

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Historický přehled vývoje skladování těžko
uchovávatelných potravin**

Bakalářská práce

Jindra Vejskalová

Výživa a potraviny

Ing. Annemarie Srbová

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Historický přehled vývoje skladování těžko uchovávatelných potravin" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

Dále prohlašuji, že jsem při zpracování této bakalářské práce využila nástroje umělé inteligence (Gemini, NotebookLM a Claude), a to pouze v rozsahu odpovídajícímu vnitřním předpisům fakulty, zejména jako pomocný nástroj při rešerši odborných zdrojů a při stylistické úpravě textu.

V Praze dne 26. 4. 2026

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala mé vedoucí Ing. Annemarie Srbové za její odborné vedení, trpělivost, úpravy textu a také cenné připomínky k tématu, které významně přispěly ke zpracování této práce. Zároveň si velmi vážím jejího vstřícného přístupu a poskytnutí volnosti ve výběru tématu i při jeho zpracování.

Dále bych ráda poděkovala své rodině a blízkým kamarádkám za jejich podporu a pochopení, zejména v náročnějších obdobích během zpracovávání této práce.

V neposlední řadě děkuji Janě za inspiraci k výběru tématu práce, které pro mě představuje důležitý podnět pro další profesní směřování.

Historický přehled vývoje skladování těžko uchovávatelných potravin

Souhrn

Bakalářská práce s názvem „Historický přehled vývoje skladování těžko uchovávatelných potravin“ se zabývá problematikou stability potravin z hlediska faktorů ovlivňujících jejich trvanlivost, mechanismů vedoucích k jejich kažení a vývoje konzervačních technik od nejstarších forem uchovávání až po současné technologické přístupy. Cílem práce je shrnout způsoby skladování těžko uchovávatelných potravin napříč historií a zhodnotit tyto přístupy z hlediska chemických změn probíhajících v potravinách i souvisejících rizik.

Práce se zaměřuje na charakteristiku vnitřních a vnějších faktorů ovlivňujících stabilitu potravin. Mezi klíčové vnitřní faktory patří zejména hodnota pH a vodní aktivita, které určují náchylnost potravin k chemickým, enzymatickým i mikrobiálním změnám. Z vnějších faktorů je pozornost věnována především teplotě, přístupu kyslíku a působení světla, které mohou urychlovat degradační procesy. Zohledněn je také vliv mikroorganismů, kteří se významně podílejí na zhoršování jakosti a bezpečnosti potravin. Dále jsou popsány chemické procesy probíhající během kažení potravin. Pozornost je věnována především oxidaci lipidů, včetně autooxidace, fotooxidace a enzymatické oxidace, a jejich dopadům na senzorické vlastnosti i zdravotní nezávadnost potravin. Stručně jsou charakterizovány také procesy oxidace proteinů, Maillardovy reakce a hydrolytické děje postihující základní složky potravin, tedy lipidy, proteiny a sacharidy, které vedou ke změnám nutriční hodnoty, textury i senzorických vlastností.

Závěrečná část práce shrnuje tradiční i moderní metody konzervace potravin. Jsou uvedeny postupy založené na snižování vodní aktivity a úpravě pH (sušení, solení, uzení, fermentace) i moderní technologie, jako pasterace, sterilace, mražení a vybrané netepelné metody. Tyto přístupy jsou hodnoceny z hlediska prodloužení trvanlivosti a zachování kvality ošetřených potravin.

Klíčová slova: Faktory kažení potravin, Chemické změny v potravinách, Konzervační metody, Skladování potravin

A Historical Overview of the Development of Perishable Food Preservation

Summary

The bachelor's thesis titled "A Historical Overview of the Development of Perishable Food Preservation" examines the issue of food stability in terms of factors affecting shelf life, mechanisms leading to spoilage, and the evolution of preservation techniques — from the earliest forms of storage to contemporary technological approaches. The aim of this thesis is to summarize methods of storing perishable foods throughout history and to evaluate these approaches in terms of the chemical changes occurring in foods and the associated risks.

This thesis focuses on the characteristics of internal and external factors affecting food stability. Key internal factors include, in particular, pH and water activity, which determine the susceptibility of foods to chemical, enzymatic, and microbial changes. Among external factors, attention is primarily focused on temperature, oxygen exposure, and light exposure, which can accelerate degradation processes. The influence of microorganisms, which significantly contribute to the deterioration of food quality and safety, is also taken into account. Furthermore, the chemical processes occurring during food spoilage are described. Particular attention is given to lipid oxidation, including autooxidation, photooxidation, and enzymatic oxidation, and their effects on the sensory properties and safety of food. The processes of protein oxidation, the Maillard reaction, and hydrolytic processes affecting the basic food components – namely lipids, proteins, and carbohydrates – are also briefly characterized, these processes lead to changes in nutritional value, texture, and sensory properties of food.

The last section of the thesis summarizes traditional and modern food preservation methods. It covers processes based on reducing water activity and adjusting pH (drying, salting, smoking, fermentation) as well as modern technologies such as pasteurization, sterilization, freezing, and selected non-thermal methods. These approaches are evaluated in terms of shelf-life extension and quality preservation of food.

Keywords: Food preservation methods, Chemical changes in food, Food spoilage factors, Food storage

Obsah

1 Úvod.....	6
2 Cíl práce	7
3 Literární rešerše	8
3.1 Faktory způsobující kažení potravin.....	8
3.1.1 pH potravin.....	8
3.1.2 Teplota	8
3.1.3 Světlo a přítomnost kyslíku	9
3.1.4 Vlhkost okolí a vodní aktivita potravin	9
3.1.5 Mikroorganismy a škůdci	10
3.1.6 Prevence kažení potravin	10
3.1.6.1 Hygiena.....	11
3.1.6.2 Skladování potravin.....	11
3.1.6.3 Obal potravin.....	12
3.1.6.4 Zabránění rekontaminaci	12
3.1.6.5 Konzervační techniky	12
3.2 Chemické změny v potravinách během kažení	13
3.2.1 Oxidace lipidů.....	13
3.2.1.1 Autooxidace.....	14
3.2.1.2 Fotooxidace	15
3.2.1.3 Oxidace enzymy	15
3.2.1.4 Oxidační stabilita mastných kyselin.....	16
3.2.1.5 Důsledky oxidace na potraviny	17
3.2.2 Oxidace proteinů.....	17
3.2.3 Maillardova reakce	18
3.2.3.1 Mechanismus reakce	18
3.2.3.2 Důsledky reakce na potraviny	19
3.2.4 Enzymatické reakce	19
3.2.4.1 Enzymatické hnědnutí	20
3.2.5 Hydrolýza.....	21
3.2.5.1 Hydrolýza proteinů – proteolýza	21
3.2.5.2 Hydrolýza sacharidů – sacharolýza	22
3.2.5.3 Hydrolýza lipidů – lipolýza	22
3.2.5.4 Důsledky hydrolýzy na potraviny	23

3.3	Metody konzervace potravin.....	23
3.3.1	Sušení.....	24
3.3.1.1	Historie	24
3.3.1.2	Princip a možnosti využití.....	24
3.3.2	Uzení.....	24
3.3.2.1	Historie	24
3.3.2.2	Princip a možnosti využití.....	25
3.3.3	Mražení.....	25
3.3.3.1	Historie	25
3.3.3.2	Princip a možnosti využití.....	25
3.3.4	Chlazení.....	26
3.3.4.1	Historie	26
3.3.4.2	Princip a možnosti využití.....	27
3.3.5	Fermentace.....	27
3.3.5.1	Historie	27
3.3.5.2	Princip a možnosti využití.....	27
3.3.6	Nakládání.....	28
3.3.6.1	Historie	28
3.3.6.2	Princip a možnosti využití.....	29
3.3.7	Solení a kandování.....	29
3.3.7.1	Historie	29
3.3.7.2	Princip a možnosti využití.....	30
3.3.8	Konzervace tepelným ošetřením.....	31
3.3.8.1	Pasterace.....	31
3.3.8.2	Sterilace	32
3.3.9	Paskalizace (High Pressure Processing)	33
3.3.9.1	Historie	33
3.3.9.2	Princip a možnosti využití.....	33
3.3.10	Ošetření ionizujícím zářením (radiací)	34
3.3.10.1	Historie	34
3.3.10.2	Princip a možnosti využití.....	34
3.3.11	Chemická konzervace.....	35
3.3.11.1	Historie	35
3.3.11.2	Princip a možnosti využití.....	35
3.3.12	Vakuování.....	36
3.3.12.1	Historie	36

3.3.12.2	Princip a možnosti využití	36
4	Závěr.....	37
5	Literatura.....	38
6	Seznam zkratek použitých v práci.....	43

1 Úvod

Historie konzervace potravin odráží dlouhodobou lidskou snahu o prodloužení údržnosti potravin a zajištění jejich dostatku i bezpečnosti. Jednotlivé skupiny potravin, především ty náchylné k rychlému kažení, vyžadují specifické způsoby uchovávání, které zajistí jejich prodlouženou trvanlivost, bezpečnost i požadovanou nutriční hodnotu (Rahman 2020).

Snaha o prodloužení trvanlivosti potravin pochází již z raných dob, kdy bylo využíváno přirozených metod, jako je sušení za pomoci slunečního záření, uzení kouřem a nasolování (Ariyamuthu et al. 2022). Tyto přirozené konzervační metody zabraňovaly znehodnocení zásob a přebytků z dob hojnosti, které byly dále využívány v období nedostatku (Berk 2013). Principy tradičních metod spočívají především v regulaci vodní aktivity potravin a úpravě pH, čímž dojde k vytvoření nehostinného prostředí pro růst nežádoucích mikroorganismů a potravina vydrží déle čerstvá (Ariyamuthu et al. 2022).

S nástupem průmyslové revoluce a rozvojem potravinářské chemie a mikrobiologie v moderní civilizaci 19. a 20. století došlo k zásadnímu vylepšení a modernizaci konzervačních technik. Byly přidány sofistikovanější technologie a vědecké poznatky, které daly vzniknout spolehlivým metodám zajišťujícím bezpečné zdroje potravin pro rostoucí světovou populaci (Rahman 2020). Mezi moderní technologie zajišťující spolehlivou trvanlivost potravin lze řadit např. ozařování potravin, chemickou konzervaci aditiv, paskalizaci, či pasteraci a sterilaci (Ariyamuthu et al. 2022). Implementace těchto metod do potravinářského průmyslu umožnila kontrolu nad degradačními procesy potravin a zajistila tak jejich nezávadnost (Rahman 2020).

Vlastní proces kažení potravin je velmi komplexní děj, který je ovlivněn vzájemným působením vnitřních faktorů, jako jsou například hodnota pH, vodní aktivita či obsah kritických nutrientů (např. lipidů) a vnějších faktorů prostředí, mezi které patří zejména teplota, vlhkost, přístup ke kyslíku či světlo (Rolfe & Daryaei 2020). Rychlost a rozsah procesu degradace potravin závisí na kombinaci těchto faktorů, které na potravinu působí. Přičemž i drobné výkyvy od normy mohou mít zásadní dopad na kvalitu a bezpečnost dané potraviny (Mafe et al. 2024).

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je shrnout metody a způsoby skladování těžko uchovávatelných a skladovatelných potravin napříč historií. Zhodnotí jednotlivé způsoby z pohledu chemických změn potravin a rizik s tím spojených.

3 Literární rešerše

3.1 Faktory způsobující kažení potravin

Kažení potravin je výsledkem působení řady faktorů na danou potravinu, které lze rozdělit do dvou skupin, na vnitřní a vnější. Vnitřní faktory zahrnují přirozené vlastnosti samotné potraviny, jako je např. pH, vodní aktivita, obsah kritických živin (např. lipidů) a redoxní potenciál. Vnější faktory zahrnují podmínky vnějšího prostředí, které lze ovlivnit, např. teplotu, vlhkost, přístup kyslíku, množství světla a přítomnost degradačních mikroorganismů či škůdců (Rolfe & Daryaei 2020). Rychlost kažení potravin, i jeho rozsah závisí na kombinaci působení obou zmíněných faktorů, a i drobné výkyvy mohou výrazně ovlivnit bezpečnost potraviny (Mafe et al. 2024). Na základě pochopení vzájemného působení vnitřních i vnějších faktorů na potraviny je možné potraviny efektivně konzervovat a tím prodloužit jejich udržitelnost (Rahman 2020).

3.1.1 pH potravin

Hodnota pH potravin neboli záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů, je jedním z nejvýznamnějších vnitřních faktorů ovlivňujících mikrobiální stabilitu potravin a způsobující následné kažení (Rolfe & Daryaei 2020). Pro růst bakterií, které mohou způsobovat degradaci potravin je ideální neutrální pH, tedy v rozmezí 6,5 – 7,5 (DeMan et al. 2018). Potraviny s hodnotami pH blízkými neutrálním jsou tedy velmi náchylné k bakteriálnímu kažení. Jedná se především o čerstvé maso a mořské plody, mléko a vařenou rýži (Mafe et al. 2024). S klesající hodnotou pH, se podmínky pro množení bakterií zhoršují. Za limitní hodnotu je považována hodnota pH 4,6, pod kterou není růst sporulujících patogenních bakterií možný (DeMan et al. 2018). Tyto kyselé potraviny s pH pod 4,6 jsou vůči patogenním bakteriím odolné, nejsou však odolné proti kvasinkám a plísním, které jsou schopny růstu i v kyselém prostředí. Z tohoto důvodu je typickým projevem kažení kyselých potravin fermentace kvasinkami (např. u ovocných šťáv), nebo napadání plísněmi, což je děj typický pro citrusové plody, chléb a další pečivo (Erkmen & Bozoglu 2016).

Z výše zmíněných důvodů je regulace pH potravin jednou z nejúčinnějších metod jejich konzervace. pH je běžně regulováno za pomoci přísad organických kyselin, fermentací nebo nakládáním do nálevů. Tyto postupy snižují pH potravin pod kritickou hodnotu 4,6 a tím zabrání růstu většině patogenních bakterií (Rahman 2020). Při zpracovávání potravin se zásaditějším pH je nezbytné konzervační techniky kombinovat, tedy regulovat pH a poté potravinu např. tepelně ošetřit nebo snížit její vodní aktivitu (např. sušením) (DeMan et al. 2018).

3.1.2 Teplota

Teplota skladování potravin je velmi významným vnějším faktorem ovlivňujícím rychlost jejich kažení. Se zvýšením teploty o každých cca 10 °C, než je doporučená teplota pro skladování dané potraviny se rychlost metabolické aktivity mikroorganismů v potravine (kažení) zrychluje až pětinašobně (Clark et al. 2014). Optimální teplota pro růst většiny patogenních mikroorganismů je v rozmezí 20–45 °C, ale růst některých kategorií patogenů je možný i v rozsáhlejší rozmezí, a to při 5–60 °C (Rolfe & Daryaei 2020). Rizikové mohou

být i chladírenské teploty v rozmezí 0–4 °C, především pro růst některých psychrotrofních bakterií, např. *Pseudomonas* nebo *Listeria monocytogenes* (Erkmen & Bozoglu 2016). Jediné teploty zpomalující růst mikroorganismů jsou teploty mrazírenské, tedy pod 0 °C (Berk 2013). Mrazírenské teploty jsou výhodné z pohledu inhibice mikrobiální aktivity, ale nezastavují enzymatické reakce a další chemické procesy (např. oxidaci lipidů) probíhající v potravinách. Tyto procesy jsou nízkými teplotami pouze zpomaleny, nikoli zastaveny (Clark et al. 2014).

Další z možností regulace teploty potravin za účelem jejich delší trvanlivosti je její zvyšování, konkrétně nad 60 °C, což vede k inaktivaci vegetativních forem mikroorganismů. Pokud by tepelné ošetření mělo cílit i na spory patogenních bakterií, je nutné využít teplot nad 100 °C (Rahman 2020).

3.1.3 Světlo a přítomnost kyslíku

Působením světla na potraviny jsou urychlovány fotochemické degradační reakce v potravinách, jejichž důsledkem je např. ztráta fotolabilních vitaminů (např. vitamin C a vitamin B₂ – riboflavin), oxidace lipidů a ztráta barviv (např. antokyany a lykopen). Z tohoto důvodu je velké množství potravin baleno do tmavých neprůhledných obalů, nebo je v rámci skladování doporučeno uchovávat produkty na stinném místě (Subramaniam 2016).

Přítomnost kyslíku v potravinách je dalším klíčovým faktorem kažení, především pomocí aerobních bakterií a plísní, které pro svou aktivitu kyslík vyžadují (Mafe et al. 2024). Přítomný kyslík také zajišťuje vhodné podmínky pro oxidaci všech makroživiny, především nežádoucí oxidaci lipidů, enzymatické hnědnutí a degradaci vitaminů (Fellows 2017). Účinnou metodou konzervace je tedy zabránění přístupu kyslíku k potravíně, např. vakuovým balením nebo modifikovanou atmosférou uvnitř obalu (Amit et al. 2017).

Možným rizikem pro potraviny je i absence kyslíku, tedy anaerobní prostředí, které představuje ideální podmínky pro množení anaerobních patogenů, jako je např. *Clostridium botulinum* (Rahman 2020).

3.1.4 Vlhkost okolí a vodní aktivita potravin

Přítomnost vody v potravinách lze označit za pravděpodobně nejvýznamnější faktor ovlivňující mikrobiální kažení potravin (DeMan et al. 2018). Voda, která je dostupná pro biologické a chemické procesy v potravíně, se popisuje jako vodní aktivita potravin (a_w), jejíž hodnoty se pohybují v rozmezí 0–1. Na rozdíl od celkového obsahu vlhkosti, který udává množství celkové vody v potravíně (Rolfe & Daryaei 2020)

Většina bakterií vyžaduje vysoký obsah vody v potravinách, preferují tedy potraviny s vodní aktivitou nad 0,91 (Erkmen & Bozoglu 2016). Konkrétní patogenní bakterie jako jsou např. *Salmonella*, *Escherichia coli* a *Listeria monocytogenes* vyžadují vysokou vodní aktivitu potravin, a to v rozmezí 0,95–0,99 (Rolfe & Daryaei 2020). Méně náročné na vodní aktivitu jsou kvasinky, které vyžadují hodnoty nad 0,88. Nejméně náročné jsou plísně, které jsou schopné existence i při hodnotách 0,65 (Erkmen & Bozoglu 2016).

Snížením vodní aktivity potravin pod kritické hodnoty lze účinně zabránit degradačním procesům, které jsou způsobeny mikroorganismy. Ke snižování vodní aktivity lze využít mnoho metod, ať už tradičních, jako např. sušení, tak moderních, jako je např. lyofilizace (Fellows 2017). Další možnost snížení vodní aktivity je prostřednictvím osmotické

dehydratace, tedy nasolováním nebo kandováním potravin. Obě metody spočívají na principu difúze vody z potravin, čímž vytvoří nehostinné prostředí pro mikroorganismy (Ariyamuthu et al. 2022).

Velkou roli hraje také vlhkost prostředí. Vysoká vlhkost okolního prostředí může vést k absorpci vzdušné vlhkosti potravinou, díky čemuž se zvýší její vodní aktivita a vznikne ideální prostředí pro růst mikroorganismů (Subramaniam 2016). Z tohoto důvodu je nutné potraviny skladovat v prostředí s kontrolovanou vlhkostí nebo používat vhodné obalové materiály (Robertson 2013).

3.1.5 Mikroorganismy a škůdci

Mikroorganismy jsou hlavními biologickými činiteli zodpovědnými za kažení potravin. Jejich rozvoj v potravině a její následné kažení závisí na typu mikroorganismu, dále na vlastnostech a druhu dané potravin a také na externích faktorech (podmínkách skladování) (Erkmen & Bozoglu 2016).

Bakterie jsou významnými původci kažení potravin s vysokou vodní aktivitou a neutrálním pH. Napadají nejčastěji čerstvé maso, ryby, mléko a vařené pokrmy (Mafe et al. 2024). Rozvoj bakterií je možný i za snížených teplot, konkrétně psychrotrofních bakterií rodu *Pseudomonas* tvořící sliz, nepříjemný zápach a změnu barvy napadených potravin. Sporulující bakterie rodů *Bacillus* a *Clostridium* přežijí ve formě spor i tepelné ošetření a mohou se následně v potravině dále množit po jejich vyklíčení za příznivějších podmínek (Kumar 2025).

Kvasinky způsobují kažení především kyselých potravin a potravin s vyšším obsahem cukru, např. ovocných šťáv, džemů a pečiva. Během svého působení způsobují tvorbu plynů a alkoholovou fermentaci, která následně mění chuť potravin (Erkmen & Bozoglu 2016).

Další z kategorie mikroorganismů jsou plísňe, jejichž růst je na potravinách viditelný, díky tvorbě mycelia. Plísňe napadají široké spektrum potravin, např. ovoce, zeleninu, sýry a další. Některé plísňe produkují mykotoxiny s toxickými účinky na lidské zdraví, konkrétně aflatoxiny, produkované plísní *Aspergillus* nebo ochratoxin A, který je produkován plísní *Penicillium* (Mafe et al. 2024).

Dalšími původci znehodnocení potravin, především během skladování, jsou makroskopičtí škůdci, jako například hmyz nebo hlodavci. Konkrétními příklady hmyzích škůdců mohou být např. pilous černý (*Sitophilus granarius*), potěmník moučný (*Tenebrio molitor*) nebo zavíječ moučný (*Ephestia kuehniella*). Tito škůdci navíc podporují růst plísní na napadené potravině, čímž zvyšují riziko kontaminace mykotoxiny (Stathas et al. 2023). Škůdci potraviny znehodnocují nejen její konzumací a kladením larev, ale také kontaminací výkaly a močí, roztoči a přenosem dalších mikroorganismů (např. *Salmonella* a *Escherichia coli*) (Guru et al. 2022).

3.1.6 Prevence kažení potravin

Prevence kažení potravin spočívá v jejich konzervaci, tedy v inhibici nebo jiném řízení vnitřních i vnějších faktorů způsobujících kažení. Cílem prevence je vytvořit podmínky, které budou nehostinné pro růst mikroorganismů i pro průběh dalších nežádoucích degradačních chemických reakcí (Rahman 2020). Moderní metody konzervace využívají primárně takzvané

kombinované techniky konzervace, které kombinují více konzervačních postupů v mírných formách, např. mírné okyselení, snížení vodní aktivity, chlazení, kontrolovanou atmosféru a další. Tyto techniky při svých mírnějších variantách naruší pouze minimálně senzorickou kvalitu ošetřené potraviny, ale zároveň jsou velmi účinné proti nežádoucím dějům (Amit et al. 2017).

3.1.6.1 Hygiena

Hygiena ve výrobním prostředí a při manipulaci s potravinami je základním předpokladem pro minimalizaci kontaminace potravin nežádoucími látkami. Pro udržení hygienických standardů, především ve výrobě, se využívá systému HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points), který udává systematické kroky, které pomáhají identifikovat biologická, chemická i fyzikální rizika během procesu výroby (Rahman 2020). Klíčovými prvky udržení hygienických standardů jsou sanitace provozu, včetně jednotlivých zařízení, dodržování osobní hygieny pracovníky a pracovníky, kontrola kvality jednotlivých surovin, hygienická manipulace se surovinami a také správná výrobní praxe (Mafe et al. 2024). Součástí kontrol je také kontrola kvality vody a vzduchu, které jsou využívány ve výrobním procesu. Mezi další důležité body prevence patří minimalizace křížové kontaminace mezi zpracovanými a syrovými surovinami, a také jejich správné skladování za předem daných podmínek, jako je např. konkrétní teplota a vlhkost vzduchu (Rahman 2020).

3.1.6.2 Skladování potravin

Správné skladování potravin je klíčové v prevenci jejich kažení. Základem je udržování vhodných teplot, dle požadavků jednotlivých kategorií potravin, např. chlazené potraviny skladovat při teplotách do 4 °C, a naopak potraviny vyšší teploty (např. ohřáté pokrmy) udržovat při teplotách kolem 60 °C nebo vyšší, čímž se minimalizuje riziko takzvané nebezpečné teplotní zóny (Berk 2013). Při nedostatečných kontrolách teplot během zpracovávání, chlazení a skladování potravin dochází ke kolísání teplot, které poté umožňují přežití nebo růst mikroorganismů způsobujících kažení potravin (Rahman 2020).

Další ochrannou technikou skladování je uzavření potravin do hermeticky uzavřených nádob. Díky uzavření ji izolujeme od působení kyslíku způsobujícího oxidaci potravin a také od okolních mikroorganismů, což může výrazně prodloužit její trvanlivost (Fellows 2017).

Důležitým faktorem během skladování potravin je i manipulace se zásobami, například využití techniky „first in, first out“, tedy nejdříve použít starší produkt a až poté novější produkt s delší trvanlivostí (Rahman 2020).

Při skladování suchých produktů, jako jsou např. obilniny, luštěniny a mouka je podstatné kontrolovat kromě teploty také vlhkost skladovacího prostoru, která by při vysokých hodnotách mohla podporovat růst plísní a aktivitu hmyzích škůdců (Guru et al. 2022).

3.1.6.3 Obal potravin

Obalový materiál potravin představuje primární bariéru mezi potravinou a vnějším prostředím, čím zásadně ovlivňuje její trvanlivost a kvalitu (Robertson 2013). Jednou ze základních funkcí obalu je ochrana potravin před působením vnějších faktorů kažení, kterými jsou kyslík, působení světla, okolní vlhkost, mechanické poškození a mikrobiální kontaminace (Kumari et al. 2024). Pokud je obal pro některý z těchto faktorů propustný, urychlují se degradační procesy (např. oxidace) katalyzované těmito faktory uvnitř potravin (Robertson 2013). Materiály s dostatečnou bariérovou schopností proti kyslíku, jako např. metalizované folie, jsou nezbytné pro uchránění potravin citlivých na oxidaci, zatímco materiály s nízkou propustností pro vodní páru, které chrání potraviny před navlhnutím, jsou vhodné pro sušené potraviny (Kumari et al. 2024).

Pokročilou metodou balení potravin je využití modifikované atmosféry (MAP), při které je vzduch s běžným složením nahrazen směsí plynů (typicky dusíkem, oxidem uhličitým a případně malým množstvím kyslíku) (Fellows 2017). Zvýšená koncentrace CO₂ v modifikované atmosféře inhibuje růst aerobních bakterií a tím prodlužuje údržnost potravin oproti konvenčnímu balení (Amit et al. 2017). Současnými trendy v potravinářství je využívání aktivních obalů s antimikrobiálními látkami nebo absorbéry ethylenu a také inteligentních obalů s indikátory čerstvosti nebo teplotními senzory, které umožňují monitorovat a prodloužit trvanlivost potravin (Kumari et al. 2024).

3.1.6.4 Zabránění rekontaminaci

Rekontaminace představuje opětovné vystavení potravin, která již byla tepelně ošetřena nebo jinak konzervována, mikroorganismům způsobujícím kažení. Velmi významným zdrojem mikroorganismů jsou syrové potraviny, které mohou při špatné manipulaci nebo skladování kontaminovat již tepelně ošetřené, nebo jinak konzervované potraviny (Mafe et al. 2024). Hlavními mechanismy rekontaminace je přímý kontakt se syrovými potravinami, takzvaná křížová kontaminace, nebo kontaminace pracovní plochy a kuchyňských nebo výrobních pomůcek. V neposlední řadě lze také za rizikový označit kontaminovaný obalový materiál nebo nedostatečnou osobní hygienu personálu (Rahman 2020).

Za prevenci lze pokládat přísné oddělování syrových a zpracovaných surovin ve výrobním i skladovacím procesu, důkladnou a pravidelnou sanitaci ploch i nástrojů, používání vhodných obalových materiálů a dodržování hygienických postupů při manipulaci s potravinami (Rahman 2020). V praxi jsou největším rizikem kontaminace plnicí a balicí linky, na kterých musí být zajištěna hygienická manipulace s produkty (Mafe et al. 2024).

3.1.6.5 Konzervační techniky

Konzervační techniky představují soubor chemických, biologických a fyzikálních metod, které prodlužují trvanlivost potravin.

Mezi fyzikální metody konzervace potravin patří především ošetření spojené se změnou teplot, tedy zahřívání, chlazení a mražení. Tepelné ošetření potravin do 100 °C neboli pasteurace, běžně prováděna při 63–72 °C inaktivuje vegetativní formy mikroorganismů. Tepelné ošetření nad 100 °C neboli sterilace inaktivuje i spory těchto mikroorganismů (Rahman 2020). Chlazení

a mražení potravin zpomaluje nebo deaktivuje růst nežádoucích mikroorganismů a také degradační enzymatické reakce (Berk 2013). Moderní fyzikální metody využívají technik jako je ošetření vysokým tlakem (HPP), které inaktivuje mikroorganismy i při nižších teplotách a tím lépe zachovávají senzorické i nutriční hodnoty ošetřené potraviny (Rahman 2020). Dalšími metodami fyzikální konzervace potravin jsou metody snižující vodní aktivitu potravin, konkrétně sušení a lyofilizace, během kterých je znemožněno mikroorganismům čerpat volnou vodu v potravinách (Fellows 2017).

Chemické konzervační metody využívají aditivních látek, které inhibují mikrobiální aktivitu. Aditivními látkami mohou být organické kyseliny (např. octová, mléčná, benzoová a sorbová kyselina), které snižují pH potravin a také přímo inhibují mikrobiální růst (DeMan et al. 2018). Mezi aditiva lze zařadit také oxid siřičitý a siřičitany, které působí jak proti enzymatickému i neenzymatickému hnědnutí, tak jako antimikrobiální činidla využívaná u sušeného ovoce a vína (Amit et al. 2017).

Biologická konzervace využívá fermentačních procesů, během kterých reagují mikroorganismy, především bakterie mléčného kvašení a kvasinky, s cukry a produkují organické kyseliny, alkohol a bakteriociny. Vzniklé produkty vytvářejí nepříznivé prostředí pro patogeny a zajišťují tím delší trvanlivost potraviny (Rahman 2020). Příkladem výrobků zakonzervovaných biologickou cestou jsou např. kysané zelí, jogurty, sýry nebo fermentované masné výrobky (Amit et al. 2017).

Za další metody konzervace lze považovat i vakuové balení nebo balení v modifikované atmosféře, které inhibuje vlivy aerobních mikroorganismů (Robertson 2013).

3.2 Chemické změny v potravinách během kažení

V potravinách během kažení dochází k souboru chemických reakcí, které vedou k degradaci potravin. Jejich projevem bývá jak ztráta nutriční hodnoty potraviny, tak hlavně nepříjemná senzorická jakost (Rahman 2020). Mezi hlavní mechanismy kažení potravin patří oxidace lipidů, Maillardova reakce, enzymatický rozklad a hydrolýza jednotlivých složek potravin (DeMan et al. 2018). Důsledky degradačních mechanismů ve většině případů zahrnují negativní změnu barvy, chuti, vůně i textury potraviny (DeMan et al. 2018).

Průběh jednotlivých procesů v potravinách závisí na jejich vnitřních faktorech, jako jsou pH nebo aktivita vody (Kan & Chen 2021). Na průběh chemických změn uvnitř potravin mají vliv i vnější faktory, např. teplota prostředí, přístup ke kyslíku nebo vystavení světlu (DeMan et al. 2018). Zmíněným degradačním procesům lze předejít za využití různých konzervačních technik, nebo alespoň minimalizovat jejich dopady na kvalitu potravin při skladování (Clark et al. 2014).

3.2.1 Oxidace lipidů

Oxidace lipidů je chemický proces, který výrazně mění trvanlivost (Arab-Tehrany et al. 2012) i kvalitu potravin (Kasaai 2025). A to jak z pohledu nutriční hodnoty (degradace lipofilních vitaminů a esenciálních mastných kyselin), tak senzorických vlastností, které lze následně označit za nevyhovující (Arab-Tehrany et al. 2012). Děje se tak díky reakci polynenasycených mastných kyselin (například omega-3 mastných kyselin) s reaktivními

formami kyslíku, k čemuž může docházet během zpracování, skladování, tepelné úpravy a dokonce i po samotném požití potravin (Wąsowicz et al. 2004). Běžně využívaným synonymem pro oxidaci, především v kontextu lipidů, je „žluknutí“, které je typické u potravin s nízkým obsahem vody, tedy primárně u tuků a olejů (Eskin & Robinson 2001). Podstatou oxidace je vystavení potravin vzdušnému kyslíku, světlu, vyšší teplotě (Eskin & Robinson 2001), mikroorganismům (Kan & Chen 2021) a enzymům (v případě mléčných výrobků) (DeMan et al. 2018). Limitujícím faktorem pro oxidační změny v potravinách je přítomnost přirozeně se vyskytujících antioxidantů, které oxidaci potlačují (DeMan et al. 2018).

Senzorickým produktem oxidačních reakcí je nelibá vůně potravin (Kan & Chen 2021), změna typické barvy potravin (tmavnutí samotných tuků, či blednutí původních pigmentů potravin) a také trpká chuť, typická pro žluklé potraviny (Arab-Tehrany et al. 2012). Prekursorů zmíněných senzorických změn na chuti a vůni potravin jsou aldehydy, ketony a alkoholy (Kasaai 2025), které jsou sekundárními produkty oxidace (DeMan et al. 2018). Primárními produkty oxidací jsou z chemického hlediska hydroperoxydy, které se následně rozkládají a mohou být dále polymerizovány (Kan & Chen 2021).

Na druhou stranu oxidace nemusí vždy znamenat pouze kažení potravin. V určitých případech, za řízených podmínek, ji lze považovat za chtěnou reakci vedoucí k žádoucím změnám v potravinách, například k typické vůni smažených potravin (Kan & Chen 2021).

3.2.1.1 Autooxidace

Prvním typem oxidace je takzvaná autooxidace, kterou lze popsat také jako řetězovou reakci produkující volné radikály (Fellows 2017). Za primární produkt autooxidace se označují nestabilní hydroperoxydy (Tao 2015), které se dále rozkládají na sekundární produkty autooxidace (například na aldehydy), které jsou zodpovědné za organoleptické změny ve zkažených potravinách (DeMan et al. 2018). Za terciární produkt oxidace pak považujeme volné mastné kyseliny, které jsou tvořeny oxidací vzniklých aldehydů (DeMan et al. 2018).

Autooxidace probíhá ve třech po sobě jdoucích fázích: iniciace (zahájení), propagace (šíření) a terminace (ukončení) (Pignitter & Somoza, 2012). Jednotlivé fáze lze zjednodušeně charakterizovat jako: tvorbu nových radikálů, zvýšení počtu volných radikálů a jejich následnou přeměnu na stabilní, dále nereaktivní sloučeniny (Kasaai 2025).

Iniciace začíná během působení vnějších vlivů, kterými jsou například světlo, teplo či přítomnost kovů jako je železo a měď (Barriuso et al. 2012). Vnější faktory dodají sloučenině energii k homolytickému odštěpení atomu vodíku z mastné kyseliny a výsledným produktem první fáze reakce se stává nestabilní lipidový volný radikál (Wąsowicz et al. 2004). V druhé fázi, zvané propagace vzniklý lipidový radikál rychle reaguje s atmosférickým kyslíkem za vzniku peroxylového radikálu (Pignitter & Somoza 2012). Peroxylový radikál následně „napadá“ další nenasyčenou mastnou kyselinu, ze které se odštěpí vodík a vznikne hydroperoxid, primární produkt autooxidace (Wijewardane 2026). Během reakce peroxylového radikálu se kromě vodíku uvolní i nový radikál, který funguje jako katalyzátor pro neustále opakující se řetězovou reakci (Wąsowicz et al. 2004). Terminace ukončující řetězovou reakci nastává při vzájemné reakci radikálů za vzniku stabilních, dále nereaktivních produktů (Arab-Tehrany et al. 2012). Další možností pro počátek terminace je přítomnost, či přidání antioxidantů (Pignitter & Somoza, 2012), které darují vodík, navážou na sebe radikály a přeruší

tak cyklickou reakci autooxidace (Arab-Tehrany et al. 2012). Konkrétním příkladem antioxidantů terminující reakci mohou být fenolické antioxidanty, jako jsou například tokoferoly (Eskin & Robinson 2001).

3.2.1.2 Fotooxidace

Další typ oxidace, označovaný jako fotooxidace, probíhá za přítomnosti světla a „fotosenzibilátorů“, kterými jsou například chlorofyl, riboflavin, syntetická barviva nebo myoglobin (Tao 2015). Během fotooxidace vznikají takzvané „singletové“ kyslíky, které lze označit za excitované formy základního vzdušného „tripletového“ kyslíku (Kasaai 2025). Z tripletového kyslíku vznikají singletové kyslíky dvěma typy reakcí, přičemž běžnější je druhý způsob fungující na principu vystavení fotosenzibilátorů světlu, následné reakce s tripletovým kyslíkem a generace singletového kyslíku během fotodegradační kaskády. První typ reakce operuje s volnými radikály, které s kyslíkem reagují napřímo (Shen et al. 2024).

Principem fotooxidace je interakce „singletového“ kyslíku, který je reaktivnější než běžný kyslík, s dvojnými vazbami nenasycených masných kyselin (Pignitter & Somoza 2012). Při reakci dochází k přesunu dvojně vazby a vznikají hydroperoxidy (Wąsowicz et al. 2004). To vede k nestabilitě a snížení kvality potravin, například k nelibé chuti (Kasaai 2025). Nejlepší prevencí fotooxidace je uchovávání potravin bohatých na tuky na stinném místě, kde nebudou vystaveny přímému světlu (Kasaai 2025).

3.2.1.3 Oxidace enzymy

Oxidace lipidů může probíhat také enzymatickou cestou za pomoci enzymů ze skupin lipoxygenáz (LOX), cyklooxygenáz (COX) či cytochromů (CYP) (Barriuso et al. 2012). Další skupinou enzymů, které jsou často řazeny mezi enzymatické původce změn tuků jsou hydroperoxidázy, které způsobují rozklad peroxidů vodíku (Kasaai 2025).

Cyklooxygenázy (COX) katalyzují přeměnu volných polynenasycených masných kyselin na prostaglandiny a tromboxany (Tao 2015). Cyklooxygenázy jsou tedy klíčové i pro imunitní reakce v organismu. Konkrétním příkladem může být enzym COX-2, který tvoří v poškozené tkáni prostaglandin E₂, který spouští akutní i chronické záněty (Kdeiss 2022). Zmíněná imunitní odpověď organismu může být stimulována i při nadměrném příjmu tuků ve stravě (Kdeiss 2022).

Cytochromy (CYP) jsou známé spíše jako enzymy odbourávající cizorodé a toxické látky v játrech, ale jsou také schopny přeměňovat volné polynenasycené masné kyseliny na epoxidové, monohydroxylované a dihydroxylované metabolity (Tao 2015).

Lipoxygenázy (LOX) lze definovat jako polypeptidy obsahující atom železa (Wąsowicz et al. 2004), v aktivní (Fe³⁺) nebo neaktivní (Fe²⁺) formě, nacházející se v rostlinách, bakteriích, houbách i živočišné tkáni (Kasaai 2025). Funkce lipoxygenáz spočívá v odštěpení vodíku z polynenasycené masné kyseliny a následným „vložením“ kyslíku za tvorby hydroperoxidů (Wąsowicz et al. 2004). Konkrétními příklady polynenasycených masných kyselin, které slouží jako substrát pro enzymatickou oxidaci, jsou například kyselina linolová a kyselina linolenová (Kasaai 2025). Nicméně lipoxygenázy neslouží pouze k syntéze hydroperoxidů, které mají následně značné negativní dopady na senzoriku potravin, ale jsou schopné také tvořit

žádoucí, konkrétně protizánětlivé látky z polynenasycených mastných kyselin, kterými jsou např. resolviny nebo protektiny (Tao 2015).

Enzymatická oxidační dráha mastných kyselin má zásadní dopad na lidské tělo a její pozitivní či negativní účinky se odvíjí od vstupujících substrátů k oxidaci. Pokud budou enzymy oxidovat omega-6 mastné kyseliny, vzniknou metabolity podporující zánět (prostaglandiny), naopak pokud do reakce vstoupí omega-3 mastné kyseliny, jako je například EPA a DHA, vzniknou metabolity tkáně chránící (Tao 2015).

3.2.1.4 Oxidační stabilita mastných kyselin

Oxidační stabilita mastných kyselin závisí na stupni jejich nasycenosti neboli na přítomnosti a počtu dvojných vazeb v řetězci dané mastné kyseliny (Wijewardane 2026). Konkrétněji řečeno, čím více dvojných vazeb mastná kyselina obsahuje, tím náchylnější je k oxidaci (Pignitter & Somoza 2012).

Rychlost oxidace mastných kyselin je přímo úměrná počtu dvojných vazeb v konkrétní mastné kyselině, tedy s rostoucím počtem dvojných vazeb roste i rychlost oxidační reakce. Z tohoto důvodu budou rychleji reagovat polynenasycené mastné kyseliny, které ve svém řetězci obsahují více než jednu dvojnou vazbu, v porovnání s mononenasycenými mastnými kyselinami disponujícími pouze jednou dvojnou vazbou. Konkrétně bude nejrychleji oxidovat kyselina linolenová se třemi dvojnými vazbami, poté kyselina linolová se dvěma dvojnými vazbami a nejpomaleji dojde k oxidaci u kyseliny olejové, která obsahuje pouze jednu dvojnou vazbu (Wijewardane 2026). Nasycené mastné kyseliny (mastné kyseliny neobsahující dvojnou vazbu) jsou naopak vůči oxidaci velmi odolné, lze je tedy označit za stabilní (Wąsowicz et al. 2004).

Oxidační stabilitu ovlivňují kromě nasycenosti i další vnitřní a vnější faktory. Mezi vnitřní faktory ovlivňující oxidační stabilitu tuků lze zařadit mimo nasycenost mastných kyselin také obsah minoritních složek v konkrétním tuku nebo oleji, kterými jsou např. antioxidanty, konkrétně tokoferoly, karotenoidy a fenolické sloučeniny (Sabolová et al. 2020). Antioxidanty, ať už účinnější syntetické nebo přírodní varianty s limitovanou účinností (např. tokoferoly a polyfenoly), hrají v kontextu oxidační stability potravin významnou pozitivní roli. Jak již vyplývá z názvu, působí proti oxidačním reakcím, z tohoto důvodu jsou využívány jako aditivní látky do potravin (Gao et al. 2025). K vnitřním faktorům oxidační stability tuků a olejů lze zařadit také přítomnost takzvaných „prooxidantů“, podporujících nechtěnou oxidační reakci (Sabolová et al. 2020). Mezi prooxidanty řadíme zejména chlorofyl, který na světle katalyzuje fotooxidační reakci a také stopové množství iontů přechodných kovů (Wijewardane 2026). K vnějším faktorům řadíme již výše zmíněné vystavení látky atmosférickému kyslíku, světlu, vlhkosti či zvýšené okolní teplotě (Sabolová et al. 2020).

Zvýšit stabilitu nenasycených mastných kyselin je možné díky kombinaci aditivních antioxidantů, které stabilizují volné radikály a kyseliny citronové, která působí jako chelatační činidlo na prooxidativní ionty kovů (Fe^{2+} , Cu^{2+}) a následně zabraňuje oxidaci, která by byla těmito ionty katalyzována (Gao et al. 2025).

3.2.1.5 Důsledky oxidace na potraviny

V konečném důsledku vede oxidace lipidů v potravinách primárně k nežádoucím změnám organoleptických vlastností zoxidované potraviny (Barriuso et al. 2012). Tyto změny jsou způsobovány rozpadem hydroperoxidů na sekundární oxidační produkty, kam se řadí těkavé aldehydy, ketony a alkoholy (Tao 2015). Zmíněné sekundární oxidační produkty způsobují nežádoucí pachy, změnu chuti a mohou také vést ke změnám barvy, ať už ke ztmavnutí tuků tak k zesvětlení a degradaci přirozených pigmentů (Arab-Tehrany et al. 2012).

Důležitý vliv má oxidace lipidů i na snížení trvanlivosti potravin a snížení jejich bezpečnosti i výsledné nutriční kvality (Arab-Tehrany et al. 2012). Z nutričního hlediska je zoxidovaná potravina ochuzena o část lipofilních vitaminů a také o esenciální mastné kyseliny, které byly v potravine původně přítomné (Wąsowicz et al. 2004).

Některé sekundární produkty oxidace lipidů mohou mít negativní dopad na fyziologické procesy v organismu konzumujících a následně představují potenciální riziko pro lidské zdraví. Konkrétně se jedná o aldehydy jako 4-hydroxy-2-nonenal či malondialdehyd, které jsou vysoce toxické (Halvorsen & Blomhoff 2011). Zmíněné aldehydy se kovalentně vážou na nukleové kyseliny a na proteiny (vzniká takzvaný „crosslink“), což může narušit normální funkci buněk a přispívat k procesům stárnutí, oxidačnímu stresu, mutagenезi a karcinogenезi (Arab-Tehrany et al. 2012).

Konzumace zoxidovaných polynenasycených mastných kyselin prokazatelně vyvolává v buňkách zánětlivé procesy a silný oxidační stres. Má také přímou souvislost s rozvojem závažných chorob jako je ateroskleróza, nádorová onemocnění či neurodegenerativní poruchy (Tao 2015). Přítomnost produktů oxidace v potravinách, konkrétně aldehydů, schopných poškozovat DNA, má často za následek předčasné stárnutí, vznik buněčných mutací či karcinogenезi (Arab-Tehrany et al. 2012).

3.2.2 Oxidace proteinů

Oxidace proteinů je stejně jako oxidace lipidů degradační proces, ke kterému dochází během zpracování a dlouhodobého uchovávání potravin (Domínguez et al. 2021). Oxidace proteinů může vést ke změnám jejich struktury, které ovlivňují jejich citlivost vůči proteolytickým enzymům. Tyto změny mohou následně ovlivnit kvalitu potraviny, její stravitelnost i výživovou hodnotu. Společným znakem s oxidací lipidů je stejný průběh základních mechanismů reakce, kdy oba procesy probíhají na základě řetězové reakce volných radikálů (Lund et al. 2011) a jsou způsobeny stejnými spouštěči, kterými může být kyslík, ionty kovů, světlo, či specifické enzymy (Domínguez et al. 2021).

Hlavním rozdílem mezi oxidací lipidů a proteinů jsou jejich výsledné produkty a následný senzorický projev. Produkty oxidace proteinů vznikají na základě modifikace postranních řetězců aminokyselin, které následně dávají vzniknout proteinovým karbonylům (Xiong & Guo 2020). Další z reakcí je formování takzvaných cross-linked proteinů (zesíťovaných proteinů), disulfidických můstků nebo Schiffových bází. K těmto reakcím dochází na základě volných radikálů, které vznikají během oxidace. Senzorické projevy zoxidovaných proteinů nejsou na rozdíl od produktů zoxidovaných lipidů nijak senzoricky (chuťově či pachově) výrazné (Domínguez et al. 2021). Projevené oxidativní změny lze pozorovat na technologických

vlastnostech potravin, kdy dochází k tuhnutí masa díky tvorbě zesíťovaných proteinů, ztrátě schopnosti vázat vodu a také ke změně barvy na základě oxidace myoglobinu (Bao & Erbjerg 2019).

Důležité je zmínit, že jak oxidace lipidů, tak proteinů od sebe nejsou izolovány, ale naopak jsou propojeny (Domínguez et al. 2021). Propojení procesů dává vzniknout procesu takzvané ko-oxidace, jejímž principem je napadení nukleofilní skupiny proteinů vysoce reaktivními sekundárními produkty oxidace lipidů (např. malondialdehydem). Tento proces vede k nevratné modifikaci a agregaci proteinové struktury (Wazir et al. 2021).

3.2.3 Maillardova reakce

Maillardova reakce, známá také jako neenzymatické hnědnutí je komplexem chemických reakcí mezi aminokyselinami a karbonylovou skupinou redukujících cukrů při vystavení vysoké teplotě (Bolchini et al. 2025). Zdůraznění pojmu „neenzymatické“ hnědnutí se ustálilo jako kontrast k enzymatickému hnědnutí, které probíhá za přítomnosti skupin enzymů polyfenoloxidáz, které celou reakci katalyzují (Hosry et al. 2025).

Označení „Maillardova“ nese po svém objeviteli, francouzském chemikovi Louisovi Camille Maillardovi, který ji popsal v roce 1912 (Hosry et al. 2025). Nejvýznamnějším produktem reakce je hnědnutí a tvorba specifické chuti takto upravených potravin (např. pražené kávy, pečeného chleba nebo grilovaného masa), čehož se využívá v kulinární úpravě potravin (Bolchini et al. 2025).

3.2.3.1 Mechanismus reakce

Komplex Maillardovy reakce lze rozdělit do tří fází, počáteční (early stage), při které dochází ke kondenzaci, střední (intermediate stage), ve které dojde k „rozbití“ produktů z počáteční reakce, které následně vedou ke kaskádě dalších reakcí. Poslední fází je fáze pokročilá (advanced stage), která vede k tvorbě typického zbarvení produktu (Hemmler et al. 2017).

Průběh počáteční fáze spočívá v reakci karbonylové skupiny redukujících cukrů s amino skupinou aminokyselin (Shakoor et al. 2022). Výsledkem série reakcí jsou dva typy produktů, stabilnější Amadoriho produkty (Shakoor et al. 2022), nebo méně stabilní Schiffovy báze (Hosry et al. 2025). Schiffovy báze jsou počátečními produkty celého procesu, vznikající interakcí aminoskupiny aminokyseliny s karbonylovou skupinou redukujícího cukru za vzniku iminové vazby ($C=N$) (Shakoor et al. 2022). Z důvodu jejich nízké stability podléhají následně přesmyku na stabilnější Amadoriho produkty (Hosry et al. 2025). Jako Amadoriho produkty označujeme stabilní ketoaminy vytvořené přesmykem Schiffových bází (Hosry et al. 2025). Takto vzniklé meziprodukty se obvykle vyskytují v cyklické formě β -pyranóz a během zahřevu se dále transformují na aromatické látky a melanoidiny (Shakoor et al. 2022).

Během střední fáze se Amadoriho produkty degradují, nebo dochází k jejich fragmentaci, což následně vede k reakcím jako je dehydratace, deaminace nebo Streckerova degradace (Hemmler et al. 2017). Degradace Amadoriho produktů na α -dikarbonylové sloučeniny dává v potravině vzniknout prekurzorům melanoidinů a také prekurzorům typických chuťových látek (Shakoor et al. 2022). Ve střední fázi se v potravině díky dehydrataci formují furany, které

dodávají produktům typické ořechové až karamelové aroma (Hosry et al. 2025). Charakteristické aroma i chuť se tvoří také při Streckerově degradaci, během které dochází k reakci aminokyselin s α -dikarbonylovými sloučeninami (Hosry et al. 2025). Ve střední fázi dochází při zahřátí také k tvorbě akrylamidu na základě reakce asparaginu s reaktivními meziprodukty reakce (Shakoor et al. 2022).

Poslední, pokročilá fáze vede k široké škále vzniklých produktů, kdy nejdůležitějšími jsou melanoidiny, které dodávají produktům typické zbarvení (Tamanna & Mahmood 2015). Melanoidiny jsou také vnímány pozitivně z důvodu jejich zřejmého pozitivního antioxidačního a antimikrobiálního vlivu (Hosry et al. 2025).

Průběh Maillardovy reakce je často ovlivněn mnoha faktory, ať už se jedná o faktory vnější, např. teplota během kulinární úpravy, jak již bylo zmíněno výše, tak o faktory vnitřní. Mezi vnitřní faktory lze zařadit např. složení aminokyselin a redukujících cukrů, vodní aktivitu a pH potraviny (Shakoor et al. 2022), které sice nemá vliv na výslednou senzoriku potraviny, ale s jeho snížením klesá i rychlost reakce (Hosry et al. 2025). Zpomalení reakce lze dosáhnout také přítomností antioxidantů (např. vitamínu C), které zredukovávají aktivitu reagujících složek, naopak ke zrychlení reakce může dojít za přítomnosti iontů kovů (Fe, Zn) (Hosry et al. 2025).

3.2.3.2 Důsledky reakce na potraviny

Důsledků Maillardovy reakce na potraviny je mnoho, jak pozitivních, které jsou v průmyslu vyžadovány (Hosry et al. 2025), tak negativních, kterým se ze zdravotního hlediska snažíme vyhnout (Sun et al. 2022).

Mezi pozitivní důsledky řadíme formování sloučenin, které žádoucím způsobem ovlivňují senzorické kvality potraviny, konkrétně chuť, vůni a barvu (např. u kávy, čokolády a chleba) (Hosry et al. 2025). Možným pozitivním dopadem Maillardovy reakce na potraviny je také formování antibakteriálních látek na povrchu potraviny (Shakoor et al. 2022).

Za negativní dopad lze označit produkci toxických sloučenin, např. akrylamidu, snížení nutriční hodnoty potraviny (Sun et al. 2022), ale hlavně snížení kvality bílkovin (Hosry et al. 2025). V některých případech může Maillardova reakce vést také k nepříjemné, hořké chuti potravin (Shakoor et al. 2022).

3.2.4 Enzymatické reakce

Enzymatické reakce hrají v potravinách velmi důležitou roli. Enzymy lze popsat jako vysoce aktivní katalytické proteiny, které jsou přirozeně produkovány buňkami (Wang et al. 2024) a reagují se substrátem na základě principu „zámku a klíče“, který funguje na základě strukturální kompatibility enzymu a substrátu (Akimova et al. 2024).

Enzymy lze klasifikovat dle typu katalyzované reakce do šesti tříd: oxidoreduktázy - např. polyfenoloxidázy, peroxidázy a lipoxygenázy, transferázy - např. transglutamináza [EC 2.3.2.13], hydrolázy - např. amyláza [EC 3.2.1.1], laktáza [EC 3.2.1.23], lipáza [EC 3.1.1.3], proteázy a pektinázy, ligázy, lyázy - pektinové lyázy a izomerázy - pektinová izomeráza [EC 5.3.1.5] (Motta et al. 2023).

Enzymy lze také dělit dle původu, a to na endogenní a exogenní. Endogenní enzymy jsou v potravinách přirozeně přítomné a mohou mít jak žádoucí, tak nežádoucí efekt (Motta et al. 2023). Mezi žádoucí efekty lze zařadit např. zrání masa po porážce (Abril et al. 2023) nebo

chtěnou změnu barvy potravin (Motta et al. 2023). Za negativní dopady lze označit všeobecně enzymatické kažení potravin, např. snížení jejich nutriční a senzorické kvality (Motta et al. 2023), enzymatické hnědnutí, měknutí potravin rozkladem pektinů nebo žluknutí působením lipáz a proteáz (Kumar 2025). Exogenní enzymy jsou do potravin záměrně přidávány, aby způsobily žádoucí změny (Motta et al. 2023). Mezi žádoucí změny lze zařadit např. zlepšení chuti a vůně potravin (Abril et al. 2023), zlepšení stravitelnosti produktů a prodloužení jejich trvanlivosti (Wang et al. 2024). Požadované exogenní enzymy lze získat z různých zdrojů, např. z živočišných tkání, z rostlin, z mikroorganismů nebo genetickým inženýrstvím (Wang et al. 2024).

Kažení za pomoci endogenních enzymů probíhá i u čerstvých a správně uskladněných potravin, neboť negativní reakce endogenních enzymů jsou do jisté míry nevyhnutelné. Účinnost enzymů je silně závislá na podmínkách okolního prostředí, konkrétně na teplotě, pH a vlhkosti (Kumar 2025), pro prevenci enzymatického kažení je tedy nutné tyto faktory regulovat (Motta et al. 2023).

3.2.4.1 Enzymatické hnědnutí

Proces enzymatického hnědnutí probíhá díky reakci polyfenoloxidázy (enzym z třídy oxidoreduktáz) se vzdušným kyslíkem. Polyfenoloxidáza se přirozeně vyskytuje jak v ovoci, tak v zelenině a jejím typickým vizuálním projevem je hnědnutí potravin. Tato vizuální změna je spjata s oxidací fenolických sloučenin a lze ji zaznamenat až při porušení rostlinné tkáně (např. krájením, loupáním), která je následně vystavena vzdušnému kyslíku (Egbro & Obukadeta 2025). Během této reakce nedochází pouze ke změně barvy, ale také ke změně textury, chuti a nutriční kvality potravin (Tilley et al. 2023). Nejvýraznějším projevem z pohledu ztráty nutričně hodnotných látek je degradace vitamínu C (Egbro & Obukadeta 2025). Zatímco u ovoce a zeleniny je enzymatické hnědnutí za pomoci polyfenoloxidázy považováno za negativní, pro produkci černého čaje, kávy, kakaa (Tilley et al. 2023) a sušeného ovoce, jako jsou např. švestky nebo rozinky je nezbytné (Kan & Chen 2021).

Principem enzymatického hnědnutí je enzymatická oxidace fenolických sloučenin za pomoci polyfenoloxydázy (Kan & Chen 2021). Nejvyšším stupněm oxidace fenolických sloučenin je vznik vysoce reaktivních o-chinonů, které se následně bez účasti enzymů spojují do dlouhých řetězců a tvoří tmavé pigmenty (načervenalé, hnědé až černé), známé také jako melaniny (Egbro & Obukadeta 2025).

Za prevenci enzymatického hnědnutí lze považovat regulaci či eliminaci základních složek nutných pro reakci, tedy inhibice fenolických sloučenin, zhoršení podmínek pro polyfenoloxidázu nebo izolace od kyslíku (např. ponořením potravin do vody nebo vakuovým balením). Další variantou je přidavek antioxidantů, např. vitamínu C nebo siřičitanů (Kan & Chen 2021). I přes vysokou účinnost siřičitanů se od jejich využívání upouští z důvodu potenciálních zdravotních rizik pro citlivější osoby (Egbro & Obukadeta 2025).

Konkrétním příkladem zhoršených podmínek pro optimální působení polyfenoloxidázy je např. snížení hodnoty pH z optimálních 5–7 na 3–4, při kterých dojde k utlumení reakce (Egbro & Obukadeta 2025). Další možností denaturace enzymu je využití vyšší teploty (70–95 °C po dobu 7 vteřin) pro tepelné ošetření potravin, která zároveň inhibuje i přítomné mikroorganismy, lze ji tedy považovat za komplexnější metodu konzervace (Kan & Chen

2021). Nejčastěji využívaným tepelným ošetřením pro zabránění nežádoucím enzymatickým reakcím je blanšírování, tedy tepelné opracování potravin při 85 °C po dobu 60–90 vteřin (Egbro & Obukadeta 2025).

3.2.5 Hydrolýza

Hydrolýza představuje klíčový mechanismus degradace potravin, při kterém dochází ke štěpení kovalentních vazeb v přítomnosti vody (Mafe et al. 2024). Tento proces může probíhat enzymatickou i neenzymatickou cestou. Průběh enzymatické hydrolýzy je ovlivněn přítomností endogenních nebo exogenních enzymů, které se účastní reakce. Naproti tomu neenzymatická hydrolýza je ovlivněna fyzikálně-chemickými faktory prostředí, zejména pH a teplotou (Erkmen & Bozoglu 2016).

Hydrolytické reakce probíhají ve všech třech hlavních skupinách makronutrientů, tedy v lipidech, proteinech i sacharidech a vedou k nežádoucím změnám senzorických vlastností potravin, degradaci nutriční hodnoty a k celkové degradaci jakosti potravin (Mafe et al. 2024).

3.2.5.1 Hydrolýza proteinů – proteolýza

Proteolýza je jednou z nejběžnějších reakcí v kontextu kažení potravin bohatých na bílkoviny – masa, vajec a mléčných výrobků. U takto znehodnocených potravin dochází k negativní změně jak jejich senzorických vlastností, tak i jejich bezpečnosti (Kumar 2025).

Proteolýzu lze definovat jako rozklad peptidových vazeb v bílkovinách za vzniku peptidů. Během dalšího štěpení se peptidy dále rozloží na základní stavební části bílkovin, aminokyseliny (Choskit et al. 2023). V kontextu kažení potravin je proteolýza zprostředkována proteázami, tedy enzymy rozkládající bílkoviny. Proteázy mohou být jak endogenního původu (např. katepsiny, kalpains, kolagenázy), tak exogenního původu (Kumar 2025). Exogenní proteázy jsou ve většině případech produkovány pomocí mikroorganismů (např. *Pseudomonas*, *Clostridium* nebo *Bacillus*) (Abril et al. 2023).

Vlastní degradace proteinů probíhá ve třech stupních: nejprve dochází k hydrolýze bílkovin za uvolnění peptidů a aminokyselin, následuje deaminace (odštěpení aminoskupiny za vzniku amoniaku a těkavých organických sloučenin) a reakce je ukončena dekarboxylací aminokyselin za tvorby biogenních aminů (Kumar 2025). Vzniklé biogenní aminy, zejména histamin, tyramin, kadaverin a putrescin mohou při zvýšených koncentracích způsobovat zdravotní problémy u citlivějších osob (Schirone et al. 2022).

Proteolýza nemusí mít na potraviny vždy pouze negativní dopad. Například mírná počáteční proteolýza endogenními proteázami v mase po porážce zvířete je technologicky žádoucí, neboť díky jejich působení dochází k rozkladu bílkovin a maso následně změkne a zkréhne. Naopak hluboký rozklad způsobený mikroorganismy je nežádoucí (Abril et al. 2023). Hluboká proteolýza za anaerobních podmínek vede k hnilobě, tedy k deaminaci a dekarboxylaci aminokyselin za vzniku amoniaku, sirných sloučenin (např. merkaptanů, sirovodíku), aminů (např. kadaverinu), indolu a skatolu (Kumar 2025). Výsledkem hnilobného procesu je nepříjemný zápach potravin (Choskit et al. 2023), slizovitost, měknutí a nevyhovující chuť potravin (Kumar 2025). Dalším negativním důsledkem je pokles nutriční hodnoty potravin a ztráta esenciálních aminokyselin (Kan & Chen 2021).

Prevenčí nežádoucí proteolýzy je dodržování hygienických standardů, udržování chladírenského řetězce u potravin bohatých na bílkoviny a tepelné ošetření (např. pasterizace) nebo okyselení potravin v případě potřeby delšího skladování (Kumar 2025).

3.2.5.2 Hydrolýza sacharidů – sacharolýza

Hydrolýza sacharidů zahrnuje enzymatické i neenzymatické štěpení glykosidických vazeb polysacharidů a oligosacharidů za vzniku jednodušších cukrů (Wang et al. 2024).

Enzymatická hydrolýza sacharidů je katalyzována endogenními amylázami, mikrobiálními glykosidázami, pektinázami a celulázami (Akimova et al. 2024).

Hlavní zásobní polysacharid, škrob, je štěpen za pomoci α -amyláz a β -amyláz, které svými reakcemi dopomáhají ke snížení poměru amylozy ku amylopektinu, tím zvyšují rozpustnost škrobu, a naopak snižují jeho bobtnavost. Tyto změny ovlivňují takzvanou retrogradaci škrobu, která je jedním z hlavních mechanismů snížení kvality škrobových potravin během uchovávání, která se standardně projevuje tvrdnutím (Li et al. 2023). Strukturální polysacharidy, jako např. pektin a celulóza, jsou štěpeny příslušnými enzymy (pektinázami, celulázami) na kratší řetězce (Akimova et al. 2024). Rozklad pektinu, který v potravinách zajišťuje soudržnost buněk, vede ke ztrátě pevnosti plodů, které následně získávají měkkou až kašovitou strukturu. Rozklad pektinu neprobíhá pouze hydrolyticky, může probíhat i čistě enzymaticky díky eliminačním reakcím zprostředkovaným pektinovou lyázou (Kumar 2025).

Rozklad jednoduchých cukrů v potravinách lze označit za fermentaci, z důvodu průběhu reakce za přítomnosti mikroorganismů, které cukry dále zpracovávají na organické kyseliny (např. mléčnou kyselinu), alkohol a plyny. Důsledkem fermentace je zakysání potravin (např. mléka nebo ovocných šťáv), alkoholový zápach a nežádoucí nafukování obalů (Kumar 2025).

Prevenčí nežádoucí sacharolýzy je pasterace, která usmrcuje kvasinky jako původce kažení, nebo sušení, které vytváří nehostinné prostředí pro mikroorganismy (Kumar 2025). Na druhou stranu, řízená sacharolýza je běžným technologickým postupem např. při kynutí pečiva nebo zlepšení textury potravin (Akimova et al. 2024).

3.2.5.3 Hydrolýza lipidů – lipolýza

Hydrolýza lipidů je proces štěpení esterových vazeb v triacylglycerolech za vzniku diacylglycerolů, monoacylglycerolů, glycerolu a volných mastných kyselin (Bazina et al. 2025). Reakce může být katalyzována endogenními lipázami přítomnými v tkáních potravin, exogenními mikrobiálními lipázami nebo může probíhat i bez přítomnosti enzymů, kdy se za katalyzátor považuje zvýšená teplota (Kumar 2025).

V masných produktech a produktech z ryb je lipolýza zprostředkována endogenními enzymy (např. lipoproteinovou lipázou, hormon-senzitivní lipázou a fosfolipázami), které mohou působit v některých případech na oxidaci lipidů katalyticky a v jiných inhibičně. Například fosfolipázy působí během rozkladu triacylglycerolu antioxidačně, zatímco jiné druhy lipáz oxidaci urychlují (Tatibaborworntham et al. 2022).

Během skladování potravin bohatých na tuky výrazně stoupá obsah volných mastných kyselin, které jsou primárním faktorem ovlivňujícím kvalitu tuků obsažených v potravinách (Maroto et al. 2024). K hydrolýze jsou nejnáchylnější krátké a nenasycené mastné kyseliny

díky jejich vyšší rozpustnosti ve vodě. Uvolněné volné mastné kyseliny hydrolyzovaných lipidů snižují oxidační stabilitu tuku a přispívají tak k nežádoucímu hydrolytickému žluknutí (Bazina et al. 2025).

Zvláštním případem jsou termostabilní lipázy produkované psychrotrofními bakteriemi, které přežívají i vysoké teploty pasterace a pokračují v lipolytickém rozkladu potravin během skladování. Tento děj se týká především mléčných výrobků (Erkmen & Bozoglu 2016).

Hlavním důsledkem lipolýzy je hydrolytické žluknutí lipidů, projevující se nepříjemným pachem a chutí, které jsou způsobeny uvolněnými volnými mastnými kyselinami, především krátkořetězcovými mastnými kyselinami (např. máselnou a kapronovou kyselinou) (Kasaai 2025). Volné mastné kyseliny jsou navíc substrátem pro lipidovou oxidaci, při které dochází ke ztrátě nutričně cenných polynenasycených mastných kyselin (Tatiyaborworntham et al. 2022).

3.2.5.4 Důsledky hydrolýzy na potraviny

Hydrolytické reakce mají vzájemně propojené důsledky na kvalitu potravin, konkrétně na texturu, senzorické parametry i nutriční hodnotu a celkově lze hydrolýzu označit za iniciátora kaskády degračních reakcí.

Z hlediska senzorických změn je nejvýznamnější reakcí hydrolýza lipidů, která má za následek hydrolytické žluknutí, projevující se nepříjemným pachem a pachutí (Kasaai 2025). K nepříjemnému zápachu vzniklému těkavými sloučeninami, konkrétně amoniakem a sulfanem vede proteolýza, která má za následek také změnu textury potraviny (Choskit et al. 2023). Další reakcí způsobující změny textury je sacharolýza, která se projevuje tvrdnutím potravin, nebo naopak nežádoucím měknutím díky rozkladu pektinů (Kumar 2025).

Negativně ovlivněna je také nutriční hodnota potravin. Konkrétním příkladem je degradace proteinů během proteolýzy a snížení jejich biologické hodnoty na základě ztráty esenciálních aminokyselin (Sengar et al. 2025). Lipolýza také způsobuje ztrátu cenných látek, konkrétně polynenasycených mastných kyselin, které degradují v důsledku oxidace uvolněných volných mastných kyselin (Tatiyaborworntham et al. 2022). Hydrolýza také dává vzniknout substrátům pro další mikrobiální růst, konkrétně volným aminokyselinám a jednoduchým cukrům, které slouží jako snadno dostupné zdroje dusíku a energie pro mikroorganismy, které následně mohou způsobovat další kažení potravin (Mafe et al. 2024).

3.3 Metody konzervace potravin

Konzervace potravin představuje soubor technologických postupů, jejichž primárním cílem je prodloužit trvanlivost potravin a zachovat jejich bezpečnost i nutriční kvalitu (Rahman 2020). Jednotlivé metody využívají různých principů inhibice nežádoucích dějů, od regulace teploty, úpravy vodní aktivity a pH až po moderní metody chemické a fyzikální konzervace (DeMan et al. 2018). Použité konzervační metody působí proti nežádoucím aktivitám v potravine, kterými mohou být např. mikrobiální kontaminace, nežádoucí chemické procesy (např. oxidace) nebo enzymatické změny (Rahman 2020).

Výběr konkrétní metody vhodné pro danou potravinu závisí na složení potraviny, požadavcích na její následnou senzorickou kvalitu, ale i na dostupnosti potřebných technologií (Clark et al. 2014).

3.3.1 Sušení

3.3.1.1 Historie

Sušení je jednou z nejstarších metod účinné a dlouhodobé konzervace potravin (Ariyamuthu et al. 2022). V počátcích se potraviny, především maso a ryby, sušily výhradně pomocí slunečního záření nebo byly přirozeně ponechány na vzduchu (Berk 2013). Historie této techniky sahá přibližně do roku 12 000 př. n. l., kdy byla využívána především ve Středním východě a Orientu k uchovávání masa a ryb. Staří Římané později tuto metodu rozšířili pro konzervaci ovoce. Ve středověku se začal k sušení využívat oheň, což následně vedlo k rozvoji uzení, jako doplňkové konzervační metody (Nummer 2002). K modernizaci způsobů sušení došlo v roce 1795 ve Francii, kde vznikla první specializovaná sušička na potraviny, která sloužila k sušení ovoce a zeleniny (Joardder & Masud 2019).

3.3.1.2 Princip a možnosti využití

Podstatou sušení je snížení vodní aktivity potraviny prostřednictvím působení tepla a proudění vzduchu, čímž se zpomalí enzymatické procesy v dané potravíně (Roos & Drusch 2016). Zbavením se vody, která je v potravíně přirozeně obsažena dosáhneme také vzniku nehostinného prostředí pro růst mikroorganismů, které v potravíně způsobují další rozkladné procesy vedoucí ke kažení (Ariyamuthu et al. 2022). Kromě klasického sušení existují i speciální, technologicky náročnější postupy, například lyofilizace (sušení mrazem), která je k potravinám daleko šetrnější a umožňuje jim zachovat si přirozenou chuť i obsah nutrientů. Těchto výhod využíváme především u lyofilizace ovoce a zeleniny (Roos & Drusch 2016).

Mezi hlavní výhody sušení patří snížení hmotnosti a objemu potravin v důsledku úbytku vody, čímž se zlepšuje její potenciál pro bezpečný transport, dlouhodobé skladování a snadnou následnou přípravu (např. instantní káva, instantní ovocný nápoj...) (Berk 2013). Nespornou výhodou sušení potravin je i jeho snadná kombinovatelnost s dalšími konzervačními technikami, například s nakládáním do oleje (Mafe et al. 2024).

Nevýhodami jsou především časová náročnost metody, snížení sytící schopnosti potravin (Rahman 2020), změny textury, vzhledu a chuti (Berk 2013). Tyto senzorické změny mohou ale být v některých případech žádoucí, např. u lyofilizovaného, či konvenčně sušeného ovoce (Berk 2013). Během sušení dochází rovněž ke zvýšení relativního obsahu cukru v potravíně a ke ztrátám vitaminů citlivých na teplo, zejména vitaminů A, C a vitaminů skupiny B (Ariyamuthu et al. 2022).

3.3.2 Uzení

3.3.2.1 Historie

Uzení patří mezi velmi staré a jednoduché metody konzervace potravin, využívané především pro živočišné produkty, jako jsou sýry, maso a ryby (Mafe et al. 2024). Uzení se využívalo i pro jeho pozitivní senzorické (primárně chuťové) účinky, které se odvíjely od typu dřeva, na kterém uzení dané potraviny probíhalo (Hui 2012). Ve středověké Evropě se jednalo o běžně využívanou technologii pro konzervaci masa, primárně z důvodu absence modernějších metod konzervace a skladování, za které pokládáme například chlazení (Joardder & Masud 2019).

3.3.2.2 Princip a možnosti využití

Technologicky je uzení založeno na vystavení potravině tepla a kouři vznikajícím při spalování dřeva nebo uhlí. Principy konzervace kouřem jsou celkem 3, a to sušení neboli snižování vodní aktivity potravin, inaktivace enzymů a mikroorganismů vysokou teplotou (v případě uzení za vyšších teplot) a produkce antimikrobiálních fenolických složek stoupajícím kouřem (Berk 2013). Vyprodukované fenolické složky ulpívají na povrchu potravin a tvoří tak antimikrobiální vrstvu dodávající uzeným potravinám žádoucí specifické aroma a barvu (Ariyamuthu et al. 2022). Je třeba poznamenat, že samotný kouř má na prodloužení trvanlivosti spíše doplňkový vliv a nelze jeho konzervační účinky považovat za samostatnou a bezpečnou metodu prodloužení trvanlivosti potravin (Hui 2012). Hlavní konzervační účinek během uzení zajišťuje vlastní vysoká teplota, při které dochází k procesu sušení (Rahman 2020).

Uzení lze rozdělit do dvou základních skupin dle využívané teploty a délky trvání samotného ošetření potravin (Berk 2013). První skupinou je uzení za studena, kdy je využíváno nižších teplot, obvykle kolem 10–25 °C po dobu delší než 14 dnů (Hui 2012). Jedná se o původní metodu uzení, jejíž produkty vyžadují minimální následnou tepelnou úpravu. Produkty uzení za studena jsou světlejší barvy a uniformnější chuti (Hui 2012). Druhou skupinou je uzení za vyšších teplot, konkrétněji kolem 60–100 °C (Berk 2013). Uzení za vyšších teplot probíhá v kratším časovém úseku oproti uzení za studena, tedy často v podobě pár hodin až několika dnů. Z důvodu kratšího času vystavení potravině tepla, obsahují takto ošetřené produkty více vody a jsou tedy náchylnější k degradaci. Proto je nutné je uchovávat v chladu (Hui 2012). V moderní době, kdy máme k dispozici účinnější a efektivnější způsoby konzervace, slouží uzení především k dosažení specifické chuti a typických senzorických vlastností pro uzené potraviny, nikoli jako primární metoda pro prodloužení trvanlivosti potravin (Joardder & Masud 2019).

3.3.3 Mražení

3.3.3.1 Historie

Mražení patří k metodám dlouhodobé konzervace potravin, které byly v minulosti omezené pouze na oblasti s vhodnými klimatickými podmínkami, jako je Arktida, Sibiř, Aljaška nebo Antarktida. V těchto regionech se využívalo přirozeně nízkých teplot a potraviny se skladovaly pod zemí, kde teplota zůstávala trvale pod bodem mrazu (Saito et al. 2024).

V ostatních oblastech, kde nebyly trvale nízké teploty pod 0 °C, bylo běžnější používat mírnější, a tedy i krátkodobější formu této metody – chlazení. Moderní podoba mražení potravin za pomoci umělého chlazení, jak ji známe dnes, se začala rozvíjet kolem roku 1938, krátce před 2. světovou válkou (Berk 2013). Postupem času došlo k rozvoji tzv. šokového mražení, které umožňuje rychlé zmrazení potravin a tím lépe zachová její strukturu i po následném rozmražení (Ariyamuthu et al. 2022).

3.3.3.2 Princip a možnosti využití

Principem mražení potravin je dosažení nízkých teplot (např. v mrazícím boxu) nepřesahujících 0 °C, typicky kolem -18 °C až -20 °C (DeMan et al. 2018), ale využívá se i vyšších teplot v rozmezí -1 °C až -6 °C, poté se jedná o takzvanou metodu „super-chilling“ (Berk 2013). Principem konzervace potravin mražením není pouze snížení teploty potravin, která zpomalí enzymatickou aktivitu uvnitř potravin a omezí, či zpomalí rozvoj mikroorganismů společně s jejich aktivitou, ale především snížení vodní aktivity potravin. Snížená vodní aktivita v mražené potravine je výsledkem přeměny vody přirozeně obsažené v

potravině na ledové krystaly (Berk 2013).

Mražení lze rozdělit do dvou základních kategorií, a to pomalé mražení a rychlé (tzv. šokové) mražení. Během pomalého mražení (typicky v domácích podmínkách) dochází k tvorbě velkých krystalů, které vznikají v extracelulárních částech a mohou následně negativně ovlivnit strukturu potravin po rozmražení (Ariyamuthu et al. 2022). Naopak šokové mražení vytváří v potravině velké množství drobných ledových krystalek, které se nacházejí jak v extracelulárním, tak v intracelulárním prostoru a tím pádem dochází k minimálnímu narušení původní struktury potravin (DeMan et al. 2018).

Výhodou konzervace mražením je relativně nízký úbytek vitaminů a minerálních látek v potravinách (v porovnání s jinými metodami, jako např. s vařením nebo sušením) a bezpečné dlouhodobé uchování potravin (Rahman 2020). Lepšího výsledku z pohledu obsahu vitaminů a minerálních látek v potravině lze dosáhnout blanšírováním, které podpoří „uzamknutí“ cenných látek uvnitř potravin a je provedeno před samotným mražením (Rahman 2020). Principem blanšírování je ponoření potravin do vroucí vody na několik sekund a její následné prudké zchlazení (Berk 2013). Blanšírování má na potraviny dva zásadní efekty z pohledu aktivity enzymů. První je jejich deaktivace (v případě termolabilních enzymů), která společně s následným mražením podpoří dlouhodobou údržnost potravin. Druhým možným efektem je naopak jejich aktivace, která např. v případě chlorofylázy [EC 3.1.1.14], obsažené v zelené zelenině, stabilizuje barvu potravin (DeMan et al. 2018). Mezi další výhody patří také univerzálnost metody. Mrazit lze ovoce, zeleninu, maso a masné výrobky, tekutiny i hotové produkty a téměř jediným kritériem určujícím trvanlivost takto ošetřených potravin je jejich obsah tuku, který může i při nízkých teplotách podléhat oxidaci (Mafe et al. 2024).

Za téměř jedinou nevýhodu mražení lze pokládat nutnost využití specializovaných elektrických spotřebičů udržujících stabilní teplotu (Mafe et al. 2024). Při nedodržení stabilní teploty v mrazicím boxu dochází k postupnému rozmrazování již vytvořených krystalek ledu a k následné rekrytalizaci, během které vznikají větší krystaly ledu, které mají negativní vliv na strukturu potravin, jak již bylo zmíněno výše (DeMan et al. 2018). Fluktuace teploty má kromě negativního vlivu na senzorickou stránku potravin také negativní vliv na trvanlivost (Ross & Drusch 2016). Komplikace mohou nastat i během rozmrazování potravin, při kterém často dochází k nežádoucí změně struktury potravin a také částečně k negativní změně chuti (Rahman 2020). I přes zmíněné nevýhody metody je mražení jednou z nejrozšířenějších a nejbezpečnějších metod konzervace (Ariyamuthu et al. 2022).

3.3.4 Chlazení

3.3.4.1 Historie

Chlazení lze považovat za historicky starší a mírnější variantu mražení. Již v pravěku lidé využívali hlubokých jeskyní, kde přirozeně panovaly nižší teploty k uchovávání potravin (Berk 2013). Původní obyvatelé Severní Ameriky využívali také sněhu, ledu a studené vody k prodloužení čerstvosti potravin (Joardder & Masud 2019).

První specializované chladicí prostory vznikly v Číně kolem roku 1100 př. n. l. Jednalo se o sklepy, kde byla nízká teplota izolována pomocí sněhu a ledu. Postupně se tato metoda rozšířila do dalších částí světa, zejména pro uchovávání rychle se kazících živočišných potravin, a to hlavně masa a ryb (Joardder & Masud 2019). V 19. století se začaly vyrábět první specializované chladicí boxy s dvojitými stěnami nebo víky, do kterých se ukládal přírodní led, který následně ochlazoval vnitřní prostor boxu a v něm uložené potraviny (Watkins 2008). Kolem roku 1800 byl vytvořen první industrializovaný systém chlazení, který využíval kompresi páry a v roce 1859 ho následovala první lednice chladící na principu evaporace amoniaku, který absorboval teplo z okolí (Berk 2013). První domácí lednice s umělým

chlazením se objevily v roce 1911 v USA, jejich rozšíření do běžných domácností však nastalo až po druhé světové válce (Watkins 2008).

3.3.4.2 Princip a možnosti využití

Během chlazení se potraviny uchovávají při nízkých teplotách těsně nad 0 °C, obvykle při teplotách od 0 do 8 °C (Berk 2013). Podmínky vytvořené nízkou teplotou okolí zpomalují růst mikroorganismů, enzymatické i neenzymatické reakce uvnitř potraviny, oxidaci lipidů, degradaci pigmentu a ztrátu přirozené vlhkosti potraviny (Clark et al. 2014).

Chlazení lze považovat za velmi konvenční a efektivní způsob uchovávání potravin rostlinného i živočišného původu bez výrazného ovlivnění jejich struktury a chuti (Ariyamuthu et al. 2022). Narozdíl od mražení se však nejedná o metodu dlouhodobé konzervace potravin, ale spíše o prodloužení doby použitelnosti čerstvých potravin i zpracovaných produktů (Mafe et al. 2024). Doba prodloužení trvanlivosti potravin závisí na použití stálé skladovací teploty (Berk 2013).

3.3.5 Fermentace

3.3.5.1 Historie

Fermentace patří k nejstarším biochemickým metodám využívaným pro konzervaci potravin. První doložené případy řízené fermentace potravin pocházejí z období kolem roku 4000 př. n. l. z Egypta, kde se během faraonské éry běžně fermentovalo maso i mléko (Joardder & Masud 2019).

V historickém kontextu byla fermentace spíše „náhodně objevena“ než cíleně vynalezena. Ve většině případech šlo o náhodné a pomalé reakce, především sacharidových složek potravin, probíhající bez vědomého řízení člověka (Nummer 2002). Typickým příkladem takové náhodné reakce je ponechání zrn ječmene na dešti, která po čase začala spontánně kvasit a vytvořila tekutinu podobnou pivu (Ariyamuthu et al. 2022). Podobným principem vznikla i první vína, kdy spontánně zkvasily skladované hrozny (Nummer 2002).

Fermentace v moderním, řízeném pojetí začala až po polovině 19. století, kdy Louis Pasteur přinesl zásadní poznatek o souvislosti fermentačních procesů (konkrétně mléčného kvašení) s aktivitou mikroorganismů (Holzapfel 2015). Tento objev znamenal přechod od tradičního „náhodného“ kvašení se smíšenými a nejistými výsledky, k řízené fermentaci prováděné inokulací potravin konkrétními a vhodnými mikroorganismy. Taková fermentace poté vedla k majoritně úspěšným výsledkům (Holzapfel 2015). Kolem roku 1880 objevil Christian Hansen diverzitu mezi jednotlivými kvasinkami, jednotlivé druhy oddělil a následně vypěstoval první čistou startovací kulturu. Později začal startovací kultury komerčně celosvětově distribuovat, což umožnilo cílenou a kontrolovanou fermentaci potravin (Baverstock 2013).

3.3.5.2 Princip a možnosti využití

Konzervační technika zvaná fermentace neboli kvašení využívá aktivity specifických mikroorganismů, konkrétně bakterií, kvasinek a plísní (Ray & Joshi 2014). Mikroorganismy po reakci s cukernými složkami potravin produkují organické kyseliny (např. mléčnou kyselinu), ethanol, oxid uhličitý a další látky inhibující patogeny na základě snížení pH v potravíně, čímž prodlužují její trvanlivost (Ray & Joshi 2014). Výše zmíněné látky potraviny nejen konzervují, ale také dodávají charakteristickou chuť a aroma nově vzniklým produktům (Ariyamuthu et al. 2022).

Nejvyužívanější formy fermentace v potravinářství jsou mléčné kvašení a alkoholové kvašení (označované také jako kvašení ethanolové). Oba procesy probíhají za anaerobních podmínek, tedy bez přístupu ke kyslíku a jejich podstatou je přeměna cukrů – na mléčnou kyselinu (v případě mléčného kvašení) nebo na etanol a oxid uhličitý (v případě alkoholového kvašení) (Mafe et al. 2024). Mléčné kvašení využívá především bakterií rodu *Lactobacillus* a *Streptococcus* (Ray & Joshi 2014) a má široké využití pro kvašení zeleniny, mléka a následně výroby jogurtů nebo pro výrobu kvasových chlebů (Rahman 2020). Alkoholové kvašení využívá k přeměně sacharidů na etanol a oxid uhličitý kvasinky (Lan 2025), nejběžněji využívanými kvasinkami jsou *Saccharomyces cerevisiae*, používané pro výrobu piva, vína (DeMan et al. 2018) a kvasového pečiva (Lan 2025).

Fermentace může probíhat i za aerobních podmínek, tedy za přítomnosti kyslíku. Takové kvašení často označujeme jako nepravé. Konkrétním příkladem aerobního kvašení je octové kvašení, kde je využíváno bakterií rodu *Acetobacter* pro produkci kyseliny octové (Clark et al. 2014). Octové kvašení má na potraviny spíše negativní vliv. Konkrétním příkladem takového vlivu je „octovatění“ vína, které je charakteristické aerobní přeměnou alkoholu na octovou kyselinu (Rahman 2020). Chtěným produktem aerobní fermentace je např. ocet, který je záměrně kvašen za přístupu kyslíku (Clark et al. 2014).

Výhodou fermentace je její univerzálnost, kdy lze fermentovat širokou škálu potravin – od masa a mléka, přes zeleninu, luštěniny a obiloviny, až po čaje a alkoholické nápoje. (Ariyamuthu et al. 2022). Univerzálnost metody spočívá ve správné volbě typu kvašení pro danou potravinu. Je totiž možné, že identické fermentační procesy mohou mít na některé potraviny vliv pozitivní (např. alkoholové kvašení u vína) a na jiné potraviny vliv negativní (např. alkoholové kvašení u rajčatového džusu) a tím způsobovat kažení (Berk 2013). Za pozitivní vliv fermentace lze také označit zlepšení chuťového profilu, obohacení potravin o tělu prospěšné probiotické organismy a zlepšení stravitelnosti a následné absorpce některých makronutrientů (např. proteinů v sójových produktech) (Lan 2025). Mezi další výhody patří i nenákladný výrobní proces, který není náročný na vybavení. Lze ji tedy označit za vhodnou a relativně bezpečnou konzervační metodu i pro tradičně žijící komunity (Joardder & Masud 2019).

Za nevýhodu fermentace lze považovat vyšší riziko kontaminace během přípravy surovin a následná možnost nežádoucích mikrobiálních procesů v potravíně při neřízeném nebo nevhodném postupu (Rahman 2020). Použitím přesně definovaných mikroorganismů (startovacích kultur) lze proces fermentace „homogenizovat“ a kontrolovat, lze tedy díky nim dosáhnout předvídatelných výsledků (García-Díez & Saraiva 2021).

3.3.6 Nakládání

3.3.6.1 Historie

Nakládání do nálevů představuje tradiční metodu konzervace potravin, která mimo prodloužení trvanlivosti potravin, zlepšuje také jejich senzorické vlastnosti (Mafe et al. 2024). První zmínky o této technice pocházejí z roku 2030 př. n. l. z Mezopotámie, kde se nakládala především zelenina, zatímco v Egyptě a Babylonu se nakládání využívalo hlavně pro maso a ryby, ve starověké Číně rostla obliba nakládání vajec do octového nálevu (Joardder & Masud 2019). V 16. století se nakládání rozšířilo do Ameriky, kde sloužilo jako účinný způsob konzervace nově dovezených potravin z jiných částí světa (Joardder & Masud 2019). Největší pokrok pro domácí nakládání potravin přišel v 19. století, konkrétně v roce 1858, kdy John Landis Mason vynalezl sklenici se šroubovacím víkem a gumový těsnění, která byla pro domácí nakládání potravin bezpečná a dělala celý proces nakládání jednodušším. Využití

kombinované konzervace, kdy se naložená potravina ve sklenici poté umístila do vodní lázně přišla až na začátku 20. století (Zeide 2018).

3.3.6.2 Princip a možnosti využití

Konzervace potravin za využití nakládání spočívá v ponoření potraviny do nálevu, který vytvoří kyselé prostředí a tím vznikne nehostinné prostředí pro růst mikroorganismů, které způsobují kažení potravin (Mafe et al. 2024). V případě použití solných roztoků se principem konzervace stává kromě antimikrobiálního prostředí také snížení vodní aktivity potraviny (Ariyamuthu et al. 2022). Nejčastěji se využívá octových, solných, alkoholových či kombinovaných nálevů, a to pro většinu potravin, od ovoce a zeleniny, až po maso a vejce (Grumezescu 2017). Během skladování nakládaných potravin dochází často také k fermentaci, konkrétně k mléčnému kvašení (např. u nakládaných okurek), jedná se poté o kombinovanou metodu konzervace (Clark et al. 2014).

K nakládání potravin lze využít i rostlinných a živočišných tuků a olejů, které na povrchu potraviny vytvoří vzduchu nepropustnou vrstvu (Mafe et al. 2024). Principem konzervace oleji a tuky je zabránění přístupu potraviny ke kyslíku, následná inhibice oxidace a růstu aerobních mikroorganismů na povrchu potraviny (Rahman 2020). Nakládání do oleje má mimo konzervační efekt, také pozitivní organoleptický efekt, kdy jsou potraviny nakládány do oleje za účelem zlepšení struktury, či chuti (např. sušená rajčata v oleji) (Mafe et al. 2024). Aby se předešlo žluknutí tuku, ve kterém je potravina naložena, doporučuje se skladovat takto konzervované potraviny mimo přímé světlo (Rahman 2020).

Nevýhodou nakládání potravin do tuků a olejů je možnost rozvoje anaerobní bakterie *Clostridium botulinum*, která se může množit bez přístupu kyslíku pod tukovou vrstvou (Cheung & Mehta 2015). Za prevenci rozvoje *Clostridium botulinum* lze pokládat preventivní ošetření před naložením, např. okyselením suroviny či použitého nálevu, nebo tepelné opracování suroviny (Cheung & Mehta 2015).

Výhodou nakládání potravin za účelem konzervace je nenáročnost metody na speciální vybavení a také snadná kombinovatelnost s ostatními konzervačními metodami, jako je např. záměrná fermentace nebo chlazení, pro ještě delší trvanlivost (Grumezescu 2017). Další možností, jak prodloužit trvanlivost nakládaných potravin je jejich uchovávání ve sklenicích, které před plněním prošly pasterací (Fellows 2017).

Pro zvýšení bezpečnosti komerčně prodávaných nakládaných potravin, hlavně zeleniny, se využívá kombinace tradiční metody s chemickou konzervací, konkrétně přidáním benzoanu sodného, který působí jako antimikrobiální činidlo a zabraňuje růstu mikroorganismů (Ariyamuthu et al. 2022).

3.3.7 Solení a kandování

3.3.7.1 Historie

Skladování potravin obalených v soli za účelem dlouhodobější trvanlivosti patří mezi vůbec nejstarší konzervační metody potravin (Berk 2013). První zmínky o konzervaci solí pochází z kultury Sumerů kolem roku 3000 př. n. l., kteří touto metodou uchovávali maso a ryby (Joardder & Masud 2019). Ve starověkém Římě se tato metoda dále rozvíjela – typickým příkladem v římské kultuře je nasolování vepřové kýty a její následné uzení pro zvýšení trvanlivosti i chuťového zážitku (Mafe et al. 2024). Solení jako konzervace ryb bylo velmi populární také ve Skandinávii kolem 9. a 11. století (Clark et al. 2014). Kolem roku 1800 bylo zjištěno, že určité soli využívané ke konzervaci masa napomáhaly masu zachovat jeho červenou barvu, která byla spotřebiteli preferována. Do směsi této soli byl přidán ledek neboli dusičnan

draselný, který inhiboval rozvoj *Clostridium botulinum*. Objev této souvislosti byl ale objasněn až o století později (Nummer 2002). Podobnou metodou, využívanou primárně pro konzervaci ovoce, je kandování, které spočívá ve svaření ovoce v cukerném roztoku (Mafe et al. 2024). Další možností je nakládání potravin do medu nebo obalování surovin v cukru (Nummer 2002). Před celosvětovým rozšířením rafinovaného cukru kolem 7. století využívali lidé ke konzervaci ovoce med a datlový sirup (Joardder & Masud 2019). Konkrétním příkladem jsou staří Řekové, kteří nakládali kdoule do medu (Joardder & Masud 2019), nebo staří Římané, kteří kdoule v medu nejdříve uvařili a až poté je skladovali (Nummer 2002). Evolucí této metody došlo k cílené tvorbě marmelád a džemů, které byly zavařovány do sklenic. Jejich větší produkce a popularita byla ale zaznamenána později, až kolem 19. století s objevem pasterace (Joardder & Masud 2019).

3.3.7.2 Princip a možnosti využití

Nasolování i kandování potravin, případně jejich obalování v cukru konzervuje potraviny na základě stejného principu, kterým je osmotická dehydratace (Fellows 2017). Osmotický tlak použité konzervační látky způsobí difúzi vody přirozeně obsažené v potravině (Fellows 2017), dojde tak ke snížení vodní aktivity potraviny a tím vznikne nehostinné prostředí pro mikroorganismy (Mafe et al. 2024). Konzervační schopnost soli a cukru nespočívá pouze ve snížení vodní aktivity, ale také ve zpomalení enzymatických reakcí uvnitř potraviny (Ariyamuthu et al. 2022).

Konzervace solí je využívána primárně pro dlouhodobější uchovávání masa a ryb (Grumezescu 2017), kde nejen že potraviny konzervuje, ale také jim dodává novou, často vylepšenou chuť (Mafe et al. 2024). Solení potravin lze rozdělit do dvou základních typů, a to suché a mokré solení. V procesu suchého solení je sůl vetřena přímo na povrch potraviny (Mafe et al. 2024), kdy dochází k nerovnoměrnému rozložení slané chuti do jednotlivých částí potravin (Fellows 2017). Takto upravené potraviny lze skladovat bez nutnosti chlazení, nicméně před jejich konzumací je často zapotřebí je převařit ve vodě, aby došlo k odstranění přebytečné soli na povrchu (Fellows 2017). Konkrétním příkladem takto konzervované potraviny je takzvaný „gravlax“, kdy je filet lososa obalen ve směsi soli, cukru a koření nebo bylinek. Takto upravený filet se nechá „dehydratovat“ po dobu několika dní v chladném prostředí a poté je připraven k přímé konzumaci (Clark et al. 2014). Mokré solení využívá namočení surovin do solného roztoku (Clark et al. 2014). V moderním pojetí konzervace potravin solením je využíván dusitan sodný nebo dusičnan sodný, které mají silný antibakteriální efekt, především proti rizikovým mikroorganismům v mase, konkrétně proti *Clostridium botulinum* a *Listeria monocytogenes* (Subramaniam 2016). V současnosti se často redukuje objem použitých dusitanů ke konzervaci z důvodu karcinogenního potenciálu nitrosaminů (produktů reakce dusitanů se sekundárními aminy) vzniklých při následné tepelné úpravě (smažení, grilování) konzervované potraviny. Z důvodu redukce objemu dusitanů v konzervačních látkách, je nutné takto ošetřené potraviny skladovat v chladu (Grumezescu 2017). Pro tvorbu stabilních produktů, které nepotřebují pro dlouhodobé uchovávání nízké teploty, je nutné vyšší množství použitých dusitanů a následné komplexní sušení potraviny za pomoci speciálního vybavení (Grumezescu 2017). Společně se speciálními konzervačními dusitanovými solemi se pro konzervaci využívají další aditiva, jako například askorbáty pro zlepšení barvy produktu, fosfáty, glukono-d-lakton a další (Rahman 2020). Solení jako konzervační techniku lze kombinovat s dalšími možnostmi konzervace, jako např. s fermentací, hermetickým uzavřením potraviny (Grumezescu 2017) nebo s uzením, při kterém dochází k druhotné dehydrataci a k vylepšení textury potraviny (Rahman 2020).

Kandování je jako konzervační metoda primárně využíváno pro ovoce, např. pro třešně, pomeranče či zázvor a dodává potravinám typickou sladkou chuť (Mafe et al. 2024). V případě

absence převaření ovoce v cukerném roztoku, které je prováděno při kandování, lze hovořit spíše o nakládání potravin do sirupů či medu. Nakládání potravin do medu lze pokládat za účinnou metodu konzervace, a to primárně z důvodu jeho nízkého pH, nízkého obsahu vody a vysokému obsahu cukru, který v tak vysoké koncentraci tvoří nehostinné prostředí pro rozvoj bakterií a plísní (Mafe et al. 2024).

3.3.8 Konzervace tepelným ošetřením

3.3.8.1 Pasterace

3.3.8.1.1 Historie

Pasteraci poprvé popsal Louis Pasteur v 60. letech 19. století (Mafe et al. 2024), kdy objevil souvislost mezi tepelným záhřevem potravin a následnou destrukcí mikroorganismů, způsobujících kažení potravin (Berk 2013). Základem pro popsání nové konzervační techniky byl objev eliminace nežádoucí fermentace u piva a vína, které bylo zahřáto po dobu několika minut na vyšší teploty (Rogers 2025). Koncem 19. století byla pasterace více rozšířena z menších řemeslných průmyslů do větších výroby a začátkem 20. století byla běžně zavedena v potravinářském průmyslu (Fellows 2017), kde se stala klíčovou složkou pro zajištění bezpečnosti a trvanlivosti potravin (Mafe et al. 2024).

3.3.8.1.2 Princip a využití

Pasterace neboli pasterizace je jednou z nejspolehlivějších metod konzervace potravin (Gaspar & da Silva 2019). Pasteraci se nejčastěji konzervují potraviny kapalného skupenství, jako např. mléko nebo ovocné džusy, které lze poté dlouhodoběji skladovat (Mafe et al. 2024). Pasterace se typicky provádí záhřevem potravin na teplotu okolo 70–100 °C, kdy dojde k usmrcení pouze vegetativních forem mikroorganismů, nikoliv však spor (Berk 2013). Pasteraci lze využít k usmrcení většiny bakterií způsobující kažení jako jsou např. *Pseudomonas spp.*, *Enterobacteriaceae* a bakterie mléčného kvašení (pokud není jejich přítomnost žádoucí, např. při řízených kvasných procesech), ale také k inaktivaci kvasinek (DeMan et al. 2018). Během záhřevu dochází také k inaktivaci enzymů způsobujících kažení (Gaspar & da Silva 2019). V této souvislosti můžeme mluvit např. o lipázách obsažených v mléce, či o polyfenol oxidázách vyskytujících se v jablečném džusu (Clark et al. 2014).

Pasteraci lze provádět v širokém rozpětí kombinací teplot a délek samotného ošetření potravin (Clark et al. 2014). Konkrétní typ lze vybrat na základě hodnoty pH ošetřované potravin, kdy jsou např. ovocné džusy s hodnotou pH pod 4,5 ošetřeny při teplotě 60–65 °C (Gaspar & da Silva 2019), která zajistí usmrcení plísní, kvasinek a také deaktivaci enzymů (Fellows 2017). U potravin s hodnotou pH nad 4,5 jsou používány teploty kolem 80 °C (Gaspar & da Silva 2019). Mezi takové potraviny řadíme třeba mléko nebo vejce, kdy primárním účelem pasterace je zbavit potraviny patogenních mikroorganismů a tím prodloužit její trvanlivost (Fellows 2017). Konkrétními příklady pasterace mléka je dlouhodobá pasterace při 63 °C po dobu 30 minut, šetrná pasterace při 72 °C po dobu 15 sekund nebo ultrapasterace při 135 °C po dobu 2 sekund (Clark et al. 2014). Ultrapasterace neboli UHT (Ultra High Temperature Pasteurization) je nejčastěji využívána pro konzumní mléko, které je poté možné skladovat při pokojové teplotě až 12 měsíců (Gaspar & da Silva 2019).

Pasterovat lze různými typy technologií, které závisí na obalu potravin, či jeho absenci. Pro balené potraviny, kterými jsou ku příkladu ovocné džusy, lahvová piva, nebo v některých případech i mléko, se využívá například pasterace vodní lázní (Gaspar & da Silva 2019), kdy je produkt v obalu ponořen do vodní lázně o určité teplotě, ponechán zde po stanovenou dobu

a následně je zchlazen na přibližně 40 °C (Rahman 2020). V případě potravin ošetřených mimo spotřebitelský obal (mléko, mléčné výrobky a víno), jsou využívány speciální přístroje (pasterie neboli pasterizátory) (Rahman 2020) či kádě (Gaspar & da Silva 2019). Při ošetření potravin v pasteru dochází k uniformnějším výsledným produktům (Fellows 2017). V případě vín a džusů je často nezbytné provést před pasterací také deaeraci, která zabrání oxidativním změnám výrobku při skladování (Rahman 2020).

Výhodou pasterace jsou pouze minoritní změny nutriční hodnoty i senzorických vlastností ošetřených produktů (Fellows 2017), účinné usmrcení vegetativních forem patogenních mikroorganismů (*Mycobacterium tuberculosis*, *Coxiella burnetti* (Grumezescu 2017), *Salmonella* spp. nebo *Listeria monocytogenes*) a zabránění neřízené, takzvané „divoké“ fermentaci, ke které dochází nejčastěji u piva a vína (Berk 2013).

Mezi nevýhody pasterace lze řadit její limitovanou účinnost pouze na vegetativní formy mikroorganismů, jak bylo již zmíněno výše. Za nevýhodu lze považovat také ztrátu některých termolabilních vitaminů obsažených v ošetřovaných potravinách (Cheung & Mehta 2015) a obecně i kratší trvanlivost ošetřených potravin ve srovnání se sterilací (Mafe et al. 2024). V případě požadavků na dlouhodobou trvanlivost produktů je nutné pasteraci kombinovat s dalšími metodami konzervace, kterými jsou například uchovávání pasterovaných produktů v chladu nebo snížení hodnoty pH dané potraviny (Berk 2013).

3.3.8.2 Sterilace

3.3.8.2.1 Historie

Průmyslová aplikace tepelné konzervace potravin začala na počátku 19. století díky francouzskému vynálezci Nicolasovi Appertovi, který poprvé objevil souvislost mezi tepelným zahřevem potraviny v hermeticky uzavřené nádobě a prodloužením její trvanlivosti (Berk 2013). Tato technika byla využívána z důvodu potřeby zásobit Napoleonovu armádu kvalitními a trvanlivými potravinami (Rahman 2020). Appertovu metodu lze také označit za první konzervování potravin na principu tepelného ošetření, kombinovaného s plněním suroviny do uzavřeného skleněného obalu za přísných hygienických podmínek s minimálním rizikem kontaminace (Ariyamuthu et al. 2022). Sterilace do kovového obalu (lidově řečeno „konzervy“) byla praktikována od roku 1810 Peterem Durandem (Berk 2013). Tento princip konzervace položil základy pro moderní výroby konzerv (Mafe et al. 2024).

V moderní době kombinujeme sterilaci s dalšími účinnými konzervačními technikami, například s paskalizací (HPP) (Fellows 2017).

3.3.8.2.2 Princip a využití

Konzervační princip sterilace spočívá v zahřátí potraviny na teplotu vyšší než 100 °C, čímž se usmrtí spory i vegetativní formy patogenních mikroorganismů (Berk 2013) a zároveň dojde k deaktivaci enzymů (Fellows 2017). Sterilace je sama o sobě dostatečnou konzervační metodou zabráňující mikrobiálnímu kažení potraviny, a společně s vhodným balením zabráňuje rekontaminaci. I z tohoto důvodu lze sterilaci označit za spolehlivou konzervační techniku (Berk 2013). Výsledkem sterilace jsou produkty, které vykazují mikrobiologickou stabilitu po dobu 6 měsíců a více při skladování za pokojové teploty a následně nevyžadují tepelnou úpravu před přímou konzumací, což z nich tvoří velmi dostupné produkty, nenáročné na následnou přípravu (Fellows 2017). Při konzervaci sterilací je nutné si uvědomit, že nelze dosáhnout úplné sterility, tedy stavu, kdy by potravina neobsahovala žádné mikroorganismy. Běžně využíváme takzvané „komerční sterility“, která zajišťuje bezpečnost potravin pro konzumaci a skladování díky usmrcení potenciálně nebezpečných mikroorganismů (vitálních i ve formě spory) i mikroorganismů schopných reprodukce při běžném chladírenském skladování (Clark et al. 2014).

Komerční sterility lze dosáhnout dvěma způsoby, a to sterilací v obalu, nebo přímou sterilací potravin, která je následně plněna do obalu za přísných hygienických podmínek (Clark et al. 2014). Takto ošetřené produkty jsou označovány jako trvanlivé, a jejich trvanlivost se pohybuje v rozmezí 1 roku až 2 let (Clark et al. 2014).

Pozitivem sterilace je nenáročnost ošetřených produktů na skladovací podmínky a také univerzálnost metody. Sterilací lze ošetřit širokou škálu potravin (zelenina, ovoce, luštěniny či hotové pokrmy) (Mafe et al. 2024). Mezi pozitiva lze zařadit také redukci nebezpečných spor *Clostridium botulinum* (Subramaniam 2016).

Téměř jediná nevýhoda sterilace spočívá v negativních změnách nutričních a organoleptických vlastností ošetřené potravin. Tyto změny se ale s modernizací sterilační technologie potlačují (Fellows 2017).

3.3.9 Paskalizace (High Pressure Processing)

3.3.9.1 Historie

Paskalizace, známá také jako High Pressure Processing (HPP), High Hydrostatic Pressure Processing (HHP) či Ultra High Pressure Processing (UHP) je relativně moderní metodou konzervace potravin, která byla poprvé experimentálně využita v roce 1899 v USA, kdy se pomocí vysokého tlaku konzervovalo mléko, ovocné džusy a maso (Fellows 2017). Pro komerční využití paskalizace byl podmínkou vývoj vhodných, a především dostatečně odolných obalů, které vydrží používaný tlak (Fellows 2017). K prvnímu komerčnímu využití paskalizace jako konzervační metody potravin došlo v 80. – 90. letech 20. století v Japonsku, kdy byla paskalizace využívána jako alternativa, do té doby běžně využívané pasterace (Cheung & Mehta 2015).

V 90. letech byla metoda HPP využívána jak pro potraviny s nízkým pH (např. pro ovocné džusy), tak i pro potraviny zásaditějšího charakteru (např. pro maso nebo paštiky) (Fellows 2017).

3.3.9.2 Princip a možnosti využití

Podstatou paskalizace je ošetření potravin vysokým hydrostatickým tlakem v rozmezí 100–600 MPa za pokojové teploty (Ariyamuthu et al. 2022) v rozmezí milisekund až několika minut (Fellows 2017). Konkrétní hodnota využitého tlaku pro ošetření potravin je různá, ale běžně využívaný tlak se pohybuje v rozmezí hodnot 400 až 600 MPa, při kterých dochází k inaktivaci vegetativních forem patogenních mikroorganismů. Pro účinné usmrcení spor mikroorganismů by bylo nutné využít tlak vyšší než 1000 MPa (Ariyamuthu et al. 2022). Protože paskalizace probíhá v pokojové teplotě, označujeme HPP za tzv. netepelnou konzervaci potravin (často bývá označována jako „studená paskalizace“) (Van Alfen 2014). A to i přes to, že během ošetření tlakem se teplota ošetřované potravin zvýší díky adiabatickému záhřevu vody a dalších komponentů potravin (Fellows 2017).

Výhodou paskalizace je její univerzálnost. Paskalizaci lze využít pro širokou škálu potravin (např. pro ovocné a zeleninové šťávy, pyré, mořské plody či hotové masné výrobky) (Mafe et al. 2024). Dalšími výhodami jsou minimální ztráty barvy a chuti potravin, zanedbatelné ztráty makronutrientů a vitaminů (Kan & Chen 2021). Výhodou paskalizace je také možnost konzervovanou potravinu ošetřit rovnoměrně v celém objemu (Muntean et al. 2016).

Nevýhoda HPP spočívá v možné změně textury potravin, limitovaném výběru vhodných obalů pro ošetření za vysokého tlaku, malou účinností na inhibici enzymatických aktivit uvnitř potravin, nutnost drahého vybavení (Muntean et al. 2016) a denaturaci proteinů

(Van Alfen 2014). Důležité je také zmínit rozporuplné vnímání paskalizace jako konzervační metody veřejností, kdy třeba v Maďarsku, Norsku, Dánsku a Slovinsku bylo HPP často spojováno s ošetřením potravin pomocí radiace, která bývá často využita jako „doplňková“ metoda konzervace k HPP pro méně acidní potraviny, či s geneticky modifikovanými potravinami (Rahman 2020). Pozitivněji je HPP jako konzervační technika vnímána v USA, Austrálii, Velké Británii a Severním Irsku, především pro její benefity z hlediska bezpečnosti potravin (Rahman 2020).

3.3.10 Ošetření ionizujícím zářením (radiací)

3.3.10.1 Historie

Ozařování potravin pomocí radiace za účelem prodloužení trvanlivosti bylo zkoumáno od 20. let 20. století, konkrétně B. Schwartzem v USA, který využil rentgenových paprsků k inaktivaci svalovce v syrovém vepřovém mase (Farkas & Mohácsi-Farkas 2011). První výzkumy pro běžné využití ozáření potravin ionizujícím zářením začaly ve 40. letech 20. století v návaznosti na rozvoj radiobiologie a postupovaly dále v 50. letech pod záštitou americké armády (Berk 2013). K prvnímu komerčnímu využití došlo až v 60. letech 20. století, kdy bylo radiací poprvé ošetřeno koření (Farkas & Mohácsi-Farkas 2011).

3.3.10.2 Princip a možnosti využití

Ošetření potravin pomocí radiace (ionizujícího záření) lze zjednodušeně označit za vystavení potraviny gama paprskům, beta paprskům či rentgenovému záření, které zajistí trvanlivost ozářené potraviny (DeMan et al. 2018). Trvanlivosti ozářených potravin je dosaženo pomocí ničivých účinků radiace na genetickou informaci mikroorganismů, která je po zničení neaktivní a neumožní další biologické procesy v buňce (Rahman 2020). Ionizující záření velmi účinně ničí bakterie ve formě spor i v jejich vegetativní formě. Hovořit můžeme např. o *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* anebo *Campylobacter jejuni*. Bohužel tento typ ošetření není vždy účinný proti virům (Grumezescu 2017).

Dávky potřebné radiace označujeme jednotkami „Gy“ (Gray), které měří energii absorbovanou ošetřenou potravinou. Pro rychle se kazící potraviny (ovoce, ryby a drůbež) je využíváno dávky 20–70 kGy a po ošetření je možné potraviny bezpečně skladovat při pokojové teplotě. Pro desinsekci cereálií a koření lze využít širšího rozpětí ozáření, konkrétně od 8 kGy do 30 kGy (DeMan et al. 2018).

Nevýhodou ošetření potravin ionizujícím zářením může být degradace lipidů v důsledku radiolýzy. Při ozáření absorbují lipidové molekuly energii záření, čímž vznikají excitované molekuly a ionty, které se mohou dále rozkládat za vzniku různých degradačních produktů a volných radikálů. Ozáření může rovněž urychlovat autooxidaci lipidů za aerobních podmínek a současně také dochází k degradaci přirozených antioxidantů v potravině (Kan & Chen 2021). Mezi nevýhody takto upravených potravin lze zařadit i jejich nízkou popularitu mezi zákazníky a zákaznicemi, a to i přes zjevnou efektivitu metody (Gaspar & da Silva 2019). Bohužel této neoblíbenosti nepomáhá ani nekonzistentní regulace v jednotlivých zemích světa, kdy v některých zemích je radiace klasifikována jako aditivum a v jiných jako proces konzervace potravin (DeMan et al. 2018).

I přes obavy veřejnosti je ošetření potravin radiací jednou z nejefektivnějších technik netepelné sterilace potravin (Subramaniam 2016).

3.3.11 Chemická konzervace

3.3.11.1 Historie

Rozvoj chemické konzervace potravin je spojen s 20. stoletím, kdy rozvoj chemie umožnil syntézu nových účinných látek prodlužujících trvanlivost potravin (Mafe et al. 2024). První definice termínu „potravinová aditivní látka“ vznikla v 50. letech 20. století v USA pod FFDCa (Federal Food, Drug and Cosmetic Act) (DeMan et al. 2018).

V současnosti jsou aditivní látky v Evropě přísně regulovány, musí projít detailním schválením a musí být označeny příslušným E-kódem dle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1169/2011.

3.3.11.2 Princip a možnosti využití

Chemická konzervace spočívá v přidání konzervačních látek neboli aditiv do potravin, které inhibují růst a vývoj mikroorganismů, zabráňují oxidaci, prodlužují trvanlivost a často také zlepšují chuť a texturu potravin (Mafe et al. 2024).

Mezi běžně využívané chemické konzervanty patří například nitráty, které napomáhají zachovat přirozeně červenou barvu potravin, čehož se využívá primárně při konzervaci masa a zároveň inhibují *Clostridium botulinum*, čehož se využívá při konzervaci uzenin. Dále se nitráty využívají ke konzervaci ryb a sýrů (Cheung & Mehta 2015). Neméně známou přírodní konzervační látkou je benzoová kyselina, přirozeně se vyskytující ve švestkách a bobulovém ovoci. Její syntetickou formu nazýváme benzoát sodný, který se pro své antimikrobiální účinky přidává ve formě aditiva do ovocných a perlivých nápojů, marmelád, margarínů a salátových dresinků, kde působí proti plísním a kvasinkám (DeMan et al. 2018). Mezi aditiva řadíme i sorbovou kyselinu a sorbát draselný, které jsou účinné hlavně proti plísním a kvasinkám. Dále lze zmínit propionovou kyselinu, která se společně s propionátem sodným nebo propionátem vápenatým běžně využívá v sýrařství a pekárenství (Berk 2013). Dalším velmi známým chemickým konzervantem je oxid siřičitý, který se využívá proti enzymatickému i neenzymatickému hnědnutí potravin (Cheung & Mehta 2015), a to především u sušeného ovoce a mražených produktů z brambor (Berk 2013). Oxid siřičitý lze také využít jako prevenci nežádoucí fermentace a rozvoje plísní u vína (Ariyamuthu et al. 2022).

Za aditivum lze označit i některé druhy bakteriocinů (antimikrobiálních polypeptidů produkovaných mikroorganismy proti mikroorganismům podobného druhu). Konkrétním povoleným bakteriocinem je nisin, produkovaný bakteriemi mléčného kvašení, který je účinný hlavně proti sporám bakterií jako jsou *Listeria monocytogenes* nebo *Clostridium botulinum* (Berk 2013). Vegetativní formy těchto bakterií jsou vůči účinkům nisinu odolnější. V tomto případě tedy nisin funguje jako „pojistka“, která zabrání vyklíčení spor, nikoli jako eliminátor vegetativních forem bakterií (Berk 2013).

Mezi konzervanty lze řadit i látky, které jsou běžně v potravinách zastoupené. Konkrétním příkladem je askorbová kyselina (známá také jako vitamin C), která svými antioxidačními účinky zabráňuje nežádoucí oxidaci v potravinách a následnému kažení (DeMan et al. 2018) či hnědnutí (Ariyamuthu et al. 2022).

Nevýhodou chemických konzervantů jsou případné alergické reakce konzumujících a také současný trend směřující k preferenci přírodních metod konzervace (Mafe et al. 2024).

3.3.12 Vakuování

3.3.12.1 Historie

Vakuové balení potravin bylo poprvé popsáno v 50. letech 20. století německým vynálezcem Karlem Buschem, který využíval vakuové balení pro prodloužení trvanlivosti masa (Lorenzo et al. 2021). Před popsáním vlastního vakuování bylo využíváno méně účinných technologií fungujících na principu zamezení kontaktu potravin s okolním vzduchem. Mezi takové technologie patřilo např. hermetické uzavření potravin parafinem, kdy se parafin používal k pokrytí obalu, ve kterém byla konzervovaná potravina. Přítomnost parafinu na obalu bránila vniku vzduchu, rozvoji plísní a také nechtěné oxidaci potravin (Ariyamuthu et al. 2022).

Nyní využíváme vakuově balených potravin primárně pro jejich komerční produkci (Ariyamuthu et al. 2022). A to jak pro trvanlivé suché potraviny (ořechy a sušené maso), tak i pro čerstvé potraviny (zelenina, maso, sýry a tekutiny) (Lorenzo et al. 2021). Mezi další využití vakuového balení řadíme pasterované „ready-to-eat“ pokrmy, či „sous-vide“ produkty (Berk 2013).

3.3.12.2 Princip a možnosti využití

Princip vakuového balení potravin spočívá v odstranění většiny vzduchu z obalu s nízkou propustností pro kyslík před jeho uzavřením (Fellows 2017). Po takovém ošetření zůstává mezi potravinou a obalem atmosféra tvořená převážně přirozenou biologickou aktivitou baleného produktu (Ariyamuthu et al. 2022). Vakuum kolem balené potraviny vytváří anaerobní prostředí, které omezuje růst aerobních bakterií a hub způsobujících kažení (Robertson 2013). Toto prostředí zároveň zpomaluje oxidaci lipidů, ztráty některých vitaminů, degradaci pigmentů a oxidativní hnědnutí (Berk 2013).

Komplikací pro vakuového balení může být výběr vhodného obalu, který musí být dostatečně pevný, aby vydržel odstranění vzduchu za pomoci vakuové pumpy a zároveň musí být flexibilní, aby převzal tvar balené potraviny po odsátí vzduchu. Dalším možným požadavkem na obal je, aby byl také termostabilní, v případě že je balená potravina dále zamýšlena k tepelnému opracování v obalu (např. při přípravě „sous vide“ pokrmů) (Lorenzo et al. 2021).

Výhodou vakuově balených potravin je jejich menší objem, který je redukován pomocí odstranění vzduchu kolem potraviny (Berk 2013), a také ochrana před vnějšími vlivy jako je kontaminace, fyzikální poškození potraviny či enviromentální faktory okolí (Mafe et al. 2024). Mezi další výhody lze zařadit i snadnou kombinovatelnost s výše zmíněnými konzervačními metodami, konkrétně s mražením nebo chlazením, díky nimž se trvanlivost potravin ještě více prodlouží bez nutnosti chemické konzervace (Mafe et al. 2024).

Vakuování je oblíbené nejen v domácnostech a gastronomii, ale také v armádním sektoru. Příkladem jsou americké MRE (Meals Ready-to-Eat), používané od 80. let 20. století, či české BDP (Bojové dávky potravy) (Forbes-Ewan et al. 2016). Metoda se používá i pro lehké dehydratované potraviny určené k turistice (např. *Adventure Menu*).

4 Závěr

Bakalářská práce poskytla ucelený přehled o vývoji mechanismů konzervace těžko uchovávatelných potravin. Z analýzy literárních zdrojů vyplývá, že trvanlivost potravin je výsledkem spolupůsobení vnitřních faktorů potravin (např. vodní aktivity, pH a enzymů) a vnějších podmínek prostředí (např. světla, teploty, vlhkosti a mikroorganismů) působících na potraviny. Kritickými faktory pro udržení kvalitních potravin bez známek degradace jsou regulace těchto faktorů. Konkrétními příklady využití cílené regulace je např. sušení a nasolování způsobující snížení vodní aktivity potravin, zamezení přístupu ke kyslíku a světlu, které jinak způsobují oxidaci lipidů nebo úprava teploty skladování a hodnoty pH pro inhibici enzymatických reakcí a růstu mikroorganismů.

Dále byly v práci popsány chemické změny v potravinách, ke kterým dochází během jejich kažení. Konkrétně byl stručně popsán průběh a následný vliv oxidace na lipidy a proteiny, hydrolýzy na tři základní makroživiny a enzymatických reakcí, konkrétně enzymatického hnědnutí. Souhrnně lze konstatovat, že veškeré degradační procesy mají negativní vliv na senzorickou kvalitu potravin, tedy na jejich vůni, barvu, chuť a strukturu, i na jejich faktickou bezpečnost z chemického i mikrobiologického pohledu – např. tvorba sekundárních metabolitů a toxických látek, napadení škůdci či mikroorganismy. Naopak u některých procesů, např. u Maillardovy reakce nebo fermentace, byly popsány i jejich žádoucí účinky (např. tvorba specifického aroma, barvy a chuti), které se projeví, pokud jsou metody prováděny cíleně a kontrolovaně.

V kapitole věnující se konkrétním metodám konzervace potravin byly shrnuty principy působení tradičních technik konzervace potravin, jako např. sušení, nasolování, kandování, uzení či fermentace i technik moderních, jako např. pasterace, sterilace, HPP či vakuování. Pro moderní techniky byl zlomovým okamžikem objev pasterace v 19. století, kdy byla poprvé zajištěna bezpečná masová produkce trvanlivých potravin s možností inovativních metod zásobování obyvatelstva. Zajímavým zjištěním byl fakt, že principy tradičních technik slouží i nyní jako základ konzervačních metod pro potraviny, samozřejmě v modernizované a kontrolované podobě. Tyto techniky se v současné době kombinují s dalšími, moderními technologiemi, nebo s dalšími tradičními metodami a dávají vzniknout tzv. hurdle technology, kombinovaným technikám. Kombinované techniky umožňují při správné kombinaci dosažení vysoké mikrobiologické bezpečnosti potravin a zároveň zachování jejich nutriční i senzorické kvality.

Na závěr lze konstatovat, že i s nynějšími moderními technologiemi a rozsáhlými znalostmi o procesech degradace potravin, jsou snahy o prodloužení trvanlivosti některých potravin stále výzvou. Jedinou cestou k modernizaci konzervačních metod je volba správné kombinace postupů, zamezujících degradačním procesům a implikace nových poznatků z chemie a mikrobiologie potravin. Tyto nové poznatky uvedené do praxe dále zajistí bezpečné a trvanlivé zdroje potravin pro rostoucí světovou populaci. Poměrně rychlý vývoj v oblasti obalových materiálů (např. inteligentní obaly, modifikovaná atmosféra atd.) naznačuje, že další vývoj konzervace se bude orientovat na minimalizaci chemických konzervantů a na zlepšení trvanlivosti potravin šetrnějšími způsoby.

5 Literatura

- Abril B, Bou R, García-Pérez JV, Benedito J. 2023. Role of enzymatic reactions in meat processing and use of emerging technologies for process intensification. *Foods* **12**:1940.
- Akimova D, Kakimov A, Suychinov A, Urazbayev Z, Zharykbasov Y, Ibragimov N, Bauyrzhanova A, Utegenova A. 2024. Enzymatic hydrolysis in food processing: Biotechnological advancements, applications, and future perspectives. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences* **18**:347–365.
- Amit SK, Uddin MdM, Rahman R, Islam SM, Khan MS. 2017. A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. *Agriculture & Food Security* **6**:51.
- Arab-Tehrany E, Jacquot M, Gaiani C, Imran M, Desobry S, Linder M. 2012. Beneficial effects and oxidative stability of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids. *Trends in Food Science&Technology* **25**:24–33.
- Ariyamuthu R, Rupa Albert V, J S. 2022. An overview of food preservation using conventional and modern methods. *Journal of Food and Nutrition Sciences* **10**:70-79.
- Bao Y, Ertbjerg P. 2019. Effects of protein oxidation on the texture and water-holding of meat: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **59**:3564–3578.
- Barriuso B, Astiasarán I, Ansorena D. 2012. A review of analytical methods measuring lipid oxidation status in foods: A challenging task. *European Food Research and Technology* **236**:1–15.
- Baverstock K. 2013. Life as physics and chemistry: A system view of biology. *Progress in Biophysics and Molecular Biology* **111**:108–115.
- Bazina N, Ahmed T, Almdaaf M, Abu Hallalah HM, Jibia S. 2025. Chemical changes in deep-fat frying: Reaction mechanisms, oil degradation, and health implications. *Food Science & Nutrition* **13**: 70969.
- Berk Z. 2013. *Food Process Engineering and technology*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Bolchini S, Nardin T, Morozova K, Scampicchio M, Larcher R. 2025. Antioxidant maillard reaction products from milk whey: A food by-product valorisation. *Foods* **14**:450.
- Clark S, Jung S, Lamsal B. 2014. *Food processing: Principles and applications*. Wiley – Blackwell, Hoboken, New Jersey.
- DeMan JM, Finley JW, Hurst WJ, Lee CY. 2018. *Principles of Food Chemistry*. Springer, Cham, Switzerland.
- Domínguez R, Pateiro M, Munekata PE, Zhang W, Garcia-Oliveira P, Carpena M, Prieto MA, Bohrer B, Lorenzo JM. 2021. Protein oxidation in muscle foods: A comprehensive review. *Antioxidants* **11**:60.
- Egbro M & Obukadeta ED. 2025. Enzymatic Browning In Food And Prevention. *International Journal of Innovative Biosciences Research* **13**:44-53.

- Erkmen O, Bozoglu TF. 2016. Enzymatic and Nonenzymatic Food Spoilage. Pages 434–442 in Erkmen O, Bozoglu TF, editors. *Food Microbiology: Principles into Practice*. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Eskin M, Robinson DS. 2001. *Food Shelf Life Stability: Chemical, biochemical, and microbiological changes*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Farkas J, Mohácsi-Farkas C. 2011. History and future of food irradiation. *Trends in Food Science & Technology* **22**:121–126.
- Fellows P. 2017. *Food Processing Technology: Principles and practice*. Woodhead Publishing is an imprint of Elsevier, Duxford, UK.
- Forbes-Ewan C, Moon T, Stanley R. 2016. Past, present and future of Military Food Technology. *Journal of Food Science and Engineering* **6**:308–315.
- Gao X, Xiao Y, Li W, Xu L, Yuan J. 2025. Synergistic effects of antioxidant blends: A comparative study on oxidative stability of lipids in feed matrices. *Antioxidants* **14**:981.
- García-Díez J, Saraiva C. 2021. Use of starter cultures in foods from animal origin to improve their safety. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **18**:2544.
- Gaspar PD, da Silva PD. 2019. *Novel Technologies and Systems for Food Preservation*. IGI Global, Hershey, Pennsylvania.
- Grumezescu AM. 2017. *Food Preservation: Nanotechnology in the Agri-Food Industry*, Volume 6. Academic Press, London, UK.
- Guru PN, Mridula D, Dukare AS, Ghodki BM, Paschapur AU, Samal I, Nikhil Raj M, Padala VK, Rajashekhar M, Subbanna AR. 2022. A comprehensive review on advances in storage pest management: Current scenario and future prospects. *Frontiers in Sustainable Food Systems* **6**:1–21.
- Halvorsen BL, Blomhoff R. 2011. Determination of lipid oxidation products in vegetable oils and marine omega-3 supplements. *Food & Nutrition Research* **55**:5792.
- Hemmler D, Roullier-Gall C, Marshall JW, Rychlik M, Taylor AJ, Schmitt-Kopplin P. 2017. Evolution of complex Maillard chemical reactions, resolved in Time. *Scientific Reports* **7**:3227.
- Holzapfel W. 2015. *Advances in fermented foods and beverages*. Elsevier Science, Cambridge, UK.
- Hosry LE, Elias V, Chamoun V, Halawi M, Cayot P, Nehme A, Bou-Maroun E. 2025. Maillard reaction: Mechanism, influencing parameters, advantages, disadvantages, and Food Industrial Applications: A Review. *Foods* **14**:1881.
- Hui YH. 2012. *Handbook of meat and Meat Processing*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Cheung PCK, Mehta BM. 2015. *Handbook of Food Chemistry*. Springer Reference, Heidelberg, Germany.
- Choskit T, Gupta N, Singh J, Bhat A, Bandral JD, Sood M, Reshi M. 2023. An Overview on Food Spoilage Mechanism and Their Prevention. *Chemical Science Review and Letters* **12**:60-66.

- Joardder MUH., Masud MH. 2019. A Brief History of Food Preservation. Pages 57–66 in Joardder MUH., Masud MH, editors. Food Preservation in Developing Countries: Challenges and Solutions. Springer Nature Publishing AG, Cham, Germany.
- Kan J, Chen K. 2021. Essentials of Food Chemistry. Springer, Singapore, Singapore.
- Kasaai MR. 2025. Oxidative and hydrolytic deteriorations of lipids and several alternative pathways for their protections: An overview. Food Nutrition Chemistry **3**:238.
- Kdeiss B. 2022. Dietary Fatty Acids and the Brain: Mechanisms Behind Neurodegeneration and Neuroprotection [PhD. Thesis]. Loma Linda University. California.
- Kumar M. 2025. Food Spoilage and Preservation. Independently published, Seattle, Washington.
- Kumari S, Debbarma R, Nasrin N, Khan T, Taj S, Bhuyan T. 2024. Recent advances in packaging materials for food products. Food Bioengineering **3**:236–249.
- Lan Y. 2025. Microbial fermentation and its application in fermented foods. International Journal of Public Health and Medical Research **3**:40–45.
- Li Y, Cheng W, Qiu X, Sun Y, Xia X, Yang L, Fan M, Wang L, Qian H. 2023. Effects of β -amylase hydrolysis on the structural, physicochemical and storage properties of wheat starch. Journal of Cereal Science **109**:103605.
- Lorenzo JM, Munekata PES, Barba FJ. 2021. Sustainable Production Technology in food. Academic Press, London, UK.
- Lund MN, Heinonen M, Baron CP, Estévez M. 2011. Protein oxidation in muscle foods: A Review. Molecular Nutrition & Food Research **55**:83–95.
- Mafe AN et al. 2024. A review on food spoilage mechanisms, food borne diseases and commercial aspects of food preservation and processing. Food Chemistry Advances **5**:100852.
- Maroto J, Trigo M, Miranda JM, Aubourg SP, Barros-Velázquez J. 2024. Evaluation of lipid damage, microbial spoilage and sensory acceptance of chilled pouting (*Trisopterus Luscus*), an underutilized lean fish species. Applied Sciences **14**:6905.
- Motta JF, Freitas BC, Almeida AF, Martins GA, Borges SV. 2023. Use of enzymes in the food industry: A Review. Food Science and Technology **43**:1–14.
- Muntean MV, Marian O, Barbieru V, Catunescu GM, Ranta O, Drocas I, Terhes S. 2016. High Pressure Processing in Food Industry – Characteristic and Applications. Agriculture and Agricultural Science Procedia **10**:377-383.
- Nummer BA. 2002, May. Historical Origins of Food Preservation. Available from <https://nchfp.uga.edu/resources/entry/historical-origins-of-food-preservation> (accessed March 7, 2026).
- Pignitter M, Somoza V. 2012. Critical evaluation of methods for the measurement of oxidative rancidity in vegetable oils. Journal of Food and Drug Analysis **20**:772–777.
- Rahman S. 2020. Handbook of Food Preservation. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida.

- Ray RC, Joshi VK. 2014. Fermented Foods: Past, present and future. *Microorganisms and Fermentation of Traditional Foods*:1–36.
- Robertson GL. 2013. Food packaging: Principles and practice. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Rogers K. 2025, March. Pasteurization | definition, process, inventor, & facts. Available from <https://www.britannica.com/technology/pasteurization> (accessed September 10, 2025).
- Rolfe C, Daryaei H. 2020. Intrinsic and Extrinsic Factors Affecting Microbial Growth in Food Systems. In Demirci A, Feng H, Krishnamurthy K, editors. *Food Safety Engineering*. Springer, Cham, Switzerland.
- Roos YH, Drusch S. 2016. Phase transitions in foods. Academic Press is an imprint of Elsevier, Oxford, UK.
- Sabolová M, Zeman V, Lebedová G, Doležal M, Soukup J, Réblová Z. 2020. Relationship between the fat and oil composition and their initial oxidation rate during storage. *Czech Journal of Food Sciences* **38**:404–409.
- Saito K, Kugo Y, Koskey M, Iwahana G, Hirasawa Y, Tatsuzawa S, Zhegusov Y, Jambaljav Y, John TA. 2024. Food life history and cold storage in Greater Beringia. part I: Preliminary interdisciplinary investigation. *Polar Science* **41**:101092.
- Sengar AS, Shonte TT, Tiwari U, Pathania S. 2025. - Degradation of proteins during food processing and storage. Pages 403-428 in Tiwari BK & Bhavya ML, editors. *Chemistry of Thermal and Non-Thermal Food Processing Technologies*. Academic Press, London, UK.
- Shakoor A, Zhang C, Xie J, Yang X. 2022. Maillard reaction chemistry in formation of critical intermediates and flavour compounds and their antioxidant properties. *Food Chemistry* **393**: 133416.
- Shen L et al. 2024. Effect of light treatment on oxidation and flavour of dry-cured Wuchang fish. *Food Chemistry: X* **22**:101464.
- Schirone M, Esposito L, D’Onofrio F, Visciano P, Martuscelli M, Mastrocola D, Paparella A. 2022. Biogenic amines in meat and meat products: A review of the Science and Future Perspectives. *Foods* **11**:788.
- Stathas IG, Sakellaridis AC, Papadelli M, Kapolos J, Papadimitriou K, Stathas GJ. 2023. The effects of insect infestation on stored agricultural products and the quality of food. *Foods* **12**:2046.
- Subramaniam P. 2016. The stability and shelf life of food. Woodhead Publishing is an imprint of Elsevier, Duxford, UK.
- Sun A, Wu W, Soladoye OP, Aluko RE, Bak KH, Fu Y, Zhang Y. 2022. Maillard reaction of food-derived peptides as a potential route to generate meat flavor compounds: A Review. *Food Research International* **151**: 110823.
- Tamanna N, Mahmood N. 2015. Food processing and Maillard reaction products: Effect on human health and Nutrition. *International Journal of Food Science* **2015**:1–6.
- Tao L. 2015. Oxidation of polyunsaturated fatty acids and its impact on food quality and human health. *Advances in Food Technology and Nutritional Sciences – Open Journal* **1**:135–142.

- Tatijaborworntham N, Oz F, Richards MP, Wu H. 2022. Paradoxical effects of lipolysis on the lipid oxidation in meat and meat products. *Food Chemistry: X* **14**:100317.
- Tilley A, McHenry MP, McHenry JA, Solah V, Bayliss K. 2023. Enzymatic browning: The role of substrates in polyphenol oxidase mediated browning. *Current Research in Food Science* **7**:100623.
- Van Alfen NK. 2014. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Wang H, Sun Z, Qi Y, Hu Y, Ni Z, Li C. 2024. Update application of enzyme in food processing, preservation, and detection. *Food Bioengineering* **3**:380–394.
- Wąsowicz W, Gramza A, Hes M, Jeleń HH, Korczak J, Malecka M, Mildner-Szkudlarz S, Rudzińska M, Samotyja U, Zawirska-Wojtasiak R. 2004. Oxidation of lipids in food. *Polish Journal of Food and Nutrition Science* **13/54**: 87–100.
- Watkins H. 2008. *Fridge space: journeys of the domestic refrigerator* [PhD. Thesis]. University of British Columbia, Canada.
- Wazir H, Chay SY, Ibadullah WZ, Zarei M, Mustapha NA, Saari N. 2021. Lipid oxidation and protein co-oxidation in ready-to-eat meat products as affected by temperature, antioxidant, and packaging material during 6 months of storage. *RSC Advances* **11**:38565–38577.
- Wijewardane HVP. 2026. *Comprehensive Treatise on Peroxide Value in Edible Lipids: Regulatory Frameworks, Chemical Mechanisms, and Analytical Methodologies*. White Paper **36**:1-18.
- Xiong YL, Guo A. 2020. Animal and plant protein oxidation: Chemical and functional property significance. *Foods* **10**:40.
- Zeide A. 2018. *Canned: The rise and fall of consumer confidence in the American Food Industry*. University of California Press, Oakland, California.

6 Seznam zkratek použitých v práci

- a_w – aktivita vody v potravině (water activity)
- BDP – Bojová dávka potravy
- COX – cyklooxygenázy
- CYP – cytochromy
- DHA – kyselina dokosaheptaenová
- DNA – deoxyribonukleová kyselina
- EPA – kyselina eikosapentaenová
- FFDA – Federal Food, Drug and Cosmetic Act
- HACCP – Hazard Analysis and Critical Control Points
- HHP – High Hydrostatic Pressure Processing
- HPP – High Pressure Processing (paskalizace)
- LOX – lipooxygenázy
- MAP – modifikovaná atmosféra
- MRE – Meals Ready-to-eat
- pH – vodíkový exponent vyjadřující záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů
- UHP – Ultra High Pressure Processing
- UHT – Ultra High Temperature Pasteurization