

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra ekologie a životního prostředí



Bojí se stínky křepelek?

Bc. Julie Votoupalová

Diplomová práce

předložená

na Katedře ekologie a životního prostředí

Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků

na získání titulu Mgr. ve studijním programu

Biologie a environmentální výchova pro vzdělávání/Geografie pro vzdělávání

Vedoucí práce: doc. RNDr. Mgr. Ivan Hadrián Tuf, Ph.D.

Olomouc 2026

Votoupalová J. 2026. Bojí se stínky křepelky? [diplomová práce]. Olomouc: Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci. 39 s. česky.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá vlivem chemických signálů predátora na chování kořisti, konkrétně reakcí stínky obecné (*Porcellio scaber*). Cílem práce bylo ověřit, zda stínky reagují na chemické podněty pocházející z výkalů predátora a zda je tato reakce ovlivněna dietou predátora.

Experimentální část byla realizována formou experimentu založeného na principu volby prostředí. Testovaní jedinci byli vystaveni vodným extraktům z výkalů křepelky japonské (*Coturnix japonica*), která byla krmena třemi typy diety – zrním, zrním s příměsí moučných červů (*Tenebrio molitor*) a zrním s příměsí stínek. Reakce stínek byla hodnocena na základě jejich prostorové distribuce v experimentální aréně.

Výsledky prokázaly, že stínky vykazují vyhýbavé chování vůči chemickým signálům predátora ve všech testovaných variantách, což potvrzuje význam chemické komunikace v interakcích predátor–kořist. Bylo zjištěno, že dieta predátora ovlivňuje intenzitu této reakce, avšak tento vztah nebyl jednoznačný. Nejvýraznější vyhýbavé chování bylo zaznamenáno u varianty s rostlinnou dietou, zatímco reakce na signály spojené s konzumací živočišné potravy byla slabší, přesto statisticky významná.

Získané výsledky naznačují, že stínky reagují nejen na dietně specifické signály, ale i na obecné chemické stopy predátora. Práce tak přispívá k lepšímu pochopení role chemické komunikace v půdních ekosystémech a interakcí mezi predátorem a kořistí. Součástí práce je rovněž návrh pedagogického využití výsledků ve formě badatelsky orientované výukové aktivity.

Klíčová slova: antipredační chování, badatelsky orientovaná výuka, chemické signály, dietně specifické signály, kairomony, kořist, predátor, stínka obecná, výkaly

Votoupalová J. 2026. Do woodlice respond to predation risk from quails? [master's thesis]. Olomouc: Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacký University Olomouc. 39 pp. Czech.

Abstract

This thesis focuses on the influence of predator-derived chemical cues on prey behavior, specifically the response of the terrestrial isopod *Porcellio scaber*. The aim of the study was to determine whether woodlice respond to chemical stimuli originating from predator faeces and whether this response is affected by the predator's diet.

The experimental part was conducted using an experiment based on spatial preference. The tested individuals were exposed to aqueous extracts of faeces from Japanese quail (*Coturnix japonica*), which were fed three different diets: cereals, cereals supplemented with mealworms (*Tenebrio molitor*), and cereals supplemented with woodlice. The response of the isopods was evaluated based on their spatial distribution within the experimental arena.

The results showed that woodlice exhibited avoidance behavior towards predator-derived chemical cues in all tested variants, confirming the importance of chemical communication in predator-prey interactions. It was found that the predator's diet influenced the intensity of this response; however, the relationship was not consistent. The strongest avoidance response was observed in the treatment with a plant-based diet, while responses to cues associated with animal-based diets were weaker, although still statistically significant.

These findings suggest that woodlice respond not only to diet-specific cues but also to general chemical signals of predators. The study contributes to a better understanding of chemical communication in soil ecosystems and predator-prey interactions. Additionally, the thesis includes a proposal for the educational application of the results in the form of an inquiry-based learning activity.

Key words: antipredator behaviour, chemical signals, diet-related cues, faeces, inquiry-based learning, kairomones, *Porcellio scaber*, predator, prey

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala s použitím řádně citovaných literárních pramenů.

V Olomouci, 3.května 2026

Obsah

Seznam obrázků	viii
1. Úvod.....	1
1.1 Stínka obecná	1
1.1.1 Vzhled	1
1.1.2 Vývoj a reprodukce	2
1.1.3 Habitat	2
1.1.4 Chování	2
1.1.5 Ekologie	3
1.2 Chemická komunikace v ekologii	3
1.2.1 Feromony	3
1.2.2 Allomony	3
1.2.3 Kairomony	4
1.3 Reakce kořisti na chemické signály	4
1.4 Dietně specifické signály predátora	5
1.5 Chemické vnímání stejnonožců.....	5
1.6 Cíle práce.....	6
2 Materiál a metodika.....	7
2.1 Kořist.....	7
2.1.1 Relevance stejnonožců jako modelového organismu	7
2.1.2 Stínka obecná jako modelový druh kořisti.....	7
2.2 Predátor	8
2.2.1 Vhodnost křepelky japonské jako modelového predátora	8
2.3 Testovací roztoky a jejich příprava.....	10
2.3.1 Sběr exkrementů.....	10
2.3.2 Příprava vzorků	10
2.3.3 Uskladnění roztoků a harmonogram experimentu	11
2.4 Experiment	11
2.5 Statistické vyhodnocení.....	15
3 Výsledky	16
3.1 Struktura a rozsah datového souboru	16
3.2 Vliv chemických signálů na rozmístění stínek.....	16
3.3 Vliv rostlinné složky diety predátora na chování stínek	16
3.4 Vliv živočišné složky diety predátora na chování stínek	17
3.5 Vliv konzumace stejného druhu na intenzitu antipredační reakce	17
3.6 Srovnání vlivu dietně specifických signálů predátora.....	18
4 Diskuse.....	20
4.1 Vliv chemických signálů predátora na chování stínek.....	20
4.2 Vliv dietně specifických signálů predátora	20
4.3 Reakce na signály pocházející ze stejného druhu.....	21
4.4 Význam obecných chemických signálů predátora	22
4.5 Metodické zhodnocení experimentu a kritická sebereflexe	23
4.6 Ekologický význam výsledků.....	23

5	Využití stínek ve výuce	25
5.1	Význam využití bezobratlých ve výuce biologie	25
5.2	Badatelsky orientovaná výuka (BOV).....	25
5.3	Návrh a realizace aktivity	25
5.3.1	Pracovní list:	27
5.3.2	Fotografie z hodiny	30
5.3.3	Příklady vyplněných pracovních listů.....	30
5.4	Vazba na RVP	32
5.5	Přínosy aktivity pro žáky	33
5.6	Reflexe a možnosti využití ve výuce.....	33
6	Závěr	35
7	Použitá literatura	37

Seznam obrázků

Obrázek 1 Stínka obecná (Porcellio scaber) (Calman, 1911).....	1
Obrázek 2 Křepelky v laboratorních podmínkách (autor. foto).....	8
Obrázek 3 Voliéra v areálu UPOL (autor. foto)	8
Obrázek 4 Dieta pro jednotlivé křepelky (autor. foto).....	9
Obrázek 5 Křepelky během experimentu s krmivem s příměsemi (autor. foto)	10
Obrázek 6 Schéma experimentu – A – box o rozměrech 20x20 cm, B – geotextilie 4x4 cm, C – Filtrační papír s vodou, D – neutrální zóna, E – filtrační papír s testovacím roztokem	11
Obrázek 7 Aréna s jedinci před vypuštěním k volnému pohybu (autor. foto)	12
Obrázek 8 Aréna během probíhajícího experimentu (autor. foto)	13
Obrázek 9 Ukázka přepis záznamu experimentu č. 25, roztok 3. (testovací vzorek s příměsí stínek)	14
Obrázek 10 Graf průměrné distribuce stínek v rámci arény během testování s testovacím roztokem bez živočišné složky.....	17
Obrázek 11 Graf průměrné distribuce stínek v rámci arény během testování s testovacím roztokem s příměsí hmyzu.	17
Obrázek 12 Graf průměrné distribuce stínek v rámci arény během testování s testovacím roztokem se stínkami	18
Obrázek 13 Srovnání vyhýbavé reakce stínek na experimentální roztok s exkrementy křepelk.....	18
Obrázek 14 Žáci provádějící experiment se stínkami a svinkami 1	30
Obrázek 15 Žáci provádějící experiment se stínkami a svinkami 2	30
Obrázek 16 Příklad vyplněného pracovního listu skupina 1 (strana 1)	30
Obrázek 17 Příklad vyplněného pracovního listu skupina 1 (strana 2)	31
Obrázek 18 Příklad vyplněného pracovního listu skupina 2 (strana 1)	31
Obrázek 19 Příklad vyplněného pracovního listu skupina 2 (strana 2)	32

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala vedoucímu své diplomové práce, doc. Tufovi, za odborné vedení, cenné rady, vstřícný přístup a trpělivost při zpracování této práce. Jeho podněty a připomínky významně přispěly k jejímu zkvalitnění.

Zároveň děkuji své rodině a přátelům za podporu, pochopení a trpělivost po celou dobu studia. Jejich zájem a povzbuzení pro mě byly velkou oporou. Zvláštní poděkování patří mé mamince za její neustálou podporu, trpělivost a povzbuzení, které mi pomáhaly překonávat náročné chvíle během studia i při psaní této práce.

1. Úvod

Chování živočichů v kontextu reakce kořisti na predátora patří mezi klíčové faktory ovlivňující jejich přežití. Živočichové jsou schopni reagovat nejen na přímou přítomnost jejich predátora, ale také na nepřímé indicie jako metabolické produkty nebo chemické stopy. Zanechané podněty mohou vyvolávat obranné reakce, které vedou k omezení aktivity nebo vyhledání úkrytu v důsledku zvýšeného rizika predace (McCarthy, -Fisher, 2018).

Suchozemští stejnonožci patří mezi významné skupiny půdní fauny. Jejich chování úzce souvisí s podmínkami prostředí, vysycháním i ochranou před predací. Stínka obecná (*Porcellio scaber*) je hojně rozšířeným a ekologicky typickým zástupcem této skupiny s dobře pozorovatelnými reakcemi na podněty. Díky těmto faktorům je vhodným modelovým organismem pro experimentální studium antipredačního chování.

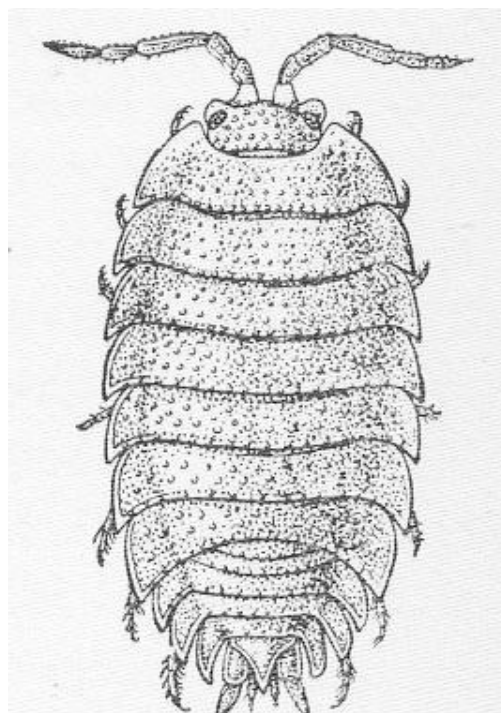
1.1 Stínka obecná

Druh stínka obecná (*Porcellio scaber*) náleží do říše živočichů (Animalia) a je zástupcem kmene členovců (Arthropoda), třídy Rakovců (Malacostraca) a řádu stejnonožců (Isopoda), podřádu suchozemských stejnonožců (Oniscidea), přičemž konkrétně spadá do čeledi stínkovití (Porcellionidae) a rodu stínka (*Porcellio*) (Integrated Taxonomic Information System, 2024).

1.1.1 Vzhled

Stínka obecná (obr. 1) je živočich dorůstající do 17 mm délky těla. Tělo můžeme popsat jako zploštělé s eliptickým tvarem, které je kryto hrubými hřbetními štítky. Zbarvení je obvykle šedé až tmavě modré, ale jsou pozorované i oranžové až albinské formy (Riggio, 2013). Tito stejnonožci mají hrubě zrnitý povrch kutikuly.

Jejich tělo se dělí do tří základních částí: hlavy, hrudi (pereion) a zadečku (pleon). Hlava obsahuje i první hrudní článek, takže se správně jmenuje hlavohruď. Hruď tvoří sedm článků,



Obrázek 1 Stínka obecná (*Porcellio scaber*) (Calman, 1911)

každý nese jen pár kráčivých končetin. Pět zadečkových článků je opatřeno dvěma páry modifikovaných končetin (pleopody), které mají lupínkovitý tvar. U vodních stejnonožců slouží jako žaberní lupínky, u suchozemských jejich dýchací epitel inkasoval a vytvořil tzv. tracheální políčka. Ta jsou pozorovatelná jako bílé skvrnky. Na konci těla je trojúhelníkovitý telson obklopený párem kopičkovitých uropodů (Riggio, 2013).

Mají složené oči a dva páry tykadel. O kratším zakrnělém páru tykadel se předpokládá, že fungují jako chemoreceptory. Delší pár tykadel nese senzorické chloupky. Báze tykadel bývá často zbarvená do oranžové barvy (Riggio, 2013).

Tento druh má znatelný pohlavní dimorfismus. Samice a mláďata jsou skvrnitá a světlejší, samice mají v období rozmnožování hrudní vak, ve kterém nosí vajíčka a larvy. Samci kopulují pomocí modifikovaného prvního páru pleopodů (Riggio, 2013).

1.1.2 Vývoj a reprodukce

Druh stínka obecná prochází přímým vývojem, který zahrnuje několik stádií. Vajíčka se vyvíjí v hrudním vaku samice, kde se později líhnou larvální stadia označovaná jako manky, které se postupně vyvíjí v juvenilní jedince, kteří se podobají dospělcům (Riggio, 2013).

Rozmnožování probíhá pohlavně, převážně v jarních a letních měsících. Samice jsou často polyandrické a mohou mít vícero vrhů ročně. Jeden vrh obsahuje až několik desítek jedinců. Pohlavní dospělost nastává přibližně v 1 až 2 roce života (Riggio, 2013).

1.1.3 Habitat

Stínka obecná preferuje vlhké mikroklima. Obývá obvykle synantropní biotopy, jako jsou smetiště, zahrady a sklepy v lidských obydlích. Několik studií zkoumalo toleranci *P. scaber* k nízkým teplotám. V palearktické oblasti má tento druh nižší smrtelnou teplotu přibližně $-4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a může přežít alespoň 1 týden při $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, pokud mají jedinci přístup k potravě a byli dříve vystaveni relativně nízkým, ale ne minusovým (Global Invasive Species Database, 2009).

1.1.4 Chování

Chování tohoto druhu je úzce spjaté s potřebou vlhkého prostředí k přežití. Jedinci vyhledávají podmínky s optimální vlhkostí. Jsou aktivní převážně v noci a se zvyšujícím odpařováním se vody jejich aktivita znatelně klesá. Za nepříznivých podmínek rychlost pohybu naopak stoupá ve snaze uniknout do příznivějšího prostředí. Lze pozorovat

negativní fototaxi. Pohyb je dále ovlivněný thigmokinezí, což vede k vyhledávání úkrytů a shlukování jedinců. Tato opatření vedou ke snížení rizika vysychání a predace (Riggio, 2013).

1.1.5 Ekologie

Můžeme je, podobně jako ostatní stejnonožce, zařadit mezi detritovorní neboli, saprofágní, ale i mykofágní a koprofágní živočichy. Preferují rozkládající se organickou hmotu kvůli vyšší populaci mikroorganismů v tomto materiálu. Je u nich pozorovaná konzumace vlastních výkalů za účelem zvýšení zásob mědi (Riggio, 2013).

1.2 Chemická komunikace v ekologii

Vzájemná komunikace organismů mezi sebou navzájem probíhá také prostřednictvím chemických látek, které organismy, jak produkují, tak i přijímají. Pokud dochází k výměně chemických informací mezi jedinci stejného i jiných druhů, nazýváme tyto informace semiochemikálie. Dále je dělíme na základě funkce do tří hlavních skupin – feromony, allomony a kairomony (Wood, 1983).

1.2.1 Feromony

Feromony jsou chemické látky, které jsou uvolňovány jedinci téhož druhu za účelem vyvolání specifické behaviorální reakce nebo fyziologické změny. Dále je může rozdělit podle E. O. Wilsona na dvě základní kategorie – uvolňovací a primerové. Uvolňovací feromony vyvolávají momentální okamžitou behaviorální reakci a patří mezi ně například pohlavní, teritoriální nebo poplašné feromony. Primerové feromony naopak způsobují dlouhodobé fyziologické změny a jako příklad můžeme uvést látky ovlivňující kastovní systém sociálního hmyzu (Wood, 1983).

1.2.2 Allomony

Tyto chemické signály fungují v mezidruhové komunikaci. Při kontaktu s jedincem jiného druhu vyvolávají u příjemce behaviorální nebo fyziologickou reakci, jejíž výsledek je z většiny výhodný pro producenta chemického signálu a nevýhodný pro jeho příjemce. Existují však i případy, kdy má pro příjemce sekundárně pozitivní efekt, například umožňuje vyhnout se poškození či otravě. Důležitou funkcí allomonů je ochrana producenta před nebezpečím – zejména před predátory. Jsou za tímto účelem uvolňovány tyto látky jako obranné sekrety – například kyselina mravenčí u mravenců nebo jedny sociálních blanokřídlých (Yusuf, 2021).

1.2.3 Kairomony

Jsou to chemické látky produkované jedním druhem, které v mezidruhových interakcích mohou sloužit jako významné signály. Kairomony vyvolávají výhodné reakce pro příjemce, nejčastěji predátora, který je následně využívá například k vyhledávání kořisti, ale může to fungovat i obráceně. Proto tyto látky hrají důležitou roli v regulaci vztahů predátor-kořist (Kanagaraj et al., 2018). V kontextu této práce hrají kairomony významnou roli z důvodu chemických látek obsažených ve výkalech predátora (křepelky japonské), které mohou poskytovat kořisti (stínkám obecným) informace o přítomnosti predátora a ovlivňovat tak jejich chování.

1.3 Reakce kořisti na chemické signály

Jedním z klíčových mechanismů ke snížení predace jsou reakce kořisti na chemické signály, které jsou často uvolňovány pasivně jako vedlejší produkt. Kořist je schopná zaznamenat různé typy chemických podnětů, ze kterých rozpoznají riziko predace. Mezi tyto podněty patří zejména pach predátora (kairomony), poplašné látky uvolněné ze zraněných či mrtvých jedinců (nekromony) nebo chemické signály pocházející z potravy predátora (Wisenden, 2015).

Díky těmto informacím je kořist schopná včas identifikovat nebezpečí a spustí adaptivní antipredační reakce, například zvýší ostražitost, sníží aktivitu nebo zahájí únikové chování. Významnou roli hraje také učení, kdy si jedinci dokážou spojit nové podněty s predátorským rizikem na základě předchozí zkušenosti. Tato schopnost hraje významnou roli v šancích na přežití kořisti. Chemické signály tvoří spolehlivý zdroj informací o přítomnosti predátora a umožňuje tak kořisti flexibilně reagovat (Wisenden, 2015).

U suchozemských stejnonožců byly tyto reakce popsány v širším kontextu antipredačních strategií. Jedinci jsou schopni reagovat nejen na přímou přítomnost predátora, ale i na nepřímé chemické stopy v prostředí, které vedou ke změnám v jejich chování, například ke zvýšení pohybové aktivity, opuštění rizikového místa nebo změně směru pohybu (Tuf & Ďurajková, 2022). Tyto reakce často slouží k minimalizaci kontaktu s predátorem a představují základní formu obranného chování.

Současně mohou chemické signály ovlivňovat i další behaviorální strategie, jako je vyhýbání se místům s vyšším rizikem predace nebo změna časové aktivity. Tyto mechanismy tak doplňují širší spektrum antipredačních strategií, které zahrnují jak

aktivní únikové reakce, tak pasivní obranné mechanismy, například strnulost či omezení pohybu (Tuf & Ďurajková, 2022).

1.4 Dietně specifické signály predátora

Kořist dokáže rozlišit nejen samotnou přítomnost predátora, ale také jeho stravovací návyky a informace o nich využívá na úpravu antipredačních reakcí. Z výzkumů bylo zjištěno, že chemické signály, které predátor uvolňuje během konzumace kořisti, obsahují specifické informace o druhu pozřené kořisti, což vede k dietně specifickým reakcím. Intenzita těchto reakcí se často přímo váže na fylogenetickou příbuznost mezi testovanou kořistí a druhem, který byl konzumován predátorem. Z toho vyplývá, že čím bližší příbuznost mezi druhy je, tím silnější je reakce kořisti. Klíčovou roli hrají chemické látky, které vznikají během trávení v trávicím traktu predátora a tím mohou produkovat poplašné signály pocházejících z tkání kořisti. Tyto signály poskytují kořisti bližší informace o rizicích predace a aktuálním riziku. Schopnost vnímat tyto signály představuje významnou adaptaci na efektivnější reagování na specifické podmínky predace (Schoeppner a Relyea, 2009).

1.5 Chemické vnímání stejnonožců

Stejnonožci jsou citliví na různé podněty prostředí, zejména vlhkost, teplotu a světlo, které ovlivňují jejich výběr stanoviště a jejich prostorově chování. Vedle abiotických faktorů hraje významnou roli také komunikace mezi jedinci, která je zprostředkována chemickými signály. Bylo prokázáno, že shlukování stejnonožců není pouze výsledkem individuálních preferencí na prostředí, ale také hrají významný vliv sociální interakce mezi jedinci. Pravděpodobně na základě chemických podnětů (amoniak). Jedinci se aktivně shlukují během krátkého časového úseku, což naznačuje existenci efektivní komunikace a vnímání signálů ostatních jedinců. Chemické vnímání tak stejnonožcům umožňuje jak orientaci v prostředí, tak i koordinaci sociálního chování, které hraje význam při ochraně před predátory a vysycháním (Broly et al., 2012).

Kromě těchto chemických signálů však stejnonožci reagují také na podněty spojené s úhynem nebo poškozením jedinců. Bylo prokázáno, že se vyhýbají jak mrtvým jedincům, tak i chemickým látkám uvolňovaným z jejich těl. Tyto látky, označované jako nekromony, zahrnují především nenasycené mastné kyseliny, například kyselinu olejovou a linolovou, které u stejnonožců vyvolávají výraznou vyhýbavou reakci (Yao et al., 2009).

1.6 Cíle práce

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, zda mají chemické signály predátora vliv na chování kořisti, konkrétně reakci stínky obecné. Práce byla zaměřená na ověření, zda stínky prokazatelně reagují na chemické podněty obsažené ve výkalech predátora a jestli se tato reakce projeví na jejich prostorové distribuci.

Dílčím cílem bylo porovnání vlivu různých typů potravy predátora na intenzitu antipredační reakce stínek. Konkrétně byly sledovány reakce na výkaly křepelky japonské krmené třemi odlišnými směsmi potravy – zrní, zrní s příměsí moučných červů a zrní s příměsí stínek.

Součástí bylo také navržnutí využití získaných poznatků ve výuce biologie, zejména formou badatelsky orientované výuky, která byla zaměřená na vyvíbavé reakce živočichů – konkrétně stínek a svinek.

2 Materiál a metodika

2.1 Kořist

2.1.1 Relevance stejnonožců jako modelového organismu

Stejnonožci (Isopoda) patří mezi důležité suchozemské bezobratlé, kteří hrají zásadní roli v rozkladu organické hmoty a koloběhu živin (Devigne et al., 2004). Díky této ekologické relevanci, dobře pozorovatelnému chování, růstu, rychlé reprodukci a aktivním reakcím na chemické a jiné podněty, jsou vhodní pro roli modelového organismu v behaviorálních experimentech nebo ekotoxikologii (van Gestel et al., 2018).

Standardizované pokusy se stejnonožci mohou zahrnovat různé faktory. Jako příklad můžeme uvést aktivitu, pohybové vzorce nebo reprodukci. Toto nám umožňuje zhodnocení reakcí na chemické látky nebo signály predátora v kontrolovaných laboratorních podmínkách (Spivey et al., 2015). Následným důležitým krokem je výběr vhodného konkrétního druhu pro plánovaný experiment.

2.1.2 Stínka obecná jako modelový druh kořisti

Pro tuto práci byla zvolena za modelový organismus stínka obecná (*Porcellio scaber*), která je běžně používaným druhem pro různé laboratorní studie behaviorálních reakcí a reakcí na chemické podněty. Výhodou tohoto druhu jsou snadno pozorovatelné reakce na vnější faktory prostředí, snadná a levná kultivace a dobrá dostupnost sběru díky hojnému zastoupení v našich přírodních podmínkách. Konkrétní testování jedinci, jak pro krmení predátora, tak i pro samotné bio-testy, byli sesbírání v různých oblastech v rámci České republiky. Většina z nich pochází z Velkomeziříčska na Vysočině, Hané nebo také ze Slezska. Od počátku sběru do ukončení experimentu byli stejnonožci uchovávaní v laboratoři. Byli drženi v plastovém boxu 25 × 40 × 15 cm s hlinitým substrátem a vrstvou listového opadu. Jako potrava byla také nabízena mrkev, substrát byl pravidelně vlhčen. Chovný box obsahoval přibližně 200 jedinců stínek obecných a byl umístěn v termostatu při teplotě 15 °C a konstantní tmě. Z tohoto boxu byly vybírání jedinci pro experimenty.

2.2 Predátor

2.2.1 Vhodnost křepelky japonské jako modelového predátora

Pro experimentální účely je zásadní zvolit vhodného modelového predátora, který je nenáročný na chov, bezpečný pro laboratorní účely, ale také snadno generuje signály predátora pro kořistní organismy. V této práci byla zvoleným druhem křepelka japonská (*Coturnix japonica*) (obr. 2). Je díky svému malému vzrůstu, nízkým nákladům na chov, rychlému dospívání a také schopnosti přizpůsobení se širokému spektru podmínek oblíbeným modelovým živočichem, který umožňuje snadné využití v experimentálních studiích zaměřených na chování, fyziologii a ekologické interakce (Cheng, Kimura, 1990).



Obrázek 2 Křepelky v laboratorních podmínkách (autor. foto)



Obrázek 3 Voliéra v areálu UPOL (autor. foto)

Pro tuto práci byla klíčovým faktorem možnost snadno kontrolované diety během krátkého časového úseku. Připravená dieta umožňuje vytvářet výkaly s se specifickými pachovými signály. Díky tomuto představuje křepelka japonská vhodnou volbu pro studium interakcí predátora-kořisti v kontextu reakcí stejnonožců na chemické složení výkalů predátora.

Pro experiment byly dne 4.9. 2025 pořízeny tři kohoutci křepelky japonské ve věku 47 dní. Při realizaci experimentu byly respektovány etické zásady práce se živými organismy. Experimentální design byl zvolen s ohledem na minimalizaci stresu a zajištění co nejšetrnější manipulace s testovanými jedinci. Počet křepelk byl zvolený s ohledem na etologické nároky druhu. Protože se jedná o společenský druh žijící v hejnu, skupinový



Obrázek 4 Dieta pro jednotlivé křepelky (autor. foto)

chov byl tak jednoznačnou volbou pro snížení stresu a tím tak zajištění přirozeného chování. Po zakoupení byly, již pohlavně dospělé, křepelky chovány ve venkovní voliére (obr. 3) po dobu přibližně dvou měsíců, kde došlo k jejich adaptaci na nové prostředí. Pohlavní dospělost nastává už po dosažení 6. týdne od vylíhnutí (Cheng, Kimura, 1990). Následně byly přesunuty do laboratorních podmínek, kde byly krmeny kontrolovanou dietou. Po dobu 8 dní byly krmeny výhradně směsí zrní, aby došlo k vyloučení všech nekontrolovaných příměsí (tj. zbytky hmyzu nalezeného a pozřené ve voliére). Poté po dobu dvou dnů byly o hladu a tím tak došlo k vyčištění střev a vytvoření ideálního výchozího stavu před podáním experimentálních dietních příměsí (obr. 4). Následně byly křepelky rozděleny do boxů s filtračním papírem (obr. 5) a byly jim podány jednotlivé diety – jedna křepelka dostala směs zrní (50 gramů), druhá dostala směs zrní (40 gramů) a moučné červy (10 gramů) a třetí měla k dispozici směs zrní (40 gramů) a stejnonožce (10 gramů).



Obrázek 5 Křepelky během experimentu s krmivem s příměsí (autor. foto)

2.3 Testovací roztoky a jejich příprava

2.3.1 Sběr exkrementů

Každý jedinec byl po dobu experimentu chován v samostatném boxu, aby nedošlo ke kontaminacím vzorků vzájemně. Na dně boxů byla podestýlka nahrazena filtrační papírem za účelem snadnějšího sběru exkrementů. Po uplynutí 48 hodin proběhl sběr výkalů.

2.3.2 Příprava vzorků

Exkrementy byly z filtračního papíru vystříhány i s částí papíru, na které ulpěly. Sesbírané exkrementy jednotlivých jedinců byly zpracovány samostatně. Pro přípravu jednotlivých testovacích roztoků bylo použito 0,5 litru vody, ve kterém byly rozmíchány vyprodukované výkaly. Tím tak vznikl vodný extrakt, který obsahuje chemické látky z trávicího procesu predátora.

Směs vody a výkalů byla důkladně promíchána s cílem zajistit co nejlepší homogenitu roztoku a rovnoměrné rozptýlení chemických látek. Takto připravené roztoky byly uzavřeny v lahvích a přestavovaly tak zdroj chemických podnětů pro následné behaviorální experimenty se stínkami.

Použití vodného extraktu výkalů umožňuje nasimulovat přirozené podmínky šíření chemických signálů přirozeným prostředím. Tato technika je běžně používána ve studiích zaměřených na reakce kořisti na podněty spojené s predátorem (Zamora-Camacho, 2023).

2.3.3 Uskladnění roztoků a harmonogram experimentu

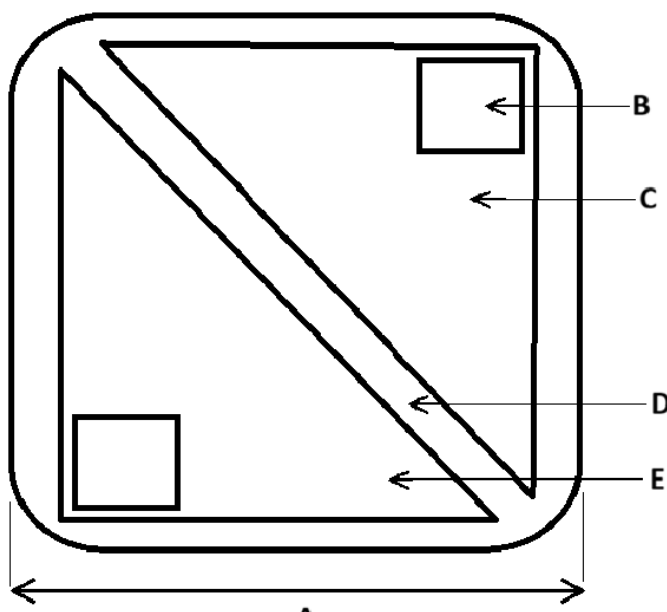
Připravené testovací roztoky byly uchovány v uzavíratelných tmavých lahvích po dobu 7 dní při laboratorních podmínkách, tak aby byla zachována použitelnost pro experimentální účely. Uzavření nádob minimalizovalo odpařování. Jednotlivé roztoky byly označené podle typu diety, která odpovídala konkrétnímu jedinci, tak aby bylo možné zachovat přehled o jednotlivých variantách roztoků. Experiment byl provedený v krátkém časovém horizontu po přípravě vzorků, aby nedošlo ke změnám chemického složení a znehodnocení vzorků vlivem degradace.

Harmonogram přípravy a použití roztoků byl navržen tak, aby na sběr vzorků bezprostředně navazovala příprava vodných roztoků a jejich následné využití v behaviorálních testech. Tento postup umožnil zachovat co nejvyšší relevanci chemických signálů ve vodných roztocích a jejich vazbu na aktuální stravu predátora.

2.4 Experiment

Experiment byl založený na principu preference prostředí, kdy jedinci měli možnost v experimentální aréně volit výskyt v části s testovaným roztokem, či v kontrolní části. Distribuce jedinců byla interpretována jako projev vyhýbavého chování v reakci na testované roztoky.

Experiment probíhal v plastových testovacích boxech čtvercového tvaru o rozměrech 20 × 20 cm (obr. 6), které byly rozdělené diagonálně na dvě poloviny. Každá polovina obsahovala filtrační papír, kdy jeden byl napuštěný testovacím roztokem a druhý byl napuštěn pouze vodou. V rozích boxů byly umístěny dva čtverce geotextilie o rozměrech přibližně 4 × 4 cm, nabízející stínkám možnost úkrytu. Toto uspořádání umožnilo jednoznačné a přímé srovnání mezi dvěma typy prostředí v rámci jedné arény.



Obrázek 6 Schéma experimentu – A – box o rozměrech 20x20 cm, B – geotextilie 4x4 cm, C – Filtrační papír s vodou, D – neutrální zóna, E – filtrační papír s testovacím roztokem

současně, v každé byl testován jeden typ experimentálního roztoku. Každá z těchto variant byla testovaná samostatně proti vodě (kontrola).

Na začátku experimentu bylo vloženo 10 jedinců do středu arény (obr. 7), kteří se následně mohli volně pohybovat po dobu 15 minut bez další manipulace (obr. 8). Mezi umístěním do středu arény a vypuštěním k volnému pohybu bylo vždy jen několik vteřin, tak aby jedinci vždy zůstali aktivní. Experiment byl provedený v 30 opakováních. Po experimentu byly stínky vybrány do krabičky a z chovného boxu bylo náhodně vybráno dalších 10 jedinců, tak aby se omezil vliv předchozí zkušenosti jedinců na prostředí a přivykání si na chemické podněty. Vždy po několika experimentech byly všechny stínky vráceny do chovného boxu, odkud byly další den opět náhodně vybírány.



Obrázek 7 Aréna s jedinci před vypuštěním k volnému pohybu (autor. foto)



Obrázek 8 Aréna během probíhajícího experimentu (autor. foto)

Pohyb stínek v aréně během 15 minut byl natáčen na kameru GO PRO. Z každé nahrávky bylo v 30vteřinových intervalech zaznamenávána poloha jedinců v rámci arény. Získaná data byla hodnocena jako počet výskytů jedinců v jednotlivých částech arény v čase. Tento postup umožňuje kvantifikovat preferenci, respektive vyhýbavé chování vůči testovacím roztokům a tím tak i možnost posouzení chemických signálů (křepelky) predátora na chování kořisti (stínek). Zaznamenával se počet stínek na filtračních papírech, ale také počet stínek uprostřed mimo papíry – v tzv. neutrální zóně (obr. 9).

Čas	Časový bod	Sekce (A) stínky	Sekce (B) voda	Sekce (C) Neutrální zóna
0:30	1	4	6	0
1:00	2	5	5	0
1:30	3	5	5	0
2:00	4	7	3	0
2:30	5	4	6	0
3:00	6	4	6	0
3:30	7	5	5	0
4:00	8	4	5	1
4:30	9	3	7	0
5:00	10	2	5	3
5:30	11	4	6	0
6:00	12	4	6	0
6:30	13	4	6	0
7:00	14	4	6	0
7:30	15	4	6	0
8:00	16	4	6	0
8:30	17	4	6	0
9:00	18	4	6	0
9:30	19	3	7	0
10:00	20	3	7	0
10:30	21	3	7	0
11:00	22	3	7	0
11:30	23	3	7	0
12:00	24	3	7	0
12:30	25	3	7	0
13:00	26	3	7	0
13:30	27	3	7	0
14:00	28	3	7	0
14:30	29	3	7	0
15:00	30	3	7	0

Obrázek 9 Ukázka přepis záznamu experimentu č. 25, roztok 3. (testovací vzorek s příměsí stínek)

2.5 Statistické vyhodnocení

Záznamy o počtech stínek v jednotlivých sektorech v experimentálních arénách byly předmětem porovnání. Pro porovnání náhodnosti distribuce stínek v aréně byl využit dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu, protože při náhodné distribuci by byly počty stínek v obou částech shodné (tj. 5 jedinců). Porovnávány byly průměrné hodnoty (průměr ze 30 nezávislých pozorování/opakování) ze 30 časových bodů pro každý typ roztoku, statistická významnost byla hodnocena na hladině $\alpha = 0,05$. T-testy byly počítány v programu MS Excel, ve kterém byly také připraveny sloupcové grafy s distribucí stínek.

Síla vyhýbavé reakce třech testovaných roztoků byla hodnocena pomocí jednofaktorové ANOVY. Porovnáno bylo 30 průměrných hodnot (průměr z 30 opakování, vypočítávaný pro 30 časových bodů) početností stínek v části boxu s experimentálním roztokem. Pro nalezení signifikantních rozdílů mezi dvojicemi roztoků byl využit Tukeyho test. Výsledky srovnání byly prezentovány pomocí boxplotu. ANOVA byla spočítána v programu MS Excel, pro výpočet Tukeyho testu a tvorbu boxplotu byla využita umělá inteligence (Abacus AI agent).

3 Výsledky

3.1 Struktura a rozsah datového souboru

Data byla získaná na základě 30 opakování experimentu, kdy bylo sledována distribuce stínek ve třech boxech, v každém bylo 10 jedinců stínky. Každý test probíhal po dobu 15 minut a byl zaznamenáván na videokameru, aby mohla být později pohodlně odečítána poloha jedinců v pravidelných intervalech. To odpovídá 30 záznamům na jedno opakování.

Celkově bylo analyzováno 2700 snímků ($30 \text{ opakování} \times 3 \text{ boxy} \times 30 \text{ intervalů}$), kdy každý záznam obsahoval informaci o rozmístění všech jedinců v aréně. Data byla zpracována jako počet jedinců v jednotlivých částech arény.

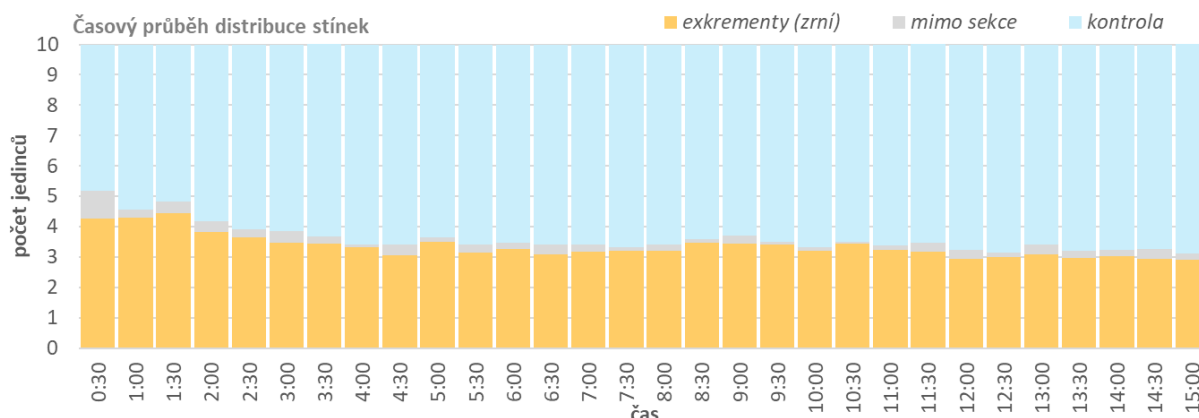
3.2 Vliv chemických signálů na rozmístění stínek

Lze říct, že prostorová distribuce stínek v aréně byla významně ovlivněná výskytem chemických signálů predátora (křepelky) z testovacích roztoků. Ve všech testovaných variantách byla zaznamenána vyšší koncentrace výskytu stínek v části obsahující kontrolní roztoky. Tento trend značí obecnou tendenci vyhýbání se prostředí s chemickými signály pocházející z predátora.

Rozdíl mezi částí s testovacími vzorky a kontrolní částí byl jasně patrný u všech variant experimentu, což svědčí o schopnosti stínek detekovat chemické podněty ve vodném roztoku a reagovat změnou jejich chování. Reakce se projevovala především vyhýbáním se části arény s testovacím roztokem a byla tak patrná jasná preference kontrolní části, kde se stínky zdržovaly především poblíž geotextilie.

3.3 Vliv rostlinné složky diety predátora na chování stínek

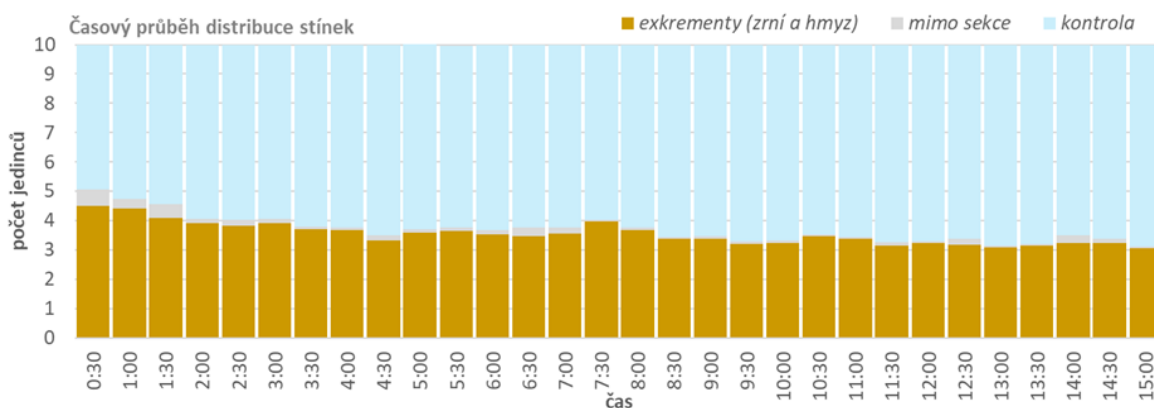
V případě roztoku připraveného z výkalů křepelky krmené pouze zrním byla pozorována nižší frekvence výskytu jedinců v testovací části arény oproti kontrolní části (obr. 10). V případě náhodného výskytu v boxu by bylo pět stínek v každé polovině boxu, ale na filtračním papíru s roztokem exkrementů bylo pouze $2,84 \pm 0,19$ stínek, zatímco na kontrolním papíru bylo průměrně $6,88 \pm 0,23$ stínek. Tento rozdíl byl statisticky významný (t-test: $t = -24,06$, $p < 0,001$). Z grafu je také patrné mírné kolísání početnosti způsobené pohybem jedinců, nicméně celkový vzor distribuce je stabilní. Tento výsledek naznačuje, že stínky reagují na chemické signály predátora i ve chvíli, že nebyl krměný živočišnou potravou.



Obrázek 10 Graf průměrné distribuce stínek v rámci arény během testování s testovacím roztokem bez živočišné složky

3.4 Vliv živočišné složky diety predátora na chování stínek

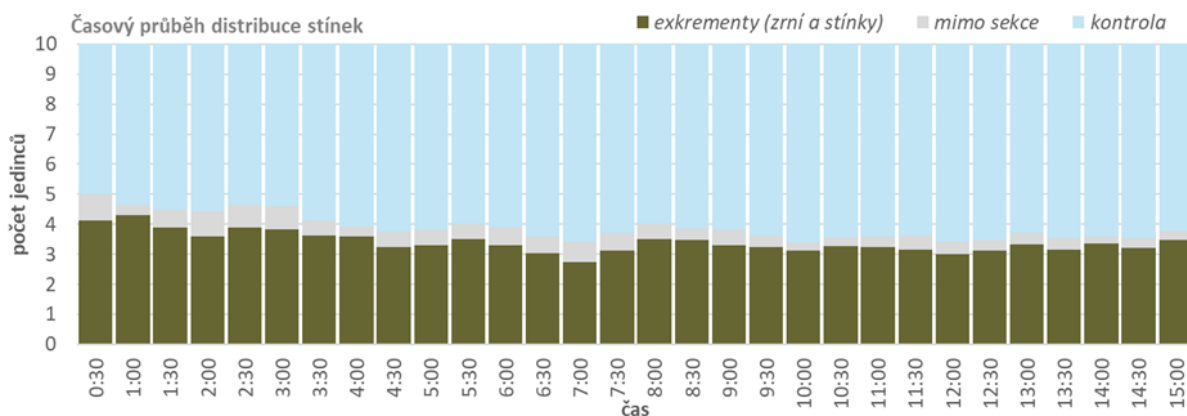
Při testování vzorku připraveného z výkalů křepelky krmené stravou ze zrní s příměsí živých moučných červů byla jasně zaznamenána nižší frekvence výskytu jedinců v testované části oproti kontrolní části arény (obr. 11). Tento výsledek značí vyhýbavé chování vůči chemickým podnětům predátora, jehož dieta obsahovala živočišnou složku. Průměrný počet stínek na filtračním papíru s roztokem exkrementů byl $3,54 \pm 0,14$ jedinců, zatímco na kontrolním papíru bylo stínek průměrně $6,31 \pm 0,22$. Tento rozdíl byl statisticky významný (t-test: $t = -18,11$, $p < 0,001$). Z grafu můžeme vyčíst, že je znatelná klesající tendence na straně arény s testovacím roztokem během průběhu experimentu.



Obrázek 11 Graf průměrné distribuce stínek v rámci arény během testování s testovacím roztokem s příměsí hmyzu.

3.5 Vliv konzumace stejného druhu na intenzitu antipredační reakce

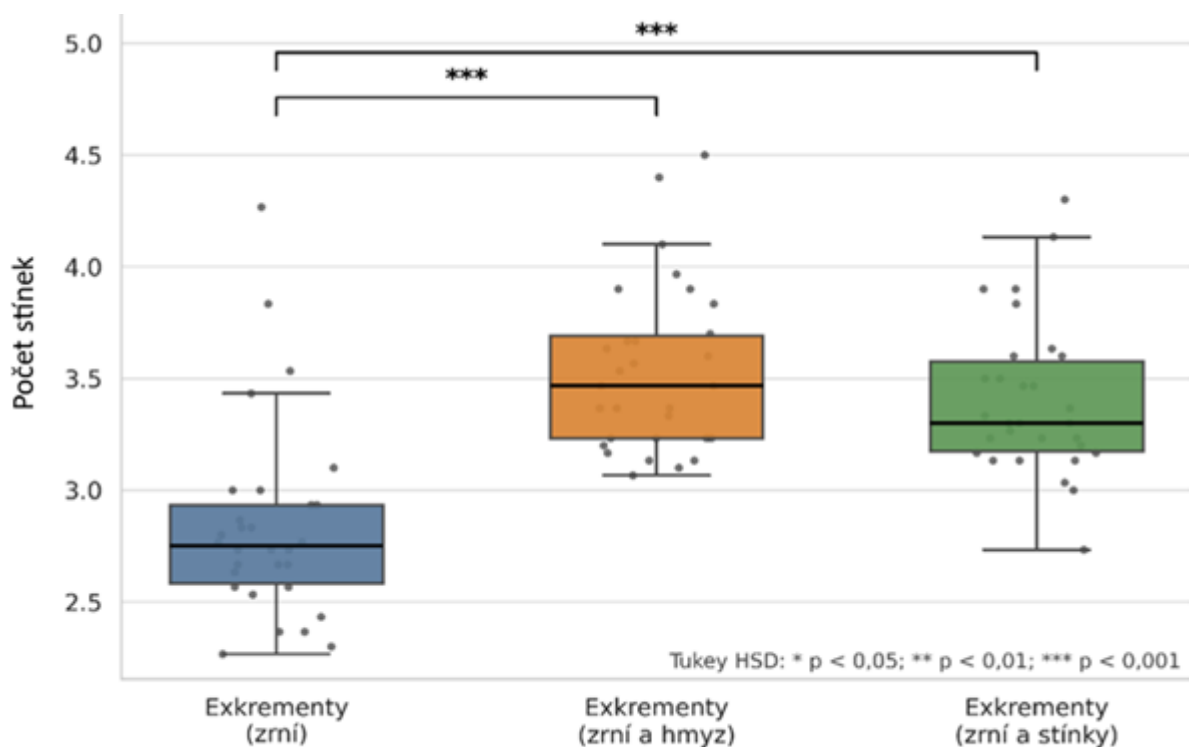
Podobnou distribuci stínek můžeme pozorovat při pokusech s testovacím roztokem připraveného z výkalů křepelky krmené stínkami čili totožným druhem jako je kořist (obr. 12). Průměrný počet stínek na filtračním papíru s roztokem exkrementů byl $3,40 \pm 0,11$ jedinců, kdežto na kontrolním vlhkém papíru bylo průměrně $6,63 \pm 0,47$ stínek. Tento rozdíl byl statisticky významný (t-test: $t = -17,68$, $p < 0,001$).



Obrázek 12 Graf průměrné distribuce stínek v rámci arény během testování s testovacím roztokem se stínkami

3.6 Srovnání vlivu dietně specifických signálů predátora

Při vzájemném srovnání mezi variantami testovacích roztoků byla zjištěná rozdílná intenzita reakce stínek vůči chemickým signálům predátora (ANOVA: $F = 27,20$, $p < 0,001$). Nejvýraznější vyhýbavé chování bylo pozorováno u roztoku z výkalů čistě rostlinné diety (na tomto papíře se vyskytovalo průměrně pouze 2,8 stínky. Naproti tomu reakce stínek na exkrementy se živočišnou složkou byla sice signifikantní, ale slabší – na experimentální části s roztokem s exkrementy se vyskytovaly průměrně více než tři stínky. Zatímco mezi vyhýbavou reakcí stínek proti exkrementům s různou živočišnou příměsí nebyl statisticky významný rozdíl, vyhýbavá reakce na exkrementy ze zrní byla významně silnější (obr. 13).



Obrázek 13 Srovnání vyhýbavé reakce stínek na experimentální roztok s exkrementy křepelky.

Celkově lze říct, že stínky jsou schopné detekovat přítomnost predátora, pravděpodobně i rozlišit kvalitu a význam chemických signálů v závislosti na jeho předchozí stravě. Na základě toho zhodnotí riziko predace a přizpůsobí tomu své vyhýbavé chování. Tento mechanismus umožňuje jemnější regulaci antipredačního chování, a proto představuje důležitý prvek v interakcích predátor-kořist.

4 Diskuse

4.1 Vliv chemických signálů predátora na chování stínek

Výsledky této práce jasně ukazují, že chemické signály predátora významně ovlivňují prostorové chování stínek obecné. Ve všech testovaných variantách bylo zaznamenáno vyhýbavé chování vůči části arény obsahující výkaly křepelky, zatímco kontrolní část byla jednoznačně preferována. Tento trend byl konzistentní napříč všemi experimentálními podmínkami, což naznačuje, že stínky jsou schopny detekovat chemické stopy predátora a adekvátně na ně reagovat.

Vyhýbání se těmto signálům lze interpretovat jako antipredační strategii, která snižuje pravděpodobnost kontaktu s predátorem. Podobné reakce byly popsány i u jiných organismů, kde chemické signály slouží jako klíčový zdroj informací o riziku predace (Ferrari et al., 2010). Výsledky této práce tak potvrzují, že chemická komunikace hraje významnou roli i u suchozemských stejnonožců.

Tyto výsledky jsou v souladu s poznatkem, že stejnonožci jsou schopni detekovat přítomnost predátora na základě chemických stop v prostředí a upravovat své chování i bez přímého kontaktu s ním. Studie ukazují, že bezobratlí reagují na tzv. pobytové značky predátora (predator cues), které mohou zahrnovat pachové stopy nebo metabolity přítomné v substrátu (Zimmerman & Kight, 2016). Vyhýbavé chování lze zároveň vysvětlit přítomností tzv. nekromonů, tedy chemických látek uvolňovaných z těl poraněných nebo uhynulých jedinců, které signalizují zvýšené riziko predace nebo kontaminace (Yao et al., 2009).

Podobné reakce byly popsány i v studiích zaměřených přímo na stejnonožce, kde bylo prokázáno, že jedinci vykazují výraznější antipredační chování v přítomnosti chemických signálů predátora ve srovnání s podněty nepredátorského původu. Například bylo zjištěno, že jedinci vystavení chemickým stopám predátora (ropucha) setrvávají déle v obranném stočeném postavení než jedinci vystavení podnětům nepredátorského původu (králík), což naznačuje schopnost reagovat odlišně na různé typy chemických podnětů (Zamora-Camacho, 2023).

4.2 Vliv dietně specifických signálů predátora

Na základě výsledků lze konstatovat, že dieta predátora ovlivňuje intenzitu vyhýbavé reakce stínek, avšak tento vliv nebyl zcela lineární. Překvapivě nejsilnější vyhýbavé

chování bylo zaznamenáno u roztoku pocházejícího z výkalů predátora krmeného pouze rostlinnou potravou, zatímco reakce na výkaly obsahující živočišnou složku byla slabší, přesto však statisticky významná.

Tento výsledek částečně odporuje původní hypotéze vycházející z konceptu dietně specifických kairomonů, podle kterého by měla být nejsilnější reakce vyvolána signály spojenými s konzumací živočišné potravy (Schoeppner a Relyea, 2009). Jedním z možných vysvětlení může být rozdílné chemické složení jednotlivých roztoků nebo jejich koncentrace, které nebyly v této práci kvantifikovány. Nelze také vyloučit, že některé složky rostlinné diety vedly k produkci silněji odpuzujících metabolitů.

Dalším možným vysvětlením je, že chemické látky pocházející z konzumace stejného druhu mohou být ve výkalech přítomny v odlišné formě nebo v kombinaci s dalšími metabolity, které mohou jejich účinek zeslabovat. V této souvislosti je vhodné uvažovat také o roli tzv. nekromonů, tedy chemických látek uvolňovaných z těl poškozených nebo uhynulých jedinců, které signalizují zvýšené riziko predace a vyvolávají vyhýbavé chování (Yao et al., 2009).

Důležitým faktorem, který může výsledky dále vysvětlovat, je sociální a agregační chování stejnonožců. Tito živočichové vykazují tendenci shlukovat se a vyhledávat prostředí s přítomností jedinců stejného druhu nebo jejich chemických stop (Broly et al., 2012). V případě varianty, kde predátor konzumoval stínky, tak mohlo dojít k situaci, kdy chemické signály pocházející z kořisti působily současně jako atraktant i jako varovný signál. Tento „konflikt signálů“ mohl vést ke snížení intenzity vyhýbavé reakce. Podobně bylo prokázáno, že reakce bezobratlých na chemické podněty predátora může být modulována dalšími faktory prostředí a přítomností jiných signálů (Zimmerman & Kight, 2016).

4.3 Reakce na signály pocházející ze stejného druhu

Výsledky ukázaly, že stínky reagují vyhýbavě i na chemické signály predátora, který konzumoval stejný druh kořisti. Přestože tato reakce byla statisticky významná, nebyla silnější než u varianty s čistě rostlinnou dietou, jak by bylo možné očekávat.

Teoreticky lze předpokládat, že konzumace stejného druhu vede k přítomnosti poplašných látek (tzv. alarm cues) pocházejících z tkání kořisti, které by měly vyvolávat silnou antipredační reakci (Ferrari et al., 2010). Nižší intenzita reakce může naznačovat jejich modifikaci během trávení nebo nedostatečnou koncentraci ve výsledném roztoku.

Zároveň nelze vyloučit, že tyto látky byly přítomny v odlišné formě nebo v kombinaci s dalšími metabolity, které jejich účinek zeslabovaly, případně že stínky reagují citlivěji na obecné signály predátora než na specifické signály spojené s konzumací vlastního druhu.

Klíčovým faktorem je také agregační chování stejnonožců. Tito živočichové aktivně vyhledávají přítomnost jedinců stejného druhu na základě chemických stop (Broly et al., 2012), což mohlo vést ke konfliktu mezi varovnými a sociálními signály. Tento konflikt může představovat mechanismus, který snižuje intenzitu vyhýbavé reakce právě v této variantě. Současně je třeba zohlednit roli nekromonů, tedy chemických látek uvolňovaných z těl poškozených nebo uhynulých jedinců, které signalizují zvýšené riziko predace (Yao et al., 2009). Kombinace těchto podnětů tak mohla vytvořit komplexní signální prostředí ovlivňující výsledné chování stínek.

4.4 Význam obecných chemických signálů predátora

Zajímavým zjištěním této práce je, že vyhýbavé chování bylo pozorováno i v případě, kdy predátor nebyl krměn živočišnou potravou. Tento výsledek naznačuje, že stínky nereagují pouze na dietně specifické signály, ale i na obecné chemické stopy predátora.

Tyto signály mohou zahrnovat metabolity nebo jiné látky typické pro daný druh predátora, které kořisti poskytují dostatečnou informaci o potenciálním nebezpečí. Podobné chování bylo popsáno i u jiných organismů, kde kořist reaguje na samotnou přítomnost predátora bez nutnosti přímé zkušenosti s predací (Wisenden, 2015).

Tento typ reakce lze interpretovat jako evolučně výhodnou strategii, která umožňuje organismům minimalizovat riziko predace i v situacích, kdy nejsou k dispozici přesnější informace o aktuální potravní aktivitě predátora. Schopnost reagovat na obecné chemické signály tak může představovat základní úroveň antipredační obrany, na kterou se následně mohou navazovat specifické reakce na dietně podmíněné signály.

Tyto závěry jsou v souladu s poznatkem, že bezobratlí, včetně stejnonožců, reagují na chemické stopy predátora přítomné v prostředí i bez přímého kontaktu s ním. Bylo prokázáno, že tzv. pobytové značky predátora mohou sloužit jako spolehlivý zdroj informací o riziku a ovlivňovat prostorové chování kořisti (Zimmerman & Kight, 2016). Současně lze uvažovat i o roli nekromonů, tedy chemických látek spojených s poškozením nebo úhynem organismů, které představují obecný signál nebezpečí

a mohou vyvolávat vyhýbavé chování napříč různými skupinami organismů (Yao et al., 2009).

Výsledky této práce tedy naznačují, že obecné chemické podněty mohou hrát významnou roli v rozhodování kořisti a ovlivňovat její prostorové chování i v nepřítomnosti přímých indikátorů predace.

4.5 Metodické zhodnocení experimentu a kritická sebereflexe

Použitý design experimentu umožnil efektivně otestovat reakci stínek na chemické podněty predátora za kontrolovaných podmínek. Výhodou bylo zejména způsob, jak prostředí arény využilo možnost volby prostředí. To nám poskytuje přirozený způsob zhodnocení behaviorálního chování. Výrazným pozitivem experimentu je také použití 30 opakování a střídání jedinců při každém testu, což minimalizuje habituaci a předchozí zkušenost.

Přesto existují i negativa studie. Jedním z nich je použití vodných roztoků z výkalů, který představuje zjednodušený model chemických signálů predátora. Přesto je tento postup běžně používaný ve studiích podobného typu se změřením na chemickou komunikaci nebo antipredační chování (Zamora-Camacho, 2023). V přirozeném prostředí se chemické signály šíří jinak a více komplexně. Dále může být účinek mimo kontrolované podmínky ovlivněný dalšími faktory jako například vlhkost, struktura substrátu nebo mikrobiální rozklad. Další potenciální negativum je skutečnost, že se experiment v laboratorních podmínkách nemusí plně shodovat s chováním stínek v přirozeném prostředí. Jejich chování mohlo být pozměněné nedostatkem úkrytů nebo jiných environmentálních podnětů.

Z hlediska kritické sebereflexe lze zmínit, že nebyla stanovená přesná koncentrace chemických látek v jednotlivých roztocích, což mohlo ovlivnit srovnatelnost mezi jednotlivými variantami. Dále také nelze vyloučit ani individuální rozdíly mezi jedinci, což také mohlo vést k ovlivnění výsledků. Do budoucna by bylo vhodné se více zaměřit na jednotlivé vodní roztoky a jejich přesnější standardizaci a obohatit práci o chemickou analýzu jejich složení. Dále by stálo za zamyšlení, zda by bylo možné ověřit získané výsledky v podmínkách, které více odpovídají jejich přirozenému prostředí.

4.6 Ekologický význam výsledků

Výsledky této práce potvrzují, že chemická komunikace hraje významnou roli v interakcích mezi predátorem a kořistí i u suchozemských bezobratlých. Schopnost

detekovat chemické signály umožňuje stínkám efektivně reagovat na riziko predace a přizpůsobovat své chování aktuálním podmínkám.

Zároveň bylo prokázáno, že charakter těchto signálů může být ovlivněn dietou predátora, i když tento vztah není jednoznačný. Tyto poznatky přispívají k lepšímu pochopení fungování potravních sítí a mohou být důležité pro studium ekologických interakcí v půdních ekosystémech.

Z širšího ekologického hlediska lze tyto výsledky interpretovat jako důkaz významu chemických signálů při regulaci chování organismů v prostředí. Reakce na tyto podněty může ovlivňovat nejen prostorovou distribuci jedinců, ale také jejich aktivitu a interakce s dalšími organismy. Antipredační strategie tak mohou ovlivňovat nejen chování jednotlivců, ale také jejich prostorové rozložení v prostředí, například prostřednictvím vyhýbání se rizikovým lokalitám nebo změny aktivity (Tuf & Ďurajková, 2022). Tyto změny mohou následně ovlivnit interakce mezi organismy v rámci půdního prostředí. Lepší porozumění těmto mechanismům tak může přispět k objasnění fungování půdních ekosystémů a role bezobratlých v nich.

5 Využití stínek ve výuce

5.1 Význam využití bezobratlých ve výuce biologie

Bezobratlí představují vhodné modelové organismy pro výuku biologie například v oblasti etologie a ekologických vztahů. Stínky jsou díky své nenáročnosti na chov, dostupnosti a snadno pozorovatelnému chování dobře využitelné pro experimenty ve školním prostředí. Žáci mohou přímo pozorovat reakce organismů na podněty a díky tomu dále rozvíjet porozumění základním biologickým principům.

Využití živých organismů ve výuce aktivně zapojují žáky a napomáhá rozvoji badatelských dovedností. Žáci samostatně formulují hypotézy, provádí experiment a interpretují výsledky svých zjištění (Kireš et al., 2014).

5.2 Badatelsky orientovaná výuka (BOV)

Tato metoda představuje moderní vzdělávací přístup, který klade důraz na aktivní roli žáka v procesu vzdělávání. Základním kamenem je skutečnost, že žáci nehrají pasivní roli při příjmu informací, ale objevují nové poznatky sami pomocí experimentu (Dostál, 2015).

Navržená aktivita „Reakce stínek na světlo“ vychází právě z těchto principů a umožňuje žákům projít základní kroky vědeckého poznání. Žáci započnou hypotézou a pokračují experimentem až k vyhodnocení zjištěných výsledků.

5.3 Návrh a realizace aktivity

Navržená výuková hodina je určena pro 2. ročník gymnázia a zaměřuje se na téma chování živočichů. Cílem aktivity je seznámení žáků s průběhem vědeckého experimentu a umožnit jim uskutečnit vlastní jednoduchý experiment. Konkrétně u této skupiny žáků byly použity stínky a svinky nasbírané v oblasti Velkého Meziříčí.

Hodina je strukturovaná do několika částí: úvodní motivace, badatelská aktivita, sdílení výsledků a závěrečná reflexe. V rámci aktivity žáci formulují hypotézu, manipulují se zvířaty, provádí samotný experiment a zaznamenávají data, což odpovídá badatelsky orientovanému učení (Dostál, 2013).

Samotný harmonogram hodiny byl následovný: prvním krokem bylo krátké představení stínek a svinek žákům. V úvodu bylo zmíněno, že záznam z průběhu hodiny bude součástí mé diplomové práce právě ve spojení s vyzkoušením realizace této aktivity.

Žáci rozdělili do skupin po 3-4 podle jejich preferencí. Do jednotlivých skupin jim byly přiděleny pomůcky (pinzeta, box, papírové domečky, baterky, malý box se stínkami a svinkami a pracovní list). Po rozdělení pomůcek byl žákům představen průběh samotného experimentu. Žáci, po vytvoření hypotézy a zodpovězení úvodních otázek, započali samotné měření, kdy během tří opakování po dobu dvou minut pozorovali, jak se stínky budou chovat a zda budou mít tendenci se ukrýt před světlem. Mnohem více vypovídající by bylo více opakování po delších časových intervalech měření (např. 10×5 minut), ale mně bylo umožněno provést výuku pouze během jedné vyučovací hodiny, proto byl návrh přizpůsoben.

5.3.1 Pracovní list

Pracovní list – Reakce svínek/stínek na světlo

Předmět: Biologie Ročník: 2. ročník gymnázia Časová dotace: 45 minut

Skupina: _____

Členové: _____

1. Úvod – výzkumná otázka

Výzkumná otázka: „Bojí se stejnonožci světla?“

Diskutujte ve skupině:

- Myslíte, že i drobní živočichové mohou cítit strach nebo stres?

- Jak se to může projevit v jejich chování?

2. Badatelský úkol

a) Formulace hypotézy

Naše hypotéza:

b) Návrh a provedení pokusu

Pomůcky: krabička se stínkami, papírová přepážka, zdroj světla (lampička), stopky, tabulka na zápis dat

3. Sdílení a diskuse

Diskutujte ve třídě:

- Odpovídají vaše výsledky hypotéze?

- Jak by se samotný pokus dal vylepšit?

- Můžeme tvrdit, že stínky „mají strach“?

- Jaké limity má tento experiment?

4. Reflexe a závěr

Shrnutí principu vědecké práce: Otázka → Hypotéza → Experiment → Výsledky → Interpretace

Reflexní otázky:

1. Co bylo při pozorování nejtěžší?

2. Jak by šla celková hodina vylepšit?

3. Jaký má význam zkoumat chování živočichů?

5.3.2 Fotografie z hodiny



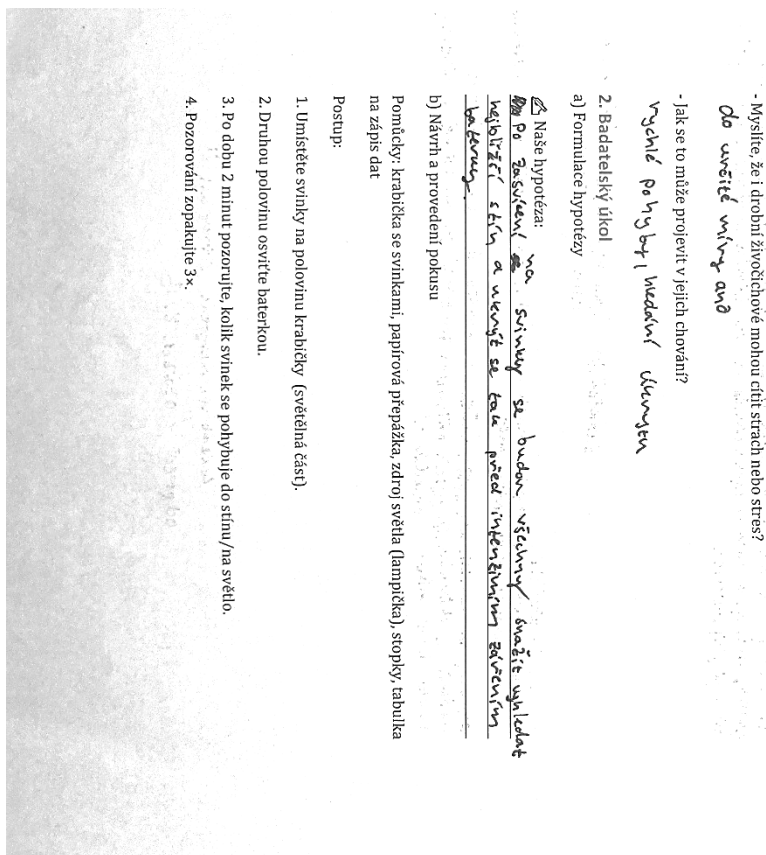
Obrázek 14 Žáci provádějící experiment se stínkami a svinkami 1



Obrázek 15 Žáci provádějící experiment se stínkami a svinkami 2

5.3.3 Příklady vyplněných pracovních listů

5.3.3.1 Skupina 1



Obrázek 16 Příklad vyplněného pracovního listu skupina 1 (strana 1)

c) Záznam pozorování

Pokus	Počet svinek ve stínu	Počet svinek na světle	Poznámky (chování)
1	3	1	žádné 'průhled' pohyby
2	3	1	náhlejší pohyby
3	2	2	už na to (asi) byly připraveny!

d) Vyhodnočení dat

• Spočítejte průměrný počet svinek ve stínu a na světle.

Závěr z měření:
Průměrný počet svinek ve stínu je 2,66 a na světle zůstala průměrně jedna. Postupně stroch uspokojivá a ve tmě tmě světlem náhla přišlo, že byli připraveni!

3. Sdilení a diskuse
Diskutujte ve třídě nebo ve dvojicích:

- Odpovídají vaše výsledky hypotéze? částečně jo (ale vysvětlíme si, že budou více vystrašeni)

- Jak by se pokus dal vylepšit?
uvnitř svinky do většího misku (keře) bychom mohli brát vybledlé misku (abst se cítit přirozeně)
Můžeme tvrdit, že svinky 'mají strach'?
Společně navrhujeme spíše nějakou kurdě se před světlem učívat, že důvodem je jejich přirozená potřeba se na svinských místech, nebo být všude vyhledáváni!
Jaké limity má tento experiment?

4. Reflexe a závěr

Shrnutí principu vědecké práce: Otázka → Hypotéza → Experiment → Výsledky → Interpretace

Reflexní otázky:

1. Co bylo při pozorování nejtěžší? Konstat na samotný svinku asi H
2. Jak by šel pokus vylepšit? Odtrávit v obědě ž. S
3. Jaký má význam zkoumat chování živočichů?

Obrázek 17 Příklad vyplněného pracovního listu skupina 1 (strana 2)

5.3.3.2 Skupina 2

Pracovní list – „Bojí se svinky křepelky?“
Předmět: Biologie Ročník: 2. ročník gymnázia Časová dotace: 45 minut
Skupina: Edvard Členové: Bartušek, Hovíček, Šafránková, Vojtek

1. Úvod – výzkumná otázka
Výzkumná otázka: „Bojí se svinky křepelky?“ (Modelové zkoumáme reakci svinek na světle jako na rušivý podnět)

Diskutujte ve skupině:
- Myslíte, že i drobní živočichové mohou cítit strach nebo stres?
Ne protože si myslíme, že křepelka je na pohotě je pouze obranný pod.
- Jak se to může projevit v jejich chování?
kluk

2. Badatelský úkol
a) Formulace hypotézy
 Naše hypotéza: Umožňuje se svinky se jako všichni ostatní odolat světlu.

b) Návrh a provedení pokusu
Pomůcky: krabička se svinkami, papírová přepážka zdroj světla (lampička), stopky, tabulka na zápis dat

Postup:
1. Umístíte svinky na polovinu krabičky (světelná část).
2. Druhou polovinu osvětlíte baterkou.
3. Po dobu 2 minut pozorujte, kolik svinek se pohybuje do stínu/na světle.
4. Pozorování zopakuje 3x.

Obrázek 18 Příklad vyplněného pracovního listu skupina 2 (strana 1)

c) Záznam pozorování

Pokus	Počet svinek ve stínu	Počet svinek na světle	Poznámky (chování)
1	1	3	Na světle se pohybovaly 3 svinky, zbytek je v stínu.
2	2	2	Pokud není žít svinky v blízkosti světla, stávají se aktivnější.
3	3	1	Málokdy svinka vstává od světla a přechází do stínu.

d) Vyhodnocení dat

- Spočítejte průměrný počet svinek ve stínu a na světle.

Závěr z měření:
 Svinky mají vlnu světla, ostřejší světlo a díky tomu jsou žítí. Žítí se pohybuje vlnou světla, ostřejší světlo a díky tomu jsou žítí. Svinky mají vlnu světla, ostřejší světlo a díky tomu jsou žítí. Svinky mají vlnu světla, ostřejší světlo a díky tomu jsou žítí.

3. Sdílení a diskuse
 Diskutujte ve třídě nebo ve dvojicích:

- Odpovídají vaše výsledky hypotéze? - Ano
- Jak by se pokus dal vylepšit?
- Více svinek
- Další pozorování
- Více světla
- Více mlásk
- Můžeme tvrdit, že svinky mají strach?
- Nejspíše ano
- Jaké limity má tento experiment?
- Vhodně

4. Reflexe a závěr
 Shrnutí principu vědecké práce: Otázka → Hypotéza → Experiment → Výsledky → Interpretace

○ Reflexní otázky:

1. Co bylo při pozorování nejtěžší? Přítel se svinkami
2. Jak by šel pokus vylepšit? Společně pozorovat
3. Jaký má význam zkoumat chování živočichů? Abychom znali jejich chování a reakce

Obrázek 19 Příklad vyplněného pracovního listu skupina 2 (strana 2)

5.4 Vazba na RVP

Navržená aktivita odpovídá požadavkům Rámcového vzdělávacího programu pro gymnázia, a to zejména v oblastech rozvoje přírodovědné gramotnosti a klíčových kompetencí (MŠMT, 2022). Badatelsky orientovaná výuka je v současnosti vnímaná jako velmi nápomocná metoda pro rozvoj schopnosti řešit problémy, kritického myšlení a také s práce s informacemi (Dostál, 2013).

Aktivita podporuje rozvoj kompetence k učení, řešení problému, komunikace i spolupráce ve skupině. Zároveň umožňuje žákům propojit teoretické poznatky s praktickými zkušenostmi, což je v souladu s požadavky moderního přírodovědného vzdělávání. Popsaná aktivita také pomáhá k naplnění průřezových témat, a to zejména environmentální výchovy, protože se žáci posunou blíže k porozumění vztahům mezi organismy a prostředím. Dále je kladen důraz na aktivní zapojení žáků a zkušenost

s experimentem na vlastní kůži, což nám podporuje rozvoj dovedností, které RVP označuje za klíčové pro další studium a rovněž praktický život (MŠMT, 2022).

5.5 Přínosy aktivity pro žáky

Zařazení aktivity tohoto druhu do výuky napomáhá k rozvoji přírodovědné gramotnosti a badatelských dovedností. Žáci se učí sami formulovat otázky, provádět experimenty a následně i interpretovat získané výsledky. Všechny tyto skutečnosti odpovídají principům badatelsky orientovaného učení (Kireš et al., 2014). Aktivní zapojení žáků v samotném procesu vzdělávání zároveň zvyšuje jejich motivaci a napomáhá úspěšnějšímu porozumění probíraného učiva, což můžeme i vyčíst v různých výzkumů zaměřené na téma BOV (Kožuchová et al., 2024).

Mezi další významné přínosy můžeme zařadit rozvoj kritického myšlení a práce s informacemi. Žáci se učí, jak samostatně vyhodnocovat výsledky provedeného experimentu, diskutovat o jejich významu a uvědomovat si možné limity nebo chyby v jejich pozorování. Aktivita také rozvíjí práci ve skupině a komunikační schopnosti, které jsou jak důležité v dalším vzdělávání ale také v běžném životě.

5.6 Reflexe a možnosti využití ve výuce

Navržená aktivita lze poměrně snadno upravit podle věku žáků nebo časovým možností. Lze ji využít v hodinách biologie, ale dala by se aplikovat s úpravami i v dalších přírodovědných předmětech (například v rámci výuky biomů v zeměpisu).

Z didaktického hlediska je výhodou této aktivity její flexibilita s možnostmi úprav nebo dalšího rozšíření podle potřeb dané třídy. Lze zde doplnit například širší statistické zpracování dat, diskusi nad hypotézami nebo propojení s jinými tématy jako například ekosystémy nebo adaptace organismů na životní prostředí. Aktivita může sloužit jako úvod pro komplexnější badatelské projekty a dlouhodobé práce žáků, což by mohlo podporovat jejich zájem o přírodní vědy.

Dále je však nutné reflektovat i omezení navržené aktivity. Práce se živými organismy může být organizačně náročnější a vyžaduje značnou přípravu ze strany učitele, zhodnocení schopností třídy, kde aktivitu chce uskutečnit a zajištění vhodných podmínek pro chov a manipulaci s živočichy. Další limit může být časová náročnost BOV, která nemusí být vždy plně slučitelná s časovými dotacemi běžné výuky.

Z pohledu sebereflexe lze také vzít v potaz, že aktivita klade vyšší nároky na samostatnost žáků, což nemusí být pro všechny žáky jednoduché, proto může být rozdělování do skupin obtížnější s ohledem na jejich schopnosti a vztahy. Proto je důležité, aby učitel fungoval jako nápomocný direktor, který vhodně žáky povede a podpoří. Do budoucna bych doporučila aktivitu uskutečňovat ve dvou vyučovacích hodinách, protože v mém provedení jedné vyučovací hodiny nebyl dostatek času na diskusi a vícero opakování pozorování.

6 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo ověřit, zda chemické signály predátora ovlivňují chování kořisti, konkrétně reakci stínky obecné (*Porcellio scaber*), a zda je tato reakce modifikována dietou predátora. Na základě provedených experimentů lze konstatovat, že stínky jsou schopny detekovat chemické podněty pocházející z výkalů predátora a reagovat na ně změnou svého chování v prostoru. Ve všech testovaných variantách bylo zaznamenáno vyhýbavé chování vůči části arény obsahující testovací roztok, což potvrzuje význam chemické komunikace v interakcích predátor–kořist.

Výsledky dále ukázaly, že dieta predátora má vliv na intenzitu této reakce, avšak tento vztah nebyl zcela jednoznačný. Nejvýraznější vyhýbavé chování bylo překvapivě zaznamenáno u roztoku pocházejícího z predátora krmeného pouze rostlinnou dietou, zatímco u variant se živočišnou složkou byla reakce slabší, přesto statisticky významná. Tento výsledek naznačuje, že stínky nereagují pouze na dietně specifické signály spojené s konzumací kořisti, ale i na obecné chemické stopy predátora.

Reakce na signály pocházející z predátora, který konzumoval stejný druh kořisti, byla rovněž vyhýbavá, avšak nedosahovala očekávané intenzity. To může být způsobeno modifikací chemických látek během trávení nebo jejich nižší koncentrací ve výsledném roztoku. Výsledky tak naznačují, že antipredační chování stínek je ovlivněno kombinací více typů chemických signálů a nelze jej vysvětlit pouze přítomností specifických poplašných látek.

Z metodického hlediska se použitý experimentální design ukázal jako vhodný pro sledování behaviorálních reakcí stínek, avšak práce má i svá omezení. Mezi hlavní patří použití vodných extraktů z výkalů jako zjednodušeného modelu chemických signálů a absence přesné kvantifikace jejich chemického složení. Tyto faktory mohly ovlivnit intenzitu pozorovaných reakcí.

Z ekologického hlediska práce přispívá k lepšímu pochopení role chemické komunikace v půdních ekosystémech a potvrzuje, že i suchozemští bezobratlí využívají chemické informace k vyhodnocení rizika predace.

Součástí práce bylo také navržení pedagogické aplikace výsledků formou badatelsky orientované výuky. Z realizace této aktivity vyplynulo, že zapojení živých stejnonožců do výuky má pozitivní vliv na aktivitu a motivaci žáků. Žáci byli více zapojeni do průběhu

hodiny, projevovali větší zájem o sledovaný jev a byli schopni formulovat vlastní hypotézy, navrhnout postup řešení a interpretovat získaná data. Ukázalo se, že práce s živými organismy napomáhá lepšímu pochopení probíraného učiva, protože umožňuje přímé pozorování a propojení teoretických poznatků s praktickou zkušeností.

Na základě těchto zjištění lze využití živých stejnonožců ve výuce doporučit. Jedná se o vhodný modelový organismus, který je snadno dostupný, nenáročný na chov a zároveň umožňuje realizaci jednoduchých experimentů i v podmínkách běžné školní třídy. Jejich využití podporuje rozvoj badatelských dovedností, kritického myšlení a přírodovědné gramotnosti žáků. Zároveň však je nutné dbát na vhodnou organizaci aktivity a citlivý přístup k živým organismům.

Celkově lze shrnout, že chemické signály predátora představují významný faktor ovlivňující chování stínek obecných. Tato práce otevírá prostor pro další výzkum zaměřený na detailnější analýzu chemického složení těchto signálů a jejich role v komplexních ekologických interakcích.

7 Použitá literatura

- Broly, P., Mullier, R., Deneubourg, J.-L. & Devigne, C. (2012) Aggregation in woodlice: *social interaction and density effects*, *ZooKeys*, 176: 133–144.
- Calman, W. T. (1911) *The life of Crustacea*. New York: The Macmillan Company.
- Devigne, C., Detrain, C. & Deneubourg, J. L. (2004) Spatial distribution and aggregation mechanisms in woodlice: A review. *Ethology Ecology & Evolution*, 16(3): 285–305.
- Dostál, J. (2013) Badatelsky orientovaná výuka jako trend soudobého vzdělávání, *e-Pedagogium*, 3(1): 81–93.
- Dostál, J. (2015) Badatelsky orientovaná výuka a kompetence učitele k její realizaci, *Journal of Technology and Information Education*, 7(1): 7–19.
- Ferrari, M. C. O., Wisenden, B. D. & Chivers, D. P. (2010) Chemical ecology of predator–prey interactions in aquatic ecosystems: a review, *Canadian Journal of Zoology*, 88(7): 698–724.
- Global Invasive Species Database (2009) *Porcellio scaber*. Dostupné z: <https://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=1460>
- Cheng, K. M. & Kimura, M. (1990) The Japanese Quail. In: Crawford, R. D. (ed.) *Poultry Breeding and Genetics*. Amsterdam: Elsevier: 333–363.
- Integrated Taxonomic Information System (2024) *Porcellio scaber*. Dostupné z: <https://www.itis.gov>
- Kanagaraj, R., Murali-Baskaran, R., Sharma, K. C., Jiang, J. & Mankin, R. W. (2018) Kairomones in biological control: their role in pest management, *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 101: 3–12.
- Kireš, M., Ješková, Z., Ganajová, M. & Kimáková, K. (2014) *Bádatel'ské aktivity v prírodovednom vzdelávaní*. Bratislava: Štátny pedagogický ústav.
- Kožuchová, M., Severini, E. & Koreňová, L. (2024) *Bádatel'sky orientovaná výučba v technickom vzdelávaní: teória a výskum*. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave.

- McCarthy, T. M. & Fisher, W. A. (2018) Predator recognition of chemical cues in crayfish: diet and experience influence detection. *Behaviour*, 155: 505–530.
- Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy (2022) *Rámcový vzdělávací program pro gymnázia*. Praha: MŠMT. Dostupné z: <https://edu.gov.cz/dokumenty/rvp-ramcove-vzdelavaci-programy/rvp-g-ramcove-vzdelavaci-programy-pro-gymnazia/>
- Riggio, C. (2013) *Porcellio scaber* [online]. Animal Diversity Web. University of Michigan Museum of Zoology. Dostupné z: https://animaldiversity.org/accounts/Porcellio_scaber/
- Schoeppner, N. M. & Relyea, R. A. (2009) Interpreting the smells of predation: how alarm cues and kairomones induce different prey defences, *Functional Ecology*, 23(6): 1114–1121.
- Spivey, K. L., Duffy, K. R. & Robertson, R. M. (2015) The alarm cue obstruction hypothesis: isopods respond to alarm cues, but do not respond to dietary chemical cues from predatory bluegill. *Behaviour*, 152(2): 167–179.
- Tuf, I. H. & Ďurajková, B. (2022) Antipredatory strategies of terrestrial isopods. *ZooKeys*, 1101: 109–129.
- van Gestel, C. A. M., Loureiro, S. & Zidar, P. (2018) Terrestrial isopods as model organisms in soil ecotoxicology: a review. *ZooKeys*, 801: 127–162.
- Wisenden, B. D. (2015) Chemical cues that indicate risk of predation, In Sorensen, P. W. & Wisenden, B. D. (eds.) *Fish Pheromones and Related Cues*. Hoboken: John Wiley & Sons: 131–148.
- Wood, W. F. (1983) Chemical ecology: chemical communication in nature. *Journal of Chemical Education*, 60(7): 531–539.
- Yao, M., Rosenfeld, J., Attridge, S., Sidhu, S., Aksenov, V. & Rollo, C. D. (2009) The ancient chemistry of avoiding risks of predation and disease. *Evolutionary Biology*, 36(3): 267–281.
- Yusuf, A. A. (2021) Allomones in Social Insects, In: Starr C. (ed.) *Encyclopedia of Social Insects*. Cham: Springer: 27–29.

Zamora-Camacho, F. J. (2023) Keep the ball rolling: sexual differences in conglobation behavior of a terrestrial isopod under different degrees of perceived predation pressure, *PeerJ*, 11, e16696.

Zimmerman, K. I. & Kight, S. L. (2016) Responses of four arthropod prey species to predator-associated cues. *Life: The Excitement of Biology*, 4(2): 114-135.