

## Nové trendy v detekcii invázií škodcov

Fedor, P., Doričová, M., Vaňhara, J.: New Trends in Detection of Invasive Pests. *Životné prostredie*, 2014, 48, 2, p. 110 – 114.

*Despite no thrips have been recently listed by the IUCN Invasive Species Specialist Group among 100 “World’s Worst Invasive Alien Species” many of them refer to the definition applied to introduced species that affect the habitats (although anthropogenous) they invade economically. Consequently the effective system of their control and monitoring should be established to decline economic problems.*

*Being faced with practical problems in invasive pest identification we present a challenge of artificially intelligent systems that may be successfully applied as a credible, online, semiautomated identification tool extracting hidden information from noisy data, even when the standard characters have much overlap and the common morphological keys hint at the practical problem of high morphological plasticity. Although a need for automation of routine invasive species identification has been rather concentrated onto image analysis software tools or even the classification system design based on 3G wireless communication technology, composing of a remote on-line classification platform (with a digital signal processor) and a host control platform, the fully automated identification systems still sounds futuristic.*

**Key words:** pests, thrips, Thysanoptera, invasive, artificial intelligence

Okrem invázií dnes v ekológii pravdepodobne neexistuje fenomén, ktorý by si svoju terminológiu tak veľmi zaslúžil odvíjať od Terentiovoho *quot homines tot sententiae* (...koľko ľudí, toľko názorov...). Pravda, tento komediálny postulát Phormia sa pri tejto príležitosti veľmi rýchlo vytratí a ostanú len nezodpovedané otázky. Nielen pri biologických či ekonomických dôsledkoch, ale už hneď v úvode do štúdia. Je len prirodzené, že pojem invázneho druhu môže rozdielne koncipovať špecifické myslenie ekológov (v duchu potenciálnych zmien v lokálnej biodiverzite), taxonómov alebo expertov rozmanitých aplikovaných odvetví (ekonomické súvislosti). Nie je naším cieľom definovať fenomén invázie *in sensu stricto*, keďže tak sa to už stalo, s väčším či menším úspechom, v množstve vedeckých a odborných prác (Drake, ed., 1989; Simberloff, Rejmanek, 2011) vrátane renomovaných štúdií v prestížnom periodiku *Biological Invasions*. Pokiaľ je invázny druh najčastejšie spájaný s relatívnou nepôvodnosťou, zmenami areálu rozšírenia, potenciálnymi alebo dokonca reálnymi problémami s následnými dopadmi na pôvodnú biologickú rozmanitosť, možno v tejto súvislosti, *sine ira et studio*, uvažovať aj o inváznych druhoch strapiek (Thysanoptera) ako modelovej skupine poľnohospodárskych škodcov.

Mechanizmy a špecifiká introdukcie, expanzie či invázie a ich vzájomného prekryvu v prípade Thysanoptera bežne unikajú pozornosti taxonómov a ekológov (možno aj pre relatívne malé rozmery tela – vo veľkosti niekoľkých milimetrov), na druhej strane sú už tradičným centrom pozornosti aplikovaných fytosanitárnych (rastlinolekárske) inštitúcií, ktoré obzvlášť karanténne druhy monitorujú veľmi intenzívne s cieľom minimalizovať ekonomické straty v sektore pôdohospodárstva. Špecifikom invázií Thysanoptera ostáva ich viazanosť na agroocenózy (teda

aspekty ochrany prírody sú vo všeobecnosti nevýznamné), takmer výsostný výskyt v interiérových a umelo vyhrievaných priestoroch (ktoré sú zdrojom pre temporálnu expanziu v exteriéroch), dôraz na často nezanedbateľné hospodárske dôsledky (prenos rastlinných tospovírov), zvýšený význam synergického efektu (vzájomného pôsobenia klimatickej zmeny a globalizácie obchodu s biologickými komoditami), významný pasívny transport (zväčša vetrom ako súčasť aeroplanktónu) a potenciál sezónneho kolísania (napr. jesenná kulminácia a infiltrácia do dočasne vhodných agroocenóz). V tejto súvislosti spomenieme napríklad zaujímavý nález fytopatogénneho pôvodne afrického, a v podmienkach mierneho pásma výsostne sklenikového druhu, *Hercinothrips femoralis* (obr. 1) hlboko v útrobách Tatranského národného parku v roku 2008 (Masarovič et al., in press).

Výskyt nepôvodných a invázií druhov strapiek na území Slovenska je teda primárne viazaný na urbánnu, resp. agrárnu krajinu, v rámci ktorej pôsobia interiéry ľudských obydlí, ale predovšetkým skleníky s pomerne stabilnou teplotou ako centrá šírenia do okolitého prostredia. Prirodzená vlastnosť druhu (obzvlášť pri kulminácii) testovať limitujúce ekologické faktory a prípadne zväčšiť areál svojho rozšírenia nachádza prostredníctvom týchto mechanizmov úspech dočasný (v prípade exteriéru) alebo viac-menej permanentný (úspešná invázia medzi skleníkmi). Otázkou dlhodobjšieho prežitia teplomilných druhov v otvorenej krajine podčiarkuje prirodzene aj efekt klimatickej zmeny.

Priamo na Slovensku boli v posledných rokoch spojených s globalizáciou obchodu (obr. 2) s biologickými komoditami zaznamenané mnohé exotické druhy fytopatogénnych Thysanoptera, napr. *Frankliniella occidentalis*,

*Parthenothrips dracaenae*, *Gynaikothrips ficorum*, *Echinothrips americanus* (Klímová, 1992; Hammersteinová et al., 2008; Fedor, Varga, 2007; Varga, Fedor, 2008), ktoré sa úspešne šíria najmä s dekoratívnymi rastlinami v skleníkoch a interiéroch ľudských obydlií. Pritom rýchlosť invázneho procesu v prípade mnohých druhov Thysanoptera (ale aj iných poľnohospodárskych škodcov) nie je zanedbateľná. Napríklad *Echinothrips americanus* s pôvodným rozšírením vo východnej časti Severnej Ameriky bol v Európe prvýkrát zaznamenaný vo februári 1989 (Varga, Fedor, 2008; Vierbergen, 1998) a v priebehu 20 rokov úspešne prenikol do väčšiny európskych krajín, vrátane Slovenska (2008). Strategickou výhodou mnohých škodcov je aj ich pomerne široká polyfágia (schopnosť konzumovať široké spektrum rastlinných druhov), ktorá im umožňuje prežívať v rozmanitých kultúrach.

#### Invázne druhy a riziká klimatickej zmeny v globalizovanej ekonomike

Ešte aj v 80. rokoch 20. storočia považovali mnohé vedecké kapacity skoré pochopenie nezvyčajných fluktuálnych cyklov niektorých poľnohospodárskych škodcov za nie veľmi reálne, pretože do hry vstupovala synergia nespočetného množstva faktorov. Až aplikácia moderných štatistických metód analýzy tisícročnej čínskej databázy populácie významného poľnohospodárskeho škodcu *Locusta migratoria manilensis* (Caelifera) so špecifickými mechanizmami oscilácie podčiarkuje náhle zmeny počasia a klimatickú zmenu ako takú ako hlavný faktor populačných výkyvov (Stige et al., 2007). Len strohé porovnanie akejsi prepojenosti populačnej hustoty, teploty a zrážok je značne zmaťočné. Premnoženie škodcov do istej miery koreluje s malou ľadovou dobou v 16. a 17. storočí a naopak, nízka hustota bola zaznamenaná najmä v teplom a vlhkom 12. storočí, no detailnejšia štatistická analýza poukazuje na silné interakcie výlučne pri nízkych teplotách a ich hodnota sa s nárastom teploty približuje k nule. Rovnako negatívnu koreláciu medzi fluktuáciou škodcov a teplotou možno demonštrovať osobitne počas rokov s intenzívnymi zrážkami. Až osobitný matematický model, ktorý berie do úvahy viac klimatických faktorov, okrem



Obr. 1. *Hercinothrips femoralis* – zavlečený druh exotickéj strapky šíriaci sa do stredoeurópskych skleníkov (2008). Foto: Miroslav Deml



Obr. 2. Globalizácia obchodu s okrasnými rastlinami prispieva k introdukcii a invázii niektorých patogénnych organizmov (2011). Foto: Peter Fedor

teploty a zrážok aj výskyt dlhodobějších suchých období a záplav, podčiarkuje výrazné interakcie medzi počasím a fluktáciou hmyzu smerom k narušeniu energicko-materiálových tokov ekosystému. A to je iste závažný postulát aj pre európske podmienky.

Nie je našim cieľom komentovať skutočnosť, že obdobie rokov 1881 až 2008 je charakteristické nárastom priemernej ročnej teploty vzduchu o 1,6 °C a poklesom ročného úhrnu zrážok o 3,4 %, na juhu Slovenska dokonca viac ako o 10 % (Lapin, in verb). Oveľa markantnejšie sú extrémne prejavy počasia, ktoré nesporne majú určitý vplyv na biotu. Paralelne s otepľovaním a aridizáciou, teda fenoménmi pomerne ľahšie sledovanými klimatológmi, pôsobia v prírode aj ďalšie faktory v menšej či väčšej miere prepojené, ku ktorým nesporne patrí glo-

balizácia obchodu s biologickými komoditami, či úplne nové dimenzie cestovného ruchu. Rámcovo možno ich prejavy očakávať vo viacerých oblastiach (vrátane spoločenského sektora), napríklad ako zavlečenie nových druhov patogénov a ich prenášačov, či invázičných druhov v oblasti poľnohospodárstva a lesníctva, ktoré v podmienkach mierneho pásma prežívali v minulosti zásadne len v skleníkoch, ale zmiernenie zimy predstavuje hrozbu ich prezimovania aj vo voľnej prírode.

Aspoň to dokazuje materiál, ktorý analyzujeme pre Ústredný kontrolný a skúšobný ústav poľnohospodársky, oficiálne monitorujúci tento problém. V tejto súvislosti je základným právnym predpisom zákon NR SR č. 405/2011 Z. z. o rastlinolekárskej starostlivosti, kde sa pod monitoringom škodlivých organizmov, ktorý je jediným účinným nástrojom prevencie pred rozsiahlymi ekonomickými škodami, obzvlášť ak o záchrane naozaj vysokých hospodárskych hodnôt rozhodujú hodiny, rozumie *úradný sústavný proces sledovania a vyhodnocovania populácie škodlivých organizmov*. Predovšetkým tzv. karanténnych, ktorých deštruktívny potenciál je ekonomicky najvýznamnejší, napr. ako prenášačov neliečiteľných tospovírusov a ktorých výskyt môže obmedziť zahraničný obchod s poľnohospodárskymi komoditami. A predsa, v celej tejto medzinárodnej mašinérii ostáva najproblematickejším bodom rýchla a spoľahlivá detekcia škodcov s invázičným potenciálom.

### Od detekcie a monitoringu invázičných druhov k potenciálu umelej inteligencie

Promptná a spoľahlivá identifikácia reálnych aj potenciálnych invázičných druhov je nesporne kľúčom k efektívnym krokom na minimalizáciu s nimi spojených ekonomických problémov. Tradičné metódy identifikácie patogénnych invázičných organizmov, vrátane karanténnych elementov, sa už tradične odvíjajú od klasických kľúčov zohľadňujúcich aktuálne taxonomické revízie a čoraz častejšie spolupracujúcich s paralelnými molekulárnymi analýzami (Mehle, Trdan, 2012). Tak pri rade Thysanoptera využíva fytošnitárna prax kľúče zostavené na báze charakteristických znakov vonkajšej morfológie hmyzu, napr. tykadlových, často s nábehom na moderné digitalizované determináčny systémy typu Lucid. Práve tieto interaktívne softvéry sú azda najčastejšie využívané vo fytošnitárnej praxi fytoinšpektormi, pre ktorých sú navrhované, ale ich praktickým problémom ostáva limitovaná schopnosť identifikácie, výsostne pre absolútne nepoškodený materiál a druhy predpokladané pre danú oblasť.

Problémom ostávajú výrazne intrašpecificky variabilné populácie, kde niektoré ekologické faktory (napr. vlhkosť, teplota či ekotonálny efekt) posúvajú viaceré morfometrické premenné do oblasti mimo mantinelov definovaných v identifikačnom systéme. Integrovaný prístup, ktorý zdôrazňuje aplikáciu viacerých paralelných a do istej miery nezávislých metód detekcie karan-

ténnych škodcov, nás núti vyvíjať nové nástroje identifikácie, možno ešte promptnejšie a univerzálnejšie, ale najmä schopné vyrovnáť sa so špecifickými problémami fytošnitárnej praxe. Jedným z nich sú nesporne aj umelé neurónové siete (Fedor et al., 2009). Naozaj rapidný progres v informačných technológiách podčiarkuje možnosti vývoja celkom nových oblastí taxonómie a identifikácie druhov, vrátane organizmov s významným deštruktívnym a invázičným potenciálom. Jednou z nových výziev je aj potenciál umelých neurónových sietí (Weeks, Gaston, 1997; Gaston, O'Neill, 2004). Analógia k štruktúre a fungovaniu ľudského mozgu korešponduje s dosiaľ neznámymi výzvami informačných technológií v monitoringu karanténnych škodcov.

Unikátna schopnosť neživého systému učiť sa, získavať vlastné skúsenosti z databázy údajov, ale predovšetkým zovšeobecniť existujúce trendy začala veľmi rýchlo viesť k semiautomatickým a možno čoskoro plnoautomatickým nástrojom promptnej determinácie biologických objektov. Skutočne, umelé neurónové siete sú matematickým či kybernetickým modelom, ktorý sa pokúša simulovať funkcie a špecifiká biologických neurónových sietí a na rozdiel od tradičných, štandardných štatistických metód nie sú lineárne, čo korešponduje s ich naozaj širokým využitím v celom spektre súborov dát v rozmanitých oblastiach ľudského poznania od astrofyziky a analytickej chémie cez neurofyziológiu a onkológiu až po mnohé aplikované prírodné vedy. Široké uplatnenie nachádzajú aj v monitoringu karanténnych škodcov s invázičným potenciálom v prevencii pred rozsiahlymi ekonomickými škodami v poľnohospodárskej produkcii.

K naozaj zaujímavým výstupom, ktoré potvrdzujú progres v kybertaxonómii, patrí aj projekt využitia umelej inteligencie pri rýchlej a spoľahlivej identifikácii 101 najvýznamnejších druhov z radu Thysanoptera oficiálne prezentovaných prestížnou fytošnitárnou organizáciou EPPO (Európska a stredozemská organizácia ochrany rastlín), vrátane najnebezpečnejších karanténnych vektorov rastlinných tospovírusov. Z početných databáz možno ako príklad spomenúť analýzu rodu *Limothrips*, ktorého druhy disponujú istým deštruktívnym potenciálom pri jesennom premnožení, ktoré nie je možné predikovať a ktorá naberá silne lokálny charakter. Na báze 20 zväčša morfometrických (rozmery tela) premenných, meraných na zdigitalizovaných snímkach s presnosťou na 3 stotiny mikrometra, bolo možné v takzvanej fáze *trénovania* systému navrhnuť optimálnu architektúru neurónovej siete. Každá z nich je trojrozmernou štruktúrou, už konvenčne formovanou viacerými vrstvami, v ktorých sa sústreďujú kontaktné uzly. Je nutné zdôrazniť, že takáto štruktúra vyniká zložitou vzájomných interakcií medzi jednotlivými neurónmi.

Výstupom je 4-vrstevný systém jednej vstupnej vrstvy s morfometrickými premennými, dvoma skrytými vrstvami, v ktorých prebieha analýza signálov a jednej

výstupnej vrstvy s konkrétnymi druhmi škodcov rodu *Limothrips*. Vo fáze verifikácie, ktorá predstavuje testovanie schopnosti systému správne zaznamenať škodcu, sa potvrdila až vyše 97 % spoľahlivosť systému (Fedor et al., 2008). A tak sa celý proces prekloní do záverečnej fázy praktickej predikcie druhu. No v celom tomto procese ostáva intrašpecifická (vnútrodruhová) variabilita patogénnych druhov i v modernej fytošanitárnej praxi jedným z najneuralgickejších mílnikov. Bez akéhokoľvek pozastavenia sa nad príčinami a mechanizmami variability, vrátane ekologických a evolučných faktorov, sú aplikované vedy postavené pred skutočnosť, že tradičné morfológické kľúče zápasia s medznými a navzájom sa prekrývajúcimi hodnotami morfometrických veličín (rozmerov tela). V prípade ťažko odlišiteľných druhov, z ktorých prvý patrí k najbežnejším a ekonomicky významným a druhý k sporadicky sa vyskytujúcim (no disponujúcim neuveriteľne rizikovým inváznym potenciálom ako prenášač neliečiteľných tospovírov) a kedy o záchrane vysokých hospodárskych hodnôt rozhodujú hodiny, je promptná detekcia dodnes účinným opatrením na prevenciu a následnú ochranu poľnohospodárskej produkcie.

### Integrovaný prístup a automatizácia v monitoringu invázných druhov

V mnohých prípadoch podávajú pomocnú ruku metódy molekulárnej biológie, napr. metóda enzýmovej elektroforetickej diskriminácie. Ich využitie vo fytošanitárnej praxi sa však viac dotýka analýzy DNA, ktorá prešla v posledných rokoch výraznou štandardizáciou a automatizáciou samotného procesu detekcie druhu tak v laboratórnej, ako aj v softvérovej rovine. Pritom pozornosť je nutné klásť najmä na mitochondriálnu DNA, ktorá pre účely rutínnej determinácie bez akýchkoľvek fylogenetických výstupov úplne postačuje a do istej miery toleruje nie práve optimálny stav biologického materiálu z terénu. V rámci štandardného procesu úpravy sekvencií cez príslušný softvér sa porovnáva získaný výstup s možnosťami génovej banky, ktorá disponuje stále viac informáciami o DNA sekvenciách jednotlivých monitorovaných druhov.

Napriek neustálemu úsiliu a naliehaniu revidovať aktuálnu databázu molekulárnych výstupov pre jednotlivé druhy škodcov priznávajú aj špičkové laboratória reálne problémy spôsobené napríklad nedostatkom biologického materiálu pri tvorbe databázy, nehovoriac o problémoch podfinancovania fytošanitárnych staníc v rozvojových krajinách, ktoré si najmodernejšiu výbavu pre molekulárne analýzy jednoducho nemôžu dovoliť.

V nie ojedinelých prípadoch druhov (nielen invázných), možno trochu s problematickým určením, kde tradičné morfológické metódy nestačia na preklopenie vnútrodruhovej variability a metódy molekulárnej biológie nie sú dostupné (napr. z finančného hľadiska v roz-

vojových krajinách), kde sú problémy s fytopatogénnymi druhmi najmarkantnejšie, objavuje sa celkom nezávisle potenciál systémov umelej inteligencie. Toto trochu neskromné vyhlásenie možno demonštrovať aspoň jedným konkrétnym príkladom: základné štatistické zhodnotenie podčiarkuje vysoký stupeň variability dvoch sledovaných druhov strapiek (*Thrips sambuci* a *T. fuscipennis*, Thripidae) a vzájomné prekryvy ich jednotlivých morfológických premenných. Pre potenciál masívneho premoženia v poľnohospodárskej krajine je správne odlišenie ekonomicky významného *T. fuscipennis* od pomerne bežného a neškodného *T. sambuci* kľúčom k následnej druhovo špecifickej chemickej ochrane plodín.

No už faktorová analýza (Fedor et al., 2014), ktorá bola vo svojej podstate navrhnutá na detekciu hypotetických skrytých premenných naznačuje, že rozdiely jednoznačne existujú. Nie je to náhoda ani štatistický alibizmus, veď s podobnými výstupmi súvisia aj ďalšie mnohorozmerné analýzy, ktoré celkom zreteľne poukazujú na existenciu štyroch množín dát, teda dvoch druhov s dvomi pohlaviami.

Takto navrhnutý softvér dokáže rýchlo a presne identifikovať patogénny druh a vyhnúť sa narušeniu stability poľnohospodárskej krajiny poškodením energicko-materiálového kolobehu. Preto podčiarkujeme význam umelých neurónových sietí a kybertaxonómie. Akoby tieto dva pojmy vyplňali prázdnu niku v metodológii detekcie karanténnych škodcov s inváznym potenciálom alebo minimálne figurovali ako dnes už rovnocenný partner ostatných paralelných prístupov v intenciách integrovanej taxonómie. Je evidentné, že jeden alebo viac rozmerov tela, morfometrických premenných, nenesú veľký potenciál pre správne určenie, obzvlášť pre podobné a zároveň výrazne variabilné druhy, no ich vzájomné pomerné hodnoty si umelá inteligencia všima ako premenné s neoceniteľnou informáciou pre fytošanitárnu prax.

Nový koncept aplikácie umelej inteligencie do detekcie karanténnych škodcov s inváznym potenciálom naberá čoraz konkrétnejšiu podobu. Korelačná analýza sledovaných znakov v súčasnosti umožňuje vylepšenie systému znížením počtu meraných premenných o tie, ktoré vykazujú vysokú koreláciu navzájom pri zachovaní spoľahlivosti systému.

V posledných rokoch rezonuje nielen v oblasti detekcie invázných biologických objektov aj potenciál tzv. geometrickej morfometrie (*Landmark-based Geometric Morphometrics*) (Do et al., 1999), ktorá úspešne infiltrovala medzi metódy analyzujúce trojrozmerné štruktúry tela. V podstate plnoautomatizovaný robotický systém analyzuje trojrozmernú štruktúru škodcu a už v prototypovej verzii sa celkom úspešne vysporiadal s analýzou naskenovaných dát pri 86 % miere spoľahlivosti (Han et al., 2012). Otvorené otázky ostávajú ešte napríklad pri dostatočnej redukcii šumu prostredia, ktoré komplikuje definovanie biologického objektu, ale to už je úlohou spomínaných umelých neurónových sietí.

Rovnako dôležitým bodom je v tejto súvislosti prístupnosť semiautomatizovaných determinačných systémov, aby okrem akademickej obce našli uplatnenie predovšetkým v aplikovanej sfére. Takýto online determinačný systém založený na princípoch umelej inteligencie pri rozlišovaní problematických patogénnych druhov je sprístupnený napríklad v rámci výskumnej skupiny ThripsGroup na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského v Bratislave.

Je vysoko pravdepodobné, že od umelej inteligencie sa kroky fytošaržárnej praxe a teda aj monitoringu invázií v sektore pôdohospodárstva začnú čoskoro uberať smerom k plne automatizovaným a robotizovaným systémom, v ktorých návrh vhodného softvéru musí celkom zákonite prameniť nie v technickej, ale prírodovednej oblasti.

\* \* \*

Tento príspevok vychádza z tematickej a teoretickej platformy biologických invázií, napriek svojmu nádychu vo sfére aplikovaných vied. Problematika invázií druhov upútala pozornosť moderných ekologov ako do istej miery civilizačný fenomén s dôsledkami markantnými najmä v rovine neprirodzených zmien biologickej diverzity a paralelne s nimi narušenia rovnovážnych mechanizmov rozmanitých ekologických systémov. Okrem terminologických aspektov je však nutné rozvíjať metodologickú rovinu štúdií invázií druhov, vrátane introdukovaných exotických poľnohospodárskych škodcov, ktorých patogénny potenciál môže viesť k závažným ekonomickým stratám.

Práve v sektore fytošaržárnej starostlivosti naberá problém invázií na význame v dôsledku synergického efektu viacerých sprievodných faktorov, predovšetkým však rizík globalizovaného obchodu s biologickými komoditami a dôsledkov klimatickej zmeny. Potreba nových efektívnejších metód detekcie a monitoringu invázií škodcov bude v najbližších rokoch viesť k rozvoju informačných umelo inteligentných a automatizovaných technológií, ktoré v intenciiach integrovanej taxonómie pomôžu k praktickému zvládaniu rizík spojených s introdukciou a inváziou patogénnych druhov.

Tento článok vznikol vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre dopytovo-orientovaný projekt: Univerzitný vedecký park Univerzity Komenského v Bratislave, ITMS 26240220086 spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja, projektu VEGA 1/0137/2011, CETPO CZ.1.07/2.3.00/20.0166 a ÚBZ PŘF Masarykovy univerzity v Brně.

## Literatúra

Do, M. T., Harp, J. M., Norris, K. C.: A Test of a Pattern Recognition System for Identification of Spiders. Bulletin of Entomological

- Research, 1999, 89, p. 217 – 224.
- Drake, J. A. (ed.): Biological Invasions: A Global Perspective. SCOPE 37, John Wiley et Sons, 1989, 525 p.
- Fedor, P., Malenovský, I., Vaňhara, J., Sierka, W., Havel, J.: Thrips (Thysanoptera) Identification Using Artificial Neural Networks. Bulletin of Entomological Research, 2008, 98, p. 437 – 447.
- Fedor, P., Peña-Mendez, E. M., Kucharczyk, H., Vaňhara, J., Havel, J., Doričová, M., Prokop, P.: Artificial Neural Networks in Online Semiautomated Pest Discriminability: An Applied Case with 2 Thrips Species. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2014, 38, p. 111 – 124.
- Fedor, P., Vaňhara, J., Havel, J., Malenovský, I., Spellerberg, I.: Artificial Intelligence in Pest Insect Monitoring. Systematic Entomology, 2009, 34, p. 398 – 400.
- Fedor, P. J., Varga, L.: The First Record of *Gynaikothrips Ficum* Marchal, 1908 (Thysanoptera) in Slovakia. Thysanopteron. Pismo Entomologiczne, 2007, 3 (1), p. 1 – 2.
- Gaston, K. J., O'Neill, M. A.: Automated Species Identification: Why Not? Philosophical Transactions of the Royal Society B, 2004, 359, p. 655 – 667.
- Hammersteinová, I., Fedor, P., Kikťová, A.: *Parthenothrips dracaenae* Hegeer, 1854 (Thysanoptera:Thripidae) in Slovakia – Missed and Rediscovered after 110 Years. Thysanopteron. Pismo entomologiczne, 2008, 1,1, p. 10 – 12.
- Han, R., He, Y., Liu, F.: Feasibility Study on a Portable Field Pest Classification System Design Based on DSP and 3G Wireless Communication Technology. Sensors, 2012, 12, p. 3118 – 3130.
- Klímová, R.: Strapka západná, nebezpečný škodca skleníkových kvetov a zeleniny. Bratislava: Vydavateľstvo NOI, 1992, 31 s.
- Masarovič, M., Fedor, P., Doričová, M.: „Testing the Limits“ – An Interesting Record of the Banded Greenhouse Thrips *Hercinothrips Femoralis* (Reuter, 1891) (Thysanoptera, Thripidae, Panchaethripinae) at High Carpathian Altitudes. Journal of Central European Agriculture, in press, 2014.
- Mehle, N., Trdan, S.: Traditional and Modern Methods for the Identification of Thrips (Thysanoptera) Species. Journal of Pest Science, 2012, 85, 2, p. 179 – 190.
- Simberloff, D., Rejmanek, M.: Encyclopedia of Biological Invasions. Encyclopedias of the Natural World, University of California Press, 2011, 792 p.
- Stige, L. C., Chan, K. S., Zhang, Z., Frank, D., Stenseth, N. C.: Thousand-Year-Long Chinese Time Series Reveals Climatic Forcing of Decadal Locust Dynamics. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, 104, 41, p. 16188 – 16193.
- Varga, L., Fedor, P. J.: First Interception of the Greenhouse Pest *Echinothrips Americanus* Morgan, 1913 (Thysanoptera: Thripidae) in Slovakia. Plant Protection Science, 2008, 44, 4, p. 155 – 158.
- Vierbergen, G.: *Echinothrips Americanus* Morgan, a New Thrips in Dutch Greenhouses (Thysanoptera: Thripidae). Proceedings of the Section Experimental and Applied Entomology of the Netherlands Entomological Society, 1998, 9, p. 155 – 160.
- Weeks, P. J. D., Gaston, K. J.: Image Analysis, Neural Networks, and the Taxonomic Impediment to Biodiversity Studies. Biodiversity Conservation, 1997, 6, p. 263 – 274.

**Prof. RNDr. Peter Fedor, PhD.,** [fedor@fns.uniba.sk](mailto:fedor@fns.uniba.sk)  
**RNDr. Martina Doričová, PhD.,** [doricovamartina@gmail.com](mailto:doricovamartina@gmail.com)  
**Katedra environmentálnej ekológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava**  
**Prof. RNDr. Jaromír Vaňhara, CSc.,** [jaromir.vanhara@gmail.com](mailto:jaromir.vanhara@gmail.com)  
**Ústav botaniky a zoológie Prírodovedecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně, Kotlářská 2, 611 37 Brno**