

Vplyv invázie pohánkovca japonského (*Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decr.) (Polygonaceae) na pôdne organizmy – prehľadový článok

MICHAELA JAKUBCSIKOVÁ, MAREK RENČO & ANDREA ČEREVKOVÁ*

Parazitologický ústav Slovenskej akadémie vied, Hlinkova 3, 040 01 Košice

Abstract. Effect of *Fallopia japonica* invasion on soil biota – a review.

Invasion of alien plant species is considered one of the most severe threats to natural ecosystems, with varying degrees of impact. Their occurrence in an ecosystem can lead to environmental changes, reduce native biodiversity, increase the homogenization of the world's biota, and cause economic damage. Some invaders can also produce toxic allergens dangerous to humans. We provide an overview of the current knowledge of the impact of the invasive plant *Fallopia japonica* on soil fauna. Our results indicated that the presence of *F. japonica* invaders in soil ecosystems often decreased the abundance and diversity of soil organisms, e.g., mites, springtails, and most beetles, but that other soil organisms, especially decomposers such as saprophytic fungi and some arthropods, were less affected. *Fallopia* invasion also negatively affected the abundance of herbivorous species, e.g., nematodes and some beetles, probably because nearly homogeneous stands of *Fallopia* produce inappropriate and low-diversity plant food upon which herbivorous species can feed. The overall conclusions indicated that more soil organisms were negatively affected than benefited from the presence of *F. japonica*, suggesting that the invaders were a threat to biodiversity and ecological integrity, especially for coastal but also other invaded ecosystems. There is a lack of ecophysiological work even though *F. japonica* is usually found on riverbanks. Our results also suggested that research on the impact of invasive plants, including *F. japonica*, on soil organisms remains insufficient despite the importance of *F. japonica* in ecosystem processes and/or the potential possibility of using soil organisms in mitigating invasion. These gaps in our knowledge can lead to scepticism about the damage caused by invasive plants if not sufficiently supported by scientific research.

Key words: Biological invasion, *Fallopia japonica*, soil biota

Úvod

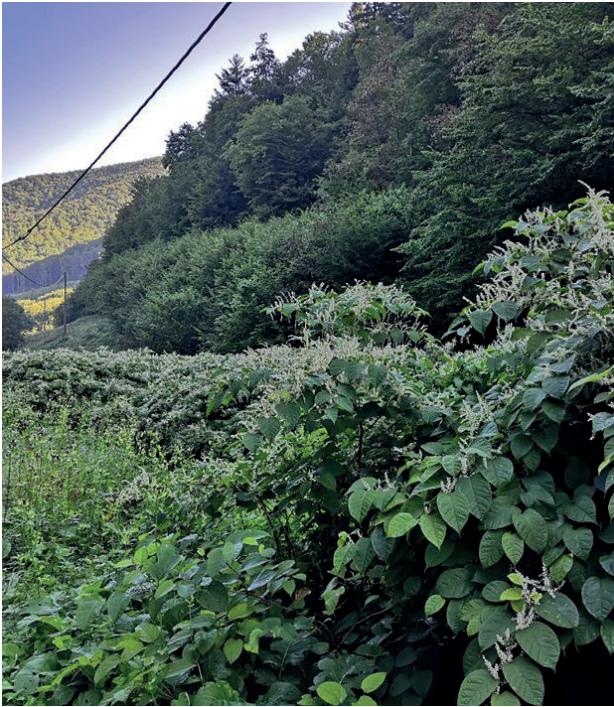
Invázia nepôvodných druhov rastlín je spoločne s klimatickými zmenami, nadmerným využívaním prírodných zdrojov a znečistením životného prostredia považovaná za najväčšiu hrozbu pre pôvodné ekosystémy (Pergl 2008). Výskyt invázných druhov rastlín v ekosystéme je globálnym problémom, ktorý často vedie k environmentálnym zmenám. Lone et al. 2019 Invázne rastliny sú vysoko konkurencieschopné, vitálne a odolné voči stresu a nepriaznivým podmienkam, dokážu rásť na typovo odlišných lokalitách, často sa rozširujú v narušených biotopoch, kde dokážu vytvoriť homogénne monocenózy. Rýchlo sa rozmnožujú vegetatívne aj generatívne, vytvárajú množstvo semien, ktoré dobre klíčia. Kvety invázných rastlín sa vyznačujú pestrejšou farbou, atraktívnejšou pre hmyz, čo taktiež napomáha k ich rozmnožovaniu (Vila et al. 2009). Vyskytujú sa vo väčších vzdialenostiach od materských rastlín, v novom prostredí majú zriedkavo a málo prirodzených nepriateľov, parazitov a sú odolné voči väčšine chorôb (Ružek & Noga 2015). Sú vážnym a narastajúcim celospoločenským problémom, pretože ich nekontrolované šírenie i zámerne rozširovanie prináša so sebou nielen environmentálne riziká spojené napr. so stratou biodiverzity, ale aj zdravotné riziká napr. alergie, popáleniny či ekonomické straty v poľnohospodárstve, lesnom hospodárstve, vodohospodárstve a podobne. Okrem toho, že invázne rastliny produkujú látky s alelopatickým účinkom vytvárajú aj veľké množstvo odumretej biomasy, ktorá často ostáva na napadnutých lokalitách. Pri rozklade tejto

biomasy sa do pôdy uvoľňujú látky, ktoré menia fyzikálne a chemické vlastnosti pôdneho prostredia čo sa následne odráža na zmenách v zložení a zastúpení pôdnych organizmov (Lone et al. 2019).

Rod pohánkovec alebo krídlatka (*Fallopia* spp.) patrí do čeľade stavikrvovitých (Polygonaceae). Zahŕňa 12 druhov, pričom na Slovensku boli zaznamenané tri druhy: pohánkovec japonský (*Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decr.) pohánkovec český (*F. x bohemica* (Chrtek et Chrtková) J. P. Bailey) a pohánkovec sachalínsky (*F. sachalinensis* (F. Schmidt) Ronse Decr.).

Fallopia japonica (Houtt.) Ronse Decraene syn. *Reynoutria japonica*, *Polygonum cuspidatum*, *Polygonum zyccarinii* (Weston et al. 2005) bola v roku 1999 označená za jednu zo 100 celosvetovo najnebezpečnejších invázných druhov rastlín (International Union for the Conservation of Nature) pričom bol zohľadnený jej vplyv najmä na biodiverzitu a ľudské aktivity (Luque et al. 2014). *F. japonica* pochádza pôvodne z východnej Ázie (Japonsko, Južná Kórea, Čína a Taiwan). V čínskej medicíne sa odvar z jej koreňa a listov dodnes využíva pri liečbe zápalových ochorení, kardiovaskulárnych a cievnych chorôb (Stefanowicz et al. 2016; Patočka et al. 2017). Do Európy bola introdukovaná v 19. storočí ako medonosná a okrasná rastlina. Vyrastá do výšky 1,5 až 3,6 m. Má silnú, vzpriamenú a rozvetvenú stonku s 1 – 3 cm dlhými stopkami, na ktorých vyrastajú 5 – 12 cm dlhé a 5 – 8 cm široké vajcovité a na báze zrezané listy. Kvety sú v paklasoch usporiadané do zelenožltých metlín a kvitnú od augusta do septembra. Plodom je okridlená, lesklá nažka tmavohnedej farby (Beerling et al. 1994;

* Korešpondenčný autor: A. Čerevková. Email: cerev@saske.sk



Obrázok 1. Súvislý porast pohánkovca japonského (*Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decr.) na okraji lesa pri obci Opátka (Foto: Andrea Čerevková).



Obrázok 2. Rozšírenie pohánkovca japonského (*Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decr.) v blízkosti ľudských sídiel v centre Košíc (Foto: Andrea Čerevková).

Prather et al. 2009), ktorá sa rýchlo šíri vetrom, vodou, prípadne ľudskou aktivitou. Najčastejšie sa rozmnožuje vegetatívne, pričom aj 1 cm úlomok koreňa je schopný prenosom napríklad vodou zakoreniť na brehu rieky a založiť nové husté porasty, ktoré dosahujú aj viac ako sto štvorcových metrov (Duquette et al. 2016). Často sa vyskytuje aj pozdĺž ciest a železničných tratí, ale aj v urbánnych oblastiach v centrách miest (Obrázok 1 a 2). Preferuje kyslé až neutrálné (pH = 4,0 – 7,4), hlinité alebo piesčité pôdy, ale všeobecne toleruje pomerne širokú škálu podmienok prostredia. Jej rozsiahly koreňový systém môže prerážaním asfaltu na cestách, chodníkoch a stenách spôsobiť vážne ekonomické škody (Prather et al. 2009; Sarajlić et al. 2016; Stefanowicz et al. 2016). Okrem toho monokultúry *F. japonica* menia úrodnosť pôdy a znižujú kvalitu ekosystémov, čím ovplyvňujú diverzitu pôvodných druhov rastlín a živočíchov (Gerber et al. 2008; Prather et al. 2009; Sarajlić et al. 2016). V tomto prehľadovom článku sumarizujeme poznatky o vplyve *F. japonica* na vybrané organizmy pôdnej mikro-, mezo- a makrofauny.

Vplyv *F. japonica* na pôdne mikroorganizmy

Medzi pôdne mikroorganizmy sa zaraďujú všetky organizmy, ktoré sa nachádzajú v pôde a sú menšie ako 0,2 mm. Patria sem baktérie vrátane aktinomycét, mikroskopické huby, riasy, bičíkovce, koreňonožce, nálevníky (Šimek et al. 2019). Ich primárnou funkciou je rozklad a mineralizácia organických látok, produkcia látok primárneho a sekundárneho metabolizmu, tvorba a odbúravanie humusových látok a fixácia vzdušného

N_2 . Pri štúdiu literárnych zdrojov bola v porastoch s *F. japonica* väčšinou pozorovaná vyššia abundancia, biomasa a druhová diverzita húb a prvokov na úkor abundancie a biomasy baktérií (Stefanowicz et al. 2016; Zubek et al. 2016). Keďže *F. japonica* vytvára nekvalitnú organickú hmotu, ktorá je chudobná na živiny a bohatá na lignín, jej rozklad je 3 až 4-krát pomalší ako rozklad rastlinnej biomasy pôvodných rastlín, čím sa spomaľuje cyklus organických látok v pôdnom prostredí. Takáto pomaly rozkladajúca sa mŕtva rastlinná biomasa akú vytvára *F. japonica* je uprednostňovaná pôdnymi hubami pred baktériami z dôvodu ich väčšej schopnosti mineralizovať rastlinné heteropolyméry a ich vyššej schopnosti využívať pôdny uhlík (Mincheva et al. 2014; Stefanowicz et al. 2016). Taníny, ktoré sú považované za antimikrobiálne látky a v podstielke *F. japonica* sa vyskytujú vo veľkom množstve, sú menej toxické pre huby ako pre pôdne baktérie. Suseela et al. (2016) uvádzajú, že rozklad organickej hmoty, ktorú produkuje *F. japonica* vo veľkom množstve si vyžaduje špeciálne enzýmy, ktoré produkujú iba niektoré pôdne huby. Autori zároveň naznačujú že pri obnove ekosystému okrem odstránenia invázneho druhu je pravdepodobne potrebná aj chemická úprava pôdy. Na druhej strane Stefanowicz et al. (2016) a Zubek et al. (2016) zistili, že aj niektoré mykorízne huby sú negatívne ovplyvňované prítomnosťou *F. japonica*. Pokles celkovej biomasy pôdnych mikroorganizmov, ktorý pravdepodobne súvisí s vysokým obsahom antimikrobiálnych látok v mŕtvej biomase pohánkovca uvádzajú aj autori Kumagai et al. (2005) a Stefanowicz et al. (2019).

Vplyv *F. japonica* na pôdnu mezofaunu

Do pôdnej mezofauny sa zaraďujú živočíchy s veľkosťou tela od 0,2 až 10 mm. Medzi najpočetnejšie skupiny patria vírniky, hlístovce, roztoče, chvostoskoky, ale patria tu aj šutki, vidličiariky, šúrniky a niektoré viacnôžky (Paupoda, Symphyla) (Šimek et al. 2019). Živia sa pôdnymi mikroorganizmami, pletivami živých rastlín alebo živočíšnymi tkanivami, prípadne pôdnym detritom. Svojou trofickou aktivitou v pôdnom prostredí ovplyvňujú biomasu a aktivitu pôdných mikroorganizmov, kolobeh živín a rozklad organickej hmoty. Tým, že sa živia mikroorganizmami a zároveň sú korisťou pre ostatné organizmy, tvoria významnú zložku pôdnej potravného siete (Eisenhauer 2010). Prítomnosť porastov *F. japonica* na lokalitách znížila druhovú diverzitu a abundanciu bezstavovcov, napríklad roztočov a chvostoskokov (Gerber et al. 2008; Hapca 2013). Skubala & Mierny (2009) pozorovali na lokalitách s výskytom *F. japonica* o 22% nižšiu abundanciu chvostoskokov a o viac ako 50% nižšiu abundanciu roztočov skupín Oribatida a Astigmatina. Podľa autorov môže byť znížená abundancia fytofágnych druhov v porastoch s výskytom *F. japonica* spôsobená fenolovými zlúčeninami (tanínmi), ktoré obsahuje organická hmota produkovaná *F. japonica* vo veľkom množstve (Kawasakiho et al. 1986). Podľa Gulvik (2007) a Manu et al. (2021) práve roztoče radu Oribatida rýchlo a citlivo reagujú na zmenu vegetačného zloženia a sú dobrými ukazovateľmi narušeného a ochudobneného stavu pôdneho prostredia, ktoré je zároveň pod vplyvom stresu. Zníženie diverzity a abundancie fytofágnych a fyto-mykofágnych druhov hlístovcov vplyvom *F. japonica* a iba malý alebo žiaden vplyv na abundanciu bakteriofágnych, omnifágnych a dravých hlístovcov uvádzajú autori Čerevková et al. (2019) a Renčo et al. (2021). Pri experimentálnom sledovaní vplyvu pridaných vyšších koncentrácií sekundárnych metabolitov *F. japonica* na hlístovce, roztoče a chvostoskoky bola zistená vyššia abundancia najmä baktériofágnych druhov hlístovcov, roztočov a chvostoskokov. Abundancia omnifágnych a dravých hlístovcov a podobne aj dravých roztočov (napr. Gamasida) nebola bez ohľadu na pridané koncentrácie sekundárnych metabolitov *F. japonica* ovplyvnená (Abgrall et al. 2018).

Vplyv *F. japonica* na pôdnu makrofaunu

Pôdna makrofauna je zastúpená živočíchmi s veľkosťou tela väčšou ako 10 mm. Patria tu mäkkýše, dážďovky, rovnakonôžky, mnohonôžky, stonôžky a iné stonôžkovce, pavúky, chrobáky, dvojkrídlovce, a ostatný hmyz. Tieto organizmy sa živia časťami rastlín a húb, drobnými živočíchmi alebo odumretými organizmami (Šimek et al. 2019). Svojou činnosťou drvia a rozkladajú organické látky, stimulujú mineralizáciu v pôde a ovplyvňujú humifikáciu a úrodnosť pôdy, čím podporujú pôdnu mikroflóru, aktivitu mikroorganizmov a tok energie v pôde (Szyszko-Podgórska et al. 2018). Ich rozmanitosť a početnosť pomáha zvyšovať pôdnu heterogenitu, čo napríklad zvyšuje odolnosť rastlín voči škodcom a odolnosť pôdneho prostredia voči narušeniu a nerovnováhe (Brown et al.

2001). Negatívny vplyv *F. japonica* na organizmy pôdnej makrofauny bol zaznamenaný napríklad v zníženej abundancii a diverzite dravých aj fytofágnych chrobákov. Naopak abundancia dravých koscov, bola na lokalitách s výskytom *F. japonica* vyššia ako na kontrolných lokalitách, a to pravdepodobne z dôvodu zjednodušenia vegetačného spoločenstva, ktoré vzniklo vplyvom invázie (Topp et al. 2008). Na invadovaných lokalitách sa pozorovala aj vyššia abundancia detritivorných mnohonôžok a rovnakonôžok ako na kontrolných lokalitách (Kappes et al. 2007). Johnson et al. (2019) uvádzajú, že *F. japonica* produkuje na začiatku vegetačného obdobia nektár, ktorý je bohatý na fruktózu a glukózu, a tým priťahuje dravé mravce (napr. druh *Myrmica rubra* (Linnaeus, 1758)), ktoré následne konkurujú herbivorným chrobákom. Prítomnosť *F. japonica* v porastoch spôsobuje aj zníženie abundancie herbivorných ulitníkov (Kappes et al. 2007). Negatívne ovplyvnené sú najmä veľké a dlho žijúce druhy slimákov (napr. slimák záhradný - *Helix pomatia* Linnaeus 1758) alebo bacuľka obyčajná - *Bradybaena fruticum* Müller, 1774) (Stoll et al. 2012).

Záver

F. japonica vytvára husté porasty s bohatým koreňovým systémom, čím lokálne znižuje druhovú diverzitu rastlín. Vytvára tiež odumretú biomasu, z ktorej sa pri rozklade uvoľňujú látky spôsobujúce zníženie pôdneho pH, čím sa menia nielen chemické vlastnosti pôdy, ale aj zastúpenie živých organizmov. Účinok *F. japonica* na pôdnu faunu závisí ako od sledovaného druhu pôdneho organizmu, tak aj od ďalších faktorov napríklad od chemických a fyzikálnych vlastností pôdneho prostredia, typu ekosystému, klímy, veku porastov a pod. Aj keď väčšina sledovaných pôdných organizmov reagovala na prítomnosť *F. japonica* negatívne, poklesom abundancie a diverzity (roztoče, chvostoskoky, väčšina chrobákov), niektoré, najmä detritivorné druhy (napr. pôdne huby, niektoré článkonožce) boli ovplyvnené menej. Znížená diverzita rastlín, a teda aj potenciálnej potravy má vplyv na abundanciu a druhovú diverzitu fytofágnych druhov živočíchov (napr. fytofágnych hlístovcov a chrobákov). Následne nižšia abundancia koristi vedie k zníženej abundancii predátorov, aj keď v prípade dravých koscov to neplatilo.

Celkové závery ale naznačujú, že negatívne ovplyvnených pôdných organizmov je viac ako tých ktorým prítomnosť *F. japonica* prospieva, a preto sa domnievame, že *F. japonica* je hrozbou pre biodiverzitu a ekologickú integritu, pobrežných, ale aj iných invadovaných ekosystémov. Môže spôsobovať vyhynutie pôvodných druhov a viesť k zmenám v štruktúre spoločenstiev pôdných organizmov. Tento prehľad sa pokúša zdôrazniť nedostatočné vedomosti o vplyve *F. japonica* na biodiverzitu a ekologické procesy v pôde. Hoci sú pomerne dobre známe účinky na pôdne mikroorganizmy najmä huby, baktérie a niektoré článkonožce, vplyv na iné skupiny pôdných organizmov sú takmer neznáme. Zaujímavým výsledkom tohto prehľadu je takmer úplná absencia ekohydrologických prác napriek

tomu že *F. japonica* sa vyskytuje najmä na brehoch riek, kde okrem iného často spôsobuje aj pôdnu eróziu.

Všetky spomínané štúdie sa uskutočnili v európskych a amerických regiónoch, pričom väčšina štúdií mala lokálny charakter, preto je potrebné overiť pozorované účinky na živé organizmy aj v širšom rozsahu vo väčších nadnárodných štúdiách a zistiť do akej miery má *F. japonica* vplyv na pôdne organizmy a zároveň na životné prostredie. Nedostatok výskumu vplyvu invázií rastlín vrátane *F. japonica* na biodiverzitu môže živiť skepticizmus o škodách spôsobených inváziou rastlín pokiaľ nie sú dostatočne podložené vedeckou literatúrou.

Podakovanie

Táto práca vznikla s podporou Vedeckej grantovej agentúry MŠVVaŠ SR A SAV, projekt číslo VEGA2/0018/20 Priamy a nepriamy vplyv invázií druhov rastlín na biodiverzitu pôdnej mikro a mezofauny.

Literatúra

- Abgrall C, Forey E, Mignot L, Chauvat M. 2018. Invasion by *Fallopia japonica* alters soil food webs through secondary metabolites. *Soil Biology and Biochemistry* 127:100–109.
- Beerling DJ, Bailey JP, Conolly AP. 1994. Biological Flora of the British Isles. *Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decraene. *Journal of Ecology* 82: 959–979.
- Brown GG, Pasini A, Benito NP, De Aquino AM, Correia MEF. 2001. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no tillage agroecosystems: A preliminary analysis. In: *International Symposium on Managing biodiversity in agricultural ecosystems, Proceedings*. Montreal: UNU/CBD, 310–328.
- Čerevková A, Bobuľská L, Miklisová D, Renčo M. 2019. A case study of soil food web components affected by *Fallopia japonica* (Polygonaceae) in three natural habitats in Central Europe. *Journal of Nematology* 51: e2019–42.
- Duquette M-C, Compérot A, Hayes LF, Pagola C, Belzile F, Dubé J, Lavoie C. 2016. From the source to the outlet: understanding the distribution of invasive knotweeds along a North American river. *River Research and Applications* 32: 958–966.
- Eisenhauer N. 2010. The action of an animal ecosystem engineer: Identification of the main mechanisms of earthworm impacts on soil microarthropods. *Pedobiologia* 53(6): 343–352.
- Gerber E, Krebs C, Murrell C, Moretti M, Rocklin R, Schaffner U. 2008. Exotic invasive knotweeds (*Fallopia* spp.) negatively affect native plant and invertebrate assemblages in European riparian habitats. *Biological conservation* 141(3): 646–654.
- Gulvik ME. 2007. Mites (Acari) as indicators of soil biodiversity and land use monitoring: a review. *Polish Journal of Ecology* 55(3): 415–440.
- Hapca A. 2013. The Effects of the *Reynoutria Japonica* Species on the Biodiversity in the Natural Park of Maramureş Mountains. *Bulletin UASVM Horticulture* 70(1): 124–130.
- Johnson LR, Breger B, Drummond F. 2019. Novel plant–insect interactions in an urban environment: enemies, protectors, and pollinators of invasive knotweeds. *Ecosphere* 10(11): e02885.
- Kappes H, Lay R, Topp W. 2007. Changes in different trophic levels of litter-dwelling macrofauna associated with giant knotweed invasion. *Ecosystems* 10: 734–744.
- Kawasaki M, Kanomata T, Yoshitama K. 1986. Flavonoids in the leaves of twenty-eight polygonaceous plants. *The botanical magazine – Shokubutsu-gaku-zasshi* 99: 63–74.
- Kumagai H, Kawai Y, Sawano R, Kurihara H, Yamazaki K, Inoue N. 2005. Antimicrobial substances from rhizomes of the giant knotweed *Polygonum sachalinense* against the fish pathogen *Photobacterium damsela* subsp. *piscicida*. *Zeitschrift für Naturforschung C* 60(1–2): 39–44.
- Lone PA, Dar JA, Subashree K, Raha D, Pandey PK, Ray T, Khare PK, Khan ML. 2019. Impact of plant invasion on physical, chemical and biological aspects of ecosystems: A review. *Tropical Plant Research* 6(3): 528–544.
- Luque GM, Bellard C, Bertelsmeier C, Bonnaud E, Genovesi P, Simberloff D, Courchamp F. 2014. The 100th of the world's worst invasive alien species. *Biological Invasions* 16: 981–985.
- Manu M, Băncilă RI, Birsan CC, Mountford O, Onete M. 2021. Soil mite communities (Acari: Mesostigmata) as indicators of urban ecosystems in Bucharest, Romania. *Scientific reports* 11(1): 3794.
- Míncheva T, Barni E, Varese GC, Brusa G, Cerabolini B, Siniscalco C. 2014. Litter quality, decomposition rates and saprotrophic mycoflora in *Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decraene and in adjacent native grassland vegetation. *Acta Oecologica* 54: 29–35.
- Patocka J, Navratilova Z, Ovando M. 2017. Biologically active compounds of knotweed. *Military Medical Science Letters* 86(1): 17–31.
- Pergl J. 2008. Co víme o vlivu zavlečených rostlinných druhů. *Zprávy České botanické společnosti* 43: 183–192.
- Prather TS, Miller TW, Robins S. 2009. *Knotweed shrubs: identification, biology, and management*. Moscow: University of Idaho Extension.
- Renčo M, Čerevková A, Homolová Z. 2021. Nematode communities indicate the negative impact of *Reynoutria japonica* invasion on soil fauna in ruderal habitats of tatra national park in Slovakia. *Global Ecology and Conservation* 26: e01470.
- Ružek I, Noga M. 2015. *Inváziéne druhy rastlín v Strednej Európe*. Bratislava: Vydavateľstvo Univerzity Komenského.
- Sarajlić N, Đikić M, Gadžo D. 2016. Distribution of Japanese Knotweed (*Reynoutria japonica* Houtt.) in the city of Sarajevo. *Radovi Poljoprivredno-prehrambenog fakulteta Univerziteta u Sarajevu* 61(1): 346–349.
- Skubala P, Mierny A. 2009. Invasive *Reynoutria* taxa as a contaminant of soil. Does it reduce abundance and diversity of microarthropods and damage soil habitat? *Pestycydy* (1–4): 57–62.
- Stefanowicz AM, Stanek M, Nobis M, Zubek S. 2016. Species-specific effects of plant invasions on activity, biomass, and composition of soil microbial communities. *Biology and Fertility of Soils* 52: 841–852.
- Stefanowicz AM, Stanek M, Majewska ML, Nobis M, Zubek S. 2019. Invasive plant species identity affects soil microbial communities in a mesocosm experiment. *Applied Soil Ecology* 136: 168–177.
- Stoll P, Gatzsch K, Rusterholz HP, Baur B. 2012. Response of plant and gastropod species to knotweed invasion. *Basic and Applied Ecology* 13(3): 232–240.
- Suseela V, Alpert P, Nakatsu CH, Armstrong A, Tharayil N. 2016. Plant–soil interactions regulate the identity of soil carbon in invaded ecosystems: implication for legacy effects. *Functional Ecology* 30(7): 1227–1238.
- Szysko-Podgórska K, Kondras M, Dymitryszyn I, Matracka A, Cimoch M, Żyłka-Zagrodzińska E. 2018. Influence of soil macrofauna on soil organic carbon content. *Environmental Protection and Natural Resources* 29(4): 20–25.
- Šimek M. 2019. *Živá půda: biologie, ekologie, využívání a degradace půdy*. Praha: Akademia.
- Topp W, Kappes H, Rogers F. 2008. Response of ground-dwelling beetle (Coleoptera) assemblages to giant knotweed (*Reynoutria* spp.) invasion. *Biological Invasions* 10: 381–390.
- Vila M, Bartomeus I, Dietzsch AC, Petanidou T, Steffan-Dewenter I, Stout JC, Tscheulin T. 2009. Invasive plant integration into native plant–pollinator networks across Europe. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 276(1674): 3887–3893.
- Weston LA, Barney JN, DiTommaso A. 2005. A review of the biology and ecology of three invasive perennials in New York State: Japanese knotweed (*Polygonum cuspidatum*), mugwort (*Artemisia vulgaris*) and pale swallow-wort (*Vincetoxicum rossicum*). *Plant and soil* 277: 53–69.
- Zubek S, Majewska ML, Błaszowski J, Stefanowicz AM, Nobis M, Kapusta P. 2016. Invasive plants affect arbuscular mycorrhizal fungi abundance and species richness as well as the performance of native plants grown in invaded soils. *Biology and Fertility of Soils* 52: 879–893.