

Základní technologické operace pro výroby z jedlého hmyzu

Bc. Radek Vychodil

Diplomová práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Radek Vychodil
Osobní číslo:	T20091
Studijní program:	N0721A210004 Technologie potravin
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Základní technologické operace pro výroby z jedlého hmyzu

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část

1. Studium dostupné literatury a provedení literární rešerže na dané téma.
2. Popis technologií výroby pro výroby z jedlého hmyzu a charakterizace jejich surovinové skladby.

II. Experimentální část

1. Příprava výrobků z jedlého hmyzu.
2. Analýza připravených výrobků obohacených o jedlý hmyz.
3. Zpracování výsledků a diskuze.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] Melgar‐Lalanne, G. Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019, 18(4). ISSN: 1541-4337 Online ISSN: 1541-4337
- [2] Eriksson, T., Andere, A.A., Kelstrup, H., Emery, V.J., Picard, C.J. The yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) genome: a resource for the emerging insects as food and feed industry. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2020. 0(0):1-12. doi: 10.3920/jiff2019.0057
- [3] Kim, Y., Kim, I., Jeong, Y. Quality characteristics of white pan bread added with *Tenebrio molitor* powder (2019) *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 48 (2), pp. 253-259
- [4] **Veděcké zdroje uvedené v databázích Web of Science, SCOPUS, knižní odborné publikace aj**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. et Ing. Anna Adámková, Ph.D.**
Ústav analýzy a chemie potravin

Datum zadání diplomové práce: **31. prosince 2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2022**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Gál, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 18. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce byla zaměřena na rešeršní rozbor základních technologických operací u výrobků jedlého hmyzu. Praktická část byla zaměřena na stanovení optimální metody usmrcení a stanovením profilu mastných kyselin u slunečnicového oleje obohaceného larvami potměníka moučného (*Tenebrio molitor*) pomocí metody macerace po dobu 3 měsíců. Výsledky rešeršního rozboru ukázaly na široké využití jedlého hmyzu v řadě produktů s často rozdílnou metodou zpracování. Optimalizace těchto metod může vést k efektivnější a bezpečnější výrobě potravin. Stanovení optimální metody usmrcování bylo vyhodnocováno pomocí experimentálního elektronického nosu a výsledky identifikují jako nejvhodnější metodu usmrcování metodu vysušení, která nevykazovala degradační změny během 24 hodin. Výsledky metody macerace neprokázaly účinnost obohacování mastných kyselin, je ovšem možné, že jiné látky jako vitamíny rozpustné v tucích mohli obohatit slunečnicový olej. Touto problematikou se budou muset zabývat další studie.

Klíčová slova: jedlý hmyz, chov, zpracování, metody usmrcení, mastné kyseliny

ABSTRACT

This diploma thesis was focused on a research analysis of basic technological operations in edible insect products. The practical part is focused on determining the optimal method of killing and determining the fatty acid profile in sunflower oil enriched with flour larvae (*Tenebrio molitor*) using the maceration method for 3 months. The results of the research analysis showed the widespread use of edible insects in a number of products with different processing methods. Optimizing these methods can lead to more efficient and safer food production. The determination of the optimal killing methods was evaluated using an experimental electronic nose, and the results were assessed as a suitable killing method. The drying method did not show degradation changes within 24 hours. The results of the maceration did not prove the effectiveness of fatty acid enrichment, it is possible that other substances such as fat-soluble vitamins may have enriched sunflower oil. Closer studies will have to address this issue.

Keywords: edible insect, breeding, processing, killing methods, fatty acids

Rád bych poděkoval především své vedoucí práce za spolupráci, odborné vedení a cenné rady v průběhu této diplomové práce. Nakonec bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za psychickou podporu při studiu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 CHARAKTERISTIKA JEDLÉHO HMYZU	12
1.1 NUTRIČNÍ HODNOTY	12
2 CHOV JEDLÉHO HMYZU	14
2.1 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ CHOV	15
3 ZPRACOVÁNÍ JEDLÉHO HMYZU	17
3.2 PROCES USMRCENÍ	17
3.2.1 Blanširování	18
3.2.2 Zmrazování	18
3.2.3 Vysušení	18
3.2.4 Usmrcení plynem	19
3.2.5 Mechanické usmrcení.....	19
3.3 PROCESY TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ	19
3.3.1 Vaření	20
3.3.2 Smažení	20
3.3.3 Pečení	20
3.3.4 Mikrovlnné sušení	21
3.3.5 Lyofilizace.....	21
3.3.6 Zmražení	21
3.3.7 Uzení	22
3.4 PROCESY NETEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ.....	22
3.4.1 Mletí	22
3.4.2 Lisování.....	22
3.4.3 Fermentace	23
3.4.4 Extrakční metody	24
3.4.5 Enzymatické metody	25
3.4.6 Extruze	26
3.4.7 Extruze s vysokou vlhkostí	26
4 VÝROBKY JEDLÉHO HMYZU	28
4.1 VÝROBKY Z JEDLÉHO HMYZU.....	28
4.1.1 Křupavý hmyz	28
4.1.2 Hmyzí moučka	29
4.1.3 Hmyzí protein.....	30
4.1.4 Hmyzí tuk.....	30
4.1.5 Alternativa mléka na bázi hmyzu.....	31
4.1.6 Hmyzí margarín	31
4.1.7 Fermentované hmyzí pasty	32
4.1.8 Fermentované hmyzí omáčky	32
4.1.9 Hmyzí želatina	33
4.1.10 Hmyzí náhražka masa	33

4.2	VÝROBKY S JEDLÝM HMYZEM.....	34
4.2.1	Běžné pečivo s jedlým hmyzem.....	34
4.2.2	Trvanlivé pečivo s jedlým hmyzem	35
4.2.3	Těstoviny s jedlým hmyzem	36
4.2.4	Čokoláda s jedlým hmyzem	36
4.2.5	Analog masa s jedlým hmyzem	37
4.2.6	Hybridní masné výrobky	37
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	39
5	CÍL PRÁCE	40
6	MATERIÁL A METODIKA	41
6.1	STANOVENÍ OPTIMÁLNÍ METODY USMRCENÍ.....	41
6.2	MACERACE JEDLÉHO HMYZU	42
6.3	STANOVENÍ OBSAHU TUKU	42
6.4	STANOVENÍ PROFILU MASTNÝCH KYSELIN	43
6.5	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT	45
7	VÝSLEDKY PRÁCE	46
7.1	STANOVENÍ OPTIMÁLNÍ METODY USMRCENÍ.....	46
7.2	STANOVENÍ OBSAHU TUKU	50
7.3	STANOVENÍ PROFILU MASTNÝCH KYSELIN	50
	ZÁVĚR	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	57
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	72
	SEZNAM OBRÁZKŮ	73
	SEZNAM TABULEK.....	74
	SEZNAM PŘÍLOH.....	75

ÚVOD

Jedlý hmyz jako nová potravina se čím dál víc dostává do povědomí větší skupiny lidí a zájem o něj v evropských zemích roste. Lidé vyhledávají jedlý hmyz především za účelem zkoušení nových zážitků, kterou jim gastronomická entomofágie dodává v nejrůznějších formách. Entomofágie, ovšem nemůže dlouhodobě vydržet pouze na gastronomických pokusech, a proto je nutné převádět produkci hmyzu na průmyslovou úroveň.

Přechod jedlého hmyzu z rodiných podniků na průmyslový podnik, ovšem vyžaduje řadu znalostí, ať už vysokou úroveň bezpečnosti potravin, tak optimalizované výrobní procesy. Aby bylo možné vybudovat velké průmyslové podniky zabývající se produkcí jedlého hmyzu, musí na to být připraven trh, což vyžaduje široké spektrum zákazníků, ochotných jíst hmyz.

Z dosavadních studií se ukazuje, že spotřebitel je ochotný konzumovat hmyz, který je v křupavé formě, nebo v neviditelné formě ve výrobcích, které zná. Z toho důvodu se řada studií věnuje přidávkám hmyzího podílu do nejrůznějších potravin, vyskytující se v tržních sítích. Mezi výrobky s jedlým hmyzem patří běžné a trvanlivé pečivo, cukrovinky, hybridní masné výrobky a analogy masa.

Výrobky s jedlým hmyzem, představují vhodnou metodu na seznámení spotřebitele s jedlým hmyzem, ovšem podíl přidávků jedlého hmyzu do těchto výrobků často nepřekračuje 20 % výrobků, což je vzhledem k nízkým pozitivním vlivům nedostatečné. Až na těstoviny a analogy masa představuje tento přídavek spíše negativní dopad na výrobek (ovlivňuje jeho technologické a sensorické vlastnosti). Jako pozitivní faktor se uvádí zvýšení nutriční hodnoty výrobku, zejména bílkovin. Je ovšem důležité brát v potaz cenu hmyzí bílkoviny, která je oproti konvekčním zdrojům bílkovin daleko vyšší.

Proto je daleko důležitější věnovat pozornost výrobkům z jedlého hmyzu jako hmyzím moučkám, proteinům, tuku, popřípadě novým výrobkům jako hmyzím nápojům, margarínům fermentovaným hmyzí výrobkům, popřípadě hmyzí náhražce masa.

K optimalizaci těchto výrobků je potřeba velmi dobrá technologie zpracování, která musí být cílena zejména na vysokou bezpečnost výrobku a jeho implementaci v průmyslovém měřítku.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CHARAKTERISTIKA JEDLÉHO HMYZU

Konzumaci jedlého hmyzu je možné definovat pojmem „Entomofagie“ a znamená využití hmyzu pro konzumaci. V současné době se Entomofagie čím dál více stává běžnou ve více jak 113 zemích po světě. Více jak 2000 druhů jedlého hmyzu je známo po celém světě, takový počet druhů může výrazně zpestřit lidskou stravu. Jedlý hmyz má potenciál stát se kvalitním zdrojem potravy pro hospodářská zvířata (zejména akvakulturu) a pro lidskou spotřebu. Pozornost odborné i laické veřejnosti na jedlý hmyz roste, důvodem jsou ekonomické náklady na konvekční zdroje bílkovin, které neustále rostou. [1,2,3]

Podle organizace EFSA je v Evropě možné udržitelně chovat a konzumovat následující druhy: potemník moučný (*Tenebrio molitor*), potemník brazilský (*Zophobas morio*), potemník stájový (*Alphitobius diaperinus*), cvrček domácí (*Acheta domestica*), cvrček banánový (*Gryllus assimilis*), saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*), saranče pustinná (*Schistocerca gregaria*), včela medonosná (*Apis mellifera*) a zavíječ voskový (*Galleria mellonella*), seznam druhů, není ještě kompletní a postupně se do něj přidávají další druhy jedlého hmyzu. [4]

1.1 Nutriční hodnoty

Nutriční složení u jedlého hmyzu je velmi různorodé, závislá zejména na druhu hmyzu, krmivu a kvalitě chovu. Kvalita chovu vede k zlepšení nutriční hodnoty jedlého hmyzu, aby se na trhu stal atraktivnější a výživově zajímavější potravinou pro lidskou spotřebu. Jako vzorový subjekt jsem zvolil potemníka moučného (*Tenebrio molitor*), který je v současné době nejvyužívanějším jedlým hmyzem v Evropě. [5]

Potemník moučný má energetickou hodnotu v rozmezí 160 - 762 kcal / 100 g, která závisí zejména na množství a kvalitě tuku, který se může značně lišit s kvalitou chovu, kde čím propracovanější chov, tím vyšší a stabilnější obsah tuku. Cílem dnešních chovů je ovšem produkovat hmyz s nízkým obsahem tuku, z důvodu vysoké poptávky po živočišných bílkovinách. U potemníka moučného se udává sušina v rozmezí 29 - 45 %. Hlavním faktorem ovlivňující množství sušiny u potemníka moučného je vlhkost vyskytující se v chovu. [6, 7, 8, 9]

Poptávka po zdrojích živočišných bílkovin roste. Potemníka moučného jako nový zdroj bílkovin obsahuje 13,5 – 22,5 % dusíkatých látek v čerstvém stavu. Důležitým hlediskem kvalitních bílkovin je jejich stravitelnost. Jedlý hmyz lze srovnávat se stravitelností bílkovin

u masa hospodářských zvířat a mléka. Hmyz je proto prezentován jako cenná alternativa k masu. [7, 8, 9, 10]

Potemník moučný (*Tenebrio molitor*) nenabízí jen vysoký obsah bílkovin, ale i široké zastoupení esenciálních aminokyselin, které je nutno přijímat ve stravě. U potemníka moučného krmeného otrubami v laboratorním prostředí převládá kyselina asparagová, alanin a leucin. Nejmenší obsah má tryptofan, cystein a methionin. Z důvodu nízkého množství sírných aminokyselin (methionin, cystein) je potemník moučný méně významným zdrojem esenciálních aminokyselin. [3, 11, 12, 13]

Druhou významnou skupinou látek u potemníka moučného je vysoký obsah tuků, který je ovlivnitelný chovnými faktory. Při dodržení všech faktorů je obsah tuku prvotním ukazatelem kvality správně provedeného chovu. U larev potemníka moučného byl stanoven obsah tuku 28–37 % v sušině. [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]

Podobně jako obsah tuku je i profil mastných kyselin ovlivnitelný převážně způsobem chovu potemníka moučného. Kyselina olejová (C18:1), kyselina linolová (C18:2) a kyselina palmitová (C16) tvoří hlavní složku lipidů. [3, 15, 21]

U potemníka moučného je hodnota sacharidů v rozmezí 8-12 % v sušině. Sacharidy jsou u jedlého hmyzu převážně zastoupeny chitinem od 5-16 %. Jejich hodnoty se od sebe liší u larvy potemníka moučného je poměr chitinu $4,92 \pm 0,11$ % v sušině. Chitin je pro lidský organismus téměř nestravitelný, má ovšem pozitivní vliv na zdraví např. potenciální prebiotikum, má antimikrobiální, antivirové a antimykotické účinky. [7, 15, 16, 22, 23, 24]

Obsah vitamínů nelze u potemníka moučného považovat za zcela bezvýznamný. Potemník moučný obsahuje řadu vitamínů jako A, D, E, K, a skupiny vitamínů B i C. Ukazuje se, že mnoho druhů obsahuje i výrazné množství inositolu. [7, 17, 21, 25]

Potemník moučný (*Tenebrio molitor*) je považován za alternativní zdroj s vysokým obsahem různých stopových prvků, jako jsou minerální látky měď, železo, hořčík, mangan, fosfor, selen a zinek, ale i draslík, sodík a vápník. Tyto minerální látky mohou poskytovat lidskému tělu dostatek minerálních látek potřebných pro správné fungování těla. Obsah minerálních látek se pohybuje od 3 – 8 % v sušině. [6, 12, 16, 21, 26]

2 CHOV JEDLÉHO HMYZU

V celosvětovém měřítku pouze 8 % produkce jedlého hmyzu pochází ze specializovaného chovu, zbytek je sbírán ve volné přírodě. Ačkoliv ne všechny druhy je možné chovat v umělých podmínkách, představuje specializovaný chov možnost zaručit kvalitu a bezpečnost hmyzu využívaného pro lidskou spotřebu. Hmyz může být buď zcela domestikovaný a chován v zajetí jako například mouční červi, švábi a někteří brouci, nebo je hmyz chován v částečném zajetí, kdy sice žije ve volné přírodě, ovšem na jasně stanoveném a upraveném místě, jako například bambusové housenky, sarančata, popřípadě larvy nosatců palmových. [27, 28, 29, 30].

V současné době jsou v mírných pásmech největší producenti jedlého hmyzu rodinné podniky, kteří se zaměřují na chov moučných červů, cvrčků a kobylek. Tento hmyz chovají v uzavřených prostorách. Přejít těchto malých podniků na chov v průmyslovém měřítku je fenoménem poslední doby a v budoucnu bude pravděpodobně převládat v produktivitě jedlého hmyzu. To ovšem vyžaduje větší znalost biologie, vlivu chovných podmínek a složení stravy. [29, 30]

Jednou z překážek, které brání rozšiřování chovu, je identifikace optimálního druhu jedlého hmyzu pro průmyslový chov, kde ideální kandidáti by měli splňovat určitá kritéria jako vysoká reprodukce a hmotnost larev nebo kukel, vysoká produktivita, nízké náklady na krmivo, nízká úmrtnost a vysoký obsah kvalitních bílkovin. [31]

Dalším překážkou práce s jedlým hmyzem je automatizace chovu, sběru a zpracování. Vysoká efektivita produkce může z hmyzu udělat nákladově efektivnější a konkurenceschopnější surovinu oproti jiným živočišným zdrojům. Hlavním problémem při procesu chovu je účinné oddělení živých a mrtvých larev, substrátu, exkrementů a svleků. Jednou z možných metod separace je vzduchový separátor, který může efektivně odseparovat lehčí částice jako svleky, exkrementy, nebo substrát. Výhodou vzduchového separátoru je vyšší účinnost separace, ovšem nevýhodou jsou vyšší provozní náklady. Další možností může být prosévání přes sérii sít, která může efektivně odseparovat menší částice jako substrát nebo exkrementy. Výhodou prosévání jsou nízké provozní náklady. Nevýhodou je, že substrát musí být co nejmenší, aby bylo docíleno nejvyšší efektivity, dále tato metoda není schopna odseparovat svleky moučných červů. [32]

2.1 Faktory ovlivňující chov

Produktivitu chovu jedlého hmyzu ovlivňuje řada faktorů. Mezi nejdůležitější faktory spadá teplota, krmivo, vlhkost a vývojové stádium. Mezi další faktory můžeme zařadit i přístup světla a vzduchu. [21, 33]

U moučných červů byl prokázán kanibalismus během chovu. Už ve stadiu vajíčka může být několik jedinců usmrcena dospělci, což vede k snižování efektivity chovu. Jako protipatření se současně používá chovný prostor s dvojitým dnem, díky tomu mohou samičky naklást vajíčka tak, že se k němu ostatní nedostanou. V případě larválních stádií u moučných červů je častý problém období po době svlékání, kdy dochází k odstranění starého svleku za nový, který po svlékání není tak pevný a odolný vůči vnějším vlivům. Z tohoto důvodu může docházet k šíření nákaz. [34, 35]

Kukly jsou následně po vajíčku druhým nejzranitelnějším vývojovým stádiem. Kukla není schopná se přesouvat na jiná místa, ovšem má určité pohyby, díky kterým ukazuje ostatním larvám a dospělcům, že není k jídlu. V případě úhynu jsou ovšem kukly pojídány dospělci i larvami a z tohoto důvodu nejsou před kanibalismem plně chráněny, a proto je nutné všechny stádia mezi sebou efektivně oddělovat, aby nedocházelo ke snižování výtěžnosti. [35]

U různých druhů jedlého hmyzu můžeme sledovat odlišnou potřebu z hlediska nároku na teplotu a vlhkost, např. u potměnků moučných je optimální teplota okolo 25 °C, kde platí že čím vyšší teplota, tím je vývojový cyklus rychlejší, ovšem na druhou stranu se tím potencionálně zvyšují náklady na chov a rizikovitost výskytu různých mikrobiálních nemocí. Co se týče relativní vlhkosti je u moučných červů optimální hodnota 65-70 %. Relativní vlhkost má vliv na urychlení růstu larev a brání ztrátám vyschnutí vajíček, což opět zvyšuje výtěžnost produkce. [34, 36]

Krmivo je základem celého chovu jedlého hmyzu a jeho znalost je klíčem k úspěšnému chovu hmyzu. Larvy moučných červů nejsou schopny přežít déle než 4 měsíce bez krmiva. Nevhodná volba krmiva může zpomalit vývoj potměníka moučného (*Tenebrio molitor*) natolik, že není schopen procesu zakuklení a v extrémních případech, ani procesu svlékání, což může mít za následek nahromadění nežádoucích látek projevující se změnou barvy a vést až ke smrti. [37, 38]

Nedostatek krmiva, nebo určitého nutrientu vede k častějšímu výskytu kanibalismu, při kterém se larvy snaží získat nedostatečné živiny z jiných larev nebo kukel. Mimo efektivitu chovu ovlivňuje krmivo výrazně také nutriční hodnoty jedlého hmyzu. Krmivo dále ovlivňuje i chuť a procentuální zastoupení nutričních látek. Nejvíce variabilní je obsah tuku a bílkovin. [14, 39]

Jako základní složka krmiv se používají zejména vedlejší produkty z rostlinné výroby z důvodu své nízké ceny. Používají se složky od běžných otrub po šrot, které tvoří základní stravu nejen hmyzu, ale i všech ostatních hospodářských zvířat. Pestrost krmiva zaručuje nejvyšší produktivitu chovu hmyzu, ovšem některé krmiva nejsou vhodné a je nutné se jejich suplementaci vyvarovat. [39]

Suplementace může být jak rostlinná i živočišná. Z rostlinné se používá především ovoce, zelenina, okopaniny, popřípadě olejniny. V případě živočišných suplementů se používá sušené mléko, krev, nebo masokostní moučka, především z důvodu obohacení potřebných aminokyselin a mastných kyselin. Mimo jiné lze použít i výživové doplňky pro hospodářská zvířata a další suplementy především pro zlepšení imunity. [35]

Faktorem ovlivňující chov je i země chovu (klimatické pásmo), kde se jedlý hmyz chová. Vliv tohoto faktoru má dopad na efektivitu, obsah nutričních látek a chuť. Hmyz odchovaný v mírném klimatickém pásmu má odlišný obsah nutričních látek v sušině než hmyz chovaný v tropickém pásmu. Je to především kvůli vyšší teplotě a vlhkosti, kterou musí chovatel z mírného pásma vytvářet. [12]

3 ZPRACOVÁNÍ JEDLÉHO HMYZU

Zpracování jedlého hmyzu je hlavním tématem této práce, kdy samotné zpracování začíná procesem vyhledování, oplachování a usmrcení až po finální zpracování v konečné fázi balení. Veškeré jednotlivé procesy jsou pro případnou průmyslovou výrobu klíčové, aby byla, popřípadě zajištěna její optimalizace.

3.1 Proces vyhledování a oplachování

Několik studií zabývajících se jedlým hmyzem ukázalo, že obsahuje vysoký mikrobiální počet různých mikroorganismů v rozmezí od 5,0 do 9,3 log CFU/g. Předpokládá se, že v rámci přístupu k chovu jedlého hmyzu, mohou specifické postupy jako je vyhledování, nebo oplachování silně ovlivňovat mikrobiotu hmyzu a tím efektivně snižovat mikrobiologické nebezpečí. [4, 40, 41, 42, 43, 44]

Podle NVWA (Nizozemský úřad pro bezpečnost potravin a spotřebního zboží) se jedlý hmyz často jeden až dva dny nechá hladovět, aby se jim vyprázdnily jejich střeva a následně jsou opláchnuty vlažnou až teplou vodou a nakonec usmrceny. [45]

Některé chovatelské společnosti předpokládají, že vyprázdnění střeva a následný oplach zvyšuje mikrobiální kvalitu jedlého hmyzu. Je skutečně známo, že střevní mikrobiota hmyzu může obsahovat různé parazity, houby a další mikroorganismy. [43]

Touto problematikou se zabývala studie podle E. Wynants a z ní vyplynulo, že neměli tyto speciální postupy žádný vliv na mikrobiální kvalitu jedlého hmyzu. Ovšem důležité je poznamenat, že hladovění a oplachování může mít vliv na chemickou čistotu jako pozůstatky reziduí pesticidů, těžkých kovů a dalších látek, které je ještě třeba zjistit. [46]

3.2 Proces usmrcení

Proces usmrcování je základním krokem ve zpracování hmyzu, ovšem tato oblast není zcela prozkoumána. Jedlý hmyz může být usmrcen různými metodami jako zmrazení, blanšírování, sušením, nebo mechanicky a poté ho lze konzumovat buď jako celý hmyz, nebo ve formě hmyzích mouček, popřípadě v pastové nebo kapalné formě. [47, 48, 49, 50]

S ohledem na velkou rozmanitost hmyzu je zřejmé, že by měly být pečlivě vyhodnoceny a zavedeny jasně dané metody usmrcování pro každý druh, za předpokladu, že metody usmrcování by měly uplatňovat zásadu předběžné opatrnosti, aby se minimalizovalo nepohodlí nebo bolest, stejně jako by měli být co možná nejrychlejší. Mezi dosud

testovanými metodami se ukázalo, že delší doba zabíjení vyvolává stres, který souvisí se zvýšením metabolismu triglyceridů na acylglycerol a volné mastné kyseliny, což podporuje oxidaci [47, 51].

3.2.1 Blanšírování

Blanšírování je jedná z metod usmrcení, kdy je jedlý hmyz ponořen do vroucí vody po dobu několika sekund. Ukazuje se, že tato metoda má za následek inaktivaci enzymu fenoloxidázy a díky tomu je jedlý hmyz odolnější oproti enzymatickému hnědnutí a má lepší barevnou stabilitu. Dále se ukazuje, že tato metoda vede k lepší stravitelnosti člověkem a výrazně snižuje počty mikroorganismů, ovšem na druhou stranu se ukazuje, že tyto tepelné metody mají negativní vliv na nutriční hodnoty hmyzu, zejména obsah vitamínu a funkčnost proteinů zadržovat vodu. [47, 49, 52, 53]

3.2.2 Zmrazování

Zmrazování je metoda, kdy je hmyz umístěn do mrazicího zařízení po dobu několika minut až hodin, v závislosti na použité chladicí teplotě. Tato metoda nemá tak velký vliv na nutriční hodnotu oproti tepelným metodám, avšak takto usmrcený hmyz má tendenci více podléhat oxidacím a enzymatickému hnědnutí. Zmrazení také ovlivní barvu, texturu a chuť produktu. Při nízké rychlosti zmrazování se budou tvořit velké ledové krystaly, které indukují poškození buněk a zvyšují osmotický tlak, což bude mít za následek vysokou ztrátu vody. I když působení zmrazování a rozmrazování může vyvolat snížení kontaminace několika mikroorganismů, nepovažuje se to za účinnou metodu ke snížení mikrobiálního růstu a proto je nutné využít další krok dekontaminace. [54, 55, 56, 57]

3.2.3 Vysušení

Vysušení je metoda usmrcení, která je velmi závislá na použité teplotě. Při nízké teplotě je zapotřebí doba až 30 minut, ovšem s rostoucí teplotou se snižuje nutriční kvalita, zejména denaturace proteinů, dále dochází ke změně barvy v průběhu sušení, pravděpodobně v důsledku Maillardových reakcí. Vysušení má však tu výhodu, že snižuje požadavky na manipulaci a vybavení pro výrobu hmyzí moučky. [58, 59]

3.2.4 Usmrcení plynem

Usmrcení plynem je další možná metoda, při které je hmyz vystaven 100 % oxidu uhličitému, nebo dusíku v uzavřené nádobě. Tento postup, který je poměrně účinný u cvrčků, kdy za 15 min, byl cvrček domácí (*Acheta domestica*) efektivně omráčen a usmrcen do 2 hodin, tak u larev mouchy černého vojáka (*Hermetia illucens*) byla doba usmrcení až 144 hodin. Toto lze vyhodnotit jako vysoce neúčinné. Zajímavější mohou být kombinované usmrcovací metody, jako využití oxidu uhličitého jako pomocné anestezie. [48, 60]

3.2.5 Mechanické usmrcení

Mechanické usmrcení neboli mletí je rychlá a účinná metoda usmrcování jedlého hmyzu. Může zkrátit dobu sušení zvětšením plochy povrchu pro sušení, což vede k úsporám pro průmysl díky relativně nízkým nákladům na zařízení. Je však známo, že mletí zvyšuje hnědnutí hmyzu a podporuje oxidaci lipidů vystavením složek kyslíku. Další riziko této metody spočívá v mikrobiálním růstu, který není ničím inhibován, a proto nemůže být samostatně využíván pro konzumaci. Mletí by mohlo být dále optimalizováno zahrnutím přísad s mikrobistatickým účinkem, nebo s přidaným dekontaminačním krokem. [37, 53, 61, 62]

Mezi další metody usmrcení můžeme zařadit i napařování (jedlý hmyz nechá nad parou po určitou dobu), nebo vakuové usmrcení (metoda usmrcení při které dochází k vakuovému uzavření po určitou dobu). [63]

3.3 Procesy tepelného zpracování

Tepelné procesy jsou neodmyslitelnou součástí naší každodenní rutiny při přípravě potravin, stejně jako v průmyslové výrobě potravin. Jsou nejtradičnějším prostředkem ke konzervaci, zajišťují jejich bezpečnost, usnadňují stravitelnost a zlepšují jejich chuť. Většina studií zabývajících se tepelným zpracováním jedlého hmyzu se zabývá bezpečností, jako je toxicita, nebo bakteriálním nebezpečím, stejně jako dopad na nutriční složení, technologickou funkčnost a stravitelnost. Tepelné zpracování má však také možné nežádoucí účinky na potravinářské produkty, například tvorbu kontaminantů, jako je furfural a akrylamid. Pokud jde o jedlý hmyz, bylo učiněno několik pokusů analyzovat a porovnat možné účinky různých technik tepelného zpracování, jako je blanšírování, smažení na pánvi, vaření a pečení, dále také sušení v podmínkách HTST (krátká doba s vysokou teplotou) nebo LTST (dlouhá doba s nízkou teplotou). [64, 67, 69]

3.3.1 Vaření

Proces vaření můžeme rozdělit na několik typu na blanšírování (po dobu několika sekund), vaření (po dobu několika minut), vaření za vakua (při sníženém tlaku). Tyto procesy efektivně snižují mikrobiální zátěž a účinně udržují vysokou hladinu bílkovin a polyenových mastných kyselin uvnitř jedlého hmyzu. Přičemž se mírně zlepšuje stravitelnost bílkovin, snižuje množství nasycených mastných kyselin, snižuje se alergenita a inaktivuje se fenoloxidáza. [65, 67, 68, 70, 71, 72, 73]

Vaření se sice ukazuje jako nejlepší metoda z hlediska zlepšení bezpečnosti a zachování živin, ovšem u moučných červů způsobují měkkou a vodnatou texturu. Spotřebitelé ovšem upřednostňují křupavý hmyz. Přesto může tento cennější hmyz najít uplatnění v potravinářství, např. ve formě burgeru, či analogu masa. [64, 65]

3.3.2 Smažení

Proces smažení ať už na pánvi, nebo fritování ve fritovacích zařízeních, může být jedna z metod, jak vytvořit klasický křupavý hmyz, který je u spotřebitele velmi žádaný. Ovšem nutriční hodnota smaženého, nebo fritovaného jedlého hmyzu se výrazně mění zejména v oblasti stravitelnosti proteinů, která je oproti jiným metodám nejhůře stravitelná. Vysoké teploty fritování (150–250 °C) a nemísitelnost oleje a vody způsobují rychlý dehydratační účinek obecně potravin. V důsledku toho fritovací olej rychle prosakuje, aby vyplnil dutiny v potravinových maticích zanechaných po vlhkostech, což vede k vyššímu obsahu sušiny a tuku. [75]

Smažení a fritování nemá vliv jen na stravitelnost, ale i celkově na obsah bílkovin, který je znatelně menší i z důvodu denaturace proteinu a aminokyselin na aromatické sloučeniny, které mohou mít vliv na lidské zdraví. [74, 75]

3.3.3 Pečení

Do procesu pečení můžeme zařadit pečení v troubě, v sušárně, nebo na slunci, či na ohni, kdy jejich hlavním cílem je snížení obsahu vody a snížení mikrobiologického rizika. Obecně můžeme říct, že doba pečení je závislá na použité teplotě a může trvat i několik dní. Pečení má oproti smažení vyšší obsah bílkovin, a přitom zůstává křupavý oproti vaření ve vodě, ovšem nevýhodou této metody je že způsobuje četné neenzymatické hnědnutí. [58, 59]

3.3.4 Mikrovlnné sušení

Mikrovlnné sušení je technika založená na elektromagnetických vlnách k objemovému ohřevu materiálu. Rozdíl tlaku vodní páry mezi prostředím produktu a jeho vnitřkem je hnací silou k odstranění vlhkosti z potravin. Mikrovlnné sušení potravin vede, podobně jako sušení mrazem, k vysoce kvalitním produktům s lepší vůní, nutriční hodnotou, barvou a rychlejší a vylepšenou rehydratací ve srovnání s konvenčním sušením horkým vzduchem. Naproti tomu sušení v mikrovlnné troubě může způsobit i některé nepříznivé chemické přeměny a reakce, jako je degradace vitamínů a zhnědnutí. Nerovnoměrný ohřev je navíc možnou nevýhodou mikrovlnného sušení, která může způsobit fyzické poškození produktu. Z výsledků studii zaměřující se na možnost využití mikrovlnného sušení u jedlého hmyzu prokázal účinek spíše ke vztahu k minimalizaci hnědnutí jak enzymatického, tak neenzymatického, a to i po delší době. [76, 77]

3.3.5 Lyofilizace

Lyofilizace představuje současnou průmyslovou praxi stabilizace moučných červů. Technologie využívá vakua k odstranění vlhkosti ze zmrazeného produktu sublimací. Produkt si obvykle zachovává velmi dobrou kvalitu díky nízkým teplotám zpracování a odstraňování kyslíku. Proto je lyofilizace zvláště vhodná pro vysoce kvalitní potraviny, kdy je důležité zachovat parametry, jako je barva, vůně, textura, nutriční hodnota, biologická aktivita. Významnými nevýhodami lyofilizace jsou vysoké investiční a energetické náklady v důsledku udržování nízké teploty a vakua v kombinaci s dlouhou dobou zpracování. [4, 78]

3.3.6 Zmražení

Proces zmražení by se dal chápat spíše jako metoda skladování čerstvého jedlého hmyzu. Zmrazení produktu před sušením umožňuje zastavit mikrobiologickou aktivitu a skladovat produkty bez nutnosti přidávat konzervační látky. Taková praxe má však pozoruhodné nevýhody související se ztrátou chuti a degradace může být upřednostňována v důsledku prasknutí buněčné membrány. Během zmrazení je buněčná struktura poškozena několika faktory, jako je zvětšení objemu buněk, růst jehličkovitých ledových krystalů a následné prasknutí buněčných membrán, což způsobuje změny některých citlivých metabolitů, zejména tuků, které jsou více citlivé na oxidaci. [79, 80, 81, 82]

3.3.7 Uzení

Dalším tradičním procesem je sušení celého jedlého hmyzu kouřem, kdy je hmyz vystaven kouři produkovanému pyrolýzou dřeva. Obvykle se tento proces kombinuje se solením a celý proces spočívá v integrované kombinaci kroků solení, sušení, ohřevu a uzení v udírně. Stejně jako u procesu sušení na slunci se sušení hmyzu kouřem používá většinou na úrovni domácností kvůli své jednoduchosti. Výhodou této metody je, že velmi dobře konzervuje lipidy před oxidací. Nevýhodou tohoto procesu je, že může negativně ovlivnit chuť jedlého hmyzu. [83, 84]

3.4 Procesy netepelného zpracování

Mezi procesy netepelného zpracování si můžeme představit nejrůznější metody s cílem vyvinout další možnosti využití jedlého hmyzu pro potravinářské účely a obohatit tak světový trh o nové potraviny. V současné době se pracuje na výzkumu hmyzího tuku, proteinu, analogu masa a dalších.

3.4.1 Mletí

Mletí jako jednotková operace je široce používáno v potravinářském průmyslu a je navrženo pro zmenšení velikosti materiálů pro získání použitelné formy nebo pro oddělení jejich součástí. Mnoho potravinářských procesů často vyžaduje zmenšení velikosti, čehož je dosaženo aplikací různých sil k vytvoření částic s určitými velikostmi a tvary. Proces zmenšování velikosti je důsledkem vnějších mechanických sil působících na materiál, který je dostatečně velký na to, aby narušil vnitřní molekulární vazebnou sílu materiálu vytvářením napětí kolem struktury potraviny. Využívá širokou škálu zařízení, jako jsou drtiče, mlýny, dezintegrátory, řezačky, mlýnky a homogenizátory [85].

V případě jedlého hmyzu se mletí využívá zejména s cílem vytvoření hmyzí moučky, která se dále využívá třeba pro pekárenské účely. Takto zpracovaný hmyz je brán jako „hmyz v neviditelné formě“, což z dostupných dat vyplývá, že bude pro spotřebitele atraktivnější a žádanější oproti hmyzu ve formě viditelné. Proto je proces mletí velmi důležitý pro zpracování hmyzu. [86]

3.4.2 Lisování

Jedlý hmyz může být z pohledu obsahu lipidů velmi zajímavým zdrojem v potravinářství. K jeho získání můžeme použít techniku lisování, lisování za studena, nebo různé extrakční

metody. V případě lisování za studena je ovšem nutné provést i rafinace zahrnující neutralizaci, bělení a deodoraci. Rafinace bude nezbytná pro snížení rizika fyzikálních, chemických, mikrobiologických a alergenních poškození. [87, 88]

Při získání rafinovaného oleje z larev mouchy černého vojáka bylo zjištěno, že díky profilu mastných kyselin, kde dominují nasycené mastné kyseliny C12:0 a C14:0 je teplota tání tuku přibližně 30 °C, což by se dalo srovnat s kokosovým, nebo palmojádrovým tukem. Tuk larev černého vojáka má velmi nízký obsah tokoferolů a tokotrienolů, ale vykazuje pozoruhodně vysokou oxidační stabilitu v testu Rancimat. Souhrnně lze konstatovat, že rafinací tuku z larev mouchy černého vojáka vzniká produkt, který je v souladu s normou Codex Alimentarius definující parametry kvality pro řadu jedlých tuků a olejů. Takto rafinovaný tuk můžeme dle dostupných zdrojů považovat za bezpečný. [88, 89, 90]

3.4.3 Fermentace

Fermentace je prastará technologie zpracování založená na přeměně suroviny s cílem prodloužit jejich trvanlivost a přispět k lepší bezpečnosti, struktuře, chuti, nutriční hodnotě a stravitelnosti produktů. Ve skutečnosti může fermentace dokonce snížit alergenicitu produktu. To bylo dříve prokázáno u několika mléčných proteinů a bylo zjištěno, že způsobuje nižší antigenní odpověď v důsledku změn struktury proteinů vyvolaných nízkým pH a proteolytickým působením mikrobiálních proteáz. Dále bylo popsáno, že fermentace potravin sleduje četné aplikace od spontánní fermentace po přesnou fermentaci s izolovanými startovacími kulturami nebo kulturami s více organismy. [91, 92, 93, 94, 95]

Přesto není fermentační know-how na hmyz tak přímočará, jak by se mohlo zdát. Hmyz obsahuje jedinečnou mikroflóru a vysoké hladiny proteinů ve složitém organismu odlišném od mnoha jedlých zvířat, díky čemuž je náchylný k divoké fermentaci a znehodnocení různými mikroorganismy. [91, 92]

Divoká fermentace hmyzu je tak velmi náročná z hlediska stabilní a konzistentní výroby. Jedním z prozkoumaných řešení je předúprava předem vytvořená před fermentací hmyzu, kde je odstraněn exoskelet a více živin je vystaveno mikrobiální aktivitě, nejlépe bakteriálními, nebo plísňovými startovacími kulturami, které mohou využívat jak organické, tak anorganické zdroje dusíku. [91, 92]

Použití hmyzích prášků může dále zlepšit přímý metabolismus startovacími kulturami, a dokonce se podílet na zpětném odklonu fermentace obilovin. Za tímto účelem bylo prokázáno, že komerční masové předkrmy, z nichž každý obsahuje čistý kmen bakterie

mléčného kvašení, úspěšně fermentují pastu potemníka moučného a zvyšují hladiny volné kyseliny glutamové a kyseliny asparagové spojené s příchutí umami. [92, 96]

Jiní autoři naopak zjistili, že masové předkrmy mohou zhoršit technologicky funkční vlastnosti, jako je vázání vody a oleje, pěnivost a emulgační vlastnosti moučky potemníka moučného. Stávající studie však ukazují velký potenciál pro aplikaci fermentačních technologií při zpracování hmyzu, zejména jako prostředku k výrobě fermentovaných past, nebo omáček. [92, 96]

3.4.4 Extrakční metody

Potenciální zisk z chovu jedlého hmyzu je skutečně obrovský a zahrnuje možnosti získání cenných složek, jako jsou lipidy, proteiny, želatina nebo technologicky funkční části, jako jsou pěnidla a stabilizátory. Za tímto účelem byly provedeny studie k vyhodnocení extrakčních metod a vlastností extrahovaných sloučenin. Z těchto studií jsou preferovány vodné extrakce s minimem organických rozpouštědel. Bylo zjištěno, že hexanová extrakce cvrčků domácích byla účinná pro odtučnění nebo zvýšení výtěžku bílkovin, ale vodná extrakce poskytla více funkčních frakcí. [97, 98, 99]

Vodná extrakce různých druhů hmyzu zjistila, že hmyz má vyšší obsah proteinů než v jehněčím a vepřovém mase, dále má větší poměr proteinů s rozpustnými frakcemi a lepšími technologickými vlastnostmi jako například vaznost vody. Analýzy dále ukázaly, že rozpustné frakce obsahovaly převážně proteiny hemolymfy, zatímco nerozpustné frakce obsahovaly převážně svalové proteiny. Bylo také zjištěno, že stravitelnost ve vodě rozpustných proteinových frakcí byla podstatně vyšší než u nerozpustné frakce. [86, 100]

Výroba želatiny z hmyzu by mohla nabídnout nový vývoj v průmyslu živočišných produktů. Výtěžek želatiny jako specifického proteinu s vysokou komerční hodnotou, byla prozkoumaná u extrakce želatiny horkými alkalickými roztoky z jedlého hmyzu. [101]

Extrakce proteinů z jedlého hmyzu může pomoci získat funkční vlastnosti proteinů srovnatelné s proteinovým koncentrátem z vaječných bílků, avšak existují rizika pro výskyt alergenů jako je např. tropomyosin. [102]

Ačkoliv vlastnosti jako rozpustnost proteinů jsou závislé na druhu hmyzu, extrakční podmínky jako je hodnota pH, iontová síla a teplota, jej mohou výrazně ovlivnit. Proteinové koncentráty mohou mít různou účinnost emulgace, pěnivostí, gelovací schopností a mikrobiální bezpečnost. [86, 102, 103]

Dalším extrahovatelné složky z hmyzu jsou antioxidanty. Protein larev černého vojáka ošetřený enzymatickou hydrolýzou, nebo sonikací může poskytnout proteiny a hydrolyzáty s antioxidačními účinky a také s lepší rozpustností. [104]

Etanolicke extrakce nebo extrakce tlakovou kapalinou cvrčka domácího a potemníka moučného produkovaly produkty s vysokým obsahem fenolických sloučenin s dobrou kapacitou pohlcování radikálů a možnými inhibičními účinky na střevní lipázy. [105]

Kromě toho, že je hmyz bohatý na proteiny a antioxidanty, obsahuje také vysoké hladiny lipidů, přičemž některé druhy hmyzu obsahují značné množství polynenasycených mastných kyselin. Ve skutečnosti oleje extrahované z jedlého hmyzu vykazovaly nízkou toxicitu, přičemž podporovaly snížení hladiny glukózy i cholesterolu u potkanů. Extrakce složek z jedlého hmyzu je tedy další operací, která by mohla být použita k zvýšení potenciálu hmyzu ve prospěch lidstva. [48, 106, 107]

3.4.5 Enzymatické metody

Enzymy jsou dobře známými technologickými pomocníky s prastarými kořeny v biotransformaci mléka na jogurt nebo sýr a dalších moderních aplikacích, např. použití transglutaminázy jako „masového lepidla“. Současně byly vyvinuty určité snahy o zlepšení chutnosti jedlého hmyzu nebo vytváření bioaktivních peptidů prostřednictvím enzymatické hydrolýzy. Takové produkty lze získat vystavením cvrčků a moučných červů působením trypsinu, subtilisinu nebo alcalázy. Taková produkce může být podpořena kombinovanou mikrovlnnou hydrolýzou. [108, 109, 110, 111]

Hmyzí proteiny mohou mít také schopnost poskytovat antioxidační aktivitu, jak se uvádí po hydrolýze proteinu potemníka moučného buď subtilisinem, trypsinem, ficinem nebo směsí endo- a exo-peptidáz. Navíc tepelné zpracování hydrolyzáatů mělo pozitivní vliv na antioxidační aktivitu a protizánětlivé schopnosti. [110, 112, 113]

Enzymy lze také použít k uvolnění více volných aminokyselin a ke změně schopnosti extrahovat další složky, např. lipidy z hmyzu. Kromě toho mohou enzymy, jako je alkaláza zvýšit rozpustnost, zlepšit emulgační aktivitu, pěnivost a schopnost vázat olej proteinových hydrolyzáatů. [73, 102, 109, 114]

Celkově lze říct, že enzymatická ošetření s dalšími procesy nebo bez nich vykazují velký příslib v uvolnění potenciálu modulovat hmyzí proteiny a napomáhat při výrobě bioaktivních složek. Kromě toho byly také prokázány potenciální antihypertenzní, antioxidační a

antimikrobiální vlastnosti hmyzích hydrolyzátů. Zdá se tedy, že enzymy mohou být použity k inženýrství různých technologicky funkčních vlastností hmyzu, jako je extrahovatelnost, rozpustnost, pěnovost a emulgační kapacita. [115, 116]

3.4.6 Extruze

Technologie extruze je efektivní výrobní proces důležitý pro výrobu zejména některých pekárenských produktů. V kombinaci mechanického smyku, vysoké teploty a vysokého tlaku jsou škrobové pevné materiály přeměněny na viskoelastickou tekutinu, která je tlačena šnekem skrz matici. Náhlý pokles tlaku redukuje vodu uloženou v tekutině. [117, 118]

To vede k vytvoření pevné pěny se specifickými strukturálními charakteristikami a mechanickými vlastnostmi. Ačkoli škrobové materiály jsou nejvhodnější pro poskytování dobrých technologických vlastností pro výrobu přijatelných pekárenských výrobků, mají často nízký obsah bílkovin a dietní vlákniny, takže nejsou schopny uspokojit potřeby rostoucího počtu spotřebitelů dbajících na zdraví. [117, 118]

Přídavek prášku z hmyzu potměníka moučného do extrudovaných výrobků významně ovlivnil jejich fyzikální, mikrostrukturální a nutriční vlastnosti. V případě nutričních produktů došlo zejména k obohacení o čisté stravitelné bílkoviny a tuky. Ovšem z mikrostrukturních a texturních vlastností bylo zjištěno, že při vyšším poměru hmyzí moučky se zhoršují expanzní vlastnosti pravděpodobně z důvodu vyššího obsahu tuku, který snižoval viskozitu produktu. Texturní vlastnosti jako lámavost byla při přidání 20 % hmyzí moučky lepší oproti běžnému produktu, na druhou stranu se snížila křupavost. [119]

3.4.7 Extruze s vysokou vlhkostí

Technologie extruze s vysokou vlhkostí je metoda, kde je na vstupu extrudéru vyšší vlhkost než 40 %. Má obecně výhody nižšího energetického vstupu a vyšší kvality texturovaných produktů, proto je nyní považována za jeden z nových vývojových trendů v oblasti extruze potravin. [120, 121]

Jako komplikovaný systém s více vstupy a výstupy lze během procesu vytlačování s vysokou vlhkostí rostlinné proteiny texturovat s bohatou vláknitou strukturou a dobrou pružností jako skutečné maso zvířat. [122, 123]

V současné době zaujímají jako nejúspěšnější náhražky masa výrobky na bázi sóji. Použití hmyzí biomasy místo sóji by mělo zlepšit proteinový profil náhražky a učinit ji podobnější produktům živočišného původu. Jeho zahrnutí by navíc mělo podpořit snížení závislosti na

vnějších dodávkách sóji v Evropě. Provedený výzkum prokázal, že extruze za vysoké vlhkosti může u náhražek masa sestávajících ze směsi proteinových koncentrátů (sója + potemník stájový) a vody vyvolat tvorbu textury masové vlákniny. [124]

Složení vzorku a obsah vody byly hlavními faktory ovlivňujícími řeznou pevnost extrudovaných meziproductů s vysokou vlhkostí. Masovou texturu bylo možné zachovat přidáním až 40 % proteinového koncentráta potemníka stájového ve směsi s 5–10 % sójové vlákniny (sušiny), což vedlo k masovým analogům s 25,0–30,8 % obsahu bílkovin. [86, 103, 124]

4 VÝROBKY JEDLÉHO HMYZU

Výrobky z hmyzu se obecně dají rozdělit na výrobky kde hmyz je ve viditelné formě, nebo v neviditelné formě, popřípadě zda jsou výrobky z hmyzu nebo s hmyzem. V současné době je na trhu v drtivé většině právě hmyz ve viditelné formě jako křupavý červíci, nebo křupavý cvrčci. Naopak hmyz v neviditelné formě je zastoupen především jako hmyzí moučka, proteinový nápoj, nebo se hmyz využívá jako přidaná položka do běžných pekárenských výrobků. Cílem této kapitoly je poukázat na jednotlivé výrobky, které by se mohli v budoucnu vyskytnout v obchodních řetězcích jako nové potraviny.

4.1 Výrobky z jedlého hmyzu

Jako výrobky z jedlého hmyzu, lze chápat výrobek jehož hlavní surovinou je jedlý hmyz. Mezi takové výrobky řadíme křupavý hmyz, hmyzí moučku, hmyzí protein, popřípadě hmyzí olej, hmyzí mléko, hmyzí margarín. Dále stojí za uvedení hmyzí fermentované pasty a omáčky. [124]

4.1.1 Křupavý hmyz

Křupavý hmyz může být pečený, smažený, nebo fritovaný. Výrobky tohoto typu jsou u spotřebitelů velice oblíbené, a to hlavně díky své křupavé textuře a různým variantám koření jako sůl, česnek, chilli, skořice apod. V evropských zemích jsou atraktivní larvy potměníka moučného a larvy mouchy černé, popřípadě cvrčci domácí. Výhodou křupavého hmyzu jsou bezesporu jeho nízké požadavky na provozní a pořizovací náklady, dále jeho široké spektrum možných chutí, ať už slané, nebo sladké varianty, což vede k většímu zájmu veřejnosti, toužící ochutnat nové druhy potravin. Nevýhodou, ovšem u tohoto výrobku je, že zastávají spíše skupiny pochutin, podobně jako brambůrky, tudíž je nelze použít jako alternativu pro běžnou stravu. [65, 125, 126]



Obr. č. 1. Křupavý hmyz [127]

4.1.2 Hmyzí moučka

Jednou z nejzákladnějších výrobků z jedlého hmyzu představuje hmyzí moučka, ta se dá připravit nejrůznějšími způsoby sušení jako sušení v sušárně, sušení na slunci, mikrovlnné sušení, tak třeba i lyofilizací. V současné době se suší celý hmyz, který se následně pomele, nebo hmyz který je předem pomletý a následně se suší. Pomletý hmyz zrychluje dobu sušení, která je nutná pro zabránění hnědnutí moučky. [58, 59, 78]

Jednotlivé druhy sušení způsobují různé výsledky hnědnutí, které mohou být pro spotřebitele nežádoucí. Nejoptimálnější metoda se prozatím jeví metoda lyofilizace, kdy celý hmyz je lyofilizován a následně je pomlet na moučku, touto metodou lze docílit minimálního poškození nutričních hodnot a minimalizace neenzymatické hnědnutí, ovšem nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady, tudíž se tato metoda zatím moc nevyužívá. [78, 85, 86]

Dalším technologickým krokem při výrobě hmyzích mouček je částečné odtučnění, jelikož hmyz obsahuje daleko větší podíl tuku oproti jiným moukám je vhodné se nadbytečného tuku zbavit, možností může být lisování, nebo odtučnění pomocí extrakčních metod. [90, 106]

Hmyzí moučka se nejčastěji vyrábí z moučných červů, cvrčku a kobylek. Zájem z pohledu veřejnosti o něj ovšem není tak velký jako u křupavého hmyzu, je to pravděpodobně způsobeno tím, že spotřebitel si neví rady, jak s danou surovinou pracovat. Populizace domácích receptů na téma hmyzí moučky by mohlo vést k většímu zájmu o tuto surovinu. [125, 126]



Obr. č. 2. Hmyzí moučka [127]

4.1.3 Hmyzí protein

Vhledem k tomu, že současně neexistují žádné právní předpisy na definici hmyzího proteinu, je jeho terminologie často špatně prezentovaná. Ačkoliv existují různé výzkumy zabývající se izolací hmyzího proteinu, je možné najít studie, které popisují hmyzí protein jako odtučněnou hmyzí moučku. To je ovšem částečně zavádějící, jelikož odtučněná hmyzí moučka nepředstavuje pouze protein, ale i zbytky exoskeletu ve kterém se vyskytuje např. chitin. Tuto zavádějící definici, následně využívají výrobci, kteří prezentují hmyzí moučku jako hmyzí protein. [128, 129, 130, 131]

Z dostupných zdrojů se hmyzí protein jeví jako vysoce funkční, nutričně bohatý a stabilní produkt, který by mohl mít potenciál jako alternativní zdroj. Ovšem jeho výzkumem je třeba se ještě dále zabývat, než bude zcela optimalizován, zlepšení účinku je možné například aplikací enzymů. [110, 112, 113, 129]



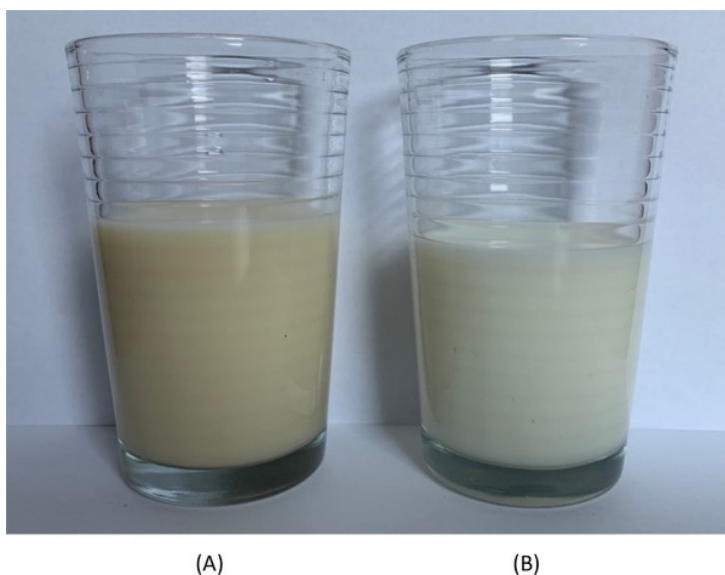
Obr. č. 3. Hmyzí protein [131]

4.1.4 Hmyzí tuk

Hmyzí tuk je jako hmyzí protein ve fázi vývoje, dosavadní studie ukazují, že určitý hmyz jako například mouční červy a cvrčci mají vlastnosti srovnatelné pro stolní oleje a tuky používané v potravinářství. Hmyzí tuk lze získat různými metodami a může být brán jako vedlejší produkt při zpracování hmyzí moučky a hmyzího proteinu. Možné využití je při přípravě křupavého hmyzu, který by mohl být smažen na takovém tuku. [88, 132, 133]

4.1.5 Alternativa mléka na bázi hmyzu

Nedávný výzkum potvrdil, že protein z larev potměníka moučného je srovnatelný s mléčným proteinem, a to díky svému komplexnímu zastoupení aminokyselin a stravitelnosti. Nové studie se proto začali zajímat o možné vytvoření alternativy mléka, jejich cílem je vytvořit produkt schopný oponovat kravskému mléku. Při výrobě hmyzího nápoje byla použita metoda, která se využívá u sójového nápoje, kdy byl přidán slunečnicový lecitin jako emulgátor a kyselina askorbová pro zpomalení hnědnutí během mletí. Nutriční složení získaného hmyzího mléka bylo 1,19 % hrubého proteinu, 5,76 % lipidů, < 1 % sacharidů a 0,30 % popela. Je třeba brát v úvahu, že se jedná o prototyp hmyzího mléka, a tudíž je nutné jednotlivé kroky doladit, z dostupného obrázku č.4 je možné vidět výsledek, kde vzorek A představuje alternativu mléka na bázi hmyzu a vzorek B představuje kravské mléko. [124, 134]



Obr. č. 4. Prototyp alternativy mléka na bázi hmyzu (A), mléko kravské (B) [124]

4.1.6 Hmyzí margarín

Dalším zajímavým produktem jedlého hmyzu může být hmyzí margarín, ten je stejně jako hmyzí mléko ve fázi vývoje. Hmyzí tuk může být v kapalné i pevné formě, závisí především na druhu hmyzu a teplotě. Hmyzí tuk proto může být využíván jako náhražka másla, nebo margarínu v pekařských výrobcích. Hmyzí margarín se připravuje z hmyzího tuku, rostlinných olejů, emulgátoru (polyglycerol polyricinoát), vody a přidaných látek. Studie zabývající se tímto výrobkem uvedla, že až 60 % z celkového obsahu tuku může tvořit hmyz. Tyto margaríny vykazovali vynikající roztírací vlastnosti. Další informace přinesou až další studie. [132, 135, 136]

4.1.7 Fermentované hmyzí pasty

Hmyzí pasta jako taková už nějakou dobu na trhu je, ovšem díky její nevýrazné chuti a krátké trvanlivosti i při nízkých teplotách, o ní není příliš vysoký zájem u spotřebitelů. Z toho důvodu se současně zkoumají možnosti, jak tyto výrobky upravit, aby víc zaujali spotřebitele. Fermentace se v tomto ukazuje jako slibná varianta pro dosažení úspěchu, z testovaných startovacích kultur se jeví jako nejvhodnější *Lactobacillus farminis*. Po aplikaci startovací kultury došlo ke zvýšení obsahu kyseliny asparagové a glutamové, která je charakteristická jako příchut' umami, což zjevně ovlivňuje organoleptické vlastnosti pasty. Další výhodou fermentace je snížení pH pasty, čímž se zabrání kažení a může to vést k vyšší trvanlivosti. [41, 96, 137]

Fermentované hmyzí pasty jsou výrobky, které by mohli oslovit další spotřebitele, zajímající se o konzumaci hmyzu, je ovšem potřeba důkladnější výzkum v této oblasti, jelikož fermentace hmyzu není vždy úspěšná a z toho důvodu je nutná optimalizace fermentace. [96]

Při fermentaci masa je důležitý přídavek konzervačního činidla dusitan, který dopomáhá k lepšímu vývoji barvy, inhibuje růst Salmonel a Clostridií, dále zabraňuje oxidačnímu žluknutí lipidů a vytváří typickou konzervovanou chuť. V případě jedlého hmyzu je ovšem přídavek dusitanů rozporován, jelikož zpomaluje fermentaci a snižuje acidifikaci. [96, 138]



Obr. č. 5. Hmyzí pasta [139]

4.1.8 Fermentované hmyzí omáčky

Fermentované hmyzí omáčky nejsou v současné době v Evropě příliš vyhledávané u spotřebitelů, tento fenomén je spíše typický pro asijské oblasti, kde se takové omáčky konzumují. Výroba těchto omáček je srovnatelná se sójovými omáčkami, kdy za použití plísni *Aspergillus oryzae* a bakterii *Bacillus licheniformis* při 25 °C po dobu 20 dní se nechá

hmyz fermentovat. Fermentované hmyzí omáčky mají viditelné zlepšení nutričních vlastností zejména aminokyselin oproti běžným sójovým omáčkám. Výsledná chuť je pak srovnatelná se sójovými omáčkami, je ovšem nutné co nejvíce přizpůsobit texturu, barvu a vůni, aby bylo docíleno přijetí spotřebitelů. [140]

4.1.9 Hmyzí želatina

Želatina je definována jako produkt získaný částečnou hydrolýzou kolagenu získaného z kůže, pojivové tkáně a kostí zvířat. Želatina je želírující protein, který je široce používán v potravinářském a farmaceutickém průmyslu. Většina komerční želatiny je vyrobena z kůže prasat a skotu. Množství želatiny používané v celosvětovém potravinářském průmyslu se každoročně zvyšuje. Hmyzí želatina může být brána jako vhodný alternativní zdroj komerčně dostupných želatin, např. želatina získaná ze štěnice melounové (*Aspongopus viduatus*) byla podle FTIR (Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací) srovnatelná s komerční želatinou. [101, 141]

4.1.10 Hmyzí náhražka masa

Vzhledem k rostoucí celosvětové populaci a poptávka po masných výrobcích a v budoucnosti hrozí její nedostatek. Zdroje masných výrobků pochází z neekologických farem, které už teď spotřebují obrovskou část půdy a vody. Z toho důvodu je důležité hledat udržitelnější zdroje masa pro budoucí generace. Jedlý hmyz může být jedním ze slibných náhražek masa, ovšem aby bylo maso dostatečně nahrazeno, musí být vyvinuta optimální metoda pro tvorbu celistvé hmoty. Ukázalo se, že teplota ohřevu takové hmoty má značný vliv na viskoelastické vlastnosti a mikrostrukturu gelu, která má zase důsledky pro fyzikální vlastnosti potravinářského produktu, včetně texturních vlastností a vlastností vázících vodu. [142, 143, 144]

I když je tvorba struktury určujícím faktorem pro kvalitu potravin, znalosti o gelování biomasy hmyzu a jejích derivátů jsou značně omezené. Podle Scholliers se hmota připravuje rozemletím celého hmyzu s pufrem fosforečnanen sodným a chloridem sodným, mletí probíhalo při 12 – 14 °C po dobu přibližně 10 min a nakonec tato hmota byla vakuově balena a skladována při 15°C. Výsledky ukazují, že schopnost tvorby struktury je horší než u masa a že je třeba vyšší teplota k vytvoření srovnatelné struktury jako u struktury masa. [144]

4.2 Výrobky s jedlým hmyzem

Výrobkem s jedlým hmyzem, se rozumí výrobek, do kterého byl cíleně přidán jedlý hmyz s cílem upravit nutriční složení, nebo přidat technologicky funkční vlastnosti, popřípadě upravit výrobek tak, aby byl pro spotřebitele zajímavější. Tyto výrobky lze rozdělit na rostlinné výrobky s jedlým hmyzem (pečiva, těstoviny, oleje, čokoláda, popřípadě analogy masa), nebo na živočišné výrobky jako masné výrobky, sýry a jogurty. Začleněním hmyzu do vhodných potravinářských výrobků s dobrou sensorickou kvalitou lze spotřebitele přesvědčit, aby hmyz pravidelně konzumovali. [145]

Spotřebitelé považují slané hmyzí produkty za vhodnější a atraktivnější ve srovnání se sladkými produkty, což je způsobeno tím, že hmyz byl propagován hlavně jako alternativa k masu a očekává se, že bude využíván v produktech podobných masným produktům. [145]

4.2.1 Běžné pečivo s jedlým hmyzem

Tato skupina výrobků představuje obrovskou škálu produktu, ve které má jedlý hmyz uplatnění. Hmyz je do komerční mouky přidáván ve formě hmyzí moučky, a to v takovém poměru, aby byly zachovány texturní vlastnosti běžného pečiva. Dosavadní výzkumy se shodují, že hmyzí moučka může být úspěšně začleněna do běžného pečiva s cílem zlepšit nutriční vlastnosti, zejména obsah bílkovin u pečiva, ovšem je důležité uvést, že z mikrobiologických analýz může představovat riziko s ohledem na bakterie tvořící spory, které mohou pocházet z hmyzího prášku. Proto se doporučuje využívat při výrobě pečiva i preventivní ošetření jako bělení, nebo sušení schopné snížit zatížení sporotvorných bakterií. [146, 147]



Obr. č. 6. Různé varianty chleba: pšeničný chléb (WB), pšeničný chléb s přídavkem 10 % hmyzu (CB₁₀), pšeničný chléb s přídavkem 30 % hmyzu (CB₃₀) [146]

Výsledky sensorických analýz ukazují, že spotřebitel je ochoten tyto výrobky konzumovat, pokud nejsou pro spotřebitele výrazně odlišné. Jak je popsáno na obrázku č. 6. akceptovaný

vzorek byl zhodnocen s přidavkem 10 % hmyzího prášku. Nejhuře hodnocený byl vzorek s přidavkem 30 % hmyzu. Důvodem může být právě příliš velká odlišnost od běžného výrobku. Přídavek jedlého hmyzu ovlivňuje kromě nutričních hodnot i reologické vlastnosti, kdy i 5 % přídavek snížil adsorpci vody a zvýšil stabilitu těsta, proto je nutné ještě upravit metodu přípravy běžného pečiva, aby se našla rovnováha mezi obilninami a hmyzí moučkou. [146, 147]

4.2.2 Trvanlivé pečivo s jedlým hmyzem

Trvanlivé pečivo jako suchary, sušenky, cereální tyčinky, nebo kreky mohou být další možnou variantou, jak obohatit trh o nové výrobky z oblasti jedlého hmyzu. Výroba těchto výrobků je poměrně snadná, jelikož představuje především smíchání surovin s vodou a následně se výrobky připravují stejným postupem. V současné době je zacíleno především na výrobu trvanlivého pečiva s jedlým hmyzem srovnatelného s běžným trvanlivým pečivem. Výsledky studií ukazují, že hmyz v drtivé většině případů změnil barvu výrobku do tmavšího odstínu hnědé a ovlivnil mírně chuť a vůni. U trvanlivých výrobků na rozdíl od běžného pečiva nezměnil výrazně strukturu, což je bráno pozitivně. Trvanlivé výrobky se většinou vyrábí s maximálním přidavkem 20 % hmyzí moučky, kdy platí, že čím větší podíl hmyzu, tím huře je na daný výrobek pohlíženo. [148]

Zajímavou skupinou můžou být i výrobky extrudované jako snacky, ty poukazují, že s přidavkem hmyzu vzniká kompaktnější hmota s nízkou prostorovou frekvencí prasknutí a nejnižší lámavost. [119]



Obr. č. 7. Hmyzí tyčinky [127]

4.2.3 Těstoviny s jedlým hmyzem

Na hmyzí těstoviny s přidavkem hmyzí moučky bylo provedeno několik studií zabývajících se nutriční změnou a texturní vlastností dané těstoviny a výsledky ukázaly, že obohacení pšeničných mouk hmyzími moučkami výrazně zlepšila nutriční hodnotu vzorků, zejména bílkovin, ovšem díky přidavku hmyzí moučky došlo k oslabení struktury lepkové sítě, ztrátě hmotnosti a prodloužení optimální doby vaření. [149, 151]

Z výsledku studii také vyplývá, že závisí i na druhu hmyzí moučky, např. těstoviny s přidavkem 15 % moučky z kobylek měli obecně lepší výsledky než těstoviny s přidavkem 15 % moučky z potměníka moučného, optimální druh a poměr hmyzu vhodného pro těstoviny je třeba ještě zjistit z dalších studiích. Celkově sensorické hodnocení ukázalo, že obohacené pšeničné těstoviny splnily očekávání spotřebitelů a nevykazovaly žádný významný rozdíl ve srovnání s celozrnnými těstovinami. [149, 150, 151, 152]



Obr. č. 8. Hmyzí těstoviny [127]

4.2.4 Čokoláda s jedlým hmyzem

Čokoláda s jedlým hmyzem se může na trhu vyskytovat v různých formách ať už jako dekorace na tabulku čokolády podobně jako na obr. č. 8., tak i ve formě neviditelné, popřípadě, kdy je hmyz v čokoládě celý. Tyto výrobky slouží spíše pro zaujetí spotřebitele, než by měli nějakou výjimečnou vlastnost. Jedná se tedy spíše o delikatesu než o nějaký výrobek schopný konkurovat tradičním výrobkům. Z výsledků sensorické analýzy bylo poukázáno, že evropský spotřebitel vidí hmyz v čokoládě spíše negativně, protože se konzumace hmyzu bojí a toto spojení pro něj není akceptované. Výsledky dále ukazují, že hmyz v neviditelné formě je méně děsivý, a proto je více preferovaný. [154, 155, 156]



Obr. č. 9. Čokoláda s jedlým hmyzem [127]

4.2.5 Analog masa s jedlým hmyzem

Analog masa s jedlým hmyzem se rozumí rostlinná napodobenina masa na bázi sóji s přidavkem jedlého hmyzu. Důvody proč přidávat do sójové báze jedlý hmyz je několik. Jednak se jedlý hmyz uznává z pohledu dobrých nutričních vlastností, zejména obsah bílkovin a tuku, dále má taky podobné fyzikální vlastnosti jako textura, a navíc jedlý hmyz velmi dobře absorbuje chutě z prostředí. Všechny tyto vlastnosti jsou u analogu velmi ceněné, a proto představuje jak po vědecké, tak technické stránce velkou výzvu v optimalizaci. [103, 124, 157]

Největší úspěch ve vývoji analogu masa s jedlým hmyzem drží Smetana [124], který vytvořil analog masa pomocí extruze s vysokou vlhkostí a za použití sojového proteinu a 40 % hmyzu a vody vytvořil analog masa s texturou srovnatelnou masu s obsahem proteinu 25 – 31 %. Výsledky prokázaly potenciál hmyzích proteinů vytvořit texturovaných meziproductů s vysokým obsahem bílkovin, které představují životaschopnou alternativu k čerstvým masným výrobkům. [124, 158]

4.2.6 Hybridní masné výrobky

Jedná se o výrobky, kde je část masové frakce nahrazena hmyzem. Konvenční vařené uzeniny obsahují maso, tuk, vodu a přísady, které jsou jemně rozmělněny na homogenní dílo. Přidáním soli jsou masové proteiny solubilizovány během přípravy masového těsta a vytvářejí proteinový film kolem tukových kuliček. Během následného zahřívání se proteiny koagulují a tvoří gelovou matici, ve které je zachycena voda a tuk. To určuje klíčové vlastnosti produktu, jako jsou texturní vlastnosti a stabilizace tuku a vody. [159, 160, 161]

U hybridních masných výrobků jsou tyto vlastnosti určeny hmyzem a masovými proteiny a tím, jak se vzájemně ovlivňují. Současné studie zabývající se hybridními masnými výrobky používaly suché hmyzí moučky, což mělo za následek ztrátu vlhkosti v salámu. Výsledky hybridních salámu, párků a šunek s až 10 % přídavkem jedlého hmyzu zvýšilo obsah bílkovin bez větších změn na texturní vlastnosti. [159, 160, 161]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL PRÁCE

Navržená praktická část diplomové práce je ve spolupraci s firmou Farmerio s.r.o. Cílem práce bylo stanovit optimální metodu usmrcení a nejvhodnější metodu použití pro stanovení změny profilu mastných kyselin u výrobku slunečnicový olej fortifikovaný hmyzím tukem pomocí macerace po dobu až 3 měsíců.

Dílčí cíle práce jsou:

- 1) Stanovit optimální metodu usmrcení
- 2) Určení efektivity metody macerace
- 3) Optimalizace doby macerace s cílem nejvyšší výtěžnosti
- 4) Potenciální technologické změny spojené s úpravou profilu mastných kyselin
- 5) Návrh jiných metod fortifikace výrobků hmyzím tukem

6 MATERIÁL A METODIKA

V rámci této práce byl použit hmyz druhu potemník moučný (*Tenebrio molitor*), lidově moučný červ) získaný od společnosti Farmerio s.r.o. Hmyz byl usmrčen a připraven pro další měření. Dále byl použit BIO Slunečnicový olej od společnosti Farmerio s.r.o.

6.1 Stanovení optimální metody usmrcení

Potemník moučný byl nejprve vyhladověn po dobu 2 dnů a následně opláchnut studenou vodou. V zápětí byl roztríděn podle standardní velikosti a zvážen na jednotlivé vzorky s hmotností 5 g a přesností 0,01 g. Následně byly aplikovány na jednotlivé vzorky hmyzu určité metody usmrcení.

Usmrcení mrazen bylo provedeno tak, že byl vzorek umístěn do skleněné nádoby, která byla vložena do mrazícího boxu o teplotě $-68\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 30 min. Po uplynutí této doby byl hmyz vytažen a byla stanovena míra úmrtnosti.

Usmrcení napařováním bylo provedeno tak, že byl vzorek vložen do síta a byl ponechán nad vařící vodou po dobu 5, 15, 30 a 45 sekund. Následně byla u vzorků stanovena míra úmrtnosti a vzorky byly měřeny elektronickým nosem po dobu 24 hodin.

Usmrcení vysušením bylo docíleno pomocí horkého vzduchu, kdy byl vzorek vložen na rozehrátý plecha a vložen do trouby. Při této metodě bylo použito více variant teploty a času sušení - $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ / 30 minut, $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ / 20 minut a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ / 10 minut. Následně byla stanovena míra úmrtnosti a vzorky byly měřeny elektronickým nosem po dobu 24 hodin.

U usmrcení blanšírování (neboli za použití horké vody) byl vzorek ponořen do horké vody po dobu 6 sekund. Při měření byli použity teploty $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Následně byla stanovena míra úmrtnosti a vzorky hmyzu byly měřeny elektronickým nosem po dobu 24 hodin.

Usmrcování mechanicky probíhalo pomocí drcení v mixéru. Následně byly vzorky měřeny elektronickým nosem po dobu 24 hodin.

Porovnání vzorků usmrceného hmyzu bylo prováděno pomocí experimentálního elektronického nosu, jehož senzorická část využívá odporový chemosenzor MQ-3, který je velmi citlivý na alkohol, MQ-8 s citlivostí na vodíku a MQ-135 s citlivostí na amoniak, toluen a vodík ($10\sim 1000\text{ ppm}$). [162]

Součástí e-nosu je dále kombinovaný senzor SGP30 pro těkavé organické látky (TVOC) a CO₂ equivalent (signály jsou počítány ze základních signálů pro etanol a H₂). U měření se předpokládalo využití zejména čidla MQ-135, které má z použitých čidel největší citlivost na uvolňovaný amoniak ze vzorku. Signály vzniklé z měření vzorku na senzoru byly zaznamenány pomocí mikrokontroleru a převáděny pomocí A/D převodníku na interní digitální signál d [-] v rozsahu hodnot 0 až 1023. [162]

Cílem měření pomocí e-nosu bylo orientační měření prvotních dat, které vyjadřují změny probíhající ve vzorcích po dobu 24 hodin po zabití. Cílem nebylo zjistit exaktní koncentrace uvolněného amoniaku nad měřeným vzorkem. Toto zpracování je plánováno až do další vývojové verze experimentálního e-nosu.

6.2 Macerace jedlého hmyzu

Potemník moučný byl v celé formě ponořen do rostlinného oleje s cílem macerace nutričních složek z potemníka moučného do slunečnicového oleje. Macerace probíhala po dobu až 3 měsíců, kdy se odebíraly vzorky každý měsíc. Vzorky byly skladovány za laboratorních podmínek, v plastových kelímkách s uzavíratelným víkem a uloženy do polystyrénové bedny, aby se předešlo kontaktu se slunečním světlem.

6.3 Stanovení obsahu tuku

Obsah tuků byl stanoven pomocí Soxhletovy extrakce (Obr. č. 10.), extrakce probíhala po dobu 4 hodin. Pro extrakci bylo použito rozpouštědlo n-heptan. Tato metoda byla použita pouze pro stanovení obsahu tuku u larev moučných červů, každý vzorek obsahoval 2 g zhomogenizovaného prášku z larev potemníka moučného usmrceného metodou vysušení. Obsah tuků u jednotlivých vzorků byl stanoven gravimetricky a vypočítán jako rozdíl v hmotnosti baňky s obsahem tuků po extrakci (kde bylo heptanové rozpouštědlo odseparováno na vakuové rotační odparce) a hmotností baňky před extrakci. [163, 164]



Obr. č. 10. Aparatura Soxhletovy extrakce

6.4 Stanovení profilu mastných kyselin

U vzorků jedlého hmyzu byli vyextrahované tuky po extrakci převedeny pomocí transesterifikace za použití 4 ml 0,5M metanolickeho roztoku NaOH na metylestery mastných kyselin (dále FAMES). V případě vzorků olejů bylo potřeba navážit 3 g olejů do varné baňky a následně byl esterifikován stejnou metodou jako vyextrahované tuky.

Převod tuku byl proveden za neustálého zahřívání na topném hnízdě po dobu 30 minut od doby varu v inertní atmosféře tvořené dusíkem při občasném míchání pod zpětným chladičem. Po 30 minutách bylo přes zpětný chladič přidáno 5 ml 15 % metanolickeho roztoku BF_3 , který sloužil jako kyselý katalyzátor. Po 2 minutách varu bylo přidáno přes zpětných chladič 5 ml n-heptanu, kdy var byl udržován dále po dobu 1 minuty. [164]

Po ochlazení byli vzorky odejmuty z aparatury a ke vzorku byly přidány 2 ml nasyceného vodného roztoku NaCl. Obsah baňky byl převeden do 250 ml dělicí nálevky. Baňka se následně promyla 15 ml n-heptanu, které byli přidány rovněž do dělicí nálevky. Dále bylo do dělicí nálevky přidáno další 40 ml nasyceného vodného roztoku NaCl a celý obsah byl důkladně protřepán.



Obr. č. 11. Esterifikace v inertní atmosféře N_2

Po ustálení vznikly 2 fáze (heptanová a vodná), které bylo třeba mezi sebou oddělit. Heptanová fáze obsahovala potřebné FAMEs, proto byla oddělena do kádinky a vodná fáze byla promyta 15 ml n-heptanu. Tak vznikla nová heptanová fáze, která byla opět přidána do kádinky s předchozí heptanovou fází. Spojené heptanové fáze byly převedeny do 100 ml dělicí nálevky a promyty 20 ml nasyceného roztoku NaCl. Obsah byl protřepán a heptanová fáze byla odseparována a vysušena bezvodným síranem sodným. [164]

Vzorky byly následně kvantitativně převedeny do 50 ml odměrných baněk a doplněny n-heptanem po rysku, a dále uchovány v chladu do doby další analýzy. FAMEs byly stanoveny plynovou chromatografií s plamenově ionizačním detektorem (GC-FID) na přístroji GC-2010 za použití vysoce polární chromatografické kolony HP-88 (100 m x 0,25 mm, 0,2 μ m), která je určená pro stanovení cis/trans FAMEs. Chromatografické podmínky byly následující: objem nástřiku 1 μ l, teplota nástřiku 250 °C, splitovací poměr 1:100, nosný plyn dusík, teplotní program 80 °C/ 5 min, 200 °C/ 30 min, 250 °C/ 15 min. [165]

Stanovení obsahu FAMEs ve vzorcích bylo provedeno pomocí metody vnitřního a vnějšího standartu. Vnitřní standart obsahoval metylester kyseliny undekanové (Sigma Aldrich, USA) a vnější standart FAME Mixture Supelco 37 (Sigma Aldrich, USA) obsahoval 37 vybraných mastných kyselin. Jednotlivé FAMEs byli při vyhodnocení přepočteny na estery mastných kyselin a jednotlivé zastoupení bylo vyjádřeno v g/kg sušiny. [164]

6.5 Statistické vyhodnocení dat

Hodnoty získané ze stanovování obsahu tuku a profilu mastných kyselin jsou vyjádřena jako aritmetický průměr \pm směrodatná odchylka. Hodnoty elektronického nosu byli odeslány do počítače k jeho vyhodnocení. K výpočtům byl použit program Excel (Microsoft Corporation, USA). Pro statistické vyhodnocení stanovení tuků z potměníka moučného byla použita soxhletova extrakce třikrát. Statistické vyhodnocení profilu mastných kyselin bylo provedeno devětkrát. Pro statistické vyhodnocení jednotlivých metod usmrcování byli provedeny všechny experimenty třikrát.

7 VÝSLEDKY PRÁCE

7.1 Stanovení optimální metody usmrcení

Vzorky potměníka moučného (*Tenebrio molitor*) byly analyzovány pomocí různých experimentálních metod usmrcování, kdy závěrečné hodnocení spočívalo v míře úmrtnosti, která vyhodnocovala úspěšnost metody podle procentuální četnosti usmrcených jedinců. Výsledky této metody jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tab. č. 1. Výsledky míry úmrtnosti u jednotlivých metod

Druh usmrcení	Skupina usmrcení	Míra úmrtnosti [%]
Zmrazení	30 minut	4,3 ± 0,6
Mechanické	Manuálně	100,0 ± 0,1
Napařování (párou)	5 sekund	22,3 ± 0,6
	15 sekund	65,0 ± 2,0
	30 sekund	93,6 ± 1,3
	45 sekund	100,0 ± 0,1
Blanšírování (vařící vodou)	50 °C	95,3 ± 1,6
	70 °C	98,0 ± 1,0
	100 °C	100,0 ± 0,1
Vysušení (horkým vzduchem)	70 °C / 30 minut	100,0 ± 0,1
	90 °C / 20 minut	100,0 ± 0,1
	150 °C / 10 minut	100,0 ± 0,1

Z výsledků je patrné, že všechny metody neměly vždy 100 % úspěšnost usmrcení, nejlépe byla vyhodnocena metoda mechanického usmrcení a vysušení horkým vzduchem, kde byla úmrtnost zaručena efektivitou, nebo potřebnou dobou usmrcení. Naopak metoda zmrazení vyžaduje daleko delší dobu působení, aby byla zajištěna 100 % míra úmrtnosti.

Leni et al. [49] uvádí, že potřebná doba na usmrcení mrazem je v hodinách, aby byla dostatečně efektivní. Dlouhá doba zmrazení a zhoršená kvalita vzorku, jak je popsáno v kapitole 3. 2. 2. Zmrazování, vede k vyhodnocení, že metoda zmrazování není vhodná pro optimální metodu usmrcení. Zmrazování jako metoda usmrcování lze použít pro účely dlouhodobého skladování čerstvého materiálu.

Metodou napařování se zabýval Singh et al. [63], který dospěl k úspěšnému usmrcení při napařování u cvrčka po 135 sekundách. Potemník moučný je ovšem menší, a proto stačila doba 45 sekund pro 100 % míru úmrtnosti.

Blanšírování neboli metoda založena na ponoření do vařící vody vykazovala 100 % úspěšnost až při použití teploty 100 °C po dobu 6 sekund, nižší teplota nepředstavovala zaručenou záruku úmrtnosti, ačkoliv lze předpokládat, že úmrtnost by byla zaručena delší dobou blanšírování. Tato metoda usmrcení se hojně využívá, protože představuje velmi dobré výsledky, jak je popsáno v kapitole o blanšírování. Muturgi et al. [52] uvádí optimální metodu u cvrčků 100 °C / 40 sekund. Opět je ovšem možné předpokládat, že potemník moučný bude vyžadovat daleko nižší dobu usmrcení.

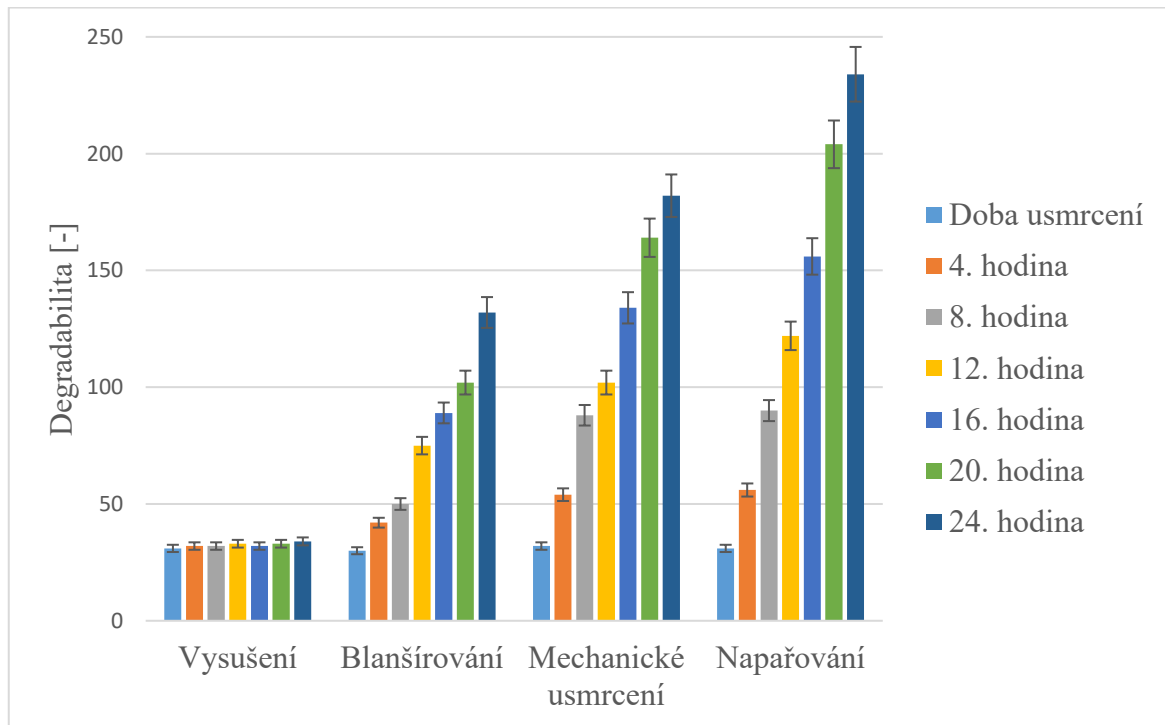
Janssen et al. [61] uvádí mechanické usmrcení, které sice představuje rychlou a účinnou metodu usmrcování, ovšem nevýhodou této metody je rychlý mikrobiální růst a oxidace lipidů.

Usmrcení pomocí metody vysušení je sice velmi účinné, vede k delší skladovatelnosti, ovšem představuje řadu negativních dopadů na hnědnutí způsobené Maillardovými reakcemi, jak uvádí Azzolini et al [58].

K měření experimentálním elektronickým norem byli použity vzorky, které měly 100 % míru úmrtnosti. V případě usmrcení vysušením (horkým vzduchem) byl zvolen vzorek 70 °C / 30 minut, jelikož se předpokládalo, že bude mít nejmenší dopady na nutriční hodnoty a nejnižší hnědnutí způsobené Maillardovými reakcemi, jak uvádí i Huang et al. [166]

Elektronický nos měřil vývoj degradability v průběhu času a ukazoval potencionální změny vzorku. Pomocí čidla MQ-135 bylo možné sledovat vývoj nárůstu amoniaku, který ve spojení s živočišnými produkty poukazuje na kažení a přeměnu látek, zejména aminokyselin. Lze předpokládat, že vzorky, u nichž dojde k nejnižší změně degradability, jsou nejudržitelnější. U senzoru SGP30 bylo možné sledovat vývoj nárůstu CO₂, který může být spojený s oxidací lipidů a stejně jako u MQ-135 poukazuje na možné kažení potraviny.

Výsledky měření senzoru MQ-135 jsou zaznamenány na obrázku č. 12. Nejmenší změny byli stanoveny u vzorku usmrcení vysušením 70 °C / 30 minut. Naopak největší změna byla sledována u vzorků usmrcených napařováním.



Obr. č. 12. Graf dlouhodobé analýzy degradačních procesů hmyzu senzorem MQ-135 (amoniak)

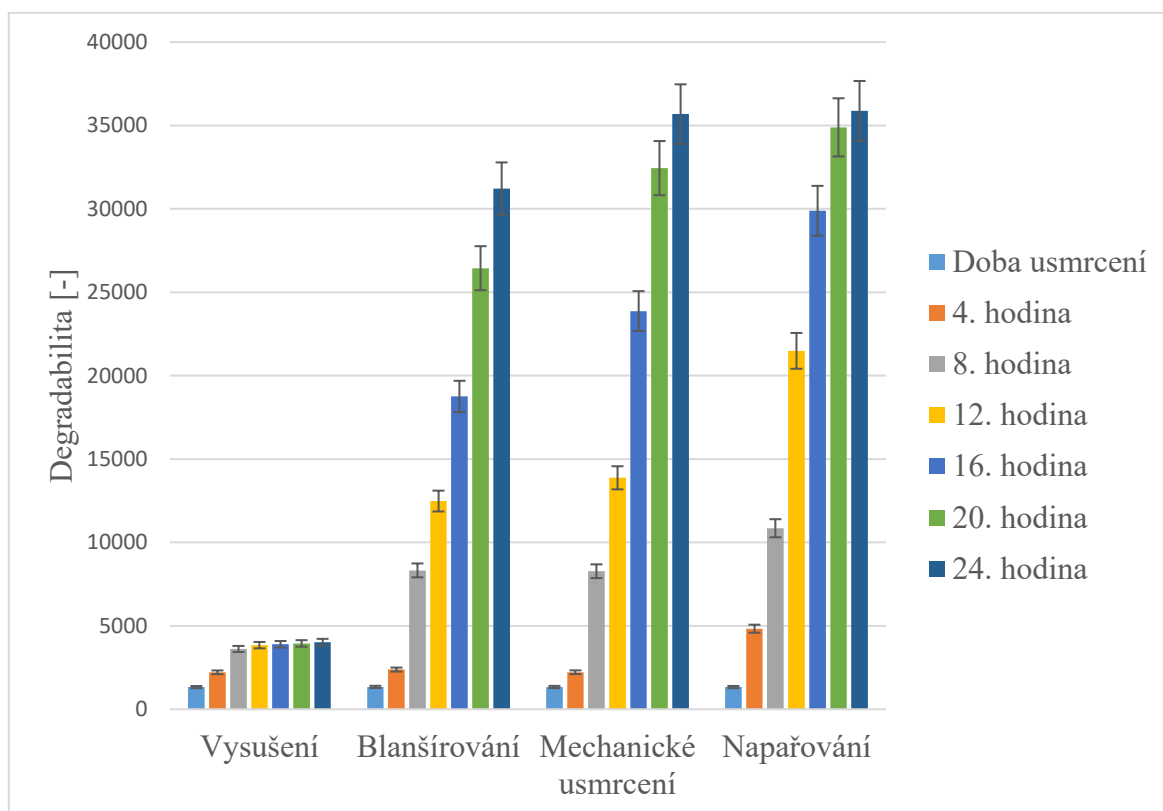
Vysušení jako metoda usmrcení rapidně snížila obsah vody a mikrobiologickou zátěž, což vede k větší trvanlivosti, a tudíž i k menším nárůstům amoniaku. Ke stejnému závěru došel i Klunder et al. [41]. Ten dále uvádí, že v případě použití nižších teplot může dojít k výskytu sporotvorných bakterií.

Blanširování je proces, při němž dochází k počátečnímu úbytku mikroorganismů, uvádí Cappelli et al. [167]. Borremans et al. [96] ovšem popisuje, že blanširování dlouhodobě nevede k mikrobiologické bezpečnosti a po nějaké době dochází k nárůstu mikroorganismů. Tyto závěry podporují naměřené výsledky, kde je počátečný nárůst degradability u blanširování pomalý, ovšem po 8. hodinách dochází k vysokému nárůstu amoniaku, způsobené pravděpodobně mikrobiologickými změnami.

Mechanické usmrcení podpořilo nárůst amoniaku ve vzorku. To ovšem bylo v souladu s teoretickými předpoklady, protože během usmrcení nebyla mikrobiální zátěž omezena.

Největší změny degradability ve vztahu k amoniaku měla metoda napařování. Je předpokládáno, že důvodem je, stejně jako u blanširování, nedostatečné dlouhodobé snížení

mikrobiální zátěže nedostatečným tepelným opracováním. Navíc blanširování vede k snížení počátečního množství mikroorganismů. Napařování však pravděpodobně nemělo takový počáteční účinek na počet mikroorganismů. Tento poznatek ale musí potvrdit až bližší podrobnější studie.



Obrázek č. 13. Graf dlouhodobé analýzy degračních procesů hmyzu senzorem SGP30 (CO₂)

Výsledky měření CO₂ u senzoru SGP30 jsou zaznamenány na obrázku č. 13. Nejmenší změny byly změřeny u vzorků usmrcených vysušením 70 °C / 30 minut. Naopak největší změny byly sledovány u vzorků usmrcených napařováním.

Výsledky degradability změřené pomocí senzoru SGP30 jsou shodné s výsledky měřené na senzoru MQ-135. V obou případech se vychází z předpokladu, že hlavním faktorem změn je obsah vody a mikrobiologická aktivita. Je samozřejmě nutné provést bližší studie zaměřující se na oba faktory a podložit tyto výsledky mikrobiologickou analýzou.

Z doložených výsledků je možné jako neoptimálnější metodu usmrcení zvolit metodu vysušením. Ačkoliv se jedná o metodu, která způsobuje řadu změn, jako je hnědnutí a snížení obsahu vody, vede tato metoda k udržitelnému produktu, který je možné dále zpracovávat.

7.2 Stanovení obsahu tuku

Celkový obsah tuku u potemníku moučných byl stanoven z důvodu porovnání s odbornou literaturou a srovnáním s daty, které uvádí výrobce při používání hmyzu při procesu macerace.

Potemník moučný obsahoval po 4 hodinách extrakce $31,37 \pm 0,44$ % tuku v sušině. Výrobce uvádí na obale hodnotu 32 %, tato hodnota může být i tak považována jako srovnatelná s hodnotou, kterou uvádí výrobce.

Totožné hodnoty uvádí i Paul et. al. a Ravzanaadii et. al., kteří uvádí obsah tuku potemníka moučného 31,9 - 32,7 %. Na druhou stranu Bednářová et. al. uvádí procentuální hodnoty v sušině $36,1 \pm 5,4$ %. [13, 15, 168]

Mlček et. al. [5] uvádí, že potemník moučný může mít různé obsahy tuku, od 14,5 – 37,1 % tuku v sušině v závislosti na způsobu chovu lze tyto hodnoty upravit a nejlépe standardizovat kvalitními podmínkami chovu. Nižší obsah tuku může být ovlivněn původem chovných potemníků v různých částech světa, specifických podmínkách a způsobech chovu jako použité krmivo, teplota, vlhkost a stáří potemníků použitých k laboratornímu rozboru. [5]

7.3 Stanovení profilu mastných kyselin

Profil mastných kyselin byl u potemníka moučného stanoven plynovou chromatografií jejich metylesterů po extrakci heptanovým rozpouštědlem a následném esterifikován metanolickým roztokem NaOH. V případě rostlinného oleje byl olej pouze esterifikován a následně byl stanoven jeho profil mastných kyselin pomocí plynové chromatografie.

Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 1, kde jsou uváděny v jednotkách g/kg sušiny. Sušina se u potemníka moučného rozumí vysušená, zhomogenizovaná moučka, v případě slunečnicového oleje se rozumí rostlinný tuk (99,9 %) [170]

Tab. č. 1. Profil MK u potměníka moučného a slunečnicového oleje [g/kg]

Sušina [g/kg]	Potměník moučný	Slunečnicový olej	Olej (1. měsíc)	Olej (2. měsíc)	Olej (3. měsíc)
C12	0,90 ± 0,25	0,09 ± 0,03	0,09 ± 0,03	0,10 ± 0,02	0,09 ± 0,03
C14	8,86 ± 0,44	0,93 ± 0,40	0,71 ± 0,03	0,80 ± 0,09	0,81 ± 0,02
C15	0,48 ± 0,15	0,09 ± 0,04	0,12 ± 0,02	0,11 ± 0,01	0,14 ± 0,04
C16	46,52 ± 2,97	32,23 ± 3,35	32,35 ± 1,46	32,65 ± 1,24	32,47 ± 0,99
C17	0,34 ± 0,15	0,12 ± 0,05	0,16 ± 0,02	0,17 ± 0,02	0,18 ± 0,03
C18	6,68 ± 0,62	15,70 ± 1,06	16,66 ± 0,87	16,76 ± 0,71	16,74 ± 0,88
C20	0,06 ± 0,03	1,00 ± 0,15	1,19 ± 0,18	1,17 ± 0,11	1,13 ± 0,12
C22	ND	2,61 ± 0,40	2,70 ± 0,17	2,82 ± 0,18	2,95 ± 0,37
Σ SFA	63,92 ± 4,17	52,76 ± 5,18	53,98 ± 2,62	54,58 ± 2,20	54,51 ± 2,29
C16:1 (n-7)	6,68 ± 0,62	1,15 ± 0,30	1,14 ± 0,07	1,13 ± 0,07	1,15 ± 0,05
C17:1 (n-7)	0,39 ± 0,24	0,23 ± 0,12	0,29 ± 0,04	0,31 ± 0,05	0,31 ± 0,06
C18:1 (n-9)	120,32 ± 11,37	758,05 ± 16,75	760,22 ± 19,26	758,74 ± 16,26	764,62 ± 22,96
C20:1 (n-9)	0,08 ± 0,01	0,92 ± 0,17	0,98 ± 0,05	1,03 ± 0,08	1,01 ± 0,07
Σ MUFA	125,59 ± 10,99	760,36 ± 19,26	762,62 ± 19,39	761,21 ± 16,41	767,08 ± 22,98
C18:2 (n-6)	62,43 ± 4,24	44,36 ± 2,80	43,31 ± 2,15	43,76 ± 1,32	44,69 ± 1,68
C18:3 (n-3)	2,24 ± 0,32	1,10 ± 0,19	1,24 ± 0,07	1,22 ± 0,01	1,28 ± 0,13
Σ PUFA	64,67 ± 4,52	45,46 ± 2,87	44,55 ± 2,22	44,98 ± 1,32	45,96 ± 1,81
Σ MK [g/kg]	254,10 ± 6,80	858,58 ± 16,77	861,15 ± 24,09	860,77 ± 19,89	867,55 ± 26,84

Z výsledků profilu mastných kyselin uvedených v tabulce č. 2 je možné prokázat u potměníka moučného nejvyšší hodnoty mastných kyselin u kyseliny myristové (C14:0), kyseliny palmitové (C16:0), kyseliny palmitoolejové (C16:1), kyseliny stearové (C18:0), kyseliny olejové (C18:1) a kyseliny linolové (C18:2), které tvoří majoritní zastoupení ze všech naměřených mastných kyselin. K podobným závěrům došli i jiní autoři Ravzanaadii et al. uvádí, že poměr majoritních mastných kyselin zůstává stejný [15]

U slunečnicového oleje jsou majoritní mastné kyseliny velmi podobné. Největší zastoupení mastných kyselin u slunečnicového oleje je u kyseliny olejové (C18:1), kyseliny linolové (C18:2), kyseliny myristové (C16:0) a kyseliny stearové (C18:0). Profil slunečnicového oleje je srovnatelný se slunečnicovým olejem s vysokým obsahem kyseliny olejové. [169]

Tab. č. 3. Profil dominantních mastných kyselin v procentuálním zastoupení [%]

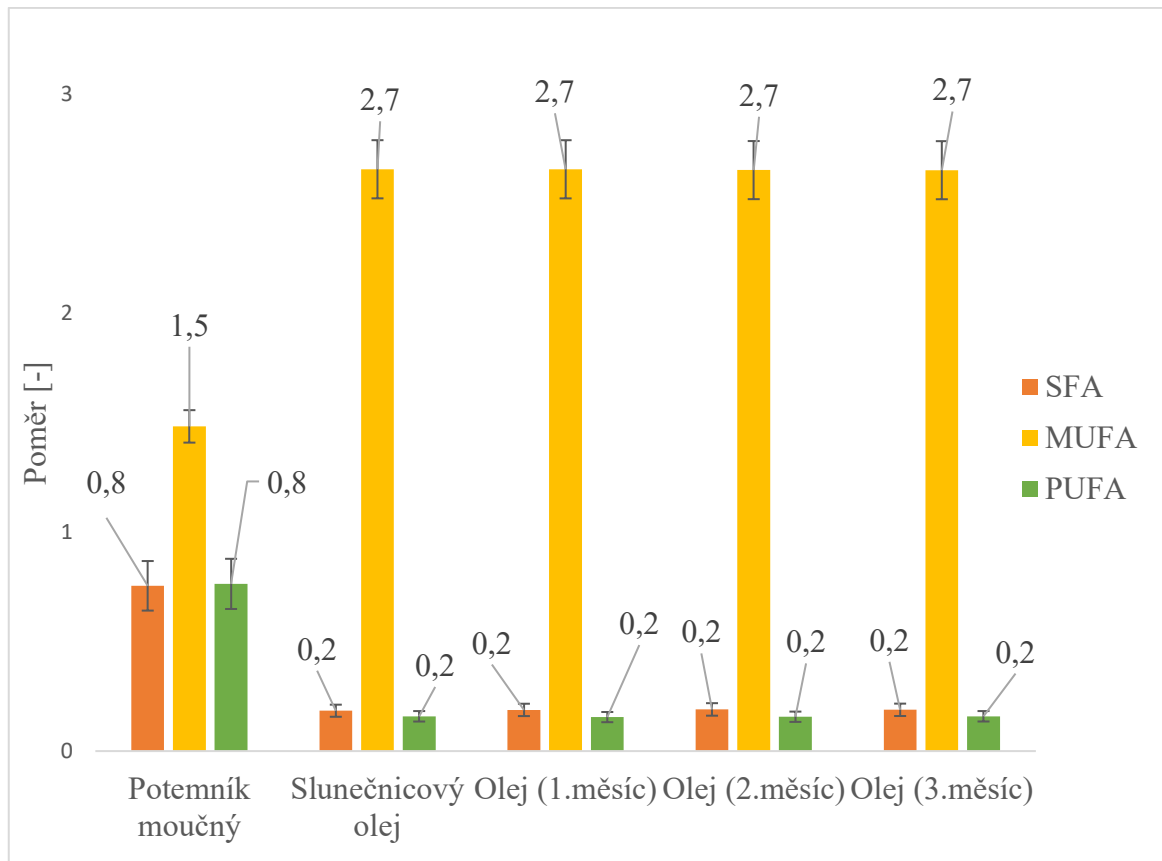
Sušina [%]	Potemník moučný	Slunečnicový olej	Olej (1. měsíc)	Olej (2. měsíc)	Olej (3. měsíc)
C14	3,49	0,11	0,08	0,09	0,09
C16	18,31	3,75	3,76	3,79	3,74
C18	2,63	1,83	1,93	1,95	1,93
C16:1	1,89	0,13	0,13	0,13	0,13
C18:1	47,35	88,29	88,28	88,15	88,14
C18:2	24,57	5,17	5,03	5,08	5,15
Σ MK [%]	98,23	99,28	99,21	99,20	99,09

Procentuální zastoupení mastných kyselin je uvedeno v Tabulce č. 3. a potvrzuje majoritní zastoupení vybraných mastných kyselin tvořící až 99 % podíl všech mastných kyselin ve vzorku.

Poměr n-3 a n-6 mastných kyselin u potemníka moučného, ukazuje vysoký nedostatek n-3 mastné kyseliny oproti n-6. To potvrzuje hypotézu A. Paula et. al., který uvádí, že snížené množství n-3 mastné kyseliny, lze zvýšit suplementací krmiva, a tím zvýšit poměr nutričních hodnot. [13]

Zajímavé hodnoty z měření mastných kyselin, lze vyjádřit součtem nasycených, monoenoových a polyenoových (obr. č. 12). Podle Českých výživových doporučení (2012) je vhodný poměr nasycených, monoenoových a polyenoových mastných kyselin 1 : 1,4 : 0,6. [171]

Z naměřených dat byli vytvořeny poměry. U larev potemníka moučného byl stanoven poměr 0,8 : 1,5 : 0,8 a u slunečnicového oleje 0,2 : 2,7 : 0,2. Podle poměrů mastných kyselin je možné určit jako vhodnější zdroj tuku z larev potemníka moučného určeného k lidské spotřebě. Fortifikace zejména mastných kyselin a polynenasycených mastných kyselin by mohla zlepšit nutriční poměr mastných kyselin v slunečnicovém oleji.



Obr. č. 12. Poměrový obsah nasycených, monoenoových a polyenoových mastných kyselin

Hodnoty vycházející z procesu macerace po dobu až 3 měsíců ukazují, že obsah mastných kyselin se v průběhu macerace nemění, důvodem může být poměrně podobná profilová skladba, která do jisté míry kopíruje oba vzorky. To se ovšem jeví jako méně pravděpodobné, jelikož i odlišné procentuální mastné kyseliny nebyly ovlivněny, a to ani opačným směrem (z oleje do hmyzu).

Dalším důvodem může být samotný proces macerace, který je příliš šetrný na to, aby byl schopen fortifikace tohoto druhu. Potemník moučný, který obsahuje 32 % tuku a je ponořen do prostředí s 99,9 % tuku zkrátka nemá prostor provést difuzi na úrovni mastných kyselin. V úvahu je třeba brát i možnosti jiných látek jako vitamíny rozpustných v tucích, které by mohli macerovat do oleje, tuto problematiku je ovšem nutné ještě prozkoumat, zda existuje potencionální důvod pro použití macerace u tohoto výrobku.

Macerace sice představuje šetrnou metodu výměny látek, ovšem má limitující omezení. Pro maceraci je klíčové především vysoká hygiena a pokud možno mikrobiologická bezpečnost z důvodu kontaminace. To je ovšem ve vztahu k jedlému hmyzu potenciálně problematické, jelikož zaručení mikrobiologické bezpečnosti je spojeno s tepelnou úpravou, při níž dochází

k namáhání a denaturaci nutričních složek, což může vést k negativním dopadům na vůni, chuť a tvorbu nežádoucích produktu.

Proces macerace ve vztahu k fortifikaci rostlinného oleje se ukázal jako neefektivní, je ovšem možné využít i jiné metody vedoucí k fortifikaci. Základem těchto alternativních metod může být metoda lisování za studena, nebo extrakční metody. Díky těmto metodám by bylo jednodušší izolovat hmyzí tuk z larev potměníka moučného a následně jej zhomogenizovat s rostlinným olejem.

Matthaus et al. [88] se zabýval získáváním oleje z jedlého hmyzu konkrétně z larev mouchy černého vojáka (*Hermetia illucens*) pomocí lisování za studena, ve výsledku podotkl, že je nutné takto získaný tuk rafinovat, aby byla zachována jeho bezpečnost. Mezi kroky rafinace uvedl neutralizaci, bělení a deodoraci, těmito kroky lze docílit izolaci tuku, který bude bezpečný v souladu s normou Codex Alimentarius.

Extrakcí pomocí organických rozpouštědel se zabýval Alves et al. [107] ten uvádí, že extrahovaný tuk z jedlého hmyzu má nízkou toxicitu, při pokusech na potkanech dále poukázal na snížení hladiny cholesterolu a glukózy při aplikaci hmyzího tuku. Problematika spojená s organickou extrakcí je obecně spojována s nechutí extrahovat tuk pomocí chemikálií.

Extrakci tuku pomocí superkritické extrakce CO₂ se zabýval Smetana et al. [135] ten extrahovat tuk z larvy mouchy černého (*Hermetia illucens*) a moučného červa (*Tenebrio molitor*) s cílem vyrobit margarín na bázi hmyzu. Výsledkem této extrakce bylo možné vyrobit margarín s přídavkem až 60 % náhrady celkového obsahu tuku. Dále bylo poukázáno na zvýšení intenzity nažloutlé barvy typické pro tržní máslo a margarín, oba margaríny vykazovali vynikající roztírací vlastnosti ihned po vyjmutí z lednice a při pokojové teplotě. Margarín na bázi hmyzu je zajímavým produktem v dosti konvenční produktové kategorii, s možnostmi mnoha komercializace.

Macerační metodou se zabýval Winitchai et al. [172] ten porovnával extrakční a macerační metodu tuku u bource morušového (*Bombyx mori*) a dospěl závěru, že macerační metoda má o 80 % menší výtěžnost tuku oproti extrakční metodě.

Využití macerace u rostlinného oleje jedlým hmyzem nebylo doposud zkoumáno jinými autory, proto není možné výsledky srovnat s jinými autory. Je proto potřeba provést širší výzkum aplikace této metody.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala dvěma technologickými operacemi při zpracování jedlého hmyzu u druhu potměnk moučný. První operací bylo stanovením optimální metody usmrcení. Druhá část se zabývala stanovením profilu mastných kyselin u slunečnicového oleje obohaceného larvami potměnka moučného pomocí metody macerace. Cílem bylo vyhodnotit optimální metodu usmrcení jedlého hmyzu a efektivitu použité metody macerace, popsat její funkční změny a navrhnout kroky k jejímu zlepšení.

Jako účinné metody usmrcování byli vyhodnoceny metody, které byly schopny docílit 100% úmrtnosti a patří mezi ně blanširování (100 °C / 6 sekund), napařování (po dobu 45 sekund), vysušení (70 °C / 30 minut) a mechanického usmrcení. Zmrazení (-68 °C / 30 minut) se časově jeví jako méně účinná metoda usmrcení. Požadavek na 100 % úmrtnost při usmrcování, ovšem není jediný faktor rozhodující o optimální metodě usmrcení. Z tohoto důvodu, proto byly vzorky usmrceného hmyzu analyzovány po dobu 24 hodin experimentálním elektronickým nosem, aby se zaznamenaly a vyhodnotily změny, které by mohli výrazně ovlivnit kvalitu a bezpečnost suroviny.

Pro tuto práci byly vybrány u elektronického nosu senzory MQ-135 pro vývoj amoniaku a SGP30 pro vývoj CO₂. Oba senzory identifikovali, že hmyz, který byl usmrcen vysušením, byl bez větších změn a jeho kvalita se v průběhu 24 hodin nezměnila. Ostatní vzorky vykazovali nárůst jak amoniaku, tak CO₂. Předpokládá se, že hlavním faktorem změn je obsah vody a mikrobiologická aktivita. Je samozřejmě nutné provést bližší studie zaměřující se na oba faktory a podložit tyto výsledky mikrobiologickou analýzou.

Z těchto výsledků je možné vyhodnotit jako optimální metodu usmrcování vysušením. Přestože má tato metoda negativní stránky, jako je změna barvy, je možné tuto metodu vyhodnotit jako metodu optimální z důvodu zvýšené trvanlivosti a obecně se jedná o zjednodušení celého výrobního procesu.

Z výsledků je zřejmé, že mezi profilem mastných kyselin z potměnka moučného a slunečnicového oleje s vysokým obsahem kyseliny olejové existuje shoda v zastoupení dominantních mastných kyselin, což se ukazuje jako komplikace, protože není jisté, zda k výměně látek vůbec došlo.

Z minoritních zastoupeních mastných kyselin, ovšem můžeme vidět znatelné odlišnosti v obsahu mastných kyselin jako u kyseliny myristové (C14:0) a kyseliny palmitoolejové (C16:1). Tyto mastné kyseliny se vyskytují ve větších koncentracích u potměnka moučného.

Pokud by probíhala macerace podle očekávání, byly by znatelně vidět tyto změny právě u odlišných mastných kyselin.

Metoda macerace se z pohledu fortifikace mastných kyselin jeví jako neefektivní. Metoda je sice šetrná a nevyžaduje vyšší náklady na provoz, ovšem je limitující svojí funkčností a dobou macerace. Ačkoliv se obohacení mastných kyselin u slunečnicového oleje neprokázala, je možné, že jiné látky jako vitamíny rozpustné v tucích přešli do rostlinného oleje, ovšem potvrdit obohacení oleje o jiné látky z hmyzu musí další studie.

Jako alternativní metoda se jeví metoda lisování za studena, nebo extrakční metoda pomocí rozpouštědel, nebo superkritická fluidní extrakce. Tyto metody pracují na izolaci tuku z larev potměníka moučného, získaný tuk by mohl být následně přidáván do rostlinného oleje.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SPONHEIMER, M., et al. Sr/Ca and early hominin diets revisited: new data from modern and fossil tooth enamel. *Journal of Human Evolution*, 2005, 48(2) 147-156.
- [2] JONGEMA, Y. List of edible insects of the world. Wageninge University & Research [online]. 2015
- [3] DEFOLIART, G. R. Insects as human food: Gene DeFoliart discusses some nutritional and economic aspects. *Crop Protection*. 1992, 11(5), 395-399.
- [4] EFSA, Risk profile related to production and consumption of insects as food anfeed. *EFSA Journal*. 2015, 13(10), 4257.
- [5] MLČEK, J., et al. Feed Parameters Influencing the Breeding of Mealworms (*Tenebrio molitor*). *Sustainability*, 2021, 13(23).
- [6] RAMOS-ELORDUY, J., et al. Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico. *Journal of food composition and analysis*, 1997, 10(2) 142-157.
- [7] NOWAK, V., et al. Review of food composition data for edible insects. *Food chemistry*, 2016, 193: 39-46.
- [8] BAEK, M., et al. Effects of processing methods on nutritional composition and antioxidant activity of mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae. *Entomological Research*, 2019, 49(6) 284-293.
- [9] TANČINOVÁ, D., et al. *Mikrobiológia potravín. 2*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2008. ISBN 978-80-552-0145-0.
- [10] WHO a FAO. *Food labelling. 5*. Rome: WHO, FAO, 2007. ISBN 978-92-5-105840-4.
- [11] BEDNÁŘOVÁ, M., et al. Purine derivate content and amino acid profile in larval stages of three edible insects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2014, (94), 71-76.
- [12] BEDNÁŘOVÁ, M., et al. Insect as food in Czech republic. *Proceedings Mendel Net*, 2010, 24: 674-682.
- [13] PAUL, A., et al. Grasshoppers as a food source? A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 2016, (20) 337-352.

- [14] VAN BROEKHOVEN, S., et al. Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *Journal of insect physiology*, 2015, 73: 1-10.
- [15] RAVZANAADII, N., et al. Nutritional value of mealworm, *Tenebrio molitor* as food source. *International Journal of Industrial Entomology*, 2012, 25(1) 93-98.
- [16] RAKSAKANTONG, P., et al. Fatty acids and proximate composition of eight Thai edible terricolous insects. *Food Research International*, 2010, 43(1) 350-355.
- [17] XIAOMING, Ch., et al. Review of the nutritive value of edible insects. *Forest insects as food: humans bite back*, 2010, 85.
- [18] RAMOS-ELORDUY, J., et al. Could grasshoppers be a nutritive meal?. *Food and Nutrition Sciences*, 2012.
- [19] MORALES-RAMOS, J. A., et al. Nutritional value of pupae versus larvae of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) as food for rearing *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae). *Journal of Economic Entomology*, 2016, 109(2) 564-571.
- [20] KWON, G. T., et al. Mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.) exuviae as a novel prebiotic material for BALB/c mouse gut microbiota. *Food Science and Biotechnology*, 2020, 29(4) 531-537.
- [21] WU, S., et al. Determination of some important technique parameters in the course of breeding *Tenebrio molitor*. *Journal of Economic Animal*, 2009, 13(1) 28-31.
- [22] SONG, Y. S., et al. Extraction of chitin and chitosan from larval exuvium and whole body of edible mealworm, *Tenebrio molitor*. *Entomological Research*, 2018, 48(3) 227-233.
- [23] BORKOVCOVÁ, M., et al. Kuchyně hmyzem zpestřená 1. Brno: Lynx, 2009, s. 135. ISBN 978-80-86787-37-4.
- [24] HAHN, T., et al. New methods for high-accuracy insect chitin measurement. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98(13) 5069-5073.
- [25] FINKE, M. D. Complete nutrient content of four species of commercially available feeder insects fed enhanced diets during growth. *Zoo biology*. 2015, 34(6), 554-564.
- [26] SIMON, E., et al. Elemental concentration in mealworm beetle (*Tenebrio molitor* L.) during metamorphosis. *Biological trace element research*, 2013, 154(1), 81-87.

- [27] YEN, A. L. Insects as food and feed in the Asia Pacific region: current perspectives and future directions. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2015, 1(1) 33-55.
- [28] YEN, A. L. Conservation of Lepidoptera used as human food and medicine. *Current Opinion in Insect Science*, 2015, 12: 102-108.
- [29] FENG, Y., et al. Edible insects in China: Utilization and prospects. *Insect Science*, 2018, 25(2) 184-198.
- [30] VAN HUIS, A.. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual review of entomology*, 2013, 58: 563-583.
- [31] BERGGREN, Å., et al. Using current systems to inform rearing facility design in the insect-as-food industry. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2018, 4(3) 167-170.
- [32] KRÖNCKE, N., et al. Automation of insect mass rearing and processing technologies of mealworms (*Tenebrio molitor*). In: *African edible insects as alternative source of food, oil, protein and bioactive components*. Springer, Cham, 2020. p. 123-139.
- [33] ADÁMKOVÁ, A. Nutriční rozbor a optimalizace chovu vybraných druhů jedlého hmyzu v podmínkách ČR s ohledem na zdraví člověka. Praha, 2017. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- [34] ONDRÁČEK, J. Chov hmyzu—zdroj živočišných krmiv. *Bioinfo České Budějovice*, 1992, 12-13.
- [35] FINKE, M. D. Nutrient content of insects. In: *Encyclopedia of Entomology*. USA: Springer, 2004, s. 1563-1575. ISBN 978-0-306-48380-6
- [36] GAO, Y., et al. Toxicological characteristics of edible insects in China: A historical review. *Food and Chemical Toxicology*, 2018, 119: 237-251.
- [37] ADÁMKOVÁ, A., et al. Welfare of the mealworm (*Tenebrio molitor*) breeding with regard to nutrition value and food safety. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 2017.
- [38] MORALES-RAMOS, J. A., et al. Developmental plasticity in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae): Analysis of instar variation in number and development time under different diets. *Journal of Entomological Science*, 2010, 45(2) 75-90.

- [39] YANG, SS., et al. Ubiquity of polystyrene digestion and biodegradation within yellow mealworms, larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae). *Chemosphere*, 2018, 212: 262-271.
- [40] VANDEWEYER, D., et al. Microbial counts of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) and crickets (*Acheta domesticus* and *Gryllodes sigillatus*) from different rearing companies and different production batches. *International journal of food microbiology*, 2017, 242: 13-18.
- [41] KLUNDER, H. C., et al. Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food control*, 2012, 26(2) 628-631.
- [42] ENGEL, P., et al. The gut microbiota of insects—diversity in structure and function. *FEMS microbiology reviews*, 2013, 37(5) 699-735.
- [43] FASFC. Food Safety Aspects of Insects Intended for Human Consumption. 2014.
- [44] LI, L., et al. Can closed artificial ecosystem have an impact on insect microbial community? A case study of yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.). *Ecological Engineering*, 2016, 86: 183-189.
- [45] NVWA, Netherlands Food; AUTHORITY, Consumer Product Safety. Advisory Report on the Risks Associated with the Consumption of Mass-Reared Insects. NVWA/BuRO/2014/2372, 2014.
- [46] WYNANTS, E., et al. Effect of post-harvest starvation and rinsing on the microbial numbers and the bacterial community composition of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). *Innovative food science & emerging technologies*, 2017, 42: 8-15.
- [47] CALIGIANI, A., et al. Influence of the killing method of the black soldier fly on its lipid composition. *Food Research International*, 2019, 116: 276-282.
- [48] LAROUCHE, J., et al. Effects of killing methods on lipid oxidation, colour and microbial load of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Animals*, 2019, 9(4) 182.
- [49] LENI, G., et al. Killing method affects the browning and the quality of the protein fraction of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) prepupae: A metabolomics and proteomic insight. *Food Research International*, 2019, 115: 116-125.
- [50] ADEOYE, O. T., et al. Socio economic analysis of forest edible insects species consumed and its role in the livelihood of people in Lagos State. *Food Stud*, 2014, 3: 104.

- [51] VAN HUIS, A., et al. Insects as food and feed: from production to consumption. Wageningen Academic Publishers, 2016.
- [52] MUTURGI, C., et al. Postharvest processes of edible insects in Africa: A review of processing methods, and the implications for nutrition, safety and new products development. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2017, 1–23.
- [53] ERDOGDU, F., et al. Cook-related yield loss for pacific white (*Penaeus vannamei*) shrimp previously treated with phosphates: Effects of shrimp size and internal temperature distribution. *J. Food Eng.* 2004, 64, 297–300
- [54] HEALTH CANADA. Microbial Guidelines for Ready-to-Eat Foods—A Guide for the Conveyances Industry and Environmental Health Officers (EHO); Health Canada: Ottawa, ON, Canada, 2013; p. 9.
- [55] RUSSELL, N.J., et al. Food Preservatives, 2nd ed.; Springer: Berlin, Germany, 2003; p. 380.
- [56] JAY, J.M. Modern Food Microbiology, 4th ed.; Chapman & Hall: New York, NY, USA, 1992; p. 701.
- [57] YU, L., et al. Quality of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) during the storage at -18°C as affected by different methods of freezing. *Int. J. Food Prop.* 2018, 21, 2100–2109.
- [58] AZZOLLINI, D., et al. Understanding the drying kinetic and hygroscopic behaviour of larvae of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) and the effects on their quality. *J. Insects Food Feed* 2016, 2, 233–243
- [59] HOSSEINPOUR, S., et al. Application of computer vision technique for on-line monitoring of shrimp color changes during drying. *J. Food Eng.* 2013, 115, 99–114.
- [60] NILSON, T.L., et al. The effects of carbon dioxide anesthesia and anoxia on rapid cold-hardening and chill coma recovery in *Drosophila melanogaster*. *J. Insect Physiol.* 2006, 52, 1027–1033
- [61] JANSSEN, R.H., et al. Iron-polyphenol complexes cause blackening upon grinding *Hermetia illucens* (black soldier fly) larvae. *Sci. Rep.* 2019, 9, 2967.
- [62] BARDEN, L., et al. Lipid oxidation in low-moisture food: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2016, 56, 2467–2482.

- [63] SINGH, Y., et al. Effect of different killing methods on physicochemical traits, nutritional characteristics, in vitro human digestibility and oxidative stability during storage of the house cricket (*Acheta domesticus* L.). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2020, 65.
- [64] MEGIDO, R. C., et al. Edible insects acceptance by Belgian consumers: promising attitude for entomophagy development. *Journal of Sensory Studies*, 2014, 29(1) 14-20.
- [65] MEGIDO, R. C., et al. Consumer acceptance of insect-based alternative meat products in Western countries. *Food quality and preference*, 2016, 52: 237-243.
- [66] MEGIDO, R. C., et al. Effect of household cooking techniques on the microbiological load and the nutritional quality of mealworms (*Tenebrio molitor* L. 1758). *Food Research International*, 2018, 106: 503-508.
- [67] DAVID-BIRMAN, T., et al. Effects of thermal treatments on the colloidal properties, antioxidant capacity and in-vitro proteolytic degradation of cricket flour. *Food Hydrocolloids*, 2018, 79: 48-54.
- [68] DAVID-BIRMAN, T., et al. Impact of thermal processing on physicochemical properties of silk moth pupae (*Bombyx mori*) flour and in-vitro gastrointestinal proteolysis in adults and seniors. *Food Research International*, 2019, 123: 11-19.
- [69] MELIS, R., et al. Effect of freezing and drying processes on the molecular traits of edible yellow mealworm. *Innovative food science & emerging technologies*, 2018, 48: 138-149.
- [70] LAUTENSCHLÄGER, T., et al. Impact of different preparations on the nutritional value of the edible caterpillar *Imbrasia epimethea* from northern Angola. *European Food Research and Technology*, 2017, 243(5) 769-778.
- [71] GRABOWSKI, N. T., et al. Microbiology of cooked and dried edible Mediterranean field crickets (*Gryllus bimaculatus*) and superworms (*Zophobas atratus*) submitted to four different heating treatments. *Food Science and Technology International*, 2017, 23(1) 17-23.
- [72] SANTIAGO, L. A., et al. How does the thermal-aggregation behavior of black cricket protein isolate affect its foaming and gelling properties?. *Food Hydrocolloids*, 2021, 110.
- [73] HE, W., et al. Effect of heat, enzymatic hydrolysis and acid-alkali treatment on the allergenicity of silkworm pupa protein extract. *Food chemistry*, 2021, 343.

- [74] MANDITSERA, F. A., et al. Effect of domestic cooking methods on protein digestibility and mineral bioaccessibility of wild harvested adult edible insects. *Food Research International*, 2019, 121: 404-411.
- [75] BORDIN, K., et al. Changes in food caused by deep fat frying-A review. *Arch Latinoam Nutr*, 2013, 63(1) 5-13.
- [76] TIAN, Y., et al. Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms. *Food Chemistry*, 2016, 197: 714-722.
- [77] VADIVAMBAL, R., et al. Changes in quality of microwave-treated agricultural products—a review. *Biosystems engineering*, 2007, 98(1) 1-16.
- [78] LENAERTS, S., et al. Suitability of microwave drying for mealworms (*Tenebrio molitor*) as alternative to freeze drying: Impact on nutritional quality and colour. *Food chemistry*, 2018, 129-136.
- [79] MAZUR, P. Freezing of living cells: mechanisms and implications. *American journal of physiology-cell physiology*, 1984, 247(3): 125-142.
- [80] SOUZU, H. Studies on the damage to *Escherichia coli* cell membrane caused by different rates of freeze-thawing. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*, 1980, 603(1) 13-26.
- [81] DOSSEY, A. T., et al. Modern insect-based food industry: current status, insect processing technology, and recommendations moving forward. In: *Insects as sustainable food ingredients*. Academic Press, 2016. 113-152.
- [82] BERRY, M., et al. Effects of freezing on nutritional and microbiological properties of foods. *Frozen food science and technology*, 2008, 26.
- [83] ALEXANDRER, DD., et al. Processed meat and colorectal cancer. *European journal of cancer prevention*. 2010 19(5) 328-41.
- [84] TIENCHEU B., et al. Changes of lipids in insect (*Rhynchophorus phoenicis*) during cooking and storage. *European journal of lipid science and technology*. 2013, 115(2) 186-95.
- [85] WU, X., et al. Factors impacting ethanol production from grain sorghum in the dry-grind process. *Cereal Chemistry*, 2007, 84(2) 130-136.

- [86] YI, L., et al. Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food chemistry*, 2013, 141(4) 3341-3348.
- [87] MIKKOLA, H. *Future Foods.*, 2017. [Online] ISBN 978-953-51-3551-7
- [88] MATTHAUS, B., et al. Renewable Resources from Insects: Exploitation, Properties, and Refining of Fat Obtained by Cold-Pressing from *Hermetia illucens* (Black Soldier Fly) Larvae. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2019, 121(7).
- [89] MARIOD, A., et al. Effects of processing on the quality and stability of three unconventional Sudanese oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2006, 108(4) 298-308.
- [90] CUYPERS, T., et al. Direct liquid-phase phenol-to-aniline amination using Pd/C. *Catalysis Science & Technology*, 2018, 8(10) 2519-2523.
- [91] CASTRO-LÓPEZ, C., et al. An insight to fermented edible insects: A global perspective and prospective. *Food Research International*, 2020, 137.
- [92] KEWUYEMI, Y. O., et al. Fermented edible insects for promoting food security in Africa. *Insects*, 2020, 11(5) 283.
- [93] VINICIUS DE MELO PEREIRA, G., et al. A review of selection criteria for starter culture development in the food fermentation industry. *Food Reviews International*, 2020, 36(2) 135-167.
- [94] MUTUNGI, C., et al. Postharvest processes of edible insects in Africa: A review of processing methods, and the implications for nutrition, safety and new products development. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2019, 59(2) 276-298.
- [95] YAO, M., et al. Study on reducing antigenic response and IgE-binding inhibitions of four milk proteins of *Lactobacillus casei* 1134. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2015, 95(6) 1303-1312.
- [96] BORREMANS, A., et al. Effect of blanching plus fermentation on selected functional properties of mealworm (*Tenebrio molitor*) powders. *Foods*, 2020, 9(7) 917.
- [97] CALIGIANI, A., et al. Composition of black soldier fly prepupae and systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and chitin. *Food research international*, 2018, 105: 812-820.

- [98] KIM, T. K., et al. Thermal stability and rheological properties of heat-induced gels prepared using edible insect proteins in a model system. *LWT*, 2020, 134.
- [99] NDIRITU, A. K., et al. Extraction technique influences the physico-chemical characteristics and functional properties of edible crickets (*Acheta domesticus*) protein concentrate. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2017, 11(4) 2013-2021.
- [100] YI, L., et al. Protein identification and in vitro digestion of fractions from *Tenebrio molitor*. *European Food Research and Technology*, 2016, 242(8) 1285-1297.
- [101] MARIOD, A. A., et al. Extraction and characterization of gelatin from two edible Sudanese insects and its applications in ice cream making. *Food Science and Technology International*, 2015, 21(5) 380-391.
- [102] PURSCHKE, B., et al. Improvement of techno-functional properties of edible insect protein from migratory locust by enzymatic hydrolysis. *European Food Research and Technology*, 2018, 244(6) 999-1013.
- [103] BUßLER, S., et al. Recovery and techno-functionality of flours and proteins from two edible insect species: Meal worm (*Tenebrio molitor*) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Heliyon*, 2016, 2(12).
- [104] MINTAH, B. K., et al. Techno-functional attribute and antioxidative capacity of edible insect protein preparations and hydrolysates thereof: Effect of multiple mode sonochemical action. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2019, 58.
- [105] DEL HIERRO, J. N., et al. Characterization, antioxidant activity, and inhibitory effect on pancreatic lipase of extracts from the edible insects *Acheta domesticus* and *Tenebrio molitor*. *Food chemistry*, 2020, 309.
- [106] BBOSA, T., et al. Nutritional characteristics of selected insects in Uganda for use as alternative protein sources in food and feed. *Journal of Insect Science*, 2019, 19(6) 23.
- [107] ALVES, A. V., et al. Safety evaluation of the oils extracted from edible insects (*Tenebrio molitor* and *Pachymerus nucleorum*) as novel food for humans. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2019, 102: 90-94.
- [108] COLLADOS, A., et al. Applying food enzymes in the kitchen. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2020, 21.

- [109] HALL, F., et al. Effect of enzymatic hydrolysis on bioactive properties and allergenicity of cricket (*Gryllobates sigillatus*) protein. *Food chemistry*, 2018, 262: 39-47.
- [110] PINO, F. R., et al. Evaluation of *Tenebrio molitor* protein as a source of peptides for modulating physiological processes. *Food & Function*, 2020, 11(5) 4376-4386.
- [111] HALL, F., et al. Effect of microwave-assisted enzymatic hydrolysis of cricket (*Gryllobates sigillatus*) protein on ACE and DPP-IV inhibition and tropomyosin-IgG binding. *Journal of Functional Foods*, 2020, 64.
- [112] ZIELIŃSKA, E., et al. Antioxidant and anti-inflammatory activities of hydrolysates and peptide fractions obtained by enzymatic hydrolysis of selected heat-treated edible insects. *Nutrients*, 2017, 9(9) 970.
- [113] LIU, Y., et al. Antioxidant activity and stability study of peptides from enzymatically hydrolyzed male silkworm. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2017, 41(1)
- [114] TANG, Y., et al. Changes in the amino acid profiles and free radical scavenging activities of *Tenebrio molitor* larvae following enzymatic hydrolysis. *PLoS One*, 2018, 13(5).
- [115] NONGONIERMA, A. B., et al. Unlocking the biological potential of proteins from edible insects through enzymatic hydrolysis: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2017, 43: 239-252.
- [116] DE CASTRO, R. J. S., et al. Nutritional, functional and biological properties of insect proteins: Processes for obtaining, consumption and future challenges. *Trends in food science & technology*, 2018, 76: 82-89.
- [117] BRENNAN, M. A., et al. Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science & Technology*, 2013, 48(5) 893-902.
- [118] GUY, R. *Extrusion cooking: technologies and applications*. Woodhead publishing, 2001. ISBN 0-8493-1207-8
- [119] AZZOLLINI, D., et al. Effects of formulation and process conditions on microstructure, texture and digestibility of extruded insect-riched snacks. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2018, 45: 344-353.

- [120] TILMAN, D., et al. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 2014, 518-522.
- [121] WILD, F., et al. The evolution of a plant-based alternative to meat. *Agro FOOD Industry Hi Tech*, 2014, 25(1) 45-49.
- [122] ZHANG, J., et al. Changes in conformation and quality of vegetable protein during texturization process by extrusion. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2019, 59(20) 3267-3280.
- [123] PIETSCH, V. L., et al. Process conditions influencing wheat gluten polymerization during high moisture extrusion of meat analog products. *Journal of Food Engineering*, 2017, 198: 28-35.
- [124] SMETANA, S., et al. Structure design of insect-based meat analogs with high-moisture extrusion. *Journal of Food Engineering*, 2018, 229: 83-85.
- [125] RUBY, M. B. et al. Determinants of willingness to eat insects in the USA and India. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2015, 1(3) 215-225.
- [126] MISHYNA, M., et al. Sensory attributes of edible insects and insect-based foods—Future outlooks for enhancing consumer appeal. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 95: 141-148.
- [127] FARMERIO [online]. 2022. Dostupné z: <https://www.farmerio.cz/e-shop/>
- [128] LEE, H. J., et al. Effects of heating time and temperature on functional properties of proteins of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Food science of animal resources*, 2019, 39(2) 296.
- [129] KIM, T. K., et al. Porcine myofibrillar protein gel with edible insect protein: Effect of pH-shifting. *LWT*, 2022, 154.
- [130] KIM, T. K., et al. Drying-induced restructured jerky analog developed using a combination of edible insect protein and textured vegetable protein. *Food Chemistry*, 2022, 373.
- [131] SENS [online]. [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://damesens.cz/pages/cvrcci-protein>

- [132] TZOMPA-SOSA, D. A., et al. Four insect oils as food ingredient: physical and chemical characterisation of insect oils obtained by an aqueous oil extraction. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2019, 5(4) 279-292.
- [133] WADE, M., et al. A review of edible insect industrialization: Scales of production and implications for sustainability. *Environmental Research Letters*, 2020, 15(12)
- [134] HERMANS, W. J. H., et al. Insects are a viable protein source for human consumption: From insect protein digestion to postprandial muscle protein synthesis in vivo in humans: A double-blind randomized trial. *The American journal of clinical nutrition*, 2021, 114(3) 934-944.
- [135] SMETANA, S., et al. Insect margarine: Processing, sustainability and design. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 264.
- [136] DELICATO, C., et al. Consumers' perception of bakery products with insect fat as partial butter replacement. *Food Quality and Preference*, 2020, 79.
- [137] DE SMET, J., et al. Stability assessment and laboratory scale fermentation of pastes produced on a pilot scale from mealworms (*Tenebrio molitor*). *LWT*, 2019, 102: 113-121.
- [138] VERLUYTEN, J., et al. The curing agent sodium nitrite, used in the production of fermented sausages, is less inhibiting to the bacteriocin-producing meat starter culture *Lactobacillus curvatus* LTH 1174 under anaerobic conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69(7) 3833-3839.
- [139] STOUT, J. Saucy bugs from Thailand. *BUGSfeed* [online]. 2015 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: https://www.bugsfeed.com/saucy_bugs_thailand
- [140] CHO, J. H., et al. Characteristics of fermented seasoning sauces using *Tenebrio molitor* larvae. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2018, 45: 186-195.
- [141] MARIOD, A. A., et al. Gelatin, source, extraction and industrial applications. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 2013, 12(2) 135-147.
- [142] SCHOLLIERS, J., et al. The effect of temperature on structure formation in three insect batters. *Food research international*, 2019, 122: 411-418.
- [143] VAN HUIS, A., et al. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 2017, 37(5) 1-14.

- [144] GLORIEUX, S., et al. Effect of meat type, animal fatty acid composition, and isothermal temperature on the viscoelastic properties of meat batters. *Journal of food science*, 2018, 83(6) 1596-1604.
- [145] TAN, H. S. G., et al. How will better products improve the sensory-liking and willingness to buy insect-based foods?. *Food Research International*, 2017, 92: 95-105.
- [146] OSIMANI, A., et al. Bread enriched with cricket powder (*Acheta domesticus*): A technological, microbiological and nutritional evaluation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2018, 48: 150-163.
- [147] GONZÁLEZ, C. M., et al. Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor* flours. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2019, 51: 205-210.
- [148] BIRÓ, B., et al. Cricket-Enriched Oat Biscuit: Technological Analysis and Sensory Evaluation. *Foods*, 2020, 9(11).
- [149] AL-ATTABI, Z. H., et al. Effect of barley flour addition on the physico-chemical properties of dough and structure of bread. *Journal of Cereal Science*, 2017, 75: 61-68.
- [151] ÇABUK, B., et al. Fortification of traditional egg pasta (*erişte*) with edible insects: nutritional quality, cooking properties and sensory characteristics evaluation. *Journal of Food Science and Technology*, 2020, 57(7) 2750-2757.
- [152] GRAVEL, Alexia; DOYEN, Alain. The use of edible insect proteins in food: Challenges and issues related to their functional properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2020, 59.
- [153] DUDA, A., et al. Quality and nutritional/textural properties of durum wheat pasta enriched with cricket powder. *Foods*, 2019, 8(2) 46.
- [154] GURDIAN, C. E., et al. Effect of Informed Conditions on Sensory Expectations and Actual Perceptions: A Case of Chocolate Brownies Containing Edible-Cricket Protein. *Foods*, 2021, 10(7).
- [155] WOOLF, E., et al. Willingness to consume insect-containing foods: A survey in the United States. *Lwt*, 2019, 102: 100-105.

- [156] ARENA, E., et al. Exploring consumer's propensity to consume insect-based foods. Empirical evidence from a study in Southern Italy. *Applied System Innovation*, 2020, 3(3) 38.
- [157] HOEK, A. C., et al. Are meat substitutes liked better over time? A repeated in-home use test with meat substitutes or meat in meals. *Food quality and preference*, 2013, 28(1) 253-263.
- [158] SMETANA, S., et al. High-moisture extrusion with insect and soy protein concentrates: cutting properties of meat analogues under insect content and barrel temperature variations. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2019, 5(1) 29-34.
- [159] KIM, H. W., et al. Pre-treated mealworm larvae and silkworm pupae as a novel protein ingredient in emulsion sausages. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2016, 38: 116-123.
- [160] KIM, H. W., et al. Effect of house cricket (*Acheta domesticus*) flour addition on physicochemical and textural properties of meat emulsion under various formulations. *Journal of food science*, 2017, 82(12) 2787-2793.
- [161] SCHOLLIERS, J., et al. Partial replacement of meat by superworm (*Zophobas morio* larvae) in cooked sausages: Effect of heating temperature and insect: Meat ratio on structure and physical stability. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2020, 66.
- [162] JANOŠÍKOVÁ, P. Program pro analýzu pachů pro jednoduchý elektronický nos. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2019. 43 s., 1 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Martin Adámek, Ph.D.
- [163] FOLCH, J., et al. simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *The Journal of Biological Chemistry*. 1957, 226(1), 497-509
- [164] VÁVRA AMBROŽOVÁ, J. Biologicky aktivní látky mořských a sladkovodních řad. Zlín, 2016. Disertační práce (Ph.D.). Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická
- [165] ČSN P CEN ISO/TS 17764-2. Krmiva – Stanovení obsahu mastných kyselin: Část 2: Metoda plynové chromatografie. Praha: Český normalizační institut, 2007. 24 s. Třídící znak 467096.

- [166] HUANG, Ch., et al. Impact of drying method on the nutritional value of the edible insect protein from black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae: Amino acid composition, nutritional value evaluation, in vitro digestibility, and thermal properties. *European Food Research and Technology*, 2019, 245(1) 11-21.
- [167] CAPPELLI, A., et al. Assessment of the rheological properties and bread characteristics obtained by innovative protein sources (*Cicer arietinum*, *Acheta domesticus*, *Tenebrio molitor*): Novel food or potential improvers for wheat flour?. *Lwt*, 2020, 118.
- [168] BEDNÁŘOVÁ, M., et al. Edible insects-species suitable for entomophagy under condition of Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendeliana Brunensis*. 2013, 61(3), 587-593.
- [169] KUČEROVÁ, J., et al. *Zpracování a zbožíznalství rostlinných produktů*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2007. ISBN 978-80-7375-088-6
- [170] FLAGELLA, Z., et al. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. *European journal of agronomy*, 2002, 17(3) 221-230.
- [171] DOSTÁLOVÁ, J., et al. *Výživová doporučení pro obyvatelstvo ČR*. Společnost pro výživu Praha. 2012 [online]. Dostupné na: <http://www.vyzivaspol.cz/vyzivovadoporuceni-pro-obyvatelstvo-ceske-republiky/>
- [172] WINITCHAI, S., et al. Free radical scavenging activity, tyrosinase inhibition activity and fatty acids composition of oils from pupae of native Thai silkworm (*Bombyx mori* L.). *Agriculture and Natural Resources*, 2011, 45(3) 404-412.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

EFSA	Evropský úřad pro bezpečnost potravin
CFU	„Colony Forming Units“ (kolonie tvořící jednotka)
NVWA	Nizozemský úřad pro bezpečnost potravin a spotřebního zboží
HTST	Krátká doba sušení s vysokou teplotou
LTLT	Dlouhá doba sušení s nízkou teplotou
FTIR	Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací
FAMEs	Methylestery mastných kyselin
SFA	nasyčená mastná kyselina
MUFA	Monoenová mastná kyselina
PUFA	Polyenová mastná kyselina
MK	Mastná kyselina
Σ	Suma (součet více hodnot)
MQ-135	Chemosenzor s citlivostí na amoniak, toluen a vodík (10~1000 ppm)
SGP30	Kombinovaný senzor pro těkavé organické látky (TVOC) a CO ₂ equivalent (signály jsou počítány ze základních signálů pro etanol a H ₂)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1. Křupavý hmyz	28
Obrázek č. 2. Hmyzí moučka	29
Obrázek č. 3. Hmyzí protein	30
Obrázek č. 4. Prototyp alternativy mléka na bázi hmyzu (A), mléko kravské (B)	31
Obrázek č. 5. Hmyzí pasta	32
Obrázek č. 6. Různé varianty chleba: pšeničný chléb (WB), pšeničný chléb s přídavkem 10 % hmyzu (CB ₁₀), pšeničný chléb s přídavkem 30 % hmyzu (CB ₃₀)	34
Obrázek č. 7. Hmyzí tyčinky	35
Obrázek č. 8. Hmyzí těstoviny	36
Obrázek č. 9. Čokoláda s jedlým hmyzem	37
Obrázek č. 10. Aparatura Soxhletovy extrakce	43
Obrázek č. 11. Esterifikace v inertní atmosféře N ₂	44
Obrázek č. 12. Graf dlouhodobé analýzy degradačních procesů hmyzu senzorem MQ-135 (amoniak)	48
Obrázek č. 13. Graf dlouhodobé analýzy degradačních procesů hmyzu senzorem SGP30 (CO ₂)	49
Obrázek č. 14. Poměrový obsah nasycených, monoenových a polyenových MK	53

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1. Výsledky míry úmrtnosti u jednotlivých metod	46
Tabulka č. 1. Profil MK u potměníka moučného a slunečnicového oleje [g/kg]	51
Tabulka č. 2. Profil dominantních mastných kyselin v procentuálním zastoupení [%]	52

SEZNAM PŘÍLOH

