

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ**  
**KATEDRA ANALYTICKÉ CHEMIE**

**Mikrobiologické faktory ovlivňující chuť a složení kimchi**

AUTOR: Bc. Adam Goga

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Iveta Brožková, Ph.D.

KONZULTANT PRÁCE: doc. Ing. Libor Červenka, Ph.D

2025

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2024/2025

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Adam Goga**  
Osobní číslo: **C22334**  
Studijní program: **N0531A130030 Hodnocení a analýza potravin**  
Téma práce: **Mikrobiologické faktory ovlivňující chuť a složení kimchi**  
Téma práce anglicky: **Microbiological Factors Affecting the Flavor and Composition of Kimchi**  
Zadávající katedra: **Katedra analytické chemie**

## Zásady pro vypracování

Teoretická část: Zpracujte literární rešerši zaměřenou na kimchi, se zvláštním důrazem na historii a kulturní význam kimchi, přehled mikroorganismů zapojených do fermentace kimchi, mechanismy tvorby chuti a textury během fermentace, faktory ovlivňující mikrobiální složení kimchi (teplota, obsah soli, složení surovin).

### Experimentální část:

1. Zjistěte mikrobiální čistotu surovin použitých při výrobě kimchi.
2. Připravte kimchi v laboratorních podmínkách.
3. Analyzujte mikrobiální kvalitu a obsah mikroorganismů v připraveném kimchi.
4. Porovnejte vliv přidaných mikroorganismů na kvalitu kimchi.
5. Proveďte sensorické hodnocení jednotlivých vzorků kimchi, zpracujte výsledky a určete nejvhodnější postup přípravy pro domácí podmínky.
6. Ze získaných výsledků vyvoďte závěry a porovnejte je s dostupnou vědeckou literaturou.

Diplomovou práci zpracujte v souladu se Směrnicí UPa č. 7/2019 ve znění dodatku č. 2 "Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací".

Rozsah pracovní zprávy:  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Podle pokynů vedoucí práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Iveta Brožková, Ph.D.**  
Katedra biologických a biochemických věd

Konzultant diplomové práce: **doc. Ing. Libor Červenka, Ph.D.**  
Katedra analytické chemie

Datum zadání diplomové práce: **7. února 2025**  
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2025**

**prof. Ing. Petr Němec, Ph.D. v.r.**  
děkan

L.S.

**doc. Ing. Petr Česla, Ph.D. v.r.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 20. února 2025

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji:

Práci s názvem „Mikrobiologické faktory ovlivňující chuť a složení kimchi“ jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne

---

Bc. Adam Goga

## **PODĚKOVÁNÍ**

Zde bych chtěl poděkovat vedoucímu mé práce, Ing. Ivetě Brožkové, Ph.D., za cenné rady, připomínky, vstřícný přístup a čas strávený při vedení mé diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým za jejich klíčovou emoční podporu během mého studia.

## ANOTACE

Diplomová práce se zabývá potravinou kimchi se zaměřením na mikrobiologické a senzorické vlastnosti a bezpečnost. V teoretické části je popsána historie, složení, příprava, význam kimchi v korejské kultuře a vliv mikrobiálního ekosystému na výslednou kvalitu produktu. Experimentální část práce se zaměřuje na přípravu několika variant kimchi, včetně inokulace specifickými mikroorganismy a sledování dynamiky fermentace pomocí mikrobiologických analýz. Součástí je i senzorické hodnocení jednotlivých variant v průběhu fermentace. Výsledky ukazují, že inokulace bakterií *Lactobacillus acidophilus* urychluje nástup fermentace a pozitivně ovlivňuje senzorické vlastnosti kimchi, zatímco přídavek *Saccharomyces boulardii* vede při fermentaci k odlišné dynamice kyselosti a intenzivnější pálivosti. Analýza biogenních aminů potvrdila, že ve všech vzorcích zůstaly jejich koncentrace pod toxikologicky významnými limity. Práce potvrzuje, že správně připravené kimchi, vyrobené z kvalitních surovin je bezpečnou a senzoricky atraktivní potravinou.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Kimchi, bakterie mléčného kvašení, biogenní aminy, senzorická analýza

## TITLE

Microbiological factors affecting the flavor and composition of kimchi

## ANNOTATION

This thesis focuses on the food product kimchi, with an emphasis on its microbiological and sensory properties as well as safety. The theoretical part describes the history, composition, preparation, and cultural significance of kimchi in Korea, as well as the influence of the microbial ecosystem on the final quality of the product. The experimental part focuses on the preparation of several kimchi variants, including inoculation with specific microorganisms and monitoring of fermentation dynamics through microbiological analyses. It also includes sensory evaluation of the individual variants throughout the fermentation process. The results show that inoculation with bacteria *Lactobacillus acidophilus* accelerates the onset of fermentation and positively influences the sensory properties of kimchi, while the addition of *Saccharomyces boulardii* leads to a different acidity dynamic throughout the fermentation and more intense spiciness. Biogenic amine analysis confirmed that concentrations in all samples remained

below toxicologically significant limits. The thesis confirms that properly prepared kimchi is a safe and sensorially appealing food product.

## **KEYWORDS**

Kimchi, lactic acid bacteria, biogenic amines, sensory analysis

# OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	11
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK.....	12
ÚVOD .....	13
1. Teoretická část.....	14
1.1. Kimchi.....	14
1.2. Historie kimchi.....	15
1.3. Složení kimchi.....	17
1.3.1. Pekingské zelí.....	17
1.3.2. Chilli.....	17
1.3.3. Zázvor.....	18
1.3.4. Česnek.....	18
1.3.5. Mořské produkty a jejich substituce.....	18
1.3.6. Bílá ředkev .....	19
1.4. Příprava kimchi .....	19
1.4.1. Solení.....	20
1.4.2. Příprava kořenící směsi .....	20
1.4.3. Fermentace .....	21
1.4.4. Skladování.....	21
1.5. Mikroorganismy v kimchi.....	22
1.6. Biogenní aminy .....	25
1.6.1. Výskyt biogenních aminů.....	26
1.6.2. Toxicita biogenních aminů .....	29
1.6.3. Limity biogenních aminů v potravinách .....	30
1.6.4. Biogenní aminy v kimchi .....	31
1.7. Rod <i>Lactobacillus</i> .....	33

1.7.1.	<i>Lactobacillus</i> v kimchi .....	33
1.8.	<i>Lactococcus lactis</i> .....	36
1.9.	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> var. <i>boulardii</i> .....	38
1.10.	<i>Bacillus cereus</i> .....	40
2.	Experimentální část .....	42
2.1.	Pomůcky pro mikrobiologickou část.....	42
2.2.	Přístroje pro mikrobiologickou část .....	43
2.3.	Chemikálie a roztoky pro mikrobiologickou část .....	43
2.4.	Kultivační média a jejich příprava .....	44
2.5.	Použité suroviny .....	46
2.6.	Pravidla mikrobiologické analýzy .....	47
2.7.	Mikrobiologický rozbor surovin .....	47
2.7.1.	Stanovení celkového počtu mezofilních aerobních a fakultativně anaerobních mikroorganismů kultivační metodou.....	48
2.7.2.	Stanovení celkového počtu plísní a kvasinek.....	49
2.7.3.	Stanovení koliformních mikroorganismů.....	49
2.7.5.	Stanovení mezofilních bakterií mléčného kvašení.....	50
2.7.6.	Mikroskopická analýza vybraných kolonií .....	50
2.8.	Příprava kimchi .....	50
2.8.1.	Příprava vzorků kimchi s inokulací specifickými mikroorganismy.....	52
2.9.	Mikrobiologická analýza kimchi.....	52
2.9.1.	Stanovení počtu mezofilních bakterií mléčného kvašení .....	53
2.9.2.	Stanovení počtu aerobních bakterií mléčného kvašení .....	53
2.9.3.	Stanovení počtu kvasinek v kimchi inokulovaném <i>Saccharomyces cerevisiae</i> var. <i>boulardii</i> .....	54
2.9.4.	Stanovení počtu <i>Bacillus cereus</i> v kimchi inokulovaném <i>Bacillus cereus</i> .....	54
2.10.	Použité mikroorganismy.....	54
2.11.	Senzorická analýza kimchi.....	55

2.11.1.	Hodnotící parametry .....	55
2.11.2.	Průběh sensorické analýzy .....	55
3.	Výsledky a diskuze.....	57
3.1.	Výsledky mikrobiologického rozboru surovin.....	57
3.2.	Mikrobiologická analýza kimchi.....	60
3.2.1.	Detekce inokulovaných mikroorganismů během fermentace kimchi .....	63
3.3.	Senzorická analýza kimchi .....	64
3.4.	Analýza biogenních aminů v kimchi.....	67
ZÁVĚR.....		70
POUŽITÁ LITERATURA .....		72
PŘÍLOHY .....		87

# SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1: Typická onggi (nádoba na skladování kimchi) (Chun, 2012).....	22
Obrázek 2: <i>Lactobacillus plantarum</i> pod mikroskopem (Abdulgawad 2016).....	34
Obrázek 3: <i>Lactococcus lactis</i> pod mikroskopem (Avantor sciences, n.d.).....	36
Obrázek 4: Pohled na <i>Saccharomyces cerevisiae</i> var. <i>boulardii</i> pod mikroskopem (Wikidata, n.d.).....	38
Obrázek 5: <i>Bacillus cereus</i> pod mikroskopem (BCCDC, n.d.).....	40
Obrázek 6: Formulář senzorické analýzy kimchi.....	87
Tabulka 1: Přehled biogenních aminů s jejich prekurzory, enzymy podílející se na jejich tvorbě a mikroorganismy, které je produkují (Barbieri <i>et al.</i> , 2019).....	28
Tabulka 2: Informace o použitých surovinách .....	47
Tabulka 3: Seznam analyzovaných surovin, jejich množství a objem ředícího roztoku.....	48
Tabulka 4: Suroviny použité na přípravu kimchi. ....	51
Tabulka 5: Použité mikroorganismy a jejich původ. ....	54
Tabulka 6: Mikrobiologický rozbor surovin .....	57
Tabulka 7: Koncentrace (mg/kg) biogenních aminů ve vzorcích po 72 hodinách fermentace	68
Tabulka 8: Koncentrace (mg/kg) biogenních aminů ve vzorcích po 6 dních fermentace .....	68

# SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

<i>B. cereus</i>	<i>Bacillus cereus</i>
BA	Biogenní amin
CFU	colony forming units, kolonie tvořící jednotky
CPM	celkové počty mikroorganismů
DRBC	dichloran-rose bengal-chloramphenicol agar
EFSA	evropský úřad pro bezpečnost potravin
GTK	glukóza-trypton-kvasničný extrakt agar
MALDI-TOF MS	matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry, ionizace/desorpce laserem za přítomnosti matrice v kombinaci s detektorem doby letu
MRS	De Man–Rogosa–Sharpe agar
MYP	mannitol-yolk-polymixine agar
<i>L.</i>	<i>Lactobacillus</i>
LAB	Lactic acid bacteria, bakterie mléčného kvašení
LOD	Limit detekce
LOQ	Limit kvantifikace
<i>S.</i>	<i>Saccharomyces</i>
UNESCO	Organizace spojených národů pro výchovu, vědu a kulturu
VČŽL	violet-červeň-žluč-laktózový agar

# ÚVOD

Fermentované potraviny představují významnou součást lidské stravy po celém světě a jejich obliba v posledních letech výrazně roste nejen díky jedinečné chuti, ale i prokázaným zdravotním benefitům. Jedním z nejvýraznějších příkladů tradičních fermentovaných produktů je korejské kimchi, které se stalo symbolem korejské kuchyně a zároveň předmětem zájmu veřejnosti. Kimchi je charakteristické nejen svou rozmanitostí surovin a regionálních variant, ale především složitým mikrobiálním ekosystémem, který vzniká během fermentace.

Proces fermentace kimchi je ovlivněn především bakteriemi mléčného kvašení, které zajišťují nejen bezpečnost produktu, ale také jeho typickou chuť, aroma a texturu. V posledních letech se zvyšuje zájem o detailní studium mikrobiálního složení kimchi, jeho dynamiky během fermentace a možností ovlivnění výsledných vlastností produktu pomocí cílené inokulace probiotickými kulturami. Kromě mikrobiologické bezpečnosti je pro spotřebitele klíčová také sensorická kvalita kimchi, která rozhoduje o jeho přijatelnosti a úspěchu na trhu.

Cílem této diplomové práce je zhodnotit mikrobiologické a sensorické aspekty výroby kimchi, analyzovat vliv různých inokulovaných mikroorganismů na průběh fermentace a výsledné vlastnosti produktu a posoudit bezpečnost kimchi z hlediska obsahu biogenních aminů. Práce kombinuje teoretický rozbor dostupné literatury s experimentálním sledováním fermentace několika variant kimchi, včetně sensorického hodnocení a mikrobiologických analýz.

# 1. Teoretická část

## 1.1. Kimchi

Kimchi je tradiční korejská fermentovaná potravina, která se připravuje převážně z čínského zelí (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*), ředkve, jarní cibulky, česneku, zázvoru a různých druhů chilli papriček. Tento fermentovaný pokrm je klíčovou součástí korejské kuchyně a je běžně konzumován jako příloha k hlavním jídlům. Díky procesu fermentace je kimchi bohaté na prospěšné bakterie mléčného kvašení. Tento proces zahrnuje přeměnu cukrů na organické kyseliny prostřednictvím mléčných bakterií, jako jsou *Leuconostoc*, *Lactobacillus* a *Weissella*. Tyto bakterie dominují při fermentaci za nízkých teplot a v anaerobních podmínkách. Výsledkem je charakteristická kyselá chuť a prodloužená trvanlivost produktu (Han *et al.*, 2014; Lee D. *et al.*, 2024). Chuť kimchi je komplexní a vyznačuje se kombinací slanosti, kyselosti, umami a pikantnosti, přičemž její intenzita se liší v závislosti na délce fermentace.

Kimchi má významné zdravotní přínosy, mezi něž patří podpora střevního mikrobiomu, snížení rizika metabolických onemocnění a potenciální ochrana před chronickými onemocněními. Kromě toho obsahuje bioaktivní sloučeniny, jako jsou peptidy s antioxidačními účinky, které přispívají ke zdraví spotřebitelů (Park *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2015).

Fermentace kimchi probíhá tradičně v keramických nádobách zvaných onggi, které umožňují optimální podmínky pro růst prospěšných mikroorganismů. Proces začíná solným nálevem, který pomáhá odstranit přebytečnou vodu ze zelí a vytvořit prostředí nevhodné pro patogenní mikroorganismy. Následně se přidává kořenící směs a zelenina se ukládá do nádob, kde dochází k fermentaci při kontrolované teplotě. Tradičně se kimchi nechávalo kvasit v zemi během zimních měsíců, čímž se zajistilo jeho postupné zrání a konzervace (Lee *et al.*, 2015). Moderní metody zahrnují fermentaci v nízkých teplotách, což umožňuje lepší kontrolu nad mikrobiálním složením a výslednou chutí.

Složení mikrobiálního ekosystému kimchi závisí na různých faktorech, včetně použité zeleniny, teploty fermentace, koncentrace soli a přídavku koření, jako je česnek či červená paprika. Tyto faktory ovlivňují metabolické procesy mléčných bakterií, které produkují chuťové a aromatické sloučeniny, například mannitol a organické kyseliny. Fermentace také podporuje vznik bioaktivních látek, jež mají antioxidační, antimikrobiální a imunitu posilující účinky (Han *et al.*, 2014; Jung *et al.*, 2011).

Sezónnost surovin je dalším faktorem ovlivňujícím výslednou kvalitu kimchi. Zelenina, zejména čínské zelí, vykazuje rozdíly v nutriční hodnotě, chuti a textuře v závislosti na sezóně, což ovlivňuje mikrobiální složení fermentačního procesu (Cho *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 2007). Například podzimní a zimní odrůdy zelí mají vyšší obsah vody, bílkovin, lipidů a vitamínu C, což zvyšuje fermentační aktivitu mléčných bakterií (Kim *et al.*, 2007).

Sezónnost surovin také ovlivňuje výslednou mikroflóru. Jarní a podzimní vzorky jsou charakterizovány přítomností *Lactobacillus*, zatímco zimní vzorky obsahují převážně *Weissella* a *Leuconostoc*. Tyto sezónní rozdíly ovlivňují nejen průběh fermentace, ale také výsledné organoleptické vlastnosti kimchi (Lee *et al.*, 2018).

Metabolické rozdíly mezi sezónními vzorky zahrnují i změny v koncentracích klíčových metabolitů, jako jsou glutamová kyselina, serin a různé sacharidy (fruktóza, sacharóza), což souvisí jak s chemickým složením výchozích surovin, tak s aktivitou fermentačních mikroorganismů. Výrazný nárůst organických kyselin, jako je kyselina mléčná, je zaznamenán během fermentace a je přímo spojen s činností bakterií mléčného kvašení, které jsou klíčové pro stabilitu a bezpečnost produktu. Je také prokázáno, že některé mikroorganismy produkovaly specifické metabolity, jako je mannitol, jehož koncentrace byla vyšší ve vzorcích kvašených v zimním období.

Jednou z hlavních výzev v průmyslové výrobě kimchi je zachování konzistence. Z tohoto důvodu jsou stále častěji využívány startovací kultury mléčných bakterií, které umožňují lepší kontrolu nad chuťovým profilem, bezpečností a funkčními vlastnostmi produktu. Například *Lactobacillus plantarum* a *Leuconostoc mesenteroides* byly identifikovány jako klíčové druhy pro optimální průběh fermentace (Kim *et al.*, 2012).

## 1.2. Historie kimchi

Kimchi má v korejské kultuře hluboké kořeny sahající tisíce let do minulosti. První zmínky o konzervované zelenině se objevují již v období Tří království (57 př. n. l. – 668 n. l.), kdy byla zelenina konzervována v solném roztoku pro zajištění delší trvanlivosti. Podle historických textů, jako je *Samguk Sagi* (1145), se kimchi v raných dobách vyrábělo bez červené papriky, která byla do Koreje přivezena až v 17. století (Surya a Nugroho, 2023).

Během období Goryeo (918–1392) se fermentace zeleniny rozšířila, přičemž se používaly různé bylinky a koření. Nicméně až během dynastie Joseon (1392–1897) došlo k podstatným změnám

v přípravě kimchi. Použití červené papriky a fermentovaných rybích omáček v 18. století dalo vzniknout dnešním variantám kimchi (Jang *et al.*, 2016).

Kimchi se stalo nepostradatelnou součástí korejské kuchyně. V této době vznikly různé regionální varianty a způsoby přípravy. Nejznámějším druhem se stalo *baechu kimchi*, vyrobené z čínské zelí. Postupem času se kimchi začalo vyrábět systematictěji, zejména s rozvojem obchodních tras, které přinesly nové ingredience (Surya a Nughoro, 2023).

Během 20. století prošlo kimchi dalším vývojem. Industrializace a urbanizace Koreje vedly k masové výrobě kimchi, což umožnilo jeho export a větší popularizaci. K tomu přispěla i standardizace kimchi prostřednictvím Codex Alimentarius v roce 2001 a zařazení tradičního procesu přípravy kimchi (*kimjang*) na seznam nehmotného kulturního dědictví UNESCO v roce 2013 (Oh *et al.*, 2014). Popularita kimchi dále vzrostla díky rostoucímu zájmu o zdravou výživu, kdy vědecké studie prokázaly jeho pozitivní účinky na trávení a imunitní systém (Chang, 2018).

S rostoucím mezinárodním zájmem o korejskou kuchyni se kimchi stalo globálním fenoménem. Nicméně jeho popularizace přinesla i kontroverze, zejména tzv. "kimchi války" s Čínou a Japonskem. V 90. letech 20. století došlo ke sporu mezi Koreou a Japonskem ohledně standardizace kimchi, kdy Japonsko vyrábělo svou nefermentovanou verzi (*kimuchi*), což vedlo k mezinárodnímu sporu u komise Codex Alimentarius (Codex Alimentarius, 2017).

Další kontroverzí byl čínský pokus standardizovat fermentovanou zeleninu *pao cai* jako ekvivalent kimchi. To vedlo k odporu v Jižní Koreji a snaze odlišit oba produkty na mezinárodní úrovni. Korea nakonec v roce 2020 stanovila nový čínský překlad pro korejské kimchi, aby předešla dalším zmatkům (Kim a Mah, 2020).

Zároveň bylo kimchi využito jako nástroj kulturní diplomacie. Během zimních olympijských her v Pchjongčchangu 2018 bylo součástí oficiálního menu pro sportovce z celého světa, čímž se posílila jeho mezinárodní prestiž (Baek, 2014).

Jedním z klíčových aspektů historického vývoje kimchi je proces *kimjang* což je kolektivní příprava kimchi na zimu. Tento tradiční zvyk má hluboký kulturní a sociální význam a byl zařazen na seznam UNESCO v roce 2013. Kimjang nejen posiluje komunitní vztahy, ale také zajišťuje dostatečné zásoby kimchi na chladné měsíce (Kim a Kim, 2014).

Během dynastie Joseon bylo kimjang zaznamenáno v několika literárních dílech. Například v poezii Kyubo Leeho z 13. století se popisuje příprava nakládaného ředkvičkového kimchi

(Jang *et al.*, 2015). Tradičně se kimchi skladovalo ve velkých hliněných nádobách (*onggi*), které byly částečně zakopány do země pro zajištění optimální teploty fermentace.

Díky moderním technologiím je dnes výroba kimchi snadnější a dostupnější než kdy dříve. Vznik speciálních lednic na kimchi umožňuje řízenou fermentaci, která zachovává jeho chuť a zdravotní přínosy. Korejská vláda také aktivně podporuje export kimchi do zahraničí, přičemž hlavními odběrateli jsou USA, Japonsko a evropské země.

S rostoucím zájmem o rostlinnou stravu se objevují i nové variace kimchi, například veganské verze bez rybí omáčky či experimentální recepty obohacené o superpotraviny jako kurkuma nebo spirulina.

Kimchi není pouze jídlo, ale symbol korejské identity a kulturního dědictví. Jeho historie ukazuje nejen vývoj korejské kuchyně, ale i širší kulturní a ekonomické změny, které ovlivnily Koreu. Díky své unikátní chuti, zdravotním benefitům a historickému významu se kimchi stalo nejen neodmyslitelnou součástí korejské kultury, ale také významným globálním fenoménem. Přes všechny spory o jeho původ zůstává klíčovou součástí korejského kulturního dědictví (Surya a Nugroho, 2023).

### **1.3. Složení kimchi**

Složení kimchi je velmi rozmanité a existuje mnoho receptů, které obsahují různé suroviny. Většina receptů je založena na nakládaném zelí (nejčastěji pekingském) v kimchi pastě. Každá z ingrediencí přispívá ke konečné chuti, textuře a nutriční hodnotě výsledného produktu. Dobře vybalancované kimchi by mělo mít jedinečnou chuť s vrstvenou, jemnou kombinací pikantnosti, kyselosti a mořské chuti.

#### **1.3.1. Pekingské zelí**

Pekingské zelí (Napa cabbage) tvoří základní složku kimchi. Jeho jemná struktura a vysoký obsah vody umožňují dokonalou absorpci kořenící směsi a zajišťují ideální podmínky pro probíhající fermentaci. Čerstvé, kvalitní zelí s pevnými listy zaručuje správný průběh fermentačního procesu a výrazně přispívá k nutriční hodnotě finálního produktu díky obsahu vlákniny, vitamínů a minerálů (Wei a Marco, 2025).

#### **1.3.2. Chilli**

Gochugaru je specifická odrůda mleté chilli papriky, která je nedílnou součástí tradiční korejské kuchyně. Tato odrůda byla do Koreje poprvé přivezena v 18. století a stala se nepostradatelnou

složkou kimchi, neboť zajišťuje typickou červenou barvu, pikantnost a bohatou vůni. Gochugaru obsahuje kapsaicin, který má protizánětlivé a antioxidační vlastnosti, a přispívá tak nejen ke zlepšení metabolismu, ale i k ochraně buněk před oxidačním stresem. I když existují i jiné druhy chilli, například suché chilli vločky nebo mleté chilli s různým stupněm pálivosti, nejtradičnější a nejčastěji používanou variantou v kimchi je právě gochugaru, která svým charakteristickým profilem dokáže ideálně podtrhnout celkovou chuť pokrmu (Du *et al.*, 2013).

### **1.3.3. Zázvor**

Zázvor je tradiční koření, jež dodává kimchi pikantní a osvěžující aroma. Obsahuje bioaktivní sloučeniny jako gingeroly a shogaoly např.: 1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-decan-4-on, které mají silné protizánětlivé a antioxidační účinky. Tyto látky nejen obohacují chuť kimchi, ale také podporují trávení a snižují zánětlivé reakce, což je zvláště přínosné u sportovců a fyzicky aktivních jedinců (Mao *et al.*, 2019).

### **1.3.4. Česnek**

Česnek (*Allium sativum*) je nepostradatelnou součástí kořenící směsi v kimchi. Jeho charakteristická vůně a chuť, podpořená bioaktivní látkou allicinem, působí jako přírodní antibiotikum a antimikrobiální prostředek. Česnek tak přispívá k potlačení nežádoucích mikroorganismů během fermentace, zatímco podporuje imunitní systém. Díky tomu se kimchi stává nejen chutnějším, ale i zdravotně prospěšnějším. Česnek také podporuje růst prospěšných bakterií mléčného kvašení v kimchi (Lim *et al.*, 2015).

### **1.3.5. Mořské produkty a jejich substituce**

Tradiční recepty kimchi často zahrnují mořské produkty, které dodávají pokrmu výraznou umami chuť a urychlují fermentaci díky obsahu enzymů a aminokyselin.

#### **1.3.5.1. Ančovičková omáčka**

Fermentovaná anchovy sauce je tradiční přísada, která přináší do kimchi bohatou umami chuť. Ančovičky, díky své fermentaci, poskytují enzymy, které podporují rychlejší fermentační proces a zároveň zvyšují chuťovou hloubku pokrmu (Choi *et al.*, 2018).

#### **1.3.5.2. Substituce pomocí Rybí omáčky**

V moderních receptech, zejména v suchozemských regionech, kde nemusí být tradiční mořské produkty snadno dostupné, se často využívá rybí omáčka jako substituce. Rybí omáčka

poskytuje podobný chuťový profil jako fermentovaná ančovičková omáčka a nakládané krevety, přičemž je snadněji dostupná a ekonomicky výhodnější. Navíc některé studie naznačují, že rybí omáčka může obsahovat prospěšné omega-3 mastné kyseliny, což přináší další zdravotní benefity (Kim *et al.*, 2014).

### 1.3.6. Bílá ředkev

Bílá ředkev, známá také jako daikon, se do kimchi často přidává kvůli své křupavé textuře a mírně sladké chuti. Obsahuje přírodní cukry, které slouží jako substrát pro fermentační bakterie, čímž podporují efektivní fermentaci. Daikon navíc obohacuje kimchi o vitamíny a minerály, čímž zvyšuje celkovou nutriční hodnotu pokrmu (Okamoto *et al.*, 2019).

## 1.4. Příprava kimchi

Příprava Kimchi zahrnuje mnohem více než jeden druh přípravy, je to jedna z nejrozmanitějších technik nakládání. Existuje více než 160 dostupných receptů a téměř každá korejská rodina má svou vlastní základní verzi přípravy, na kterou jsou velmi hrdí a která se odvíjí zejména od jejich regionu. Slovo „*kimchi*“ je odvozeno z kombinace dvou čínských znaků, které znamenají „*solená zelenina*“ (Chun, 2012).

V Koreji je kimchi servírováno jako součást tzv. „*banchan*“, což je řada jídel podávaných ke každému korejskému jídlu, od snídaně až po večeři. Jídlo bez kimchi je nepředstavitelné, což podtrhuje korejské rčení: „*Pokud máš kimchi a rýži, nikdy nebudeš hladovět.*“ Nicméně kimchi není jen přílohou. Jeho rozmanitost ho činí ceněnou a chutnou součástí vaření.

Příprava kimchi je složitý a mnohvrstevnatý proces, který spojuje tradiční korejské kulinářské postupy s hlubokou kulturou fermentace. Tento proces se dělí do několika klíčových etap, přičemž každá z nich hraje zásadní roli v konečné chuti, textuře a nutričních vlastnostech kimchi. Sezónnost kimchi je nedílnou součástí jeho chuti a odráží dostupnost dané zeleniny v regionu nebo z dovozu. Letní kimchi je velmi lehké, křehké a chutné, zatímco zimní kimchi je více zemité a obsahuje plnější chuť (Ju *et al.*, 2024).

Příprava kimchi vyžaduje pečlivou volbu a přípravu surovin, přesné dodržování solení, správné míchání kořenící směsi a kontrolovaný proces fermentace. Každý krok, od solení až po finální skladování, přispívá k dosažení jedinečného chuťového profilu, textury a nutriční hodnoty kimchi. Kombinace pekingského zelí, tradiční kořenící směsi založené na gochugaru, zázvoru a česneku, a mořských složek, ať už ve formě fermentované omáčky z ančoviček, nakládaných krevet, nebo jejich moderní substituce pomocí rybí omáčky vytváří bohatou a vyváženou směs,

kteřá je základem autentického kimchi. Díky správnému postupu a dodržení tradičních technik může kimchi dosáhnout optimální chuti a zdravotních benefitů, přičemž každý proces od solení po skladování je klíčový pro úspěšnou fermentaci a dlouhodobé uchování jeho charakteristických vlastností (Chun, 2012).

#### **1.4.1. Solení**

Solení je klíčovým krokem, který ovlivňuje nejen chuť a texturu, ale také celkovou kvalitu fermentace. Solení napomáhá rozkladu buněčných stěn zeleniny, což otevírá póry a umožňuje lepší pronikání kořenící směsi do jednotlivých listů. Tím se zároveň urychluje proces fermentace a zajišťuje se rovnoměrné působení bakterií mléčného kvašení. Existují dva typy solení.

Mokrě solení u kimchi, které má být fermentováno po delší dobu (např. v podzimní nebo zimní verzi, kdy se kimchi skladuje déle než 3 měsíce). Při mokřém solení se používá solný nálev (sůl a voda). Důkladné namočení celého zelí přes noc (8 až 10 hodin) do nálevu zajišťuje hlubší a komplexnější chuť a lepší texturu.

Druhým typem je suché solení. U letních variant kimchi, které se konzumují do 3 měsíců, se sůl posype přímo na zeleninu a nechá se krátce vsáknout. Tento proces je rychlejší a má za následek odlišnou konzistenci. Listy zelí při suchém solení začnou uvolňují malé množství vody, což signalizuje, že sůl začíná pronikat do zelí (Chun, 2012).

#### **1.4.2. Příprava kořenící směsi**

Kořenící směs je zásadní složkou, která definuje charakter kimchi. Klíčové ingredience zahrnují chilli (gochugaru), zázvor, česnek a mořské složky.

Proces míchání je zásadní pro rovnoměrné rozložení kořenící směsi a dosažení optimální fermentace. V Koreji je běžné, že se kimchi připravuje ručně. Lidé si dokonce pořizují speciální „kimchi rukavice“, aby ochránili ruce před solí a chilli. Tradičně se říká, že „ruce, nikoli jazyk, poznají chuť“, což zdůrazňuje důležitost správného míchání a citlivého přístupu ke konečnému výsledku.

Pro míchání se doporučují mísy z nereaktivních materiálů, jako jsou sklo, nerezová ocel nebo keramika. Plastové nádoby mohou absorbovat barvu a chuť z kořenící směsi. Malý kuchyňský robot na mletí česneku, zázvoru a chilli může výrazně usnadnit přípravu, ale tradiční ruční míchání je stále velmi používanou metodou přípravy (Chun, 2012; Lee *et al.*, 2024).

### 1.4.3. Fermentace

Fermentace je proces, který dává kimchi jeho jedinečnou chuť a texturu. Při správné fermentaci dochází k rozvoji příznivých bakterií, zejména mléčných, které mění cukry na organické kyseliny.

Po smíchání ingrediencí se kimchi nechá fermentovat při pokojové teplotě. Doba fermentace se liší podle typu receptu. Při krátkodobé fermentaci (např. příprava letního kimchi) může trvat výroba 2–4 dny, zatímco pro kimchi určené k dlouhodobému skladování (podzimní/zimní verze) se doporučuje 8–10hodinové solení a následná fermentace při pokojové teplotě po několik dní (Ju *et al.*, 2024).

Aby se zabránilo oxidaci a nežádoucím mikrobiálním aktivitám, je důležité, aby se zamezilo přístupu kyslíku a ingredience byly potopeny ve šťávě. Optimální teplota pro počáteční fermentaci se pohybuje kolem pokojové teploty, přičemž následné uložení do chladu (v lednici) zpomaluje fermentaci a pomáhá udržet stabilní chuť.

Během fermentace můžete slyšet syčivý zvuk při otevírání nádoby, což značí vznik oxidu uhličitého. Postupem času se mění barva kimchi od jasných tónů až po více ztlumené odstíny, což svědčí o zralosti fermentačního procesu (Kim a Hu, 2023).

### 1.4.4. Skladování

Skladování hraje klíčovou roli v udržení kvality kimchi po dokončení fermentace. Kimchi se tradičně skladovalo v hliněných nádobách (onggi) (obr.1), které byly buď zakopány do země, nebo umístěny do stíněných prostor. Hliněné nádoby mají mikropórovitý charakter, který podporuje fermentaci a vytváří autentickou chuť.

V současnosti, zejména v městském prostředí, se pro skladování kimchi využívají skleněné nádoby nebo speciální „kimchi lednice“. Tyto nádoby musí mít těsné víčko, aby se minimalizoval kontakt s vzduchem a zabránilo se oxidaci (Kim a Hu, 2023).

Při skladování by nemělo být kimchi vystaveno přímému slunečnímu záření ani častému otevírání nádoby. Při delším skladování je vhodné umístit pod nádobu misku, která zachytí případný přetékající nálev způsobený tlakem vznikajícím oxidem uhličitým během fermentace.



Obrázek 1: Typická onggi (nádobu na skladování kimchi) (Chun, 2012).

## 1.5. Mikroorganismy v kimchi

Mikroorganismy hrají v procesu fermentace kimchi klíčovou roli. Tento tradiční korejský pokrm prochází složitým mikrobiálním vývojem, během něhož se mění složení přítomných bakterií, kvasinek a dalších mikroorganismů. Základem fermentace jsou především bakterie mléčného kvašení (LAB – lactic acid bacteria), mezi které patří především rody *Leuconostoc*, *Lactobacillus* a *Weissella*. Mezi konkrétní druhy patří *Leuconostoc mesenteroides*, *Leuconostoc citreum*, *Leuconostoc gelidum*, *Lactobacillus sakei*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus curvatus*, *Weissella koreensis*, *Weissella cibaria* a *Weissella paramesenteroides*. Kromě těchto hlavních rodů byly v kimchi identifikovány také druhy jako *Lactococcus lactis*, *Pediococcus pentosaceus* a *Enterococcus faecium*, které se vyskytují v různých fázích fermentace a přispívají k tvorbě charakteristických metabolitů. Kvasinky, jako *Saccharomyces cerevisiae* a *Candida sake*, se v kimchi objevují především v pozdějších fázích fermentace a ovlivňují jeho chuťový profil (Hong *et al.*, 2016).

Na počátku fermentace dominují v kimchi zejména druhy *Leuconostoc mesenteroides* a *Weissella koreensis*, které preferují neutrálnější pH. Tyto bakterie jsou klíčové pro zahájení fermentace, protože produkují značné množství mannitolu a dalších metabolitů, které dodávají kimchi jeho charakteristickou sladkokyselou chuť. V raných fázích fermentace se objevují i druhy *Lactococcus lactis* a *Pediococcus pentosaceus*, které přispívají k počáteční produkci kyseliny mléčné a dalších organických kyselin. Jak fermentace postupuje, roste koncentrace kyseliny mléčné a pH se snižuje. To vede k tomu, že v průběhu několika dní až týdnů dochází k posunu mikrobiální dominance směrem k acidotolerantním druhům, jako jsou *Lactobacillus sakei* a *Lactobacillus plantarum*. Tyto druhy přebírají kontrolu nad fermentačním procesem a stabilizují produkt po delší dobu. V pozdějších fázích fermentace se mohou objevit i druhy jako *Enterococcus faecium*, které se podílejí na dalších enzymatických reakcích, ovlivňujících chuť a texturu kimchi. Pokud je kimchi skladováno delší dobu, může v něm začít docházet k nadbytku tvorby kyseliny mléčné, což vede k příliš kyselé chuti a změně textury. To je běžně pozorované u dlouhodobě fermentovaných verzí kimchi (Jung *et al.*, 2011).

Přítomné mikroorganismy v kimchi nejsou dány pouze samotným procesem fermentace, ale do značné míry je ovlivňuje mikrobiota původních surovin, především čínského zelí, ředkve, česneku, zázvoru a dalších přísad (Lee *et al.*, 2017). Například čínské zelí je přirozeným nositelem některých druhů mléčných bakterií, mezi které patří *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Weissella koreensis* a *Pediococcus pentosaceus*, z nichž některé druhy přežijí a stanou se součástí fermentačního procesu. Naopak v čínském zelí byly nalezeny i gramnegativní bakterie, jako *Pseudomonas* spp. nebo *Enterobacter* spp., které jsou během fermentace eliminovány poklesem pH. Česnek a zázvor obsahují přirozené antimikrobiální látky, které mohou selektivně ovlivňovat růst některých bakteriálních druhů, což například potlačuje růst bakterií rodu *Enterococcus* nebo *Staphylococcus*, ale neovlivňuje růst a množení bakterií mléčného kvašení. Například allicin v česneku inhibuje růst některých nežádoucích bakterií, zatímco kapsaicin z chilli papriček může selektivně ovlivnit metabolismus bakterií mléčného kvašení (Guyot *et al.*, 2001). Studie ukázaly, že přidání fermentovaných rybích produktů, jako jsou solené krevety nebo rybí omáčka, vede k nárůstu halotolerantních bakterií, jako je *Tetragenococcus halophilus*, které mohou mít vliv na tvorbu specifických chuťových a aromatických látek v kimchi (Kim *et al.*, 2015).

Mikrobiální složení kimchi se mění i podle sezónních faktorů a místa výroby. Například zimní kimchi, které se připravuje tradičně v období kimjang, což je od listopadu do prosince, a fermentace probíhá po dobu několika měsíců. Zimní kimchi tedy obsahuje odlišné spektrum

bakteriálních druhů než letní kimchi, které se konzumuje po několika týdnech fermentace. Nízké teploty skladování zpomalují fermentační proces a podporují růst druhů, jako je *Lactobacillus sakei*, který je schopen přežít v chladnějším prostředí a zajistit stabilitu chuti po dlouhou dobu. Naproti tomu letní kimchi je fermentováno mnohem rychleji, a proto v něm dominuje *Leuconostoc mesenteroides*, který je zodpovědný za tvorbu sladších tónů díky produkci mannitolu. Studie rovněž prokázaly, že geografická poloha má vliv na mikrobiální složení kimchi, což souvisí s rozdílným složením půdní mikroflóry, kvalitou vody a složením ingrediencí používaných v různých oblastech Koreje (Lee *et al.*, 2019).

Produkce metabolitů mikroorganismy ovlivňuje nejen chuť a texturu kimchi, ale také jeho nutriční hodnotu a zdravotní účinky. Kromě kyseliny mléčné se v kimchi nachází také octová kyselina, která přispívá k jeho charakteristické pikantnosti. Některé druhy *Lactobacillus* produkují diacetyl a acetoin, které dodávají kimchi jemné máslové aroma. Další významnou látkou je  $\gamma$ -aminomáselná kyselina, která má prokázané neuroprotektivní účinky a může přispívat k lepší regulaci krevního tlaku. Některé studie se také zaměřily na produkci bakteriocinů, což jsou antimikrobiální látky produkované mléčnými bakteriemi, které mohou inhibovat růst patogenních mikroorganismů a prodlužovat trvanlivost kimchi (Cheigh *et al.*, 1994; Lee *et al.*, 2021).

Na složení mikrobiálního společenstva kimchi mohou mít vliv i další faktory, jako je koncentrace soli, způsob fermentace a přítomnost bakteriofágů. Sůl hraje klíčovou roli při regulaci fermentace, protože při vyšších koncentracích inhibuje růst nežádoucích bakterií, zatímco při nízkých koncentracích může dojít k nekontrolovanému růstu gramnegativních bakterií, které mohou způsobit nežádoucí sensorické změny. Přítomnost bakteriofágů byla zaznamenána v několika studiích a ukazuje se, že mohou ovlivnit složení fermentační mikroflóry tím, že napadají specifické druhy mléčných bakterií a mohou tak měnit průběh fermentačního procesu (Jung *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2022).

Díky moderním metagenomickým analýzám se dnes lépe chápe dynamika mikrobiálního společenstva v kimchi a lze tak optimalizovat podmínky fermentace pro dosažení konzistentnější kvality a lepšího sensorického profilu. Tato zjištění mají význam nejen pro tradiční výrobu, ale i pro průmyslovou produkci kimchi, kde je klíčové zajistit standardizovanou kvalitu produktu a zároveň zachovat jeho autentické charakteristiky (Jung *et al.*, 2011).

## 1.6. Biogenní aminy

Biogenní aminy (BA) jsou organické sloučeniny odvozené od aminokyselin, které mají významné biologické účinky. Jsou přítomny ve všech živých organismech a hrají důležitou roli v různých biologických procesech. Mají nízkomolekulární hmotnost a vykazují zásadité vlastnosti. Primárně vznikají enzymatickou dekarboxylací aminokyselin. Podle chemické struktury lze biogenní aminy rozdělit na heterocyklické (např. histamin, tryptamin), alifatické (např. putrescin, kadaverin) a aromatické (např. tyramin, fenyletylamin). Další klasifikace se odvíjí od počtu aminoskupin, přičemž rozlišujeme monoaminy (tyramin, fenyletylamin) a diaminy (histamin, putrescin, kadaverin). Tyto látky se přirozeně vyskytují u lidí i zvířat a plní významné biologické funkce, jako je přenos nervových vzruchů, regulace krevního tlaku, imunitní odpověď či kontrola buněčného růstu. Pokud se však v potravinách či nápojích akumulují ve vysokých koncentracích, mohou představovat vážné zdravotní riziko (Ladero *et al.*, 2010).

Hlavním exogenním zdrojem biogenních aminů je konzumace potravin a nápojů s vysokým obsahem těchto sloučenin (Shalaby, 1996; Premont *et al.*, 2001; Visciano a Schirone, 2022). Mezi nejčastější potraviny s významným množstvím biogenních aminů patří ryby a rybí produkty, stejně jako různé fermentované potraviny, včetně masa, mléčných výrobků, zeleniny, piva a vína. Mezi nejvýznamnější biogenní aminy v potravinách patří histamin, tyramin, putrescin, kadaverin a fenyletylamin, které vznikají dekarboxylací jejich výchozích aminokyselin-histidinu, tyrosinu, ornithinu, lysinu a fenylalaninu. Putrescin může být dále syntetizován deaminací agmatinu. Produkce biogenních aminů v potravinách je zajišťována mikroorganismy disponujícími enzymy dekarboxylázami, které přeměňují aminokyseliny na odpovídající aminy (Beutling, 1996; Barbieri *et al.*, 2019).

Tvorba biogenních aminů v potravinách závisí na několika faktorech, a to na přítomnosti prekurzorových aminokyselin, mikroorganismech schopných produkovat dekarboxylázy a podmínkách prostředí podporujících bakteriální růst a enzymatickou aktivitu (Wójcik *et al.*, 2021). Množství a složení biogenních aminů v potravinách ovlivňují jak vnitřní faktory (pH, vodní aktivita, složení potraviny, přítomná mikrobiota), tak vnější faktory (doba skladování, teplota), které umožňují růst bakterií během zpracování a uchovávání potravin.

K akumulaci biogenních aminů dochází především v prostředí, kde probíhá fermentace nebo mikrobiální degradace proteinů. Nejčastěji jsou spojeny s fermentovanými produkty, jako jsou sýry, maso, víno, pivo a kysané zelí, ale mohou se vyskytovat i v některých nefermentovaných

potravinách v důsledku mikrobiální kontaminace během skladování (Prester, 2011; Omidiran a Jenfa, 2023; Visciano a Schirone, 2022) Kontrola přítomnosti biogenních aminů v potravinách je proto klíčová z hlediska bezpečnosti potravin a prevence zdravotních rizik spojených s jejich nadměrným příjmem (Herrero *et al.*, 2008; Ruiz-Capillas a Herrero, 2019).

### 1.6.1. Výskyt biogenních aminů

Výskyt biogenních aminů v potravinách je široce rozšířený a zahrnuje především fermentované produkty, kde hrají mikroorganismy klíčovou roli v jejich tvorbě. Mezi nejvýznamnější potraviny s vysokým obsahem biogenních aminů patří fermentované sýry, fermentované maso, uzeniny, rybí omáčky, víno, pivo a samozřejmě také fermentované zeleninové produkty, jako je kimchi a kysané zelí (Ruiz-Capillas a Jimenéz-Colmenero, 2004; Saha Turna *et al.*, 2024). V některých případech mohou být biogenní aminy přítomny i v čerstvých potravinách, pokud došlo k jejich mikrobiální kontaminaci nebo degradaci bílkovin během skladování. Mezi další potraviny, kde mohou být biogenní aminy přítomny, patří některé druhy ovoce a zeleniny, sójové produkty, káva, čaj a čokoláda, ačkoli jejich koncentrace v těchto potravinách bývá obecně nižší než u fermentovaných výrobků (Papageorgiou *et al.*, 2017).

Produkce biogenních aminů v potravinách je do značné míry závislá na přítomnosti specifických mikroorganismů. Mezi nejčastější bakterie podílející se na tvorbě BA patří především bakterie mléčného kvašení, jako jsou rody *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus* a *Weissella* (Romano *et al.*, 2012). Kromě LAB se na produkci biogenních aminů podílejí i některé gramnegativní bakterie, jako je *Pseudomonas* nebo *Enterobacter*, a také některé druhy kvasinek (Lopez-Caballero *et al.*, 2001; Marcobal *et al.*, 2006). Produkce biogenních aminů je ovlivněna mnoha faktory, jako je dostupnost aminokyselin, skladovací podmínky, délka fermentace, teplota a pH prostředí. Například v sýrech se vysoké hladiny tyraminu a histaminu často vyskytují v důsledku dlouhé doby zrání a aktivity dekarboxylázových enzymů produkovaných bakteriemi (Doeun *et al.*, 2017; Natrella *et al.*, 2024).

V tabulce 1 (tab. 1) je přehled nejběžnějších biogenních aminů, jejich prekurzorů a mikroorganismů, které se podílejí na jejich tvorbě. Tato tabulka poskytuje ucelený přehled o tom, které mikrobiální druhy jsou klíčové v jednotlivých potravinových kategoriích a jaké aminy produkují. Významné rozdíly ve výskytu biogenních aminů lze pozorovat i mezi různými regiony a výrobními metodami, což souvisí s rozdílnou mikrobiální kontaminací

surovin, technologickými postupy a použitím specifických startovacích kultur, které mohou produkci biogenních aminů snižovat (Gardini *et al.*, 2016).

Tabulka 1: Přehled biogenních aminů s jejich prekurzory, enzymy podílející se na jejich tvorbě a mikroorganismy, které je produkují (Barbieri *et al.*, 2019).

Biogenní amin	Prekurzor aminokyseliny	Klasifikace	Dekarboxylázový enzym	Produkující druhy bakterií mléčného kvašení
Histamin	Histidin	Heterocyklický	Histidin dekarboxyláza	<i>E. faecium</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>L. sakei</i> , <i>L. curvatus</i> , <i>L. parabuchneri</i> , <i>L. buchneri</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. brevis</i> , <i>L. casei</i> , <i>L. paracasei</i> , <i>L. vaginalis</i> , <i>L. ratti</i> , <i>L. hilgardii</i> , <i>L. rhamnosus</i> , <i>L. paracollinoides</i> , <i>L. rossiae</i> , <i>L. helveticus</i> , <i>S. thermophilus</i> , <i>O. oeni</i> , <i>P. parvulus</i> , <i>Leuc. mesenteroides</i> , <i>W. cibaria</i> , <i>W. confusa</i> , <i>W. paramesenteroides</i> , <i>T. muraticus</i> , <i>T. halophilus</i>
Tyramin	Tyrosin	Aromatický	Tyrosin dekarboxyláza	<i>E. faecium</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>E. durans</i> , <i>E. hirae</i> , <i>E. casseliflavus</i> , <i>E. mundtii</i> , <i>L. sakei</i> , <i>L. curvatus</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. brevis</i> , <i>L. buchneri</i> , <i>L. casei</i> , <i>L. paracasei</i> , <i>L. reuteri</i> , <i>L. hilgardii</i> , <i>L. homohiochii</i> , <i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> , <i>S. macedonicus</i> , <i>Lc. lactis</i> , <i>Leuc. mesenteroides</i> , <i>W. cibaria</i> , <i>W. confusa</i> , <i>W. paramesenteroides</i> , <i>W. viridescens</i> , <i>C. divergens</i> , <i>C. maltaromaticum</i> , <i>C. gallinarum</i> , <i>T. halophilus</i> , <i>Sporolactobacillus</i> spp.
2-fenylethylamin	Fenylalanin	Aromatický	Tyrosin dekarboxyláza	<i>E. faecium</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>E. durans</i> , <i>E. hirae</i> , <i>E. casseliflavus</i> , <i>E. mundtii</i> , <i>L. brevis</i> , <i>Lc. lactis</i> , <i>Leuc. mesenteroides</i> , <i>C. divergens</i>
Kadaverin	Lysin	Alifatický	Lysin dekarboxyláza	<i>E. faecium</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>L. curvatus</i> , <i>L. brevis</i> , <i>L. casei</i> , <i>L. paracasei</i> , <i>S. thermophilus</i> , <i>Pediococcus</i> spp., <i>Leuc. mesenteroides</i> , <i>T. halophilus</i>
Putrescin	Arginin	Alifatický	Ornithin dekarboxyláza	<i>E. faecium</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>E. durans</i> , <i>E. hirae</i> , <i>E. casseliflavus</i> , <i>E. mundtii</i> , <i>L. sakei</i> , <i>L. curvatus</i> , <i>L. buchneri</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. brevis</i> , <i>L. paracasei</i> , <i>L. mali</i> , <i>L. rhamnosus</i> , <i>Lc. lactis</i> , <i>Leuc. mesenteroides</i> , <i>S. thermophilus</i> , <i>S. mutans</i> , <i>P. parvulus</i> , <i>O. oeni</i> , <i>T. halophilus</i>
	Agmatin	Alifatický	Agmatin deimináza	<i>E. faecium</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>E. durans</i> , <i>E. hirae</i> , <i>E. mundtii</i> , <i>L. curvatus</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. brevis</i> , <i>S. thermophilus</i> , <i>S. mutans</i> , <i>Lc. lactis</i> , <i>P. pentosaceus</i> , <i>Leuc. mesenteroides</i> , <i>W. halotolerans</i> , <i>C. divergens</i> , <i>C. maltaromaticum</i> , <i>C. gallinarum</i>

### 1.6.2. Toxicita biogenních aminů

Účinky biogenních aminů na lidské zdraví mohou být jak pozitivní, tak negativní. Některé biogenní aminy, jako jsou spermin a spermidin, hrají důležitou roli v buněčném růstu a regeneraci tkání, zatímco jiné, jako histamin a tyramin, mohou způsobit závažné zdravotní komplikace. Histamin je známý svými toxickými účinky, které mohou vést k otravě jídlem, známé jako histaminová intolerance nebo scombroidóza (Hungerford, 2010). Symptomy zahrnují bolesti hlavy, zarudnutí kůže, tachykardii, nevolnost a v těžkých případech i anafylaktický šok. Tyramin může způsobit prudké zvýšení krevního tlaku, zejména u jedinců užívajících inhibitory monoaminoxidázy, což může vést k hypertenzním krizím. Putrescin a kadaverin sice nemají přímé toxické účinky, ale mohou zesilovat negativní účinky histaminu tím, že inhibují jeho odbourávání v těle (McCabe-Sellers *et al.*, 2006).

Dalšími biogenními aminy, které mohou mít toxické účinky, jsou fenyletylamin a tryptamin. Fenyletylamin může ovlivňovat centrální nervový systém a vyvolávat euforické pocity podobné amfetaminům, avšak při nadměrné konzumaci může způsobovat hypertenzi a srdeční arytmiie. Tryptamin, který je prekurzorem serotoninu, může ve vysokých dávkách působit neurotoxicky a ovlivňovat regulaci nálady a krevního tlaku (Pegg, 2013).

Akumulace biogenních aminů v potravinách závisí na několika faktorech. Mezi klíčové aspekty patří teplota skladování, doba fermentace, dostupnost volných aminokyselin a přítomnost specifických enzymů (Gardini *et al.*, 2016). Vliv má také přítomnost dalších sloučenin, jako jsou polyfenoly a flavonoidy, které mohou modifikovat aktivitu enzymů zodpovědných za tvorbu nebo odbourávání biogenních aminů. Například katechiny přítomné v čaji mohou inhibovat enzymatické dráhy, které vedou k akumulaci některých biogenních aminů, a tím snižovat jejich toxicitu (Papageorgiou *et al.*, 2016).

Regulace těchto faktorů je klíčem k minimalizaci obsahu biogenních aminů v potravinách. Existuje několik strategií pro kontrolu jejich množství, včetně použití startovacích kultur s nízkou dekarboxylační aktivitou, regulace pH a soli, inhibice růstu nežádoucích bakterií tvořící biogenní aminy a aplikace enzymů schopných degradovat biogenní aminy. Například některé kmeny *Lactobacillus rhamnosus* nebo *Lactobacillus casei* byly identifikovány jako vhodné startovací kultury pro fermentované produkty, protože nevykazují schopnost produkovat biogenní aminy a zároveň podporují zdravou fermentaci (Rokka *et al.*, 2004). Dále se zkoumají geneticky modifikované mikroorganismy, které by mohly být využity ke snížení

obsahu biogenních aminů v potravinách pomocí cílené enzymatické degradace (Banicod *et al.*, 2025).

V souvislosti s toxickými účinky biogenních aminů je klíčové zohlednit individuální citlivost konzumentů. Například lidé s geneticky podmíněnou sníženou aktivitou enzymu diaminooxidázy mají vyšší riziko histaminové intolerance, protože nejsou schopni efektivně odbourávat histamin přijatý z potravy (“Scientific Opinion on Risk Based Control of Biogenic Amine Formation in Fermented Foods,” 2011). To může vést k chronickým symptomům, jako jsou bolesti hlavy, gastrointestinální potíže nebo kožní reakce. Proto se v některých případech doporučuje dietní omezení potravin s vysokým obsahem biogenních aminů, zejména u jedinců náchylných k migrénám nebo hypertenzi (Sanlier a Bektesoglu, 2021).

### **1.6.3. Limity biogenních aminů v potravinách**

Biogenní aminy, jako je histamin, jsou přirozeně se vyskytující látky v mnoha potravinách, zejména ve fermentovaných výrobcích a rybích produktech. Nadměrná konzumace těchto aminů může vést k nepříznivým zdravotním účinkům, včetně alergických reakcí a otrav, a proto je důležité monitorovat a regulovat jejich obsah v potravinách (“Scientific Opinion on Risk Based Control of Biogenic Amine Formation in Fermented Foods,” 2011).

Evropská unie stanovila specifické limity pro obsah histaminu v produktech rybolovu, zejména u druhů ryb s vysokým obsahem histidinu, jako jsou makrely, tuňáci, sledě nebo sardele. Nařízení Komise (ES) č. 2073/2005 stanoví mikrobiologická kritéria pro potraviny (Evropská komise, 2005) včetně maximálních povolených úrovní histaminu, a bylo následně upraveno nařízením Komise (EU) č. 1019/2013, které zohledňuje nově doporučené limity stanovené Komisí pro Codex Alimentarius (Evropská komise, 2013).

Podle platného evropského nařízení jsou stanoveny následující limity pro obsah histaminu v produktech rybolovu. U druhů ryb s vysokým obsahem histidinu je maximální povolená průměrná hodnota z devíti vzorků 100 mg/kg, přičemž žádný jednotlivý vzorek nesmí překročit 200 mg/kg. Pro produkty, které prošly enzymatickým zráním v solném roztoku, včetně fermentovaných výrobků, jako je rybí omáčka, je maximální povolená úroveň histaminu 400 mg/kg. Tyto limity vycházejí z doporučení Codex Alimentarius a vědeckých stanovisek Evropského úřadu pro bezpečnost potravin (EFSA) a jsou závazně upraveny nařízením (EU) č. 1019/2013, které zároveň stanovuje podrobné postupy odběru vzorků a analýzy (Evropská komise, 2013).

Pro jiné potraviny, jako jsou sýry, fermentované uzeniny, víno, pivo či kysané zelí, nejsou v současné době v legislativě EU stanoveny specifické limity pro obsah histaminu. Nicméně je známo, že tyto potraviny mohou obsahovat vyšší množství biogenních aminů. Například kysané zelí může obsahovat 42–52 mg/kg histaminu, přičemž ve šťávě z kysaného zelí byly zjištěny hodnoty až 174 mg/l. Vysoký obsah histaminu byl také zaznamenán u některých ryb, například u makrely až 3000 mg/kg a u tuňáka až 8000 mg/kg (Evropská komise, 2013).

Konzumace potravin s vysokým obsahem histaminu může u citlivých jedinců vyvolat různé zdravotní problémy, včetně alergických reakcí, bolestí hlavy, nevolnosti či v závažných případech anafylaktického šoku. U zdravých jedinců existují enzymatické mechanismy schopné odbourávat histamin, avšak při konzumaci většího množství může dojít k jejich přetížení. Riziko se zvyšuje při současném požití alkoholu, který může toxický účinek histaminu zesílit (“Scientific Opinion on Risk Based Control of Biogenic Amine Formation in Fermented Foods,” 2011)

Pro minimalizaci zdravotních rizik je doporučeno konzumovat pouze čerstvé ryby a vyhýbat se výrobkům z ryb s nejasným původem či skladováním. Dále se doporučuje omezit příjem potravin známých vyšším obsahem histaminu, jako jsou tvrdé sýry, fermentované uzeniny, víno, pivo, kysané zelí a některé druhy ryb. Osoby s intolerancí na histamin by měly být obzvláště opatrné a konzultovat svou dietu s odborníkem (Visciano *et al.*, 2014).

Výzkum v oblasti biogenních aminů se stále rozvíjí, přičemž moderní přístupy, jako jsou genetické modifikace startovacích kultur nebo využití specifických enzymů pro odbourávání biogenních aminů, nabízejí slibné cesty k regulaci jejich obsahu v potravinářských produktech (“Scientific Opinion on Risk Based Control of Biogenic Amine Formation in Fermented Foods,” 2011).

#### **1.6.4. Biogenní aminy v kimchi**

Biogenní aminy (BA) jsou běžnou součástí fermentovaných potravin včetně kimchi, kde vznikají jako vedlejší produkty mikrobiální aktivity. Mezi nejvýznamnější biogenní aminy identifikované v kimchi patří histamin, tyramin, putrescin a kadaverin. Jejich přítomnost závisí na několika faktorech, včetně použitých surovin, přirozené mikroflóry, podmínek fermentace a skladování (Kim *et al.*, 2022 a).

Tvorba biogenních aminů v kimchi je úzce spojena s přítomností bakterií mléčného kvašení (LAB), které hrají klíčovou roli v procesu fermentace. Mezi nejvýznamnější producenty

biogenních aminů v kimchi patří *Lactobacillus brevis*, který je známý svou schopností produkovat tyramin, *Lactobacillus plantarum*, jenž se podílí na produkci putrescinu, a *Weissella koreensis*, která byla v některých studiích identifikována jako producent histaminu (Jeong *et al.*, 2015). Přítomnost těchto bakterií ovlivňuje koncentraci jednotlivých aminů v různých typech kimchi, přičemž jejich hladina se může lišit v závislosti na druhu zeleniny a regionálních rozdílech ve výrobních postupech (Lee J. H. *et al.*, 2024).

Přítomnost biogenních aminů v kimchi je dále ovlivněna surovinami použitými při přípravě. Například fermentované rybí omáčky, jako je Myeolchi-aekjeot (fermentovaná ančovičková omáčka), mohou výrazně přispět k vyšším hladinám histaminu a tyraminu. Kromě toho bylo zjištěno, že některé druhy zeleniny přirozeně obsahují bakterie s vysokou dekarboxylační aktivitou. Například na ředkvi a čínském zelí byly identifikovány mikroorganismy schopné produkovat putrescin a kadaverin již před zahájením fermentace (Stadnik a Dolatowski, 2010).

Proces fermentace hraje zásadní roli v akumulaci biogenních aminů v kimchi. Bylo prokázáno, že delší fermentace a vyšší teploty skladování vedou k vyšší produkci biogenních aminů v důsledku zvýšené aktivity dekarboxylázových enzymů. Naproti tomu nízké teploty skladování a použití startovacích kultur s nízkou dekarboxylační aktivitou mohou významně snížit koncentraci biogenních aminů. Studie rovněž naznačují, že kontrola pH prostředí během fermentace může pomoci regulovat aktivitu enzymů zodpovědných za tvorbu biogenních aminů (“Scientific Opinion on Risk Based Control of Biogenic Amine Formation in Fermented Foods,” 2011).

Jednou z možností, jak snížit obsah biogenní aminy v kimchi, je cílený výběr mikroorganismů s nízkou schopností produkce těchto sloučenin. Bylo zjištěno, že některé kmeny *Lactobacillus sakei*, *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus plantarum* a *Pediococcus pentosaceus* nevykazují významnou produkci biogenních aminů a zároveň zajišťují správný průběh fermentace (Hugas a Monfort, 1997, Lee *et al.*, 2021, H. Kim *et al.*, 2023). Použití těchto bakterií jako startovacích kultur může vést k bezpečnějším fermentovaným produktům s nižším rizikem vysokých hladin biogenních aminů.

## 1.7. Rod *Lactobacillus*

Rod *Lactobacillus* patří mezi grampozitivní, fakultativně anaerobní bakterie mléčného kvašení, které jsou schopné produkovat kyselinu mléčnou jako hlavní produkt svého metabolismu. Jsou široce distribuovány v různých prostředích, včetně fermentovaných potravin, rostlinných materiálů, trávicího traktu savců i vody (Adesulu-Duhansi *et al.*, 2022).

Z biochemického hlediska jsou tyto bakterie kataláza-negativní a oxidáza-negativní, což znamená, že neprodukují enzym katalázu ani oxidázu. Lze je identifikovat pomocí různých mikrobiologických testů, jako jsou testy na fermentaci cukrů, hydrolýzu eskulínu nebo produkci CO<sub>2</sub> z glukózy. Většina druhů rodu *Lactobacillus* je schopna metabolizovat široké spektrum sacharidů, přičemž vykazují homofermentativní nebo heterofermentativní metabolismus, tedy produkují buď převážně kyselinu mléčnou, nebo směs kyseliny mléčné, octové a ethanolu (Zhao a Gänzle, 2018).

Druhy *Lactobacillus* jsou široce využívány v mlékárenském, masném a pekárenském průmyslu, kde přispívají k fermentaci a ochraně produktů před patogenními mikroorganismy. Díky jejich schopnosti produkovat bakteriociny a další metabolity inhibující růst škodlivých bakterií jsou tyto mikroorganismy klíčové pro bezpečnost a stabilitu fermentovaných potravin (Nataraj *et al.*, 2020).

V roce 2020 prošel rod *Lactobacillus* zásadní taxonomickou revizí, kdy byl na základě fylogenetických analýz rozdělen do 25 nových rodů (Zheng *et al.*, 2020). Nicméně mnoho druhů významných pro potravinářství a fermentaci si svůj název ponechalo, včetně těch, které dominují v kimchi. Kromě svého významu v potravinářství vykazují některé druhy probiotické vlastnosti, včetně schopnosti snižovat hladinu cholesterolu, posilovat střevní mikroflóru a inhibovat růst patogenních bakterií (Tang a Zhao, 2019).

### 1.7.1. *Lactobacillus* v kimchi

Kimchi představuje dynamický fermentační ekosystém, ve kterém laktobacily hrají klíčovou roli v regulaci fermentačního procesu, stabilizaci chuti a inhibici růstu nežádoucích mikroorganismů. Mezi nejčastěji identifikované druhy patří *Lactobacillus sakei*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus curvatus*, *Lactobacillus lactis* atd.

*Lactobacillus sakei* je dominantní v pozdějších fázích fermentace kimchi a vyniká svou schopností produkovat bakteriociny, které inhibují patogenní bakterie. Studie ukazují, že

některé kmeny *L. sakei* jsou vysoce odolné vůči nízkým teplotám a mohou přispět k delší stabilitě kimchi při skladování.

*Lactobacillus plantarum* (obr. 3) je v raných fázích fermentace často přítomen ve vysokých koncentracích. Je vysoce adaptabilní na různé podmínky a jeho fermentační aktivita zajišťuje rychlý pokles pH, což podporuje bezpečnost a kvalitu kimchi (Lee *et al.*, 2010). Dále je tento druh schopen produkovat exopolysacharidy, které mohou pozitivně ovlivňovat texturu fermentovaných potravin.



Obrázek 2: *Lactobacillus plantarum* pod mikroskopem (Abdulgawad 2016).

*Lactobacillus brevis* se vyskytuje ve střední a pozdní fázi fermentace, kdy se podílí na produkci bioaktivních metabolitů, včetně diacetylu a acetoinu, které přispívají k aromatickému profilu kimchi.

*Lactobacillus curvatus* je přítomen v kimchi ve variabilním množství, kde se podílí na regulaci fermentace a inhibici růstu konkurujících mikroorganismů.

*Lactobacillus lactis* při fermentaci hraje roli v produkci kyseliny mléčné, čímž přispívá k poklesu pH a stabilizaci produktu (Jung *et al.*, 2011).

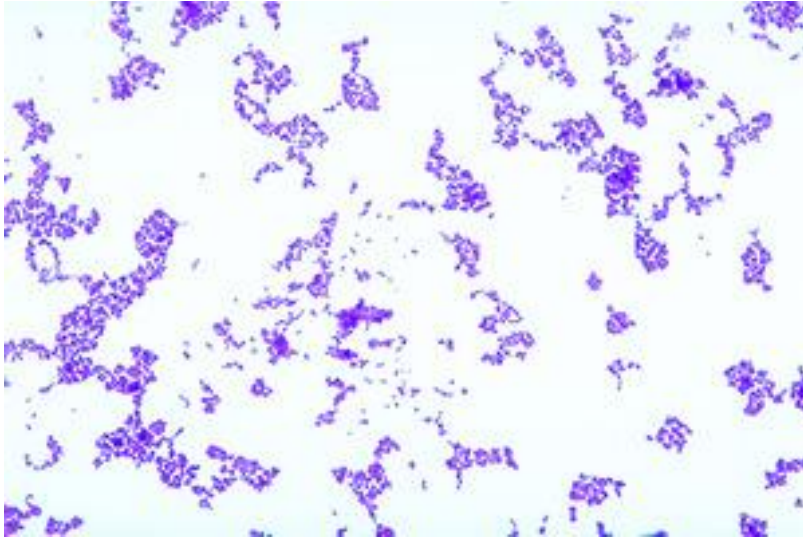
Druhové složení bakterií rodu *Lactobacillus* v kimchi se mění v závislosti na teplotě fermentace, skladovacích podmínkách a složení surovin. Studie ukázaly, že v závislosti na složení zeleniny mohou být některé druhy přítomny v různých koncentracích například *Lactobacillus plantarum* bývá častěji nalezen na listech čínského zelí, zatímco *Lactobacillus*

*sakei* dominuje v recepturách s vyšším obsahem fermentovaných mořských produktů (Behera *et al.*, 2018).

Důležitým faktorem ovlivňujícím dynamiku fermentace je také přítomnost bakterií schopných degradovat biogenní aminy, což je klíčový aspekt pro bezpečnost kimchi. Některé kmeny *Lactobacillus sakei* a *Lactobacillus plantarum* byly identifikovány jako schopné redukovat hladiny histaminu a tyraminu díky své enzymatické aktivitě. To naznačuje jejich potenciální využití jako startovacích kultur pro kontrolovanou fermentaci s minimalizovaným rizikem vysokých hladin biogenních aminů (Lee *et al.*, 2021).

## 1.8. *Lactococcus lactis*

*Lactococcus lactis* (obr. 4) je grampozitivní, fakultativně anaerobní bakterie, která hraje klíčovou roli v mléčném kvašení a je široce využívána v potravinářství, zejména při výrobě sýrů, másla a dalších fermentovaných produktů. Tato bakterie patří do čeledi *Streptococcaceae* a je schopná fermentovat různé cukry za vzniku kyseliny mléčné, čímž přispívá k okyselení prostředí a inhibici růstu nežádoucích mikroorganismů (Brooijmans *et al.*, 2007).



Obrázek 3: *Lactococcus lactis* pod mikroskopem (Avantor sciences, n.d.)

*Lactococcus lactis* je mezofilní organismus, jehož optimální teplota růstu se pohybuje mezi 25–30 ° C. Tato bakterie se vyznačuje schopností produkovat nejen kyselinu mléčnou, ale také širokou škálu dalších metabolitů, jako jsou diacetyl, acetaldehyd a různé peptidy, které přispívají k aroma a chuti fermentovaných produktů (Mills *et al.*, 2010). Důležitou vlastností *Lactococcus lactis* je jeho schopnost přežít v prostředí s vysokou koncentrací soli a nízkým pH, což umožňuje jeho široké využití v různých fermentačních procesech (Zhang *et al.*, 2016).

I když *Lactococcus lactis* není považován za klasický probiotický mikroorganismus jako některé kmeny rodu *Lactobacillus*, existují důkazy o jeho zdravotních benefitech. Studie ukazují, že některé kmeny *Lactococcus lactis* mohou posilovat imunitní systém a vykazují protizánětlivé účinky. Díky své schopnosti produkovat bakteriociny, jako je nisin, může *Lactococcus lactis* inhibovat růst patogenních mikroorganismů, což přispívá k bezpečnosti potravin (Kelly *et al.*, 1998). V biotechnologii je *Lactococcus lactis* využíván jako modelový organismus pro genetické inženýrství a expresi rekombinantních proteinů. Jeho genom byl kompletně sekvenován, což umožňuje jeho cílenou genetickou modifikaci pro výrobu

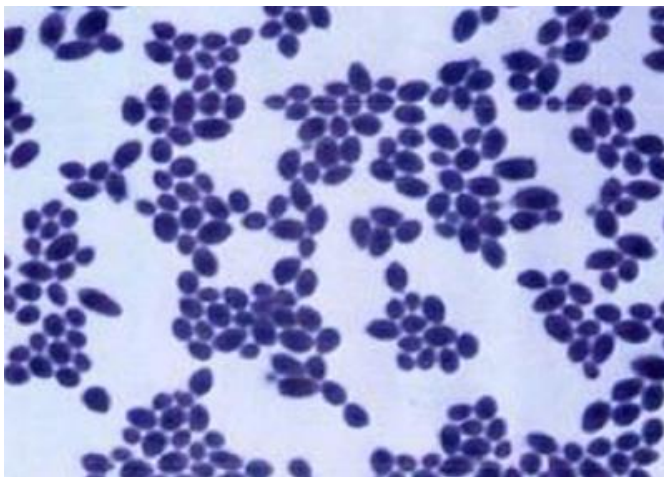
terapeutických proteinů nebo vakcín. V posledních letech se intenzivně zkoumá využití *Lactococcus lactis* jako možného vektoru pro perorální podání bioaktivních látek, například ve vývoji nových probiotických terapií (Mutalib *et al.*, 2014).

*Lactococcus lactis* je jedním z nejčastěji používaných mikroorganismů při kontrolované fermentaci mléčných výrobků, ale jeho potenciál se rozšiřuje i na fermentaci rostlinných produktů. Použití *Lactococcus lactis* jako startovací kultury umožňuje stabilnější fermentační proces a lepší kontrolu nad konečnými senzoryckými vlastnostmi produktu. V rostlinných fermentacích, jako je výroba fermentované zeleniny (např. kimchi), může *Lactococcus lactis* přispět ke stabilizaci mikrobiálního prostředí a zlepšení chuti výsledného produktu (Mills *et al.*, 2010).

*Lactococcus lactis* je důležitým mikroorganismem s širokým spektrem využití v potravinářství i biotechnologiích. Jeho fermentační schopnosti, produkce bioaktivních látek a potenciál pro genetické inženýrství z něj činí cenný nástroj nejen pro výrobu fermentovaných potravin, ale i pro medicínské aplikace. Další výzkum zaměřený na zlepšení jeho technologických vlastností a možnosti aplikace v nových oblastech by mohl přinést další inovace v oblasti potravinářství a biomedicíny (Campos *et al.*, 2023).

## 1.9. *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*

*Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* (obr. 5) je kvasinka patřící do rodu *Saccharomyces*, která se vyznačuje jedinečnými vlastnostmi odlišujícími ji od běžných kvasinek *S. cerevisiae*. Tato varianta je známá svou schopností přežít v trávicím traktu člověka, což ji činí významným probiotikem (Profir *et al.*, 2015). Kromě probiotických vlastností se využívá také v potravinářství jako startovací kultura při fermentaci a při výrobě funkčních potravin (Lazo-Velez *et al.*, 2018).



Obrázek 4: Pohled na *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* pod mikroskopem (Wikidata, n.d.)

Tato kvasinka se přirozeně vyskytuje v tropickém ovoci, jako jsou liči a mangostan, odkud byla poprvé izolována. Objev této kvasinky se datuje do roku 1923, kdy ji francouzský mikrobiolog Henri Boulard identifikoval při studiu tradičních fermentovaných nápojů v jihovýchodní Asii (Hatoum *et al.*, 2012). Dnes se *S. boulardii* kultivuje a vyrábí průmyslově jako součást probiotických přípravků a fermentačních kultur pro potravinářství (Mousa *et al.*, 2019).

Jedním z hlavních rozdílů mezi *S. boulardii* a standardními kvasinkami *S. cerevisiae* je její zvýšená termotolerance a odolnost vůči kyselému prostředí trávicího traktu. Díky této vlastnosti dokáže přežít průchod žaludkem a osídlit střeva, kde působí pozitivně na střevní mikrobiom (Pais *et al.*, 2020).

*Saccharomyces boulardii* je jedním z mála probiotických kvasinkových organismů s prokázanými zdravotními účinky. Mezi jeho hlavní benefity patří prevence průjemových onemocnění. *S. boulardii* pomáhá obnovit rovnováhu střevní mikroflóry a inhibuje růst patogenních mikroorganismů, jako jsou *Clostridioides difficile*, *Salmonella* a *Escherichia coli*

(Kelesidis a Pothoulakis, 2011, Chen *et al.*, 2024). Dále moduluje imunitní systém pomocí stimulace imunitní odpovědi hostitele, zejména produkci sekrečního IgA, který hraje roli v ochraně střevní sliznice (Hudson *et al.*, 2016). Kromě toho produkuje několik bioaktivních metabolitů s antioxidačními vlastnostmi, které pomáhají chránit buňky před oxidačním stresem. Mezi hlavní patří glutathion (GSH), silný intracelulární antioxidant neutralizující reaktivní kyslíkové radikály, superoxiddismutáza (SOD), která přeměňuje superoxidové radikály na méně reaktivní peroxid vodíku, a kataláza (CAT), jež rozkládá peroxid vodíku na vodu a kyslík (Estruch, 2000). Dále produkuje mannan-oligosacharidy (MOS) s imunomodulačními účinky a fenolické sloučeniny, jako je kyselina ferulová, které přispívají k ochraně buněk před volnými radikály a mají protizánětlivé vlastnosti (Datta *et al.*, 2016). Tyto metabolity nejen podporují zdraví hostitele, ale mohou také přispívat ke stabilitě fermentovaných produktů a prodlužovat jejich trvanlivost (Tomičić *et al.*, 2024).

Díky metabolismu krátkořetězcových mastných kyselin také podporuje tvorbu butyrátu a dalších mastných kyselin, které mají pozitivní vliv na zdraví střevního epitelu. Díky těmto účinkům se *S. boulardii* často používá jako součást léčby gastrointestinálních poruch, včetně průjmů souvisejících s antibiotiky, infekčních průjmů a syndromu dráždivého tračnicku (Profir *et al.*, 2015).

Vedle svých zdravotních benefitů se *S. boulardii* využívá také při fermentaci potravin. Její schopnost přežít v různých substrátech a metabolizovat široké spektrum cukrů z kvasinky činí vhodnou startovací kulturu. V potravinářství nachází uplatnění při výrobě kvašených nápojů, kde přispívá k tvorbě specifických aromatických profilů, a v mléčných výrobcích, kde v kombinaci s bakteriemi mléčného kvašení zlepšuje sensorické vlastnosti produktů (Capece *et al.*, 2018). *S. boulardii* se využívá i ve fermentované zelenině a ovoci. Její přidání do fermentovaných potravin pomáhá regulovat mikrobiální rovnováhu a podporuje růst žádoucích bakterií. Další aplikací je u fermentace mléčných výrobků. V některých experimentech byla testována v kombinaci s bakteriemi mléčného kvašení pro zlepšení sensorických vlastností jogurtů a kefirů (Rodriguez *et al.*, 2017).

V rámci potravinářského výzkumu se *S. boulardii* ukazuje jako perspektivní mikroorganismus pro výrobu funkčních potravin. Díky schopnosti produkovat bioaktivní látky a podporovat růst probiotických bakterií by mohla být využita jako součást nových fermentačních technologií zaměřených na zlepšení nutriční hodnoty a stability potravin (De Souza *et al.*, 2021).

## 1.10. *Bacillus cereus*

*Bacillus cereus* (obr. 6) je grampozitivní, fakultativně anaerobní, sporulující bakterie patřící do čeledi *Bacillaceae*. Tento mikroorganismus je běžně přítomný v půdě, vodě a rostlinných materiálech, což mu umožňuje snadný přenos do potravinového řetězce. Charakteristickým rysem *B. cereus* je jeho schopnost tvořit odolné endospory, které umožňují přežití v extrémních podmínkách a komplikují eliminaci této bakterie během běžných potravinářských procesů (Navaneethan a Effarizah, 2023). Kromě toho je *B. cereus* součástí širší skupiny *B. cereus* sensu lato, která zahrnuje i patogenní druhy, jako *B. anthracis* a *B. thuringiensis*, jež sdílejí některé genetické vlastnosti, ale liší se svými specifickými faktory virulence.



Obrázek 5: *Bacillus cereus* pod mikroskopem (BCCDC, n.d.)

Patogenita *B. cereus* je spojena především s jeho schopností produkovat toxiny, které mohou způsobovat dvě hlavní formy intoxikace, a to emetický syndrom a průjemový syndrom. Emetický syndrom je způsoben přítomností cereulidu, tepelně stabilního cyklického depsipeptidu, který působí jako iontový přenašeč a narušuje mitochondriální funkce buněk (Ehling-Schulz *et al.*, 2006). Tento toxin je produkován bakteriemi rostoucími v sacharidových potravinách, jako je rýže a těstoviny, pokud jsou nesprávně skladovány při teplotách umožňujících bakteriální proliferaci. Průjemový syndrom je naopak způsoben enterotoxiny, jako jsou hemolysin BL (HBL), nehemolytický enterotoxin (NHE) a cytotoxický K enterotoxin (CytK), které narušují integritu střevního epitelu a způsobují sekreci iontů a vody do střevního lumen (Ehling-Schulz *et al.*, 2005). Tyto toxiny se obvykle tvoří v potravinách s vysokým obsahem bílkovin, jako jsou maso, mléčné výrobky a zelenina.

*Bacillus cereus* je široce rozšířen v potravinách a prostředí, přičemž jeho přítomnost v potravinářském sektoru představuje významné riziko pro veřejné zdraví. Bakterie může kontaminovat suroviny již během sklizně nebo zpracování a její spory často přežívají standardní metody konzervace, včetně pasterizace (Rana *et al.*, 2020). Studie ukazují, že teplota skladování je klíčovým faktorem pro kontrolu růstu *B. cereus*, protože optimální růstové teploty se pohybují mezi 10 °C až 50 °C, zatímco růst je inhibován při teplotách pod 4 °C (Lechner *et al.*, 1998). Dále bylo prokázáno, že bakterie dokáže přežít v suchých podmínkách, což zvyšuje riziko kontaminace sušených potravin, jako jsou koření a instantní směsi (Kotiranta *et al.*, 1998).

Infekce způsobené *B. cereus* se neomezují pouze na gastrointestinální trakt, ale mohou zahrnovat i invazivní onemocnění, jako jsou endoftalmitida, nozokomiální infekce, septikémie a pneumonie, zejména u imunokompromitovaných pacientů (Novosad *et al.*, 2011, Shimoyama *et al.*, 2017, Little *et al.*, 2023). V klinické praxi byly zaznamenány i případy těžkých infekcí spojených s intravenózními katétry a chirurgickými zákroky, což podtrhuje schopnost této bakterie vyvolávat široké spektrum patologických stavů (Mursalin *et al.*, 2020).

Prevence kontaminace potravin *B. cereus* je založena na důsledném dodržování hygienických opatření během výroby a manipulace s potravinami. Klíčové strategie zahrnují kontrolu teploty skladování, rychlé chlazení vařených potravin a správné tepelné zpracování, které dokáže inaktivovat vegetativní buňky, i když spory mohou přežít a později vyklíčit. Vzhledem k tomu, že běžné dezinfekční metody nemusí být dostatečně účinné proti sporám *B. cereus*, je důležité implementovat kombinované metody dekontaminace, včetně použití vysokých tlaků, kombinace tepla a chemických látek nebo bakteriociny produkujících mikroorganismů (Ehling-Schultz, 2019).

Celkově je *Bacillus cereus* významným mikroorganismem, jehož přítomnost v potravinách představuje potenciální riziko pro lidské zdraví. Díky své schopnosti produkovat široké spektrum toxinů a přežít v nepříznivých podmínkách se jedná o bakteriální druh, který vyžaduje pečlivou kontrolu a přísná hygienická opatření v potravinářském průmyslu (Rossi *et al.*, 2018).

## **2. Experimentální část**

### **2.1. Pomůcky pro mikrobiologickou část**

Homogenizační sáčky

Homogenizační sáčky s membránou

Kahan

Kovové a plastové pomůcky

Krycí sklíčka

Laboratorní sklo (kádinky, odměrné válce)

Latexové rukavice

L-hokejky (plastové)

Mikropipety automatické Discovery Comfort (BiotTech, Česká republika)

Mikropipety automatické Finnpiipete (Thermo Scientific, USA)

Očkovací jehla

Očkovací kličky

Petriho misky (skleněné, plastové)

Pipety jednorázové plastové 1 ml, 10 ml

Podložní skla

Pomůcky k navažování

Silikonová podložka

Stojan na zkumavky

Špičky plastové

Zkumavky a kovové zátky

## **2.2. Přístroje pro mikrobiologickou část**

Analytické váhy KERN 442-43 (Německo)

Autokláv PS 20A, BMT Medical Technology s.r.o. (Česká republika)

Autokláv Sterilab, BMT Medical Technology s.r.o. (Česká republika)

Chladnička Liebherr (Německo)

Laboratorní mikroskop BX 41, OLYMPUS (Japonsko)

Mixér Eta TWIXER ETA601190000 (Česká republika)

Termostat LOVIBOND, Thermo Scientific (USA)

Vortex Bio Vortex V1, BIOSAN (Lotyšsko)

## **2.3. Chemikálie a roztoky pro mikrobiologickou část**

ethanol > 98 %

imersní olej pro mikroskopování

karbofuchsin

krystalová violet

Lugolův roztok

CampyGen Oxoid, Thermo Scientific (USA)

peroxid vodíku 3%

## 2.4. Kultivační média a jejich příprava

### **DRBC: Dichloran Medium Base with Rose Bengal (Oxoid, UK)**

Složení: masový pepton (5,00 g/l), D-glukóza (10,00 g/l), dihydrogenfosforečnan draselný (1,00 g/l), síran hořečnatý (0,50 g/l), bengálská červeň (0,025 g/l), dichloran (0,002 g/l), agar (15,00 g/l)

Konečné pH (při 25 °C) 5,6±0,2

Příprava:

Navážit 15,75 g směsi a nechat rozpouštět v 500 ml destilované vody. Sterilizovat v autoklávu při 121 °C po dobu 15 minut. Po ochlazení na 50 °C asepticky přidat rozpuštěný obsah lahvičky Chloramphenicol Selective Supplement (FD 033, HiMedia, Indie) a opatrně promíchat.

### **Fyziologický roztok**

Složení: chlorid sodný (8,50 g/l)

Příprava:

Navážit 8,50 g NaCl a rozpustit v 1000 ml destilované vody, sterilizovat v autoklávu při 121 °C po dobu 15 minut.

### **Fyziologický roztok s peptonem**

Složení: chlorid sodný (8,50 g/l), pepton (1,00 g/l)

Příprava:

Navážit 8,50 g NaCl a 1,00 g peptonu a rozpustit v 1000 ml destilované vody. Sterilizovat v autoklávu při 121 °C po dobu 15 minut.

### **GTK: Tryptone Glucose Extract Agar (HiMedia, Indie)**

Složení: kaseinový hydrolyzát (5,00 g/l), kvasničný extrakt (2,50 g/l), glukóza (1,00 g/l), agar (15,00 g/l)

Konečné pH (při 25 °C) 7,0±0,2

Příprava:

Navážit 23,50 g směsi a rozpustit v 1000 ml destilované vody, sterilizovat v autoklávu při 121 °C po dobu 15 minut.

### **Krevní agar: Blood Agar Base No. 2 (HiMedia, Indie)**

Složení: proteosový pepton (15,00 g/l), játrový extrakt (2,50 g/l), kvasničný extrakt (5,00 g/l), chlorid sodný (5,00 g/l), agar (15,00 g/l)

Konečné pH (při 25 °C) 7,4±0,2

Příprava:

Navážit 21,25 g směsi a rozpustit v 500 ml destilované vody. Sterilizovat v autoklávu při 121 °C po dobu 15 minut. Ochladit na 45 °C a asepticky přidat 7 % sterilní defibrilované krve (35 ml na 500 ml roztoku) a opatrně promíchat.

### **Lee's agar (HiMedia, Indie)**

Složení: enzymatický hydrolyzát kaseinu (10,00 g/l), kvasničný extrakt (10,00 g/l), laktóza (5,00 g/l), sacharóza (5,00 g/l), uhličitan vápenatý (3,00 g/l), hydrogenfosforečnan (di)draselný (0,50 g/l), bromkresolová červeň (0,02 g/l), agar (18,00 g/l)

Konečné pH (při 25 °C) 7,0±0,2

Příprava:

Navážit 25,76 g přípravku do 500 ml destilované vody. Sterilizovat v autoklávu při 121 °C po dobu 20 minut.

### **MRS: *Lactobacillus* MRS Agar (HiMedia, Indie)**

Složení: masový pepton (10,00 g/l), hovězí extrakt (8,00 g/l), kvasničný extrakt (5,00 g/l), glukóza (20,00 g/l), polysorbát 80 (1,00 g/l), citran amonný (2,00 g/l), octan sodný (5,00 g/l), heptahydrát síranu hořečnatého (0,20 g/l), tetrahydrát síranu manganatého (0,05 g/l), hydrogenfosforečnan (di)draselný (2,00 g/l), agar (12,00 g/l)

Konečné pH (při 25 °C) 5,7±0,2

Příprava:

Navážit 32,62 g přípravku do 500 ml destilované vody. Sterilizovat v autoklávu při 121 °C po dobu 15 minut.

### **MYP: Modified MYP Agar Base (HiMedia, Indie)**

Složení: pepton (10,00 g/l), masový extrakt (1,00 g/l), D-mannitol (10,00 g/l), chlorid sodný (10,00 g/l), fenolová červeň (0,025 g/l), agar (15,00 g/l)

Konečné pH (při 25 °C) 7,2±0,2

Příprava:

Navážit 23,00 g směsi a rozpustit v 450 ml destilované vody, sterilizovat v autoklávu při 121 °C 15 minut. Ochladit na 55 °C a sterilně přidat Polymyxin B Sulphate (FD 003, HiMedia, Indie) a 50 ml žloutkové emulze (Egg Yolk Emulsion, FD 045, HiMedia, Indie) a mícháním rozpustit.

### **VČŽL: Violet Red Bile Agar (HiMedia, Indie)**

Složení: masový pepton (7,00 g/l), kvasničný extrakt (3,00 g/l), žlučové soli – směs (1,50 g/l), laktosa (10,00 g/l), chlorid sodný (5,00 g/l), neutrální červeň (0,03 g/l), krystalová violet' (0,002 g/l), agar (15,00 g/l)

Konečné pH (při 25 °C) 7,4±0,2

Příprava:

Navážit 41,53 g směsi a rozpustit v 1000 ml destilované vody. Neautoklávovat. Nechat sterilizovat ve vodní lázni (99 °C, 30 minut).

## **2.5. Použité suroviny**

Suroviny na přípravu kimchi byly zakoupeny v obchodech Tesco. V tabulce (tab. 2) jsou uvedeny informace o surovinách a datумы zakoupení.

Tabulka 2: Informace o použitých surovinách

Surovina	Země původu	Hmotnost	Výrobce
Pekingské zelí	Polsko	1 kg	Brop s.r.o.
Ředkev bílá	Itálie	500 g	Tesco
Mrkev volná	Slovensko	200 g	Brop s.r.o.
Lahůdková cibulka	Česká republika	80 g	Tesco
Červené Jablko BIO	Česká republika	200 g	Tesco
Česnek	Česká republika	50 g	Tesco
Zázvor	Čína	100 g	Tesco
Chilli kousky	Česká republika	18 g	Vitana
Rybí omáčka	Thajsko	200 g	Orient Gourmet Co.
Sůl himalájská	Pákistán	500 g	K + S

## 2.6. Pravidla mikrobiologické analýzy

Všechna mikrobiologická stanovení byla provedena vždy v dubletu. Při stanovení byly dodržovány zásady aseptické práce jako je sterilizace materiálů a pomůcek, dezinfekce prostředí a likvidace kontaminovaného odpadu.

## 2.7. Mikrobiologický rozbor surovin

Před přípravou kimchi byl proveden mikrobiologický rozbor jednotlivých použitých surovin. Z každé suroviny byl odebrán reprezentativní vzorek, který byl následně homogenizován v peristaltickém homogenizátoru spolu s odpovídajícím ředícím roztokem. Takto připravený homogenát (ředění  $10^{-1}$ ) byl dále upraven pomocí desítkového ředění (1 ml vzorku + 9 ml ředícího roztoku, ředění  $10^{-2}$ ) a použit pro mikrobiologickou analýzu.

Testování probíhalo za využití vhodných selektivních nebo pomnožovacích půd v souladu s platnými normami ČSN, přičemž cílem bylo zejména kvalitativní zjištění možné mikrobiální kontaminace. Jelikož se nepředpokládala výrazná mikrobiologická kontaminace, byly analýzy prováděny pouze na prvních dvou ředěních.

Tabulka (tab. 3) obsahuje seznam analyzovaných surovin, množství odebraných vzorků a objem ředícího roztoku, který byl pro všechny suroviny fyziologický roztok s peptonem. Všechny suroviny byly před odběrem důkladně promíchány nebo nakrájeny, aby bylo zajištěno odebrání reprezentativních vzorků.

Tabulka 3: Seznam analyzovaných surovin, jejich množství a objem ředícího roztoku

Surovina	Množství odebrané na rozbor	Objem ředícího roztoku
Pekingské zelí	10 g	90 ml
Ředkev bílá	10 g	90 ml
Mrkev	10 g	90 ml
Lahůdková cibulka	10 g	90 ml
Jablko	10 g	90 ml
Chilli	2 g	98 ml
Rybí omáčka	1 ml	9 ml

### 2.7.1. Stanovení celkového počtu mezofilních aerobních a fakultativně anaerobních mikroorganismů kultivační metodou

Stanovení celkového množství mezofilních aerobních a fakultativně anaerobních mikroorganismů bylo provedeno podle normy ČSN EN ISO 4833, která slouží k odhadu celkové mikrobiální kontaminace surovin či potravin. Zvolené ředění homogenátu bylo aplikováno metodou roztěru na povrch neselektivní půdy GTK. Po následné inkubaci byl zaznamenán počet kolonií (CFU) na jednotlivých Petriho miskách a na základě toho vypočtena výsledná koncentrace CFU v jednom gramu analyzované suroviny. Výpočet probíhal ve všech případech podle stejného vzorce (rovnice 1):

$$N = \frac{\Sigma c}{V \cdot (n_1 + 0,1 \cdot n_2) \cdot d} [CFU/g] \quad (1)$$

V uvedeném vzorci označuje součet  $C$  celkový počet kolonií napočítaných na vybraných Petriho miskách. Proměnná  $n_1$  udává počet misek odpovídajících prvnímu použitému ředění, zatímco  $n_2$  značí počet misek s následujícím, vyšším ředěním. Hodnota  $V$  představuje objem inokulovaného vzorku, který byl aplikován na půdu (nejčastěji 1 nebo 0,1 ml), a  $d$  pak vyjadřuje převrácenou hodnotu nejnižšího použitého ředění, ze kterého byl výpočet proveden.

Po důkladném promíchání byla odebrána potřebná porce suroviny (viz tab. 3), která byla následně smíchána s odpovídajícím objemem ředícího roztoku. Po dvouminutové homogenizaci v peristaltickém homogenizátoru byl odebrán vzorek homogenátu, který byl dále zpracován pomocí desítkového ředění. Vybraná ředění byla poté inokulována na povrch GTK agaru pomocí sterilní plastové L-hokejky. Inkubace probíhala při teplotě 30 °C po dobu 24 až

48 hodin. Po jejím ukončení byly spočítány vzniklé kolonie a celkový počet mikroorganismů ve vzorku byl určen podle výše uvedeného výpočtu (norma ČSN EN ISO 4833).

### **2.7.2. Stanovení celkového počtu plísní a kvasinek**

Po důkladném promíchání byla ze suroviny odebrána potřebná porce (viz tab. 3). Tento reprezentativní vzorek byl následně smíchán s definovaným objemem ředícího roztoku dle údajů uvedených v tabulce. Po dvouminutové homogenizaci v peristaltickém homogenizátoru byl odebrán vzorek vzniklého homogenátu, který byl dále upraven formou desítkového ředění. Vybraná ředění byla následně rovnoměrně nanášena na povrch kultivační půdy DRBC pomocí sterilní plastové L-hokejky.

Petriho misky s naočkovanými vzorky byly inkubovány při teplotě 25 °C po dobu 5 až 7 dnů. Po ukončení inkubace byly sečteny kolonie tvořící jednotky (CFU) a pomocí rovnice 1 byl vypočten celkový počet CFU na gram analyzovaného vzorku v souladu s normou ČSN ISO 21527-1.

### **2.7.3. Stanovení koliformních mikroorganismů**

Po důkladném promíchání suroviny bylo odebráno odpovídající množství pro analýzu (viz tab. 3). Tento reprezentativní vzorek byl smísen s přesně stanoveným objemem ředícího roztoku dle údajů uvedených v tabulce 3. Po dvou minutách homogenizace v peristaltickém homogenizátoru byl odebrán vzorek homogenátu, který byl následně upraven formou desítkového ředění. Připravená ředění byla nanášena na povrch selektivního média VČŽL za pomoci sterilní plastové L-hokejky. Inokulované misky byly inkubovány při teplotě 37 °C po dobu 24 až 48 hodin. Po inkubaci byly spočítány kolonie tvořící jednotky (CFU) a celková koncentrace mikroorganismů ve vzorku byla vypočtena pomocí rovnice 1, v souladu s požadavky normy ČSN ISO 4832.

### **2.7.4. Stanovení počtu presumptivních bakterií *Bacillus cereus***

Po důkladném promíchání byla odebrána potřebná dávka suroviny pro mikrobiologický rozbor (viz tab. 3). Tento vzorek byl následně smíchán s příslušným objemem ředícího roztoku dle uvedených parametrů. Po dvouminutové homogenizaci provedené v peristaltickém homogenizátoru byl odebrán vzniklý homogenát, který byl dále zředěn desítkovým ředěním.

Vzorky z obou ředění byly poté rovnoměrně rozprostřeny po povrchu kultivačního média MYP pomocí sterilní plastové L-hokejky. Petriho misky byly umístěny do termostatu, kde probíhala inkubace při 30 °C po dobu 24 až 48 hodin. Po ukončení inkubace byly na miskách spočítány

kolonie tvořící jednotky (CFU) a jejich celková koncentrace ve vzorku byla vypočtena pomocí rovnice 1 v souladu s normou ČSN EN ISO 7932.

### **2.7.5. Stanovení mezofilních bakterií mléčného kvašení**

Po důkladném promíchání bylo odebráno odpovídající množství analyzované suroviny (viz tab. 3). Získaný reprezentativní vzorek byl následně smíchán s definovaným objemem ředícího roztoku. Po dvouminutové homogenizaci v peristaltickém homogenizátoru byl získán homogenát, který byl následně odebrán a dále zpracován pomocí desítkového ředění.

Obě připravená ředění byla 0,1 ml plastovou L-hokejkou aplikována na povrch selektivního média MRS. Petriho misky byly umístěny do anaerobního systému (Oxoid Campygen), který vytváří mikroaerofilní podmínky nezbytné pro růst cílových mikroorganismů. Inkubace probíhala při 37 °C po dobu 72 hodin.

Po uplynutí inkubační doby byly kolonie spočítány a celková koncentrace kolonie tvořících jednotek (CFU) v 1 g suroviny byla vypočtena dle rovnice 1 v souladu s normou ČSN EN ISO 15214.

### **2.7.6. Mikroskopická analýza vybraných kolonií**

Vybrané bakteriální kolonie získané z kultivačních půd byly dále analyzovány pomocí mikroskopických metod za účelem získání základních charakteristik mikrobiálního typu. Kolonie byly přeočkovány buď na krevní agar nebo na stejný selektivní agar, z něhož byly původně izolovány, pro zachování růstových podmínek a čistoty kultury.

Po inkubaci byly bakterie obarveny dle Grama. Na podložní skličko se nanasla kapka fyziologického roztoku, do které byla inokulační kličkou přenesena testovaná kolonie. Po zaschnutí se preparát zafixoval plamenem. Následně se postupně aplikovala krystalová violet (30 s), Lugolův roztok (30 s), alkohol pro odbarvení a destilovaná voda k oplachu. Poté byl vzorek dobarven karbolfuchsinem (30 s) a opět opláchnut vodou. Po oschnutí byl preparát pozorován imerzním objektivem. Grampozitivní bakterie si ponechaly fialové zbarvení, gramnegativní se zbarvily růžově až červeně.

## **2.8. Příprava kimchi**

Kimchi bylo připraveno dle receptu vybraného z internetu. Seznam suroviny použitých na přípravu je v tabulce č. 4.

Tabulka 4: Suroviny použité na přípravu kimchi.

Surovina	Množství (hmotnost/objem)
Pekingské zelí	1 kg
Ředkev bílá	150 g
Mrkev volná	60 g
Lahůdková cibulka	60 g
Červené Jablko	80 g
Česnek	20 g
Zázvor	20 g
Chilli kousky	15 g
Rybí omáčka	45 ml
Sůl mořská	50 g
Destilovaná voda	500 ml

Pro přípravu kimchi byla nejprve hlávka pekingského zelí (1 kg) rozčtvrcena podélným řezem a zbavena košťálu. Jednotlivé části byly následně nakrájeny na proužky široké přibližně 2–3 cm. Takto připravené zelí bylo vloženo do větší nádoby a rovnoměrně zasypáno mořskou solí, a to v množství odpovídajícím přibližně 5 % jeho hmotnosti (50 g). Poté bylo zalito 500 ml destilované vody. Směs byla důkladně promíchána a ponechána stát při pokojové teplotě po dobu 1–2 hodin.

Po uplynutí této doby byla voda slita a zelí třikrát propláchnuto studenou destilovanou vodou za účelem odstranění přebytečné soli. Poté bylo ponecháno v cedníku přibližně 15–20 minut k odkapaní. Mezitím byla připravena kořenící pasta smícháním najemno nasekaného česneku, zázvoru, nakrájeného jablka, rybí omáčky a chilli vloček. Výsledná směs byla důkladně promíchána a rozmixována do konzistence homogenní pasty.

Do připravené pasty bylo přidáno propláchnuté a odkapané zelí, dále na tenké proužky nakrájená bílá ředkev, mrkev a nasekaná jarní cibulka. Pomocí rukavic byla zelenina s pastou důkladně promíchána tak, aby došlo k rovnoměrnému obalení všech složek.

Vzniklá směs byla pevně napěchována do čistých, sterilizovaných sklenic. Byl ponechán dostatečný prostor pod víčkem pro akumulaci plynu vznikajícího během fermentace. Sklenice byly uzavřeny a ponechány při pokojové teplotě (20–22 °C) k fermentaci po dobu 3 dní.

V průběhu této fáze bylo doporučeno každý den víčko na chvíli uvolnit za účelem odvedení přebytečného oxidu uhličitého vznikajícího při fermentačním procesu. Po dosažení požadované chuti a míry fermentace (po 3 dnech) byly nádoby přesunuty do ledničky, čímž došlo ke zpomalení fermentační aktivity.

### **2.8.1. Příprava vzorků kimchi s inokulací specifickými mikroorganismy**

V rámci experimentu byly připraveny čtyři varianty fermentovaného výrobku kimchi. Výchozím bodem byl standardní postup přípravy kimchi, jak je popsán v kapitole [2.8.] (Příprava kimchi). Modifikace jednotlivých vzorků spočívala v inokulaci připravené kořenící pasty specifickými mikroorganismy.

První varianta představovala kontrolní vzorek připravený dle standardního receptu bez jakékoli dodatečné inokulace mikroorganismy. Fermentace probíhala spontánně za využití přirozené mikroflóry surovin.

Ve druhé variantě byla provedena inokulace kořenící pasty kmenem *Lactobacillus acidophilus*. Tento mikroorganismus byl použit ve formě lyofilizovaného prášku. Po přípravě kořenící pasty byl lyofilizát přidán přímo do pasty v množství odpovídajícím cca  $10^8$  CFU na dávku kimchi. Směs byla důkladně promíchána pro zajištění rovnoměrného rozptýlení bakterií. Následně byl postup přípravy kimchi dokončen standardním způsobem a vzorek byl ponechán k fermentaci při pokojové teplotě.

Třetí varianta zahrnovala inokulaci kmenem *Saccharomyces cerevisiae* var. *bouardii*. Tento probiotický kvasinkový kmen byl získán ve formě kapslí, jejichž obsah byl vysypán přímo do připravené kořenící pasty. Jedna kapsle obsahovala přibližně  $5 \times 10^9$  CFU. Po přidání kvasinek byla pasta pečlivě promíchána, aby došlo k rovnoměrné distribuci inokula. Fermentace probíhala za stejných podmínek jako u ostatních variant.

Čtvrtý vzorek byl inokulován kmenem *Bacillus cereus*. Pro inokulaci byla použita čerstvá, 24 hodin stará kultura připravená na krevním agaru. Pomocí sterilní kličky byla kultura suspendována do sterilního fyziologického roztoku. 1 ml suspenze (odpovídající koncentraci  $10^8$  CFU) byl přidán do kořenící pasty a promíchán pro rovnoměrné rozprostření. Následná příprava a fermentace kimchi probíhala stejně jako u ostatních variant.

## **2.9. Mikrobiologická analýza kimchi**

Byla sledována dynamika fermentace čtyř různých variant kimchi inokulovaných specifickými mikroorganismy, jak je popsáno v kapitole [2.8.2]. Analýza se zaměřovala především na

kvantifikaci počtu bakterií mléčného kvašení a v případě vybraných vzorků i na sledování růstu kvasinek a bakterií rodu *Bacillus*.

Vzorky kimchi byly odebírány opakovaně v průběhu fermentace. Po zahájení fermentace při pokojové teplotě byly vzorky odebírány po 24, 48 a 72 hodinách. Následně bylo kimchi uchováváno v chladničce (cca 4 °C) a odběry pokračovaly po přibližně denních intervalech až do ukončení fermentačního procesu, který zpravidla trval 6 až 7 dní při chladničkové teplotě.

### **2.9.1. Stanovení počtu mezofilních bakterií mléčného kvašení**

Počet bakterií mléčného kvašení byl stanovován kultivační metodou dle normy ČSN EN ISO 15214. Vzorky byly inokulovány na půdy MRS, které selektivně podporují růst laktobacilů.

Po důkladném promíchání byl z každého vzorku odebrán reprezentativní podíl kimchi. Tento vzorek byl homogenizován s odpovídajícím množstvím ředícího roztoku v peristaltickém homogenizátoru po dobu 2 minut. Homogenát byl následně desítkově ředěn (1 ml homogenizátu + 9 ml ředícího roztoku).

0,1 ml příslušného ředění byla poté inokulována na povrch MRS agaru a pomocí sterilní plastové L-hokejky rozetřena. Misky s MRS agarem byly umístěny do mikroaerofilního prostředí pomocí systému Oxoid Campygen (Thermo scientific), aby byly zajištěny mikroaerofilní podmínky nezbytné pro růst bakterií mléčného kvašení. Inkubace probíhala při 37 °C po dobu 24 hodin. Po uplynutí inkubační doby byl spočítán počet kolonií (CFU) a celková koncentrace bakterií byla vypočítána podle rovnice 1. Výsledky byly vyjádřeny v jednotkách CFU/g vzorku (ČSN EN ISO 15214).

### **2.9.2. Stanovení počtu aerobních bakterií mléčného kvašení**

Po důkladném promíchání byl z každého vzorku odebrán reprezentativní podíl kimchi. Tento vzorek byl homogenizován s odpovídajícím množstvím ředícího roztoku v peristaltickém homogenizátoru po dobu 2 minut. Homogenát byl následně desítkově ředěn (1 ml homogenizátu + 9 ml ředícího roztoku).

0,1 ml použitých ředění byla následně rovnoměrně rozetřena na povrch kultivačního média Lee's agar pomocí sterilní plastové L-hokejky. Naočkované Petriho misky byly inkubovány aerobně při teplotě 30 °C po dobu 24 až 48 hodin. Po ukončení inkubace byl proveden odečet

počtu kolonií tvořících jednotky (CFU) a vypočten celkový počet CFU na gram analyzovaného vzorku dle rovnice 1.

### 2.9.3. Stanovení počtu kvasinek v kimchi inokulovaném *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*

Pro vzorek kimchi inokulovaný *S. cerevisiae* var. *boulardii* bylo provedeno také stanovení celkového počtu kvasinek, aby bylo možné sledovat jejich růst během fermentace. Stanovení bylo provedeno dle normy ČSN ISO 21527-1, za použití selektivní půdy DRBC.

Z homogenizovaného a následně desítkově ředěného vzorku byla dvě ředění inokulována na povrch DRBC agarů metodou roztěru pomocí sterilní plastové L-hokejky. Misky byly následně inkubovány při 25 °C po dobu 2-3 dní. Po inkubaci byl spočítán počet kvasinek a celková koncentrace byla vypočítána dle normy ČSN ISO 21527-1.

### 2.9.4. Stanovení počtu *Bacillus cereus* v kimchi inokulovaném *Bacillus cereus*

V případě vzorku inokulovaného kmenem *Bacillus cereus* bylo nezbytné sledovat vývoj tohoto mikroorganismu během fermentace. Stanovení počtu *Bacillus cereus* bylo provedeno dle normy ČSN EN ISO 7932, s využitím selektivní půdy MYP.

Z připraveného homogenátu byla 0,1 ml obou ředění ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ) inokulována na povrch MYP agarů metodou roztěru pomocí sterilní L-hokejky. Inkubace probíhala při 30 °C po dobu 24 až 48 hodin. Po inkubaci byly spočítány charakteristické kolonie a výsledky byly vyhodnoceny podle normy.

## 2.10. Použité mikroorganismy

Použité mikroorganismy jsou popsány v tabulce (tab.5).

Tabulka 5: Použité mikroorganismy a jejich původ.

Kultura	Sbírka	Firma
<i>Bacillus cereus</i>	Pasteurův institut, Paříž, Francie	
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> var. <i>boulardii</i>		Optibac
<i>Lactobacillus acidophilus</i>		Milcom a.s.

## 2.11. Senzorická analýza kimchi

Součástí hodnocení fermentace jednotlivých variant kimchi byla rovněž sensorická analýza, která měla za cíl posoudit vývoj organoleptických vlastností vzorků v průběhu fermentačního procesu. Sensorické hodnocení probíhalo souběžně s mikrobiologickým sledováním, avšak první posouzení bylo zahájeno až po 48 hodinách fermentace při pokojové teplotě, neboť teprve v této fázi dochází k dostatečnému rozvoji typických chuťových a aromatických profilů kimchi. Následně byly sensorické analýzy prováděny po 72 hodinách fermentace a dále během skladování vzorků při chladničkové teplotě (4 °C). Hodnocení bylo obvykle ukončeno po 6–7 dnech skladování při 4 °C.

Každý hodnoticí den byly vzorky všech testovaných variant kimchi sensoricky posouzeny. Sensorického hodnocení se účastnilo 4 až 6 nezávislých, nezaujatých hodnotitelů. Tito hodnotitelé nebyli informováni o druhu inokulace jednotlivých vzorků, čímž byla zajištěna objektivita a minimalizace ovlivnění výsledků. Z bezpečnostních důvodů nebyla do sensorického hodnocení zahrnuta varianta kimchi inokulovaná kmenem *Bacillus cereus*, jelikož se jedná o toxinogenní mikroorganismus a existovalo riziko kontaminace či intoxikace.

### 2.11.1. Hodnotící parametry

Pro každého hodnotitele byl připraven standardizovaný hodnoticí formulář, jehož struktura byla jednotná po celou dobu trvání experimentu a formulář je přiložen v Příloze č. 1 diplomové práce.

Hodnotitelé posuzovali pach, chuť, kyselost, slanost, pálivost a rybí aroma a texturu. Pach byl hodnocen pomocí pětibodové škály, a to velice nepříjemný, nepříjemný, neutrální, příjemný, velice příjemný. Hodnocení celkového chuťového vjemu probíhalo rovněž na pětibodové verbální škále, identické jako u hodnocení pachu. Navíc byla u každého vzorku samostatně hodnocena intenzita jednotlivých základních chuťových složek:

Intenzita kyselosti, slanosti, pálivosti a rybího aroma byla hodnocena na pětibodové numerické škále a to neznatelná, velmi slabá, slabá, střední a silná. Textura vzorku byla hodnocena na pětibodové verbální škále totožné se škálou používanou pro hodnocení pachu a chuti.

### 2.11.2. Průběh sensorické analýzy

Před samotným hodnocením byli všichni hodnotitelé poučeni o použitých škálách a kritériích hodnocení. Vzorky byly anonymizovány a označeny kódy, aby bylo vyloučeno možné ovlivnění hodnotitelů. Degustace probíhala v klidném prostředí s neutrálními podmínkami,

vhodnými pro sensorickou analýzu. Mezi jednotlivými vzorky byla dodržována dostatečná časová prodleva, hodnotitelé si mohli neutralizovat chuťovou vjemovou stopu např. vodou. Výsledky hodnocení byly zaznamenány do připravených formulářů a následně zpracovány pro statistickou analýzu.

### 3. Výsledky a diskuze

#### 3.1. Výsledky mikrobiologického rozboru surovin

Před zahájením fermentace byly jednotlivé suroviny podrobeny mikrobiologickému rozboru, jehož cílem bylo zhodnotit jejich hygienickou kvalitu a mikrobiální složení s ohledem na jejich potenciální vliv na průběh fermentace a bezpečnost výsledného produktu. Hodnoceny byly následující parametry, a to celkové počty mikroorganismů (CPM), bakterie mléčného kvašení, koliformní bakterie, *Bacillus cereus*, kvasinky a plísně. Výsledky jsou shrnuty v tabulce (tab.6).

Tabulka 6: Mikrobiologický rozbor surovin

Suroviny	Pekingské zelí	Ředkev bílá	Mrkev	Lahůdková cibulka	Jablko	Chilli	Rybí omáčka
<b>Celkové počty mikroorganismů (CFU/g)</b>	$>1,5 \cdot 10^5$	$4,2 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^4$	$5,4 \cdot 10^4$	$<10^2$	$1,1 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^5$
<b>Bakterie mléčného kvašení (CFU/g)</b>	$>1,5 \cdot 10^5$	$5,4 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$	$5,2 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^3$	$<10^2$	$1,9 \cdot 10^4$
<b>Koliformní bakterie (CFU/g)</b>	$3 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^3$	$<10^2$	$2,1 \cdot 10^3$	$<10^2$	$<10^2$	$<10^2$
<b><i>B. cereus</i> (CFU/g)</b>	$<10^2$	$<10^2$	$<10^2$	$6 \cdot 10^3$	$<10^2$	$<10^2$	$<10^2$
<b>Kvasinky (CFU/g)</b>	$2,4 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$	$<10^2$	$1,7 \cdot 10^3$	$<10^2$	$<10^2$	$<10^2$
<b>Plísně (CFU/g)</b>	$<10^2$	$<10^2$	$<10^2$	$<10^2$	$<10^2$	$<10^2$	$<10^2$

Nejvyšší celkové mikrobiální počty vykazovalo pekingské zelí ( $>1,5 \cdot 10^5$  CFU/g), ředkev ( $4,2 \cdot 10^4$  CFU/g), cibulka ( $5,4 \cdot 10^4$  CFU/g) a chilli papričky ( $1,1 \cdot 10^5$  CFU/g). Tyto hodnoty jsou vzhledem k povaze surovin přirozené, jelikož se jedná o produkty pěstované v půdě.

V návaznosti na mikrobiologické stanovení celkových počtů mikroorganismů a specifických skupin byla provedena mikroskopická charakterizace vybraných kolonií pomocí Gramova

barvení. Cílem bylo získat bližší představu o morfologii dominantních zástupců mikroflóry přítomné v jednotlivých surovinách použitých při výrobě kimchi.

U vybraných kolonií byly provedeny základní biochemické testy pro bližší charakterizaci izolovaných mikroorganismů. Katalázový test byl aplikován zejména u kolonií suspektních na bakterie mléčného kvašení za účelem odlišení kataláza-negativních druhů, typických pro rody *Lactobacillus*, *Leuconostoc* nebo *Lactococcus*.

Z hlediska obsahu bakterií mléčného kvašení bylo rovněž nejvýznamnějším zdrojem pekingské zelí, které obsahovalo srovnatelný počet bakterií mléčného kvašení jako CPM ( $>1,5 \times 10^5$  CFU/g), což naznačuje přirozenou dominanci bakterií mléčného kvašení. Významné množství bakterií mléčného kvašení bylo zjištěno také u mrkve ( $1,7 \times 10^4$  CFU/g) a lahůdkové cibulky ( $5,2 \times 10^4$  CFU/g), které tak rovněž přispívají k nastartování fermentačního procesu bez nutnosti inokulace.

Přítomnost koliformních bakterií je významným ukazatelem mikrobiologické kvality surovin. Nejvyšší počet byl zjištěn u pekingského zelí ( $3 \times 10^4$  CFU/g), bílé ředkve ( $6 \times 10^3$  CFU/g) a lahůdkové cibulky ( $2,1 \times 10^3$  CFU/g). Ostatní studie Desiree *et al.* (2020) a Yang *et al.* (2024) uvádí, že množství koliformních bakterií ve vzorcích zeleniny se běžně pohybuje v rozmezí  $10^3$  až  $10^6$  CFU/g. I když se jedná o hodnoty běžné pro syrovou zeleninu, jejich přítomnost naznačuje možnost fekální kontaminace nebo nedostatečné mytí a zdůrazňuje nutnost důsledného omytí a hygienické manipulace se surovinami před fermentací.

Přítomnost *B. cereus* byla ve většině vzorků pod detekčním limitem ( $<10^2$  CFU/g), pouze u lahůdkové cibulky byla zaznamenána hodnota  $6 \times 10^3$  CFU/g. Tento nález je z hygienického hlediska znepokojivý, neboť *B. cereus* je potenciálně patogenní mikroorganismus spojený s alimentárními intoxikacemi. Možná příčina nálezů *B. cereus* může kontaminace cibulky zeminou.

Kvasinky byly ve vyšších počtech zjištěny pouze u pekingského zelí ( $2,4 \times 10^5$  CFU/g), bílé ředkve ( $1,9 \times 10^5$  CFU/g) a lahůdkové cibulky ( $1,7 \times 10^3$  CFU/g). Jejich přítomnost je prospěšná z hlediska fermentace, jelikož některé druhy se aktivně podílejí na tvorbě aromatických profilů.

Plísně byly u všech analyzovaných surovin pod detekčním limitem ( $<10^2$  CFU/g), což svědčí o dobrém hygienickém stavu a správném skladování.

Ředkev bílá vykazovala poměrně diverzifikované složení mikroorganismů, což se potvrdilo i mikroskopicky. Z Lee's agarů byly vyočkovány tři různé kolonie. Modře a žlutě zbarvené

kolonie na Lee's agaru byly identifikovány jako gramnegativní tyčinky a dále se blíže taxonomicky nedourčovaly. Bíle zbarvená kolonie byla rovněž tvořena gramnegativními tyčinkami, avšak špatně barvitelnými, a také se také blíže taxonomicky nedourčovala. Z MRS agaru byla vyočkována kolonie tvořená grampozitivními koky, kataláza negativní, což je typická charakteristika bakterií mléčného kvašení (např. rod *Lactococcus*, *Lactobacillus* nebo *Leuconostoc*), které jsou běžnou a žádoucí součástí fermentační mikroflóry.

V rybí omáčce byla detekována různorodá bakteriální mikroflóra. Na Lee's agaru byly izolovány drobné grampozitivní koky. Na GTK agaru se vyskytly bílé a žluté kolonie grampozitivních koků ve shlucích, morfologicky podobné rodu *Staphylococcus*. MYP agar odhalil směsné kultury s grampozitivními koky (řetízky/dvojice) a tyčinkami, což naznačuje přítomnost více bakteriálních typů. Tyto výsledky potvrzují vysokou mikrobiální diverzitu této suroviny a zároveň poukazují na možnou kontaminaci spojenou s výrobním procesem (Lestari *et al.*, 2023).

Lahůdková cibulka rovněž vykazovala přítomnost různých morfotypů. Z Lee's agaru byly vyizolovány dvě morfologicky různé kolonie. Protože se jednalo o bakterie mléčného kvašení, další taxonomická identifikace nebyla důležitá.

Pekingské zelí vykazovalo přítomnost gramnegativních tyčinek izolovaných z GTK agaru. Na VČŽL agaru rostla mezi koliformními jedna laktóza-negativní kolonie. Nález odpovídal blíže taxonomicky nedourčeným nefermentujícím gramnegativním bakteriím, což může indikovat environmentální kontaminaci.

Tyto výsledky potvrzují poměrně pestré zastoupení bakteriálních druhů v surovinách použitých pro fermentaci kimchi, přičemž převažovali typičtí zástupci grampozitivních bakterií mléčného kvašení, které jsou žádoucí pro fermentační proces. Dominance bakterií mléčného kvašení je podobná i v jiných studiích (Song *et al.*, 2021). Současně se vyskytovali i běžné kontaminující mikroorganismy, v hodnotách podobných, jako uvádí Nam *et al.* (2021), jejichž přítomnost může poukazovat na mikrobiologickou kvalitu surovin či technologické zpracování.

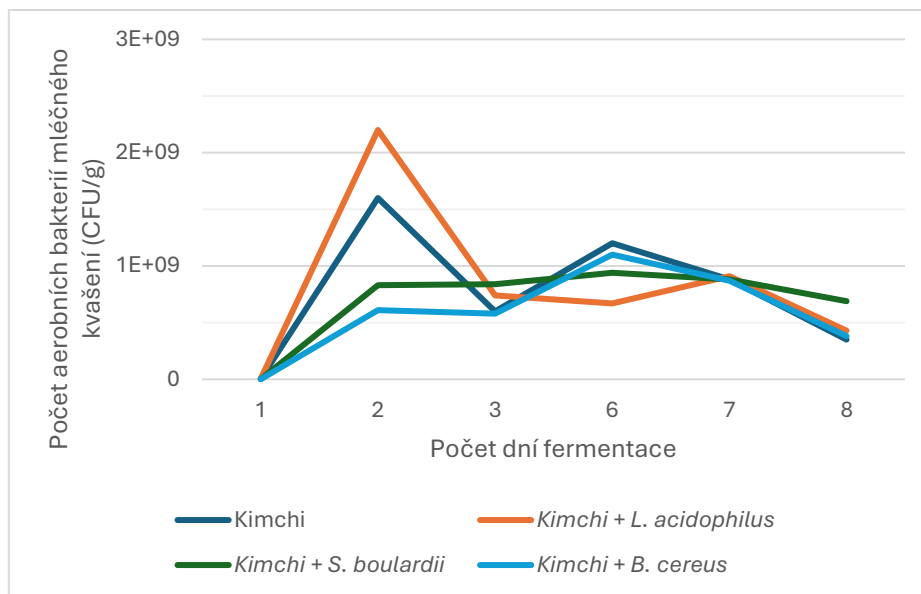
Pro zpřesnění identifikace vybraných izolátů byla jedna Petriho miska s koloniemi z MRS agaru (vzorek z pekingského zelí) odeslána k taxonomické identifikaci pomocí metody MALDI TOF-MS. Tato metoda umožňuje rychlou a přesnou identifikaci mikroorganismů na základě proteinového profilu. Na základě získaných spekter byly identifikovány následující mikroorganismy, a to *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis* a *Leuconostoc mesenteroides*. Některé další kolonie nebyly identifikovány s dostatečnou statistickou

spolehlivostí, a proto nebyly přiřazeny ke konkrétním druhům. Výskyt těchto bakterií je v souladu s literaturou, která uvádí tyto druhy jako dominantní zástupce bakterií mléčného kvašení v zeleninových fermentačních substrátech, včetně kimchi (Han *et al.*, 2014).

### 3.2. Mikrobiologická analýza kimchi

V průběhu osmidenní fermentace byly u jednotlivých variant kimchi (kimchi, kimchi s přídavkem *Lactobacillus acidophilus*, kimchi s přídavkem *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* a kimchi s přídavkem *Bacillus cereus*) pravidelně odebírány vzorky a byl sledován počet bakterií mléčného kvašení. K jejich stanovení byly využity selektivní půdy Lee's agar (pro aerobní nebo fakultativně anaerobní bakterie mléčného kvašení) a MRS agar (pro mikroaerofilní bakterie mléčného kvašení), z nichž byly následně vypočítány hodnoty CFU/g.

Z výsledků je patrný nárůst počtu bakterií mléčného kvašení, což je typické pro fermentované potraviny, jak uvádí i jiní autoři (Song *et al.*, 2021). Již během prvních dvou dnů fermentace, které probíhaly při pokojové teplotě, došlo u všech vzorků k výraznému nárůstu počtu bakterií mléčného kvašení, přičemž nejvyšší růst byl pozorován u varianty kimchi inokulované bakterií *Lactobacillus acidophilus*. Tento vývoj potvrzuje dřívější poznatky, že přídavek probiotických kmenů může zvyšovat nástup fermentační aktivity v rané fázi fermentace (Seo *et al.*, 2021). U kimchi s bakterií *Lactobacillus acidophilus* dosáhl počet bakterií mléčného kvašení již po dvou dnech nad  $2 \times 10^9$  CFU/g, zatímco ostatní varianty vykazovaly mírně nižší počty (Graf č. 1).

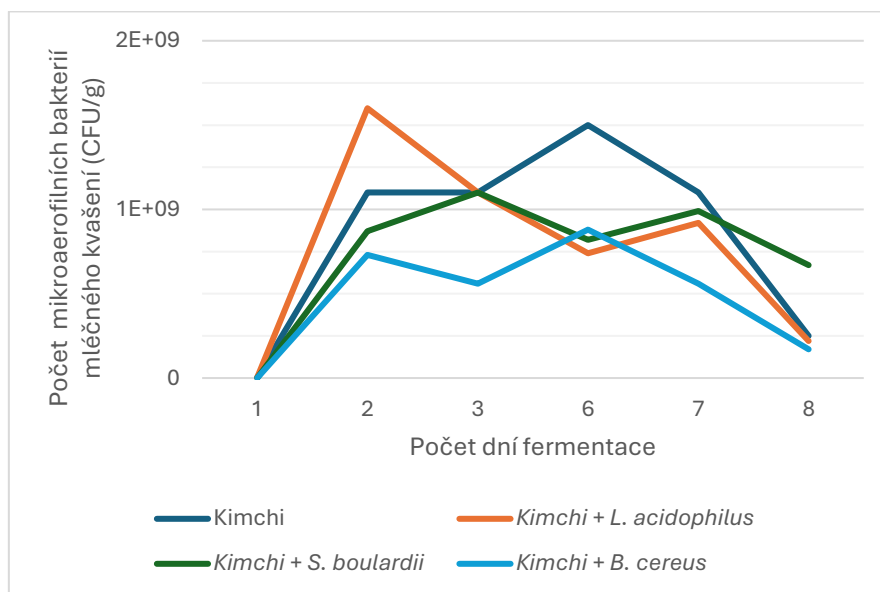


Graf č. 1: Závislosti počtu aerobních bakterií mléčného kvašení na času fermentace.

Po třetím dni fermentace, který již probíhal za chladničkových teplot (4 °C), došlo k celkovému zpomalení růstu. Všechny vzorky se v této fázi začaly přibližovat ke stejné koncentraci bakterií mléčného kvašení, což naznačuje, že mikrobiální komunity se stabilizovaly nezávisle na předešlé inokulaci. Nejvyšších hodnot aerobních bakterií mléčného kvašení při fermentaci při chladničkové teplotě bylo dosaženo přibližně kolem 6. dne fermentace, poté byl patrný mírný pokles nebo stagnace množení bakterií, což se shoduje i s dalšími studiemi Kim *et al.* (2021) a Song *et al.* (2021). Ty uvádí, že v počáteční fázi (0-2 dny) je množství bakterií mléčného kvašení nízké, ale rychle roste z důvodu dostupnosti živin. Během střední fáze (3-10 dní) se množství bakterií mléčného kvašení pohybuje okolo maxima a v pozdní fázi (10 dní a dále) jejich množství klesá, z důvodu vyčerpání živin a akumulaci metabolitů (např. kyseliny mléčné).

U analýzy počtu mikroaerofilních bakterií mléčného kvašení lze také pozorovat nejvyšší nárůst populace během ranné fermentace okolo druhého dne, a i zde jsou nejvyšší počty zaznamenány u kimchi s bakterií *Lactobacillus acidophilus*. Naopak kimchi inokulované *S. boulardii* nebo *B. cereus* tento nárůst zpomalovaly, jak je patrné z grafu č. 2. Tyto varianty vykazovaly pomalejší nástup fermentace, což může souviset s jejich interakcí vůči přirozeně se vyskytujícím bakteriím mléčného kvašení. Kvasinky se v normálním kimchi vyskytují až během pozdní fáze fermentace, kdy aktivita bakterií mléčného kvašení klesá a jejich přítomnost koreluje s poklesem kvality kimchi (např. změny chuti či textury) (Chang *et al.*, 2008).

*S. boulardii* je schopna metabolizovat organické kyseliny, včetně kyseliny mléčné, což může vést k úpravě pH prostředí a tím ovlivnit růst bakterií mléčného kvašení. Tato interakce může mít za následek zpoždění nástupu dominance této skupiny bakterií v počátečních fázích fermentace, ale zároveň může přispět k stabilizaci mikrobiálního prostředí v pozdějších fázích fermentace (Tomičić *et al.*, 2024).



Graf č. 2: Závislosti počtu mikroaerofilních bakterií mléčného kvašení na času fermentace.

V pozdější fázi fermentace, tedy po třetím dni, kdy bylo kimchi uchováváno při chladničkové teplotě (4 °C), lze ve všech variantách pozorovat výrazné sjednocení v počtech bakterií mléčného kvašení. Přestože v počátečních dnech docházelo k rozdílům v dynamice růstu v závislosti na použitých mikroorganismech, postupem času se mikrobiální společenstva stabilizovala a rozdíly mezi jednotlivými vzorky nebyly patrné. Tento trend lze přičíst tomu, že při dlouhodobější fermentaci za nižších teplot mají bakterie mléčného kvašení lepší podmínky pro růst a dominanci, zatímco ostatní mikroorganismy se postupně eliminují nebo snižují. Výsledkem je podobný mikrobiální profil ve všech vzorcích bez rozdílu inokulace různými mikroorganismy, což odpovídá i poznatkům z jiných studií, které uvádějí, že po určité době fermentace dochází k ustálení mikroflóry směrem k bakteriím mléčného kvašení, bez ohledu na počáteční rozdíly (Jung *et al.*, 2024).

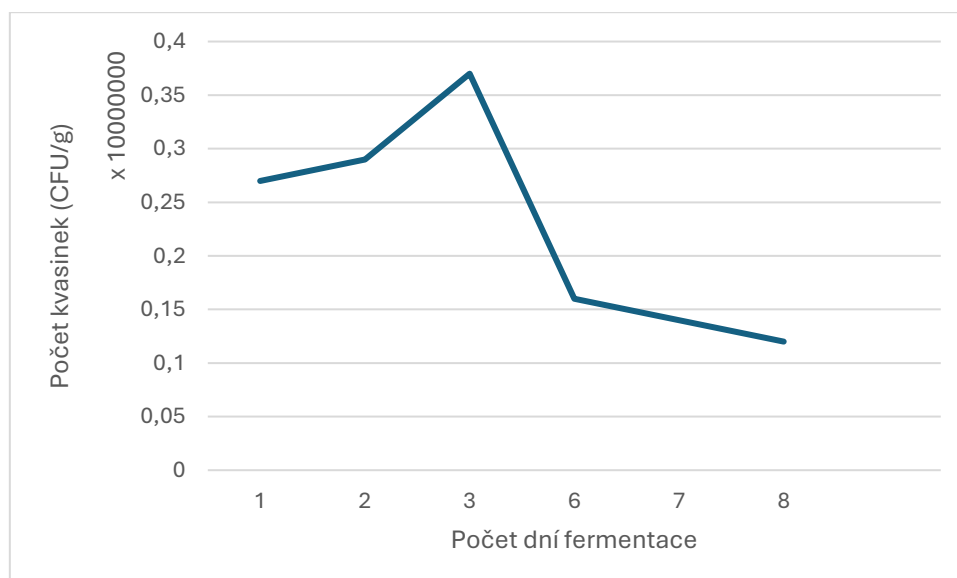
Z obou grafů je patrné, že navzdory odlišnému přístupu stanovení bakterií mléčného kvašení vykazují počty bakterií mléčného kvašení při fermentaci podobný trend, což svědčí o spolehlivosti získaných výsledků. Významná role *Lactobacillus acidophilus* v rané fázi

fermentace je rovněž důležitým poznatkem pro případnou optimalizaci fermentačních procesů při výrobě kimchi s vyšší mikrobiologickou aktivitou v počátečních fázích fermentace.

### 3.2.1. Detekce inokulovaných mikroorganismů během fermentace kimchi

V rámci mikrobiologické analýzy byly sledovány i počty záměrně inokulovaných mikroorganismů. U kimchi inokulovaného bakterií *Bacillus cereus* byla použita selektivní půda MYP. Výsledky ukázaly, že *B. cereus* byl detekován pouze na počátku fermentace (0 h) v množství  $4,5 \times 10^6$  CFU/g. V následujících dnech již růst na MYP agaru nebyl viditelný a byl pod mezí stanovení ( $<10^2$  CFU/g), což naznačuje rychlou eliminaci tohoto druhu během počáteční fáze fermentace. Tento vývoj odpovídá známé citlivosti *B. cereus* k nízkému pH a účinkům přirozené mikroflóry během fermentace (Shim *et al.*, 2024).

Dále byla sledována dynamika růstu kvasinek v kimchi inokulovaném probiotickým kmenem *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*, a to na selektivní půdě DRBC (Graf č. 3). V průběhu prvních tří dnů fermentace byl zaznamenán nárůst počtu kvasinek, což koresponduje s fází aktivní fermentace a dostupností substrátů. Po šestém dni však došlo k výraznému poklesu jejich počtu na hodnoty nižší než po 24 hodinách fermentace a počet kvasinek se během fermentace postupně snižoval. Tento trend pravděpodobně souvisí s poklesem dostupnosti živin, nárůstem kyselosti a konkurenčním růstem s bakteriemi mléčného kvašení, což je jev často popisovaný ve vztahu ke kvasinkám během zeleninové fermentace (Chang *et al.*, 2008).

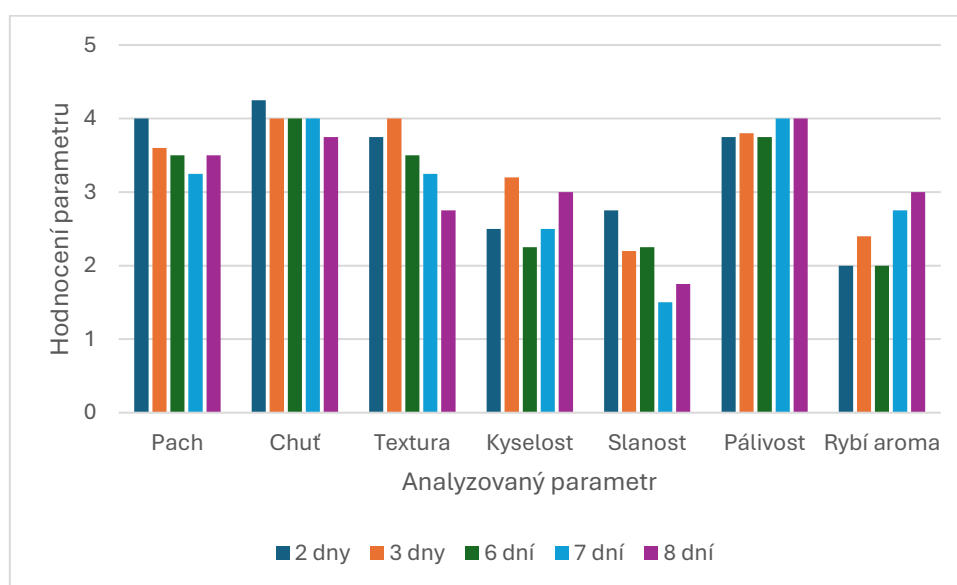


Graf č. 3: Závislosti počtu kvasinek na délce fermentace.

### 3.3. Senzorická analýza kimchi

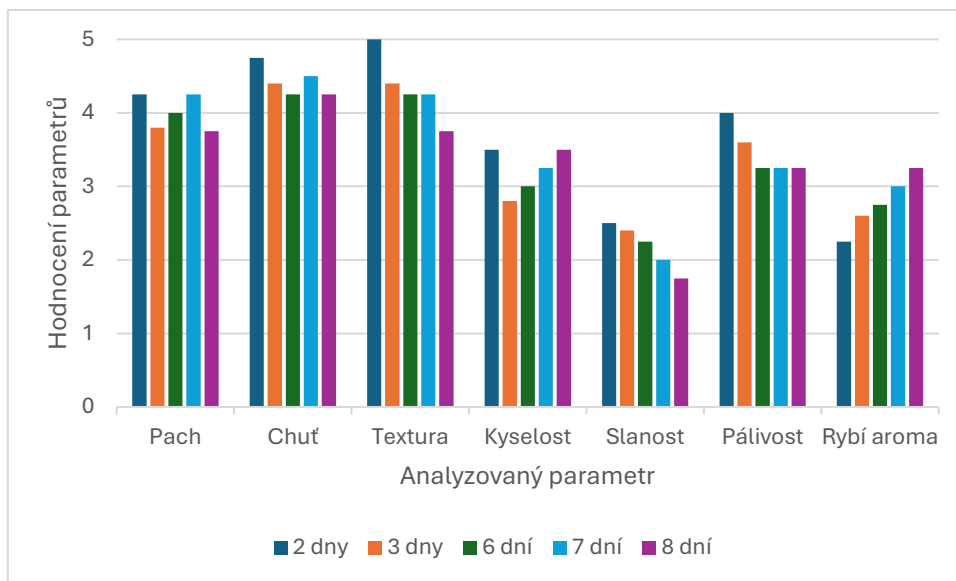
Senzorické hodnocení kimchi probíhalo po dobu osmi dní fermentace, přičemž hodnocena byla varianta klasického kimchi a varianty inokulované *Lactobacillus acidophilus* a *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*.

Při sledování změn u klasického kimchi v průběhu fermentačních dnů (Graf č. 4) se ukázalo, že většina sensorických parametrů zůstává relativně stabilní. Výraznější trend však lze pozorovat u textury, která se postupně zhoršovala, pravděpodobně v důsledku působení fermentujících mikroorganismů na buněčnou strukturu zelí. Slanost kimchi se v průběhu dní snižovala na rozdíl od rybího aroma, které se v pozdějších dnech mírně zvyšovalo.



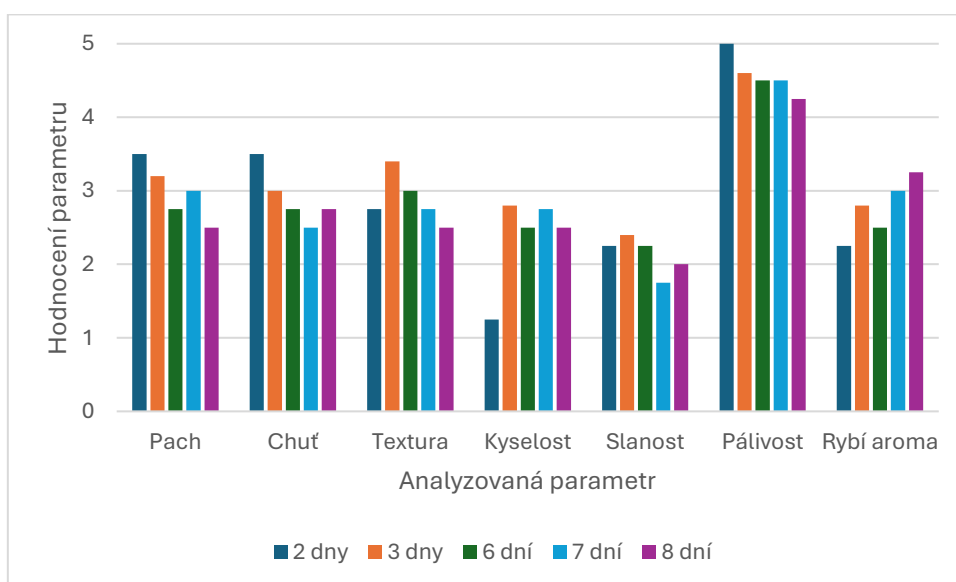
Graf č. 4: Hodnocení sensorických parametrů kimchi v průběhu fermentace.

Při sledování sensorického vývoje kimchi inokulovaného *Lactobacillus acidophilus* v čase bylo možné pozorovat poměrně stabilní trend u většiny hodnocených parametrů (Graf č. 5). Hodnoty pachu, chuti, textury i kyselosti zůstávaly v průběhu fermentace vyrovnané a nevykazovaly významnější výkyvy, což svědčí o vyváženém průběhu fermentace a stabilní mikrobiální aktivitě. Nejvýraznější změny byly zaznamenány u slanosti, která postupně klesala, a u rybího aroma, které se s prodlužujícím se časem fermentace mírně zesilovalo. Celkově však bylo kimchi s bakterií *Lactobacillus acidophilus* hodnoceno jako sensoricky stabilní a příjemné i při delší fermentaci.



Graf č. 5: Hodnocení sensorických parametrů kimchi s přidavkem *Lactobacillus acidophilus* v průběhu fermentace

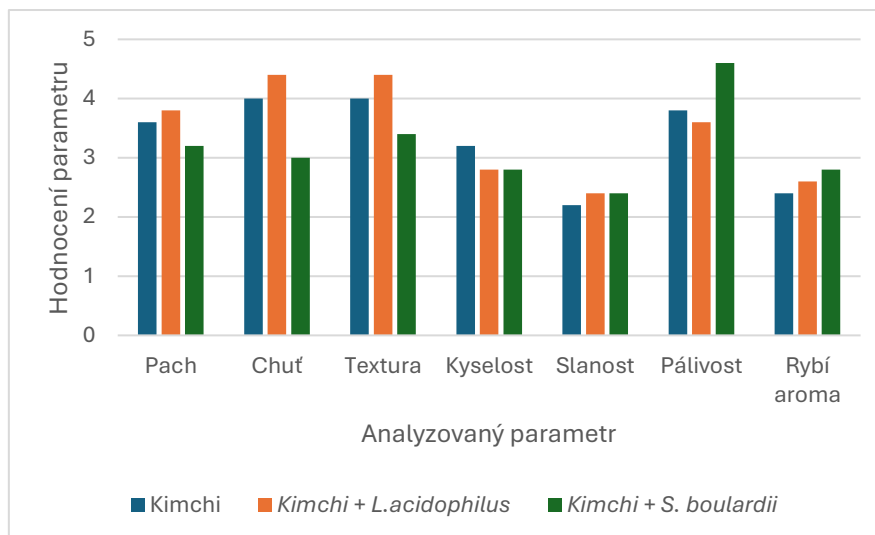
V případě kimchi inokulovaného kvasinkou *S. boulardii* (Graf č. 6) lze pozorovat, že první dny fermentace byly sensoricky poměrně vyvážené, avšak již po 6. dni fermentace dochází ke zhoršení parametrů jako je slanost a textura. Nejvýraznější změnou byla pálivost, jejíž intenzita se s časem sice snižovala, ale stále byla velmi intenzivní, což někteří hodnotitelé označili jako jeden z faktorů snižující celkový sensorický dojem. Rybí aroma se, stejně jako u klasického kimchi, mírně zvýraznilo v pozdějších dnech.



Graf č. 6: Hodnocení sensorických parametrů kimchi s přidavkem *S. boulardii* v průběhu fermentace

Z hlediska vývoje kyselosti mělo kimchi inokulované *S. boulardii* výrazně nižší hodnotou kyselosti po 48 hodinách fermentace ve srovnání s ostatními dny i s ostatními sledovanými druhy kimchi. Tato hodnota výrazně vybočovala z celkového trendu a poukazuje na pomalejší nástup bakterií mléčného kysání v počáteční fázi fermentace. Tento jev lze přičíst tomu, že *S. boulardii* není homofermentativní bakterie produkující kyselinu mléčnou, ale kvasinka, která během metabolismu fermentačních substrátů kyselinu mléčnou aktivně netvoří a dokonce může kyselinu mléčnou využívat (Lourens-Hattingh a Viljoen, 2001). Výsledkem je slabší sensorické vnímání kyselosti. Ve dnech následujících se hodnota kyselosti zvýšila, pravděpodobně v důsledku přirozené dominance mléčných bakterií přítomných v surovině, ale výchozí rozdíl po 48 hodinách zůstává významným rozdílovým bodem.

Zajímavé poznatky přineslo srovnání tří variant kimchi po 72 hodinách fermentace (Graf č. 7). Kimchi inokulované bakterií *Lactobacillus acidophilus* bylo hodnoceno jako sensoricky nejlepší, což znamená, že mělo nejlepší hodnocení v kategoriích pachu, chuti i textury, vykazovalo nejvyšší míru kyselosti a zároveň nejnižší pálivost. Podobně byla hodnocena srovnání druhů kimchi i v ostatních dnech fermentace. V subjektivní kategorii „jiné“ hodnotitelé popsali jeho profil jako „jemný a svěží“. Naopak kimchi obsahující *S. boulardii* mělo nejnižší hodnocení pachu, chuti i textury a zároveň bylo nejpálivější. Někteří hodnotitelé uváděli, že vysoká pálivost mohla přehlušit jemnější chuťové nuance a snižovat celkový sensorický zážitek. V doplňkových poznámkách bylo uvedeno „nahořklost“ a „zemitost“, což může být způsobeno metabolickými produkty kvasinek. Normální kimchi dosahovalo průměrných hodnot a v subjektivním hodnocení byla nejčastěji zmiňována „zázvorová“ složka.



Graf č. 7: Porovnání sensorických parametrů různých druhů kimchi po 72 hodinách fermentace.

Z výsledků je patrné, že přidáním bakterie *Lactobacillus acidophilus* může nejen urychlit fermentační proces z mikrobiologického hlediska, ale také pozitivně ovlivnit sensorické vlastnosti produktu. Naproti tomu *S. boulardii*, byť potenciálně přínosná z probiotického hlediska, vedla k sensoricky méně příznivému profilu, zejména při delší fermentaci.

### 3.4. Analýza biogenních aminů v kimchi

Biogenní aminy se v potravinách mohou přirozeně vyskytovat, avšak jejich zvýšené koncentrace mohou představovat zdravotní riziko, především u citlivých jedinců. Některé studie (Lee *et al.*, 2018, Kim *et al.*, 2022 a) naznačují, že při použití startovacích kultur v procesu fermentace může docházet k vyšší produkci toxických biogenních aminů, zejména pokud tyto mikroorganismy disponují příslušnými dekarboxylázovými aktivitami.

Z tohoto důvodu byla provedena analýza biogenních aminů ve vzorcích kimchi s různými přidanými mikroorganismy, kterou provedla Vlčková (2025). Výsledky byly vyhodnoceny s cílem zjistit, zda některý typ kimchi obsahuje zvýšené množství těchto sloučenin. Přehled naměřených hodnot je uveden v příložených tabulkách (tab. 7, tab. 8)

Tabulka 7: Koncentrace (mg/kg) biogenních aminů ve vzorcích po 72 hodinách fermentace

<b>Biogenní amin</b>	<b>Kimchi mg/kg</b>	<b>Kimchi + <i>L.</i> <i>acidophilus</i> mg/kg</b>	<b>Kimchi + <i>S.</i> <i>boulardii</i> mg/kg</b>	<b>Kimchi + <i>B.</i> <i>cereus</i> mg/kg</b>
<b>fenylehylamin</b>	< LOD	2,593	3,612	< LOD
<b>putrescin</b>	< LOD	< LOQ	< LOQ	< LOQ
<b>kadaverin</b>	22,355	12,232	< LOQ	< LOQ
<b>tyramin</b>	1,891	3,031	3,436	1,868
<b>spermidin</b>	2,644	< LOQ	< LOQ	5,106
<b>spermin</b>	< LOQ	< LOD	< LOD	< LOD
<b>histamin</b>	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD

Tabulka 8: Koncentrace (mg/kg) biogenních aminů ve vzorcích po 6 dnech fermentace

<b>Biogenní amin</b>	<b>Kimchi mg/kg</b>	<b>Kimchi + <i>L.</i> <i>acidophilus</i> mg/kg</b>	<b>Kimchi + <i>S.</i> <i>boulardii</i> mg/kg</b>	<b>Kimchi + <i>B.</i> <i>cereus</i> mg/kg</b>
<b>fenylehylamin</b>	< LOD	2,638	3,612	< LOD
<b>putrescin</b>	1,265	< LOQ	< LOQ	< LOQ
<b>kadaverin</b>	7,775	14,212	< LOQ	< LOQ
<b>tyramin</b>	3,700	2,212	3,436	3,964
<b>spermidin</b>	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
<b>spermin</b>	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
<b>histamin</b>	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD

Výsledky analýzy ukázaly, že většina sledovaných biogenních aminů byla pod limitem kvantifikace (LOQ), případně dokonce pod limitem detekce (LOD). Ze všech sledovaných látek byly detekovány pouze kadaverin a tyramin, a to napříč několika druhy kimchi. Dále byl detekován fenylehylamin a putrescin. Některé byly detekovány až po delší době fermentace. Koncentrace byly nízké a nedosahovaly hladin, které by mohly být považovány za toxikologicky významné. Různé studie ukázaly, že obsah biogenních aminů v kimchi se může značně lišit v závislosti na typu kimchi, použitých ingrediencích a podmínkách fermentace. Například některé vzorky Baechu kimchi (kimchi z čínského zelí) obsahovaly histamin

a tyramin v koncentracích překračujících doporučený limit 100 mg/kg (Lee *et al.*, 2021). V jednom případě byla zaznamenána koncentrace histaminu až 5350 mg/kg, což je více než 50krát nad doporučenou hranicí (Park *et al.*, 2019). V dalších studiích Lee *et al.* (2019) a Jin *et al.*, (2019) zabývajících se Pa kimchi (kimchi z jarní cibulky) a Gat kimchi (kimchi z hořčičných listů) vzorky obsahovaly koncentrace histaminu a tyraminu dvakrát až čtyřikrát vyšší než bezpečné limity. Také byly zaznamenány vysoké hladiny putrescinu a kadaverinu, přičemž v jednom vzorku Gat kimchi byla celková koncentrace biogenních aminů přes 1000 mg/kg (Lee *et al.*, 2019). V další studii, kde testovali obsah biogenních aminů v kimchi z ředkve (Kkakdugi) byla zjištěna koncentrace histaminu 127,78 mg/kg a vysoké hladiny putrescinu a kadaverinu, což překračuje doporučené limity pro bezpečnou konzumaci (Jin *et al.*, 2019).

Zajímavým zjištěním je absence nebo nízké koncentrace ostatních biogenních aminů, zejména histaminu, který bývá nejčastěji spojován s potravinovou intolerancí. Jedním z možných vysvětlení tohoto jevu je přítomnost mikroorganismů s degradační aktivitou vůči biogenním aminům. Při rozboru surovin byl v pekinském zelí detekován *Lactobacillus plantarum*, což je druh bakterie, který je schopen některé biogenní aminy, například putrescin, enzymaticky rozkládat. Tato schopnost mohla sehrát klíčovou roli při udržení kvality a bezpečnosti vzorků námi vyrobených kimchi (Capozzi *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2021).

Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že tvorba biogenních aminů v kimchi je ovlivněna několika faktory, přičemž mezi hlavní patří použití určitých surovin a aktivita specifických mikroorganismů. Významný vliv mají zejména fermentované mořské produkty, jako je jeotgal (fermentované mořské plody) a aekjeot (fermentovaná rybí omáčka), které jsou bohatým zdrojem volných aminokyselin. Ty slouží jako prekurzory pro tvorbu biogenních aminů, a jejich přítomnost v kimchi bývá spojována se zvýšeným výskytem histaminu a tyraminu (Park *et al.*, 2019; Jeong *et al.*, 2021).

Dalším důležitým faktorem je mikrobiální složení fermentačního procesu. Některé kmeny mléčných bakterií, například *Lactobacillus brevis*, jsou schopné produkovat biogenní aminy prostřednictvím enzymatické dekarboxylace aminokyselin. Aktivita těchto mikroorganismů a následná tvorba biogenních aminů závisí na řadě podmínek, včetně teploty, pH a dostupnosti substrátů (Kim *et al.*, 2022 b).

## ZÁVĚR

V teoretické části práce byla detailně popsána historie a kulturní význam kimchi, jeho pestré složení a také tradiční i moderní metody jeho přípravy. Zvláštní důraz byl kladen na fermentaci jako klíčový proces, který zajišťuje charakteristickou chuť, vůni a texturu tohoto pokrmu, a zároveň přispívá k jeho zdravotním přínosům. Popsána byl také role jednotlivých surovin, zejména čínské zeli, chilli papriček, zázvoru, česneku a mořských produktů a jejich vliv na mikrobiální prostředí během fermentace. Pozornost byla věnována hlavním mikroorganismům, podílejícím se na fermentačním procesu, především bakteriím mléčného kvašení z rodů *Lactobacillus*, *Leuconostoc* a *Weissella*, které hrají zásadní roli v zajištění bezpečnosti a stability kimchi.

Experimentální část navazovala na teoretické poznatky a zaměřila se na přípravu čtyř variant kimchi, včetně inokulace specifickými mikroorganismy (*Lactobacillus acidophilus*, *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*, *Bacillus cereus*). Byla sledována dynamika fermentačního procesu, vývoj mikrobiálního složení a změny sensorických vlastností v jeho průběhu fermentace. Mikrobiologické analýzy potvrdily dominanci bakterií mléčného kvašení ve všech vzorcích. Experimenty ukázaly, že tyto bakterie rychle převzaly kontrolu nad fermentací a zajistily bezpečnost finálního produktu. Inokulace kmenem *L. acidophilus* vedla k urychlení fermentace a zajištění konzistentních sensorických parametrů. Naproti tomu přídavek *S. boulardii* ovlivnil kyselost a pálivost, avšak bez výrazného zlepšení chuťových vlastností, spíše naopak. Kmen *B. cereus* byl během fermentace rychle eliminován, což potvrzuje účinnost přirozené mikroflóry kimchi v ochraně proti potenciálně patogenním mikroorganismům.

Senzorická analýza ukázala, že kimchi připravené s bakterií *L. acidophilus* bylo hodnoceno nejpriznivěji z hlediska chuti, textury i aroma. Naopak vzorek s kvasinkou *S. boulardii* vykazoval nejméně příznivý sensorický profil, především kvůli vyšší pálivosti a zhoršení textury v pozdější fázi fermentace. Analýza biogenních aminů prokázala, že jejich koncentrace zůstaly ve všech vzorcích hluboko pod stanovenými toxikologickými limity, a to i při použití různých inokulovaných kultur.

Získaná data potvrzují, že kimchi je nejen chutným a výživově hodnotným produktem, ale také potravinou s vysokou mikrobiologickou bezpečností, pokud jsou dodrženy základní hygienické a technologické zásady. Práce zároveň ukazuje, že cílené použití vybraných probiotických mikroorganismů může pozitivně ovlivnit průběh fermentace i výsledné sensorické vlastnosti,

což je přínosné jak pro domácí, tak i průmyslovou výrobu. Výsledky této studie přispívají k hlubšímu porozumění mikrobiologickým a sensorickým aspektům fermentovaných potravin a mohou sloužit jako základ pro další výzkum i inovace v oblasti kvality a bezpečnosti těchto produktů.

Další výzkum by se mohl zaměřit na sensorickou analýzu kimchi připraveného za různých podmínek s ohledem na dobu a teplotu fermentace nebo použití rozdílných surovin. Prostor je také pro studium vlivu konzumace kimchi na lidský organismus, jeho účinků a potenciálních zdravotních benefitů.

## POUŽITÁ LITERATURA

- Abdulgawad, I. (2016). Fermentation of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Wastes using *Lactobacillus plantarum* for the Production of Lactic Acid and Fertilizer. *International Journal of Waste Resources*, 06. 10.4172/2252-5211.1000253.
- Adesulu-Dahunsi, A. T., Dahunsi, S. O., & Ajayeoba, T. A. (2022). Co-occurrence of *Lactobacillus* Species During Fermentation of African Indigenous Foods: Impact on Food Safety and Shelf-Life Extension. *Frontiers in microbiology*, 13, 684730. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.684730>
- Andersson, M. A., Mikkola, R., Helin, J., Andersson, M. C., & Salkinoja-Salonen, M. (1998). A Novel Sensitive Bioassay for Detection of *Bacillus cereus* Emetic Toxin and Related Depsipeptide Ionophores. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(4), 1338–1343. <https://doi.org/10.1128/aem.64.4.1338-1343.1998>
- Banicod, R. J. S., Ntege, W., Njiru, M. N., Abubakar, W. H., Kanthenga, H. T., Javaid, A., & Khan, F. (2025). Production and transformation of biogenic amines in different food products by the metabolic activity of the lactic acid bacteria. *International journal of food microbiology*, 428, 110996. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110996>
- Barbieri, F., Montanari, C., Gardini, F., & Tabanelli, G. (2019). Biogenic Amine Production by Lactic Acid Bacteria: A Review. *Foods (Basel, Switzerland)*, 8(1), 17. <https://doi.org/10.3390/foods8010017>
- Behera, S. S., Ray, R. C., & Zdolec, N. (2018). *Lactobacillus plantarum* with Functional Properties: An Approach to Increase Safety and Shelf-Life of Fermented Foods. *BioMed research international*, 2018, 9361614. <https://doi.org/10.1155/2018/9361614>
- Beutling, D. M. (1996). Biogenic amines in nutrition. *ARCHIV FÜR LEBENSMITTELHYGIENE*. <https://www.cabdirect.org/abstracts/19981402257.html>
- Bottone E. J. (2010). *Bacillus cereus*, a volatile human pathogen. *Clinical microbiology reviews*, 23(2), 382–398. <https://doi.org/10.1128/CMR.00073-09>
- Brooijmans, R. J. W., Poolman, B., Schuurman-Wolters, G. K., De Vos, W. M., & Hugenholtz, J. (2007). Generation of a Membrane Potential by *Lactococcus lactis* through Aerobic Electron Transport. *Journal of Bacteriology*, 189(14), 5203–5209. <https://doi.org/10.1128/jb.00361-07>

- Campos, G. M., Américo, M. F., Freitas, A. D. S., Barroso, F. a. L., Da Cruz Ferraz Dutra, J., Quaresma, L. S., Cordeiro, B. F., Laguna, J. G., De Jesus, L. C. L., Fontes, A. M., Birbrair, A., Santos, T. M., & Azevedo, V. (2023). Lactococcus lactis as an Interleukin Delivery System for Prophylaxis and Treatment of Inflammatory and Autoimmune Diseases. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, *16*(2), 352–366. <https://doi.org/10.1007/s12602-023-10041-1>
- Capece, A., Romaniello, R., Pietrafesa, A., Siesto, G., Pietrafesa, R., Zambuto, M., & Romano, P. (2018). Use of *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* in co-fermentations with *S. cerevisiae* for the production of craft beers with potential healthy value-added. *International Journal of Food Microbiology*, *284*, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.06.028>
- Capozzi, V., Russo, P., Ladero, V., Fernández, M., Fiocco, D., Alvarez, M. A., Grieco, F., & Spano, G. (2012). Biogenic Amines Degradation by *Lactobacillus plantarum*: Toward a Potential Application in Wine. *Frontiers in Microbiology*, *3*. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00122>
- Chang, H., Kim, K., Nam, Y., Roh, S., Kim, M., Jeon, C., Oh, H., & Bae, J. (2008). Analysis of yeast and archaeal population dynamics in kimchi using denaturing gradient gel electrophoresis. *International Journal of Food Microbiology*, *126*(1–2), 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.05.013>
- Chang, H. C. (2018). Healthy and safe Korean traditional fermented foods: kimchi and chongkukjang. *Journal of Ethnic Foods*, *5*(3), 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2018.08.003>
- Cheigh, H. S., & Park, K. Y. (1994). Biochemical, microbiological, and nutritional aspects of kimchi (Korean fermented vegetable products). *Critical reviews in food science and nutrition*, *34*(2), 175–203. <https://doi.org/10.1080/10408399409527656>
- Chen, Y., Teng, T., Su, Y., & Chen, W. Z. (2024). The effect of supplementing with *Saccharomyces boulardii* on bismuth quadruple therapy for eradicating *Helicobacter pylori*: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Frontiers in medicine*, *11*, 1344702. <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1344702>
- Cho, Y., Park, E., & Lim, C. (1998). Thiols transferase (Glutaredoxin) from Chinese Cabbage: Purification and Properties. *BMB Reports*, *31*(4), 377–383. [http://koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=E1MBB7\\_1998\\_v31n4\\_377](http://koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=E1MBB7_1998_v31n4_377)

- Choi, Y., Lee, H., Yang, J., Hong, S., Park, S., & Lee, M. (2018). Changes in quality properties of kimchi based on the nitrogen content of fermented anchovy sauce, Myeolchi Aekjeot, during fermentation. *Food Science and Biotechnology*, 27(4), 1145–1155. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0349-6>
- Datta, S., Timson, D. J., & Annapure, U. S. (2016). Antioxidant properties and global metabolite screening of the probiotic yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9), 3039–3049. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8147>
- De Souza, H. F., Carosia, M. F., Pinheiro, C., De Carvalho, M. V., De Oliveira, C. a. F., & Kamimura, E. S. (2021). On probiotic yeasts in food development: *Saccharomyces boulardii*, a trend. *Food Science and Technology*, 42. <https://doi.org/10.1590/fst.92321>
- Desiree, K., Schwan, C. L., Ly, V., Hok, L., Bello, N. M., Nwadike, L., Phebus, R. K., & Vipham, J. L. (2020). Investigating *Salmonella enterica*, *Escherichia coli*, and Coliforms on Fresh Vegetables Sold in Informal Markets in Cambodia. *Journal of Food Protection*, 84(5), 843–849. <https://doi.org/10.4315/jfp-20-219>
- Doeun, D., Davaatseren, M., & Chung, M. S. (2017). Biogenic amines in foods. *Food science and biotechnology*, 26(6), 1463–1474. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0239-3>
- Du, H. Y., Shen, Z. J., & Li, Y. (2013). Microwave-Assisted Extraction of Capsaicin from Chili Pepper Powder. *Advanced Materials Research*, 634–638, 1591–1594. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.634-638.1591>
- Ehling-Schulz, M., Svensson, B., Guinebretiere, M., Lindbäck, T., Andersson, M., Schulz, A., Fricker, M., Christiansson, A., Granum, P. E., Märtilbauer, E., Nguyen-The, C., Salkinoja-Salonen, M., & Scherer, S. (2005). Emetic toxin formation of *Bacillus cereus* is restricted to a single evolutionary lineage of closely related strains. *Microbiology*, 151(1), 183–197. <https://doi.org/10.1099/mic.0.27607-0>
- Ehling-Schulz M, Fricker M, Grallert H, Rieck P, Wagner M, Scherer S. (2006). Cereulide synthetase gene cluster from emetic *Bacillus cereus*: structure and location on a mega virulence plasmid related to *Bacillus anthracis* toxin plasmid pXO1. *BMC Microbiol* 6:20 <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2180-6-20>.
- Ehling-Schulz, M., Lereclus, D., & Koehler, T. M. (2019). The *Bacillus cereus* Group: *Bacillus* Species with Pathogenic Potential. In *ASM Press eBooks* (pp. 875–902). <https://doi.org/10.1128/9781683670131.ch55>

- Estruch, F. (2000). Stress-controlled transcription factors, stress-induced genes and stress tolerance in budding yeast. *FEMS Microbiology Reviews*, 24(4), 469–486. [https://doi.org/10.1016/s0168-6445\(00\)00035-8](https://doi.org/10.1016/s0168-6445(00)00035-8)
- Gardini, F., Özogul, Y., Suzzi, G., Tabanelli, G., & Özogul, F. (2016). Technological Factors Affecting Biogenic Amine Content in Foods: A Review. *Frontiers in microbiology*, 7, 1218. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01218>
- Guyot, J. P., Calderon, M., & Morlon-Guyot, J. (2001). Effect of pH control on lactic acid fermentation of starch by *Lactobacillus manihotivorans* LMG 18010T. *Journal of Applied Microbiology*, 88(1), 176–182. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2000.00953.x>
- Han, X., Yi, H., Zhang, L., Huang, W., Zhang, Y., Zhang, L., & Du, M. (2014). Improvement of fermented Chinese cabbage characteristics by selected starter cultures. *Journal of Food Science*, 79(7). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12495>
- Harvey, D. (1981). Gas chromatographic and mass spectrometric studies of ginger constituents. *Journal of Chromatography A*, 212(1), 75–84. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(00\)80548-8](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(00)80548-8)
- Hatoum, R., Labrie, S., & Fliss, I. (2012). Antimicrobial and probiotic properties of yeasts: From fundamental to novel applications. *Frontiers in Microbiology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00421>
- Herrero, Ana. (2008). Raman spectroscopy a promising technique for quality assessment of meat and fish: A review. *Food Chemistry*. 107. 1642-1651. [10.1016/j.foodchem.2007.10.014](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.014).
- Hong, S. W., Choi, Y., Lee, H., Yang, J., & Lee, M. (2016). Microbial Community Structure of Korean Cabbage Kimchi and Ingredients with Denaturing Gradient Gel Electrophoresis. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26(6), 1057–1062. <https://doi.org/10.4014/jmb.1512.12035>
- Hudson, L. E., McDermott, C. D., Stewart, T. P., Hudson, W. H., Rios, D., Fasken, M. B., Corbett, A. H., & Lamb, T. J. (2016). Characterization of the Probiotic Yeast *Saccharomyces boulardii* in the Healthy Mucosal Immune System. *PLoS ONE*, 11(4), e0153351. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153351>
- Hugas, M., & Monfort, J. M. (1997). Bacterial starter cultures for meat fermentation. *Food Chemistry*, 59(4), 547–554. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(97\)00005-8](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(97)00005-8)

- Hungerford J. M. (2010). Scombroid poisoning: a review. *Toxicon : official journal of the International Society on Toxinology*, 56(2), 231–243. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2010.02.006>
- Jang, D., Chung, K. R., Yang, H. J., Kim, K., & Kwon, D. Y. (2015). Discussion on the origin of kimchi, representative of Korean unique fermented vegetables. *Journal of Ethnic Foods*, 2(3), 126–136. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2015.08.005>
- Jang, S., Kim, M., Lim, J., & Hong, J. (2016). Cross-Cultural Comparison of Consumer Acceptability of Kimchi with Different Degree of Fermentation. *Journal of Sensory Studies*, 31(2), 124–134. <https://doi.org/10.1111/joss.12198>
- Jeong, D., & Lee, J. (2015). Antibiotic resistance, hemolysis and biogenic amine production assessments of *Leuconostoc* and *Weissella* isolates for kimchi starter development. *LWT*, 64(2), 1078–1084. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.031>
- Jeong D, Kim DH, Ahn HJ, Kim H, Park H, Lee NK, Paik HD. (2021). Evaluation of Biogenic Amines in Korean Commercial Fermented Foods and Monitoring of Their Precursors and Producing Bacteria. *Microorganisms*. 9(3):219. doi:10.3390/microorganisms9030219
- Jin, Y. H., Lee, J. H., Park, Y. K., Lee, J., & Mah, J. (2019). The occurrence of biogenic amines and determination of biogenic Amine-Producing lactic acid bacteria in Kkakdugi and Chonggak kimchi. *Foods*, 8(2), 73. <https://doi.org/10.3390/foods8020073>
- Ju, W., Park, S. J., Lee, M. J., Park, S. H., Min, S. G., & Ku, K. (2024). Seasonal variation of metabolites in Kimchi cabbage: utilizing metabolomics based machine learning for cultivation season and taste discrimination. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 65(6), 981–996. <https://doi.org/10.1007/s13580-024-00624-4>
- Jung, J. Y., Lee, S. H., Kim, J. M., Park, M. S., Bae, J., Hahn, Y., Madsen, E. L., & Jeon, C. O. (2011). Metagenomic analysis of kimchi, a traditional Korean fermented food. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(7), 2264–2274. <https://doi.org/10.1128/aem.02157-10>
- Jung, S., Hwang, I. M., & Lee, J. (2024). Temperature impact on microbial and metabolic profiles in kimchi fermentation. *Heliyon*, 10(5), e27174. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27174>
- Kelesidis, T., & Pothoulakis, C. (2011). Efficacy and safety of the probiotic *Saccharomyces boulardii* for the prevention and therapy of gastrointestinal disorders. *Therapeutic Advances in Gastroenterology*, 5(2), 111–125. <https://doi.org/10.1177/1756283x11428502>

- Kelly, W. J., Davey, G. P., & Ward, L. J. (1998). Characterization of lactococci isolated from minimally processed fresh fruit and vegetables. *International Journal of Food Microbiology*, 45(2), 85–92. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(98\)00135-4](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(98)00135-4)
- Kim, D., & Mah S. (2020). South Koreans, Chinese clash on social media over Chinese-style Kimchi winning international certificate [online]. *Reuters*, 30. 11. 2020 [cit. 6. 5. 2025]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/article/us-southkorea-china-kimchi-idUSKBN28A2NQ/>
- Kim, E., Yang, S., & Kim, H. (2021). Analysis of Cultivable Microbial Community during Kimchi Fermentation Using MALDI-TOF MS. *Foods*, 10(5), 1068. <https://doi.org/10.3390/foods10051068>
- Kim, H., Oh, H., Kim, B., Ji, Y., Holzappel, W. H., Kang, H., & Arellano-Ayala, K. (2023). Multifunctional effects of *Lactobacillus sakei* HEM 224 on the gastrointestinal tract and airway inflammation. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45043-0>
- Kim, J., Kim, J. Y., Kim, M., Roh, S. W., & Bae, J. (2012). *Lactobacillus kimchiensis* sp. nov., isolated from a fermented food. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMATIC AND EVOLUTIONARY MICROBIOLOGY*, 63(Pt\_4), 1355–1359. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.037572-0>
- Kim K., Nam Y., Kim H., Hayes A., Lee B.  $\alpha$ -Linolenic acid: nutraceutical, pharmacological and toxicological evaluation. *Food Chem Toxicol.* 2014 Aug;70:163-78. doi: 10.1016/j.fct.2014.05.009. Epub 2014 May 21. PMID: 24859185.
- Kim, K., & Kim, S. (2014). *Humanistic understanding of Kimchi and Kimjang culture*. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BB19292922>
- Kim, S., Dang, Y., & Ha, J. (2022 a). Effect of various seasoning ingredients on the accumulation of biogenic amines in kimchi during fermentation. *Food Chemistry*, 380, 132214. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132214>
- Kim S., Lim J., Lee N., Paik H. (2022 b) Biogenic Amine Formation and Microbial Contribution in Korean Traditional Fermented Foods. *J Microbiol Biotechnol.* 32(2):179–187. doi:[10.4014/jmb.2108.08019](https://doi.org/10.4014/jmb.2108.08019)
- Kim, Y., Giraud, D. W., & Driskell, J. A. (2007). Tocopherol and carotenoid contents of selected Korean fruits and vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(6), 458–465. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2007.02.001>

- Kim, S., & Hu, D. L. (2023). Onggi's permeability to carbon dioxide accelerates kimchi fermentation. *Journal of the Royal Society Interface*, 20(201). <https://doi.org/10.1098/rsif.2023.0034>
- Kotiranta, A., Haapasalo, M., Kari, K., Kerosuo, E., Olsen, I., Sorsa, T., Meurman, J. H., & Lounatmaa, K. (1998). Surface Structure, Hydrophobicity, Phagocytosis, and Adherence to Matrix Proteins of *Bacillus cereus* Cells with and without the Crystalline Surface Protein Layer. *Infection and Immunity*, 66(10), 4895–4902. <https://doi.org/10.1128/iai.66.10.4895-4902.1998>
- Ladero, V., Calles-Enriquez, M., Fernandez, M., & Alvarez, M. A. (2010). Toxicological effects of dietary biogenic amines. *Current Nutrition & Food Science*, 6(2), 145–156. <https://doi.org/10.2174/157340110791233256>
- Lazo-Vélez, M. A., Serna-Saldívar, S. O., Rosales-Medina, M. F., Tinoco-Alvear, M., & Briones-García, M. (2018). Application of *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* in food processing: a review. *Journal of applied microbiology*, 125(4), 943–951. <https://doi.org/10.1111/jam.14037>
- Lechner, S., Mayr, R., Francis, K. P., PRUss, B. M., Kaplan, T., WIEssNER-Gunkel, E., Stewart, G. S. a. B., & Scherer, S. (1998). *Bacillus weihenstephanensis* sp. nov. is a new psychrotolerant species of the *Bacillus cereus* group. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 48(4), 1373–1382. <https://doi.org/10.1099/00207713-48-4-1373>
- Lee, D., Kim, E., Park, S., Cho, K., Kwon, S. J., Roh, S. W., Kwak, S., Whon, T. W., & Son, H. (2024). Impact of essential and optional ingredients on microbial and metabolic profiles of kimchi. *Food Chemistry X*, 22, 101348. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101348>
- Lee, H., Yoon, H., Ji, Y., Kim, H., Park, H., Lee, J., Shin, H., & Holzapfel, W. (2010). Functional properties of *Lactobacillus* strains isolated from kimchi. *International Journal of Food Microbiology*, 145(1), 155–161. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.12.003>
- Lee, J., Kim, Y., Her, J., Kim, M. K., & Lee, K. (2018). Reduction of biogenic amine contents in fermented soybean paste using food additives. *LWT*, 98, 470–476. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.015>
- Lee, J., Jin, Y. H., Park, Y. K., Yun, S. J., & Mah, J. (2019). Formation of biogenic amines in PA (Green onion) kimchi and GaT (Mustard leaf) kimchi. *Foods*, 8(3), 109. <https://doi.org/10.3390/foods8030109>

Lee J, Jin YH, Pawluk AM, Mah JH. (2021). Reduction in Biogenic Amine Content in *Baechu* (Napa Cabbage) Kimchi by Biogenic Amine-Degrading Lactic Acid Bacteria. *Microorganisms*. 2021 Dec 13;9(12):2570. doi: 10.3390/microorganisms9122570. PMID: 34946171; PMCID: PMC8704687.

Lee, J. H., Jin, Y. H., Lee, J., Park, Y. K., & Mah, J. (2024). Determination of biogenic amine-producing lactic acid bacteria in kimchi varieties through in vitro analysis and low temperature fermentation. *Food Science and Biotechnology*, 33(10), 2301–2312. <https://doi.org/10.1007/s10068-024-01627-8>

Lee, M., Song, J. H., Jung, M. Y., Lee, S. H., & Chang, J. Y. (2017). Large-scale targeted metagenomics analysis of bacterial ecological changes in 88 kimchi samples during fermentation. *Food Microbiology*, 66, 173–183. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.05.002>

Lee, M., Song, J. H., Lee, S. H., Jung, M. Y., & Chang, J. Y. (2018). Effect of seasonal production on bacterial communities in Korean industrial kimchi fermentation. *Food Control*, 91, 381–389. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.04.023>

Lee, M., Song, J. H., Park, J. M., & Chang, J. Y. (2019). Bacterial diversity in Korean temple kimchi fermentation. *Food Research International*, 126, 108592. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108592>

Lee, M., Choi, Y., Kim, Y., Chon, S., Chung, Y. B., Park, S., Yun, Y., Min, S. G., Yang, H., & Seo, H. (2022). Effects of salt type on the metabolites and microbial community in kimchi fermentation. *Heliyon*, 8(11), e11360. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11360>

Lee, N., Han, K. J., Son, S., Eom, S. J., Lee, S., & Paik, H. (2015). Multifunctional effect of probiotic *Lactococcus lactis* KC24 isolated from kimchi. *LWT*, 64(2), 1036–1041. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.019>

Lebeer, S. (2020). A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 70(4), 2782–2858. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004107>

Lestari, N. S. D., Hussin, A. S. M., Mustafa, S., Sew, N. Y. S., Gan, H. M., Hashim, A. M., & Hussain, N. (2023). Bacterial community structure, predicted metabolic activities, and formation of volatile compounds attributed to Malaysian fish sauce flavour. *Food Chemistry*, 426, 136568. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136568>

- Lim, S.B., Shin, S.Y., Moon, J.S. *et al.* Garlic is a source of major lactic acid bacteria for early-stage fermentation of cabbage-kimchi. *Food Sci Biotechnol* **24**, 1437–1441 (2015). <https://doi.org/10.1007/s10068-015-0184-y>
- Lee, S. J., Jeon, H. S., Yoo, J. Y., & Kim, J. H. (2021). Some Important Metabolites Produced by Lactic Acid Bacteria Originated from Kimchi. *Foods (Basel, Switzerland)*, *10*(9), 2148. <https://doi.org/10.3390/foods10092148>
- Little, J. S., Coughlin, C., Hsieh, C. C. R., Lanza, M., Huang, W., Kumar, A., Dandawate, T., Tucker, R., Winkler, M., Pecora, N., Luskin, M., Woolley, A. E., Issa, N. C., Baden, L. R., Brandeburg, C., Bolstorff, B., Fortes, E. D., Doucette, M., McHale, E., . . . Baker, M. (2023). 1452. Neuroinvasive *Bacillus Cereus* Infection Amongst Immunocompromised Patients: Epidemiological Investigation of 5 Cases in Patients with Acute Myeloid Leukemia. *Open Forum Infectious Diseases*, *10*(Supplement\_2). <https://doi.org/10.1093/ofid/ofad500.1289>
- Lourens-Hattingh, A., & Viljoen, B. (2001). Growth and survival of a probiotic yeast in dairy products. *Food Research International*. 2001, *34*(9), 791–796. [https://doi.org/10.1016/s0963-9969\(01\)00085-0](https://doi.org/10.1016/s0963-9969(01)00085-0)
- López-Caballero, M., Sánchez-Fernández, J., & Moral, A. (2001). Growth and metabolic activity of *Shewanella putrefaciens* maintained under different CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> concentrations. *International Journal of Food Microbiology*, *64*(3), 277–287. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(00\)00473-6](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(00)00473-6)
- Mao, Q. Q., Xu, X. Y., Cao, S. Y., Gan, R. Y., Corke, H., Beta, T., & Li, H. B. (2019). Bioactive Compounds and Bioactivities of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Foods (Basel, Switzerland)*, *8*(6), 185. <https://doi.org/10.3390/foods8060185>
- Marcobal, A., de las Rivas, B., & Muñoz, R. (2006). First genetic characterization of a bacterial beta-phenylethylamine biosynthetic enzyme in *Enterococcus faecium* RM58. *FEMS microbiology letters*, *258*(1), 144–149. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2006.00206.x>
- Martin, P. a. W., & Travers, R. S. (1989). Worldwide Abundance and Distribution of *Bacillus thuringiensis* Isolates. *Applied and Environmental Microbiology*, *55*(10), 2437–2442. <https://doi.org/10.1128/aem.55.10.2437-2442.1989>
- McCabe-Sellers, B. J., Staggs, C. G., & Bogle, M. L. (2006). Tyramine in foods and monoamine oxidase inhibitor drugs: A crossroad where medicine, nutrition, pharmacy, and food industry

converge. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, S58–S65. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.12.008>

Mills, S., O’Sullivan, O., Hill, C., Fitzgerald, G., & Ross, R. P. (2010). The changing face of dairy starter culture research: From genomics to economics. *International Journal of Dairy Technology*, 63(2), 149–170. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00563.x>

Mousa, A. H., Bakry, A. M., Wang, G., & Zhang, H. (2019). Efficacy of *Saccharomyces Boulardii* Metabolism during Fermentation of Milk Fortified with Wheat Grain Juice. *Food Science and Technology Research*, 25(5), 657–665. <https://doi.org/10.3136/fstr.25.657>

Mursalin, M. H., Livingston, E. T., & Callegan, M. C. (2020). The cereus matter of *Bacillus endophthalmitis*. *Experimental eye research*, 193, 107959. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2020.107959>

Mutalib, N. E. A., Isa, N. M., Alitheen, N. B., Song, A. A., & Rahim, R. A. (2014). IRES-incorporated lactococcal bicistronic vector for target gene expression in a eukaryotic system. *Plasmid*, 73, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.plasmid.2014.04.003>

Nam, G. W., Jeong, M., Heo, E. J., Chang, O. K., Kim, M., Kwak, H., & Suh, S. H. (2021). Quantitative microbial risk assessment of pathogenic *Escherichia coli* in commercial kimchi in South Korea. *Food Science and Biotechnology*, 30(11), 1455–1464. <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00997-7>

Nataraj, B. H., Ali, S. A., Behare, P. V., & Yadav, H. (2020). Postbiotics-parabiotics: the new horizons in microbial biotherapy and functional foods. *Microbial cell factories*, 19(1), 168. <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01426-w>

Natrella, G., Vacca, M., Minervini, F., Faccia, M., & De Angelis, M. (2024). A Comprehensive Review on the Biogenic Amines in Cheeses: Their Origin, Chemical Characteristics, Hazard and Reduction Strategies. *Foods*, 13(16), 2583. <https://doi.org/10.3390/foods13162583>

Navaneethan, Y., & Effarizah, M. E. (2023). Post-Cooking Growth and Survival of *Bacillus cereus* Spores in Rice and Their Enzymatic Activities Leading to Food Spoilage Potential. *Foods*, 12(3), 626. <https://doi.org/10.3390/foods12030626>

Novosad, B. D., Astley, R. A., & Callegan, M. C. (2011). Role of Toll-Like Receptor (TLR) 2 in Experimental *Bacillus cereus* Endophthalmitis. *PLoS ONE*, 6(12), e28619. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028619>

Omidiran, A. T., & Jenfa, M. D. (2023). Occurrence of biogenic amines in fermented foods. In *Elsevier eBooks* (pp. 539–548). <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-98341-9.00027-x>

Oh SH, Park KW, Daily JW 3rd, Lee YE. Preserving the legacy of healthy Korean food. *J Med Food*. 2014 Jan;17(1):1-5. doi: 10.1089/jmf.2014.1701.ed. PMID: 24456349.

Okamoto, H., Ino, S., Nihei, N., Ikuta, N., Ueno, C., Itoi, A., Yoshikawa, Y., Terao, K., & Sakamoto, N. (2019). Anti-obesity effects of  $\alpha$ -cyclodextrin-stabilized 4-methylthio-3-butenyl isothiocyanate from daikon (*Raphanus sativus* var. *longipinnatus*) in mice. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 65(2), 99–108. <https://doi.org/10.3164/jcbtn.19-11>

Pais, P., Almeida, V., Yılmaz, M., & Teixeira, M. C. (2020). *Saccharomyces boulardii*: What Makes It Tick as Successful Probiotic?. *Journal of fungi (Basel, Switzerland)*, 6(2), 78. <https://doi.org/10.3390/jof6020078>

Papageorgiou, M., Lambropoulou, D., Morrison, C., Kłodzińska, E., Namieśnik, J., & Płotka-Wasyłka, J. (2017). Literature update of analytical methods for biogenic amines determination in food and beverages. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 98, 128–142. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.11.001>

Papageorgiou, M., Lambropoulou, D., Morrison, C., Kłodzińska, E., Namieśnik, J., & Płotka-Wasyłka, J. (2017). Literature update of analytical methods for biogenic amines determination in food and beverages. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 98, 128–142. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.11.001>

Park, E., Chun, J., Cha, C., Park, W., Jeon, C. O., & Bae, J. (2011). Bacterial community analysis during fermentation of ten representative kinds of kimchi with barcoded pyrosequencing. *Food Microbiology*, 30(1), 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.10.011>

Park, Y. K., Lee, J. H., & Mah, J.-H. (2019). Occurrence and Reduction of Biogenic Amines in Kimchi and Korean Fermented Seafood Products. *Foods*, 8(11), 547. <https://doi.org/10.3390/foods8110547>

Pegg A. E. (2013). Toxicity of polyamines and their metabolic products. *Chemical research in toxicology*, 26(12), 1782–1800. <https://doi.org/10.1021/tx400316s>

- Premont, R. T., Gainetdinov, R. R., & Caron, M. G. (2001). Following the trace of elusive amines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(17), 9474–9475. <https://doi.org/10.1073/pnas.181356198>
- Prester L. (2011). Biogenic amines in fish, fish products and shellfish: a review. *Food additives & contaminants. Part A, Chemistry, analysis, control, exposure & risk assessment*, 28(11), 1547–1560. <https://doi.org/10.1080/19440049.2011.600728>
- Shalaby, A. R. (1996). Significance of biogenic amines to food safety and human health. *Food Research International*, 29(7), 675–690. [https://doi.org/10.1016/s0963-9969\(96\)00066-x](https://doi.org/10.1016/s0963-9969(96)00066-x)
- Profir, A., Buruiana, C. and Vizireanu, C. (2015) Effects of *S. Cerevisiae* var. *boulardii* in gastrointestinal disorders. *J Agroalimnt Proc Technol* 21, 148–155.
- Rana, N., Panda, A. K., Pathak, N., Gupta, T., & Thakur, S. D. (2020). *Bacillus cereus*: public health burden associated with ready-to-eat foods in Himachal Pradesh, India. *Journal of Food Science and Technology*, 57(6), 2293–2302. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04267-y>
- Rodriguez, E.T., Flores, H.E.M., Lopez, J.O.R., Vega, R.Z., Garciglia, R.S. and Sanchez, R.E.P. (2017) Survival rate of *Saccharomyces boulardii* adapted to a functional freeze-dried yogurt: experimental study related to processing, storage and digestion by Wistar rats. *Funct Foods Health Dis* 7, 98–114.
- Rokka, M., Eerola, S., Smolander, M., Alakomi, H.-L., & Ahvenainen, R. (2004). Monitoring of the quality of modified atmosphere packaged broiler chicken cuts stored in different temperature conditions: B. Biogenic amines as quality-indicating metabolites. *Food Control*, 15(8), 601–607. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2003.10.002>.
- Romano, A., Trip, H., Lonvaud-Funel, A., Lolkema, J. S., & Lucas, P. M. (2012). Evidence of two functionally distinct ornithine decarboxylation systems in lactic acid bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(6), 1953–1961. <https://doi.org/10.1128/aem.07161-11>
- Rossi, G. a. M., Aguilar, C. E. G., Silva, H. O., & Vidal, A. M. C. (2018). *Bacillus cereus* group: genetic aspects related to food safety and dairy processing. *Arquivos Do Instituto Biológico*, 85(0). <https://doi.org/10.1590/1808-1657000232017>
- Ruiz-Capillas, C., & Jiménez-Colmenero, F. (2004). Biogenic amines in meat and meat products. *Critical reviews in food science and nutrition*, 44(7-8), 489–499. <https://doi.org/10.1080/10408690490489341>

- Ruiz-Capillas, C., & Herrero, A. M. (2019). Impact of Biogenic Amines on Food Quality and Safety. *Foods*, 8(2), 62. <https://doi.org/10.3390/foods8020062>
- Saha Turna, N., Chung, R., & McIntyre, L. (2024). A review of biogenic amines in fermented foods: Occurrence and health effects. *Heliyon*, 10(2), e24501. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24501>
- Sanlier, N., & Bektesoglu, M. (2021). Migraine and biogenic amines. *Annals of Medical and Health Sciences Research*, 11(4). <https://www.amhsr.org/articles/migraine-and-biogenic-amines.pdf>
- Seo, H., Bae, J., Kim, G., Kim, S., Ryu, B. H., & Han, N. S. (2021). Suitability analysis of 17 probiotic type strains of lactic acid bacteria as starter for kimchi fermentation. *Foods*, 10(6), 1435. <https://doi.org/10.3390/foods10061435>
- Shim, Y., Lee, J. Y., & Jung, J. (2024). Effects of Kimchi-Derived lactic acid bacteria on reducing biological hazards in kimchi. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34(12), 2586–2595. <https://doi.org/10.4014/jmb.2408.08016>
- Song, H. S., Lee, S. H., Ahn, S. W., Kim, J. Y., Rhee, J., & Roh, S. W. (2021). Effects of the main ingredients of the fermented food, kimchi, on bacterial composition and metabolite profile. *Food Research International*, 149, 110668. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110668>
- Stadnik, J., & JDolatowski, Z. (2010). Biogenic amines in meat and fermented meat products. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 9(3), 251–263. [https://www.food.actapol.net/volume9/issue3/1\\_3\\_2010.pdf](https://www.food.actapol.net/volume9/issue3/1_3_2010.pdf)
- Surya, R., Nugroho, D. Kimchi throughout millennia: a narrative review on the early and modern history of kimchi. *J. Ethn. Food* 10, 5 (2023). <https://doi.org/10.1186/s42779-023-00171-w>
- Tang, X., & Zhao, J. (2019). Commercial strains of lactic acid bacteria with health benefits. In *Lactic acid bacteria* (pp. 297–369). [https://doi.org/10.1007/978-981-13-7832-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-13-7832-4_10)
- Tomičić, Z., Šarić, L., & Tomičić, R. (2024). Novel Insights in the Application of Probiotic Yeast *Saccharomyces boulardii* in Dairy Products and Health Promotion. *Foods*, 13(18), 2866. <https://doi.org/10.3390/foods13182866>

- Visciano, P., Schirone, M., Tofalo, R., & Suzzi, G. (2014). Histamine poisoning and control measures in fish and fishery products. *Frontiers in microbiology*, 5, 500. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00500>
- Visciano, P., & Schirone, M. (2022). Update on Biogenic Amines in Fermented and Non-Fermented Beverages. *Foods*, 11(3), 353. <https://doi.org/10.3390/foods11030353>
- Vlčková M. (2025). Analýza vybraných biogenních aminů ve vzorcích kimchi.
- Wei, L., & Marco, M. L. (2025). The fermented cabbage metabolome and its protection against cytokine-induced intestinal barrier disruption of Caco-2 monolayers. *Applied and Environmental Microbiology*. <https://doi.org/10.1128/aem.02234-24>
- Wójcik, W., Łukasiewicz, M. and Puppel, K. (2021), Biogenic amines: formation, action and toxicity – a review. *J Sci Food Agric*, 101: 2634-2640. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10928>
- Yang, Q., Chen, J., Dai, J., He, Y., Wei, K., Gong, M., Chen, Q., Sheng, H., Su, L., Liu, L., Chen, J., Bai, L., Cui, S., & Yang, B. (2024). Total coliforms, microbial diversity and multiple characteristics of Salmonella in soil-irrigation water-fresh vegetable system in Shaanxi, China. *The Science of the Total Environment*, 924, 171657. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171657>
- Zhao, X., & Gänzle, M. G. (2018). Genetic and phenotypic analysis of carbohydrate metabolism and transport in *Lactobacillus reuteri*. *International Journal of Food Microbiology*, 272, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.02.021>
- Zhang, J., Caiyin, Q., Feng, W., Zhao, X., Qiao, B., Zhao, G., & Qiao, J. (2016). Enhance nisin yield via improving acid-tolerant capability of *Lactococcus lactis* F44. *Scientific Reports*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/srep27973>
- Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C. M., Harris, H. M., Mattarelli, P., O'Toole, P. W., Pot, B., Vandamme, P., Walter, J., Watanabe, K., Wuyts, S., Felis, G. E., Gänzle, M. G., & Avantor Sciences, n.d. Produktová fotografie laboratorního vybavení. [online]. Dostupné z: <https://www.avantorsciences.com/us/en/product/8878855/null> [Citováno 8. 5. 2025].
- BC Centre for Disease Control. *Bacillus cereus* [online]. [cit. 2025-05-08]. Dostupné z: <http://www.bccdc.ca/health-info/diseases-conditions/bacillus-cereus>

Codex Alimentarius International Food Standards. Standard for kimchi CXS 223–2001. 2017. [https://www.fao.org/fao-whocodexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B223-2001%252FCXS\\_223e.pdf](https://www.fao.org/fao-whocodexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B223-2001%252FCXS_223e.pdf)

Evropská komise. (2005). Nařízení Komise (ES) č. 2073/2005 ze dne 15. listopadu 2005 o mikrobiologických kritériích pro potraviny. *Úřední věstník Evropské unie*, L 338, s. 1-26.

Evropská komise. (2013). Nařízení Komise (EU) č. 1019/2013 ze dne 23. října 2013 o požadavcích na označování olivového oleje. *Úřední věstník Evropské unie*, L 286, s. 31-36.

Scientific Opinion on risk based control of biogenic amine formation in fermented foods. (2011). *EFSA Journal*, 9(10), 2393. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2393>

Wikidata. (n.d.). [Obrázek *Saccharomyces boulardii*]. Wikidata. <https://www.wikidata.org/wiki/Q135368> (Accessed May 8, 2025)

Chun, Lauryn. *The Kimchi Cookbook: 60 Traditional and Modern Ways to Make and Eat Kimchi*. 1st ed. New York: Clarkson Potter/Ten Speed Press, 2012. 160 s. ISBN 978-1-60774-335-4.

# PŘÍLOHY

## Senzorické hodnocení kimchi

Vážení hodnotitelé, zhodnoťte, prosím, předložené vzorky kimchi

Děkujeme vám za spolupráci a přejeme dobrou chuť.

Číslo vzorku:

Datum:

Čas:

### Hodnocení pachu

Ohodnoťte prosím příjemnost pachu vzorků. Vaše hodnocení vyznačte v tabulce pod příslušným deskriptorem křížkem

velice nepříjemný	nepříjemný	neutrální	příjemný	velice příjemný

### Hodnocení chuti

Ohodnoťte dostatečné množství vzorku a charakterizujte příjemnost chuti označením křížkem pod příslušným deskriptorem

velice nepříjemný	nepříjemný	neutrální	příjemný	velice příjemný

Ohodnoťte intenzitu jednotlivých dílčích chutí podle stupnice: **1**-neznatelná, **2**-velmi slabá, **3**-slabá, **4**-střední, **5**-silná. V kategorii „Jiná“ uveďte jakoukoli další chuť, která vám připadá výrazná v daném vzorku (pokuste se popsat jaká).

Popis chuti	Hodnocení
Kyselá	
Slaná	
Pálivá	
Rybí	
Jiná	

### Hodnocení textury

Při ochutnání vzorku charakterizujte, jak na vás působí při skusu. Označte křížkem u příslušného popisu.

velice nepříjemně	nepříjemně	neutrálně	příjemně	velice příjemně

Obrázek 6: Formulář senzorické analýzy kimchi