, a növényi törmelékkedvelő, a bomló anyagokat kedvelő és a gombakedvelő faj hipotéziseket.
 5. Kimutattam, hogy az urbanizáció jelentős szerepet játszik a holyvaegyüttesek fajösszetételének alakulásában.
 6. A holyvák teljes egyed- és fajszáma szignifikánsan magasabb volt az idős tölgyes állományban, mint az ültetvényekben.
 7. Az őshonos ültetvények fajgazdagabb holyvaegyütteseket képesek fenntartani a tájidegen ültetvényekhez képest. Ugyanakkor, 40 évvel a tarvágást követően sem érik el az idős tölgyes állományok holyvaegyütteseinek faj- és egyedszámát.
 8. A nedvességkedvelő és bomló anyagokat kedvelő holyvafajok száma szignifikánsan kisebb volt az ültetvényekben, mint az idős tölgyes állományokban.
 9. A többszörös regresszió analízis eredményei alapján a légyszárúsínt és a cserjesínt borítása, valamint a talaj pH-ja és hőmérséklete volt a legfontosabb környezeti tényező a holyvák sokféleségének szabályozásában.
 10. Kimutattam, hogy az őshonos és tájidegen ültetvények holyvaegyüttesei jelentősen elkülönülnek az idős tölgyes állományok holyvaegyütteseitől.
 11. A holyvák faj- és egyedszáma szignifikánsan alacsonyabb volt a gyepben, mint az erdőben és erdőszegélyben. Nem találtunk szignifikáns különbséget az erdő és az erdőszegély holyvainak faj- és egyedszámában. Eredményeim nem igazolták a szegélyhatás hipotézist.

12. Kimutattam, hogy ez erdő és erdőszegély holyvaegyütteseiben jobban hasonlítanak egymásra, mint a gyep holyvaegyüttesére.
13. Az IndVal módszer segítségével kimutattam a három fő élőhelytípusra jellemző karakter fajokat: (1) erdei specialisták, (2) az erdőszegély karakterfajai, (3) nyílt élőhely karakterfajai.
14. Az erdőszegélyben megtalálható karakterfajok (*Tasgius winkleri*, *Falagrioma thoracica*, *Tasgius melanarius*, *Olophrum assimile*, *Platydracus fulvipes*, *Pella limbatus*, *Quedius limbatus* és *Oxypoda longipes*) egyfajta jelzői a szegélyhatásnak.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom Magura Tibornak és Horváth Rolandnak munkám során nyújtott segítségükért és támogatásukért. Köszönöm Makranczy Györgynek és Ádám Lászlónak a határozásban nyújtott nélkülözhetetlen segítségüket. Köszönöm a Hortobágyi Nemzeti Park Igazgatóságnak, hogy lehetővé tette a terepi kutatások feltételeit, valamint a Debreceni Egyetem Ökológiai Tanszék munkatársainak a sok segítséget. Külön köszönet illeti Babits Melinda Dorottyt, Bogyo Dávidot, Debnár Zsuzsannát, Kelemen Andrást, Mizser Szabolcsot, Nagy Leilát, Simon Edinát, Szabó Gyulát, Szalkovszki Ottót, Tajthi Bencét, Varga Katalint és Vida Enikőt a terepi és a laboratóriumi munkák során nyújtott segítségükért. Köszönöm családomnak a sok támogatást és a türelmet, segítségük nélkül a jelen dolgozat nem jöhetett volna létre. A dolgozat elkészülését segítette a TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0007, and TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0024 pályázat. Köszönöm az Apáczai Csere János Doktoranduszi Ösztöndíj (TÁMOP- 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001) támogatását, amely az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. A disszertáció és a tézisek elkészítését a TÁMOP-4.2.2.B-15/1/KONV-2015-0001 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalom – References

- Boháč, J. (1999) Staphylinid beetles as bioindicators. *Agriculture Ecosystems & Environment* 74, 357-372.
- Connell, J.H. (1978) Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199, 1302-10.
- den Boer, P.J. (1981) On the survival of populations in a heterogeneous and variable environment. *Oecologia* 50, 39-53.
- Desender, K., Ervynck, A. & Tack, G. (1999) Beetle diversity and historical ecology of woodlands in Flanders. *Belgian Journal of Zoology* 129, 139-155.
- FAO (2010) Global Forest Resources Assessment 2010. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Gray, J.S. (1989) Effects of Environmental-Stress on Species Rich Assemblages. *Biological Journal of the Linnean Society* 37, 19 - 32.
- Horváth, R., Magura, T. & Tóthmérész, B. (2012) Ignoring ecological demands masks the real effect of urbanization: a case study of ground-dwelling spiders along a rural-urban gradient in a lowland forest in Hungary. *Ecological Research* 27, 1069-1077.
- Jha, D.K., Sharma, G.D. & Mishra, R.R. (1992) Soil Microbial-Population Numbers and Enzyme-Activities in Relation to Altitude and Forest Degradation. *Soil Biology & Biochemistry* 24, 761-767.
- Koch, K. (1989) Die Käfer Mitteleuropas. Ökologie. Band 1. Goecke & Evers Verlag, Krefels.
- Magura, T., Bogyó, D., Mizser, S., Nagy, D.D. & Tóthmérész, B. (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. & Tóthmérész, B. (2013) Rove beetles respond heterogeneously to urbanization. *Journal of Insect Conservation* 17, 715-724.
- Magura, T., Tóthmérész, B. & Molnár, T. (2001) Forest edge and diversity: carabids along forest-grassland transects. *Biodiversity and Conservation* 10, 287-300.

- Magura, T., Tóthmérész, B. & Molnár, T. (2004) Changes in carabid beetle assemblages along an urbanisation gradient in the city of Debrecen, Hungary. *Landscape Ecology* 19, 747-759.
- Mátyás, C. (1996) Erdészeti ökológia. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- 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. (1997) Ecosystem processes along an urban-to-rural gradient. *Urban Ecosystems* 1, 21-36.
- McIntyre, N.E. (2000) Ecology of urban arthropods: A review and a call to action. *Annals of the Entomological Society of America* 93, 825-835.
- Newton, A.F., Thayer, M.K., Ashe, J.S. & Chandler, D.S. (2001) Staphylinidae Latreille, 1802. In American Beetles, Volume I: Archostemata, Myxophaga, Adephaga, Polyphaga: Staphyliniformia. (ed. by Arnett, R.H., Jr. & Thomas, M.C.), pp. 272-418. CRC Press, Boca Raton, FL.
- 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.
- Paillet, Y., Berges, L., Hjalten, J., Odor, P., Avon, C., Bernhardt-Römermann, M., Bijlsma, R.J., De Bruyn, L., Fuhr, M., Grandin, U., Kanka, R., Lundin, L., Luque, S., Magura, T., Matesanz, S., Mészáros, I., Sebastiá, M.T., Schmidt, W., Standovár, T., Tóthmérész, B., Uotila, A., Valladares, F., Vellak, K. & Virtanen, R. (2010) Biodiversity Differences between Managed and Unmanaged Forests: Meta-Analysis of Species Richness in Europe. *Conservation Biology* 24, 101 - 112.
- Pejchar, L. & Mooney, H.A. (2009) Invasive species, ecosystem services and human well-being. *Trends in Ecology & Evolution* 24, 497-504.
- Pohl, G.R., Langor, D.W., Klimaszewski, J., Work, T. & Paquin, P. (2008) Rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae) in northern Nearctic forests. *Canadian Entomologist* 140, 415-436.
- Pulliam, H.R. (1988) Sources, Sinks, and Population Regulation. *American Naturalist* 132, 652-661.
- Rayner, A.D.M. & Boddy, L. (1988) Fungal decomposition of wood: its biology and ecology. Wiley, Chichester; New York.

- Ries, L., Fletcher, R.J., Battin, J. & Sisk, T.D. (2004) Ecological responses to habitat edges: Mechanisms, models, and variability explained. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 35, 491-522.
- Seevers, C.H. & Herman, L.H. (1978) A generic and tribal revision of the North American Aleocharinae (Coleoptera, Staphylinidae). Field Museum of Natural History, Chicago.
- Stan, M. (2008) New data on the rove beetle fauna (Coleoptera: Staphylinidae) from București and its surroundings. *Travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle* 51, 369-386.
- Tóthmérész, B. (1993) NuCoSA 1.0: number cruncher for community studies and other ecological applications. *Abstracta Botanica* 17, 283-287.
- Tóthmérész, B., Nagy, D.D., Mizser, S., Bogyó, D. & Magura, T. (2014) Edge effects on ground-dwelling beetles (Carabidae and Staphylinidae) in oak forest-forest edge-grassland habitats in Hungary. *European Journal of Entomology* 111, 686-691.
- United Nation. (2012) World urbanization prospects: the 2012 revision. <http://esa.un.org/unpd/wup/index.htm>.
- Vepsäläinen, K., Ikonen, H. & Koivula, M.J. (2008) The structure of ant assemblages in an urban area of Helsinki, southern Finland. *Annales Zoologici Fennici* 45, 109-127.
- Wisnovszky, K. (2014) Erdővagyon és erdőgazdálkodás Magyarországon. Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, Erdészeti Igazgatóság, Budapest.

Publications of Dávid D. Nagy / Nagy D. Dávid publikációi

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

- Valkó, O., Deák, B., Magura, T., Török, P., Kelemen, A., Tóth, K., Horváth, R., **Nagy, D. D.**, Debnár, Z., Zsigrai, G., Kapocsi, I., Tóthmérész, B. (2015): Supporting biodiversity by prescribed burning in grasslands – a multi-taxa approach. *Science of the Total Environment* (under review) [IF2014: 4.099]
- Nagy, D. D.**, Magura, T., Debnár, Z., Horváth, R. & Tóthmérész, B. (2015): Shift of rove beetle assemblages in reforestations: Does nativity matter? – *Journal of Insect Conservation* DOI: 10.1007/s10841-015-9823-0 (in press) [IF2014: 1.717]
- Magura, T., Bogyó, D., Mizser, S., **Nagy, D. D.** & Tóthmérész, B. (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. [IF2014: 2.660]
- Bogyó, D., Magura, T., **Nagy, D. D.** & Tóthmérész, B. (2015): Distribution of millipedes (Myriapoda, Diplopoda) along a forest interior – forest edge – grassland habitat complex. *Zookeys* 510, 181–195. [IF2014: 0.933]
- Tóthmérész, B., **Nagy, D. D.**, Mizser, S., Bogyó, D. & Magura, T. (2014): Edge effects on ground-dwelling beetles (Carabidae and Staphylinidae) in oak forest-forest edge-grassland habitats in Hungary. – *European Journal of Entomology* 111, 686–691. [IF2014: 0.975]
- Magura, T., **Nagy, D.** & Tóthmérész, B. (2013): Rove beetles (Staphylinidae) respond not uniformly to the urbanization. – *Journal of Insect Conservation* 17, 715–724. [IF2013: 1.789]

Papers without impact factor in English / Impakt faktor nélküli közlemények angol nyelven

- Nagy, D. D.** & Debnár, Z. (2014): Effects of reforestation with non-native species on rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae). *Landscape*

Management for Functional Biodiversity. IOBC-WPRS Bulletin 100, 101–105.

Nagy, D., Magura, T. & Tóthmérész, B. (2013): Rove beetles (Staphylinidae) suffer from urbanization. In: Lencová C. (eds.) SER Document Center, Extended Conference Abstract, <http://ser.semico.be/>, pp. 1–4.

Papers without impact factor in Hungarian / Impakt faktor nélküli közlemények magyar nyelven

Nagy, D. D. & Mizser, S. (2015): Holyvák válasza a mikroélőhelyek és a mozaikosság csökkenésére urbanizációs grádiens mentén. *Természetvédelmi Közlemények* 21, 178–185.

Mizser, S., Tajthi, B., Debnár, Z. & **Nagy, D. D.** (2015): Tájidegen ültetvények hatása az alföldi őshonos tölgyesek ízeltlábú-együtteseire (Araneae, Coleoptera: Staphylinidae). *Természetvédelmi Közlemények* 21, 170–177.

Nagy, D., Baranyai, E., Nagy, L., Mizser, S., Debnár, Z. & Simon, E. (2013): Urbanizáció hatása a szárazföldi ökoszisztémákra. *IX. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Konferencia Kiadvány* 1, 198–202.

Nagy, D. (2012): Ültetvények és őshonos tölgyesek holyvaegyüttese (Staphylinidae). *Természetvédelmi Közlemények* 18, 383–392.

Conferences / Konferenciák

Nagy, D. D., Magura, T., Bogyó, D., Mizser, S., Tóthmérész, B. (2015): Recovery dynamics of ground-dwelling arthropods after reforestation. 17th European Carabidologists Meeting, Šybenic, Croatia.

Mizser, S., Nagy, L., **Nagy, D. D.**, Tóthmérész, B. (2015): Mite infection of *Carabus violaceus* in lowland oak forest fragments. 17th European Carabidologists Meeting, Šybenic, Croatia.

Magura, T., Bogyó, D., Mizser, S., **Nagy, D. D.**, Tajthi, B., Tóthmérész, B. (2015): Recovery time after reforestation depends on the mobility and feeding habits: case study for ground-dwelling arthropods. 27th International Congress for Conservation Biology. Montpellier, France.

Nagy, D. D., Magura, T., Horváth, R., Szinetár, C., Eichardt, J., Kődöböcz, V., Tóthmérész, B. (2015): The effects of fragment size and isolation

- on ground-dwelling arthropod assemblages in dry sandy grassland fragments. 12th European Dry Grassland Meeting, Mainz, Germany.
- Nagy, D. D.,** Tajthi, B., Bogyó, D., Mizser, S., Magura, T., Horváth, R., Debnár, Zs. & Tóthmérész, B. (2014): Talajlakó gerinctelenek vizsgálata tájidegen ültetvényekben. IX. Magyar Természetvédelmi és Biológiai Konferencia, Szeged, Hungary.
- Nagy, D. D.,** Mizser, S., Magura, T. & Tóthmérész, B. (2014): Holyvák válasza a mikroélőhelyek és a mozaikosság csökkenésére urbanizációs grádiens mentén. IX. Magyar Természetvédelmi és Biológiai Konferencia, Szeged, Hungary.
- Debnár, Z., Bogyó, D., **Nagy, D. D.,** Mizser, S., Magura, T. & Tóthmérész, B. (2014): Szegélyhatás vizsgálata talajlakó ízeltlábú együtteseken (Carabidae, Staphylinidae, Diplopoda). IX. Magyar Természetvédelmi és Biológiai Konferencia, Szeged, Hungary.
- Mizser, S., **Nagy, D. D.,** Nagy, L. & Tóthmérész, B. (2014): Mite infection of *Carabus violaceus* in lowland oak forest fragments. 28th European Congress of Arachnology, Turin, Italy.
- Tajthi, B., Horváth, R., Magura, T., **Nagy, D. D.,** Debnár, Z., Sólyom, K. & Tóthmérész, B. (2014): The effects of non-native plantations on ground-dwelling spider assemblages. 28th European Congress of Arachnology, Turin, Italy.
- Debnár, Z., Tajthi, B., Horváth, R., Magura, T., **Nagy, D. D.,** Szabó, G. & Tóthmérész, B. (2014): Ground-dwelling spider assemblages of lowland oak secondary succession series. 28th European Congress of Arachnology, Turin, Italy.
- Tóthmérész, B., Bogyó, D., Debnár, Z., Horváth, R., Mizser, S., **Nagy, D. D.,** Nagy, L. & Magura, T. (2014): Recovery dynamics of ground-dwelling assemblages in oak forest stands after clear-cutting. 9th European Conference on Ecological Restoration. Oulu, Finland.
- Nagy, D. D.** & Debnár, Z. (2014): Effects of reforestation with non-native species on rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae). IOBC/WPRS Working Group "Landscape management for functional biodiversity". Poznan, Poland.
- Bogyó, D., Magura, T., **Nagy, D.** & Tóthmérész, B. (2014): Habitat associations of millipedes in a grassland-edge-forest complex. 16th International Congress of Myriapodology, Olomouc, Czech Republic.
- Málnás, K., Harangi, S., Balogh, Z., Baranyai, E., **Nagy, D.,** Braun, M., Tóthmérész, B., Dévai, G. & Simon, E. (2013): Nehézfém analitikai

- vizsgálatok a Felső-Tisza és a Szamos folyók hazai szakaszán. LV. Hidrobiológus Napok, Tihany, Hungary.
- Nagy, D.,** Magura, T., Horváth, R., Bogyó, D., Debnár, Z., Szabó, G., Mizser, S., Nagy, L., Szalkovszki, O. & Tóthmérés, B. (2013): Biodiversity of rove beetles (Staphylinidae) along grassland-forest transects in North-East Hungary. Open Landscapes 2013 - Ecology, Management and Nature Conservation. Hildesheim, Germany.
- Nagy, D.,** Mizser, S., Horváth, R., Magura, T., Bogyó, D., Debnár, Z., & Tóthmérés, B. (2013): Carabids and staphylinids along a rural-urban gradient in Hungary. XVIth European Carabidologists Meeting, Prague, Czech Republic.
- Tóthmérés, B., Bogyó, D., Mizser, S., **Nagy, D.** & Magura, T. (2013): Do recover diversity and composition of indigenous ground-dwelling assemblages after fifty years of afforestation with native oak? XVIth European Carabidologists Meeting, Prague, Czech Republic.
- Mizser, S., **Nagy, D.,** Magura, T., Horváth, R., Nagy, L., Bogyó, D., Szabó, G. & Tóthmérés, B. (2013): Edge effect on ground-dwelling beetles (carabids and staphylinids). XVIth European Carabidologists Meeting, Prague, Czech Republic.
- Nagy, D.,** Debnár, Z., Bogyó, D., Szabó, G., Nagy, L., Horváth, R., Mizser, S., Magura, T. & Tóthmérés, B. (2013): Rove beetles (Staphylinidae) of non-native plantations in Northeast Hungary. 12th Central European Workshop Soil Zoology. České Budějovice, Czech Republic.
- Nagy, D.,** Debnár, Z., Horváth, R., Magura, T., Szabó, G., Babits, M. D., Tajthi, B. & Tóthmérés, B. (2013): Holyvák (Staphylinidae) diverzitása alföldi őshonos tölgyesekben és tájidegen ültetvényekben. 5. Szünzoológiai Szimpózium, Budapest, Hungary.
- Nagy, D.,** Baranyai, E., Nagy, L., Mizser, S., Debnár, Z. & Simon, E. (2013): Urbanizáció hatása a szárazföldi ökoszisztémára. IX. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Miskolc, Hungary.
- Nagy, D.,** Magura, T. & Tóthmérés, B. (2012): Urban green spaces supporting biodiversity: Rove beetles (Staphylinidae) respond to the urbanization. European Conference on Ecological Restoration, České Budějovice, Czech Republic.
- Nagy, D.** (2012): Tájidegen ültetvények és őshonos tölgyesek holyvaegyüttese. Molekulatudomány, Egészség- és Környezettudomány alprojektjeinek ünnepélyes előadói ülése, Debrecen, Hungary.

- Nagy, D.,** Magura, T. & Tóthmérés, B. (2011): Tájidegen ültetvények hatása a debreceni Nagyerdő holyvaegyütteseire (Staphylinidae). VII. Magyar Természetvédelmi és Biológiai Konferencia, Debrecen, Hungary.
- Nagy, D.** (2010): A debreceni Nagyerdő holyváinak (Staphylinidae) vizsgálata. 4. Szünzoológiai Szimpózium, Budapest, Hungary.