

ÚČINNOST RŮZNÝCH KONCENTRACÍ LAMBDA-CYHALOTHRINU, ALPHA-CYPERMETHRINU A TAU-FLUVALINATU NA LÝKOŽROUTA SMRKOVÉHO *IPS TYPOGRAPHUS* (LINNAEUS 1758) V ZÁVISLOSTI NA POHLAVÍ

EFFICACY OF DIFFERENT CONCENTRATIONS OF LAMBDA-CYHALOTHRINE, ALPHA-CYPERMETHRINE AND TAU-FLUVALINATE ON BOTH SEX OF SPRUCE BARK BEETLE *IPS TYPOGRAPHUS* (LINNAEUS 1758)

MARIE ZAHRADNÍKOVÁ¹ ✉ - JAROSLAV DOSTÁL² - PETR ZAHRADNÍK¹ - JAKUB ŠPOULA¹

¹Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Útvar lesní ochranné služby, Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Czech Republic

²Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Útvar biologie a šlechtění lesních dřevin, Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Czech Republic

✉ e-mail: zahradnikova@vulhm.cz

ORCID: M. Zahradníková 0000-0002-1604-728X

J. Špoula 0000-0001-9602-8048

P. Zahradník 0000-0002-4508-8179

ABSTRACT

The aim of the experiment was to compare the efficacy of the synthetic pyrethroids lambda-cyhalothrin, alpha-cypermethrin and tau-fluvalinate on the spruce bark beetle (*Ips typographus* L.), as well as to observe the response based on the sex of the spruce bark beetle. The beetles were captured using barrier pheromone traps (Ridex s. r. o.). For laboratory evaluation of sensitivity, the methodology for testing resistance of the pollen beetle *Brassicoglyphus aeneus* (Fabricius, 1775) to insecticides was used according to the recommendations of the Insecticide Resistance Action Committee. The sex of each individual was determined by dissection. After 24 hours of exposure to lambda-cyhalothrin, 0% of both males and females survived, with alpha-cypermethrin, 0% of males and 0.16% of females survived, and with tau-fluvalinate, 2.8% of males and 3.87% of females survived. Statistical analysis of the data (using the Kruskal-Wallis test) indicated that tau-fluvalinate is less effective than lambda-cyhalothrin and alpha-cypermethrin, and that the sensitivity of the spruce bark beetle does not depend on its sex. More females (on average 72%) than males (on average 28%) were attracted to the pheromone traps used.

For more information see Summary at the end of the article.

Klíčová slova: syntetický pyretroid; poměr pohlaví; účinnost; IRAC

Key words: synthetic pyrethroid; sex ratio; efficacy; IRAC

ÚVOD

Lýkožrout smrkový (*Ips typographus* L.) patří k nejvýznamnějším škůdcům smrkových porostů v rámci celého areálu svého rozšíření, od střední a severní Evropy, přes Rusko a Sibiř, severní Čínu až po Japonsko (PFEFFER 1955, 1995; ZUMR 1985; SKUHRAVÝ 2002; KNÍŽEK 2011). Aktivní ochrana proti tomuto škůdci spočívá ve vyhledávání napadených stromů, jejich odstranění z porostů a včasné asanaci (ZUMR 1985; ZAHRADNÍK 2006, 2014). Asanace chemickými přípravky na ochranu rostlin se začala ve světě, ale i v tehdejší Československu, provádět v 50. letech 20. století. Jako první byla použita chemická asanace poprašováním napadených kmenů přípravky na bázi DDT (PFEFFER 1952; ZWOLFER 1946; KUHN 1949; RECKMANN

1950; MARTINEK 1952; NOVÁK 1955, 1957), následovalo zavedení jiných účinných látek na bázi dalších chlorovaných uhlovodíků (HCH – hexachlorcyklohexan a jeho γ isomer – lindan), organofosfátů a karbamátů (STARK, BORDEN 1965; SCHINDLER 1968, 1971; NORDBY, WILHELMSEN 1969; EIDMANN 1970; THOMAS 1970; REISCH 1971; NOVÁK 1972; CIBULSKÝ, HÝCHE 1974; RAGENOVICH, COSTNER 1974; THALENHORST 1974; NIEMEYER 1975; NOVÁK, ŠROT 1977), a to postřiky. V 70. letech se používaly i penetrační přípravky (BUTOVITSCH, EIDMANN 1962; NOVÁK 1967, 1980). Penetraci zabezpečovaly olejové roztoky (emulze), resp. použití solventní nafty. Tento typ insekticidů ovlivňoval spotřebu postřikové jichy na jednotku plochy kůry, protože ve svém principu nemusela být pokryvnost tak „dokonalá“. I dávka

účinné látky mohla být teoreticky nižší, protože nebylo nutné zajistit dlouhodobý účinek, k mortalitě docházelo krátce po aplikaci, kdy přípravek pronikl kůrou, kde hubil všechna vývojová stadia. Počátkem 80. let však byly tyto přípravky z ochrany lesa vyřazeny. Od poloviny 80. let byly ostatní skupiny účinných látek nahrazeny syntetickými pyretroidy (WULF 1985), odvozenými od pyrethra, přírodního insekticidu extrahovaného z *Chrysanthemum cinerariaefolium* (CREMLYN 1985) nebo *Ch. coccineum* (SIMANOV, ZAHRADNÍK 2017). Do ochrany rostlin, a tedy i lesa, se dostala celá řada účinných látek odvozených od permethrinu – alpha-cypermethrin, cypermethrin, deltamethrin, cyhalothrin, zeta-cypermethrin (WORTHING, HANCE 1991), které byly obsaženy v řadě produktů – přípravků na ochranu rostlin, od různých výrobců. Ovšem i zde se v poslední době spektrum používaných účinných látek citelně snížilo, a tím i počet přípravků určených k asanaci lýkožrouta smrkového. V lesním hospodářství jsou v současnosti syntetické pyrethroidy, i když ve značně zúženém spektru, jedinou možností pro chemickou asanaci kůrovcového dříví; používají se již téměř 50 let a ekvivalentní náhrada není. Roste tak riziko projevu rezistence.

Cílem práce je zjistit, zda existuje rozdílná citlivost v reakci na expozici následujících syntetických pyretroidů: lambda-cyhalothrin (v lesnictví dříve používaný), alpha-cypermethrin (v lesnictví používaný do roku 2023) a tau-fluvalinate (v lesnictví nepoužívaný) v závislosti na pohlaví lýkožrouta smrkového. Porovnává se též účinnost použitých účinných látek na lýkožrouta smrkového.

MATERIÁL A METODIKA

Terénní část

V období květen 2022 až červenec 2022 bylo sledováno 13 subpopulací lýkožrouta smrkového v oblastech Šumava (Šumava 2, Šumava 3), Brdy (Obecnice), Vysočina (Červená Rečice 1, Červená Rečice 2, Svěpravice 1, Svěpravice 2, Lešov 1, Lešov 2, Velký Rybník) a východ Prahy (Botič, Jesenice, Jirčany). Ve smrkových porostech byly instalovány feromonové šterbinové lapače (Ridex s. r. o.), ze kterých byli odebíráni živí jedinci pro lahvičkové testy rezistence. Z lapačů byli odebráni a umístěni do lahviček (viz níže) živí brouci hned druhý den po předchozím vyčištění, aby byla zajištěna co největší vitalita imág, bez možnosti jejich poškození (zejména „okousávání“ tarsů). V závislosti na výši odchytu bylo do jednotlivých lahviček vkládáno pět až patnáct jedinců.

Laboratorní část

V laboratoři byly připraveny skleněné lahvičky dle doporučení Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) pro testování rezistence blýskáčka řepkového (Číslo metody 011; IRAC 2009) (<http://www.ira-online.org/methods/meligethes-aeneus-adults/>) tak, že do nich byl vstříknut roztok účinné látky dané koncentrace. Použita byla kroková pipeta HandyStep® S. Lahvičky s roztokem byly uloženy na roller, který při svém pohybu zaručil smočení všech stěn lahviček.

Testovány byly následující dávky účinných látek na hektar (varianty):

- lambda-cyhalothrin: (1) 0 g.ha⁻¹ = neošetřená kontrola; (2) 0,06 g.ha⁻¹; (3) 0,3 g.ha⁻¹; (4) 1,5 g.ha⁻¹; (5) 7,5 g.ha⁻¹; (6) 37,5 g.ha⁻¹
- alpha-cypermethrin: (1) 0 g.ha⁻¹ = neošetřená kontrola; (2) 0,4 g.ha⁻¹; (3) 2,0 g.ha⁻¹; (4) 10,0 g.ha⁻¹ a (5) 50 g.ha⁻¹
- tau-fluvalinate: (1) 0 g.ha⁻¹ = neošetřená kontrola; (2) 1,92 g.ha⁻¹; (3) 9,6 g.ha⁻¹; (4) 48 g.ha⁻¹ a (5) 240 g.ha⁻¹

Pro každou testovanou subpopulaci byla připravena tři opakování u každé dávky účinné látky.

Jedinci byli po 24hodinové expozici účinné látky rozděleni do tří kategorií dle své reakce. Brouci v kategorii: (i) byli živí, schopni rychlého běhu bez ztráty orientace; (ii) na insekticid reagovali citlivě, ale nebyli mrtví, reakce tykadel či končetin pouze po podráždění, možnost chůze, ale neudržení rovnoměrného přímočarého pohybu, časté převálení na krovky; (iii) smrt.

Pohlaví jednotlivých kusů bylo určeno pitvou. Mrtví brouci byli vařeni v kádince s vodní lázní v epruvetě s 10% roztokem KOH. Následně byl odlomen abdomen a po další segregaci částí abdomenu byla v glycerinu zjišťována přítomnost nebo absence penisu, po čemž následovalo rozdělení na samce a samice.

Statistická analýza dat byla provedena v programu NCSS. Protože nebyla prokázána normalita dat, bylo užito neparametrické analýzy, tj. jednofaktorové Kruskal-Wallis ANOVy a následného Kruskal-Wallis testu mnohonásobného porovnání u všech testovaných kategorií. Protože byly do lahviček umísťovány různé počty imág dle aktuální výše odchytu z lapačů, byly zjištěné počty imág v rámci objektivizace dat převedeny na procenta.

VÝSLEDKY

Za období květen až červenec 2022 bylo do lahviček odebráno 3 799 jedinců. Celkově bylo testováno 1 083 samců a 2 716 samic. Do instalovaných feromonových lapačů nalétaly samice průměrně ze 72 % (57,5 až 79,5), samci průměrně z 28 % (18,9 až 42,5) (Obr. 1).

Účinné látky alpha-cypermethrin a lambda-cyhalothrin vykazují oproti látce tau-fluvalinate vyšší účinnost pro obě pohlaví. Po expozici účinné látky lambda-cyhalothrin nepřežil žádný jedinec v žádné variantě. Po expozici účinné látky alpha-cypermethrin ve variantě 4 (10,0 g.ha⁻¹) přežilo 0,16 % samic a 0 % samců a účinné látce tau-fluvalinate ve variantě 2 (1,92 g.ha⁻¹) přežovalo 3,87 % samic a 2,8 % samců na totožné látce i variantě. Tabulka 1 zobrazuje procento živých, citlivě reagujících a mrtvých jedinců po expozici testovaným účinným látkám dle pohlaví.

Na základě dosažených výsledků $p = 0,000$ na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ lze tvrdit, že mezi použitými účinnými látkami jsou statisticky významné rozdíly. Výsledky rozdílů mezi jednotlivými účinnými látkami znázorňuje Tab. 2. Další test s výsledkem $p = 0,793$ ($p > 0,05$) dokazuje, že reakce na expozici dané účinné látky (přežívání) nebyla závislá na pohlaví lýkožrouta smrkového. Výsledky kombinace účinné látky a pohlaví ukazuje Tab. 3.

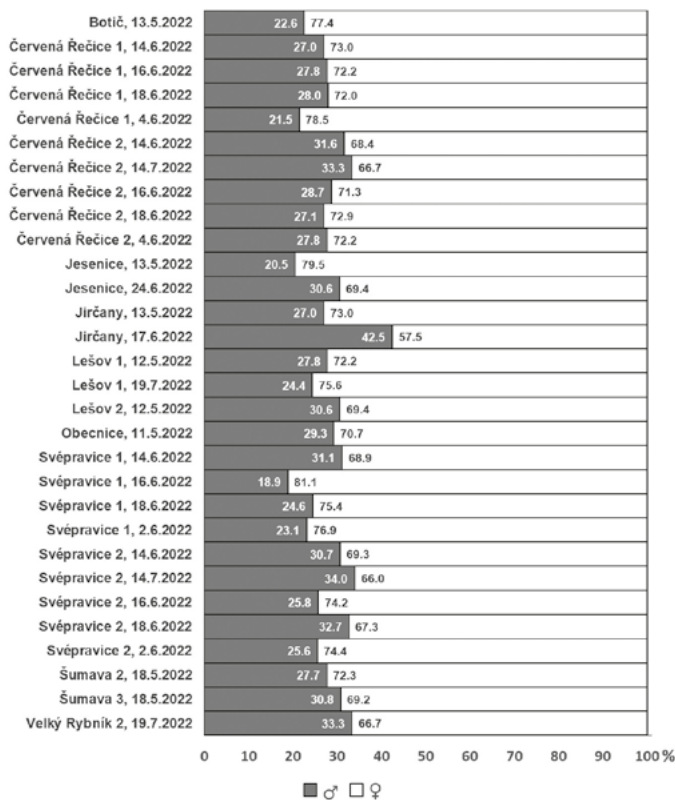
DISKUSE

Obvyklý poměr pohlaví lýkožrouta smrkového v požercích je 1:2, tj. na jednoho samce připadají dvě samice. V gradaci však může být poměr i 1:1, v latenci pak 1:3. Poměr pohlaví vyhlýchých brouků je však přibližně 1:1 (PFEFFER 1955; LINDELÖW, WESLIEN 1986). Agregační feromon u tohoto druhu vylučuje samec po zavrtání pod kůru hostitelské dřeviny. Předává dvě základní informace – láká další samce k obsazení hostitelské dřeviny a současně láká samice za účelem páření a založení nové generace. Schéma náletu na stromy předkládají SCHLYTER, LÖFQVIST (1986), SCHLYTER et al. (1987a, 1987b), BYERS (1989) nebo KLIMETZEK, VÍTĚ (1989). Thalenhorst (in SCHMIDT-VOGTH 1977) uvádí, že obrannými mechanismy smrků hyne až 70 % lýkožroutů. Vzhledem k tomu, že na smrky primárně nalétávají sam-

ci, aby nalákali samice a založili novou generaci, tak redukce poměru pohlaví se týká především samců. Z toho částečně vyplývají i poměry, resp. rozdíly v odchytu samců a samic do feromonových lapačů. BRUTOVSKÝ (1986) uvádí rozdíly mezi poměrem pohlaví lýkožroutů zachycených do feromonových lapačů. Zatímco u přístavacích (trubicových) lapačů, kdy samice po přistání musely proniknout „předvrtanou dírkou“ do lapače, což byla imitace vniknutí do snubní komůrky, u nárazových lapačů, včetně šterbinových, které jsou pouze jejich modifikací, narazí a uvíznou v něm samci i samice lákání agregacním feromonem. To způsobuje rozdíly v poměru zachycených samců a samic. V rámci pokusu byly používány šterbinové feromonové lapače, kde je poměr zachycených samců a samic 1:2. V našem experimentu bylo odchyceno průměrně 72 % samic a 28 % samců.

Nejhorších výsledků v tomto experimentu z hlediska účinnosti dosáhla účinná látka tau-fluvalinate, což bylo prokázáno i v zemědělských plodinách proti hmyzím škůdcům (MILOVAC et al. 2017; NICHOLAS, THWAITE 2003). VUKOVIĆ et al. (2014) uvádí nižší účinnost tau-fluvalinate oproti lambda-cyhalothrinu, zároveň ale popisuje jeho benefit v nižší toxicitě pro necílový hmyz a včely.

Výsledky testování přípravků na ochranu lesa pro asanaci kůrovcevého dříví s příslušnými účinnými látkami se nezveřejňují. Na základě výsledků (terénní pokusy dle metodik EPPO) buď jsou, nebo nejsou registrovány. Proto je nutné se dívat i na tyto výsledky vycházející z laboratorních testů a rozlišující pohlaví kontaminovaného jedince.



Obr. 1.
 Poměr pohlaví lýkožrouta smrkového v jednotlivých odchycích
Fig. 1.
 Spruce bark beetle sex ratio in samples

Tab. 1.
 Podíl jedinců reagujících na jednotlivé účinné látky a jejich koncentrace
 Proportion of individuals responding to individual active ingredients and their concentrations

Účinná látka (dávka)/Active ingredient (g.ha ⁻¹)	Samci/Male (%)			Samice/Female (%)		
	Živí/Alive	Citliví/Sensitive	Mrtví/Dead	Živí/Alive	Citliví/Sensitive	Mrtvé/Dead
AC(2)	0	17,12	6,55	0	17,52	6,81
AC(3)	0	15,01	9,09	0	15,41	10,30
AC(4)	0	14,59	11,42	0,16	15,16	8,92
AC(5)	0	20,51	5,71	0	20,28	5,43
LC(2)	0	15,15	8,33	0	12,09	6,49
LC(3)	0	14,39	3,79	0	16,81	4,42
LC(4)	0	9,09	5,30	0	13,57	7,96
LC(5)	0	13,64	3,03	0	14,75	7,08
LC(6)	0	21,97	5,30	0	12,68	4,13
TF(2)	2,8	4,47	16,26	3,87	6,50	16,17
TF(3)	0	14,23	11,38	0	12,13	12,83
TF(4)	0	12,60	13,41	0	11,60	12,30
TF(5)	0	10,98	13,82	0	11,25	13,36

AC = alpha-cypermethrin (2) 0,4; (3) 2,0; (4) 10,0 a (5) 50; LC = lambda-cyhalothrin (2) 0,06; (3) 0,3 ; (4) 1,5; (5) 7,5; (6) 37,5; TF = tau-fluvalinate(2) 1,92; (3) 9,6; (4) 48 a (5) 240; tučně zvýrazněné jsou nejvyšší dosažené hodnoty

AC = alpha-cypermethrin (2) 0.4; (3) 2.0; (4) 10.0 a (5) 50; LC = lambda-cyhalothrin (2) 0.06; (3) 0.3 ; (4) 1.5; (5) 7.5; (6) 37.5; TF = tau-fluvalinate (2) 1.92; (3) 9.6; (4) 48 a (5) 240; the highest achieved values are given in bold.

ZÁVĚR

Mezi účinností testovaných účinných látek lambda-cyhalothrin, alfa-cypermethrin a tau-fluvalinate proti lýkožroutu smrkovému existuje statisticky významný rozdíl. Nejméně účinnou je látka tau-fluvalinate.

Z porovnání citlivostní reakce samců a samic na použité účinné látky vyplývá, že reakce není závislá na pohlaví.

Větší část odchytu (72 %) ve šterbinovém feromonovém lapači tvoří samice.

Poděkování:

Publikace vznikla v rámci podpory na rozvoj výzkumné organizace č. MZE-RO0123 a Ústavu pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství Mendelovy univerzity v Brně.

Tab. 2.

Test vícenásobného porovnání (Dunnův test)
Multiple-Comparison Z-Value Test (Dunn's Test)

Účinná látka/ Active ingredient	AC	LC	TF
AC	0,0000	1,4980	4,7260
LC	1,4980	0,0000	5,0431
TF	4,7260	5,0431	0,0000

Poznámka/Note: Tučně zvýrazněné hodnoty znamenají statisticky významný rozdíl mezi účinnými látkami (> 1,96). AC (alfa-cypermethrin), LC (lambda-cyhalothrin), TF (tau-fluvalinate)/Values in bold indicate a statistically significant difference between the active ingredients (> 1.96). AC (alfa-cypermethrin), LC (lambda-cyhalothrin), TF (tau-fluvalinate).

Tab. 3.

Kruskal-Wallis test mnohonásobného porovnání (Dunnův test)
Kruskal-Wallis Multiple-Comparison Z-Value Test (Dunn's Test)

Účinná látka(pohlaví)/ Active ingredient(sex)	Medián/ Median	Statisticky odlišná skupina/ Statistically different group
LC(M)	76,92308	TF(M), TF(F)
LC(F)	70,83334	TF(M), TF(F)
AC(M)	68,33334	TF(M), TF(F)
AC(F)	62,67857	TF(M), TF(F)
TF(M)	40,83333	AC(M), AC(F), LC(M), LC(F)
TF(F)	38,31522	AC(M), AC(F), LC(M), LC(F)

LC = lambda-cyhalothrin, AC = alfa-cypermethrin, TF = tau-fluvalinate, (M) – samci/ male, (F) – samice/female

LITERATURA

- BRUTOVSKÝ D. 1986. Hodnotenie feromonových lapačov na podkôrný hmyz. [Evaluation of pheromone traps used for catching bark beetles]. In: Zborník referátov z konferencie „Uplatňovanie výsledkov výskumu v ochrane lesov“. Zvolen, 11.-12. júna 1986. Zvolen: Výskumný ústav lesného hospodárstva: 43–50.
- BUTOVITSCH V. VON, EIDMANN H. 1962. Die Behandlung von berindeten Nutzholz mit Insektiziden. Versuche über die Einwirkung von Applikation. Dosierung und Konzetratation auf den Befall durch Rindenbruten. Forstwissenschaftliches Zentralblatt, 81: 212–222.
- BYERS J.A. 1989. Chemical ecology of bark beetles. *Experientia*, 45: 271–283. DOI:10.1007/BF01951813
- CIBULSKY R.J., HYPHE L.L. 1974. Ips spp.: effect of dichlorvos-fuel oil sprays. *Journal of Economic Entomology*, 67 (5): 678–680. DOI: 10.1093/je/67.5.678
- CREMLYN R. 1985. Pesticidy. Praha: Nakladatelství technické literatury: 245 s.
- EIDMANN H. 1970. Skydd för obarkat virke. *Skogen*, 57: 202–204.
- IRAC. 2009. IRAC Susceptibility Test Methods Series 011 [online]. [cit. 2024-06-10]. Dostupné na www.irc-online.org/methods/meligethes-aeneus-adults/?ext=pdf
- KLIMETZEK D., VITĚ J.P. 1989. Tierische Schädlinge. In: Schmidt-Vogt H. (ed.): Die Fichte. Band II/2. Krankheiten Schäden Fichtensterben. Hamburg und Berlin, Parey: 40–133.
- KNÍŽEK M. 2011. Scolytinae. In: Löbl I., Smetana A. (eds.): Catalogue of palaearctic Coleoptera. Volume 7. Curculionioidea I. Stenstrup, Apollo Books: 204–251.
- KUHN W. 1949. Zur Bekämpfung der Fichtenborkenkäfer. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 100: 64–66.
- LINDELÖW A., WESLIEN J. 1986. Sex-specific emergence of *Ips typographus* L. (Coleoptera: Scolytidae) and flight behaviour in response to pheromone source following hibernation. *The Canadian Entomologist*, 118: 59–67. DOI: 10.4039/Ent11859-1
- MARTINEK V. 1952. Pokusy s bojem proti kůrovci (*Ips typographus* L.) poprašováním lapáků insekticidy. *Lesnická práce*, 31 (1): 17–26.
- MILOVAC Ž., ZORIĆ M., FRANETA F., TERZIĆ S., PETROVIĆ OBRADOVIĆ O., MARJANOVIĆ JEROMELA A. 2017. Analysis of oilseed rape stem weevil chemical control using a damage rating scale. *Pest Management Science*, 73 (9): 1962–1971.
- NIEMEYER H. 1975. Borkenkäfer-situation und -bekämpfung in Norddeutschland. Stellungnahme zu AFZ-Fragen von der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Abteilung Waldschutz *Allgemeine Forstzeitschrift*, 30: 1036–1038.
- NICHOLAS A., THWAITE W. 2003. Toxicity of chemicals commonly used in Australian apple orchards to the European earwig "*Forficula auricularia*" L. (Dermaptera: Forficulidae). *General and Applied Entomology: The Journal of the Entomological Society of New South Wales*, 32: 9–12.
- NORDBY A., WILHELMSSEN G. 1969. Equipment, rate of volume and dosage by spraying of unbarked coniferous sawlogs with insecticides. *Vollebekk, Forest Research Institute*: 106 s. Meddeleser fra det Norske Skogforsøksvesen, 27 (96).

- NOVÁK V. 1955. Příspěvek k poznání účinnosti HCH na lýkožrouta smrkového. Sborník Československé Akademie Zemědělských věd – Lesnictví, 28 (3): 355–374.
- NOVÁK V. 1957. Příspěvek k poznání účinnosti HCH (hexachlor-cyklohexanu) na lýkožrouta smrkového *Ips typographus* L. II. Sborník Československé akademie zemědělských věd – Lesnictví 3 (5): 423–436.
- NOVÁK V. 1967. Boj proti kůrovci pomocí otrávených lapáků po napadení. Práce Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, 34: 185–211.
- NOVÁK V. 1972. Chemické přípravky na ochranu neodkorněného dřeva v boji proti kůrovci a dřevokazu čárkovanému. Lesnická práce, 51 (4): 160–161.
- NOVÁK V., ŠROT M. 1977. Chemická ochrana neodkorněného dřeva a asanace kůrovci bez obsahu DDT. Lesnictví, 23: 969–984.
- NOVÁK V. 1980. Nové přípravky a nové metody v boji proti lýkožroutu smrkovému *Ips typographus* (L.) a některým dalším, hospodářsky významným druhům kůrovci. Příbram: 17 s.
- PFEFFER A. 1952. Kůrovec: lýkožrout smrkový a boj proti němu. Praha, Brázda: 44 s. Lesnická knihovna, 12.
- PFEFFER A. 1955. Fauna ČSR, sv. 6. Kůrovci – Scolytoidea (Řád: brouci – Coleoptera). Praha: Nakladatelství Československé akademie věd: 324 s.
- PFEFFER A. 1995. Zentral- und westpaläarktische Borken- und Kernkäfer (Coleoptera: Scolytidae, Platypodidae). Basel, Pro Entomologia, c/o Naturhistorisches Museum Basel: 310 s. ISBN 3-9520840-6-9
- RAGENOVIČ I.R., COSTNER J.E. 1974. Evaluation of some carbamate and phosphate insecticides against southern pine beetle and *Ips* bark beetles. Journal of Economic Entomology, 67 (6): 763–765. DOI: 10.1093/jee/67.6.763
- RECKMANN G. 1950. Kampf dem Fichtenborkenkäfer (*Ips typographus* L.) bei Massenvermehrung. Berlin, Deutscher Zentralverlag: 255 s.
- REISCH J. 1971. Abwehr von Borkenkäferschäden. Merkblatt 1971. Allgemeine Forstzeitschrift, 26: 510–511.
- SCHINDLER U. 1968. Nutzholzborkenkäfer-Bekämpfung mit chemischen Mitteln in Abhängigkeit von der biologischen Grundlagen. Forst- und Holzwirt, 23 (13): 268–270.
- SCHINDLER U. 1971. Stand der Borkenkäfer-Bekämpfung. Holz Zentralblatt, 97 (27): 373–374.
- SCHLYTER F., LÖFQVIST J. 1986. Response of walking spruce bark beetles *Ips typographus*, *Ips typographus* to pheromone produced in different attack phases. Entomologia Experimentalis et Applicata, 41: 219–230. DOI: 10.1111/j.1570-7458.1986.tb00532.x
- SCHLYTER F., BYERS J.A., LÖFQVIST J. 1987a. Attraction to pheromone sources of different quantity, quality, and spacing: density-regulation mechanism in bark beetle *Ips typographus*. Journal of Chemical Ecology, 13: 1503–1523. DOI: 10.1007/BF01012294
- SCHLYTER F., LÖFQVIST J., BYERS J.A. 1987b. Behavioral sequence in the attraction of the bark beetle *Ips typographus* to pheromone source. Physiological Entomology, 12: 185–196. DOI: 10.1111/j.1365-3032.1987.tb00741.x
- SCHMIDT-VOGTH H. 1977. Die Fichte I. Taxonomie. Verbreitung. Morphologie. Ökologie. Waldgesellschaften. Hamburg, Parey: 647 s.
- SIMANOV V., ZAHRADNÍK P. 2017. Vývoj aplikační techniky v chemické ochraně lesa. In: Zahradník P., Vacek Z. (eds.): Aplikační technika přípravků na ochranu rostlin v lesním hospodářství. Sborník příspěvků. Národní zemědělské muzeum Praha, 31. 1. 2017. Praha, Česká lesnická společnost: 7–15.
- SKUHRAVÝ V. 2002. Lýkožrout smrkový a jeho kalamity. Praha, Agrospoj. 196 s.
- STARK R.W., BORDEN J.H. 1965. A field test of lindane for preventing and control of attack by *Ips confusus* (LeConte) (Coleoptera: Scolytidae) in slash. Journal of Economic Entomology, 58: 1162–1163. DOI: 10.1093/JEE/58.5.994
- THALENHORST W. 1974. Deutsche Forstschutz-Literatur 1972/72 III. Abwehrmassnahmen gegen tierische Schädlinge. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, 81: 243–251.
- THOMAS J.B. 1970. Lindane as a control for *Ips pini* (Say) in red pine plantation. Bi-Monthly Research Notes, 26 (5): 47–48.
- VUKOVIĆ S., INDIĆ D., GVOZDENAC S., ČERVENSKI J. 2014. Efficacy of insecticides in the control of cabbage pests. Research Journal of Agricultural Science, 46 (2): 421–425.
- WORTHING C.R., HANCE R.J. 1991. The pesticide manual. A world compendium. Farnham, Surrey, British Crop Protection Council: 1141 s.
- WULF A. 1985. Zur Umweltverträglichkeit von Borkenkäferbekämpfungsmitteln. Allgemeine Forstzeitschrift, 40: 265–267.
- ZAHRADNÍK P. 2006. Základy ochrany lesa v praxi. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 128 s.
- ZAHRADNÍK P. (ed.) 2014. Metodická příručka integrované ochrany rostlin pro lesní porosty. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 374 s.
- ZUMR V. 1985. Biologie a ekologie lýkožrouta smrkového (*Ips typographus* L.) a ochrana proti němu. Praha, Academia: 124 s. Studie ČAZV, 17/85.
- ZWOLFER W. 1946. Die Winterbekämpfung der Fichtenborkenkäfer (*Ips typographus* und *Pityogenes chalcographus*). Allgemeine Forstzeitschrift, 1: 55–56.

EFFICACY OF DIFFERENT CONCENTRATIONS OF LAMBDA-CYHALOTHRINE, ALPHA-CYPERMETHRIN AND TAU-FLUVALINATE ON BOTH SEX OF SPRUCE BARK BEETLE *IPS TYPOGRAPHUS* (LINNAEUS 1758)

SUMMARY

The spruce bark beetle (*Ips typographus* L.) is one of the most significant pests of spruce forests across its distribution range, which extends from Central and Northern Europe through Russia and Siberia, Northern China, and Japan (ZUMR 1985; SKUHRÁVÝ 2002; PFEFFER 1955, 1995; KNÍŽEK 2011). The use of chemical substances for plant protection began globally and in former Czechoslovakia in the 1950s. From the mid-1980s, other groups of active ingredients were replaced by synthetic pyrethroids (WULF 1985). Various active ingredients derived from permethrin – such as alpha-cypermethrin, cypermethrin, deltamethrin, cyhalothrin, and zeta-cypermethrin – were introduced for plant protection, including forestry (WORTHING, HANCE 1991).

The aim of this study is to determine whether there is a differential sensitivity to the following synthetic pyrethroids based on gender: lambda-cyhalothrin (previously used in forestry), alpha-cypermethrin (used in forestry until 2023), and tau-fluvalinate (not used in forestry). The efficacy of these active ingredients on the spruce bark beetle was also compared.

From May 2022 to July 2022, 13 subpopulations of the spruce bark beetle were monitored in the regions of Šumava, Brdy, Vysočina, and east of Prague. Pheromone barrier traps (Ridex s. r. o.) were placed in vicinity of spruce forest walls, from which imagoes were collected into vials. In the laboratory, glass vials were prepared following the recommendations of the Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) for testing resistance in the pollen beetle (<http://www.irac-online.org/methods/meligethes-aeneus-adults/>) (IRAC 2009) by injecting them with solutions of the active ingredients at specified concentrations. The following doses of active ingredients per hectare were tested (variants): (i) Lambda-cyhalothrin: (1) 0 g.ha⁻¹ = untreated control, (2) 0.06 g.ha⁻¹, (3) 0.3 g.ha⁻¹, (4) 1.5 g.ha⁻¹, (5) 7.5 g.ha⁻¹, (6) 37.5 g.ha⁻¹, (ii) Alpha-cypermethrin: (1) 0 g.ha⁻¹ = untreated control, (2) 0.4 g.ha⁻¹, (3) 2.0 g.ha⁻¹, (4) 10.0 g.ha⁻¹, (5) 50 g.ha⁻¹, (iii) Tau-fluvalinate: (1) 0 g.ha⁻¹ = untreated control, (2) 1.92 g.ha⁻¹, (3) 9.6 g.ha⁻¹, (4) 48 g.ha⁻¹, (5) 240 g.ha⁻¹. After 24-hour exposure to the active ingredient, individuals were categorized based on their response: (i) Alive, capable of rapid movement without loss of orientation, (ii) Sensitive to the insecticide but not dead, with antennae or limb reactions only upon stimulation, capable of walking but unable to maintain steady, straight movement, often flipping onto their backs, (iii) Dead. The sex of each imago was determined with dissection. Data were statistically analyzed using NCSS software. Due to the non-normality of the data, non-parametric analysis was employed, specifically one-way Kruskal-Wallis ANOVA and subsequent Kruskal-Wallis multiple comparison tests for all tested categories. For testing the influence of sex on sensitivity to the insecticide active ingredients, the numbers of imagoes in samples were converted to percentages.

From May to July 2022, 3,799 individuals were collected, comprising 1,083 males and 2,716 females. The installed pheromone barrier traps captured females on average 72% (57.5 to 79.5), and males on average 28% (18.9 to 42.5) (Fig. 1). The active ingredients alpha-cypermethrin and lambda-cyhalothrin showed higher efficacy for both genders compared to tau-fluvalinate. No individuals survived exposure to lambda-cyhalothrin at any variant. After exposure to alpha-cypermethrin at variant 4 (10.0 g.ha⁻¹), 0.16% of females and 0% of males survived, while exposure to tau-fluvalinate at variant 2 (1.92 g.ha⁻¹) resulted in 3.87% of females and 2.8% of males surviving. Table 1 shows the percentage of live, sensitively reacting, and dead individuals after exposure to the tested active ingredients by gender. Based on the results with $p = 0.000$ at a significance level of $\alpha = 0.05$, there are statistically significant differences between the tested active ingredients. The differences between the individual active ingredients are shown in Table 2. Another test with $p = 0.793$ ($p > 0.05$) demonstrates that the response to exposure to the given active ingredient (survival) was not dependent on the gender of the spruce bark beetle. The results of the combination of active ingredient and gender are shown in Table 3.

In our experiment, 72% of the captured individuals were females, and 28% were males. There is a statistically significant difference in the efficacy of the tested active ingredients lambda-cyhalothrin, alpha-cypermethrin, and tau-fluvalinate against the spruce bark beetle. Tau-fluvalinate is the least effective. The sensitivity response of males and females to the active ingredients used indicates that the reaction is not gender-dependent.

Zasláno/Received: 16. 06. 2024

Přijato do tisku/Accepted: 25. 06. 2024