Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta Životního prostředí

Katedra Ekologie

Nutriční složení těla kořisti pro predátory z řad členovců lovících na vegetaci

Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. RNDr. Pavel Saska, Ph.D.
Konzultant: RNDr. Jiří Skuhrovec, Ph.D.

Vypracovala: Vanesa Výborná

© 2022 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vanesa Výborná

Aplikovaná ekologie

Název práce

Nutriční složení těla kořisti pro predátory z řad členovců lovících na vegetaci

Název anglicky

Nutritional body composition of prey for arthropod predators foraging on vegetation

---

Cíle práce

Pavouci a slunéčkovití brouci jsou nejvýznamnějšími skupinami predátorů ze skupiny členovců, jež se vyskytují na vegetaci v agroekosystémech. Pro účely lepšího pochopení praktického dopadu těchto nespecifických (pavouci) i specializovaných (slunéčka) predátorů na populace hmyzích (ale i dalších bezobratlých) škůdců je potřeba znát podstatu výběru jejich potravy. Nedávné studie dokládají, že predátoři si vybírají potravu podle aktuální potřeby esenciálních živin. Proto je potřeba znát složení živin v těle širokého spektra potenciální kořisti těchto predátorů.

Metodika

Potenciální kořist predátorů lovících na vegetaci bude sbírána standardními metodami určenými pro sběr bezobratlých z vegetace: smyk a sklepávání. Vzorky budou odebírány jak uvnitř porostu zvolené plodiny (obilniny, řepka, řepa, hrách, dle aktuální dostupnosti), tak v bezprostředním okolí (meze a křoviny těsně sousedící se vzorkovanými poli). Nalezení jedinci budou bezprostředně po nalezení usmrceni zamrazením. Potenciální kořist bude určena do úrovně čeledi a stadia (dospělec, larva, popř. kukla a vajíčko). Obsah lipidů a proteinů bude v tělech určen nepřímo, tj. gravimetricky. Těla budou vysušena a zvážena. K extrakci lipidů bude použito chloroformu, a rozdíl v suché hmotnosti po extrakci bude uvažován jako obsah lipidů. Obsah proteinů bude obdobně stanoven pomocí extrakce hydroxidem draselným. Obsah živin bude vyjádřen pro jednotlivé taxonomické skupiny, stadia, popř. plodiny a stanoviště, kde byly vzorky odebrány.

Doporučený rozsah práce

dle potřeby

Klíčová slova

Lipidy; proteiny; predace; nutriční ekologie; pavouci; slunéčka

---

Doporučené zdroje informací

Jensen K, Mayntz D, Toft S, 2011, Nutrient regulation in a predator, the wolf spider Pardosa prativaga. ANIMAL BEHAVIOUR 81: 993-999.

Jensen K, Mayntz D, Toft S, 2012, Optimal foraging for specific nutrients in predatory beetles. PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY B-BIOLOGICAL SCIENCES, 279: 2212-2218.

Raubenheimer D, Simpson SJ, 2018, Nutritional ecology and foraging theory. CURRENT OPINION IN INSECT SCIENCE, 27: 38-45.

Salomão RP, González-Tokman D, Dáttilo W, López-Acosta JC, Favila ME, 2018, Landscape structure and composition define the body condition of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in a fragmented tropical rainforest. Ecological Indicators 88: 144-151

Southwood TRE, Henderson PA, 2000, Ecological Methods 3rd edition, Blackwell Scientific

Wilder SM, Norris M, Lee RW, 2013, Arthropod food webs become increasingly lipid-limited at higher trophic levels. ECOLOGY LETTERS, 16: 895-902.

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FZP

Vedoucí práce

doc. RNDr. Pavel Saska, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie

Konzultant

RNDr. Jiří Skuhrovec, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 24. 2. 2022

prof. Mgr. Bohumil Mandák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 25. 2. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Nutriční složení těla kořisti pro predátory z řad členovců lovících na vegetaci“ vypracovala samostatně pod vedením doc. RNDr. Pavla Sasky, Ph.D. a RNDr. Jiřího Skuhrovce, Ph.D., a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Praze dne _____

Poděkování

Především bych chtěla velmi poděkovat svému vedoucímu práce panu doc. RNDr. Pavlu Saskovi, Ph.D. za ochotu, trpělivost a pomoc při zpracování dat a za cenné rady a připomínky při psaní této bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat panu RNDr. Jiřímu Skuhrovcovi, Ph.D. za pomoc při terénním sběru hmyzu a též za rady a připomínky k mé práci.

Nutriční složení těla kořisti pro predátory z řad členovců lovících na vegetaci

Abstrakt

Jednou ze schopností predátorů z řad členovců je regulovat býložravé škůdce v agroekosystémech. Dříve se mělo za to, že predátoři jsou limitováni především množstvím kořisti, kterou dokážou ulovit, a energií, kterou z nich získají. Nedávné studie ale za pomoci nutriční geometrie dokládají, že pro predátory je při výběru potravy důležitá také aktuální potřeba esenciálních živin, která úzce souvisí s jejich celkovým fitness.

V této bakalářské práci jsem provedla analýzu nutričních hodnot u širokého spektra zástupců hmyzu a pavoukovců. Nejprve byl živočišný materiál odchycen metodou smýkání z vegetace. Následně byl nepřímo neboli gravimetricky určen obsah proteinů a lipidů v tělech odchyceného hmyzu a pavoukovců. Lipidy byly extrahovány pomocí chloroformu, proteiny pak za pomoci hydroxidu draselného. Obsah živin byl poté vyjádřen pro jednotlivé taxonomické skupiny.

Výsledky jasně prokázaly, že obsah makroživin se mezi jednotlivými skupinami jak hmyzu, tak pavoukovců významně liší. Pro predátory je tedy důležité, jakou kořist uloví a jaké živiny z ní získají. Od toho se dále odvíjí jejich rychlost růstu, nebo plodnost.

Klíčová slova: Proteiny; lipidy; predace; nutriční ekologie; nutriční geometrie; pavouci; hmyz

Nutritional body composition of prey for arthropod predators foraging on vegetation

Abstract

One of the abilities of arthropod predators is to control herbivorous pests in agroecosystems. Previously, predators were thought to be limited primarily by the amount of prey they could catch and the energy they gained from them. Recent studies, however, used nutritional geometry to show that the current need for essential nutrients, which are closely related to their overall fitness, is also important for predators when choosing food.

In this bachelor's thesis, I performed an analysis of nutritional values in a wide range of insects and arachnids. First, the animal material was captured from vegetation by sweeping. Subsequently, the content of proteins and lipids in the bodies of captured insects and arachnids was determined indirectly or gravimetrically. Lipids were extracted with chloroform, and proteins with potassium hydroxide. The nutrient content was then expressed for each taxonomic group.

The results clearly showed that the content of macronutrients differs significantly between groups of both insects and arachnids. It is therefore important for predators what prey they catch and what nutrients they obtain from it. This is the basis for their growth rate or fertility.

Keywords: proteins; lipids; predation; nutritional ecology; nutritional geometry; spiders; insect

Obsah

1 Úvod **9**

2 Cíl práce **11**

3 Literární rešerše **12**

3.1 Význam predátorů v agroekosystémech 12

3.2 Potravní ekologie 13

3.2.1 Potravní ekologie predátorů 15

3.2.2 Metody studia potravní ekologie 15

3.3 Nutriční ekologie 16

3.3.1 Nutriční geometrie 17

3.3.2 Nutriční geometrie býložravého a všežravého hmyzu 17

3.3.3 Nutriční geometrie predátorů 19

3.3.4 Lipidy 21

3.3.5 Proteiny 21

3.4 Nutriční hodnoty kořisti pro predátory 22

3.5 Hmyz jako potrava pro člověka 23

4 Metodika **26**

4.1 Sběr materiálu 26

4.2 Chemikálie použité pro extrakci 27

4.2.1 Hydroxid draselný 27

4.2.2 Chloroform 27

4.3 Použité přístroje 27

4.4 Metody 28

4.4.1 Příprava 28

4.4.2 Stanovení obsahu lipidů 30

4.4.3 Stanovení obsahu proteinů 31

4.5 Zpracování dat 31

5 Výsledky **35**

5.1 Statistická analýza 42

6 Diskuse **47**

7 Závěr **49**

8 Literatura **50**

1 Úvod

Agroekosystém je soubor hospodářsky významných organismů spolu s jejich neživým prostředím, který byl upraven lidmi za účelem produkce potravin, paliva a dalších produktů pro lidskou spotřebu a zpracování. V agroekosystémech je velmi důležitá biodiverzita, která je v některých případech díky použití pesticidů a monokultuře ohrožena (Boháč *et al.*, 2007).

Každý organismus má v daném ekosystému určitou roli. Jedna z rolí predátorů v agroekosystémech je regulace býložravého hmyzu, který je všeobecně považován za škůdce plodin (Duyck *et al.*, 2011). Mezi důležité predátory z řad členovců řadíme například pavouky, slunéčka nebo střevlíky. I přesto, že jen malá část z celkového počtu bezobratlých živočichů patří ke škůdcům, mohou i tak způsobit velké škody na zemědělské úrodě. Někteří predátoři jsou schopni škůdce potlačit až do takové míry, že není potřeba použití pesticidů (Harwood *et al.*, 2009). Například nespecializovaní pavouci loví neselektivně a zabíjejí více kořisti, než jsou schopni pozřít, a tak za život zlikvidují velké množství býložravého hmyzu, tedy potenciálních škůdců.

Regulace příjmu živin je dobře známá a prokázána u býložravého a všežravého hmyzu, ale teprve nedávno byla prokázána i u predátorů. Regulace příjmu živin spočívá ve výběru potravy dle toho, jaké živiny jsou pro daného živočicha aktuálně potřebné (Raubenheimer & Simpson, 2018). Předpokládalo se se, že na rozdíl od býložravého a všežravcého hmyzu predátoři svůj příjem živin nevyvažují, a to především z důvodu, že živočišné tkáně kořisti predátorů se od sebe příliš neliší, a jejich těla jsou sama o sobě nutričně velmi vyvážená (Toft, 2013). Také se myslelo, že pro predátory je limitujícím faktorem počet kořisti, který se jim povede ulovit a sníst. Tedy především energie, kterou z kořisti získají (Jensen *et al.*, 2011). Nedávné studie ale dokazují, že i predátoři jsou schopni optimálního shánění potravy, a vyvažují živiny tak, aby se maximalizovala jejich fitness (Jensen *et al.*, 2011; Jensen *et al.*, 2012).

Bylo zjištěno, že pokud nemá predátor přístup k dostatečně pestré stravě a je při lovu omezen pouze na jeden druh kořisti, má to na jeho organismus negativní vliv (Jensen *et al.*, 2012). Může se díky tomu snižovat jejich fitness a tím jejich početnost. Pro integraci ochranné bilogické kontroly do zemědělských postupů je proto důležité pochopit, které složky biologické rozmanitosti bezobratlých je třeba podporovat, aby se maximalizovalo potlačení škůdců (Greenop *et al.*, 2018). Biologická kontrola je založena na využití a manipulaci takzvaných přirozených nepřátel škůdců (predátoři, paraziti, patogeny). Jedná se tedy o využití služeb, které biodiverzita ostatních organismů přináší (Boháč, 2013). Vzhledem k tomu, že predátoři mohou

mít velký vliv na strukturu a funkci společenstev a ekosystémů, je další zkoumání potravy masožravých predátorů, nutriční kvality kořisti, intenzity hledání potravy a výběru kořisti nezbytné pro jakýkoli pokus o charakterizaci vztahů mezi predátory a jejich kořistí (Schmidt *et al.*, 2012). V praktické části této bakalářské práce jsou stanoveny esenciální živiny u širokého spektra potenciální kořisti pro bezobratlé predátory.

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je nepřímo neboli gravimetricky stanovit obsah makroživin, tj. lipidů a proteinů, v tělech širokého spektra hmyzu a pavoukovců běžně se vyskytujících v agroekosystémech. Bylo předpokládáno, že obsah makroživin se mezi jednotlivými taxony bude významě lišit, také v závislosti na jejich potravní strategii či vývojovém stádiu.

3 Literární rešerše

3.1 Význam predátorů v agroekosystémech

Agroekosystém je krajina, která je člověkem zemědělsky využívána. Lidstvo je na zemědělství existenčně závislé, proto je to také nejrozšířenější způsob výroby na světě a zabírá nejvíce zemské plochy, až 36 % (Boháč *et al.*, 2007). Abychom mohli označit ekosystém jako „zdravý“, musí v něm fungovat přirozené samoregulující vztahy, které pro činnosti člověka mohou mít dokonce kladný ekonomický dopad. Tomuto přínosu, způsobenému biodiverzitou, říkáme ekosystémové služby. Mezi ekosystémové služby v zemědělství řadíme především opylování a biologickou regulaci škůdců a plevelů v plodinách (Harwood *et al.*, 2009).

Interakce mezi predátorem a kořistí jsou hlavní hnací silou přirozeného výběru, populační dynamiky a struktury potravních sítí. Predátoři utvářejí ekologická společenství a mají dalekosáhlé účinky na environmentální procesy, odolnost ekosystémů a biologickou rozmanitost (Valdez, 2020), přičemž ztráta predátora způsobí rozmnožení býložravých živočichů, kteří se živí vegetací a mohou tak ohrozit zemědělské plodiny (Birkhofer *et al.*, 2017). Proto jsou v agroekosystémech tito přirozeně se vyskytující predátoři velmi důležití, jelikož nepřímo chrání zemědělské plodiny (Michalko *et al.*, 2019). Po staletí byla schopnost predátorů regulovat bezobratlé škůdce plodin využívána zemědělci. Taková regulace a ekosystémové služby, které predátoři poskytují, umožňují snížení nebo dokonce vyloučení pesticidů v agroekosystémech (Harwood *et al.*, 2009). To, že vyšší variabilita predátorů může zvýšit potlačení kořisti, prokázalo i plno metaanalýz (Bianchi *et al.* 2006; Griffin *et al.* 2013 ;Greenop *et al*, 2018).

Nespecializovaní predátoři mohou hrát důležitou roli v agroekosystémech regulací býložravého hmyzu prostřednictvím „top-down“ efektu (Duyck *et al.*, 2011). V ekologii o tomto efektu hovoříme v souvislosti s vrcholovými predátory, kteří řídí strukturu nebo populační dynamiku ekosystémů. Vztah mezi vrcholovými predátory a jejich kořistí tak ovlivňují nižší trofické úrovně. Změny ve vyšších trofických úrovních mají inverzní vliv na nižší trofické úrovně (Lecomte *et al.*, 2009).

Mezi nejhojnější predátory v agroekosystémech řadíme především pavouky. Ti patří mezi vůbec nejrozmanitější predátory. Pavouci mají širokou škálu loveckých strategií (Birkhofer *et al.*, 2017) a vyskytují se prakticky „všude“, od půdy až po koruny stromů, a jsou distribuováni na více trofických úrovních než ostatní generalističtí predátoři, jako jsou střevlíkovití brouci (Carabidae) nebo například škvoři (Dermaptera). Představují tedy vynikající modelové organismy pro studium účinku všeobecných predátorů na potlačování

škůdců v agroekosystémech (Michalko *et al.*, 2019). Podle výpočtů Turnbulla (1973) na základě odhadu hustoty pavouků (130/m^2) s předpokladem, že každý pavouk spotřebuje 0,1 g kořisti denně, by všichni pavouci žijící na 1 ha půdy usmrtili 47 500 kg kořisti ročně. Velkou výhodou u pavouků je také fakt, že zabíjejí i jedince, které nejsou schopni zkonzumovat. Do lapacích sítí, které si někteří pavouci tvoří, se kořist chytá neselektivně a tím pádem se do nich chytí více jedinců. Také „nadbytečné zabíjení" je u pavouků velmi běžné, tento jev je způsobený časovým odstupem mezi lovem a konzumací kořisti, během čekání na rozložení už ulovené kořisti, pavouci neztrácejí tendenci lovit a tím usmrtí více bezobratlých než jiní predátoři (Riechert & Lockley, 1984).

Ale i další regulátoři škůdců jsou z hlediska člověka velmi prospěšní. Jsou to například slunéčkovití brouci (Coccinellidae). Ti dokážou zahubit velké množství mšic, které svou přítomností ohrožují zemědělské plodiny. Dále druhy nekrofágní, jako jsou například hrobaříci. Ti zase pomáhají rychle odstranit mršiny a druhy, které způsobují v zemědělství problémy, jako je mandelinka bramborová (*Leptinotarsa decemlineata*), nebo bázlivec kukuřičný (*Diabrotica virgifera*) (Boháč, 2013). V neposlední řadě mohou být velmi užiteční, v boji proti býložravému hmyzu, parazitoidi. Ti žijí na úkor jednoho hostitele, ve kterém uskutečňují svůj vývoj, a nakonec ho usmrtí. Jednotlivé druhy parazitoidů se specializují na různá vývojová stádia hostitele, a tak mohou zahubit velký počet těchto jedinců. Parazitoidi jsou také druhově nejbohatší skupinou přirozených nepřátel škůdců u nás (Saska *et al.,* 2020*).*

Problémem pro tyto regulátory škůdců je snížení diverzity kořisti, vznikající z mnoha příčin. Může jí být i eliminace plevelů, která snižuje diverzitu a početnost bezobratlých živočichů, kteří jsou na ně vázáni svým vývojem (Dewar *et al.,* 2003). Nebo pesticidy, které mají nepříznivé účinky na populace necílových bezobratlých, zatímco dlouhodobé spoléhání se na anorganická hnojiva může vést ke ztrátě organické hmoty v půdě a s ní související fauny bezobratlých. Řada časových a prostorových faktorů vede ke snížení heterogenity zemědělské půdy a s tím ke ztrátě biodiverzity, ať už ptáků, rostlin nebo bezobratlých (Macfadyen *et al.,* 2009). Tato ztráta rozmanitosti kořisti vede ke snížení počtu predátorů a následně ke zvýšení počtu škůdců a tím i škod na zemědělských plodinách. Tyto faktory následně vedou k vyššímu používání pesticidů (Harwood *et al.,* 2009).

3.2 Potravní ekologie

Ekologická nika je termín, který se používá pro postavení jednotlivých druhů v ekosystému. Popisuje nejen rozsah podmínek nezbytných pro existenci druhu, ale také jeho ekologickou roli v daném ekosystému. Ekologická nika zahrnuje všechny interakce mezi

druhem a abiotickými (např. světlo, teplo) i biotickými (např. potrava, paraziti) podmínkami. Ekologickou niku dále můžeme rozdělit na niku fundamentální, ta zahrnuje teoretické nároky druhu na prostředí, a niku realizovanou, která představuje prostředí, které daný organismus právě obývá (Polechová & Storch, 2008).

Ekologická nika zahrnuje i trofickou niku, která popisuje potravní nároky konkrétního druhu. Heterogenita potravy jednotlivých živočichů nám následně udává šířku této niky (Bearhop *et al.*, 2004). Podle toho můžeme organismy rozdělit na polyfágní, tedy druhy, co mají širokou trofickou niku a živí se rozmanitou škálou potravy, a druhy stenofágní, ti mají naopak niku úzkou (Pekár & Toft, 2015). Dále můžeme jednotlivé druhy řadit k monofágním živočichům, ti jsou vázáni jen na jeden konkrétní druh potravy, což je pro ně velmi limitující, a jejich trofická nika je tedy velmi úzká. Nebo mezi oligofágy, to jsou živočichové živící se pouze několika málo druhů potravy, u rostlin většinou příbuzného druhu (Nylin & Janz, 2009).

K polyfágním druhům řadíme většinu predátorů, a to především z důvodu, že musejí ulovit a zkonzumovat za život více kořisti, než například býložravý hmyz nebo parazitoidi. Potravní zdroje jsou pro všechny živočichy limitujícím faktorem a jsou pro ně tedy nezbytné. Trofická nika je z celé ekologické niky nejčastějším předmětem pro zkoumání (Wilder, 2011). Je to dané tím, že potrava přímo ovlivňuje další aspekty v životě predátorů, jako je například růst a reprodukce.

Dále je možné potravní ekologii u druhů posuzovat za pomoci dalších parametrů. U živočichů můžeme hodnotit stupeň specializace na daný typ potravy (Morse, 1980). U těchto organismů se nehledí na šířku trofické niky, ale na specifické adaptace, které se u nich vyvinuly. Tyto adaptace jim poskytují schopnost efektivněji využívat typ potravy, kterou upřednostňují. U druhů tak můžeme rozlišovat úrovně této specializace na generalisty, ti mají adaptace, které jim pomáhají využívat více druhů potravy a specialisty, ti mají vhodné adaptace pro využití konkrétního typu potravy (Pekár & Toft, 2015). Také ale můžeme organismy řadit k polyspecialistům. Tito živočichové mají velmi specifické adaptace, které jim pomáhají využít více druhů potravy, ale ke každému typu zpracování mají vyvinuté jiné z těchto adaptací (Nylin & Janz, 2009). Definování druhu jako generalisty nebo specialisty vyžaduje značné množství dat. Nejsystematičtějším způsobem sběru těchto údajů je studium jedinců chovaných v zajetí.

V neposlední řadě se u jednotlivých druhů může pozorovat potravní preference založené na nutričním složení potravy. Potravní preference vyjadřuje, co by živočich konzumoval za ideálních podmínek, a jak potrava na organismus daného živočicha působí. Tímto tématem se tato bakalářská práce bude podrobněji věnovat v kapitole 3.3. Nutriční ekologie.

3.2.1 Potravní ekologie predátorů

Predace je biologická interakce, během které jeden organismus zabíjí a živí se jiným organismem (Birkhofer *et al.*, 2017). Potravní strategií u predátorů je především zabíjet velký počet kořisti. Jsou schopni zkonzumovat až desítky jedinců denně. Díky tomu je jejich početnost z pravidla menší než u býložravého hmyzu nebo parazitoidů. Predátoři jsou také svým metabolismem závislejší na příjmu proteinů z potravy, nežli například býložravý hmyz. U predátorů žijících v České republice se specializace vyvinula pouze u jedinců, jejichž kořist se vyskytuje v dostatečně velkém množství a je agregovaná v prostoru. Specializace se například vyvinula u slunéčkovitých brouků (Coccinellidae), kteří jsou specializovaní na mšice (Saska *et al.*, 2020).

3.2.2 Metody studia potravní ekologie

K lepšímu pochopení fungování ekosystémů a interakcí, které se v nich odehrávají, je zapotřebí studovat potravní ekologii organismů (Lancaster *et al.*, 2008). U všech organismů dochází k asimilaci živin během toho, co přijímají potravu (Aktinson *et al.*, 2018). Část této potravy je z organismu vyloučena, zatímco druhá část je vstřebána do tkání. Kolem živočichů se z pravidla vyskytuje velké množství různorodé kořisti, kterou mohou ulovit a pozřít (Agosta, 2006). Jak už ale bylo řečeno, někteří predátoři mohou upřednostňovat specifickou kořist. Jejich potrava je proto tvořena jen malým procentem z celkového množství potenciální kořisti, která se kolem nich nachází. Z tohoto důvodu se vyvinulo několik metod studia potravní ekologie, které se pokoušejí odrážet skutečné složení stravy daného živočicha (Juen & Traugott, 2005). Mezi tyto metody můžeme řadit přímé pozorování, vizuální a molekulární analýzu, analýzu stabilních izotopů nebo také gravimetrickou analýzu, ta je více popsána v kapitole 4.4 Metody.

Přímé pozorování v přírodě je metoda časově velmi náročná a je vhodná především pro velké a neskrytě žijící živočichy. Můžeme jí ale například využít u pavouků, kteří loví za pomocí sítí. Tyto sítě se mohou posbírat a zbytky vysáté kořisti se v laboratořích identifikují (Líznarová *et al.*, 2013).

Vizuální analýza je jednou z nejpoužívanějších metod pro zkoumání potravní ekologie. Tato metoda není příliš finančně nákladná a lze díky ní rychle dostat informace o tom, co daný živočich zkonzumoval. Nevýhodou této metody je, že pokud provádíme analýzu žaludku, je možné, že daný živočich bude usmrcen (Pineda-Munoz & Alroy, 2014). Proto je pro živočichy, kteří jsou vzácní nebo ohrožení, vhodnější použít metodu u které se vyvolá zvracení nebo se propláchne žaludek a tím jedinec zůstane naživu (McMeans *et al.*, 2019). Další nevýhodou této metody je, že u větších jedinců mohou být informace, které získáme zkreslené. Zkreslení se

děje především díky tomu, že větší živočichové se přirozeně pohybují ve větších areálech, ale informace, které z obsahu žaludku získáme, se týkají pouze malé části areálu, ve kterém živočich žije (Pineda-Munoz & Alroy, 2014). Zdaleka největším nedostatkem této metody je však fakt, že samotným pozorováním je opravdu těžké rozeznat a určit potravu, která je díky trávení v tekutém stavu, nebo se rozkládá (Bennett & Hobson, 2009). Přičemž se některé složky potravy také mohou trávit s různou rychlostí. Tato metoda je tedy vhodná jen pro hrubé určení toho, čím se daný živočich živí.

Další metoda umožňuje za pomocí molekulární analýzy zjistit obsah trávicí soustavy. Nevýhodou oproti vizuální metodě je delší příprava a náročnost na udržení kvality vzorků. Naopak informace o zkonzumovaném složení potravy jsou mnohem detailnější, a to díky analýze fragmentů DNA (Pinol *et al.*, 2014). Aby se analýza mohla provést, jsou zapotřebí vzorky, a to v podobě trusu, nebo obsahu žaludku. K určení dlouhodobé potravní preference se materiál musí sbírat alespoň po dobu několika týdnů a musí být pravidelný. Dalším z nedostatků této metody může být, že nelze odlišit sekundární predaci, tj. detekci zbytků potravy ve zkoumané kořisti (Bowser *et al.*, 2013).

3.3 Nutriční ekologie

Nutriční ekologie je vědní obor, který se zabývá ekologií příjmu a využití potravy. Před více než 100 lety Atwater (1902) poznamenal, že "abychom pochopili, co tělo pohání, musíme vzít v úvahu chemické složení potravin a podíl živin skutečně strávených a oxidovaných v těle". Jelikož jsou živiny zásadní pro téměř všechny aspekty existence živočichů (Machovsky-Capuska & Raubenheimer, 2006), začalo se na interakce v potravních sítích nahlížet z nutriční perspektivy.

Výživová hodnota potravy je dána jak jejich chemickým složením, tak poměry mezi složkami a jejich biologickou dostupností, tj. jejich využitím při budování buněk, tkání a také životně důležitých funkcí organismu. Jde především o vysoký obsah bílkovin, daný složením aminokyselin, obsahem a složením lipidů, a také obsahem vitamínů a minerálních látek (Orkusz, 2021). Tyto hodnoty dále poskytují rámec pro pochopení interakcí mezi živočichy (Schmidt *et al.*, 2012). Nutriční ekologie poskytla nové chápání dynamiky společenstev a ekosystémů (Simpson *et al.*, 2015). K tomuto chápání především napomohla nutriční geometrie.

3.3.1 Nutriční geometrie

Faktorů, které ovlivňují výběr a příjem potravy a vynaložení energie související s hledáním potravy, je mnoho a jsou velmi komplexní. Je to především díky tomu, že živiny získané ze stravy obvykle nelze posuzovat samostatně, jelikož na organismus působí složitými pochody. Dříve většina modelů v nutriční ekologii tento fakt ignorovala a pracovala se zjednodušeným předpokladem, že účinky živin působící na organismus lze posuzovat samostatně (Raubenheimer *et al.*, 2014). V roce 1993 byl představen grafický přístup, tzv. nutriční geometrie (NG), pro modelování komplexních účinků stravy na živočichy a jejich organismus (Raubenheimer & Simpson, 1993). NG modeluje interakce složek stravy a jejich účinky na organismus na více úrovních, včetně fyziologie, chování, vývoje, výkonnosti a ekologie (Raubenheimer & Simpson, 2018). Byla použita k popisu toho, jak ekologicky a taxonomicky rozmanitá škála jednotlivých druhů reguluje svůj příjem některých živin jak v kontrolovaných laboratorních experimentech, tak v nemanipulativních studiích ve volné přírodě (Raubenheimer *et al.*, 2014). Dále poskytuje nové poznatky a nabízí prostředky integrace napříč různými úrovněmi společenstev, od jednotlivců po ekosystémy (Simpson *et al.*, 2015). NG spočívá v tom, že jedinec projeví svou preferenci vůči konkrétním živinám. Poté lze za její pomoci měřit výsledné fitness korelující s touto preferencí. Také ji lze aplikovat na jakýkoliv druh živočicha. NG se dále zabývá „cílovým příjmem“, který lze definovat jako optimální poměr živin pro konkrétní organismus. Tento „cíl“ je variabilní a může být modifikován podle životní fáze živočicha, fáze vývoje a jeho aktuálního fyziologického stavu (Shareefi & Cotter, 2019).

Přesto mnoho ekologických podmínek omezuje množství a kvalitu dostupné potravy a zabraňuje tak živočichům přijímat vyváženou stravu, kterou potřebují. Živočich je pak nucený přijímat některé živiny v nadměrném množství a jiné naopak v nedostatečném. Pro živočicha je potom důležité se s deficitem nebo naopak přebytkem živin co nejlépe vyrovnat. Regulační reakce, které se kvůli omezení dějí, nazýváme „pravidlo kompromisu“ (Raubenheimer, 2018). Proto se většina studií, které se NG živočichů zabývají, provádí v laboratořích a ne ve volné přírodě.

3.3.2 Nutriční geometrie býložravého a všežravého hmyzu

Za pomoci NG bylo především znázorněno shánění potravy a regulace živin u býložravého a všežravého hmyzu (Jensen *et al.*, 2011). Bylo zjištěno, že nutriční hodnota hostitelských rostlin má velký vliv na ekologii, chování a fyziologii býložravého i všežravého hmyzu a je určována celou řadou znaků, jako je množství a kvalita potřebných živin v dané

rostlině, tvrdost listů, obsah vody a sekundárních metabolitů (Schoonhoven *et al.,* 2005). Býložravý hmyz je dobře znám svou schopností regulovat příjem bílkovin a lipidů tak, aby uspokojil svůj „cílový příjem“, tedy optimální potřebu živin pro jeho organismus. Nedosažení tohoto „cílového příjmu“ má za následek značné energetické náklady v důsledku konzumace příliš velkého množství náhradní živiny a zároveň příliš malého množství potřebné živiny (Lee, 2007). Během dietního omezení se u býložravého a všežravého hmyzu ukázalo, že upřednostňují příjem bílkovin před lipidy. Požadavky ale mohou být specifické pro životní fáze. Například jedinci nižšího vývojového stádia rostou, a tak často vyžadují ve stravě více bílkovin než například dospělí jedinci (Shareefi & Cotter, 2019).

Mezi mechanismy, které býložravci využívají k uspokojení své potřeby živin, patří: výběr potravy, příjem potravy, získávání živin z přijaté potravy (trávení a vstřebávání živin) a postabsorpční zpracování. Rychlost a účinnost, s jakou jsou různé živiny (např. bílkoviny a lipidy) vstřebávány z přijaté potravy, se může lišit. To hmyzu poskytuje možnost upravit poměr živin vstřebaných z potravy tak, aby byly splněny jejich nutriční požadavky (Raubenheimer & Simpson, 1998). Listy rostlin jsou většinou tuhé a tím vysoce odolné proti lámání. Houževnatost listů je ovlivněna mnoha faktory, včetně množství, složení a organizace buněčné stěny a tkání. Aby býložravý hmyz překonal tuhost listů, vyvinul si specifické ústní ústrojí, které mu napomáhá tuhé listy rozžvýkat. Je zřejmé, že velikost částic vznikajících při žvýkání potravy má významný vliv na rychlost a účinnost získávání různých živin, a tím i jejich vyvažování (Clissold *et al.*, 2006; Simpson *et al.*, 2015). Když hmyz přijímá potravu, která postrádá buněčnou strukturu, většina přijatých živin se vstřebá. To platí i v případě, kdy je buněčná struktura listů odstraněna žvýkáním, čímž se živiny stávají snadno dostupnými pro trávení a vstřebávání (Clissold *et al.*, 2006).

Býložravý hmyz si vyvinul i jiné mechanismy, které po požití potravy může použít k úpravě množství nebo poměru vstřebaných bílkovin a lipidů. Mezi tyto mechanismy patří například termoregulační chování, které lze využít k vyvažování potřebných živin. Hmyz umí efektivně vyvažovat příjem živin z rostlin, a to za pomocí tělesné teploty a příjmu vody k úpravě poměrů živin získaných z jednoho rostlinného druhu. Studie Diamonda (2010) ukázala, že *Manduca sexta* rostla více na „nekvalitní“ hostitelské rostlině a méně na „kvalitní“ hostitelské rostlině, pokud byla chována při nevhodných vyšších teplotách. Mezi další mechanismy patří úprava doby průchodu střevem, např. změnou intervalu mezi příjmy potravy, nebo různé uvolňování trávicích enzymů. Proto termíny jako „kvalitní rostliny“ a „nekvalitní rostliny“ nevystihují bohatý nebo dynamický charakter získávání živin býložravého hmyzu z rostlin (Simpson *et al.*, 2015).

Nedávné práce začaly ukazovat, že hmyzí býložravci jsou pozoruhodně efektivní při dosahování vyváženého přísunu živin z rostlin, a to i za použití teplotního výběru a pití k úpravě míry a poměru živin získaných z jednoho druhu rostliny (Lee, 2007). Když se taková behaviorální flexibilita přidá k fyziologické a vývojové plasticitě, například k rozdílnému uvolňování trávicích enzymů a strukturálním změnám v morfologii trávicího traktu, je jasné, že termíny jako kvalitní a nekvalitní rostliny nevystihují bohatost nebo dynamickou povahu získávání živin býložravci z rostlin (Simpson *et al.*, 2015).

U býložravého hmyzu se také vyvinuly kognitivních mechanismy, které zahrnují nutričně specifické učení, při kterém se hmyz selektivně zaměřuje na pachy nebo barvy. Konkrétní barvy, nebo pachy si v minulosti spároval s jednou živinou, které má v danou chvíli nedostatek (Raubenheimer & Simpson, 2018).

Studie se v rámci NG na býložravý a všežravý hmyz zaměřily především proto, že rostliny jsou suboptimální potravou, jelikož se značně liší ve směsi a koncentracích potřebných živin a jsou dostupnější než potrava pro predátory (Lee, 2007; Machovsky-Capuska *et al.*, 2016). Je proto snažší vztahy mezi býložravým hmyzem a jejich potravou sledovat a zkoumat.

3.3.3 Nutriční geometrie predátorů

Oproti býložravému a všežravému hmyzu se o nutriční ekologii predátorů neví mnoho. Přesto se v poslední době začínají vyskytovat studie, které se NG predátorů zabývají (Jensen *et al.*, 2012; Raubenheimer & Simpson, 2018). Studie se na predátory nezaměřovaly především z důvodu, že se donedávna mělo za to, že predátoři svůj příjem esenciálních živin nevyvažují (Jensen *et al.,* 2011). Zatímco u býložravého a všežravého hmyzu toto vyvažování esenciálních živin bylo potvrzeno již dávno (Lee, 2007).

Dříve se uvažovalo, že se predátoři živí neselektivně, tedy že uloví a pozřou jakoukoliv dostupnou kořist, a ne podle potřeby konkrétních esenciálních živin. Jedním z důvodů, proč se u predátorů potřeba vyvážit esenciální živiny nepředpokládala, pramenila z evoluční teorie. Ta tvrdí, že živočichové shání potravu tak, aby maximalizovali svou fitness, což se u predátorů dříve považovalo za ekvivalent k maximalizaci příjmu energie, spíše než dané vyvážení konkrétních živin (Jensen *et al.*, 2012). Dalším z argumentů byla domněnka, že živočišné tkáně kořisti predátorů jsou nutričně bohaté a vyvážené a tím predátoři konzumují potravu vysoké nutriční kvality a regulace živin tím pádem není potřeba (Toft, 2013). Toto tvrzení bylo však díky chemické analýze kořisti vyvráceno, jelikož se ukázalo, že složení živin v tělech kořisti se liší. Dokonce se liší nejen napříč druhy (Jensen *et al.*, 2011), ale také v závislosti na zdroji potravy konkrétního jednice, ročním období, životní fázi nebo pohlaví (Jensen *et al.*, 2012).

Predátoři ze své kořisti získávají energii, živiny a vodu. Všechny tyto faktory potřebují ke svému růstu a rozmnožování. Aby tyto živiny získali, musí nejprve vynaložit energii na ulovení, pozření a trávení kořisti, ale také na zpracování nestravitelných částí a toxinů z kořisti (Toft, 2013). Pro predátora je často limitujícím faktorem především počet ulovené kořisti a energie, kterou z ní získají. Občas se dokonce stane, že se po delší dobu potýkají s nedostatkem kořisti. Bylo ale prokázáno, že je pro ně důležité vyvažovat živiny i v době, kdy je kořisti dostatek. Greenstone (1979) jako první tvrdil, že predátoři si mohou vybírat potravu podle obsahu živin. Tato hypotéza byla později experimentálně prokázána u střevlíka rodu *Anchomenus* (Jensen *et al.*, 2012), norka (Mayntz *et al.,* 2009) a pavouků rodu *Zodarion* (Pekár *et al.*, 2010). Vzhledem k tomu, že mnozí predátoři jsou číhající lovci typu „sit and wait", může být vyvážení živin prostřednictvím aktivního výběru kořisti u těchto predátorů méně významné ve srovnání s predátory, kteří svou kořist aktivně pronásledují. Číhající predátoři pravděpodobně uloví jakoukoli kořist, která se dostane do jejich dosahu. Chytají a zabíjejí kořist tak dlouho, dokud potřebují živiny. K vyvážení živin pak dochází v pozdějších fázích, to znamená během krmení, trávení a asimilace (Jensen *et al.*, 2011).

Dlouhodobým předpokladem v potravní ekologii tedy bylo, že masožravci shání potravu kvantitativně, spíše než kvalitativně. Několik studií nyní definitivně prokázalo, že tomu tak není, a i predátoři mají „cílový příjem" specifických živin srovnatelný s tím, který se vyskytuje u býložravého a všežravého hmyzu (Shareefi & Cotter, 2019). Například ze studie Jensena (2012) jasně vyplývá že u střevlíčka ošlejchového (*Anchomenus doralis*) je celková produkce vajíček maximální v případě, že tito brouci přijímají stravu s vyváženým složením lipidů a bílkovin. V experimentu si brouci toto optimální složení živin vybrali sami, pokud měli volný přístup ke dvěma dietám, které se lišily složením živin (Jensen *et al.*, 2012). Další studie ukazuje, že pavouci z čeledi slíďákovitých (Lycosidae) při rozhodování, zda ulovit určitou kořist, zohledňují své nutriční potřeby a po jejím ulovení také konzumují jen dané množství a části kořisti, aby přizpůsobili příjem metabolickým potřebám v organismu (Schmidt *et al.*, 2012).

Zatímco býložravý a všežravý hmyz upřednostňuje příjem bílkovin, všichni bezobratlí predátoři, kteří byli dosud studováni, upřednostňovali příjem tuků před bílkovinami. Je dobře známo, že ve srovnání s jinými živočichy mají predátoři schopnost nadměrně přijímat bílkoviny. V důsledku toho si masožravci vyvinuli adaptace, které jim umožňují vyrovnat se s nadbytkem bílkovin díky specializované střevní mikroflóře. Funkce této mikroflóry jsou obohaceny o rozklad aminokyselin a schopnost vylučovat přebytečný dusík (Shareefi & Cotter, 2019).

Dané vyvažování živin a úprava potravy způsobují, že se objevují složité interakce mezi potravním stresem, hustotou kořisti a zkušenostmi predátorů. Je zřejmé, že potrava ovlivňuje chování predátorů. Abychom mohli určit roli predátorů v potravních sítích, musíme nejprve zjistit, jak jejich potravní strategie a nutriční hodnota kořisti ovlivňuje frekvenci odchytu, konzumaci a výběr kořisti (Sivakoff *et al.*, 2012).

3.3.4 Lipidy

Lipidy neboli tuky jsou velmi důležité pro buněčnou strukturu, jelikož jsou její základní složkou. Mají až dvojnásobnou energetickou hodnotu oproti sacharidům či proteinům (Jensen *et al.*, 2012), a tak jsou jednou z nejdůležitějších energetických rezerv. Jejich další důležitou funkcí je jak tepelná, tak mechanická ochrana těla (Bencko, 1995). Největší výskyt lipidů se u členovců nachází v zadečku a jsou po predátory limitující živinou. Lipidy jsou kritickou živinou, kterou predátoři potřebují k vytváření energetických rezerv, aby přežili období hladovění a mohli investovat energii do reprodukce. Studie ukazují, že nízký obsah lipidů v kořisti má za následek snížený růst a reprodukci široké škály predátorů, od brouků až po mořské ptáky (Jensen *et al.*, 2011; Wilder *et al.*, 2013).

3.3.5 Proteiny

Proteiny neboli bílkoviny jsou organické sloučeniny složené z aminokyselin (van Huis *et al.*, 2013). Z bílkovin je složena většina živočišného organismu. Jsou základním stavebním komponentem buněk a enzymů. Díky bílkovinám se tvoří a obnovují živočišné tkáně (Velíšek & Hajšlová, 2009). Jejich výživová hodnota závisí na několika faktorech: na obsahu bílkovin, který se u kořisti značně liší, na kvalitě bílkovin, která závisí na druhu přítomných aminokyselin (esenciální nebo neesenciální), na tom, zda kvalita odpovídá potřebám živočichů, a na stravitelnosti bílkovin, která se týká stravitelnosti aminokyselin přítomných v potravě (van Huis *et al.*, 2013). U pavouků a dalších predátorů není běžné, že by přijímali potravu s vysokým obsahem lipidůje, zatímco nadměrné požívání potravy s vysokým obsahem bílkovin je častější a výraznější. Tuto asymetrii lze považovat za adaptaci predátorů na potravu s vysokým obsahem bílkovin. Přebytečnou konzumací potravy bohaté na bílkoviny pavouci přímo, ale jen částečně kompenzují nedostatek lipidů (Feng *et al., 2022)*. Část nadbytečně přijatých bílkovin se může přeměnit na lipidy a nepřímo tak kompenzovat jejich nedostatek (Toft, 2013).

3.4 Nutriční hodnoty kořisti pro predátory

Nejčastější potravu pro bezobratlé predátory představuje hmyz. Dříve se předpokládalo, že hmyzí tkáně jsou nutričně vyváženy a mezi druhy nejsou příliš velké rozdíly v nutričním složení. To však bylo díky chemické analýze vyvráceno (Toft, 2013). Ukázalo se, že nutriční složení těl hmyzu je velmi variabilní mezi taxony i v rámci jednoho druhu. Hodnoty se mohou například lišit v závislosti na vývojovém stádiu (zejména u druhů s proměnou dokonalou), potravní strategie, nebo na biotopu (van Huis *et al.*, 2013).

Obecně lze říct, že obsah proteinů se zvyšuje s pokročilejšími vývojovými stádii hmyzu, přičemž pro obsah lipidů platí opak. Například u včelích samců (známých jako trubci) se složení bílkovin zvyšuje s vývojovým stádiem (Ghosh *et al.*, 2020). Také u kobylky pestré (*Zonoceros variegatus*) byl pozorován přírůstek bílkovin a zároveň snížený obsah lipidů s vyššími vývojovými stádii (Tabulka 1) (Suchý *et al.*, 2017).

Tabulka 1. Změny obsahu proteinu podle fáze vývoje kobylky pestré (*Zonocerus variegatus*)

Stádium	**g proteinu/100 g čerstvé hmoty**
První instar	18,3
Druhý instar	14,4
Třetí instar	16,8
Čtvrtý insatr	15,5
Pátý instar	14,6
Šestý instar	16,1
Dospělec	21,4

Zdroj: Suchý *et al.*, 2017

Další rozdíl v obsahu nutričních hodnot v tělech hmyzu může nastat díky tomu, co živočichové konzumují. Larvy se většinou živí jinou stravou než dospělci (Meyer-Rochow *et al*, 2021). Například kobylky, které se krmí otrubami, obsahující vysoké hladiny esenciálních mastných kyselin a mají téměř dvojnásobný obsah bílkovin, než kobylky krmené kukuřicí (Suchý *et al.*, 2017).

Také tvorba svalové tkáně, tedy i proteinů, se může měnit během vývojových stadií. Například těla dospělé dělnice termitů mohou obsahovat méně lipidů než nymfy, a to pravděpodobně kvůli jejich aktivnějšímu životnímu stylu a větší potřebě spalovat tuk, aby pokryly své energetické požadavky. Naopak termití královna, jako jediný producent vajíček v kolonii, vyžaduje mnohem méně proteinů, ale podstatně více tuku (Meyer-Rochow *et al.*, 2021).

Rozdíly v obsahu makroživin v tělech se u hmyzu mohou také měnit během sucha, nebo období přezimování (Meyer-Rochow *et al.*, 2021). Studie například prokázala změny ve složení

těla královen čmeláků (*Bombus terrestris*) během přezimování a letních období (Ghosh *et al.*, 2020).

Obsah bílkovin u hmyzu se pohybuje okolo 25 až 75 % v sušině a obsah lipidů okolo 10 až 70 % v sušině. Tedy obsah proteinů je zpravidla vyšší než lipidů. Následující tabulka ukazuje rozmezí makroživin v tělech vybraných řádů hmyzu (Rumpold & Schluter, 2003).

Tabulka 2. Rozmezí obsahu proteinů a lipidů v sušině u vybraných řádů hmyzu

Český název řádu	**Vědecký název**	**Stadium**	**Obsah proteinu (% v sušině)**	**Obsah lipidů (% v sušině)**
Brouci	Coleoptera	dospělci a larvy	23-66	1.5-56.8
Motýli	Lepidoptera	kukly a larvy	14-68	7-77
Polokřídlí	Hemiptera	dospělci a larvy	42-74	7-54
Blanokřídlí	Hymenoptera	dospělci, larvy a vajíčka	13-77	6-62
Termiti	Isoptera	dospělci	20-37	17-36.1
Rovnokřídlí	Orthoptera	dospělci a nymfy	23-65	2.3-31

Zdroj: Rumpold & Schluter, 2003

3.5 Hmyz jako potrava pro člověka

Přestože některé předešlé kapitoly pojednávají o hmyzu jako o škůdcích, kteří mají negativní vliv na zemědělské plodiny, mohou být i tito škůdci pro člověka užiteční a potřební. Prospěch pro člověka představují především v potravě, ve které mohou nahradit maso pocházející z jatečního dobytka. Jak je uvedeno v předešlé kapitole Nutriční hodnoty kořisti pro predátory (kapitola 3.4), v hmyzu je obsaženo velké množství makroživin, které jsou pro člověka stejně potřebné, jako pro predátory.

Entomofágie neboli pojídání hmyzu je známá v mnoha národech a etnických skupinách po celém světě. Existují prehistorické záznamy ukazující, že předchůdci *Homo sapiens* a dalších hominidů byli konzumenti hmyzu (Goncalves, 2021). Nedávné důkazy naznačují, že hmyz byl v Tanzanii před 1,8 miliony let hlavním zdrojem potravy (van Huis, 2020). Od té doby je hmyz zařazen do lidského jídelníčku v různých částech světa, především v Asii, Africe, Oceánii, na Středním východě a v Latinské Americe (Goncalves, 2021). V Evropě je ale s hmyzem, jakožto potravou pro člověka, stále problém. Jenže rostoucí světová populace se stala náročnější na spotřebu, a to bude mít za následek růst poptávky po živočišných bílkovinách o 75 % do roku 2050 ve srovnání s poptávkou v letech 2005/2007. Vzhledem k tomu, že živočišná výroba zabírá již 70% veškeré zemědělské půdy, budou potřeba nové strategie pro produkci potravin (van Huis *et al.*, 2015). Jedlý hmyz je považován za slibnou alternativu masa pocházejícího

z dobytka, a tedy i potřebných proteinů. Jedlý hmyz by mohl z části nahradit masný průmysl a snížit poptávku po mase po celém světě. (Ngo & Moritaka, 2021).

V posledních letech přitahuje konzumace hmyzu jako potravy a krmiva velkou pozornost vědců i veřejnosti, zejména v západních zemích. Entomofágie má velký význam zejména u národů, u kterých by mohla být hmyzí potrava považována za dobrou alternativu ke konzumaci masa z hospodářských zvířat. Kromě toho, že poskytuje bohaté zdroje bílkovin, entomofágie přináší lidem a životnímu prostředí několik dalších výhod, protože produkce hmyzu pro lidskou výživu poskytuje menší znečištění životního prostředí a vyžaduje méně vody a půdy (Ngo & Moritaka, 2021). Chovaný hmyz má za následek nižší emise skleníkových plynů a amoniaku než produkce konvenčních produkčních zvířat. Analýza životního cyklu neboli metoda, která posuzuje životní cyklus živočicha z hlediska jeho působení na životní prostředí, byla provedena pouze u potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) a jeho larev, tzv. moučných červů. Vyznačuje se především vysokým obsahem proteinů v těle a je proto jedním z nejčastěji konzumovaných hmyzích druhů. Ukazuje se ale, že ve srovnání s konvenčními hospodářskými zvířaty je zapotřebí menší plocha půdy (van Huis *et al.*, 2015). Mouční červi potřebují pouze 43 % půdy využívané pro produkci jednoho kg živočišných bílkovin jako je například mléko a pouze 10 % půdy využívané pro produkci hovězího masa (Oonincx & De Boer, 2012).

Bylo provedeno několik studií zaměřených na význam entomofágie, hodnotící nutriční přínosy a potenciál hmyzu pro trh. Hmyz se konzumuje ve všech stádiích vývoje (vajíček, larvy, kukly a dospělí jedinci) (Goncalves, 2021). Odhaduje se, že lidé na světě konzumují kolem 2000 druhů hmyzu (Ngo & Moritaka, 2021). Nejkonzumovanější hmyz na světě spadá do řádů: Coleoptera (31 %), Lepidoptera (18 %), Hymenoptera (14 %), Orthoptera (13 %), Hemiptera (10 %), Isoptera (3 %), Diptera (2 %) a další (5 %) (Gonçalves, 2021). Pokud jde o konkrétní druhy hmyzu, ukazuje se, že jsou to druhy, které již byly chovány za účelem krmení domácích mazlíčků, včetně plazů a obojživelníků. Jde zejména o tyto druhy: mouční červi – potemník moučný (*Tenebrio molitor*) a brazilský (*Zophobas morio*), cvrčci, zejména cvrček domácí (*Acheta domesticus*) a cvrček dvouskvrnný (*Gryllus bimaculatus*); několik druhů saranče, jako je saranči stěhovavá (*Locusta migratoria*) a saranče pustinná (*Schistocerca gregaria*), a další jako vedlejší produkty z hedvábnictví, kukly domestikovaného bource morušového (*Bombyx mori*) nebo ze včelařství například trubci (van Huis, 2020).

S ohledem na nutriční hodnoty je obtížné zobecnit přes 2000 druhů hmyzu, které se celosvětově konzumují. Ale ve srovnání s hovězím, vepřovým a kuřecím masem je však obsah hmyzích bílkovin obecně podobný, naopak hmyz obsahuje více polynenasycených mastných

kyselin a má vyšší obsah minerálů, jako je železo a zinek (van Huis *et al.*, 2015). Hmyz má také vysoký obsah dalších cenných živin v závislosti na druhu a v některých případech na jejich stravě. Hlavní nutriční složkou jsou bílkoviny (13–77 %); druhou hlavní složkou je obsah lipidů (1,5–77 %), stopové prvky (např. Cu, Fe, Mg, Mn, P, Se, Zn) a vitamíny (např. A, B, C, D, K) (Goncalves, 2021).

Také potravinová neofobie, která se týká strachu z konzumace/zkoušení nového nebo neznámého jídla, byla jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících konzumaci hmyzu jako potravy. Znechucení bylo v některých studiích vyhodnoceno jako adaptivní funkční systém chránící před infekčními patogeny, proto je v některých případech znechucení související s konzumací hmyzu považováno jako signál o nevhodnosti pro lidskou spotřebu (van Huis *et al.*, 2015).

4 Metodika

Cílem praktické části této bakalářské práce bylo gravimetricky, stanovit obsah lipidů a proteinů v tělech bezobratlých živočichů, kteří představují potenciální kořist pro predátory v agroekosystémech, zejména pro lepší pochopení výběru potravy při jejich lovu (Jensen *et al*. 2012). Obsah makroživin byl stanoven i u samotných predátorů. Postup probíhal především podle publikované studie Salomãoa et al. (2018). Pro analýzu živin byl vybrán obsah lipidů a proteinů, a to především z důvodu, že zastávají největší procento konzumovatelné složky v tělech bezobratlých. Mezi některými druhy se může významě lišit koncentrace vybraných makroživin (Meyer-Rochow *et al*., 2021). Míra variability může být vyšší ve srovnání s jinými živinami a bylo prokázáno, že pro predátory jsou důležitým faktorem ve výběru kořisti (Wilder *et al.*, 2013).

4.1 Sběr materiálu

Sběr hmyzu jako potenciální kořisti pro predátory probíhal ve čtyřech termínech v období od června do srpna. Hmyz byl sbírán v tyto dny: 8.6., 14.6., 8.7. a 9.9. 2021, na polích Výzkumného ústavu rostlinné výroby v Ruzyni v poledních hodinách, kdy je nejvíce aktivní. Hmyz byl sbírán metodou smýkání a poté ze smýkačky odchycen za pomoci exhaustoru do plastových lahviček a ihned usmrcen zmrazením. Toho bylo dosaženo po přemístění vzorků do přenosného mrazícího boxu. Sběr byl prováděn zejména na pšeničném a řepkovém poli. Zbývající materiál byl získán z okolních stromů a obrůstající vegetace, která rostla kolem vybraných polí. Bylo odchyceno několik stovek živočichů, kteří byli sbíráni neselektivně (Tabulka 3). Každá plastová nádoba byla označena štítkem s datem, časem a místem sběru. Po získání dostatečně velkého množství materiálu byly lahvičky s hmyzem a dalšími členovci uloženy do mrazáku v laboratoři (při -25 °C) až do dalšího zpracování.

Tabulka 3. Počet odchycených jedinců pro jednotlivé řády členovců

Řád	**Počet odchycených jedinců**
Hemiptera (polokřídlí)	736
Diptera (dvoukřídlí)	424
Hymenoptera (blanokřídlí)	120
Coleoptera (brouci)	594
Orthoptera (rovnokřídlí)	32
Dermaptera (škvoři)	15
Araneae (pavouci)	275

Výběr druhů pro analýzu nutričních hodnot byl založen na počtu dostupných vzorků. Byly odchyceny i druhy spadající do řádů Lepidoptera, Ixodida, Sternorrhyncha a Neuroptera, ale počet jedinců byl příliš nízký, a tak na experiment nebyli použiti. Vzhledem k nevyrovnanému zastoupení druhů mezi stanovišti nebyl případný vliv stanoviště dále uvažován.

4.2 Chemikálie použité pro extrakci

4.2.1 Hydroxid draselný

Hydroxid draselný, také známý jako louh draselný, je anorganická sloučenina s chemickým vzorcem KOH. Je to silná zásaditá sloučenina, která se vyrábí v několika formách včetně tablet, vloček a prášků. Používá se v různých chemických, průmyslových a výrobních aplikacích. O hydroxidu draselném (KOH) je již dlouho známo, že štěpí proteiny, lipidy a většinu dalších zbytků kožních epitelů (Britanica, 2021). V experimentu byl hydroxid draselný použit ve formě 0.8M roztoku.

4.2.2 Chloroform

Chloroform je čirá, bezbarvá kapalina, která je hustší než voda. Vzniká reakcí chloru s organickými látkami přítomnými ve vodě (Britanica, 2021) a je také známý pro štěpení lipidů. Použitý chloroform v tomto experimentu byl od výrobce Penta s čistotou p.c.

4.3 Použité přístroje

Lupa od výrobce Leica, model MS5, byla použita s objektivem 0,63× s rozsahem zvětšení: 3,15× – 18,9×, pro determinaci taxonomických skupin odchycených členovců.

Horkovzdušná trouba od výrobce Gallenkamp, model Size 2 CHF097 XX2.5, byla použita pro vysušení exeplářů. Nejprve ze vzorků byla za pomocí trouby vysušena voda, poté použité chemikálie, které se při analýze makroživin používaly. Rozsah teploty, při které je trouba shopna sušit je až 200 °C. Pro naše účely trouba sušila při teplotě 70 °C.

Použité váhy byly od výrobce Sartorius, model CP324S, vážily s přesností na pět desetiných míst. Byly použity na zvážení zkumavek a všech exemplářů v průběhu experimentu.

Dále byl použit mrazák od výrobce Leibherr pro zamražení exemplářů po dobu, co se s nimi nepracovalo a tím byla uchována jejich čerstvost.

4.4 Metody

Pokus probíhal ve čtyřech sériích, a to z důvodu velkého množství materiálu. Každá série pokusu trvala průměrně 9 dní a pracovalo se přibližně s 50 vzorky.

4.4.1 Příprava

Nachytané vzorky byly nejdříve za pomocí entomologické pinzety a lupy roztříděny dle taxonomických skupin a poté vloženy do mikrozkumavek. Vzorky, se kterými se v danou chvíli nepracovalo, byly vráceny do mrazáku, aby se zachovala jejich čerstvost.

Tabulka 4. Počet vzorků a jedinců z třídy hmyzu, ze kterých byly makroživiny získávány

Taxonomická jednotka	Počet vzorků	Počet jedinců ve vzorku	Celkový počet jedinců
Aelia acuminata	5	1	5
Alticini	7	5	35
Anthonomus	3	6	18
Apidae	4	1	4
Cantharidae	8	1	8
Cicadellidae	6	5	30
Coccinellidae	7	1	7
Culicidae	1	2	2
Diptera	3	5	15
Elateridae	6	1	6
Formicidae	3	7	21
Heteroptera	4	2	8
Hymenoptera	5	1	5
Chironomidae	1	2	2
Ichneumonoidea	7	1,1,1,1,3,9,9	25
Lepidoptera	6	1	6
Lygus cf. rugulipennis	4	5	20
Megaloceroea cf. recticornis	5	3	15
Meligethes	5	20	100
Nabis cf. pseudoferus	5	4	20
Tephritidae	3	8	24
Tephritidae	5	2	10
Sitona	8	2	16
Stenodema cf. leavigata	5	3	15
Syrphidae	2	2	4
Tettigoniidae	6	1,1,2,3,5,6	18
Tipulidae	1	2	4
Musca	10	1	10
Nematus	7	2	14
Dermaptera	6	1	6

V první sérii pokusu nebylo možné u drobných druhů (např. u čeledi Tephritidae, nebo mravenců rodu *Lasius*) makroživiny stanovit, pravděpodobně z důvodu nízké hmotnosti jedince. Bylo tedy nutné pracovat s navážkou hmyzu minimálně 0,005 g. Před začátkem experimentu byla proto u každého jednotlivého exempláře zvážena jeho hmotnost, a podle zjištěné hmotnosti byl stanoven minimální počet jedinců daného taxonu tvořících jeden vzorek (Tabulka 4). U drobnějšího hmyzu bylo potřeba do jedné zkumavky vložit až deset kusů (např. nosatci), u větších druhů postačil jeden.

Odchycení jedinci ze skupiny Ichneumonoidea a Tettigoniidae měli rozdílnou hmotnost, proto se do každé mikrozkumavky vložil různý počet jedinců (Tabulka 4). U pavouků nebyl počet jedinců použitých na jeden vzorek bohužel spočítán.

Všechny mikrozkumavky byly označeny kódem (Obrázek 1), pod kterým byly zapsány i v protokolu. K tomuto kódu byly následně připisovány zjištěné hodnoty. Ačkoliv byl použit materiál a chemikálie dle publikované metody Salomãoa et al. (2018), panovaly obavy, aby chloroform nereagoval s plastem z mikrozkumavek, popřípadě aby samostatné zkumavky neměnily hmotnost při sušení v troubě. Před zahájením experimentu se tedy přistoupilo k úpravě mikrozkumavek, ve kterých se analýza prováděla. Předpokládalo se, že hmotnost se může změnit po kontaktu s chloroformem, který se při extrakci živin používal. Proto byly nejdříve samostatné mikrozkumavky chloroformem naplněny a po 24 hodinách vysušeny v troubě. Tento postup se nezdařil a hmotnost zkumavky se během experimentu přesto změnila. Při druhém pokusu byly bez dalších úprav vloženy do trouby, kde se nechaly po dobu 24 hodin sušit. Po provedeném sušení se hmotnost zkumavek v průběhu experimentu dále neměnila. A to ani po kontaktu s chloroformem, ani po sušení v troubě. Před každým jednotlivým pokusem bylo tedy vždy nutné připravit potřebné množství mikrozkumavek tímto způsobem, aby se předešlo chybným hodnotám při vážení. Po této úpravě byly mikrozkumavky zváženy samostatně (hmotnost A), aby se jejich hmotnost mohla odečíst od hmotnosti vzorku v dalších krocích experimentu, a aby se předešlo zbytečné manipulaci s vysušenými vzorky a snížilo se tak riziko chyby způsobené odlomením částí těl. Všechny potřebné hodnoty byly váženy s přesností na pět desetinných míst a zapsány do protokolu.

Obrázek 1. Označené mikrozkumavky s exempláři louhujícími se v chloroformu

Foto: Autor

4.4.2 Stanovení obsahu lipidů

Poté, co byly mikrozkumavky připraveny a zváženy (hmotnost A), se do nich vložil vzorek členovců. Následně byla zvážena čersvá hmotnost vzorku i s mikrozkumavkou (hmotnost B). Veškeré hodnoty byly zapsány do protokolu pro pozdější statistické zpracování. Pro získání suché tělesné hmotnosti byly vzorky sušeny v horkovzdušné troubě při 70 °C po dobu 24 hodin, a poté zváženy s přesností na 0,00001 g. Po zvážení vzorků zbavených vody (hmotnost D) proběhla extrakce lipidů za pomocí čistého chloroformu. Přibližně 2 ml chloroformu se pipetou nakapaly do zkumavek a lehce se s nimi zatřáslo, aby se usnadnil průnik chloroformu do těl. Hmyz nebo pavouci se v chloroformu nechali 24 hodin (Obrázek 1). Chloroform byl po 24 hodinách vyměněn za nový a exempláře se v něm nechali po stejnou dobu. Například ale u housenic rodu *Cordyceps* bylo nutné chloroform vyměnit vícekrát, z důvodu pomalejšího štěpení lipidů. Následně se chloroform za pomocí pipety opatrně odsál. Díky štěpení lipidů byl lehce zbarven do žluté barvy (Obrázek 2). Zkumavky eppendorf se i se vzorky vymyly destilovanou vodou. Po tomto kroku se opět umístily do trouby, kde byly sušeny na 24 hodin při 70 °C. Sušina pak byla zvážena (hmotnost F) a výsledek opět zapsán do protokolu. Rozdíl mezi váhou vysušených těl (hmotnost E) a váhou vysušených těl zbavených lipidů (hmotnost G), bez váhy mikrozkumavky, byl brán jako výsledný obsahu lipidů (hmotnost L) v tělech hmyzu.

Obrázek 2. Detail použitého chloroformu zbarveného do žluta díky extrakci lipidů

Foto: autor

4.4.3 Stanovení obsahu proteinů

V dalším kroku proběhlo stanovení obsahu proteinů v těle hmyzu. Po extrahování ve chloroformu a následném vysušení byl do zkumavek za pomocí pipety přidán 0.8M KOH, ve kterém se hmyz nechal 24 hodin. Poté byl hydroxid draselný, který se zbarvil do tmavě hnědé barvy, díky štěpení proteinů, pipetou odsát. Díky opakovanému sušení byly exempláře velmi křehké a rozpadaly se na menší části. Proto se muselo postupovat velmi opatrně, aby s hydroxidem draselným nebyly odsáty i části těl hmyzu. Exempláře byly následně promyty destilovanou vodou a naposledy sušeny v troubě na po dobu 24 hodin při 70 °C. Po tomto kroku byly vzorky zváženy s přesností na pět desetinných míst (hmotnost H). Vše bylo zapsáno do protokolu. Rozdíl hmotnosti vysušených těl po louhování v chloroformu (hmotnost G) a hmotnosti vysušených těl po louhování v hydroxidu draselném (hmotnost I), bez váhy mikrozkumavky, se bral jako výsledný obsah proteinů v tělech hmyzu (hmotnost P)

4.5 Zpracování dat

Získaná data z měření byla zapsána do tabulek Microsoft Office Excel dle taxonomických skupin. Za pomoci vzorečků se v excelu vypočítaly výsledné hodnoty obsahu proteinů a lipidů v tělech hmyzu a pavoukovců.

B–A = C D–A = E F–A = G H–A = I E–G = L G-I = P

(L/E)*100 = O (P/E)*100 = M

A = Hmotnost zkumavky
B = Hmotnost zkumavky s čerstvým exeplářem
C = Hmotnost čerstvého exempláře
D = Hmotnost zkumavky s vysušeným exemplářem
E = Hmotnost vysušeného exempláře
F = Hmotnost zkumavky a vysušeného exempláře po chloroformu
G = Hmotnost vysušeného exempláře po chloroformu
H = Hmotnost zkumavky a vysušeného exempláře po KOH
I = Hmotnost vysušeného exempláře po KOH
L = Obsah lipidů v gramech
P = Obsah proteinů v gramech
O = Obsah lipidů v %
M = Obsah proteinů v %

Některé hodnoty obsahu proteinů a lipidů v tělech hmyzu vyšly přes všechna opatření v záporných hodnotách. Záporné hodnoty mohly nastat po nasátí některé části těla hmyzu spolu s tekutinou (chloroformem, hydroxidem draselným, destilovanou vodou). Exempláře, u kterých vyšli záporné hodnoty, nebyly použity.

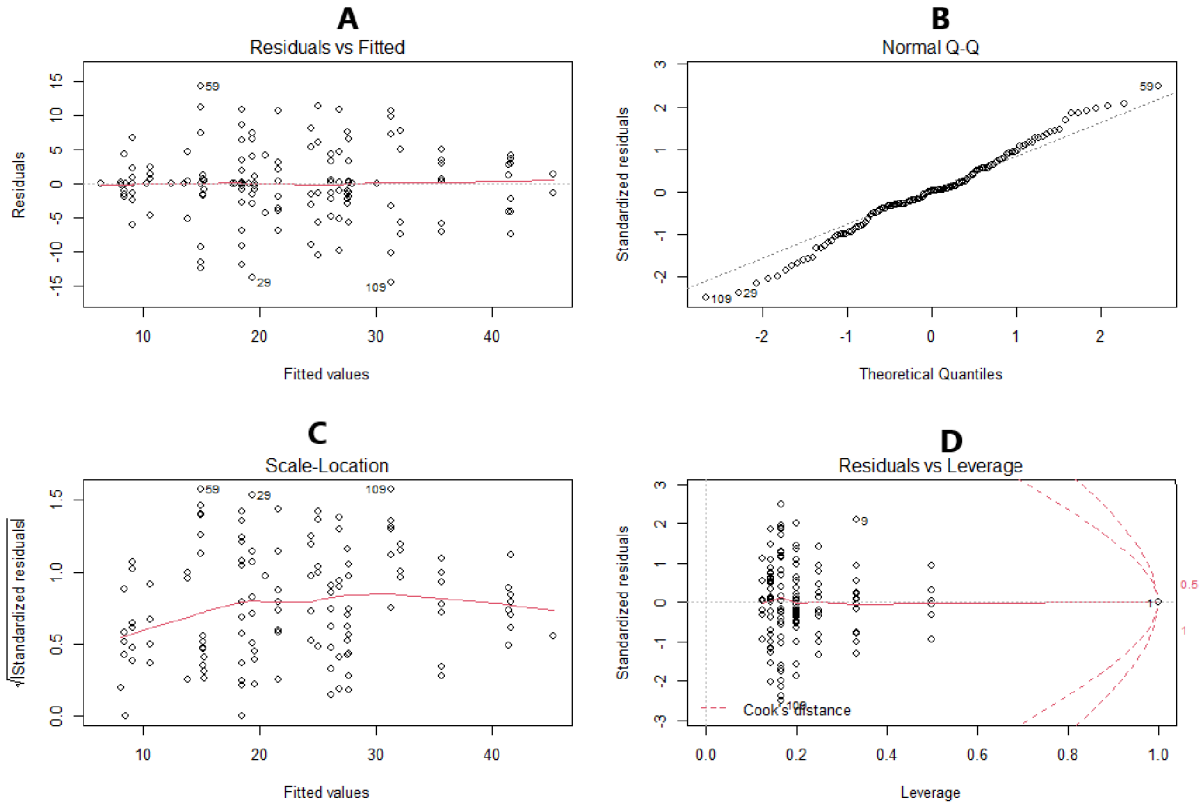
Pro statistické zpracování dat byla použita aplikace RStudio. Za pomocí metody ANOVA a Tukeyho post-hoc testu byla vypočítána statistická významnost rozdílu mezi obsahem makroživin v tělech hmyzu a predátorů (Wilder *et al.,* 2013). V této aplikaci byly také vytvořeny potřebné grafy. Dále bylo za pomocí grafů reziduálů ověřeno, zda je zvolená metoda pro analýzu dat použitelná. Podle výsledků grafů reziduálů se prokázalo, že tuto metodu lze použít.

Nejprve byla analyzována data porovnáním obsahu živin mezi jednotlivými skupinami členovců. Poté porovnání obsahu živin mezi živočichy s rozdílnou potravní strategií. Všichni členovci byli kategorizováni buď jako býložravci (členovci, kteří se živí především živou rostlinnou tkání), všežravci (detritovorové, živočichové, kteří ve své stravě obsahují významný podíl rostlinné i živočišné tkáně) nebo masožravci (predátoři, mrchožrouti). Nakonec byly porovnáváni živočichové s rozdílnu mírou sklerotizace kutikuly.

K ověření normality rozdělení datového souboru byly použity rankitové grafy. Graf 1 znázorňuje datový soubor s lipidy. Rezidua mají pouze minimálně heterogenní rozptyl (Graf

1A). Graf reziduí (Graf 1B) je vyhovující (Pekár & Brabec, 2020). Nebyla zjištěna tedy žádná závažná porušení předpokladů pro použití analýzy rozptylu pro tato data.

Graf 1. A. Závislost reziduí na predikovaných hodnotách. B. Rankitový graf standardizovaných reziduí. C. Závislost upravených standardizovaných reziduí na predikvaných hodnotách. D. Závislost standardizovaných reziduí na hodnotách

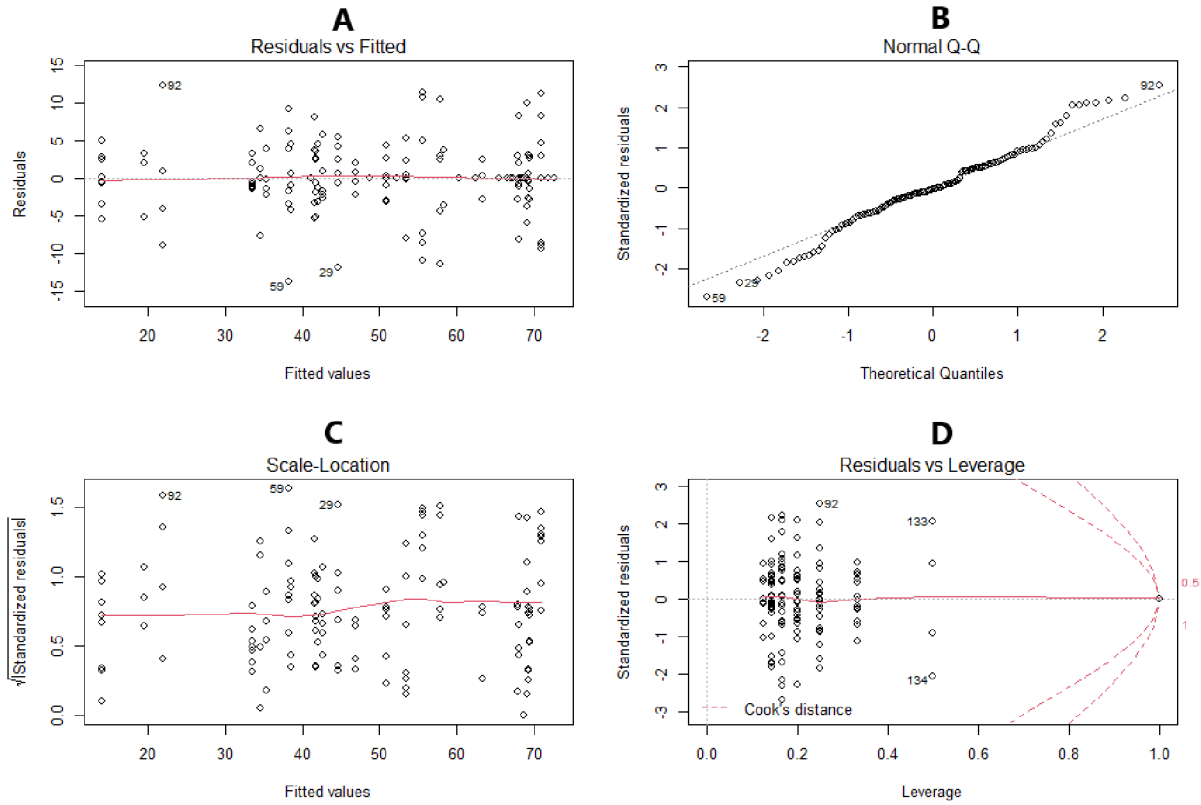


Z datového souboru byly odstraněny některé odlehlé hodnoty kvůli velmi vysokému množství lipidů nebo naopak velmi nízkému množství lipidů. Hodnoty z těchto vzorků velmi zkreslovaly rankitový graf standardizovaných reziduí. Dvě tyto hodnoty byly získány ze vzorků z řádu Lepidoptera, dvě z řádu Heteroptera a zařazena nebyla rovněž jedna hodnota ze vzorků z čeledi Tephritidae. Tyto vzorky vykazovaly velmi vysoký obsah lipidů.

Graf 2 znázorňují grafy reziduí dat týkající se proteinů. Rezidua mají poměrně homogenní rozptyl (Graf 2A). Rozdělení nevypadá výrazně nenormální (Graf 2B). Žádné porušení předpokladů se tedy neuvažuje.

Z datového souboru u proteinů byly také odstraněny některé hodnoty ze vzorků, které rankitový graf standardizovaných zkreslovaly. Dvě odstraněné hodnoty byly opět získány ze vzorků z řádu Lepidoptera. Dále jeden ze vzorků z řádu Hymenoptera a čeledi Tephritidae. Tyto vzorky vykazovaly velmi nízký obsah proteinů.

Graf 2. A. Závislost reziduí na predikovaných hodnotách. B. Rankitový graf standardizovaných reziduí. C. Závislost upravených standardizovaných reziduí na predikvaných hodnotách. D. Závislost standardizovaných reziduí na hodnotách



5 Výsledky

Data s informacemi o obsahu makroživin, tj. lipidů a proteinů, byly získány ze třiceti skupin hmyzu a sedmnácti skupin pavouků. U třech z těchto skupin vyšli záporné hodnoty jak u proteinů, tak u lipidů, a proto se s nimi nemohlo dále pracovat. Záporné hodnoty konkrétně vyšli u much (*Musca*), pilatek (*Nematus*) a škvorů (Dermaptera). Výsledné hodnoty proteinů a lipidů jsou brány jako procentuální obsah v sušině.

Tabulka 5. Výsledné hodnoty proteinů a lipidů v tělech hmyzu

Latinský název	**Český název**	**Taxonomická jednotka**	**Stadium**	**Proteiny v sušině %**	**Lipidy v sušině %**
Aelia acuminata	Kněžnice kuželovitá	druh	dospělec	41,15	18,49
Alticini	Dřepčíci	tribus	dospělec	33,49	35,6
Anthonomus	Květopas	rod	dospělec	19,53	21,57
Apidae	Včelovití	čeleď	dospělec	46,90	10,63
Cantharidae	Páteříčkovití	čeleď	dospělec	67,40	18,48
Cicadellidae	Křískovití	čeleď	dospělec	44,62	19,33
Coccinellidae	Slunéčkovití	čeleď	dospělec	41,75	41,59
Culicidae	Komárovití	čeleď	dospělec	70,9	8,5
Diptera	Dvoukřídlí	řád	dospělec	63,33	13,83
Elateridae	Kovaříkovití	čeleď	dospělec	50,85	9,02
Formicidae	Mravencovití	čeleď	dospělec	42,12	15,24
Heteroptera	Ploštice	řád	dospělec	21,98	29,33
Hymenoptera	Blanokřídlí	řád	larva	51,16	26,81
Chironomidae	Pakomárovití	čeleď	dospělec	68,6	6,4
Ichneumonoidea	Lumkovití	čeleď	dospělec	33,88	14,49
Lepidoptera	Motýli	řád	larva	48,60	35,12
Lygus cf. rugulipennis	Klopuška chlupatá	druh	dospělec	38,60	32,10
Megaloceroea cf. recticornis	Klopuška trnonohá	druh	dospělec	57,82	24,4
Meligethes	Blýskáčci	rod	dospělec	42,64	18,43
Nabis cf. pseudoferus	Lovčice běžná	druh	dospělec	30,69	27,59
Tephritidae	Vrtulovití	čeleď	dospělec	47,62	31,9
Tephritidae	Vrtulovití	čeleď	dospělec	62,13	8,38
Sitona	Listopas	rod	dospělec	14,11	27,61
Stenodema cf. leavigata	Klopuška stehnatá	druh	dospělec	41,62	25,02
Syrphidae	Pestřenkovití	čeleď	dospělec	61,9	8,0
Tettigoniidae	Kobylkovití	čeleď	dospělec	55,56	31,30
Tipulidae	Tiplicovití	čeleď	dospělec	68,3	10,2

Tabulka 5 znázorňuje odchycené druhy hmyzu. Ti jsou zařazeni do nejnižší možné taxonomické úrovně, a jejich stádium vývoje. Dále tabulky ukazují průměrné hodnoty obsahu makroživin v sušině.

U lipidů byla nejvyšší zjištěná hodnota zaznamenaná u čeledi slunéčkovitých (41,59 %). Nejnižší hodnota pak u čeledí komárovitých (8,5 %), pakomárovitých (6,4 %), tiplicovitých (10,2 %) a také u čeledi pestřenkovitých (8,0 %).

Nejvyšší zastoupení proteinů bylo zjištěno u čeledi komárovitých (70,9 %). Celkově byl obsah proteinů nejvyšší u druhů spadajících do podřádu dlouhorozí (Diptera: Nematocera), dále konkrétně u pakomárovitých (68,6 %) a tiplicovitých (68,3 %). Naopak nejnižší obsah proteinů byl zjištěn u listopasa (14,11 %) a květopasa (19, 53 %), kteří jsou řazeni do čeledi nosatcovitých (Coleoptera: Curculionidae).

Tabulka 6 znázorňuje odchycené druhy pavouků a jejich průměrné hodnoty obsahu makroživin v sušině.

Tabulka 6. Výsledné hodnoty proteinů a lipidů v tělech pavouků

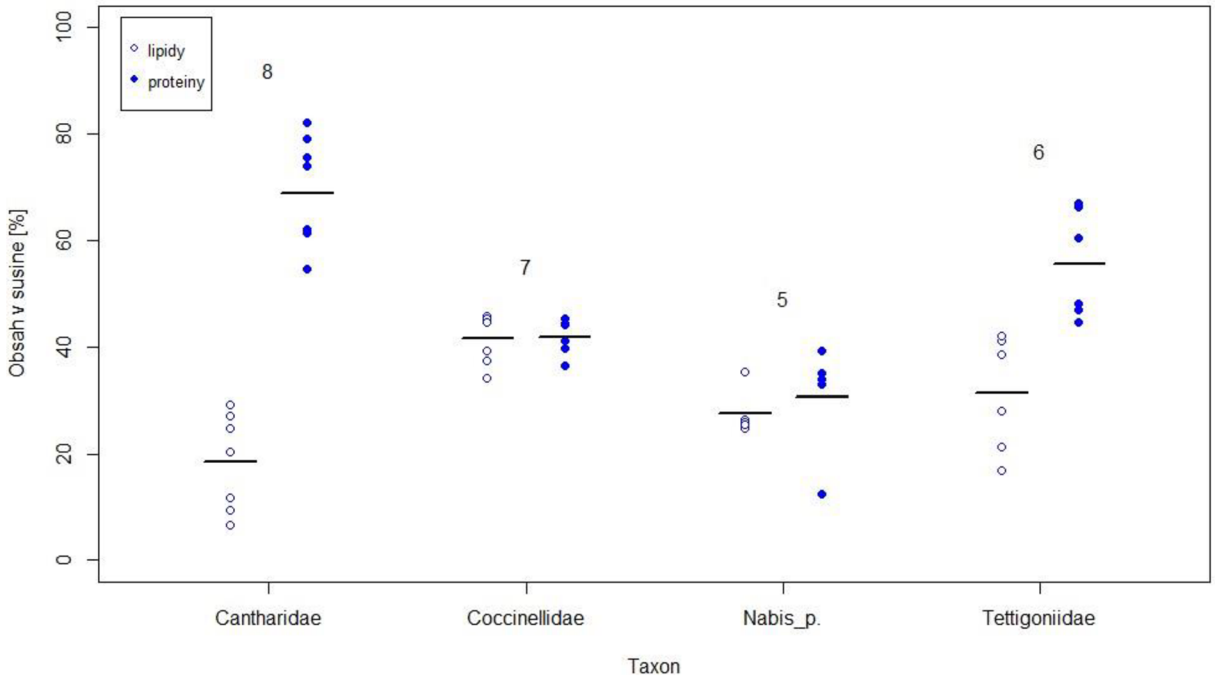
Latinský název	**Český název**	**Taxonomická jednotka**	**Stadium**	**Proteiny v sušině %**	**Lipidy v sušině %**
Anelosimus	Snovačka	rod	dospělec	71,9	13,5
Araniella	Křižák	rod	dospělec	53,5	27,9
Clubiona	Zápředník	rod	dospělec	50,9	17,7
Dictyna	Cedivečka	rod	dospělec	48,7	17,6
Ebrechtella	Běžník	rod	dospělec	72,6	18,4
Enoplognatha	Snovačka	rod	dospělec	68,05	20,5
Hypsosinga	Křižák	rod	dospělec	62,3	19,1
Mangora acalypha	Křižák luční	druh	dospělec	69,36	21,52
Pardosa	Slíďák	rod	dospělec	60,2	17,7
Philodromus	Listovník	rod	dospělec	65,5	19,5
Phylloneta impressa	Snovačka pečující	druh	dospělec	68,1	19,6
Pisaura mirabilis	Lovčík hajní	druh	dospělec	69,3	15,14
Salticidae	Skákavkovití	čeleď	dospělec	52,2	30,1
Synema	Běžník	rod	dospělec	66,9	14,9
Tetragnatha	Čelistnatka	rod	dospělec	67,3	9,1
Tibellus	Listovník	rod	dospělec	68	12,4
Xysticus	Běžník	rod	dospělec	65,53	18,53

Nejvyšší obsah lipidů byl zaznamenán u pavouka řazeného do čeledi skákavkovitých (30,1 %) a nejnižší u pavouka rodu *Tetragnatha* (9,1 %).

Největší obsah proteinů byl zjišten u pavouka rodu *Ebrechtella* (72,6 %) a nejmenší u pavouka rodu *Dyctina* (48,7 %). U pavouků byl obsah proteinů v těle celkově vyšší než u hmyzu. Výsledky také ukazují, že obsah proteinů v tělech hmyzu i pavoukovců je ve většině případech vyšší než obsah lipidů.

Graf 3 porovnává obsah makroživin v tělech masožravého hmyzu. Modré body znační proteiny, bílé lipidy. Každý jednotlivý bod znázorňuje jeden vzorek, z kterého byla nutriční analýza zhotovena. Hodnoty makroživin byly zprůměrovány. Průměry jsou v grafu zobrazeny vodorovnou čárou. Čísla nad nutričními hodnotami znázorňují počet vzorků. Na grafu je zřejmé, že obsah proteinů v sušině je u všech zástupců masožravého hmyzu vyšší než obsah lipidů. Nejvyšší obsah proteinů a zároveň nejnižší obsah lipidů v sušině je zaznamenaný u čeledi páreříčkovití (Cantharidae). Na grafu je dále vidět že u čeledi slunéčkovití (Coccinellidae) je obsah proteinů srovnatelný s obsahem lipidů v sušině.

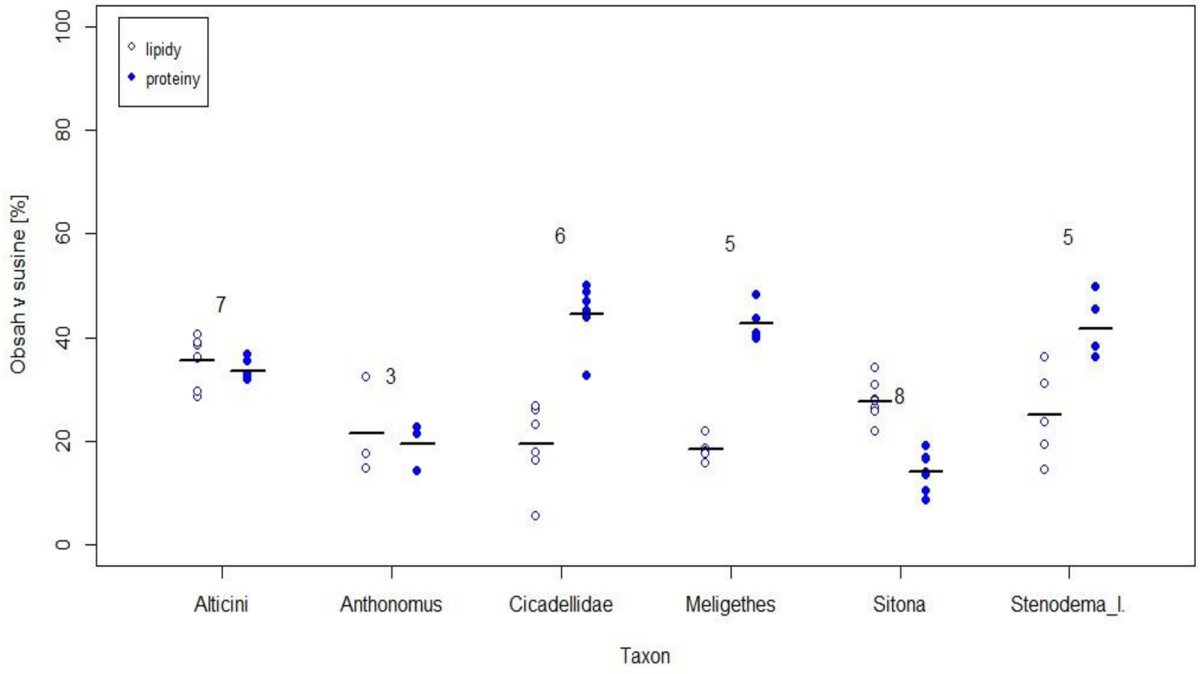
Graf 3. Obsah makroživin v tělech masožravého hmyzu



Graf 4 porovnává obsah makroživin v tělech býložravého hmyzu. Modré body v grafu znační proteiny, bílé lipidy. Každý jednotlivý bod znázorňuje jeden vzorek, z kterého byla nutriční analýza zhotovena. Hodnoty makroživin byly zprůměrovány. Průměry jsou v grafu zobrazeny vodorovnou čárou. Číslo nad nutričními hodnotami znázorňuje počet vzorků.

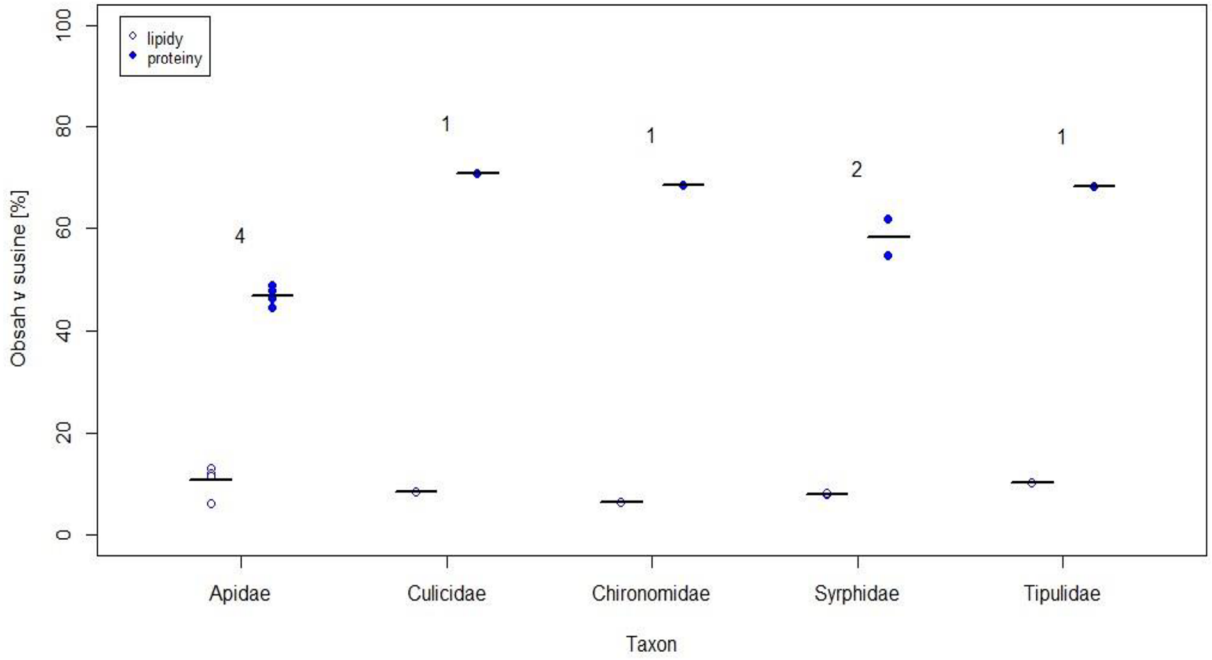
Z grafu je možno vidět, že u vzorků Alticini, *Anthonomus* a *Sitonia*, lipidy lehce převažují nad proteiny. Obsah lipidů ani proteinů v sušině u těchto zástupců býložravého hmyzu nepřekračuje více jak 50 %.

Graf 4. Obsah makroživin v tělech býložravého hmyzu



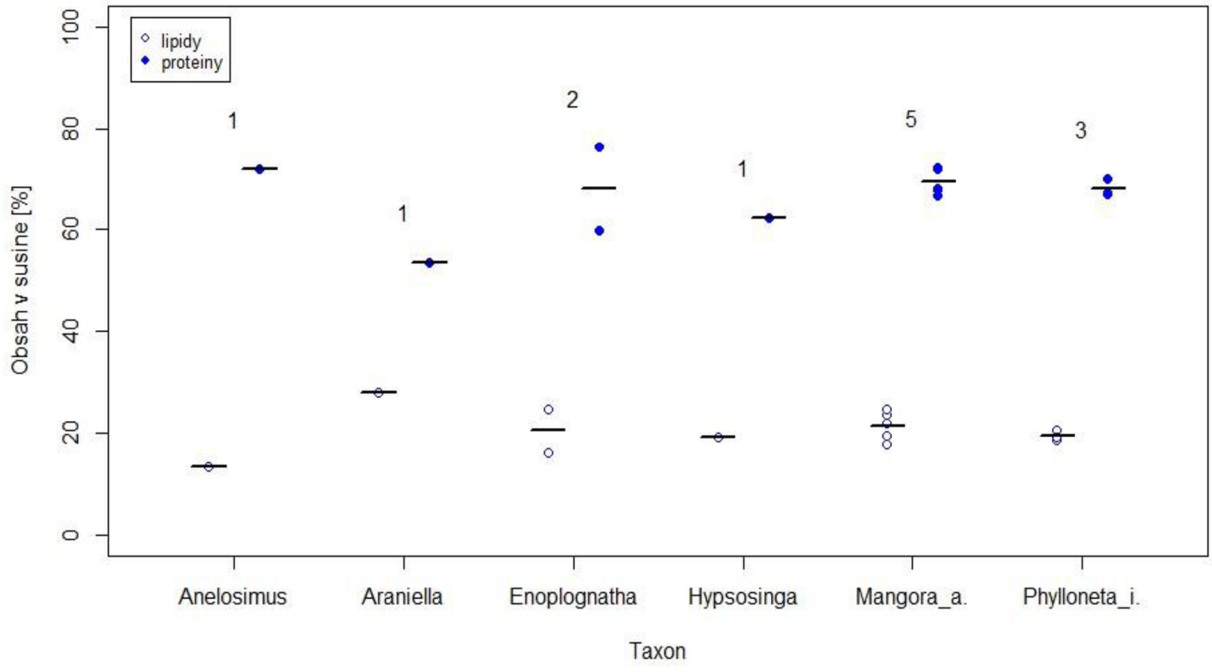
Graf 5 porovnává obsah makroživin v tělech opylovačů. Modré body v grafu znační proteiny, bílé lipidy. Každý jednotlivý bod znázorňuje jeden vzorek, z kterého byla nutriční analýza zhotovena. Hodnoty byly zprůměrovány. Průměry jsou v grafu zobrazeny vodorovnou čárou. Číslo nad nutričními hodnotami znázorňuje počet vzorků. Z toho tedy můžeme vidět, že u většiny opylovačů byl obsah makroživin získáván pouze z jednoho vzorku. Graf níže ukazuje, že obsah lipidů v tělech opylovačů je značně nižší než obsah proteinů a nepohybuje se ve vyšších hodnotách než 10 %.

Graf 5. Obsah makroživin v tělech opylovačů



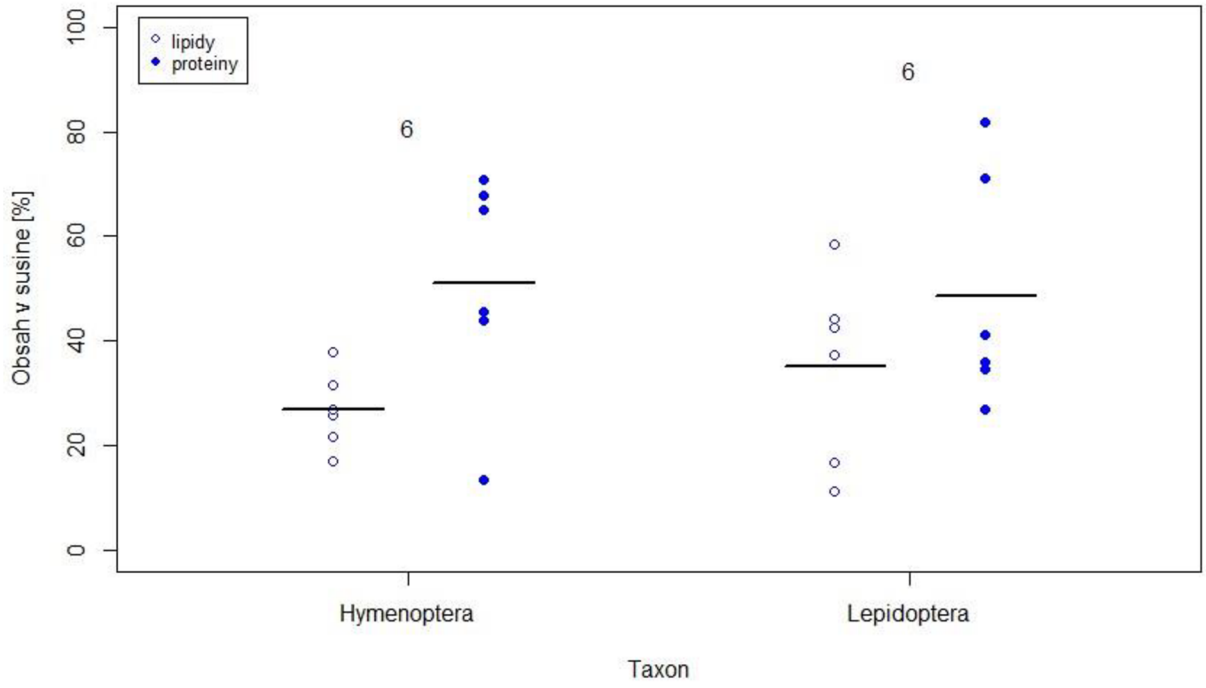
Graf 6 porovnává obsah makroživin v tělech vybraných pavouků. Modré body znační proteiny, bílé lipidy. Každý jednotlivý bod znázorňuje jeden vzorek, z kterého byla nutriční analýza zhotovena. Hodnoty byly zprůměrovány. Průměry jsou v grafu zobrazeny vodorovnou čárou. Číslo nad nutričními hodnotami znázorňuje počet vzorků. Z grafu je zřejmé, že obsah lipidů v sušině je značně nižší, něž obsah proteinů.

Graf 6. Obsah makroživin v tělech vybraných pavouků



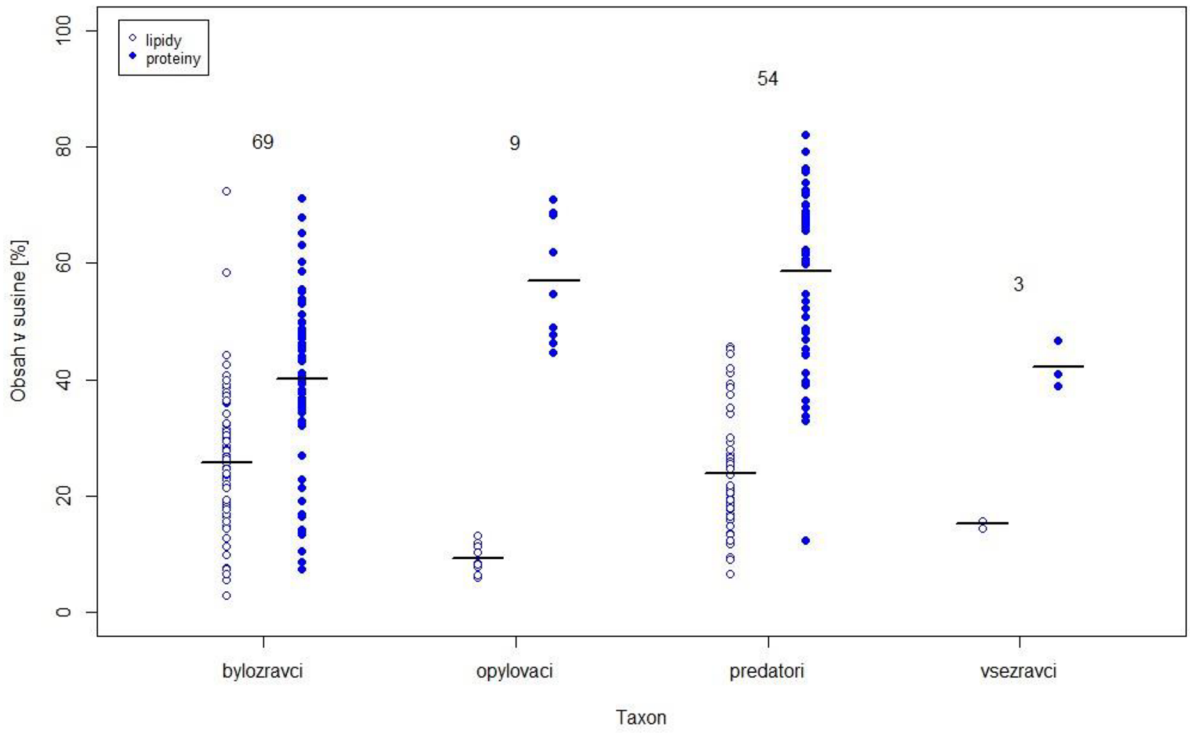
Graf 7 porovnává obsah makroživin zjištěných v tělech larev blanokřídlých (Hymenoptera) a larev motýlů (Lepidoptera). Modré body znační proteiny, bílé lipidy. Každý jednotlivý bod znázorňuje jeden vzorek, z kterého byla nutriční analýza zhotovena. Hodnoty byly zprůměrovány. Průměry jsou v grafu zobrazeny vodorovnou čárou. Číslo nad nutričními hodnotami znázorňuje počet vzorků. Přesto že mají hodnoty velký rozptyl, je z grafu zřejmé, že je obsah proteinů v sušině u larev blanokřídlých a larev motýlů vyšší než obsah lipidů.

Graf 7. Porovnání obsahu makroživin mezi larvami blanokřídlých (Hymenoptera) a larvami motýlů (Lepidoptera).



Graf 8 porovnává obsah makroživin u živočichů s rozdílnou potravní strategií, tedy mezi býložravým hmyzem, predátory, opylovači a všežravým hmyzem. Modré body znační proteiny, bílé lipidy. Každý jednotlivý bod znázorňuje jeden vzorek, z kterého byla nutriční analýza zhotovena. Hodnoty byly zprůměrovány. Průměry jsou v grafu zobrazeny vodorovnou čárou. Číslo nad nutričními hodnotami znázorňuje počet vzorků. Graf byl zhotoven z velkého množství vzorků, a tak mají hodnoty mezi sebou velký rozptyl. Přesto je z grafu zřejmé, že u živočichů s rozdílnou potravní strategií převyšuje obsah proteinů v tělech nad obsahem lipidů. Dále je vidět, že obsah proteinů je vyšší u predátorů nežli u býložravců.

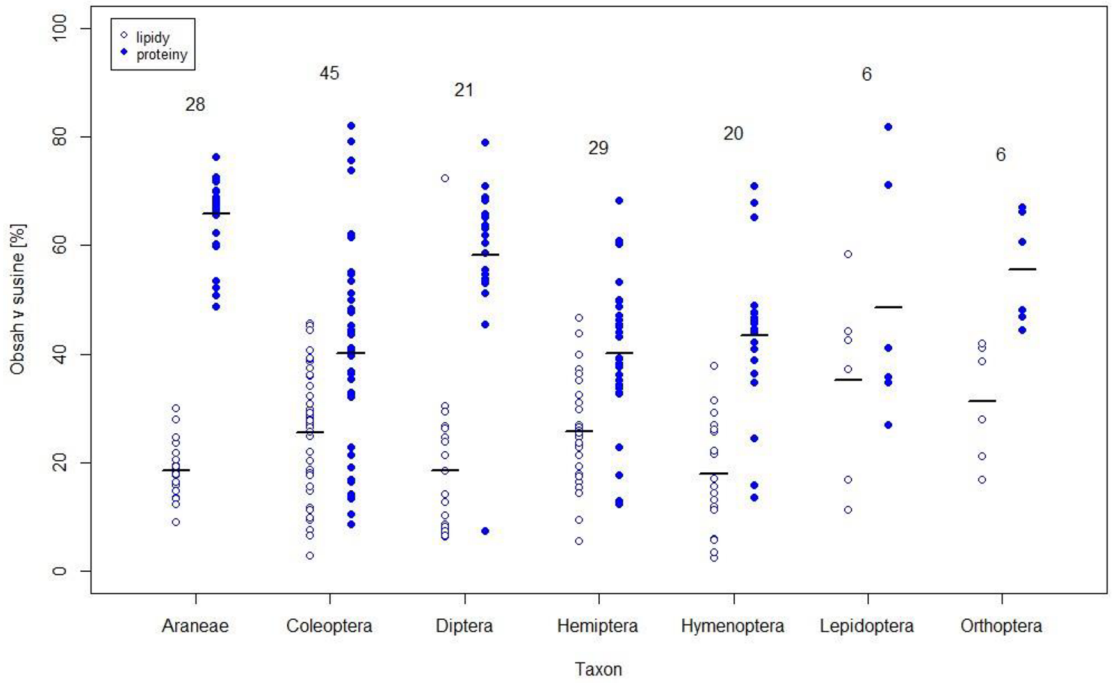
Graf 8. Porovnání obsahu makroživin mezi živočichy s rozdílnou potravní strategií.



Graf 9) porovnává obsah makroživin mezi několika řády bezobratlých živočichů. Modré body znační proteiny, bílé lipidy. Každý jednotlivý bod znázorňuje jeden vzorek, z kterého byla nutriční analýza zhotovena. Hodnoty byly zprůměrovány. Průměry jsou v grafu zobrazeny vodorovnou čárou. Číslo nad nutričními hodnotami znázorňuje počet vzorků.

Na grafu je vidět, že hodnoty mají velký rozptyl. To je způsobené velkým množstvím hodnot, které jsou v grafu zobrazeny. Přesto je zřejmé, že obsah proteinů opět převažuje nad obsahem lipidů.

Graf 9. Porovnání obsahu makroživin mezi živočichy spadající do různých taxonomických skupin



Podle tohoto grafu (Graf 9) se u řádu **Araneae** obsah lipidů pohybuje okolo 10-35 % a obsah proteinů okolo 45-75 %. U řádu **Coleoptera** se obsah lipidů pohybuje okolo 5-50 % a obsah proteinů okolo 10-82 %. U řádů **Diptera** se obsah lipidů pohybuje okolo 5-30 % a obsah proteinů okolo 50-80 %. U řádu **Hemiptera** se obsah lipidů pohybuje okolo 5-50 % a obsah proteinů okolo 15-65 %. U řádu **Hymenoptera** se obsah lipidů pohybuje okolo 5-40 % a obsah proteinů okolo 15-70 %. U řádu **Lepidoptera** se obsah lipidů pohybuje okolo 15-60 % a obsah proteinů okolo 30-85 % a u řádu **Orthoptera** se obsah lipidů pohybuje okolo 20-45 % a obsah proteinů okolo 45-70 %.

5.1 Statistická analýza

Statistická analýza se prováděla v RStudiu za pomocí metody ANOVA a Tukeyho post-hoc testu. V následujících tabulkách (Tabulka 7 – Tabulka 13) je jako „**Rozdíl**“ uváděn rozdíl mezi obsahem makroživin prvního z každé dvojice a obsahem makroživin druhého z dvojice. Plusové hodnoty tedy znázorňují že první z dvojic má více konkrétní makroživiny v sušině nežli druhý z dvojice. Mínusové hodnoty znázorňují, že první z dvojic má méně konkrétní makroživiny v sušin nežli druhý z dvojice.

Obsah lipidů se u těchto 19 dvojic hmyzu prokazatelně liší (ANOVA: $F_{26,97} = 4,96$, $p < 0,001$) (Tabulka 7).

Tabulka 7. Dvojice hmyzu prokazatelně se lišící v obsahu lipidů podle Tukeyho post-hoc testu.

Dvojice	Rozdíl	CI –	CI +	p
Apidae-Alticini	-24.97	-47.29	-2.65	0.01
Coccinellidae-Apidae	30.96	8.64	53.28	<0.0001
Coccinellidae-Cantharidae	23.11	4.07	42.14	0.003
Coccinellidae-Cicadellidae	22.26	2.45	42.07	0.01
Diptera-Coccinellidae	-27.76	-52.34	-3.19	0.01
Elateridae-Alticini	-26.57	-46.38	-6.76	0.0004
Elateridae-Coccinellidae	-32.56	-52.37	-12.75	<0.0001
Formicidae-Coccinellidae	-26.34	-50.91	-1.77	0.02
Ichneumonoidea-Alticini	-20.67	-40.48	-0.86	0.03
Ichneumonoidea-Coccinellidae	-26.66	-46.47	-6.85	<0.0001
Lepidoptera-Apidae	24.49	1.50	47.47	0.02
Lepidoptera-Elateridae	26.09	5.53	46.65	0.001
***Lygus r.*-Elateridae**	23.09	0.10	46.08	0.04
Meligethes-Coccinellidae	-23.15	-44.00	-2.30	0.01
Syrphidae-Coccinellidae	-33.58	-62.13	-5.02	0.005
Tettigoniidae-Elateridae	22.28	1.72	42.83	0.01
Tephritidae – Elateridae	22.87	3.64	42.11	0.004
Tephritidae – Alticini	-27.22	-49.54	-4.90	0.002
Tephritidae – Coccinellidae	-33.22	-55.54	-10.90	<0.0001

Obsah proteinů se prokazatelně liší u 36 dvojic hmyzu (ANOVA: $F_{26,100} = 9,34$, $p < 0,001$) (Tabulka 8).

Tabulka 8. Dvojice hmyzu prokazatelně se lišící v obsahu proteinů podle Tukeyho post-hoc testu.

Dvojice	Rozdíl	Cl-	Cl+	p
Cantharidae-Alticini	35.37	14.78	55.96	<0.0001
Diptera-Alticini	29.86	2.41	57.30	0.01
Megaloceroea r.-Alticini	24.32	1.03	47.61	0.02
Tephritidae – Alticini	32.01	8.72	55.30	0.0002
Cantharidae-Anthonomus	49.34	22.41	76.27	<0.0001
Culicidae-Anthonomus	51.35	5.42	97.28	0.01
Elateridae-Anthonomus	31.32	3.20	59.45	0.01
Hymenoptera-Anthonomus	31.63	3.50	59.75	0.01
Chironomidae-Anthonomus	49.08	3.15	95.01	0.02
Lepidoptera-Anthonomus	29.07	0.95	57.20	0.03
Megaloceroea r.-Anthonomus	38.29	9.24	67.34	<0.0001
Syrphidae-Anthonomus	38.75	2.44	75.06	0.02
Tettigoniidae-Anthonomus	36.03	7.91	64.16	0.001
Tipulidae-Anthonomus	48.81	2.88	94.74	0.02
Tephritidae – Anthonomus	28.09	1.16	55.02	0.03
Tephritidae – Anthonomus	45.98	16.93	75.02	<0.0001
Sitona-Apidae	-32.79	-57.15	-8.44	<0.0001
Cicadellidae-Cantharidae	-24.26	-45.74	-2.78	0.01
Coccinellidae-Cantharidae	-27.11	-47.69	-6.52	<0.0001

Lygus r.-Cantharidae	-30.26	-54.61	-5.90	0.002
Meligethes-Cantharidae	-26.22	-48.90	-3.55	0.007
Nabis p.-Cantharidae	-38.17	-60.84	-15.49	<0.0001
Heteroptera – Cantharidae	-46.91	-71.26	-22.55	<0.0001
Sitona-Cantharidae	-54.76	-74.64	-34.87	<0.0001
Stenodema l.-Cantharidae	-27.24	-49.92	-4.57	0.003
Tephritidae – Cantharidae	-21.24	-41.13	-1.36	0.02
Sitona-Cicadellidae	-30.49	-51.98	-9.01	0.0001
Sitona-Coccinellidae	-27.64	-48.23	-7.06	<0.0001
Tephritidae – Coccinellidae	23.75	0.46	47.04	0.03
Heteroptera – Culicidae	-48.92	-93.39	-4.45	0.01
Sitona-Culicidae	-56.77	-98.95	-14.58	<0.0001
Ploštice-Elateridae	-28.89	-54.57	-3.22	0.01
Sitona-Elateridae	-36.74	-58.22	-15.26	<0.0001
Sitona-Formicidae	-28.01	-54.94	-1.08	0.03
Heteroptera – Hymenoptera	-29.20	-54.87	-3.52	0.009
Sitona-Hymenoptera	-37.05	-58.53	-15.57	<0.0001

Obsah lipidů se u těchto šesti dvojic pavouků průkazně liší (ANOVA: $F_{16,11} = 4,49$, $p < 0.001$) (Tabulka 9).

Tabulka 9. Dvojice pavouků prokazatelně se lišící v obsahu lipidů podle Tukeyho post-hoc testu.

Dvojice	**Rozdíl**	**Cl-**	**Cl**	**p**
Pisaura mirabilis-Araniella	-1.27	-25.34	-0.17	0.04
Salticidae-Anelosimus	1.66	0.35	32.84	0.04
Salticidae-Pisaura mirabilis	1.49	2.37	27.54	0.01
Tetragnatha-Araniella	-1.88	-35.04	-2.55	0.01
Tetragnatha-Salticidae	-2.10	-37.24	-4.75	0.008
Tibellus-Salticidae	-1.77	-33.94	-1.45	0.02

Rozdíl v obsahu proteinů byl statisticky průkazný pouze u dvou dvojic pavouků (ANOVA: $F_{16,11} = 4,24$, $p < 0.009$). V tabulce 10 můžeme vidět, že *Mangora acalypha* i *Pisaura mirabilis* obsahovali více proteinů nežli pavouk rodu *Dictyna.*

Tabulka 10. Dvojice pavouků prokazatelně se lišící v obsahu proteinů podle Tukeyho post-hoc testu

Dvojice	**Rozdíl**	**Cl-**	**Cl**	**p**
Mangora acalypha-Dictyna	20.66	1.20	40.11	0.03
Pisaura mirabilis-Dictyna	20.60	1.14	40.05	0.03

Podle statistické analýzy a Tukeyho testu byl rozdíl v obsahu lipidů v tělech bezobratlých živočichů prokázán mezi dvěma skupinami živočichů s rozdílnou potravní strategií (ANOVA: $F_{3,135} = 6,16$, $p < 0.0001$). Statistická analýza se prováděla jak z dat získaných z hmyzu, tak z pavouků. Rozdíl v obsahu lipidů v sušině byl prokázán mezi opylovači a býložravým hmyzem, přičemž opylovači obsahují méně lipidů v těle než býložravý

hmyz. Další dvojice, u které se obsah lipidů v sušině liší, jsou predátoři a opylovači. Rozdíl je v kladných hodnotách, to znamená, že predátoři v tělech mají více lipidů než opylovači.

Tabulka 11. Rozdíl v obsahu lipidů mezi skupinami živočichů s různou potravní strategií podle Tukeyho post-hoc testu

Dvojice	Rozdíl	Cl-	Cl	p
Opylovači-býložravci	-15.72	-25.72	-5.72	<0.0001
Predátoři-opylovači	14.57	4.36	24.79	0.001

Podle statistické analýzy a Tukeyho testu byl prokázán rozdíl v obsahu proteinů v těle, pouze mezi predátory a býložravým hmyzem (ANOVA: $F_{3,137} = 11,85$, $p < 0.0001$). Statistická analýza se prováděla jak z dat získaných z hmyzu, tak z pavouků. Pozitivní hodnota rozdílu ukazuje, že predátoři měli celkový obsah proteinů v tělech vyšší než býložravý hmyz (Tabulka 12).

Tabulka 12. Rozdíl v obsahu proteinů mezi skupinami živočichů s různou potravní strategií podle Tukeyho post-hoc testu.

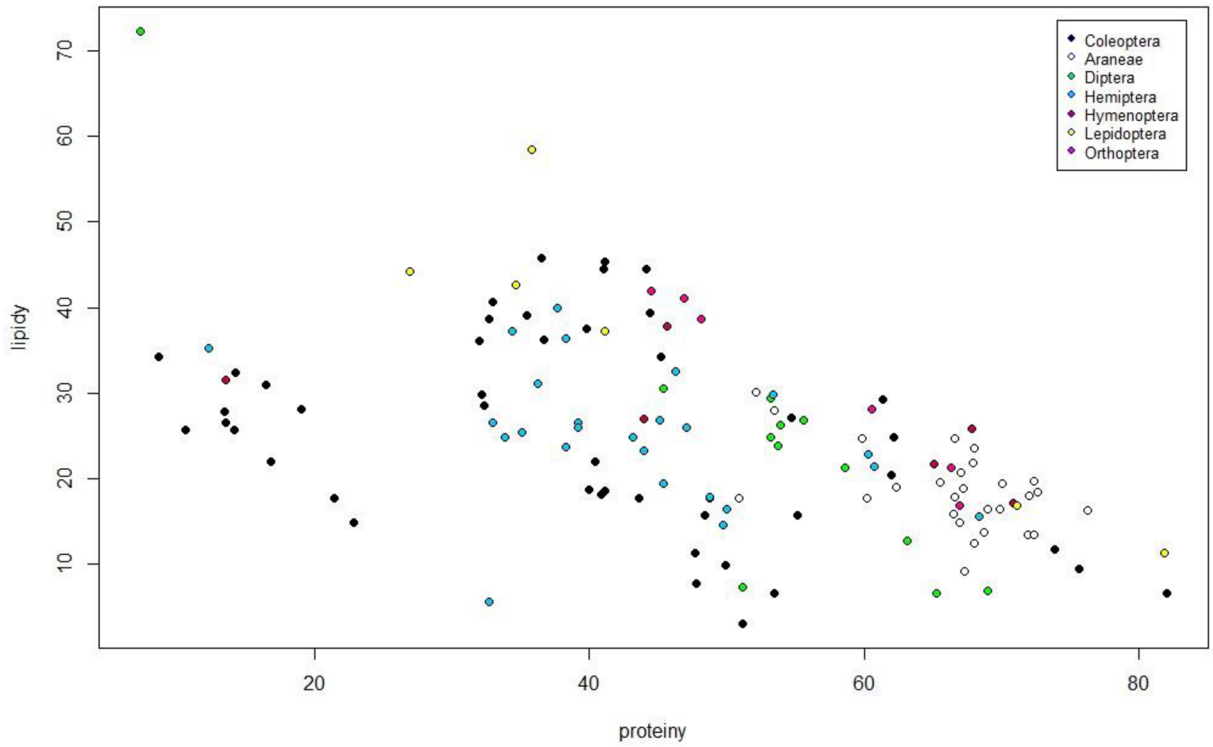
Dvojice	Rozdíl	Cl-	Cl	p
Predátoři-býložravci	16.14	8.83	23.46	<0,0001

Podle statistického testu analýzy rozptylu (ANOVA), byl prokázán rozdíl obsahu lipidů mezi živočichy s různě sklerotizovaným tělem (ANOVA: $F_{1,146} = 7,4$, $p < 0,007$), přičemž živočichové s více sklerotizovaným tělem obsahují více lipidů. U proteinů byl významný rozdíl prokázán také (ANOVA: $F_{1,149} = 37,93$, $p < 0,0001$), větší obsah proteinů byl ale v tělech méně sklerotizovaných bezobratlých. Statistická analýza se prováděla jak z dat získaných z hmyzu, tak z pavouků.

Dále byl proveden korelační test mezi lipidy a proteiny (Cor. Test: $t = -6.67$, $df = 137$, $p < 0,0001$). Vyšla negativní korelace (cor -0.49). To znamená, že čím vyšší obsah proteinů mají členovci v těle, tím mají naopak menší obsah lipidů v těle.

Graf 10 znázorňuje korelaci mezi proteiny a lipidy v tělech hmyzu a pavouků. Černé body značí hodnoty makroživin v sušině živočichů spadající do řádu Coleoptera, bílé body řád Araneae, zelené body řád Diptera, modré body řád Hemiptera, červené body řád Hymenoptera, žluté body řád Lepidoptera a růžové body řád Orthoptera.

Graf 10. Korelace lipidů a proteinů u hmyzu a pavouků



6 Diskuse

V rámci experimentu byl zjištěn obsah makroživin u 44 taxonomických skupin hmyzu (Tabulka 5) a pavoukovců (Tabulka 6). Výsledky podporují hypotézu, která předpokládala, že obsah makroživin, konkrétně lipidů a proteinů, se mezi některými skupinami bezobratlých živočichů průkazně odlišuje. Rozdíly byly potvrzeny jak mezi několika konkrétními taxony (Tabulka 7 až Tabulka 10), tak mezi živočichy s rozdílnou potravní strategií (Tabulka 11 až Tabulka 12) a různou sklerotizací těla. Zjištěné hodnoty tedy ukazují, že mezi obsahem makroživin v tělech hmyzu a predátorů jsou průkazné rozdíly, což ve své práci potvrzuje i van Huis (2015), a predátoři si tedy tím, jaký typ potravy pozřou, mohou vyvažovat svůj příjem esenciálních živin (Jensen *et al*., 2012). To může mít následně velký vliv na jejich růst, přežití a reprodukci. Někteří predátoři tak budou regulovat svou stravu, aby vyvážili příjem lipidů a bílkovin (Jensen *et al*., 2011).

Nejprve byl proveden výpočet lipidů a proteinů u každé taxonomické skupiny zvlášť. Nejvyšší obsah proteinů v těle byl zjištěn u pavouků (Tabulka 6). Především u pavouků rodu *Ebrechtella* (72,6 %), dále u pavouků rodu *Anelosimus* (71,9 %) a u křižáka lučního (*Mangora acalypha*) (69,36 %). Celkově byl obsah proteinů v tělech pavouků ve většině případů vyšší než 60 %. Naopak lipidy se u pavouků vyskytovaly v nižších koncentracích v rozmezí od 10 % do 35 % (Graf 9). Tyto výsledky jsou v souladu s literaturou, jelikož ze studie Wildera (2013) vyplývá, že na vyšších trofických úrovních predátoři postupně přijímají a asimilují méně lipidů a naopak více proteinů, než živočichové na nižších trofických úrovních. Vizuálně to dokládá Graf 8, který porovnává obsah makroživin u živočichů s rozdílnou potravní strategií. Na tomto grafu je zřejmé, že průměrná hodnota obsahu proteinů v sušině predátorů je vyšší než u býložravého hmyzu, opylovačů a všežravého hmyzu. Dále díky statistické analýze (Tabulka 12), ze které je průkazné, že predátoři obsahují více proteinů než býložravý hmyz. Predátoři jsou tedy přizpůsobeni stravě bohaté na bílkoviny (Jensen, 2011). Naopak nejnižší obsah proteinů byl zjištěn u listopasa (14,11 %) a květopasa (19,53 %), kteří jsou řazeni do čeledi nosatcovitých (Coleoptera: Curculionidae) (Tabulka 5). Oba tito brouci se řadí mezi býložravý hmyz, který má všeobecně méně proteinů v těle nežli predátoři (Simpson, *et al.* 2015). To je opět zřejmé i z našich výsledků, kdy na grafu (Graf 8) můžeme vidět, že průměrný procentuální obsah živin v sušině je u býložravého hmyzu nejnižší.

Velmi vysoké hodnoty proteinů (68,3 %-70,9 %), a naopak velmi nízké hodnoty lipidů (6,4 %-10,2 %) byly zjištěny také u podřádu dlouhorozí (Diptera: Nematocera) (Tabulka 5).

Přesto že se tito zástupci řadí mezi opylovače, hodnoty živin v jejich těle připomínají spíše hodnoty v tělech predátorů.

Co se týče lipidů, ty by se měly nacházet ve vyšších koncentracích na nižších trofických úrovních (Jensen, *et al.* 2012 Simpson; *et al.* 2015). Naše výsledky ale ukazují, že průměrný procentuální obsah lipidů v sušině je porovnatelný mezi býložravým hmyzem a predátory (Graf 8). Podle statistické analýzy byl dokonce průkazný rozdíl v obsahu lipidů mezi predátory a opylovači (Tabulka 12), přičemž predátoři měli v tělech obsah lipidů vyšší nežli právě opylovači, kteří jsou zástupci spíše nižších trofických úrovních. U brouků z čeledi Coccinellidae, kteří se řadí mezi predátory, byl dokonce naměřen nejvyšších obsah lipidů v těle ze všech zkoumaných jedinců (41,59 %).

Pokud srovnáme rozmezí obsahu makroživin v tělech hmyzu (Graf 9) s literaturou (Rumpold, 2003) (Tabulka 2) uvidíme, že obsah proteinů v tělech vybraných živočichů se nám s literaturou shoduje, zatímco u lipidů jsou některé hodnoty u jednotlivých řádů o něco vyšší, nebo naopak nižší. U jedinců z řádu Orthoptera byl obsah lipidů v některých případech nižší až o 22 % oproti tomu, co tvrdí ve své práci Rumpold (2003). To může být způsobeno i tím, že při analýze živin byla v několika případech spolu s tekutinou odsáta i malá část těla zkoumaného jedince. Přesto, že tyto nasáté části těla byly velmi malých rozměrů, vzhledem k celkové velikosti těla a obsahu živin mohly být důležitým faktorem pro případné zkreslení výsledků. Dalším faktorem, díky kterému mohly výsledná data vyjít nepřesně, je nedostatečně dlouhá doba vzorků ve chloroformu, a tedy nedostatečné štěpení lipidů.

Jelikož není mnoho literatury, která by se zabývala přesným obsahem makroživin v tělech pavoukovců, je těžké výsledky naší práce srovnávat s jinými výsledky. Studie zaměřená na obsah makroživin v tělech hmyzu se zabývají spíše hmyzem, který je konzumovatelný pro člověka. Nejčastěji je to potemník moučný, nebo různé druhy cvrčků, kteří se v naší práci nevyskytují.

Dále by bylo přínosné v práci pokračovat a zaměřit se na obsah makroživin u hmyzu napříč ročnímu období, nebo se více zaměřit na různá vývojová stádia, jelikož se nám v této práci nepovedlo nachytat velké množství živočichů s rozdílným stádiem vývoje.

7 Závěr

Díky experimentu, který spočíval v gravimetrickém neboli nepřímém měření obsahu živin, byla potvrzena doměnka, že hmyz, tedy potenciální kořist pro predátory se v obsahu makroživin významě odlišuje. Rozdíl byl prokázán mezi druhy, mezi skupinami živočichů s rozdílnou potravní strategií a různou sklerotizací těla. Tyto výsledky ukazují, že pro predátory je výběr kořisti důležitý, pro dosažení potřebného „cílového příjmu“ makroživin. V ideálních podmínkách si tedy predátor bude svou kořist vybírat podle aktuální potřeby esenciálních živin.

Především bylo prokázáno, že obsah proteinů v tělech hmyzu i pavouků je větší než obsah lipidů. A také že predátoři mají všeobecně vyšší obsah proteinů v těle nežli býložravý hmyz.

Přínosem této práce je zjištění makroživin u širokého spektra hmyzu a pavouků. V dostupné literatuře jsou především informací o přesných hodnotách makroživin v tělech jedlého hmyzu. Naše práce ale přináší přesné hodnoty obsahu makroživin v tělech běžného hmyzu a pavouků vyskytujících se v agroekosystémech.

8 Literatura

AGOSTA S. J., 2006: On ecological fitting, plant-insect associations, herbivore host shifts, and host plant selection. FORUM: 556-565

AKTINSON C. L., ENCALADA A. C., RUGENSKI A. T., THOMAS S. A., LANDERIA-DABARCA A., POFF N. L. & FLECKER A. S., 2018: Determinants of food resource assimilation by stream insects along a tropical elevation gradient. Oecologia (187): 731–744

BEARHOP S., ADAMS C. E., S. WALDRON R. A., FULLER & MACLEOD H., 2004: Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. Journal of Animal Ecology (73): 1007–1012

BENNETT P. M. & HOBSON K. A., 2009: Trophic structure of a boreal forest arthropod community revealed by stable isotope ($d^{13}C$, $d^{15}N$) analyses. Entomological Science (12): 17-24

BIANCHI F. J. J. A., BOOIJ C. J. H. a TSCHARNTKE T., 2006: Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. Proc. The Royal Society B. (273): 1715–1727

BIRKHOFER K., BYLUND H., DALIN P., FERLIAN O., GAGIC V., HAMBACK P. A., KLAPWIJK M., MESTRE L., RAUBIENT E., STANBERG J. A., PORCEL M., BJORKMAN CH. & JONSSON M., 2017: Methods to identify the prey of invertebrate predators in terrestrial field studies. Ecology and Evolution (7): 1942–1953

BOHÁČ J., 2013: Biologie ochrany přírody pro agroekology. České Budějovice, Skripta. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta.

BOHÁČ J., MOUDRÝ J. & DESETOVÁ L., 2007: Biodiverzita a zemědělství. Biodiversity and Agriculture 41: 24–29

BOWSER A. K., DIAMOND A. W. & ADDISON J. A., 2013: From Puffins to Plankton: A DNA-Based Analysis of a Seabird Food Chain in the Northern Gulf of Maine. Plos One (8): e83152

BRITANNICA, 2021: The Editors of Encyclopaedia. "invertebrate". Encyclopedia Britannica, (online) [cit. 2.1.2022], dostupné z <https://www.britannica.com/animal/invertebrate>

CLISSOLD F. J., SANSON G. D. & READ J., 2006: The paradoxical effects of nutrient ratios and supply rates on an outbreaking insect herbivore, the Australian plague locust. Journal of Animal Ecology (75): 1000–1013

DEWAR A. M., MAY M. J., HAYLOCK L. A., CHAMPION G. T., GARNER B. H., SANDS R. J. N., QI A. & PIDGEON J. D., 2003: A novel approach to the use of genetically modified herbicide tolerant crops for environmental benefit. The Royal Society B (270): 335–340

DIAMOND S. E. a KINGSOLVER J. G., 2010: Environmental Dependence of Thermal Reaction Norms: Host Plant Quality Can Reverse the Temperature-Size Rule. The American naturalist (175): 1-10

DUYCK P. F., LAVIGNE A., VINATIER F., ACHARD R., OKOLLE J. N. & TIXIER P., 2011: Addition of a new resource in agroecosystems: Do cover crops alter the trophic positions of generalist predators? Basic and Applied Ecology (12): 47–55

FENG Q., WEN L., MA J., YU L., LI CH. & JIAO X., 2022: The effects of prey lipid on female mating and reproduction of a wolf spider. Current Zoology: 1-8

GHOSH S., SOHN H. Y., PYO S. J., JENSEN A. B., MEYER-ROCHOW V. B. & JUNG CH., 2020: Nutritional Composition of Apis mellifera Drones from Korea and Denmark as a Potential Sustainable Alternative Food Source: Comparison Between Developmental Stages. Foods (9): 1-21

GONÇALVES J., 2021: An overview of lipids from insects. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 33

GREENOP A., WOODCOCK B. A., WILBY A., COOK S. M. & PYWELL R. F., 2018: Functional diversity positively affects prey suppression by invertebrate predators: a meta-analysis. Ecology 99: 1771–1782

GRIFFIN J. N., BYRNES J. E. K. a CARDINALE B. J., 2013: Effects of predator richness on prey suppression: a meta-analysis. Ecology (94): 2180–2187

HARWOOD J., HARWOOD D., PHILLIPS S.W., LELLO J., SUNDERLAND K. D, GLEN D. M., BRUFORD M. W., HARPER G. L. & SYMONDSON W. O. C., 2009: Invertebrate biodiversity affects predator fitness and hence potential to control pests in crops. Biological Control 51: 499–506

JENSEN K., MAYNTZ D., TOFT S., CLISSOLD F. J., HUNT J., RAUBENHEIMER D. R. & SIMPSON S. J., 2012: Optimal foraging for specific nutrients in predatory beetles. The Royal Society (279): 2212–2218

JENSEN K., MAYNTZ D., TOFT S., RAUBENHEIMER D. & SIMPSON S. J., 2011: Nutrient regulation in a predator, the wolf spider Pardosa prativaga. Animal Behaviour 8: 993-999

JUEN A. & TRAUGOTT M., 2005: Detecting predation and scavenging by DNA gut-content analysis: a case study using a soil insect predator-prey systém. Oecologia (142): 344-352

LANCASTER J., DOBSON M., MAGANA A. M., ARNOLD A. & MATHOOKO J. M., 2008: An unusual trophic subsidy and species dominance in a tropical stream. Ecology (89): 2325–2334

LECOMTE N., EHRICH D., IMS R. A. & YOCCOZ N. G., 2009: Toward understanding the effect of top predators on ecosystems. F1000 Biology Reports (1): 26-30

LEE K. P., 2007: The interactive effects of protein quality and macronutrient imbalance on nutrient balancing in an insect herbivore. The Journal of Experimental Biology (210): 3236-3244

LÍZNAROVÁ E., SENTENSKÁ L., GARCÍA L. F, PEKÁR S. & VIERA C., 2013: Local trophic specialisation in a cosmopolitan spider (Araneae). Zoology (116): 20-26

MACFADYEN S., GIPSON R., POLASZEK A., MORRIS R. J., CRAZE P. G., PLANQUÉ R., SYMONDSON W. O. C. & MEMMOTT J., 2009: Do differences in food web structure between organic and conventional farms affect the ecosystem service of pest control? Ecology Letters (12): 229–238

MACHOVSKY-CAPUSKA G. E., COOGAN S. C. P., SIMPSON S. J. & RAUBENHEIMER D., 2016: Motive for Killing: What Drives Prey Choice in Wild Predators? Ecology. 2016, (122): 1-9

MACHOVSKY-CAPUSKA G. E. & RAUBENHEIMER D., 2006: The Nutritional Ecology of Marine Apex Predators. Annual Review of Marine Science (12): 361–387

MACHOVSKY-CAPUSKA G. E., SENOIR A. M., SIMPSON S. J. & RAUBENHEIMER D., 2016: The Multidimensional Nutritional Niche. Trends in Ecology & Evolution: 1-11

MAYNTZ, D., NIELSEN V. H., SORENSON A., RAUBENHEIMER D., HEJLESEN C. & SIMPSON S. J., 2009: Balancing of protein and lipid intake by a mammalian carnivore, the mink, Mustela vison. Animal Behaviour (77): 349–355

MAYNTZ D. & TOFT S., 2006: Lackwell Publishing Ltd Nutritional value of cannibalism and the role of starvation and nutrient imbalance for cannibalistic tendencies in a generalist predator. Journal of Animal Ecology (75): 288–297

McMEANS B. C., KADOYA T., POOL T. K., HOLTGRIEVE G. W., LEK S., KONG H., WINEMILLER K., ELLIOTT V., ROONEY N., LAFFAILLE P., McCANN K. S., 2019: Consumer trophic positions respond variably to seasonally fluctuating environments. Ecology (100): e02570

MEYER-ROCHOW V. B., GAHUKAR R. T., GHOSH S. & JUNG CH., 2021: Chemical Composition, Nutrient Quality and Acceptability of Edible Insects Are Affected by Species, Developmental Stage, Gender, Diet, and Processing Method. Foods (10): 2-26

MICHALKO R., PEKÁR S. & ENTLING M. H., 2019: An updated perspective on spiders as generalist predators in biological control. Oecologia 189: 21–36

MORSE D. H. 1980: Behavior mechanisms in ekology. Harvard University Press. 392 s.

NGO H. M. & MORITAKA M., 2021: Consumer Attitudes and Acceptance of Insects as Food and Feed: A Review. J. Fac. Agr., Kyushu Univ 66: 259–266

NYLIN S. & JANZ N., 2009: Butterfly host plant range: an example of plasticity as a promoter of speciation? Evol Ecol (23): 137–146

OONINCX D. G. A. B. & DE BOER I. J. M., 2012: Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans – a life cycle assessment. Plos One (7): e51145.

ORKUSZ A., 2021: Edible Insects versus Meat. Nutritional Comparison: Knowledge of Their Composition Is the Key to Good Health – Nutrients (13): 1207-1223. OSSIS, 2009. ISBN 978-80-86659-17-6.

PEKÁR, S. & BRABEC M., 2020: Moderní analýza biologických dat: Zobecněné lineární modely v prostředí R 1. díl. Masarykova universita, Brno, 278 s.

PEKÁR S., MAYNTZ D., RIBERIO T. & HERBERSTEIN M. E., 2010: Specialist ant-eating spiders selectively feed on different body parts to balance nutrient intake. Animal Behaviour (79): 1301-1306

PEKÁR S. & MAYNTZ D., 2014: Comparative analysis of the macronutrient content of Central European ants (Formicidae): Implications for ant-eating predators. Journal of Insect Physiology (62): 32-38

PEKÁR S. & TOFT S., 2015: Trophic specialisation in a predatory group: the case of prey-specialised spiders (Araneae). Biological rewiews (90): 744–761

PINEDA-MUNOZ S. & ALROY J., 2014: Dietary characterization of terrestrial mammals. Proceedings of the Rolay Society B (281): 1-7

PINOL J., ANDRÉS V. S, CLARE E. L., MIR G. & SYMONDSON W. O. C., 2014: A pragmatic approach to the analysis of diets of generalist predators: the use of next-generation sequencing with no blocking probes. Molecular Ecology Resources (14): 18-26

POLECHOVÁ J. & STORCH D., 2008: Ecological Niche, Evolutionary Ecology. Encyclopedia of Ecology (5): 1088-1097

RAUBENHEIMER D., MACHOVSKY-CAPUSKA G., FELTON A. M. & SIMPSON S. J., 2014: Nutritional Geometry: From Insects to Ruminants. Australian Society of Animal Production (30): 32-36

RAUBENHEIMER D. & SIMPSON S. J., 1993: The geometry of compensatory feeding in the locust. Animal Behaviour (45): 953-964

RAUBENHEIMER D. & SIMPSON S. J., 1998: Nutrient transfer functions: the site of integration between feeding behaviour and nutritional physiology. Chemoecology (8): 61-68

RAUBENHEIMER D. & SIMPSON S. J., 2018: Nutritional ekology and foraging theory. Current Opinion in Insect Science (27): 28-45

RIECHERT S. E. & LOCKLEY T., 1984: Spiders as biological control agents. Annual Review of Entomology 29: 299–320

RUMPOLD B. & SCHLUTER O., 2013: Nutritional composition and safety aspects of edible insects. Mol. Nutr. Food. Res. (5): 802-23.

SÃLOMAO R. P., GONZÁLEZ-TOKMAN D., DÁTTILO W., LÓPEZ-ACOSTA J. C. & FAVILA M. E., 2018: Landscape structure and composition define the body condition of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in a fragmented tropical rainforest. Ecological Indicators (88): 144–151

SASKA P., SKUHROVEC J., FOFFOVÁ H. a ŘEZÁČ M. 2020: Ekosystémové služby poskytované bezobratlými v zemědělství. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha, 44 s.

SHAREEFI E. A. & COTTER S. C., 2019: The nutritional ecology of maturation in a carnivorous insect. Behavioral Ecology (30): 256-266

SCHMIDT M. H., LAUER A., PURTAUF T., THIES C., SCHAEFER M. & TSCHARNTKE T., 2003: Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. The Royal Society 270: 1905–1909

SCHMIDT J. M., SEBASTIAN P., WILDER S. M & RYPSTRA A. L., 2012: The Nutritional Content of Prey Affects the Foraging of a Generalist Arthropod Predator. Plos One 7 (11): e49223.

SCHOONHOVEN L. M., VAN LOON J. A. & DICKE M., 2005: Insect – Plant Biology. Oxford University Press, New York, 440 s.

SIMPSON S. J., CLISSOLD F. J., LIHOREAU M., PONTON F., WILDER S. M. & RAUBENHEIMER D., 2015: Recent Advances in the Integrative Nutrition of Arthropods. Anull Reviews Further (60): 293-311

SIVAKOFF F. S., ROSENHEIME J. A. & HAGLER J. R., 2012: Relative dispersal ability of a key agricultural pest and its predators in an annual agroecosystem. Biological Control (63): 296-303

SUCHÝ P., STRAKOVÁ E. & HERZIG I., 2017: Nutriční hodnota bezobratlých živočichů a jejich využití ve výživě. Výzkumní ústav živočišné výrob, Praha, 82 s.

TOFT S., 2013: Nutritional Aspects of Spiders Feeding. Spider Ecophysiology: 373-384

VALDEZ J. W., 2020: Arthropods as vertebrate predators: A review of global patterns. Global Ecology and Biogeography (29): 1691–1703

VAN HUIS A., DICKE M. & LOON J. J. A., 2015: Insects to feed the world. Journal of Insects as Food and Feed 1: 3-5

VAN HUIS A., ITTERBEECK J. V., KLUNDER H., MERTENS E., HALLORAN A., MUIR G. & VANTOMME P., 2013: Edible insects: future prospects for food and feed security. Food and agriculture organization of the united nations, Řím, 187 s.

VAN HUIS A., 2020: Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review. Journal of Insects as Food and Feed 6: 27-44

VELÍŠEK J. & HAJŠLOVÁ J., 2009: Chemie potravin. 1. Tábor, 580 s.

WILDER S. M., 2011: Spider Nutrition: An Integrative Perspective. Advances in insect physiology (40): 88-124

WILDER S. M., NORRIS M., LEE R. W., RAUBENHEIMER D. & SIMPSON S. J., 2013: Arthropod food webs become increasingly lipid-limited at higher trophic levels. Ecology Letters (16): 895–902