

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra kvality a bezpečnosti potravin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Skladování cibule s využitím rostlinných extraktů
Diplomová práce**

Bc. Kamila Borešová

Kvalita potravin a zpracování zemědělských produktů

Ing. Matěj Božik, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Skladování cibule s využitím rostlinných extraktů" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21. 4. 2024

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Matěji Božikovi, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce, trpělivost a cenné rady. Dále Msc. Gökçe Hoca za ochotu a odborné vedení skladovacího pokusu a Ing. Kateřině Hankové za poskytnuté rady a věnovaný čas. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině a přátelům za podporu během celého mého studia.

Skladování cibule s využitím rostlinných extraktů

Souhrn

V této diplomové práci byl posuzován vliv silic z dobromysli a skořicovníku na prodloužení skladovatelnosti cibule. Cibule kuchyňská (*Allium cepa*) se řadí stejně jako česnek a brambory mezi hojně rozšířené plodiny a je žádoucí zajistit co nejdélší skladovatelnost. Silice jsou alternativním způsobem ke konvenčním přípravkům. Z chemických prostředků je při pěstování na cibule a brambory velmi rozšířeno používání přípravku Fazor. Jeho hlavní účinnou složkou je průmyslově syntetizovaný maleinhydrazid, který se v běžných dávkách považuje za relativně bezpečnou látku z hlediska akutní i dlouhodobé a environmentální toxicity. Je snadno rozpustný ve vodě a migruje v půdě, může tedy pronikat i do spodních vod. Ve vyšších dávkách byla zjištěna jeho toxicita pro ryby a vodní organismy.

Studii zabývajících se využitím silic na prodloužení skladovatelnosti cibule je velmi málo, proto se vycházelo zejména ze studií na bramborách. Silice jsou přírodní látky, které mají ve srovnání s chemickými prostředky nízkou toxicitu pro člověka i životní prostředí, a zároveň mohou zajistit snížení ekonomických a potravinových ztrát způsobených kažením. Jedná se o látky bezpečnější pro lidské zdraví oproti chemickému ošetření. Využití silic je všestranné a lze je aplikovat jak v rámci aktivních obalů, tak přímo do potravin. Téma je o to zajímavější, že sama cibule obsahuje velké množství silic, které lze využít pro jejich antibakteriální a trvanlivost prodlužující účinky.

Použití silic k prodloužení skladování cibule je hlavním zaměřením praktické části této práce, jejíž experimentální část se zabývala využitím silic z dobromysli a skořicovníku pro skladování v malých 10 kg boxech a velkých cca 200-300 kg boxech. Jednalo se o směsi silice s nosičem v poměru 1/4 (hm.) v objemech 50 g na malé 10 kg boxy a 1000 g u velkých boxů. Jako nosič byl vybrán bentonit, u malých boxů také ještě piliny. Navážky byly rozděleny do několika sáčků, které byly v boxech rovnoměrně rozmístěny. Vyhodnocování účinku silic se provádělo u malých boxů pomocí dvou druhů kontrolních skupin, ve druhé části u velkých boxů byl pouze jeden druh kontrolní skupiny. S týdenní frekvencí po dobu 18 týdnů u malých boxů byl pozorován úbytek hmotnosti, hniloba, výskyt plísně a rašení. U velkých boxů byl zaznamenán pouze stav hmotnosti na začátku experimentu a po 9 týdnech byl zjišťován konečný stav. Bylo prokázáno, že cibule bez ošetření, a i bez obalu nejvíce ztrácely na své hmotnosti. Statisticky významný vliv silic se prokázal při sledování úbytku netto hmotnosti u malých boxů, kde se jednalo o kontrolní variantu bez obalu i silice v porovnání se zbývajícími variantami. Z hlediska úbytku hmotnosti hnilobných, plesnivějících a rašících cibulí nebo délky rašení mezi variantami nebyl prokázán statisticky významný účinek, pravděpodobně z důvodu rozsahu experimentu a zvolené koncentraci. Silice mají významný potenciál k prodloužení skladovatelnosti různých plodin a potravin, proto je zapotřebí věnovat pozornost budoucímu výzkumu.

Klíčová slova: obal, cibule, skladování, kvalita, škůdci

The use of plant extracts in onion storage

Summary

In this thesis, the effect of essential oils from sweetgrass and cinnamon stick on the extension of onion shelf life was assessed. The kitchen onion (*Allium cepa*), like garlic and potatoes, is a widespread crop and it is desirable to ensure the longest possible shelf life. Essential oils are an alternative to conventional preparations. Among chemical products, the use of Fazor is widespread in onion and potato cultivation. Its main active ingredient is the industrially synthesised maleic hydrazide, which is considered to be relatively safe at conventional doses in terms of acute and long-term and environmental toxicity. It is readily soluble in water and migrates in soil, and may therefore also penetrate groundwater. At higher doses it has been found to be toxic to fish and aquatic organisms.

There are very few studies on the use of essential oils for extending the shelf life of onions, so studies on potatoes have been relied upon. Essential oils are natural substances that have low toxicity to humans and the environment compared to chemical agents, and can also ensure a reduction in economic and food losses due to spoilage. These are safer for human health than chemical treatments. The use of essential oils is versatile and can be applied both within active packaging and directly to food. The topic is all the more interesting because onions themselves contain large quantities of essential oils that can be used for their antibacterial and shelf-life extending effects.

The use of essential oils to prolong the storage of onions is the main focus of the practical part of this work, where essential oils from the good thyme and cinnamon tree were used for storage in small 10 kg boxes and large boxes of about 200-300 kg. These were ¼ (w/w) mixtures of essential oil with carrier in volumes of 50 g for small 10 kg boxes and 1000 g for large boxes. Bentonite was chosen as the carrier in both variants and sawdust was also used for the small boxes. The bulking agents were divided into several bags which were evenly distributed in the boxes. The evaluation of the effect of essential oils was done in the small boxes using two types of controls, while in the second part for the large boxes there was only one type of control. With weekly frequency for 18 weeks in small boxes, weight loss, rotting, mould and sprouting were observed. For the large boxes, only the weight status at the beginning of the experiment was recorded and the final status after 9 weeks. It was shown that onions without treatment, and even without wrapping, lost the most weight. A statistically significant effect of essential oils was shown when the net weight loss was observed for the small boxes, where it was the control without both wrapping and essential oils compared to the other variants. No statistically significant effect was shown in terms of weight loss of rotting, moulding and sprouting bulbs or sprouting duration between the variants, probably due to the scale of the experiment and the concentration chosen. Essential oils have significant potential to extend the shelf life of various crops and foods, so future research needs to pay attention to different concentrations, other types of essential oils and storage room conditions.

Keywords: packaging, onion, storage, quality, pests

Obsah

1 Úvod	9
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	10
3 Literární rešerše	11
3.1 Cibule kuchyňská (<i>Allium cepa</i> L.)	11
3.1.1 Původ a rozšíření	11
3.1.2 Podmínky pro pěstování	11
3.1.3 Vlastnosti a využití	11
3.1.4 Choroby a škůdci	12
3.1.5 Skladování cibule	14
3.2 Česnek setý (<i>Allium sativum</i> L.)	16
3.3 Definice silic a jejich vlastnosti	17
3.3.1 Získávání silic	21
3.1.2 Využití silic a jejich vliv na lidský organismus	21
3.1.3 Prodloužení skladovatelnosti brambor s využitím silic	21
3.1.3.1 Potlačení klíčení	22
3.1.3.2 Zamezení mikrobiálního rozkladu	24
3.1.3.3 Postupy a metody aplikace silic na brambory	25
3.1.3.4 Výsledky a účinnost aplikace silic na brambory	26
3.1.4 Prodloužení skladovatelnosti cibule a česneku s využitím silic	26
3.1.4.1 Potlačení rašení a zamezení mikrobiálnímu rozkladu	27
3.2 Plýtvání potravin	28
3.3 Prodloužení trvanlivosti a způsoby balení dle okolního mikroprostředí	30
3.3.1 Aktivní balení	30
3.3.1.1 Absorpční sáčky a vícevrstvé systémy	32
3.3.1.2 Absorpční film	32
3.3.1.3 Absorbenty vlhkosti	33
3.3.1.4 Emitory a absorbenty oxidu uhličitého	33
3.3.1.5 Absorbenty ethylenu	33
3.3.1.6 Emitory ethanolu	34
3.3.2 Inteligentní balení	35
3.3.2.1 Indikátory tepelného poškození	35
3.3.2.2 Indikátory složení atmosféry	36
3.3.2.3 Indikátory čerstvosti	36
3.3.2.4 Radiofrekvenční identifikace	37
3.3.3 Použití nanomateriálů do balení	37

3.3.4	Modifikovaná a řízená atmosféra.....	40
3.3.5	Vakuové balení	40
3.4	Extrakt v aktivních obalech a potravinách	41
3.4.1	Extrakt z cibule v aktivních obalech.....	41
3.4.2	Extrakt z česneku v potravinách a aktivních obalech	42
3.4.3	<i>Origanum vulgare</i> L. v potravinách a aktivních obalech.....	43
3.4.3.1	Konkrétní účinné látky silic z <i>Origanum vulgare</i> L.....	44
3.4.4	<i>Cinnamomum</i> sp. v potravinách a aktivních obalech.....	45
3.4.4.1	Konkrétní účinné látky <i>Cinnamomu</i> sp.	47
4	Metodika	48
4.1	Pozorované varianty a postup experimentu	48
4.3	Použité rostlinné extrakty a nosiče	50
4.4	Způsob vyhodnocení dat	51
5	Výsledky	52
5.1	Statistické vyhodnocení malých boxů s cibulemi z celého experimentu....	52
5.1.1	Účinek silic ošetření na netto hmotnost	52
5.1.2	Účinek silic na hmotnost vyhozených plesnivějících cibulí.....	53
5.1.3	Účinek silic na hmotnost vyhozených hnijících cibulí.....	53
5.1.4	Účinek silic na hmotnost vyhozených rašících cibulí	54
5.1.5	Účinek silic na délku rašení cibulí	55
5.2	Statistické vyhodnocení malých boxů ve vybraných týdnech.....	56
5.2.1	Porovnání hmotnosti vyhozených hnijících cibulí.....	57
5.2.1.1	Šestý týden.....	57
5.2.1.2	Dvanáctý týden	57
5.2.1.3	Osmnáctý týden.....	57
5.2.2	Porovnání hmotnosti vyhozených rašících cibulí	58
5.2.2.1	Šestý týden.....	58
5.2.2.2	Dvanáctý týden	58
5.2.2.3	Osmnáctý týden.....	59
5.2.2.4	Porovnání délky rašení všech skladovaných cibulí.....	59
5.2.2.5	Šestý týden.....	59
5.2.2.6	Dvanáctý týden	59
5.2.2.7	Osmnáctý týden.....	60
5.2.3	Porovnání netto hmotnosti všech skladovaných cibulí	60
5.2.3.1	Šestý týden.....	60
5.2.3.2	Dvanáctý týden	61
5.2.3.3	Osmnáctý týden.....	62

5.3	Statistické vyhodnocení velkých boxů	63
5.3.1	Hmotnost dobrých cibulí	63
5.3.2	Hmotnost hnijících cibulí	64
5.3.3	Hmotnost rašících cibulí	65
5.3.4	Hmotnost plesnivějících cibulí.....	65
6	Diskuze	66
7	Závěr.....	68
8	Literatura	69

1 Úvod

Zemědělské plodiny hrají významnou roli v každodenním životě lidí, zajišťují základní potravinové zdroje a přispívají k celkové kvalitě našeho života. Ovšem jednou z klíčových výzev je zachování jejich trvanlivosti a kvality, což je zásadní pro zajištění potravinové bezpečnosti a minimalizaci potravinových ztrát. Mikroorganismy mají tendenci při skladování zemědělských plodin narušovat jejich integritu, což vede k omezení jejich uchovatelnosti a způsobuje značné ekonomické a environmentální ztráty. Proto je snahou hledat inovativní a účinné způsoby, jak prodloužit trvanlivost zemědělských produktů. K takovým způsobům patří užívání antimikrobiálních látek.

Účinek antimikrobiálních látek je ovlivněný jejich spektrem složek, koncentrací a fyzikálně-chemickými vlastnostmi materiálu, do kterého jsou případně umístěny, nutričními složkami potravin, jejich zpracováním, pH, skladovací teplotou a oxidačně-redukčním potenciálem potravin. Rostliny si takové látky vytváří jako sekundární metabolity pro vlastní ochranu. Příkladem antimikrobiálních látek jsou silice, které lze využít jako ochranu zemědělských produktů či potravin.

V současném vědeckém a průmyslovém prostředí byly vyvinuty různé metody a technologie k prodloužení trvanlivosti zemědělských produktů, mezi nimiž hrají klíčovou roli aktivní obaly s obsahem aktivních látek. Tyto aktivní obaly jsou navrženy tak, aby poskytovaly aktivní ochranu proti mikroorganismům a oxidaci, čímž přispívají k uchování trvanlivosti a kvality potravin. Jednou z takových aktivních látek jsou již zmiňované silice, které mají významný potenciál v oblasti prodloužení uchovatelnosti zemědělských plodin. Silice lze také použít při konzervování potravin jako aditivum do potravin jako šetrnější způsob konverzace potravin ve srovnání s použitím chemické konzervace.

Působením mikroorganismů jako jsou bakterie, plísňe a kvasinky, dochází k mikrobiálnímu rozkladu, který je spojován se snížením bezpečnosti potravin, a tak je již po staletí snaha hledat způsoby prodloužení trvanlivosti potravin. Znehodnocení potravin a potenciální zdravotní nebezpečí představují zejména saprofytní a patogenní mikroorganismy. Dalšími rizikovými faktory způsobujícími degradaci potravin jsou oxidace a enzymatická aktivita potravin. Navíc u některých zemědělských produktů, jako jsou brambory, cibule a česnek, existují specifické problémy. Jedná se o faktory ohrožující bezpečnost konzumenta. Takové představuje napadení škůdci, dále již nastíněná hniloba a plísňe způsobené mikroorganismy. Klíčení brambor má také potenciál rizika, pokud by byly konzumovány přímo klíčky. Dalším problémem jsou faktory představující ekonomickou ztrátu, jako je klíčení brambor a rašení cibule (popřípadě i česneku při nesprávném skladování).

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Hypotéza: Silice prodlouží skladovatelnost cibule v poloprovozních podmínkách. Silice ovlivňují výskyt skládkových chorob a rašení u skladované cibule.

Cílem této diplomové práce je experimentálně ověřit skladovatelnost cibule s přídavkem silice ze skořicovníku a dobromysli formulované do různých nosičů (bentonitu a pilin). Experimenty budou probíhat v poloprovozních podmínkách.

3 Literární řešerše

3.1 Cibule kuchyňská (*Allium cepa* L.)

3.1.1 Původ a rozšíření

Cibule kuchyňská (*Allium cepa*) je řazena do rodu *Allium*, který je rozdělen na více než 60 taxonomických skupin a více než 750 druhů (Kouassi et al. 2021). V záznamech se lze dočíst, že původ cibule kuchyňské má dlouhou historii. Původ cibule se předpokládá v Afghánistánu a okolních oblastech. Již před 5 tisíci lety ji pěstovali v Číně a v 6. st. př. n. l. se o ní lze dočíst i v lékařském textu z Indie, a v neposlední řadě existují obrazce cibule na stěnách hrobek a pyramid ze starého Egypta (Zukauskas 2023). Egypťané ji pěstovali podél Nilu. Rostliny cibule jsou velmi přizpůsobivé a lze je pěstovat od tropů po subarktické oblasti (UGA extension 2017).

3.1.2 Podmínky pro pěstování

Pěstování cibule vyžaduje péči a dodržování určitých podmínek, aby se dosáhlo zdravých a kvalitních plodin. Důležitým faktorem jsou klimatické podmínky. Nejlepší teploty pro růst cibule se pohybují mezi 15 a 25 °C během dne a 10 až 15 °C v noci. Příliš vysoké teploty mohou vést k tvorbě květenství (kvetoucí cibule) namísto vývoje cibule. Na druhé straně příliš nízké teploty mohou způsobit poškození cibulových hlav a snížit výnos. Jejich růst je ovlivněn délkou dne, která určuje, kdy cibule kvetou. Existují tři hlavní skupiny, kam mohou být řazeny odrůdy cibulí podle reakce na délku dne: krátkodenní (10-13 hodin), přechodné (13-14 hodin) a dlouhodenní (více než 14 hodin). Půda pro cibuli by měla být dobře odvodněná, mírně kyselá až neutrální (pH 6-7) a bohatá na organickou hmotu. Cibule roste nejlépe na lehčích půdách, které umožňují dobrou drenáž, aby se zabránilo hnilobám kořenů. Cibule lze pěstovat buď z osiva nebo z cibulových sadbových rostlin (setých cibulí). Výsev osiva se provádí na jaře, obvykle v březnu nebo dubnu, ve vzdálenostech přibližně 10-15 cm mezi rostlinami. Sazenice cibule se sázejí na jaře nebo na podzim v řádných řádcích, přičemž mezi nimi by mělo být asi 10-15 cm prostoru. Cibule potřebuje pravidelné zalévání, zejména během suchých období. Voda by měla proniknout do hloubky kořenů, ale přebytná voda by měla mít možnost odtéct, aby se zabránilo kořenové hnilobě. Cibule v neposlední řadě potřebuje vhodné hnojení pro zajištění dobrého růstu. Hnojiva by měla obsahovat dusík, fosfor a draslík v přiměřeném poměru. Dusík podporuje růst zelených listů, zatímco fosfor a draslík jsou důležité pro tvorbu cibule (Dowding & Hafferty 2017; ICAR 2023).

3.1.3 Vlastnosti a využití

Cibule (*Allium cepa*) má široké využití v různých aspektech života, včetně kulinářského, léčebného a průmyslového. Kulinářské využití je všestranné, lze ji nakrájet na plátky, nasekat, restovat, karamelizovat, či nakládat a dodávat tak chuť spoustě pokrmů, od omáček, salátů až po dušené pokrmy (Warfur 2023). Co se týká léčebného využití, má dlouhou historii v tradičním léčení. Obsahuje síru, flavonoidy a další fytonutrienty, které mohou mít prospěšný vliv na zdraví. Používá se jako domácí prostředek při nachlazení, kašli a infekcích

dýchacího ústrojí. Obsahuje antioxidanty, které pomáhají bojovat proti volným radikálům a chrání buňky před poškozením (Singh & Khar 2022). Cibule může sloužit jako surovina pro výrobu léčivých přípravků a doplňků stravy. V průmyslovém využití se výtažky z cibule používají v kosmetických výrobcích kvůli svým antioxidačním a hydratačním vlastnostem. Mohou být součástí šamponů, kondicionérů a krémů na péči o pleť. Dále cibule obsahuje pigmenty, které mohou být použity jako přírodní barviva pro potraviny a textilie (Sagar et al. 2022).

Přestože má mnoho pozitivních vlastností na zdraví, tak není vhodná pro celou populaci. Někteří lidé se potýkají s alergií na cibuli. Hlavním benefitem její konzumace je, že snižuje krevní tlak a šanci zástavy srdce. Dále cibule pomáhá s trávením, kontrolovat hladinu cukru v krvi, zvyšuje hustotu kostí a má protizánětlivý účinek. Je zdrojem významných látek jako je vitamín C, antioxidant quercetin, železo, vápník, a navíc neobsahuje žádný tuk. Obsahuje ale i dráždivé látky, zejména syn-propanthial-S-oxidu, který vyvolává obrannou reakci slzení při krájení cibule (Zukauskas 2023).

3.1.4 Choroby a škůdci

U cibule se lze setkat s chřadnutím, na které má vliv kromě chorob a škůdců nedostatek či přebytek vody, půdní podmínky a nedostatek vody při pěstování. Škůdci a choroby mohou značně ovlivnit úrodu cibule. Na napadení choroby a škůdci má vliv řada biotických a abiotických faktorů. Mezi biotické faktory, se kterými se zejména lze u cibule setkat, je řazeno napadení škůdci a mikrobiálními patogeny. Hlavními škůdci napadajícími cibuli jsou převážně cibulovky, třásněnky, housenky, roztoči a mšice. Důvodem napadení škůdci může být neinformovanost o ochraně, bezpečném používání pesticidů nebo identifikaci hmyzu a chorob (Haile et al. 2019). Při pěstování cibule kuchyňské je vhodné používat zdravý sadbový materiál. Klíčové je zamezit kontaktu mezi konzumními a semennými porosty a oddělit jarní a podzemní výsevy. Je důležité pravidelně kontrolovat cibule, zda nevykazují příznaky chorob či napadení škůdci a provádět vhodná preventivní opatření (Kocourek et al. 2016; Rod 2017). Mezi negativní účinky abiotických faktorů patří teplotní extrém, špatná kvalita půdy, sucho a záplavy. Plodiny pěstované v polních podmínkách dosahují v průměru pouze asi 50 % svého potenciálního výnosu v důsledku negativních účinků abiotických environmentálních stresů. Naopak ztráty způsobené již zmiňovanými hmyzími škůdci se odhadují na více než 10 % a při absenci kontrolních opatření se zvyšuje na 50-80 % (Foyer et al. 2016).

Ve studii, kterou provedl Haile et. al (2016), hodnotili hlavní choroby a hmyzí škůdce na cibuli. Výzkum byl proveden v okrese Masha v zóně Sheka v jihozápadní Etiopii ve sklizňové sezóně 2014/2015. Cílem studie bylo zjistit výskyty a posoudit dopady hlavních chorob a hmyzích škůdců cibule. Během průzkumu bylo zjištěno, že někteří škůdci jsou významnější než jiní. Nejzávažnější chorobaa cibule se v této studii jevila fialová skvrnitost, kterou obvykle způsobuje patogen *Aternaria porri* (Ellis) Clf. Dále cibulová plíseň, která je způsobena patogenem *Peronospora destructor* (Berk.) Casp. ex Berk. a virus žluté zakrslosti, který způsobuje *Onion yellow dwarf virus* (OYDV).

Významné choroby cibule:

- Fialová skvrnitost, postihuje především listy a může vést k jejich odumření. Spory *Alternaria porri* se mohou šířit větrem, vodou, náradím či hmyzem. Skvrna se zvětšuje, získává zónovaný vzhled (vzhled terče) a purpurovou barvu. Okraj může být červenavý až fialový a obklopen žlutou zónou. Vlhké počasí může na povrchu léze způsobit tvorbu hnědých až černých spor. Skvrny se mohou sloučit nebo jich může být tolik, že usmrtí list. Optimální podmínky pro její rozvoj jsou vlhké a teplé prostředí, což znamená, že prevence zahrnuje správné zemědělské praktiky, jako je odvodnění, správná rostlinná hygiena a rotace plodin. (Schwartz 1999).
- Plíseň postihující rod *Allium*, způsobuje patogen *Peronospora destructor*. Tato plísňová choroba se projevuje žlutými až světle hnědými skvrnami na listech, které postupně žloutnou a odumírají. Na spodní straně listů se mohou objevit šedivé nebo fialové povlaky sporangií. Klíčová je prevence, která zahrnuje umístění porostů na slunné, dobře větrané lokality, vhodné orientace řádků a záhonů, dostatečné prostorové izolace a správné zavlažování. Geneticky odolné odrůdy zatím neexistují, takže důraz je kladen na vhodnou agrotechniku a správné likvidace rostlinných zbytků (Kocourek et al. 2016). Dále může plísňovou chorobu způsobit *Botrytis cinerea*, která je známá jako šedá plíseň kvůli charakteristickému šedému povlaku, který se tvoří na napadených částech rostlin. Mezi další houbové choroby patří hnědá skvrnitost, která způsobuje hnědé skvrny na listech a při větším rozšíření až hnití cibule. Efektivní prevencí je výběr odolných odrůd, správná rostlinná hygiena, rotace plodin a zajištění dobrého odvodnění (Delahaut & Stevenson 2004). Významný patogen způsobující plíseň, který napadá i cibuli, je *Apergillus niger*. Jedná se o plíseň černé nebo tmavě hnědé barvy objevující se na slupce, která může postupně pronikat dovnitř cibule. Infikované cibule často mohou dále hnit, pokud nejsou včas identifikovány a odstraněny. Tento patogen může být zvláště problematický v teplejších a vlhčích skladovacích podmínkách. Dále modrozelená plíseň, vzniklá po napadení rodem *Penicillium* spp (Kocourek et al. 2016).
- Virus žluté zakrslosti cibule (OYDV) je přenášen přes vektor z infikované rostliny, kterým může být například trásněnka cibulová (*Thrips tabaci*). Infekce tímto virem vede k charakteristickým symptomům na listech cibule, které zahrnují světlé až žluté skvrny nebo pruhy, jež mohou s postupujícím vývojem choroby způsobit odumírání listové tkáně. Mezi ochranná opatření patří monitorování přítomnosti přenašečů, použití insekticidů k jejich regulaci, pěstování rezistentních odrůd cibule, pokud jsou k dispozici, a správná agronomická praxe, včetně rotace plodin, aby se snížila populace vektorů tohoto viru (Evans & Frank 2009).
- Krčková hniloba cibule, způsobená *Botrytis allii* Munn, je běžná skládková hniloba, která může ovlivnit až 90 % všech skládkových hnilob cibule v některých podmínkách. Pro prevenci je důležitá prostorová izolace mezi různými druhy, způsoby pěstování, správná agrotechnika, minimalizace dusíku a vody, a vhodná sklizeň a skladování (Kocourek et al. 2016).
- Fusariová hniloba, způsobená *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* (Foc), které lze předcházet odstraňováním posklizňových zbytků a dodržováním minimálně čtyřletého intervalu mezi pěstováním hostitelských rostlin. Důležité je také použití zdravého sadbového materiálu

a skladování cibule za optimálních podmínek (teplota 0 až 2 °C, vlhkost 60 až 70 %) (Kocourek et al. 2016).

- Bílá hniloba, způsobená *Sclerotium cepivorum* Berk., je globálně rozšířená a velmi nebezpečná. Postihuje hlavně kuchyňský česnek a cibuli, včetně šalotky a zimní cibule, zatímco pór je odolnější. Základem prevence je nepěstovat hostitelské rostliny na zamořených plochách po dobu 8 až 10 let a používat pouze zdravý sadbový materiál (Kocourek et al. 2016).
- Mokrý hniloba, kterou může způsobovat například bakterie *Erwinia*. Tato bakterie napadá širokou škálu hostitelských rostlin, včetně cibule, a její šíření je podporováno vlhkými a teplými podmínkami, které jsou ideální pro její rozvoj. Prevence těchto bakteriálních chorob zahrnuje správné zemědělské praktiky, jako je odvodnění, rotace plodin, použití rezistentních odrůd a v případě potřeby aplikace baktericidů (Wasendorf et al. 2022).
- Cibulová sněť, způsobená patogenem *Urocystis cepulae* Frost, na rostlině se projevuje charakteristickými úzkými, protáhlými a tmavými pruhy, obvykle na děložních listech nebo prvním pravém listu, které se později stávají ztlustělými. Později proráží epidermální tkáň a uvolňuje hromady tmavě hnědých práškovitých spor. Sazenice cibule obvykle zahynou během několika týdnů, což vede k redukci počtu rostlin. Onemocněné rostliny, které přežijí, jsou často deformované, vyvíjejí puchýře na zelené listové tkáni a zůstávají zakrslé, což vede ke snížení výnosů. Cibulová sněť nemá zásadní vliv na samotné cibulky, ale může zvýšit jejich náchylnost k jiným chorobám (CABI 2023).

Mezi hlavní škůdce na cibuli lze zařadit cibulovou mouchu (*Delia antiqua* (Meigen, 1826)), třásněnku tabaci (*Thrips tabaci* Lindeman, 1888), světlici cibulovou (*Acrolepiopsis assectella* (Zeller, 1839)), slimáky a hlemýžďe. Larvy cibulové mouchy (*Delia antiqua* (Meigen, 1826)) se živí kořeny a cibulemi, což vede k nekróze a snížení výnosu. Fyzické bariéry a insekticidy mohou pomoci v boji s touto mouchou. Třásněnky tabaci (*Thrips tabaci*) jsou malí škůdci, kteří poškozují listy cibule. Napadnuté rostliny mohou mít stříbřité skvrny a zkroucené listy. Insekticidy mohou pomoci při omezování poškození. Světlice cibulová (*Acrolepiopsis assectella*) má larvy, které se živí uvnitř cibulí, což může způsobit hnilobu. Preventivní opatření zahrnují kontrolu škůdců a odstranění postižených cibulí. Roháč cibulový (*Eriophyes allii*) je mikroskopickým roztočem, který může poškodit listy a vytvářet deformace na cibulích. Kontrola zahrnuje insekticidy. Slimáci a hlemýžďi mohou poškodit mladé cibule a listy. V boji s nimi mohou pomoci mechanické metody, např. sbírání a použití pastí. (Rod 2017).

3.1.5 Skladování cibule

Zhruba 30 až 60 % sklizených cibulí se nevhodným skladováním zkaží. Standardní teplota pro skladování cibule se pohybuje v teplotním rozmezí 0 až 5 °C. Dle studie Mandake et al. (2023) lze cibuli skladovat při pokojové teplotě od 25 do 30 °C a relativní vlhkosti mezi 65 a 75 % v dobře větratelných prostorech. K prodloužení skladovatelnosti cibule byly v této studii využity konvenční plachty vyrobené z polypropylenu, polyethylenu, plátna a nylonu. Ukázalo se, že polyetylenová plachta nedokáže udržet požadovanou teplotu a vlhkost. Dodržení

těchto podmínek by mělo pomoci udržet kvalitu cibule, zabránit fyziologickému úbytku hmotnosti, potencionálnímu mikrobiálnímu napadení a klíčení cibule.

Skladovatelnost cibule závisí také na podmínkách, v nichž se nachází těsně před sklizní. Ukázalo se, že stres způsobený přemírou soli ovlivňuje trvanlivost a kvalitu cibule. Dodávka křemíku může naopak redukovat solný stres u rostlin. V experimentu dle Venâncio et al. (2022) slanost zavlažovací vody a doba skladování snižovala pevnost a zvyšovala hmotnostní ztráty cibulovin během skladování. Solný stres snižoval obsah cukru a celkově rozpustných pevných látek v cibulovinách během skladování, ale dodávka křemíku dopady stresu snižovala. Dodávka křemíku v rozmezí 121,8 a 127,0 kg/ha tlumila dopady způsobené zasolením, zvyšovala tvorbu metabolitů (kyseliny askorbové a pyrohroznové) a prodlužovala trvanlivost cibulovin.

Cibule již sama o sobě obsahuje, zejména ve svých svrchních vrstvách, mnohé antimikrobiální látky, proto ji lze skladovat při vhodných podmínkách poměrně dlouho. Avšak silice, a to zejména z dobromysli, mohou její trvanlivost prodloužit. Jiná situace dále nastane, pokud je cibule mechanicky zpracována (loupání, krájení). V takovém případě dochází k rychlejší ztrátě vody i antimikrobiálních látek a trvanlivost se výrazně snižuje. Pomoci může například silikonová membrána omezující průchod plynů (kyslík, vodní pára). Při nízkých teplotách může membrána prodloužit trvanlivost loupané cibule až o 10 dní. Více zpracovaná cibule (drcená, krájená) má však i v tomto případě trvanlivost velmi krátkou (Naik et al. 2014).

Cibuli kuchyňskou (*Allium cepa*) lze rozdělit na základě zbožiznalství na cibuli žlutou, červenou a bílou. Žlutá cibule má vyšší obsah síry, což přispívá k její štiplavé chuti a také k dlouhodobějšímu skladování. Existuje mnoho různých odrůd cibule, které se liší velikostí, tvarem, chutí a použitím. Každá odrůda má své vlastní charakteristiky a je vhodná pro různé druhy pokrmů a receptů. Mezi zástupce žluté cibule lze zařadit například odrůdu Mostec, Kopra, Cortland. Červená cibule má nižší obsah síry, do červené odrůdy lze zařadit Brunšvik, Red Bull, Červená kreolština. Bílými odrůdami jsou Southport White Globe, Stuttgarter a Bílá sladká španělština. Bílá odrůda má nízký obsah síry a vysoký obsah cukrů. Při správném skladování na chladném, suchém a dobře větraném místě může mít skladovaná cibule dobrou trvanlivost a je méně náchylná k otlakům a klíčení. Nejznámější odrůdou sladké cibule je cibule Vidalia, která byla objevena ve 30. letech 20. století v okolí georgijské Vidalie. Dále mezi odrůdy sladké cibule patří Walla Walla a Maui, které mají vyšší obsah vody a cukru, což jim dodává charakteristickou jemnou a sladkou chuť. Sladké odrůdy bílé cibule mají kratší skladovatelnost ve srovnání s ostatními. Odrůdy cibule pro dlouhodobé skladování jsou schopny vydržet půl roku (i více) při vhodném zacházení a skladování, naopak krátkodobé v rozmezí několika týdnů, maximum je pár měsíců (Huffstetler 2021; UGA extension 2017). Na obrázku 1 lze vidět rozdíl mezi druhy žluté, červené a bílé (sladké) cibule.



Obrázek 1: Bílá (vlevo), červená (uprostřed) a žlutá (vpravo) cibule (Abdou et al. 2014).

3.2 Česnek setý (*Allium sativum* L.)

Česnek setý (*Allium sativum*) je řazen stejně jako cibule do rodu *Allium*. Pochází z horských oblastí střední Asie, a dále byl rozšířen do celého světa. Obvykle je pěstován v oblastech s mírným a tropickým podnebím. (Kouassi et al. 2021; Lasky 2023).

Může být vysazen buď na jaře nebo na podzim s tím, že častější výsadba se provádí na podzim. V mírném podnebí je obvykle sklizen na konci července nebo srpna. V teplejším podnebí se sklizeň odvíjí od toho, kdy byl vysazen (Lasky 2023).

Má významné množství vitamínů a antioxidantů, proto je využíván kromě potravin také na výrobu léků. Charakteristickou chuť a vůni mu dodává sloučenina alicin. Alicin má schopnost se podílet na snižování krevního tlaku, srážlivosti krve, zastoupení lipidů a může se podílet na snižování rizika rakoviny (Nagini 2008; Lasky 2023).

Několik složek česneku a dále extrakty od něj odvozené mají protinádorový potenciál, díky jejich cytotoxickým, cytostatickým, antiangiogenním a antimetastatickým účinkům. Byla prokázána hepatoprotektivní aktivita a potencionální účinek proti rakovině, cukrovce a zánětu (Oravetz et al. 2023). Ve studiích Oravetz et al. (2023) a Huang et al. (2023) došli k závěru, že jeho silice by mohly být vhodnou volbou pro budoucí terapie karcinomu, ale je to stále součástí výzkumu a přezkoumávání, jelikož pro výzkum vhodných terapeutických léků je nutné studovat farmakologii této silice *in vivo* a *in vitro*. Výzkum je nutný zejména pro prozkoumání mechanismu složek česneku v rámci jeho biologické aktivity (na molekulární, buněčné a genové úrovni). Také terapeutický účinek, klinické vedlejší účinky a toxicita nejsou zatím dostatečně prozkoumány.

Česnek obsahuje širokou škálu organosírových sloučenin s biologickou aktivitou. Biologická aktivita česneku je zvláště užitečná v ekologickém zemědělství, kde je snaha minimalizovat použití syntetických látek. Bylo dosaženo značného pokroku při uvádění prvních botanických biopesticidů na trh (Anwar 2016).

Bylo v ní identifikováno 68 sloučenin, z toho více než 33 sloučenin síry (zejména sulfidů). Sloučeniny obsahující síru jsou zodpovědné za specifickou chuť a farmakologické účinky. Disulfidy a trisulfidy se v různém množství nacházejí ve všech dosud zkoumaných druzích rodu *Allium*, například se jedná o diallyldisulfidy (DADS) a diallyltrisulfidy (DATS). Disulfidy a trisulfidy jsou biologicky aktivní látky, což vzbuzuje jejich význam. Mezi další významné látky lze zařadit diallyl disulfid, allylmethylsulfid a allylmethyltrisulfid. Rozdíly mezi jednotlivými druhy v rámci rodu *Allium* jsou dány strukturou a relativním množstvím jejich prekurzorů. V česneku jsou hlavními sloučeninami skupiny s allylovým zbytkem (alliin). Tato sloučenina je prekurzorem alicinu. Alicin je diallyldisulfomonooxid vyskytující se i v cibuli. Pouze alliin v cibuli zcela chybí. Zato sloučenina s 1-propenylovým zbytkem, nazývaná isoalliin je u ní hlavním metabolitem. (Lanzotti 2006; De Greef et al. 2020; Huang 2023).

Česnek je sice vůči většině škůdců poměrně odolný, ale je velmi náchylný k bílé hnilobě (Lasky 2023).

3.3 Definice silic a jejich vlastnosti

Jde o sekundární metabolity rostlin, zejména těkavé a vonné rostlinné látky, které se skládají z mnoha různých chemických sloučenin (Rout et al. 2022).

Silice jsou látkami hydrofobními a lipofilními s hustotou, která je často nižší než hustota vody. Rozpustné jsou v organických rozpouštědlech (Campolo et al. 2018). Každý druh rostliny má odlišné žlázy obsahující tyto silice, což ovlivňuje jejich složení, dále se složení mění v závislosti na tom, ze které části rostliny jsou silice extrahovány a jakým způsobem. Nachází se v různých částech rostlin v siličných kanálcích (od kůry, kořenu, oddenku, listu, květu, semene až po plod), což lze vidět v Tabulce 1 (Ungvarsky 2022; Başer & Buchbauer 2010).

Tabulka 1: Příklady rostlin a jejich využívané části (Tongnuanchan & Benjakul 2014).

Část rostliny	Příklady rostlin
Kůra	Skořicovník cejlonský (<i>Cinnamomum zeylanicum</i> Gamble), kasie zlatožlutá (<i>Cassia didymobotrya</i> Fresen)
Kořen a oddenky	Zázvor pravý (<i>Zingiber officinale</i> Roscoe), kozlík lékařský (<i>Valeriana officinalis</i> L.), kurkumovník dlouhý (<i>Curcuma longa</i> L.)
List	Bazalka pravá (<i>Ocimum basilicum</i> L.), bobkový list (<i>Laurus nobilis</i> L.), šalvěj lékařská (<i>Salvia officinalis</i> L.), eukalyptus (<i>Eucalyptus</i> L'Her), citronová tráva (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC. ex Nees) Stapf), máta peprná (<i>Mentha piperita</i> L.), dobromysl obecná (<i>Origanum vulgare</i> L.), tymián obecný (<i>Thymus vulgaris</i> L.), rozmarýn lékařský (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.), vavřík vznešený (<i>Laurus nobilis</i> L.)
Květ	Vratič obecný (<i>Tanacetum vulgare</i> L.), heřmánek pravý (<i>Matricaria chamomilla</i> L.), šalvěj lékařská (<i>Salvia officinalis</i> L.), hřebíčkovce kořený ((<i>Syzygium aromaticum</i> (L.) Merr. & L.M.Perry)), kmín kořený (<i>Carum carvi</i> L.), jasmín pravý (<i>Jasminum officinale</i> L.), levandule lékařská (<i>Lavandula angustifolia</i> Mill.)
Semeno	Mandloň obecná (<i>Prunus cerasus</i> var. <i>dulcis</i> L.), bedrník anýz (<i>Pimpinella anisum</i> S.G.Gmel.), kardamomovník obecný ((<i>Elettaria cardamomum</i> (L.) Maton)), kmín kořený ((<i>Carum carvi</i> subsp. <i>rosellum</i> (Woronow) Vorosch)), mrkev obecná (<i>Daucus carota</i> L.), miřík celer (<i>Apium graveolens</i> L.), koriandr setý (<i>Coriandrum sativum</i> L.), muškátovník pravý (<i>Monodora myristica</i> Dunal), fenykl obecný (<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.)

Část rostliny	Příklady rostlin
Plod	Muškátovník pravý (<i>Monodora myristica</i> Dunal), pepřovník černý (<i>Piper nigrum</i> L.)
Ovocná kůra	Pomerančovník, (<i>Citrus × aurantium</i> var. <i>sinensis</i> L.), grapefruit (<i>Citrus paradisi</i> Macfad.), limetovník ((<i>Citrus aurantifolia</i> (L.) Swingl)), citronovník ((<i>Citrus limon</i> (L.) Burm.f.))
Bobule	Pimetovník pravý ((<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merr.)), jalovec obecný (<i>Juniperus communis</i> Thunb.)
Pryskyřice	Kadidlovník pilovitý (<i>Boswellia serrata</i> Roxb.), myrhovník pravý ((<i>Commiphora myrrha</i> (T.Nees) Engl.))

Vlastnosti silic zahrnují (Rout et al. 2022; Campolo et al. 2018):

- **Aroma a chuť:** Silice jsou známé pro své výrazné aromatické vlastnosti, které mohou významně ovlivnit chuť potravin.
- **Antimikrobiální účinky:** Mají schopnost potlačit růst mikroorganismů, jako jsou bakterie a plísně, což je zásadní pro prodloužení trvanlivosti potravin.
- **Antifungální účinky:** Silice mohou bránit rozvoji plísní a kvasinek, což je důležité pro zachování kvality potravin.
- **Antioxidační vlastnosti:** Některé silice obsahují antioxidanty, které pomáhají chránit potraviny před oxidací a udržovat jejich čerstvost.
- **Ochrana před hmyzem:** Silice mohou být účinným prostředkem proti škůdcům, jako je hmyz a klíšťata.

Jedním z klíčových benefitů silic je jejich schopnost inhibovat růst mikroorganismů. To zahrnuje (Sánchez-gonzález et al. 2011):

- **Potlačení bakterií:** Mnoho silic, jako například silice z tymiánu nebo dobromysli, má silné antimikrobiální účinky, které mohou bránit růstu a šíření bakterií.
- **Ochrana před plísněmi a kvasinkami:** Silice obsahují složky, které jsou účinné proti plísním a kvasinkám, což je důležité pro uchovatelnost potravin.

Tyto účinky silic jsou zvláště cenné v potravinářském průmyslu, kde se hledají způsoby, jak prodloužit trvanlivost potravin bez použití syntetických látek. Použití silic v závislosti na kategorii potravin a jejich antimikrobiálním účinku lze vidět v Tabulce 2.

Tabulka 2: Antimikrobiální použití silic v potravinách (Dini 2016).

Kategorie jídla	Silice	V kombinaci	Omezený nárůst
Maso	<ul style="list-style-type: none"> Tymiánu 		<ul style="list-style-type: none"> Kyselinotvorných bakterií Enterobacteriaceae <i>Pseudomonas</i>
	<ul style="list-style-type: none"> Dobromysli 		<ul style="list-style-type: none"> Kyselinotvorných bakterií Enterobacteriaceae <i>Pseudomonas</i>
	<ul style="list-style-type: none"> Dobromysli či tymiánu 	<ul style="list-style-type: none"> S nisinem 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Listeria sp.</i> Gram negativních Gram pozitivních
	<ul style="list-style-type: none"> Dobromysli a tymiánu 	<ul style="list-style-type: none"> Se sójovými jedlými filmy 	<ul style="list-style-type: none"> <i>S. aureus</i> <i>E. coli</i> <i>Pseudomonas spp.</i> Koliformních bakterií
	<ul style="list-style-type: none"> Rozmarýnu 		<ul style="list-style-type: none"> <i>Clostridium botulinum</i>
Ryby	<ul style="list-style-type: none"> Hřebíčkovce Fenyklu Levande Tymiánu Borovice Rozmarýnu 		<ul style="list-style-type: none"> <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Salmonella enteritidis</i> <i>E. coli</i> <i>Staphylococcus aureus</i>
Mléčné produkty	<ul style="list-style-type: none"> Hřebíčkovce 		<ul style="list-style-type: none"> <i>Salmonella enteritidis</i>
	<ul style="list-style-type: none"> Hřebíčkovce a skořicovníku 	<ul style="list-style-type: none"> S vanilinem 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Listeria monocytogenes</i> <i>E. coli</i>
Džusy	<ul style="list-style-type: none"> Směsi nanočástic terpenů a p-limonenů 		<ul style="list-style-type: none"> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>E. coli</i> <i>Lactobacillus delbrueckii</i>

Naši předci začali tyto aromatické rostliny přidávat do potravy již v dávných dobách, nejen jako ochucovadla, ale také pro prodloužení trvanlivosti potravin (Ungvarsky 2022). Například konzervační účinek tymiánu je dán fenolickými složkami, většinou thymolem a karvakrolem. Thymol je strukturálně velmi podobný karvakrolu, liší se tím, že má hydroxylovou skupinu na jiném místě fenolického kruhu. Každá aromatická rostlina má odlišné složení silic, což má za následek různé účinky (Adelakun et al. 2016). Některé rostliny mohou mít i protizánětlivé, antioxidační a uklidňující účinky a mohou ovlivňovat nervovou soustavu (Başer & Buchbauer 2010).

Účinné složky v silicích tedy určují kromě vůně a chuti i jejich biologickou aktivitu a terapeutické vlastnosti, což je dáno jejich chemickým složením. Celkově se jedná o více než 200 složek, které lze rozdělit do dvou frakcí. Jedná se o těžkou frakci, která tvoří 90-95 %, která je složena hlavně z monoterpenů, seskviterpenů a jejich derivátů s kyslíkem, fenolických sloučenin, alifatických aldehydů, alkoholů a esterů. Zbýlých 5-10 % tvoří netěkavý zbytek, který je tvořen zejména uhlovodíky, mastnými kyselinami, steroly, karotenoidy, vosky, kumariny a flavonoidy. (Adelakun et al. 2016; Park et al. 2019). Dalšími bioaktivními látkami v silicích jsou kyanogenní glykosidy, alkaloidy, glukosinolátů, lipidy, polythienyly a polyacetyly (Hajian-maleki et al. 2019).

Silice je možné použít samostatně či smíchané s nosným olejem, který snižuje riziko podráždění kůže. Kromě nosných olejů mohou být silice smíchané s jinými materiály, a to zejména s výrobky jako jsou parfémy, mýdla, svíčky, čisticí prostředky, potraviny a nápoje, léky, insekticidy (Ungvarsky 2022). Pro tuto práci nejzásadnější je možnost smíchání silic s nosiči (např. bentonitem) při skladování zemědělských plodin k zpomalení jejich těkavosti

Záznamy o použití silic jsou známé již ze Starověkého Egypta, kde byly využívány klíčebným účelům. Ve studiích z 21. století byl prokázán účinek levandule a silice z čajovníku proti infekcím způsobeným houbami a bakteriemi. Silice z hřebíčkovce se používá jako lokální anestetikum (zejména pro dočasnou úlevu od bolesti zubů). Několik studií ukázalo, že je dokonce možné některá antibiotika nahradit silicemi. Například lze do jisté míry předejít běžným infekcím drůbeže při krmení směsí obohacenou o silici z dobromysli. V souvislosti s léčebnými účely byla prokázána účinnost silice z čajovníku a citronové trávy v dezinfekčních prostředcích na ruce. V 21. století došlo k rozvoji trendu použití prostředků šetrnějších k životnímu prostředí. Vzrostla snaha nahrazovat syntetizované chemikálie k čistícím, vonným a ochucujícím účelům prostředky přírodními (Ungvarsky 2022).

V poslední době bylo provedeno mnoho studií zaměřených na využití aromatických rostlin, které obsahují účinné silice, zejména v potravinářství, při prodlužování trvanlivosti potravin (Calo et al. 2015). Lidé se stále více zajímají o složení potravin. Syntetická aditiva používaná v potravinách mohou mít negativní dopad na zdraví, proto se lidé stále více přiklánějí k nahrazování těchto syntetických aditiv přírodními, neškodnými alternativami (Carocho et al. 2015).

3.3.1 Získávání silic

Silice se získávají extrakčními metodami. Dle Evropského lékopisu a Mezinárodní organizace pro normalizaci vonných silic se jedná o hydrodestilaci, parní destilaci, suchou destilaci a mechanické postupy, jako je lisování za studena. Dále se vyvíjí další extrakční metody, při nichž by bylo dosaženo většího výtěžku, menší spotřeby energie a vyšší kvality. Mezi takové metody lze zařadit například extrakci rozpouštědlem, extrakci pomocí mikrovlnné trouby, ultrazvukovou extrakci, Soxhletovu extrakci a subkritickou extrakci vody či tekutin (Campolo et al. 2018).

3.1.2 Využití silic a jejich vliv na lidský organismus

Druhů rostlin produkujících silice je více než 17 000. Jedná se o rostliny zejména z čeledí *Asteraceae*, *Cupressaceae*, *Lamiaceae*, *Lauraceae*, *Rutaceae*, *Myrtaceae*, *Piperaceae* a *Poaceae*. Z toho je známo více než 3 000 druhů silic, z nichž je cca 300 povolených a využívaných v potravinářském průmyslu (Campolo et al. 2018; Rout et al. 2022).

Vonné látky interagují s čichovými a chuťovými receptory člověka, což vytváří dojem vůně a chuti. Komplexní zážitek, který vzniká díky těmto vonným a chuťovým látkám, nazýváme „aroma“. Tyto látky také vykazují biologickou aktivitu u živých organismů, která může mít různé účinky na různých úrovních orgánů. Tyto účinky mohou být žádoucí nebo nežádoucí, v závislosti na konkrétních použitých silicích. V oblasti farmacie se kromě silic používají i samotné bylinné drogy a izolované složky silic. Z natě máty peprné (*Herba menthae piperitae*) se izoluje mátová silice (*Oleum menthae piperitae*), a z ní poté menthol. Z natě tymiánu obecného (*Herba thymi*) se izoluje tymiánová silice (*Oleum thymi*), a z ní thymol (Hubík et al. 1989).

Silice jsou dále široce využívány v kosmetickém a farmaceutickém průmyslu. Je důležité poznamenat, že účinky bylinných drog, silic a izolovaných látek mohou být různé. Samotné silice se využívají například jako dráždivé prostředky pro kůži (součást mastí pro léčbu revmatismu), protizánětlivé látky, látky podporující vykašlávání, zvyšující chuť k jídlu nebo mírně močopudné látky. Je třeba mít na paměti, že silice mohou mít také nežádoucí účinky. Některé složky silic mohou dráždit kůži nebo sliznice, zejména při vyšších koncentracích, a mohou působit jako alergeny. V některých silicích mohou být obsaženy i jedovaté látky, například thujon, který je obsažen v šalvěji lékařské (*Salvia officinalis* L.), pelyňku pravém (*Artemisia absinthium* L.), vratiči obecném (*Tanacetum vulgare* var. *boreale* (Fisch. ex DC.) Trautv. & C.A.Mey) a zeravu západním (*Thuja occidentalis* var. *aurea* J.Nelson) (Radulović et al. 2017; Aziz et al. 2018).

3.1.3 Prodloužení skladovatelnosti brambor s využitím silic

Jedlé hlízy brambor (*Solanum tuberosum* L.) jsou řazeny mezi nejdůležitější a nejrozšířenější plodiny na světě, které se sklízí sezónně, a proto je potřeba zajistit její skladovatelnost. Uchování brambor v optimální kvalitě a trvanlivosti je klíčovým aspektem pro zajištění potravinové bezpečnosti a minimalizaci ztrát. Nicméně, brambory jsou náchylné k několika problémům, které mohou ovlivnit jejich uchovatelnost. Jedná se zejména o klíčení

a mikrobiální napadení brambor. Tato rizika lze potlačit použitím silic (Dvořák et al. 2014; Greene 2023).

3.1.3.1 Potlačení klíčení

Mezi hlavní problém dlouhodobého skladování patří již zmíněné klíčení. Jedná se o proces, při kterém brambory vytvářejí výhonky, což výrazně ovlivňuje jejich chuť, texturu a kvalitu. Klíčení je reakcí na změny a světelných podmínek během skladování. Má vliv na kvalitu hlíz, jejich hmotnost i nutriční obsah. Zvyšující se zájem o zdraví a bezpečnost potravin vede spotřebitele k nákupu potravin, na které byly aplikovány pesticidy, nejlépe v co nejmenším množství (Owolabi et al. 2012, Greene 2023).

Jednou z metod k potlačení klíčení je použití nízkoenergetických elektronů a gama záření. Nevýhodou této metody je, že její aplikace je drahá. Mezi další metody kromě již zmiňované aplikace silic patří tlaková léčba nebo aplikace biologických činidel *in vitro* pro kontrolu infekce s různým stupněm úspěšnosti. Snahou je užívat metody, které nemají nepříznivý vliv na životní prostředí a zvířata (Owolabi et al. 2012).

Na potlačení klíčení brambor mohou mít příznivý vliv již zmiňované silice. Aplikace silic na skladování brambor může být užitečným způsobem, jak prodloužit trvanlivost a zachovat kvalitu těchto, ale i dalších plodin. Silice, které jsou extrahovány z aromatických rostlin, mohou mít již zmiňované antibakteriální, antifungální a antioxidační vlastnosti, které mohou pomoci snížit rozklad brambor a zabránit jejich poškození (Dvořák et al. 2014; Greene 2023).

Například ve studii Owolabi et al. (2012) byly pozorovány silice z: muškátovníku pravého (*Monodora myristica* Dunal) citronové trávy (*Cymbopogon citratus* (DC. ex Nees)), červeného zázvoru (*Zingiber officinale* var. *rubrum* Theilade), západoafrická jitrocelovitá rostlina (*Lippia multiflora* Moldenke), zázvoru pravého (*Zingiber officinale* Roscoe). Nejvíce efektivní se ukázalo ošetření silicí z *L. multiflora* a *C. citratus*. Výsledky studie vypovídají o účinku silic na inhibici klíčení brambor a snižování doprovodného úbytku hmotnosti. Výhodou je, že se jedná o přírodní extrakty, tudíž v hlízách nezůstávají syntetické chemikálie (Owolabi et al. 2012).

S cílem najít účinné inhibitory klíčení bramborových hlíz byly prováděny výzkumy zaměřené na zkoumání přírodních sloučenin, jako jsou silice a monoterpeny v nich obsažené. Jednou z těchto sloučenin je S-karvon, který se běžně extrahuje ze silice kmínu (*Carum carvi*) a je komerčně dostupný (např. jako Talent™) v Holandsku a Švýcarsku. Další sloučeniny, jako cineol, fenchon, menthon, neomentol, karvon/ β -cyklodextrinová inkluzní sloučenina, a alifatické aldehydy a ketony, byly také zkoumány pro svou schopnost potlačit klíčení bramborových hlíz (Gómez-Castillo et al. 2013; Thoma & Zheljazkov 2022).

Z oficiálně registrovaných produktů obsahujících silice pro potlačení klíčení brambor je v Evropě často používán Biox-M, který obsahuje 100% silici z máty (*Mentha spicata* L.), jejíž aktivní složkou je R-(-)-karvon (L-karvon). Dále se také používá 100% silice z kmínu (*Carum carvi* L.). Aktivní složkou kmínové silice je S-(+)-karvon (D-karvon), enantiomer L-karvonu vyskytujícího se v silici z máty. D-karvon se rozkládá na dihydrokarvon a dihydrokarveol, které jsou považovány za bezpečné. Opakovanou aplikací D-karvonu lze dosáhnout potlačení klíčení po dobu až 274 dnů s podobnou účinností jako v Evropě zakázaná chemická látka chlorpropham (CIPC) (Burgos et al. 2020; Thoma & Zheljazkov 2022). Silice z máty může také představovat

environmentální rizika, pokud je uvolněna do vodních toků při mytí brambor. Při vysokých dávkách může u ryb způsobovat stres, zvýšení hladiny kortizolu a potenciálně vést k úhynu (Zahl et al. 2012).

Dalším oficiálně registrovaným produktem je Biox-C obsahuje 100% silici z hřebíčkovce (*Syzygium aromaticum* L.), hlavní aktivní složkou je eugenol. Opakované aplikace Biox-C mohou dosáhnout podobných výsledků jako Biox-M. Produkty rozkladu eugenolu zahrnují kyselinu ferulovou, vanilin a vanilinovou kyselinu, které jsou pro člověka považovány za bezpečné. Nicméně, stejně jako Biox-M, i Biox-C může být škodlivý pro vodní organismy. Silice z hřebíčkovce se běžně používá jako anestetikum v akvakultuře, ale pokud se používá nesprávně, může způsobit úhyn ryb (Thoma & Zheljazkov 2022).

V Nizozemsku a Irsku byl v roce 2020 schválen k použití komerční produkt ARGOS. Tento produkt obsahuje silici, která se nachází ve slupkách pomerančů (*Citrus sinensis* L.), přičemž aktivní složkou je D-limonen. Silice z pomerančů je schválena k použití jako prostředek k potlačení klíčení i v USA a prokazuje účinnost u odrůd s delším dormantním obdobím (Saunders S & Harper 2019; Thoma & Zheljazkov 2022). Silice z pomerančů je také pro svou širokou pesticidní aktivitu. Koncentrace do 10 % jsou neškodné pro zdraví člověka (Shukla et al. 2000).

Dalšími druhy rostlinných silic využívaných při skladování brambor je silice z: kopru (*Anethum graveolens* L.), rozmarýnu (*Rosmarinus officinalis* L.), česneku (*Allium sativum* L.), smrku (*Picea mariana*), koriandru (*Coriandrum sativum* L.), merlíku (*Chenopodium ambrosioides* Bert. ex Steud.), citronové trávy (*Cymbopogon citratus* (hort. ex DC.) Stapf)), zázvoru (*Zingiber officinale* Roscoe), citronely (*Cymbopogon nardus* L.) a další. Výběr vhodné silice závisí zejména na podmínkách skladování, jako je teplota, vlhkost a čas a na odrůdě brambor (dlouho nebo krátko dormantní) (Thoma & Zheljazkov 2022).

Výzkum se obvykle soustředí na schopnost těchto sloučenin ovlivnit počet a délku klíčků v bramborových hlízách. Málo studií se však zabývá tím, jak tyto alternativní inhibitory ovlivňují celkovou kvalitu bramborových hlíz, včetně sensorických vlastností po jejich skladování. Boylstonem et al. (2001) porovnával sensorické rozdíly mezi uskladněnými bramborami, které byly ošetřeny konvenčním CIPC (chlorprophamem), jehož použití je v Evropě zakázané. Pro srovnání byly brambory ošetřeny alternativními inhibitory klíčení, jako jsou 1,8-cineol, 1,4-dimethylnaftalen a salicylaldehyd. Výsledky ukázaly, že brambory ošetřené 1,8-cineolem nebo salicylaldehydem se významně lišily od neošetřených brambor a brambor ošetřených CIPC, zatímco brambory ošetřené 1,4-dimethylnaftalénem se od neošetřených brambor nelišily.

Ze syntetických chemických prostředků, které jsou zatím povolené, se používá peroxid vodíku, jehož nevýhodou však je rychlý rozklad na kyslík a vodu a nutnost opakované aplikace (Kleinkopf et al. 2003). Dále se používá plyný ethylen, jehož dlouhodobá expozice potlačuje klíčení, ale zároveň negativně ovlivňuje estetické hodnoty brambor při zpracování. Při aplikaci s methylykloprene (1-MCP) může být tento negativní účinek potlačen (Thoma & Zheljazkov 2022). Také se k potlačení klíčení již od 50.let využívá průmyslově syntetizovaný maleinhydrazid, u nás dostupný pod názvem Fazor. Jeho dalšími chemickými názvy jsou pyridazin-3,6-diol nebo 3,6-dihydroxypyridazin. Fazor je postřikový, systémově působící aktivní regulátor růstu prodáváný ve formě bílých ve vodě rozpustných granulí bez zápachu. Slouží k inhibici klíčení konzumních a průmyslových brambor, rašení konzumní cibule

a sterilizaci žita určeného na produkci námele. Postřik se aplikuje na živé rostliny několik týdnů před sklizní. Rostliny jej tak stihnou zabudovat do cibulí a hlíz. Maleinhydrazid potlačuje buněčné dělení, avšak neomezuje růst buněk. Brání tak klíčení hlíz, ve vyšších koncentracích se používá také jako herbicid (National Center for Biotechnology Information 2024).

Maleinhydrazid má dlouhou tradici používání a byla dosud považována za relativně bezpečnou z hlediska akutní i dlouhodobé a ekologické toxicity v běžných dávkách. Má však i svá negativa. Snadno se rozpouští ve vodě a migruje v půdě, může pronikat do spodních vod. Ve vyšších dávkách byla zjištěna její toxicita pro ryby a vodní organismy. Přímé vystavení živočichů koncentrované látce má mírné až střední toxické účinky, způsobuje podráždění kůže a dýchacích cest. Podle European Food Safety Authority (EFSA) neexistují dostatečně průkazné studie, které by prokázaly neškodnost dlouhodobé expozice reziduí látky v potravinách. V oblasti toxikologie savčích organismů nebylo provedeno dostatek reprezentativních genotoxikologických studií a nebyly identifikovány vhodné analytické metody (kromě akutních studií inhalace a senzibilizace kůže). Chybí také relevantní mezidruhové srovnávací studie in vitro metabolismu včetně lidského materiálu a objasnění, nakolik látka narušuje fungování endokrinního systému živočichů. Hydrazin, jeden z možných produktů chemického rozkladu maleinhydrazidu, má prokazatelné karcinogenní a mutagenní účinky. Pro posouzení rizik pro spotřebitele by bylo potřeba objasnit genotoxický potenciál dalších produktů, např. metabolitu 3-pyridazinonu a důsledky jeho dlouhodobé expozice. Některé studie v této oblasti budí obavy o bezpečnost dlouhodobé konzumace ošetřených potravin (EFSA 2016). Přestože se tato látka používá více než 50 let, lze na základě současných výzkumů očekávat nárůst legislativní regulace, což zvyšuje motivaci k hledání alternativních řešení prodloužení skladování cibulí a hlíz (Boivin et al. 2020).

Nedávno byly navrženy jedlé povlaky obsahující gel z aloe vera jako potenciální prostředky k potlačení klíčení brambor. Jsou široce dostupné a relativně levné. Jedlé povlaky se snadno aplikují na ovoce a zeleninu, aby prodloužily jejich skladovatelnost a dobu trvanlivosti omezením výměny plynů a omezením ztráty vody. Při použití těchto jedlých obalů u brambor byl prokázán příznivý účinek proti mikrobiálnímu napadení, dále bylo potlačeno klíčení a zlepšily se senzorické vlastnosti (Emragi et al. 2022)

3.1.3.2 Zamezení mikrobiálního rozkladu

Dalším problémem, se kterým se během skladování brambor můžeme setkat, je mikrobiální kažení. Brambory mohou být napadány různými mikroorganismy, jako jsou bakterie, plísně a kvasinky. Tyto mikroorganismy mohou způsobit s nimi související choroby a znehodnocení brambor. Mezi nejrozšířenější choroby je řazena měkká hniloba, kterou způsobuje rod bakterií *Pectobacterium* sp. z čeledi *Enterobacteriaceae*. Při vysokých teplotách a za anaerobních podmínek je obvykle šíření onemocnění urychlováno. V případě, že je rostlina napadena, vylučuje patogen enzymy jako je pektátlyáza, polygalakturonáza, proteáza a celulóza, které způsobují degradaci rostlinné buněčné stěny. V důsledku jejich působení dochází k maceraci rostlinné tkáně a rozvoji infekce (Hajian-maleki et al. 2019). Choroby mohou přenášet škůdci, kteří napadají nať a hlízy brambor. Jedná se například o mšice, které jsou schopny přenášet virózy (Dvořák et al. 2014).

Ve studii Hajan-maleki et al. (2019) došli k závěru, že silice jsou schopny potlačovat měkké hniloby v podmínkách *in vitro* a *in vivo*. Testovali účinek silic proti *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* způsobující měkkou hnilobou brambor a taktéž možné použití silic do obalů při skladování. Analýza pomocí GC-MS ukázala, že hlavními aktivními složkami byl karvakrol, thymol a cis-pinocamphone, což naznačuje, že tyto antimikrobiální látky by mohly sloužit k prevenci ztrát při skladování. Testování probíhalo pomocí konzervačního nátěru hlíz.

3.1.3.3 Postupy a metody aplikace silic na brambory

Pro řešení těchto problémů byly vyvinuty různé postupy a metody aplikace silic na brambory:

- Aplikace silic na povrch brambor: Silice mohou být aplikovány na povrch brambor ve formě roztoku nebo spreje. Tím se vytvoří ochranná vrstva, která pomáhá zabránit mikrobiálnímu růstu a klíčení. Jedním z příkladů látek s antifungálními vlastnostmi jsou ethery. Tyto látky mohou inhibovat růst plísní a bakterií, což může být užitečné při skladování některých potravin, včetně brambor (Atarés & Chiralt 2016).

Existuje několik výzev, které brání širokému použití silic, jelikož mají nízkou rozpustnost ve vodě, omezenou biologickou dostupnost, fluktuaci a nestabilitu v potravinách. Nedávný rozvoj v oblasti nanotechnologie může přispět k překonání těchto vnitřních omezení silic jako konzervačních látek pro potraviny. Použití nanomateriálů jako nosičů silic získává stále větší pozornost v potravinářském průmyslu, jelikož může zvýšit stabilitu a účinnost konzervačních látek při nízkých dávkách. Mezi současné strategie pro enkapsulaci rostlinných bioaktivních sloučenin patří nanoemulze, mikroemulze, pevné lipidové nanočástice a lipozomy (Prakash et al. 2018).

- Kombinace s jinými technologiemi: Slouží k prodloužení trvanlivosti brambor nebo mohou být použity i jako složky biologicky odbouratelných fólií a povlaků pro aktivní balení potravin (Atarés & Chiralt 2016).

Silice mohou poskytovat těmto fóliím a povlakům antioxidační a antimikrobiální vlastnosti, a to v závislosti na jejich složení a interakcích s polymerovou maticí. Antioxidační aktivita není ovlivněna pouze specifickou antioxidační aktivitou silic, ale i permeabilitou fólií pro kyslík. Jejich integrace do jedlých filmů může zvýšit antimikrobiální schopnosti silic. Účinnost jedlého filmu proti růstu mikroorganismů bude záviset na druhu použité silice a typu mikroorganismu. Řízené uvolňování silic z jedlých filmů je dalším faktorem, který má pozitivní vliv na jejich účinnost (Oboo et al. 2014).

- Kombinace s obaly: Silice mohou být integrovány do aktivních obalů, které přímo obklopují brambory. Tyto obaly udržují koncentraci silic v blízkosti produktu a poskytují dlouhodobou ochranu.

Zemag je jen jedním z příkladů inovativního spojení tradičních obalových materiálů s moderními technologiemi. Kombinace silice s obaly nabízí řešení pro uchování potravin s dlouhou trvanlivostí. Tato technologie může být v budoucnu využívána i pro další druhy potravin, což by mohlo vést ke snížení plýtvání a lepšímu využití našich zemědělských produktů (Terpenix s. r. o. 2022-2024).

Zembag, produkt vyvinutý výzkumníky z České zemědělské univerzity v Praze (ČZU), nabízí řešení pro uchování brambor po dlouhou dobu. Tento třívrstevný pytel kombinuje tradiční materiály s moderními technologiemi a dokáže udržet brambory čerstvé po pět měsíců a déle, záleží pouze na tom, jak často se pytel otevírá (Terpenix s. r. o. 2022-2024).

Princip účinku (Terpenix s. r. o. 2022-2024):

- **Materiál a světelná izolace:** Zembag je vyroben z jutoviny s hliníkovou fólií, která brání přístupu světla k bramborám. To je důležité, protože světlo může způsobit zelenání brambor a jejich následnou nekonsumovatelnost.
- **Kmínová silice:** Klíčovým prvkem je vložka se silicí z kmínu, která se postupně odpařuje. Tato silice brání klíčení brambor tím, že ovlivňuje prostředí uvnitř obalu a udržuje optimální vlhkost. Díky tomu brambory zůstávají čerstvé a nevysychají.

3.1.3.4 Výsledky a účinnost aplikace silic na brambory

Studie a výzkum týkající se aplikace silic na brambory ukazují slibné výsledky v prodloužení trvanlivosti a zachování kvality. Tyto studie zahrnují:

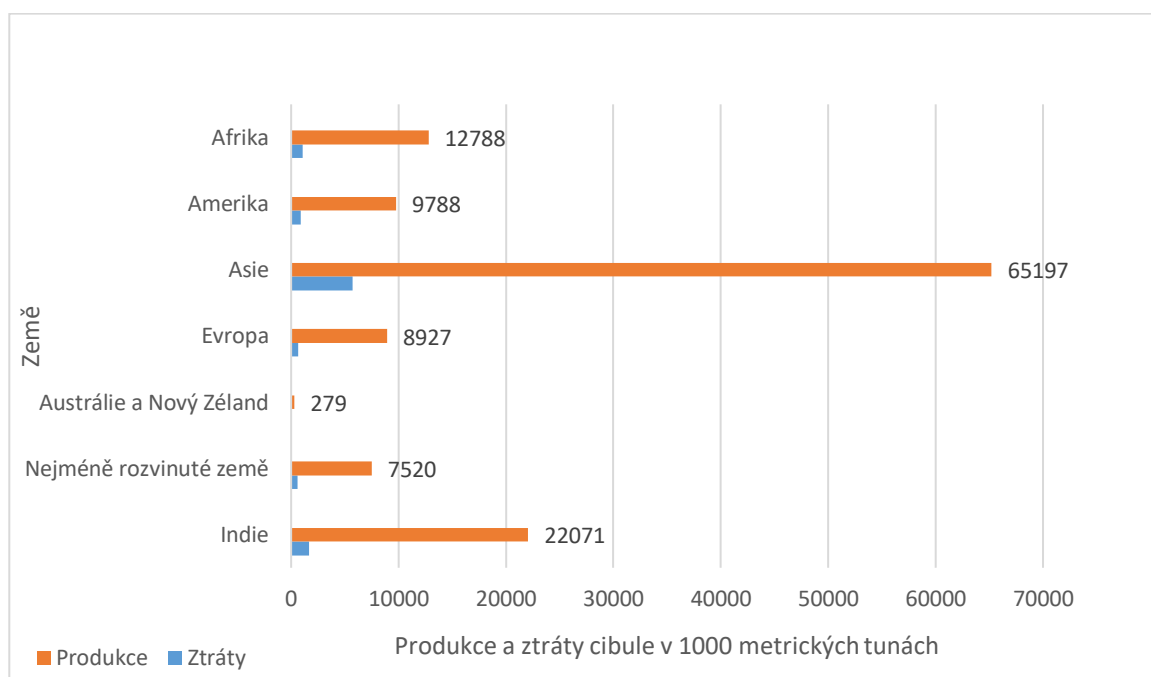
- **Potlačení klíčení:** Aplikace silic může účinně potlačit klíčení brambor, což vede k prodloužení doby skladovatelnosti (Owolabi et al. 2012; Elawady 2022).
- **Snížení úbytku hmotnosti:** Ukázalo se, že díky schopnosti silic minimalizovat ztráty vody a snižovat proces dýchání mohou také snížit úbytek hmotnosti (Elawady 2022).
- **Zamezení mikrobiálního rozkladu:** Silice mají antimikrobiální účinky a mohou bránit růstu mikroorganismů na bramborech (Oboo et al. 2014; Elawady 2022).

Celkově lze konstatovat, že aplikace silic na brambory může významně přispět k prodloužení trvanlivosti a udržení kvality těchto zemědělských produktů. Zároveň je důležité dbát na správné dávkování a bezpečnostní opatření při používání silic, aby byla zajištěna bezpečnost potravin.

3.1.4 Prodloužení skladovatelnosti cibule a česneku s využitím silic

Cibule a česnek mají širokou spotřebitelskou základnu po celém světě, což z nich činí významné komodity na trhu potravin. Indie se řadí mezi přední producenty na světě. Skladování cibule a česneku je pro zemědělce a potravinářský průmysl náročnou výzvou. Při skladování cibule a česneku se často setkáváme s řadou problematických aspektů, které mohou negativně ovlivnit jejich kvalitu a trvanlivost. Největší ztráty má v závislosti na produkci Asie, zejména Indie, naopak nejmenší jsou v Austrálii a na Novém Zélandu, jak můžeme vidět na Grafu 1 (Savitha et al. 2022).

Graf 1: Produkce a ztráty cibule v roce 2018 ve světě (Savitha et al. 2022).



3.1.4.1 Potlačení rašení a zamezení mikrobiálnímu rozkladu

Pro potlačení rašení cibule lze využít Fazor, což je chemický postřik s účinnou látkou maleinhydrazid používaný taktéž u brambor viz kapitola 3.3.3.1 Klíčení brambor, kde je blíže popsán. (Center for Biotechnology Information 2024). O inhibici klíčení cibule silicemi nebyly k nalezení žádné existující studie.

Kromě toho jsou cibule a česnek náchylné k mikrobiálnímu růstu (plísní a bakterií), což může vést k hnilobě a znehodnocení produktu. Studie o posklizňových chorobách zeleniny identifikují několik hub, mezi něž patří *Aspergillus niger*, dále *Penicillium* spp. a *Fusarium* spp., včetně *Fusarium oxysporum*, jako hlavní původce problémů ve skladování zeleniny, zejména cibule a česneku. Kontrola těchto houbových patogenů je zásadní pro udržení kvality těchto produktů. Bylo provedeno mnoho pokusů s cílem dosáhnout zdravějších produktů prostřednictvím tradičních i alternativních opatření (Oh & Kim 2016).

Použití chemických kontrolních prostředků, bylo v posledních desetiletích preferováno pro regulaci zmíněných skladovacích chorob. Nicméně vzhledem k ekologickým a zdravotním problémům spojeným s použitím chemikálií v zemědělství, byly vyvinuty alternativní metody, které zdůrazňují ekologickou šetrnost (Oh & Kim 2016).

Některým typům znehodnocení lze předejít snížením vlhkosti (dehydratací), jelikož dehydratovaná cibule má delší trvanlivost (až 6 měsíců) než čerstvá cibule díky snížené aktivitě vody (a_w). Dále je vhodné dohlížet na kritické kontrolní body při zpracování. Při zpracování lze využít tepelné, netepelné, chemické a biologické úpravy, aby se inaktivovaly mikroorganismy s nimi spojené, zejména *Bacillus cereus*, *Staphylococcus*, koliformní bakterie a *Pseudomonas cepacian*. Lze využít překážkové technologie, například ozon-UV-IR, u potravin není tento způsob ošetření efektivní z důvodu nákladnosti celého procesu (Savitha et al. 2022).

Mezi přírodní metody boje proti patogenům zeleniny patří i využití antagonistických mikroorganismů. Biologická kontrola plísní na zelenině prostřednictvím antagonistických

mikrobů se projevila jako vysoce účinná v regulaci těchto patogenů, i když s určitými omezeními v její spolehlivosti (Oh & Kim 2016).

Další slibnou alternativní metodou úspěšně testovanou i u cibule je použití silic. Existuje zatím jen málo studií specificky u cibule, avšak v současné době jejich počet narůstá. Například ve studii Zhang et al. (2022) byla testována antimikrobiální aktivita silice z dobromysli a hřebíčkovce proti měkké hnilobě cibule způsobené *Pectobacterium carotovorum*. Jedná se o nejčastější bakteriální onemocnění posklizňové cibule. Ukázalo se, že obě silice mají silný inhibiční potenciál in vitro a taktéž vykazovaly dobrý účinek za poloprovozních podmínek. Korejský výzkum o prodloužení skladovatelnosti cibule vedl roku 2023 k patentu KR101569010B. Ve výzkumu byly zkoumány účinky fungicidního ošetření cibule pomocí thymolu (nejvíce zastoupená účinná látka tymiánové silice) ve formě plynu. Různé koncentrace thymolu (5 až 30 ppm) byly aplikovány a cibule byla následně skladována při teplotě 2-4 °C. Bylo prokázáno účinné potlačení konkrétních patogenů jako je plíseň šedá (Se-Cheol et al. 2023).

Cibule a česnek obsahují velké množství silic, které lze využít pro jejich antibakteriální a trvanlivost prodlužující účinky. Česnekové a cibulové silice byly zkoumány ve svém inhibičním účinku na *Aspergillus niger*, patogen způsobující černou plíseň, jak v in vitro, tak v in vivo podmínkách. Aplikace byla provedena na loupané a neloupané stroužky česneku. Kompletní inhibice růstu plísně byla dosažena při koncentraci silic a potravinářských konzervačních látek 4 %. Naopak aplikace pouze silic nebo pouze potravinářských konzervačních látek poskytla stroužkům česneku ochranu proti infekci černou plísní v koncentraci 6 %. Což značí, že doplnění silic k běžným chemickým metodám zvýšilo účinnost. Procento infikovaných loupaných a neloupaných stroužků česneku se pohybovalo mezi různými hodnotami za podmínek umělého a přirozeného očkování. Postupné vyčerpání stroužků česneku během skladování sledovalo podobný trend (El-Mougy et al. 2009). Výsledky studie El-Mougy et al. (2009) jasně ukazují, že silice z česneku a cibule mají potenciál jako účinné prostředky pro kontrolu černé plísně na česneku.

3.2 Plýtvání potravin

Lze rozlišovat termíny *ztráta* a *plýtvání* potravin. Ztrátou potravin se rozumí znehodnocení během výroby, po sklizni nebo během zpracování. Oproti tomu k plýtvání potravin dochází až v procesu prodeje v případě, že prodejci objednávají více potravin, než je jejich poptávka, nadměrně velkými porcemi jídel v restauracích, které hosté nedojí nebo také v bufetech, kde se neprodané jídlo na konci dne vyhazuje. (Zukauskas 2022).

Plýtvání potravinami je významným celosvětovým ekologickým, sociálním a ekonomickým problémem. Je jedním z faktorů, které mohou přispívat ke znečištění životního prostředí, tedy emisím skleníkových plynů. Podle vědeckých výzkumů se přibližně jedna třetina potravin vyrobených v USA nikdy nespotřebuje. Omezení plýtvání potravinami je proto zásadním krokem k dosažení udržitelných potravinových systémů a snížení environmentální stopy výroby potravin.

Americká Agentura pro ochranu životního prostředí (EPA) a americké ministerstvo zemědělství (USDA) stanovili národní cíl snížit do roku 2030 potravinové ztráty a plýtvání potravinami na polovinu. Potravinový odpad mají za cíl využít propojením potenciálních dárců

potravin s organizacemi na pomoc hladovějícím, jako jsou potravinové banky a spižirny, nebo darováním použitých tuků, olejů a tuků k výrobě bionafty (EPA 2023).

V Evropě byl stanoven balíček opatření pro udržitelné využívání přírodních zdrojů, který je klíčovou součástí snah o dosažení klimatické neutrality do roku 2050 v rámci Green deal (Zelené dohody). Tento balíček byl představen 11. 12. 2019 a zahrnuje řadu cílů zaměřených na zlepšení odolnosti půdy, udržitelnosti a odolnosti potravinových systémů, zlepšení reprodukčního materiálu rostlin a lesů a snížení odpadu z potravin a textilu. Hlavním cílem této dohody je snížení emisí skleníkových plynů o minimálně 55 % do roku 2030 a do roku 2050 dosáhnout nulových emisí. Plán si také klade za úkol podpořit biodiverzitu a schopnost systémů vázat uhlík, proto je jeho dalším významným cílem výsadba 3 miliard stromů do roku 2030. Součástí Green Deal je strategie s názvem The Farm to Fork Strategy (Od zemědělce ke spotřebiteli), která byla přijata v květnu 2020 a má za cíl vyprodukovat dostatek zdravých potravin šetrných k životnímu prostředí. (Evropská komise 2019-2024).

Řešení problému plýtvání potravinami bude v konečném důsledku vyžadovat společné úsilí politiků a obchodního sektoru a zároveň spolupráci na individuální úrovni ze strany zaměstnanců a spotřebitelů. Vlády mohou podporovat snižování plýtvání potravin prostřednictvím legislativních opatření, vzdělávacích kampaní a podpory inovativních technologií pro zlepšení zpracování a distribuce potravin. V rámci obchodního sektoru by měly být zavedeny efektivnější postupy při distribuci a prodeji potravin, včetně optimalizace objednávek a správy zásob. Na individuální úrovni mohou spotřebitelé přijmout opatření ke snížení plýtvání potravin, jako je lepší plánování nákupů, správné skladování potravin a kreativní využití zbytků. Nakládání s potravinovým odpadem a jeho omezování mají zásadní význam pro podporu udržitelnosti v rámci potravinového řetězce (FAO 2024). Efektivitou školení zaměstnanců se zabývala studie Montesdeoca-Calderón et al. (2024), která identifikovala tři odlišné segmenty restaurací na základě úrovně školení zaměstnanců. Zaměstnanci s nízkým školením vykazovali vyšší plýtvání potravinami při přípravě pokrmů. Zaměstnanci vysoce proškolení vykazovali nízké plýtvání potravinami, zejména prémiovými potravinářskými výrobky. Středně proškolení zaměstnanci vykazovali střední úroveň potravinového odpadu. Z této studie vyplývá význam investic do školení zaměstnanců s cílem zlepšit postupy udržitelnosti a omezit plýtvání potravinami. Tyto investice mají zásadní význam pro podporu udržitelnosti životního prostředí a usnadnění informovaného rozhodování mezi zúčastněnými stranami.

Spotřebitelé rovněž nakupují větší množství potravin, než jsou schopni zkonsumovat do data jejich expirace, čímž dochází k další formě plýtvání. V neposlední řadě může přispět k vyhození potravin nesprávná přeprava a skladování potravin. Vliv na způsob zpracování vedlejších produktů masa mají také kulturní a náboženské zvyklosti dané země. Jedná se například o krev, střeva, mozek nebo jiné jedlé orgány, které se v některých zemích považují za odpad a jinde se konzumují v rámci pokrmů (Zukauskas 2022).

Konzumace zkažených potravin s sebou nese riziko řady onemocnění. Proto byl na základě experimentu na řadě potravin (banánu, chlebu, mléku, vejci a listové zelenině) vytvořen systém sledování SLED. Z naměřených dat byl sestaven algoritmus, který dle data uvedeného na obale a počtu dní do zkažení předpovídá, zda bylo jídlo zkaženo. Uživatel má možnost dle svých pozorování zlepšovat algoritmus a přikládat nová data o stavu potravin (Mamidala 2023).

Taktéž je snaha zamezit ztrátám během skladování. Existuje řada způsobů, jak trvanlivost potravin prodloužit.

3.3 Prodloužení trvanlivosti a způsoby balení dle okolního mikroprostředí

Po staletí lidé vyvíjeli metody pro zachování svých zásob potravin a bránění růstu nežádoucích mikroorganismů. Zavařování, pasterizace, sušení, mražení, chlazení, uzení a fermentace jsou dodnes nejčastěji používanými metodami konzervace. K prodloužení skladovatelnosti potravin lze také za dodržení přísných norem využít ozon (či peroxid vodíku) (Ozdemir & Floros 2004; Arokiyaraj et al. 2024).

Ozon je vysoce reaktivní plyn a jeho účinky zahrnují odstranění pachů, plísní, bakterií a dalších mikroorganismů, které mohou růst v chladírnách. Mechanismus působení spočívá v rozkládání ethylenu, plynu podporujícího proces zrání ovoce a zeleniny, na oxid uhličitý a vodu. Tímto způsobem ozon pomáhá zpomalit proces zrání a brání růstu mikroorganismů, což má za následek prodloužení trvanlivosti potravin. Použití ozonu je dobrou alternativou k chemickému ošetření za použití chlóru (Głowacz et al. 2015; Xue et al. 2023)

Trvanlivost potravin lze zajistit i použitím přídatných látek do potravin. Jedná se o látky, které plní zvláštní funkce (barva, chuť apod.) a napomáhají technologickému pokroku ve zpracování potravin. Do potravin je v současné době přidáváno více než 2 500 takových látek. Dalším důležitým prostředkem při prevenci kontaminace jsou chemické antimikrobiální látky. Sáčky a filmy obsahující antimikrobiální látky mohou být účinné při potlačování povrchového růstu mikroorganismů a prodloužení trvanlivosti, aniž bychom museli do potravin přidávat velké množství chemikálií negativně ovlivňujících sensorické nebo zdravotní kvality (Branen et al. 2001).

Cílem potravinářského balení je hledat vhodné materiály a metody balení pro minimalizaci potravinových ztrát. Aktivní obaly představují inovativní přístup k ochraně potravin, který umožňuje prodloužit jejich trvanlivost a zachovat jejich výživovou kvalitu. Jejich podstatou je využívání pomocných látek, jako jsou absorbenty kyslíku a vlhkosti, látky generující ochrannou atmosféru, antimikrobiální nebo antioxidační látky. Během posledních desetiletí se poptávka po bezpečném a pohodlném balení potravin, které dlouho vydrží, neustále zvyšuje. Důležité příklady aktivního balení zahrnují emitory ethanolu, systémy uvolňování/absorbování chuti, indikátory času a teploty a antimikrobiální filmy. Trh s aktivními obalovými filmy je v současné době celosvětově malý, činí zhruba 50 milionů dolarů, ale očekává se, že bude rychle růst (Ozdemir & Floros 2004).

3.3.1 Aktivní balení

Aktivní obaly můžeme definovat jako balení, ve kterém jsou cíleně zakomponovány pomocné složky (buď do materiálu obalu, nebo do volného prostoru uvnitř obalu) za účelem zlepšení efektivity obalového systému. Existuje mnoho technologií, které lze považovat za aktivní obaly. Jde o sofistikovaný systém, který zahrnuje interakce mezi obalem nebo jeho složkami a potravinami nebo vnitřní atmosférou obalu. Užití aktivních obalů zároveň usiluje o snížení negativního vlivu balení na životní prostředí a snížení problémů s likvidací odpadu (Ozdemir & Floros 2004; Kapetanakou et al. 2016).

Typický vícevrstvý film s antimikrobiálními vlastnostmi obsahuje čtyři vrstvy: vnější vrstvu, bariérovou vrstvu, vrstvu s antimikrobiální látkou a ochrannou vrstvu. Nejedlé antimikrobiální filmy, používané jako aktivní obaly, můžeme rozdělit na filmy obsahující antimikrobiální látky, které pronikají na povrch potraviny a na filmy u nichž látka zůstává vázána na jejich povrchu. Jedním z problémů, se kterými se výrobci antimikrobiálních filmů potýkají, je, že aktivní látka může umístěním do filmu částečně nebo zcela ztratit svou antimikrobiální účinnost. Využívají se proto složité polymerní materiály a látky se někdy přidávají ve formě derivátů (Kuorwel et al. 2011).

Historie používání aktivních obalů sahá do 20. století, kdy začaly vznikat první metody pro kontrolu atmosféry uvnitř obalů, jako je změna obsahu kyslíku nebo prodlužování doby trvanlivosti potravin. V průběhu let se technologie aktivních obalů stále vyvíjela a zdokonalovala. Dnes se aktivní obaly využívají ve velké škále odvětví potravinářského průmyslu a jejich význam neustále roste v souvislosti s nárůstem zájmu o bezpečnost a kvalitu potravin (Arokiyaraj 2024).

Pomocnými látkami mohou být například absorbenty kyslíku, absorbenty vlhkosti, bariéry proti ultrafialovému záření, antioxidanty nebo antimikrobiální látky (Otoni et al. 2016). Kyslíkový absorpční systém oxidující železo byl poprvé vyvinut a představen na trh potravinových obalů společností Mitsubishi Gas Chemical Company pod názvem Ageless. Aktuální studie použití tohoto systému spolu s modifikovanou atmosférou prodloužila trvanlivost kuřecího masa až o 9 dnů (Demirhan & Candoğan 2017).

U potravin, které skladováním ztrácejí barvu, mohou aktivní obaly průběžně doplňovat barvicí látky. Takové systémy již existují například pro udržování požadované červené barvy umělého krabího masa (surimi). Vývoj nových obalových systémů, které chemicky interagují s vnitřním prostředím obalu nebo povrchem potravin, je limitován nejen rozvojem technologií, ale i přísnou legislativní kontrolou (Ozdemir a Floros 2004).

Normy pro materiály a výrobky určené pro použití v aktivních a inteligentních obalech jsou stanoveny evropskými předpisy 1935/2004 a 450/2009. Tyto obalové materiály zachovávají bezpečnost, nutriční kvalitu a senzorické vlastnosti tím, že chrání potraviny před kontaminací nebo znehodnocením tím, že tvoří bariéru proti vnějším podmínkám nebo kontrolují atmosféru uvnitř obalu. Aktivní balení může zahrnovat složky, které se buď přidávají do balených potravin v malých sáčcích, nebo jsou začleněny do obalových materiálů. Inovativní technologie aktivního balení jsou v různých fázích vývoje Wang et al. 2022a; Ahmed et al. 2022).

Aktivní obalové materiály jsou navrženy tak, aby interagovaly s v nich uskladněnými potravinami a prodloužily tak jejich trvanlivost. Mezi příklady aktivních obalových materiálů patří biochemické aktivní filmy. Jedná se o fólie, které obsahují bioaktivní sloučeniny, jako jsou enzymy, které mohou interagovat s potravinami a prodloužit jejich trvanlivost. Aktivní obaly využívající antimikrobiální látky mohou zabránit nebo inhibovat růst mikroorganismů, které způsobují kažení potravin. Na podobném principu fungují i obalové materiály s antioxidační schopností, které mohou zpomalit nebo zabránit oxidaci tuků a olejů v potravinách, které jsou příčinami žluknutí a nepříjemné chuti. Kromě toho existují obalové materiály, které mohou absorbovat nebo uvolňovat plyny jako je kyslík, oxid uhličitý a dusík, aby udržely optimální atmosféru pro potraviny a prodloužily jejich trvanlivost. V neposlední řadě lze regulovat obsah vlhkosti, ethylenu a ethanolu (Vira 2022; Ross 2023), což bude

podrobněji rozebráno v jednotlivých podkapitolách. Jednotlivé typy aktivních obalů se často v konkrétním balení kombinují, čímž je dosahováno optimální účinnosti v potlačování růstu mikroorganismů. Příklady aktivních látek využívaných u jednotlivých typů dle účinku v obalu lze vidět na Obrázku 2.

Obrázek 2: Aktivní látky dle účinku v obalu a typu potraviny (Vira 2022).



3.3.1.1 Absorpční sáčky a vícevrstvé systémy

Nejběžnější kyslíkové absorpční systémy jsou založeny na oxidaci železného prášku nebo na odstraňování kyslíku biochemicky pomocí enzymů. V prvním případě je železo uchováno v malém sáčku, vysoce propustném pro kyslík a obvykle i pro vodní páru. Zde je železo postupně oxidováno na oxid železnatý, čímž spotřebovává okolní kyslík a snižuje jeho hladinu. Kyslíkové absorpční systémy založené na oxidaci železa jsou používány v obalech mnoha potravin s různě vysokým obsahem vlhkosti a také potravin obsahujících tuky. Lze je použít při skladování v chladírnách a mrazírnách, a dokonce i u potravin vhodných pro použití v mikrovlnné troubě. V enzymatických kyslíkových absorpčních systémech reaguje enzym se substrátem, přičemž tato reakce spotřebovává kyslík. Enzymové systémy jsou dražší než systémy založené na železu a jsou také citlivé na teplotu, pH nebo vlhkost (nejsou většinou vhodné pro tekuté potraviny). Zároveň jsou sáčky s těmito enzymy zdraví nebezpečné při náhodném požití. Tyto nevýhody brání jejich širšímu využití (Wyrwa & Barska 2017).

Absorpční sáčky lze skrývat pomocí sekundárních obalů, aby nebyly viditelné, to však zvyšuje náklady. Zajímavou technologií je vkládání absorpčních substancí přímo do obalu. Pro absorpci kyslíku přítomného uvnitř obalu se používá kyslíkový absorbent vložený do vrstvy s vysokou propustností pro kyslík. Přístup kyslíku z vnějšího prostředí do kyslík absorbující vrstvy je omezen bariérovou vrstvou, která je pro kyslík zcela neprostupná. Vnitřní ochranná vrstva minimalizuje migraci kyslíkového absorbentu do potraviny. Kyslíkovým absorbentem může být například směs kyseliny gallové a uhličitanu sodného (Pant 2017).

3.3.1.2 Absorpční film

Absorbenty ve formě filmů umožňují absorpci kyslíku ze všech povrchů potravin, které s filmem přicházejí do kontaktu. Byl například přidán železný prášek do polyethylenové fólie

(LDPE), která poté účinně absorbovala kyslík a byla vhodná pro potravinové balení. Rychlost absorpce kyslíku filmem se měnila v závislosti na ploše a tloušťce filmu. I když jsou filmy obsahující železný prášek účinnými kyslíkovými absorbenty, mohou dodávat potravinám nežádoucí chuť (Ozdemir & Floros 2004).

Společnost Cryovac vyvinula absorpční film založený na polymerech, který může překonat tyto negativní vlivy. Využívá technologii, která je pro spotřebitele neviditelná, protože absorpční část je součástí jedné vrstvy obalu. Tento materiál je stejně účinný pro mokré i suché potraviny, protože jeho absorpční účinek je spuštěn "na požádání" na linii balení procesorem pomocí procesu pouštěného ultrafialovým světlem.

3.3.1.3 Absorbenty vlhkosti

Kontrola nadměrné vlhkosti je důležitá pro potlačení růstu mikroorganismů v potravinách a zabránění vzniku neestetického zamlžení obalu. Nejběžnějším pohlcovačem vlhkosti je silica gel, protože je netoxický a neoxiduje. Využívají se i molekulární síta, přírodní jíly, vápenec nebo modifikovaný škrob. K absorpci vody v balených potravinách se používají různé systémy pohlcovačů vlhkosti, například v podobě deček, podložek (u masa, ryb) nebo pohlcovacích sáčků (sušené potraviny – chipsy, oříšky, koření apod.). Dalším způsobem, jak z potravin odstraňovat vlhkost, je použití polymerního filmu s vrstvou absorbující vlhkost, který je vyroben z kopolymeru polyesteru a z polyuretanové, akrylové a vinylové pryskyřice (Rooney 1995).

3.3.1.4 Emitory a absorbenty oxidu uhličitého

Vysoká hladina oxidu uhličitého hraje prospěšnou roli při zpomalení růstu mikroorganismů na povrchu masa a při zpomalení rychlosti oxidace ovoce a zeleniny. Plastové fólie obvykle snáze propouštějí oxid uhličitý než kyslík, a ten proto z obalu rychleji uniká. U velmi propustných obalů se vyplatí použít systém, který jej bude průběžně uvolňovat. Emitory oxidu uhličitého se často používají společně s pohlcovači kyslíku. Existují naopak i potraviny, u nichž je při skladování potřeba pohlcovat oxid uhličitý. Ten se uvolňuje například z čerstvě pražené kávy, a to v takovém množství, že může způsobit prasknutí obalu (Ozdemir a Floros 2004).

Společnost Multiform Desiccants vyvinula sáček na pohlcování CO₂, který se skládá z porézní obálky obsahující oxid vápenatý a dehydratačního činidla, jako je silikagel, které pohlcuje vodu. V tomto systému reaguje voda s oxidem vápenatým za vzniku hydroxidu vápenatého, který poté reaguje s CO₂ a vytváří pevný uhličitán vápenatý.

3.3.1.5 Absorbenty ethylenu

Ethylen je plyný rostlinný hormon stimulující růst, urychlující zrání a stárnutí ovoce a zeleniny. Ethylen také zrychluje rozklad zeleného barviva chlorofylu. Odstranění tohoto plynu z blízkosti potravin prodlužuje dobu trvanlivosti. Bylo prokázáno, že absorbenty ethylenu jsou účinné při skladování baleného ovoce, včetně kiwi, banánů nebo avokáda (Jozwiak et al. 2000).

Nejznámější, levný a hojně používaný systém na absorpci ethylenu se skládá z manganistanu draselného smíchaného s oxidem křemičitým. Ten absorbuje ethylen a manganistan jej oxiduje na ethylenglykol. Oxid křemičitý je uložen do sáčku s vysokou propustností ethylenu nebo může být součástí obalového filmu. Manganistan draselný se však kvůli své toxicitě nedá integrovat do povrchu potravinového obalu. Povrchová plocha substrátu a množství manganistanu draselného ovlivňují efektivitu těchto systémů (Zagory 1995).

Další systém pro absorpci ethylenu je založen na impregnaci zeolitu manganistanem draselným a následném pokrytí zeolitu amoniiovým kationtem. Tento systém může absorbovat nejen ethylen, ale také další organické sloučeniny, jako jsou benzen, toluen a xylen (Ozdemir & Floros 2004). Jiný absorpční systém ethylenu na bázi aktivního uhlí a PdCl (katalyzátor) efektivně zabránil měknutí kiwi a banánů a snížil ztrátu chlorofylu u špenátových listů skladovaných při teplotě 2 °C (Abe & Watada 1991).

Absorbenty ethylenu jsou komerčně dostupné pod různými názvy, jako je Evert-Fresh (Evert-Fresh Co, USA), Ethylene Control (Ethylene Control Incorporated, USA) a Peakfresh (Peak Fresh Products, Austrálie).

3.3.1.6 Emitory ethanolu

Ethanol je účinným inhibitorem růstu plísní, čehož lze využít například k prodloužení trvanlivosti pečiva (Subramaniyan et al. 2022). Ethanol také změkčuje proteinovou síť v pečivu, zejména ve spojení se silicemi, čímž se zabráňuje stárnutí a ztvrdnutí (Melini & Melini 2018). Přidání ethanolových emitorů prodloužilo trvanlivost chleba až o 24 dnů na základě sensorického a mikrobiologického hodnocení. Při kombinaci ethanolových emitorů s absorbenty kyslíku se trvanlivost zvýšila až o 30 dní (Latou et al. 2010). Použití ethanolového emitoru prodloužilo trvanlivost Ciabatta chleba na 16 dní bez negativního vlivu na mikrobiologickou kvalitu. Přítomnost ethanolu neměla žádný výrazný vliv na sensorické vlastnosti produktu (Hempel et al. 2013).

Lze jej aplikovat postřikem, nebo ve formě sáčků či filmů v obalech. Pomalé nebo rychlé uvolňování ethanolu z nosného materiálu v sáčku do prostoru balení je regulováno propustností sáčku pro vodní páru. Ethanol absorbovaný v nosném materiálu se vyměňuje za vodu, která do sáčku postupně proniká. Některé sáčky mohou kromě ethanolu obsahovat stopové množství aromatických látek (např. vanilka) k maskování alkoholového zápachu v balení. Účinnost systému generujícího ethanol závisí především na typu a velikosti nosného materiálu, množství ethanolu zachyceného nosným materiálem, propustnosti materiálu sáčku pro vodní páru a ethanol, vlhkosti potravin a propustnosti folie balení pro ethanol (jak rychle z balení uniká) (Seiler & Russel 1993).

Filmy obsahující ethanol nejsou na trhu tak rozšířené jako sáčky kvůli problémům spojeným s kontrolovaným uvolňováním ethanolu z filmů do hlavního prostoru balení. Filmy s ethanolem obvykle vyžadují další vrstvy k udržení ethanolu a jeho kontrolovanému uvolňování, což zvyšuje náklady na tyto systémy, tudíž hlavní nevýhodou systémů generujících ethanol je absorpce ethanolové páry potravinou z balení. Ačkoli se úroveň ethanolu může snížit na zanedbatelné hodnoty ohřevem, potraviny spotřebované bez ohřevu mohou obsahovat zbytkový ethanol (Ozdemir & Floros 2004).

3.3.2 Inteligentní balení

Inteligentní obal je vybaven senzory, elektronikou nebo mikročipy, které umožňují sledování a sběr informací o stavu produktu nebo prostředí, ve kterém se nachází. Tyto informace mohou být pak přenášeny a analyzovány prostřednictvím bezdrátové sítě. Inteligentní obaly mohou například monitorovat teplotu, světelné podmínky, neporušenost obalu nebo sledovat, zda byl obal otevřen (Dirpan et al. 2022). Zatímco aktivní obaly se zaměřují na ochranu a prodloužení trvanlivosti, inteligentní obaly mají spíše funkci sledování a poskytování informací o produktech a jejich okolí. Oba typy obalů však mohou být využity k zajištění kvality a bezpečnosti výrobků v logistickém řetězci a lepšímu informování spotřebitelů (Fabech et al. 2000).

Inteligentní balení usnadňuje logistiku, díky nim lze například sledovat čerstvost potravin. Tyto inovativní způsoby balení umožňují trvalé sledování stavu kvality produktu a sdílení relevantních informací se zákazníkem. Jejich cílem je nejen snížit plýtvání potravinami, ale také optimalizovat spokojenost zákazníků. Přestože nejsou široce rozšířené, tak mají potenciál (Müller & Schmid 2019).

Využití inteligentních obalů má velký potenciál především u masných výrobků, jejichž zhoršená kvalita může být zdraví nebezpečná. Bezpečnost a kvalita masných výrobků jsou proto základními hodnotami. Jsou velmi závislé na použitých ingrediencích a technikách balení. Kombinace aktivního a inteligentního obalování je schopná zachovat kvalitu produktu, prodloužit dobu trvanlivosti a zároveň monitorovat zhoršování kvality (Dirpan et al. 2022).

Zhoršování kvality potravin lze dobře monitorovat také pomocí změny pH. Flexibilní nanokompozitní materiál na bázi glycerolu a diaminu byl použit k detekci a barevné signalizaci těchto změn. Obalový nanomateriál byl voděodolný a dobře odolával i mechanickému poškození. Drobnými úpravami složení lze navíc nastavovat citlivost senzoru pro využití u různých potravin v různých podmínkách (Pounds et al. 2021).



Obrázek 3: Schéma kombinace inteligentního a aktivního balení masa (Dirpan et al. 2022).

Podle druhu indikované změny je můžeme rozdělit na teplotní indikátory, indikátory složení atmosféry, indikátory čerstvosti a radiofrekvenční indikátory.

3.3.2.1 Indikátory tepelného poškození

Využívají se zejména u chlazených a mražených potravin, u kterých by jinak bylo těžké poznat, zda nebyly v průběhu skladování vystaveny vyšším teplotám (např. částečně rozmrazeny). Do této kategorie patří teplotní indikátory (TI – Temperature Indicators), které

detekují dosažení kritické teploty a TTI (Time-Temperature Indikators), které sčítají celkový teplotní efekt a umožňují odhadnout průměrnou teplotu během skladování, respektive překročení určité předem nastavené bezpečnostní hranice.

Indikační systémy fungují obvykle na základě změny barvy, která značí pokles kvality potravin. Existují však také indikátory, které reagují viditelnou mechanickou deformací. Tepelné indikátory musí splňovat některé požadavky, např. spolehlivá aktivace, citlivost, korelace signalizace se ztrátou kvality potravin, odolnost systému vůči poškození, nevratnost signalizační změny nebo srozumitelnost. Jsou zatím komerčně dostupné pro zmražené, chlazené potraviny a tepelně zpracované potraviny nebo pro potraviny balené v modifikované atmosféře. Vývoj těchto technologií je zatím stále na začátku (Raghuvanshi et al. 2023).

3.3.2.2 Indikátory složení atmosféry

Do této kategorie patří především indikátory zvýšené koncentrace CO₂ (souvisí s růstem aerobních mikroorganismů) a zvýšené koncentrace kyslíku, která značí porušení celistvosti obalu. Detekce kyslíku pomocí optických senzorů je stále více zajímavá, zejména v modifikovaném atmosférickém balení potravin (MAP), ve kterém je balení obsahující potraviny vyplňováno plynem, jako je oxid uhličitý nebo dusík (Mills 2005).

Pomocí běžně dostupné termální inkoustové tiskárny, na buď celulózový papír nebo plastový transparentní film, lze vytvořit kolorimetrické CO₂ indikátory, které mění barvu v závislosti na výskytu CO₂. Využívá se pH-dependentních barviv (M-krezolová violeť nebo fenolová violeť, tetrabutylamonium hydroxid, ethylcelulóza, rozpouštědlo 1:2 ethanol:1-butanol). Papírové indikátory mají vyšší citlivost na CO₂, výrazněji mění barvu a snáze se vyrábějí než ty tištěné na plastovém filmu. Variace intenzit tisku obou pH barviv vedly k různorodým indikátorům s možností nastavitelné citlivosti detekce CO₂. Metoda inkoustového tisku je jednoduchá a mimořádně flexibilní pro vývoj indikátorů k detekci CO₂, plynu naznačujícího zhoršení kvality v mnoha potravinářských výrobcích. Jde o slibnou metodu praktické aplikace indikátorů v inteligentních systémech potravinového balení (Zhang 2016).

3.3.2.3 Indikátory čerstvosti

Zhoršování kvality potravin lze dobře monitorovat kromě zvýšené koncentrace CO₂ také pomocí změny pH. Flexibilní nanokompozitní materiál na bázi glycerolu a diaminu byl použit k detekci a barevné signalizaci těchto změn. Obalový nanomateriál byl voděodolný a dobře odolával i mechanickému poškození. Drobnými úpravami složení lze navíc nastavovat citlivost senzoru pro využití u různých potravin v různých podmínkách (Pounds et al. 2021).

Mimo koncentrace CO₂ nebo změn pH lze detekovat také další produkty škodlivých mikroorganismů, například sirovodík nebo amoniak produkovaný anaerobními mikroorganismy. Sulfidové bakterie, jako je *Desulfovibrio*, mohou produkovat sirovodík, zatímco aminové bakterie, například *Clostridium*, mohou vytvářet amoniak. Tyto mikroorganismy jsou běžně spojovány s rozkladem masa a vytvářením nepříjemných pachů a změn v jeho konzistenci. V roce 2017 byl vyvinut systém pro monitorování čerstvosti ryb, který kombinuje více prvků inteligentních obalů. Využívá elektronické senzorové moduly pro měření teploty a koncentrace plynu sirovodíku (H₂S) nebo amoniaku (NH₃) v obalu. Ryby jsou klasifikovány do čtyř tříd: dobrá, normální, riziková a špatná. Senzorový štítek umožňuje

přesné monitorování teploty v rozmezí -40 až 105 °C, koncentrace H₂S 0–200 ppm a NH₃ 0–100 ppm (Chung et al. 2017).

3.3.2.4 Radiofrekvenční identifikace

Radiofrekvenční identifikace (RFID) využívá systému, který zahrnuje vysílač (čtečku) a transpondér (tag), což je čip s anténou. Vysílač vysílá signál k tagu, který odpovídá a vysílá data zpět k vysílači, který se v té chvíli stává přijímačem. Tento přenos informací umožňuje vysílači uložit data do paměti, nebo je předat do počítače pro další zpracování. RFID umožňuje bezdotykovou identifikaci (menší riziko poškození obalů) a sledování inteligentních balení i bez vizuálního kontaktu. Takto lze sledovat větší množství předmětů naráz i na větší vzdálenost, a dokonce bezdotykově zapisovat a měnit informace uložené v tagu zabudovaném v obalu. Nemusejí být použity baterie – byl vyvinut systém využívající pomocí sběrného obvodu (frekvence 13,56 MHz) k napájení senzoru energii vysílanou čtečkou. Senzorový systém funguje při vzdálenosti do 30 cm od čtečky a může předávat informace o teplotě a koncentraci chemických látek (Chung et al. 2017).

Díky této technologii lze sledovat a automaticky zaznamenávat informace o potravinách v reálném čase, což umožňuje lepší monitorování skladových zásob, kontroly kvality, sledování dat trvanlivosti a ochranu proti padělkům. Do tagů jsou v rámci inteligentních obalů kromě identifikace zboží ukládány informace ze senzorů vlhkosti, chemických změn atmosféry, teploty, pH apod. Sensory RFID jsou vhodné pro chytré obaly z hlediska senzorických schopností a přenosu dat. Jednodušší, levnější, odolnější a méně náročné na energii senzorické sítě jsou budoucím směrem vývoje chytrých obalů RFID může pomoci zjednodušit logistiku a zpřesnit procesy obchodování, což přináší prospěch nejen pro výrobce, ale i pro spotřebitele a celkově přispívá k zlepšení bezpečnosti a transparentnosti potravinového řetězce (Zuo et al. 2022).

RFID senzory mají potenciál nahradit nákladnější způsoby elektronického přenosu informací založeného na čípech. Přesto však čelí mnoha výzvám, jako jsou biokompatibilita, náklady, dosah čtení, kolize více tagů, zpracování více detekovaných parametrů kvality potravin, recyklační otázky, bezpečnost a ochrana soukromí RFID systému. Nevýhodou technologie může být možnost potenciálního „nabourání“ komunikačního systému – rušení či změna signálu, zachycování citlivých informací třetí stranou či možnost poškození tagů elektromagnetickým impulsem (Zuo et al. 2022).

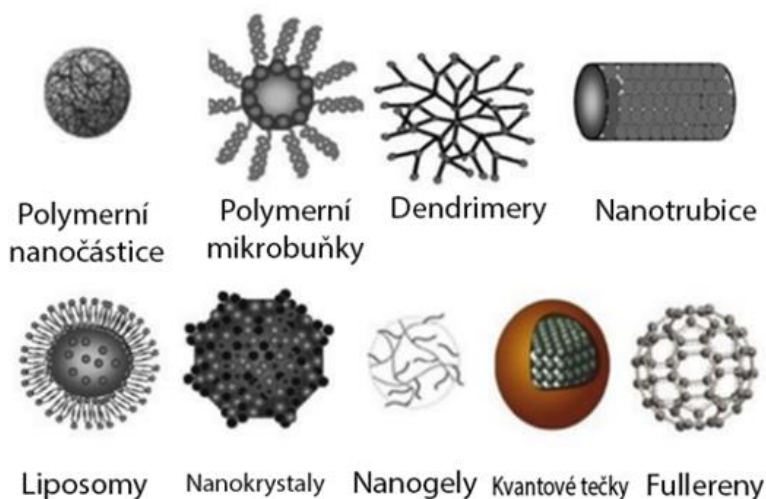
3.3.3 Použití nanomateriálů do balení

Nanotechnologie má potenciál v potravinářském obalovém průmyslu, zejména díky použití aktivních obalů. Transformace účinných látek z mikro na nanomateriály nabízí novou příležitost ke zlepšení funkčnosti obalů potravin. Důraz je kladen na anorganické nanočástice vykazující antimikrobiální aktivitu a potenciální využití nanonosičů s obsahem bioaktivních látek pro antimikrobiální obaly. Dále jsou představeny systémy zachycující kyslík a ethylen založené na aktivních nanomateriálech. Použití nanotechnologií při balení potravin poskytuje mnoho výhod, jako jsou vylepšené mechanické bariéry, detekce mikrobiální kontaminace a potenciálně zvýšená biologická dostupnost živin. Nanomateriály lze rovněž použít ke zlepšení

bariérových vlastností plynů, zvýšení vodoodpudivosti a zajištění antimikrobiální aktivity obalů potravin. Měly by však být zváženy dopady nanomateriálů v potravinářském odvětví na životní prostředí, zdraví a bezpečnost potravin pro spotřebitele (Yildirim & Röcker 2018).

Nanotechnologie je široce využívána v potravinářství, zemědělství, medicíně, biochemii a dalších oborech. V potravinářství je tato technologie zapojena do různých fází zpracování, výroby, balení, skladování a distribuce potravin. Využití nanotechnologií v obalech může vést k prodloužení doby trvanlivosti potravin, zlepšení rozpustnosti a dostupnosti bioaktivních látek, ochraně potravinových složek, obohacení o výživné látky, nebo látky s antimikrobiálními vlastnostmi. Nicméně, nanotechnologie má také potenciálně škodlivé dopady na zdraví v důsledku toxicity a rizik spojených s nanomateriály ve potravinách (Hoque et al. 2021).

Nanočástice jsou miniaturní objekty s jedinečnými vlastnostmi a chováním, které se liší od materiálu na makroskopické úrovni. Mají specifické fyzikální a chemické vlastnosti, díky nimž projevují výbornou chemickou a biochemickou reaktivitu, katalytické chování, pronikavost, enzymatickou aktivaci a kvantové vlastnosti. Jejich vlastnosti jsou ovlivněny jejich velikostí, strukturou a vlastností povrchu. Nanotechnologie zahrnují nanočástice a různé formy nanomateriálů, jako jsou nanokompozity, nanotrubky, nanoemulze, nanokapsuly a další, které lze vidět na Obrázku 4 (Hoque et al. 2021).

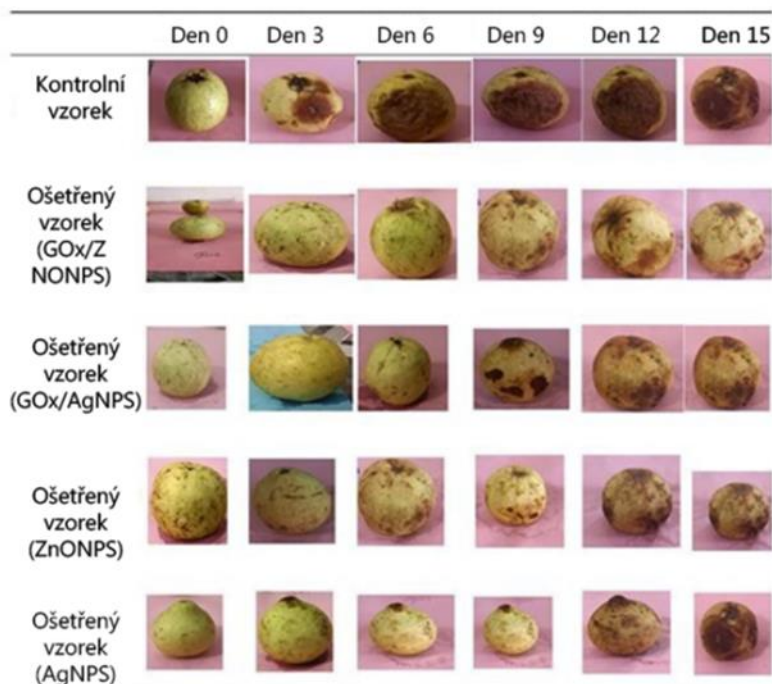


Obrázek 4: Typy nanočástic využívané v potravinářském průmyslu (Hoque et al. 2021).

Konzervační látky, dochucovadla, inkapsulovaná potravinářská aditiva, nanosenzory mikrobiální kontaminace, obalové vrstvy a další nanomateriály se používají k ovlivnění nutričního obsahu potravin a zlepšení jejich trvanlivosti, aroma, textury a dalších vlastností. Využití nanotechnologií v potravinářství je významné také pro konzervaci potravin, zejména umístění antimikrobiálních látek (Cu/CuO, Ag, MgO, TiO₂, ZnO, aktivní uhlík, porézní částice a grafen) v potravinových obalech (Omerović et al. 2021).

Vyrobené nanočástice oxidu zinečnatého a stříbra ligované oxidací glukózy čištěné od *Aspergillus Niger* lze použít k prodloužení trvanlivosti ovoce a zeleniny. Tuto funkci plní pomocí enzymu glukooxidázy, jedná se o řízený enzym. Dále je potravina chráněna tenkou vrstvou peroxidu vodíku, která je nanosená na potravinu. Ve studii byly porovnávány čtyři typy těchto sprejů. Jednalo se o nanočástice glukózy oxidázy/stříbra (GOx/AgNP), nanočástice glukózooxidázy/oxidu zinečnatého (GOx/ZnONPs), AgNP a ZnONP. Kvalita ovoce byla

sledována na základě celkové nerozpuštěné pevné látky, pH, úbytku hmotnosti a zachycení volných radikálů a pevnosti plodů. Nejvíce účinné se u pozorovaných plodů guavy ukázaly enzymy ligované na povrchu nanočástic (ZnONP). Tento experiment trval 15 dní a jeho výsledky lze vidět na Obrázku 5 (Shouket et al. 2023).

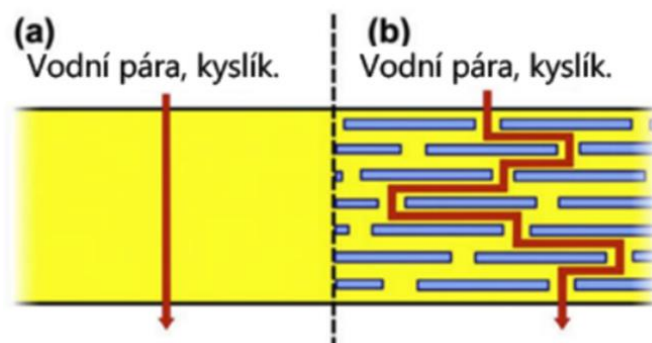


Obrázek 5: Pozorování plodů guavy po dobu 15 dní (Shouket et al. 2023).

V porovnání s tradičními obalovými metodami na bázi polymerů má nanotechnologie několik výhod, včetně zlepšené bariérové schopnosti, mechanických a tepelně odolných vlastností a biologické rozložitelnosti (Drago et al. 2020).

Antimikrobiální obaly nebo inkapsulační materiály omezují růst mikrobů na povrchu balených potravin tím, že uvolňují aktivní látky na potravinu nebo do vnější oblasti. Antimikrobiální nanočástice používané v aktivním obalovém materiálu chrání potraviny před nebezpečnými bakteriemi způsobujícími znehodnocení, což umožňuje prodloužení trvanlivosti a zachování kvality potravin během skladování. Tyto látky také mohou přispívat ke zvýšení pevnosti a lehkosti obalů a snižování přístupu kyslíku (Hoseinnejad et al. 2018).

Prostupnost pro kyslík a další plyny je znázorněna na Obrázku 6. Kromě bariérové funkce dochází také díky nanočásticím k delšímu kontaktu plynu s obalem, čehož lze využít při detekci produktů škodlivých bakterií (nanosenzory) (Duncan 2011).



Obrázek 6: Srovnání prostupnosti běžného polymerního obalu a nanomateriálu, konkrétně vysoce porézními nanokompozity, které jsou zasazeny do polymerních filmů (Duncan 2011).

V případě čistě polymerového filmu (a) je typická migrační cesta pro difuzi plyných molekul kolmá na orientaci filmu. V nanokompozitním filmu (b) musí částice procházet kolem neprostupných molekul a kontaktních oblastí s odlišnými vlastnostmi než čistý polymer. To snižuje průchodnost pro plyn (vodní páru, kyslík...) a prodlužuje tak dobu trvanlivosti potravin (Duncan 2011).

Použití nanomateriálů se pojí se zdravotními riziky. Uhlovodíky, proteiny a lipidy vázané v organických nanostrukturách se mohou po požití hromadit v organismu a narušovat buněčný metabolismus. Uhlíkové nanotrubičky v organických nanostrukturách jsou toxické pro kůži a plíce. Stříbrné nanomateriály v obalech vázané v anorganických nanostrukturách zvyšují výskyt volných radikálů a snižují adenosintrifosfát (energetická molekula buněčného metabolismu) v těle. Stříbrné nanomateriály vázané v anorganických strukturách jsou karcinogenní, genotoxické a výrazně zvyšují riziko rakoviny (Morones, 2005; Chawengkijawanich & Hayata 2008; Kim et al. 2017).

3.3.4 Modifikovaná a řízená atmosféra

Mezi modifikovanou a řízenou atmosférou existuje rozdíl. Modifikovaná atmosféra (Modified Atmosphere Packaging – MAP) se vztahuje na manipulaci složení atmosféry uvnitř obalu s cílem prodloužit trvanlivost potravin. Tento proces zahrnuje úpravu obsahu kyslíku, oxidu uhličitého a dusíku v plynu, který obklopuje výrobek a může být proveden různými technikami, jako je vakuové balení nebo přidavné plyny (Kader et al. 2011; Güner et al. 2021).

Řízená atmosféra (Controlled Atmosphere Packaging – CAP) je zaměřena na přesné a stabilní udržování složení atmosféry uvnitř obalu po celou dobu skladování a přepravy. Tento proces zahrnuje monitorování a regulaci koncentrace kyslíku, oxidu uhličitého a dusíku, stejně jako dalších parametrů, jako je teplota a vlhkost, aby se optimalizovaly podmínky pro uchování produktů. Oba přístupy se často kombinují – kvalita a složení modifikované atmosféry je monitorována a řízena právě aktivními a inteligentními obaly, čímž dochází k řízené atmosféře (Wyrwa & Barska 2017).

3.3.5 Vakuové balení

Jedná se o jednu ze starších technologií, při které se odstraní veškerý vzduch z obalu a vytvoří se vakuum, tedy prostor bez vzduchu. Tím se minimalizuje přítomnost kyslíku, který

může způsobovat oxidační procesy a znehodnocení potravin. Vakuové balení se obvykle provádí pomocí speciálních zařízení, která odstraní vzduch z obalu a následně upevní uzávěr, aby se zabránilo vniknutí vzduchu zpět. Tento proces prodlužuje trvanlivost potravin a pomáhá uchovat jejich chuť, texturu a nutriční hodnotu (Deepa et al. 2011).

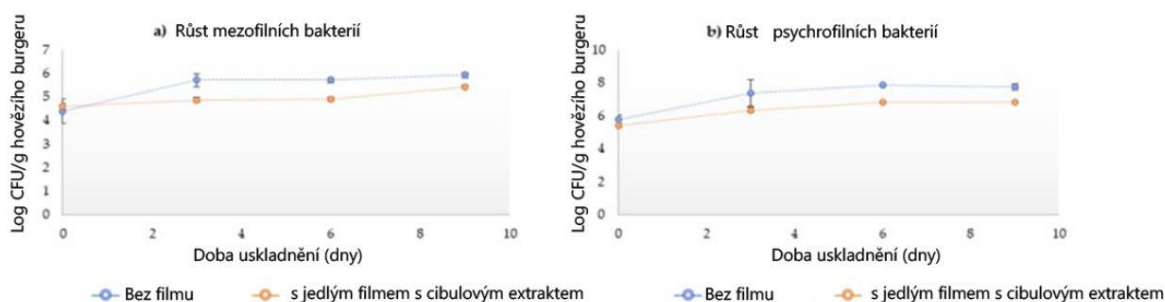
3.4 Extrakty v aktivních obalech a potravinách

3.4.1 Extrakt z cibule v aktivních obalech

Výtažek ze slupek cibule, obsahující silice na bázi fenolů, pomáhá zlepšit fyzikálně chemické vlastnosti filmu z kukuřičného škrobu (CS) a κ -karragenanu (κ C), a zároveň má antioxidační a antibakteriální účinky. Použití filmu snižovalo nežádoucí oxidaci (žluknutí) mastných kyselin vepřového sádla, a to tím více, čím vyšší byla koncentrace cibulové složky. Výtažek z cibule také inhiboval rekrystalizaci molekul škrobu ve filmech a ovlivnil jejich mikrostrukturu. Analyzována byla také změna barevnosti, jasů a průhlednosti filmů. Bylo zjištěno zvýšení propustnosti filmu pro vodní páru a zlepšení mechanické odolnosti. Při koncentraci 3 % byl pozorován silný antioxidační účinek a efektivní potlačení růstu bakterií *Staphylococcus aureus* a *Escherichia coli*. Přidání cibulového extraktu zlepšuje fyzikálně-chemické vlastnosti a biologickou aktivitu filmů, které lze použít jako aktivní obalový materiál pro prodloužení trvanlivosti potravin (Wang et al. 2022b). Studie bezpečnosti navíc naznačila, že obalové biopolymery vyrobené z cibule jsou zdravotně nezávadné, alespoň z hlediska genotoxicity a mutagenity. Jejich použití by, na rozdíl od některých nanotechnologií, nemělo zvyšovat riziko rakoviny (Barreto et al. 2019).

Další studie prokázala snížení růstu různých typů bakterií na hovězím mase díky filmu s obsahem cibulového extraktu, jak lze vidět na Grafu 2. Dále prokázala zlepšení hodnocení estetických vlastností. Hovězí burgery byly skladovány při 4 stupních Celsia (Soares et al. 2021).

Graf 2: Snížení růstu mezofilních a psychofilních bakterií na hovězím mase (Soares et al. 2021).



Další studie se zabývala vývojem biologicky rozložitelného antioxidačního filmu s využitím extraktu z cibule a funoranu extrahovaného z řasy *Gloiopeltis furcata* Postels et Ruprecht) J. Agardh. Dávkování extraktu z cibule (0,3, 0,5 a 1,0 %) zvýšilo pružnost filmu a schopnost odstraňovat volné radikály DPPH a ABTS. Navíc se celkový obsah fenolů a celkový obsah flavonoidů ve filmech po přidání extraktu zvýšil z 31,92 na 61,31 mg

ekvivalentu kyseliny gallové na g filmu a z 21,80 na 79,22 mg ekvivalentu kvercetinů na gram filmu. Tyto výsledky naznačují, že film na bázi funoranu a extraktu z cibule může být použit jako antioxidační biologicky rozložitelný obalový materiál. Film byl připraven z levných, dostupných a biologicky rozložitelných surovin: nevyužívané rudé řasy a odpadu z cibule (Ju & Song 2019).

Synergetické účinky extraktu ze slupek červené cibule a balení s modifikovanou atmosférou (MAP) byly prokázány také na oxidaci lipidů u lososa. Slupky červené a žluté cibule byly extrahovány vodou při teplotách 25 °C, 45 °C, 65 °C a 90 °C, nebo ethanolem či acetonem ve vodných roztocích. Po extrakci byly stanoveny celkové hladiny anthokyaninů a polyfenolů a antioxidační kapacita. Kousky lososa byly smíchány s extraktem z cibule a baleny v modifikované atmosféře s různými koncentracemi kyslíku (0 %, 5 %, 10 % a 15 % celkového obsahu plynu v balení). Dále se atmosféra skládala z 40 % CO₂ a zbytek byl doplněn dusíkem. S rostoucí teplotou extrakce při použití horké vody se zvyšoval obsah polyfenolů a antioxidační kapacita. Extrakce vodou při 90 °C poskytovala vyšší výtěžky než ethanol nebo aceton ve vodných roztocích. Ošetření lososa extraktem z cibule a modifikovanou atmosférou snížilo rychlost oxidace lipidů, což bylo prokázáno snížením peroxidové hodnoty o 43 % a hodnoty TBARS o 30 % (TBARS z angl. Thiobarbituric Acid Reactive Substances). Cibulový extrakt by mohl efektivně potlačovat volné radikály v baleních s modifikovanou atmosférou a pomáhat tak prodloužit trvanlivost (Güner et al. 2021).

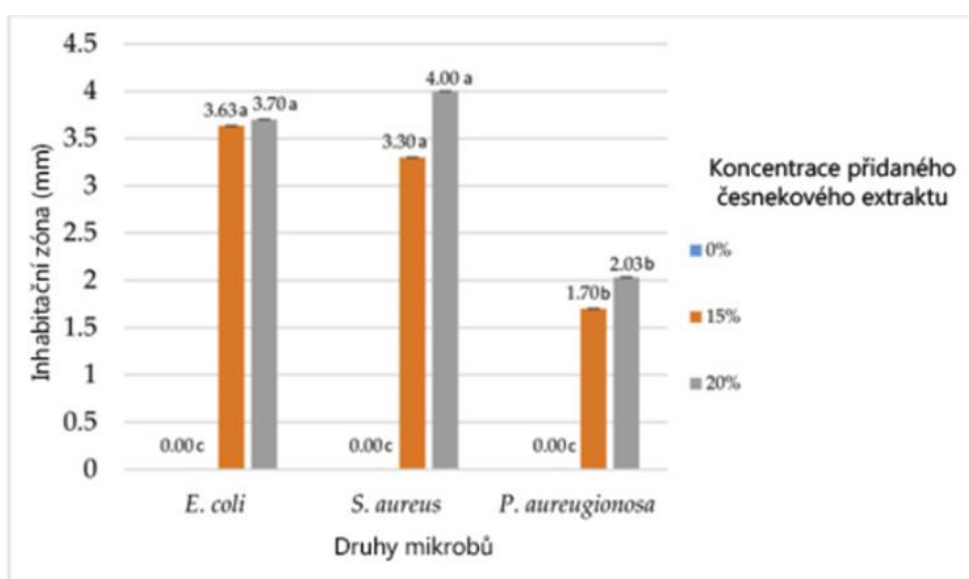
3.4.2 Extrakt z česneku v potravinách a aktivních obalech

Česnek je odpradávně ceněn pro své antiseptické a antibakteriální vlastnosti. Přídavek extraktu z česneku setého (*Allium Sativum* L.) a medvědího česneku (*Allium ursinum* L.) do králičích masových burgerů se ukázal efektivní ve zpomalení oxidaci lipidů, změně barevnosti (blednutí, žloutnutí, ztráta sytosti). Byly analyzovány účinky česneku před a po skladování v chladu. Přídavek směsi obou druhů česneku způsobil zvýšení pH (to se běžně snižuje během skladování) a snížení hodnot TBARS v syrových i pečených burgerech. Jedná se o indikátor, který se používá k měření oxidačního poškození lipidů, které může nastat při skladování potravin. Vyšší hodnoty TBARS indikují vyšší míru oxidace lipidů a mohou naznačovat sníženou kvalitu potravin. Nejúčinnější se ukázala kombinace obou extraktů. Extrakty neměly rozpoznatelný vliv na přítomnost nepříjemných pachů v syrových burgerech. Nepříjemné pachy narůstaly s dobou skladování (0-7 dnů). Estetická hodnota syrových burgerů s extraktem česneku byla hodnocena nejnižší, naopak po tepelné úpravě dopadly nejhůře kontroly. Extrakty neměly vliv na růst mikroorganismů Enterobacteriaceae, Pseudomonas spp., kyselých bakterií nebo celkových aerobních bakterií, jejichž množství narůstalo s časem. Česnekový prášek a medvědí česnekový prášek lze přidávat do králičích masových burgerů pro prodloužení jejich trvanlivosti a zlepšení jejich kvality konzumace, antimikrobiální efekt však prostým přidáním extraktu k potravine prokázán nebyl (Śmiecińska et al. 2022).

Další studie testovala přidání česnekového extraktu nikoli přímo do potravin (kde nelze využít tak vysokých koncentrací), ale do aktivního obalu. Ten měl prodloužit kvalitu hovězího masa při nízkých teplotách (4 ± 1 °C). Aktivní obalování využilo postupné uvolňování česnekového extraktu (0 %, 15 % a 20 % hmotnosti obalu) jako antimikrobiální látky. Dále byla v obalu přítomna inteligentní složka, senzor rozkladných procesů. Šlo o papírový štítek

napuštěný kombinací roztoků bromthymolové modři a fenolové červeně o pH 5,00, který mění barvu z tmavě žluté (čerstvé), na červenohnědou (spotřebujte ihned), až po vybledlou červenou (zkažené). Maso v obalu bez přídavku česnekového extraktu se začalo kazit již 6. dne skladování, zatímco s přídavkem česnekového extraktu (15 % a 20 %) se zkazilo až 12. dne. Změna barvy inteligentního indikátoru v reakci na zhoršování kvality masa prokázala lineární korelaci pro určení míry kažení během skladování. Tato jednoduchá kombinace aktivního obalu a inteligentního indikátoru může být použita k prodloužení trvanlivosti a monitorování kvality masa v praxi (Dirpan et al. 2022).

Graf 3: Míra inhibice jednotlivých druhů bakterií v závislosti na koncentraci česnekového extraktu v obalu. Vyšší šedivé sloupečky odpovídají 20 %, oranžové 15 % extraktu. Čím větší inhibiční zóna, tím lépe (Dirpan et al. 2022).



Lze tedy říci, že přidání česnekového extraktu je v prodloužení trvanlivosti a antibakteriálním účinku efektivnější než přimíchání česneku přímo do potraviny.

3.4.3 *Origanum vulgare* L. v potravinách a aktivních obalech

Byl proveden experiment hodnotící účinek silice z tymiánu a dobromysli (koncentrace 0,05% hmotnosti) na kvalitu a trvanlivost burgerů z lososa a z mořských řas. Burgery s jednotlivými silicemi a bez silic byly vakuově baleny a skladovány při teplotě 4 °C po dobu 17 dní. Pravidelně byly prováděny fyzikálně-chemické a mikrobiologické analýzy. Přidání silic nemělo žádný vliv na pH, obsah vlhkosti nebo texturu burgerů. Silice z tymiánu mírně zpomalila nárůst celkového množství volných dusíkatých látek a trimethylaminového dusíku. Obě silice zpomalily nežádoucí oxidační procesy i nárůst mezofilních mikroorganismů (silice z tymiánu více), avšak nedošlo k signifikantnímu prodloužení trvanlivosti. Autoři doporučují studii opakovat s vyššími koncentracemi silic (Dolea et al. 2018).

Další studie se zaměřuje na přidání silic z dobromysli a tymiánu do aktivních obalů namísto jednorázové aplikace přímo do potraviny. Přináší průkaznější výsledky v oblasti prodloužování trvanlivosti. V této studii byl využit inulin extrahovaný z kořene lopuchu jako

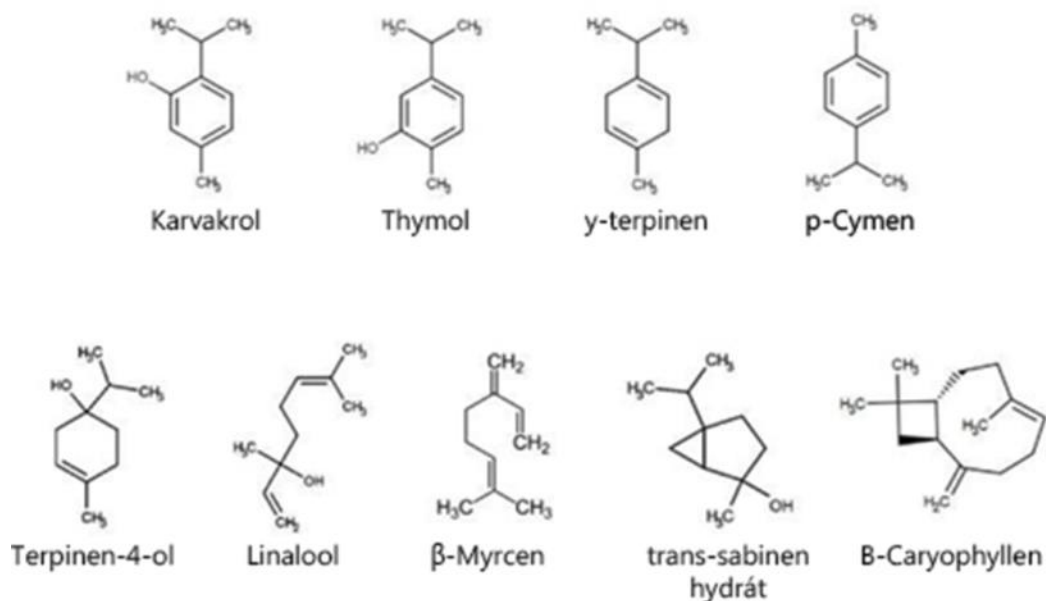
základní materiál filmu, který byl kombinován s chitosanem používaným běžně pro přípravu kompozitních filmů. Jako bioaktivní složka byly do filmu přimíchány silice z tymiánu a dobromysli. Byly hodnoceny fyzikální a optické vlastnosti filmů i jejich antioxidační a antimikrobiální aktivita. Film jen z inulinu měl špatné fyzikální vlastnosti. Kombinace s chitosanem zvýšila pevnost v tahu. Přidáním silic se snížila jeho rozpustnost ve vodě a obsah vlhkosti i propustnost pro světlo. Všechny filmy obsahující silice vykazovaly antioxidační a antimikrobiální vlastnosti. Film s 2,0 % silic projevovat nejvyšší antioxidační aktivitu a antimikrobiální aktivity proti čtyřem patogenům. Film z inulinu, chitosanu a směsi silic z dobromysli a tymiánu by tak mohl být využit jako aktivní obalový materiál ve potravinářském průmyslu (Cao et al. 2018).

3.4.3.1 Konkrétní účinné látky silic z *Origanum vulgare* L.

Název dobromysl se používá až pro 61 druhů ze 17 různých rodů z šesti různých botanických čeledí, které sdílejí specifickou chuť a vůni. Nejvýraznějšími čeleděmi z ekonomického hlediska jsou *Verbenaceae* a *Lamiaceae*. Do čeledi *Lamiaceae* patří rostliny z rodů *Origanum* a *Hedeoma*, zatímco rody *Lippia* a *Lantana* patří do čeledi *Verbenaceae*. Ostatní čeledi jsou *Rubiaceae*, *Apiaceae* a *Asteraceae*. *Hedeoma patens*, *Lippia graveolens*, *Lippia palmeri*, *Lippia alba*, *Origanum dictamnus*, *Origanum hirtum*, *Origanum onites*, *Origanum vulgare* jsou některé příklady druhů dobromysli, které produkují silice (Başer & Buchbauer 2010).

Složení silic z dobromysli bylo podrobně studováno. Jedná se o velmi složité směsi látek, ve kterých jsou hlavními složkami terpeny, obvykle monoterpeny a seskviterpeny. Hlavní terpeny identifikované v různých druzích dobromysli jsou karvakrol, thymol, γ -terpinen a p-cymen. Dalšími účinnými látkami jsou terpinen-4-ol, linalool, β -myrcen, trans-sabinenhydrát a β -karyofylen. Poměr těchto a dalších složek v silicích stejného druhu definuje jeho chemotyp. Obvykle se chemotyp pojmenovává podle hlavní složky, například karvakrol, thymol, β -citronellool, 1,8-cineol atd (Leyva-López et al. 2017). Například Lukas et al. (2015) definovali tři chemotypy *O. vulgare* na základě poměru cymylových sloučenin, sabinilových sloučenin a linalool/linalylacetátu ve výtazcích ze 502 jednotlivých rostlin z 17 zemí a 51 populací. González-Fuentes et al. (2011) popisují dva chemotypy *L. graveolens* získané z dvou různých oblastí. Tito autoři našli jeden chemotyp bohatý na karvakrol a thymol (přírodní typ), zatímco druhý (kultivovaný typ) obsahoval méně těchto terpenů.

Obsah účinných látek závisel na druhu rostliny a podmínkách pěstování (kvalitě půdy, ročním období a klimatických podmínkách, výskytu škůdců nebo zeměpisných podmínkách). Dále měl na finální výsledky analýz velký vliv způsob zpracování, zejména teplota (Leyva-López et al. 2017).

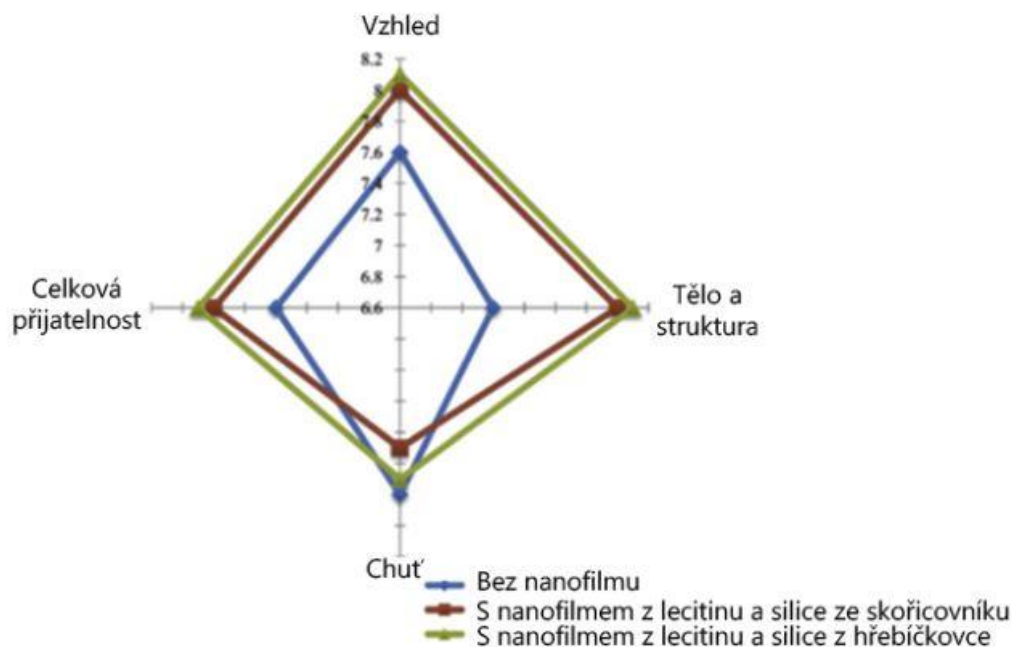


Obrázek 7: Struktury účinných chemických látek v silicích z dobromysli (Leyva-López et al. 2017).

3.4.4 *Cinnamomum* sp. v potravinách a aktivních obalech

S pomocí ultrazvukového ošetření byly připraveny nanoemulze s extrakty z hřebíčkovce a skořicovníku s různými koncentracemi sójového lecitinu jako povrchově aktivní látky. Zvýšení koncentrace povrchově aktivní látky snižovalo velikost částic, a polydisperzitní index (PDI). Nanoemulze byly optimalizovány při 1,5 % a 2 % lecitinu. Tyto koncentrace byly vzhledem k nejvyšší teplotní stabilitě vybrány k povrchové úpravě muffinů. Upravené a neupravené muffiny byly poté hodnoceny z hlediska změn v hustotě, obsahu vlhkosti, úbytku hmotnosti, změn textury, oxidační aktivity a mikrobiální aktivity během skladování. Povrchová úprava významně zvýšila antioxidantní aktivitu muffinů o 26,89 % (skořicová nanoemulze) a 37,31 % (hřebíčková nanoemulze). Navíc povrchová úprava udržovala texturu muffinů, snižovala úbytek hmotnosti, zamezovala změnám hustoty a obsahu vlhkosti. U obou extraktů došlo ke snížení výskytu bakteriálních kolonií a k prodloužení trvanlivosti až o 6 dní (Prastuty et al. 2022).

Graf 4: Estetické hodnocení muffinů s nanofilmem z lecitinu a silice ze skořicovníku (červeně), z hřebíčkovce (zeleně) a bez nanofilmu (modře). Vyšší skóre znamená lepší hodnocení. Nahoře vzhled, dole chuť, vlevo celkový dojem, vpravo textura (Prastuty et al. 2022).



Další studie se zabývala přípravou kompozitních fólií PLA/PBAT s přidavkem TiO_2 a různými koncentracemi silice ze skořicovníku. Fólie byly hodnoceny z hlediska optických a mechanických vlastností, chemického složení, tepelné stability, hydrofobnosti povrchu, potlačení tvorby biofilmů na sýru a antimikrobiální účinnosti proti *S. aureus* a *E. coli*. Tloušťka fólií, UV ochrana a voděodolnost se zvyšovaly s rostoucí koncentrací silice ze skořicovníku, maximální koncentrace byla 7 %. S koncentrací rostla také antibakteriální účinnost. Sýr balený ve fólii se 7 % silice ze skořicovníku vykazoval nejmenší úbytek hmotnosti (doba skladování 12 dnů). Tato fólie má dle autorů velký potenciál pro komerční využití a je pro člověka bezpečná (Sharma et al.2022).

Samolepicí aktivní potravinářská obalová membrána na bázi arabské gumy, která uvolňuje silici ze skořicovníku ve formě výparů se ukázala jako efektivní způsob prodloužení trvanlivosti sýra ze 3 na 8 týdnů. Sýrové vzorky balené v plastových krabicích s aktivním obalem (4, 8 a 10% silice) vykazovaly významné snížení celkového počtu bakterií. Arabská guma v obalu byla modifikována butylakrylátem a hydroxyethyl methakrylátem. Efektivita antibakteriální ochrany závisela na délce uvolňování silice z obalu a na koncentraci. Nejlepší efekt proti gramnegativním i grampozitivním bakteriím vykazoval obal s 8 % koncentrací silice (Ali et al. 2021).

3.4.4.1 Konkrétní účinné látky *Cinnamomu* sp.

Skořice se získává z vnitřní kůry stromů rodu *Cinnamomum* (rod *Lauraceae*). Existuje více druhů skořice, které se používají po celém světě, a to nejen jako koření, ale také v tradiční a moderní medicíně. Kůra a listy skořicovníku jsou používány k léčbě různých onemocnění a vykazují antibakteriální, antifungální, antioxidační, antidiabetické, protizánětlivé a protinádorové účinky. Jejich silice chrání také proti hlístům a hmyzu. Celkem je identifikováno přibližně 250 druhů rodu *Cinnamomum* spp., které rostou po celém světě. Nejčastěji používané silice ze skořicovníků pocházejí z druhů *C. burmannii* (Nees & T.Nees) Blume, *C. camphora* (Fabr.) Meisn, *C. cassia* (L.) D.Don, *C. osmophloeum* Kaneh., *C. verum* J.Presl a *C. zeylanicum* Garcin ex Blume (Vasconcelos et al. 2018).

Mezi účinné látky silice ze skořicovníku patří cinnamaldehyd (základní složka aromatu), ethylcinnamát, eugenol (hřebíčková vůně), kumarin, kyselina skořicová, linalool, safrol, acetát kyseliny skořicové, L-borneol, caryofylenoxid, β -caryofylen, acetát L-borneolu, E-nerolidol, α -kubeben, α -terpineol, terpinolen, α -thujen nebo trans-cinnamaldehyd. Množství a přítomnost každé sloučeniny se liší v závislosti na části rostliny (Vangalapati et al. 2012; Tung et al. 2010).

Trans-cinnamaldehyd narušuje lipidovou strukturu bakteriálních membrán. Je to poměrně dobře prozkoumaný fenypropen, který je v rostlinách syntetizován z aminokyseliny fenylyalanin. Je to hydrofobní látka s šestiatomovou aromatickou fenolovou skupinou, která se v silicích vyskytuje v poměrně malém množství. Molekuly bohaté na fenolová jádra jsou schopné pronikat fosfolipidovou dvojvrstvou bakteriálních buněčných membrán a vázat se na proteiny, čímž narušují jejich funkci. Změna propustnosti membrány a ztráta funkčních proteinů transportujících molekuly a ionty poškozuje bakteriální buňku. To následně vede k srážení její cytoplazmy, denaturaci proteinů a ztrátě metabolitů a iontů (Burt & Reinders 2003). Inhibice membránových enzymů může vést také k inhibici ATPázy, což způsobí nedostatek energetického metabolitu adenosintrifosfátu (ATP) v bakteriální buňce. Tento mechanismus může bránit bakteriálnímu množení i v nízkých dávkách, které nejsou pro bakterii smrtelné. Inhibice ATPázy byla pozorována u bakterií *Cronobacter sakazakii*, *E. coli*, *Listeria monocytogenes* (Gill & Holley 2006), ale také u živočišných mitochondrií a rostlinných chloroplastů (Usta et al. 2003).

Bakteriální buněčné dělení reguluje protein FtsZ, prokaryotický homolog tubulinu. Polymerizace závislá na guanosintrifosfátu (GTP) vytváří z FtsZ vysoce dynamické vláknité polymerní struktury známé jako Z-prsteneček, který při dělení vzniká uprostřed buňky a stahuje buněčný obal, nakonec oddělující mateřskou buňku na dvě dceřiné buňky. Trans-cinnamaldehyd dokáže inhibovat polymeraci FtsZ a tak narušit morfologii Z-prstence. Míra inhibice je závislá na dávce trans-cinnamaldehydu. Konfokální mikroskopie živých buněk *E. coli* ukázala, že TC se specificky zaměřuje na prostorové uspořádání Z-prstence, rozptyluje Z-prstence a snižuje pravděpodobnost vzniku Z-prstence téměř o polovinu. Na bakterii *Bacillus cereus* bylo prokázáno, že je také schopný inhibovat oddělování buněk vázáním se na oblast FtsZ (Nazzaro et al. 2013). Pomocí in silico modelu byla vytvořena hypotéza, že trans-cinnamaldehyd se váže na FtsZ na C-terminální oblasti zahrnující smyčku T7, což narušuje vznik cytokinetického Z-prstence a inhibuje dynamiku sestavování (Domadia et al. 2007).

4 Metodika

Během roku 2023 a 2024 byl prováděn v potravinářském pavilonu Výukového centra zpracování zemědělských produktů Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, nacházejícím se v areálu České zemědělské univerzity v Praze, skladovací pokus s využitím rostlinných extraktů, tedy silic z dobromysli a skořicovníku, do obalu k prodloužení skladovatelnosti cibule. Skladovací pokus byl prováděn v podzemním patře při pokojové teplotě 21 ± 3 °C a vlhkosti vzduchu v místnosti po většinu experimentu v rozmezí kolem 35-65 %. Skladovací místnost byla bez pravidelné cirkulace vzduchu. Plocha skladu měla rozměry 3,6 x 6,5 metru a výšku cca 2,5 m.

4.1 Pozorované varianty a postup experimentu

Experiment byl proveden se žlutou odrůdou cibule Crocket, pěstovanou u Obříství (v okrese Mělník). Jednalo se o cibuli od firmy Hanka Mochov sklizenou 5. 9. 2023. Experiment se skládal ze 2 částí. Vážení probíhalo na váze řady OHAUS Defender 3000 (Certifikace NTEP; schváleno měřením v Kanadě) s maximální nosností 60 kg a přesností 20 g.

V první části byly skladovány 10 kg boxy cibulí o 6 variantách a v každé 3 opakování, celkem 12 vzorků. Skladovány byly v plastových boxech a obal na boxy byl tvořen neprodyšnou vícevrstvou folií s hliníkovou vrstvou. Pouze kontrolní varianta č. 2 byla bez obalu, jak lze v Tabulce 3 vidět.

Tabulka 3 Malé boxy s cibulemi.

Varianta	Nosič	Silice (z rostliny)	Obal	Hmotnost cibulí (g)	Zkratka (Nosič_Silice)
1	Žádný	Žádná	ano	10010 ± 10	Ž_Ž
2	Žádný	Žádná	ne	10003 ± 6	Ž_Ž (bez obalu)
3	Bentonit	Dobromysli	ano	10003 ± 6	B_D
4	Piliny	Dobromysli	ano	10010 ± 10	P_D
5	Bentonit	Skořicovníku	ano	10043 ± 6	B_S
6	Piliny	Skořicovníku	ano	10023 ± 15	P_S

Pokus první části experimentu byl zahájen 10. 10. 2023 a ukončen 13. 2. 2024, měření probíhalo s týdenní frekvencí, po dobu 18 týdnů. Byly pozorovány plesnivějící, hnijící a rašící cibule, zaznamenány jejich počty, hmotnost a délka rašení. Hmotnost cibulí, které byly v pořádku se taktéž zaznamenala. Co se týká rašících cibulí, tak byly vyhazovány pouze cibule, jejichž délka rašení byla ve větším rozsahu (přesahovala 10 cm či měla větší množství klíčků). Dále taktéž vlhkost v balení daného boxu. Vhodná vlhkost pro dlouhodobé skladování cibule se pohybuje kolem 65-70 %, vysoká vlhkost způsobuje mikrobiální napadení spojené s hnilobou a plísněmi, a naopak příliš nízká vlhkost způsobuje vysychání, a tudíž velkou ztrátu hmotnosti.

Ve druhé části byly skladovány velké hrubým odhadem 200 kg-300 kg boxy. Po zvážení se jednalo o boxy v rozmezí 242-294 kg viz Tabulka 4. Skladovány byly ve velkých dřevěných boxech. Původně byly kryté neprodyšnou fólií s hliníkovou vrstvou celé boxy, ale tím se významně zvýšila vlhkost uvnitř, docházelo k zapaření, a tak cibule podléhala větší zkáze a změně hmotnosti. Proto byl upraven způsob skladování, neprodyšná folie s hliníkovou vrstvou byla použita pouze na vrchní část boxů. Takto upravený pokus probíhal 2 měsíce a výsledky pouze z něj jsou zpracovány v tabulkách. Skladovací experiment trval 9 týdnů, započal 13. 12. 2023 a skončil 16. 2. 2024. Jednalo se o 3 varianty po 3 opakováních.

Tabulka 4 Velké boxy s cibulemi.

Varianta	Nosič	Silice (z rostliny)	Hmotnost cibulí (g)	Zkratka (Nosič_Silice)
1	Bentonit	Žádná	276550 ± 15285	B_Ž
2	Bentonit	Dobromysli	276183 ± 14699	B_D
3	Bentonit	Skořicovníku	257227 ± 15130	B_S

Skladování v malých boxech lze vidět na Obrázku 8 a ve velkých boxech na Obrázku 9. Cibule byly v týdenních intervalech dokumentovány a lze si je prohlédnout pod tímto odkazem <https://doi.org/10.5281/zenodo.10802525>.



Obrázek 8: Malé boxy (Borešová a Hoca 2024).



Obrázek 9: Velké boxy (Borešová a Hoca 2024)

Délka rašící natě byla měřena pravítkem v centimetrech viz Obrázek 10.



Obrázek 10: Vyhodnocování délky rašící cibule (Borešová a Hoca 2024).

4.3 Použité rostlinné extrakty a nosiče

Pro prodloužení skladovatelnosti byly připraveny papírové sáčky s rostlinnými extrakty, tedy silicemi z dobromysli a skořice viz Obrázek 11. Papírové sáčky se silicemi a nosiči byly v boxech rovnoměrně rozmístěny, u malých boxů ke krajům a doprostřed u velkých boxů stejným způsobem do několika vrstev. Z důvodu, že jsou silice látkami těkavými, tak bylo potřebné využití nosičů. Jednalo se o bentonit a dřevěné piliny. U velkých boxů bylo použito pouze bentonitu. Silice byly použity v koncentracích v poměru 1/4 (hm.) v objemech 50 g na malé 10 kg boxy a 1000 g u velkých boxů.



Obrázek 11: Použité silice z dobromysli a skořicovníku na nosičích (Borešová & Hoca 2024).

Silice z dobromysli byla složena z těchto účinných složek: 64,5 % karvakrolu, 5,2 % p-cymenu, 2,9 % thymolu. Jednalo se o silici od Biomedica spol. s.r.o., Praha. Silici ze skořicovníku tvořil ze 73,1 % cinnamaldehyd, 5 % limonen, 5 % linalol, 3,7 % cynamyl acetát a 3,5 % eugenol. Zde se jednalo o silici od Aroma Word, Indie.

4.4 Způsob vyhodnocení dat

K vyhodnocení výsledků bylo využito programu Statistika 13 na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Byly sledovány změny hmotnosti netto, tato hmotnost je bez obalu a bez boxů, do níž byly započítány i vyhozené cibule, byl tak sledován pouze úbytek hmotnosti v závislosti na účinku silic. Dále se vyhodnocoval účinek silic na hmotnost vyhozených plesnivějících, hnijících a rašících cibulí. V neposlední řadě byl sledován účinek silic na délku rašící natě. K vyhodnocení těchto parametrů byla použita ANOVA. Tato metoda může být zkreslující, neboť pracuje s extrémními hodnotami, a z toho důvodu byla pro dílčí vyhodnocení v 18. týdnu použita neparametrická metoda.

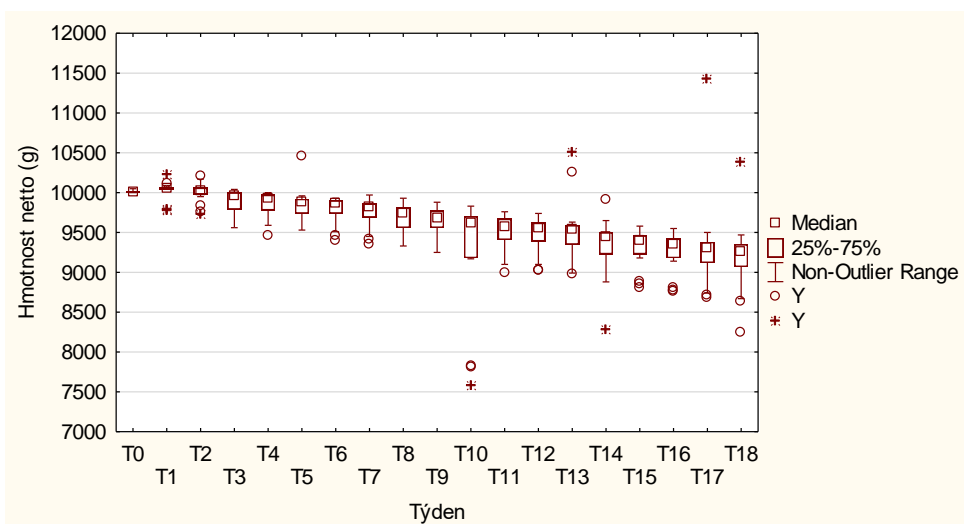
5 Výsledky

5.1 Statistické vyhodnocení malých boxů s cibulemi z celého experimentu

5.1.1 Účinek silic ošetření na netto hmotnost

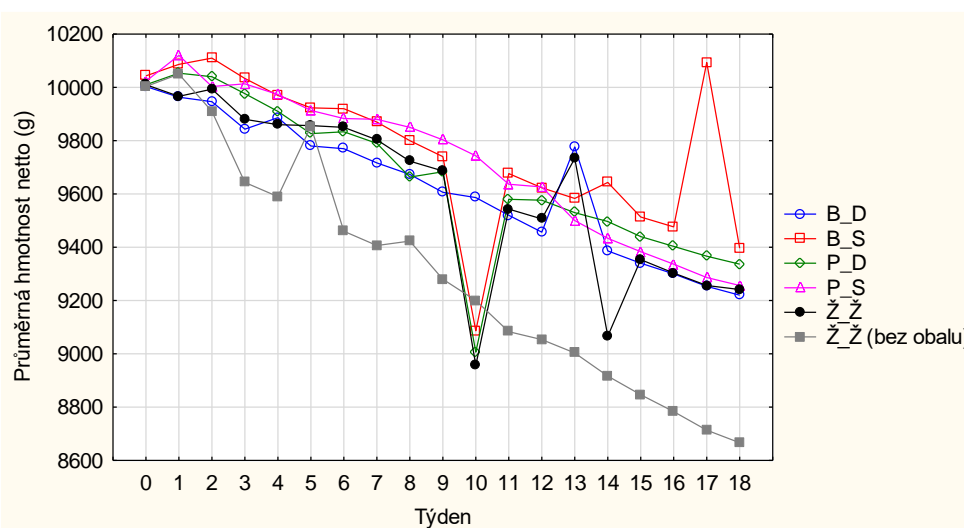
Pokles hmotnosti netto je znázorněn v grafu č. 5. Pokles neobsahuje zlomy. V některých týdnech byly přítomny odlehle a extrémní hodnoty.

Graf 5 Časový vývoj hmotnosti netto dle týdne měření.



V dalším grafu je zobrazen časový vývoj průměrné hmotnosti pro jednotlivé způsoby ošetření. V každém týdnu se jedná o průměr ze 3 měření.

Graf 6: Časový vývoj průměrné hmotnosti pro jednotlivé způsoby ošetření.

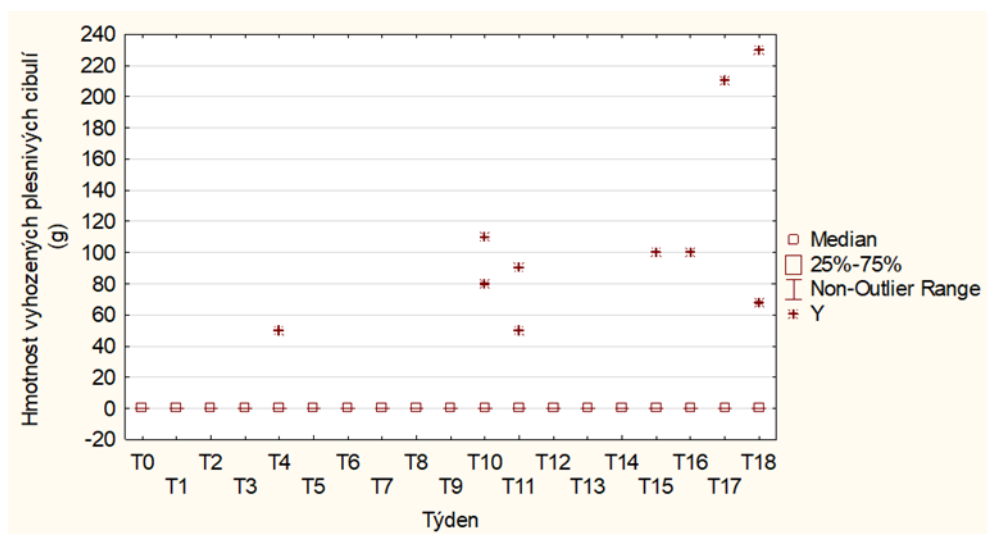


Na základě spojnicového grafu lze pozorovat, že kromě Ž_Ž (bez obalu), kde hmotnost klesá nejrychleji, je časový průběh pro ostatních 5 ošetření velmi podobný. Výkyvy v 10., 13., 14. a 17. týdnu korespondují s výskytem odlehlých/extremních hodnot zobrazených v předchozím grafu.

5.1.2 Účinek silic na hmotnost vyhozených plesnivějících cibulí

Hmotnost vyhozených plesnivých cibulí byla pro většinu měření nulová: z celkem 342 hodnot bylo pouze 10 nenulových, tudíž tuto proměnnou nemělo smysl statisticky testovat.

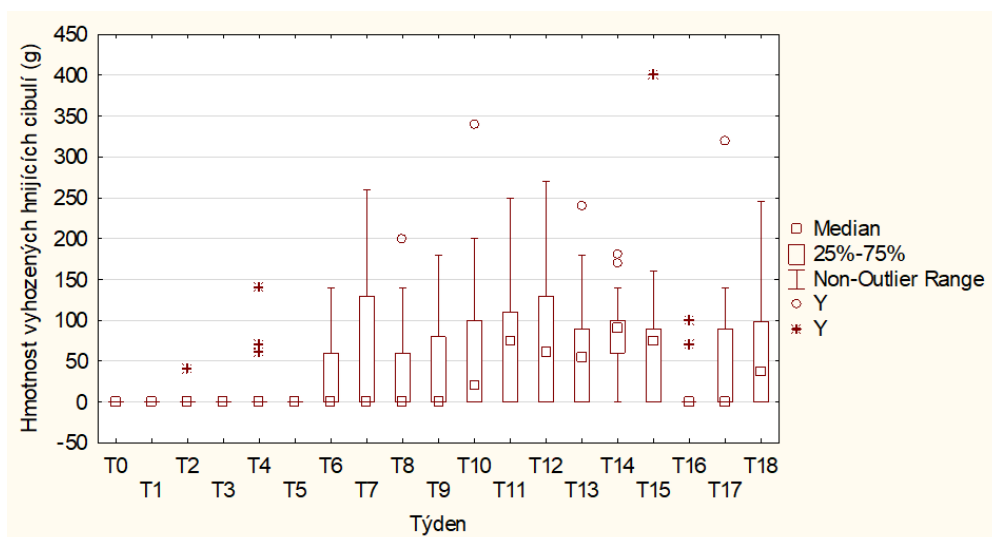
Graf: 7 Hmotnost vyhozených plesnivějících cibulí zobrazena pomocí krabicového grafu.



5.1.3 Účinek silic na hmotnost vyhozených hnijících cibulí

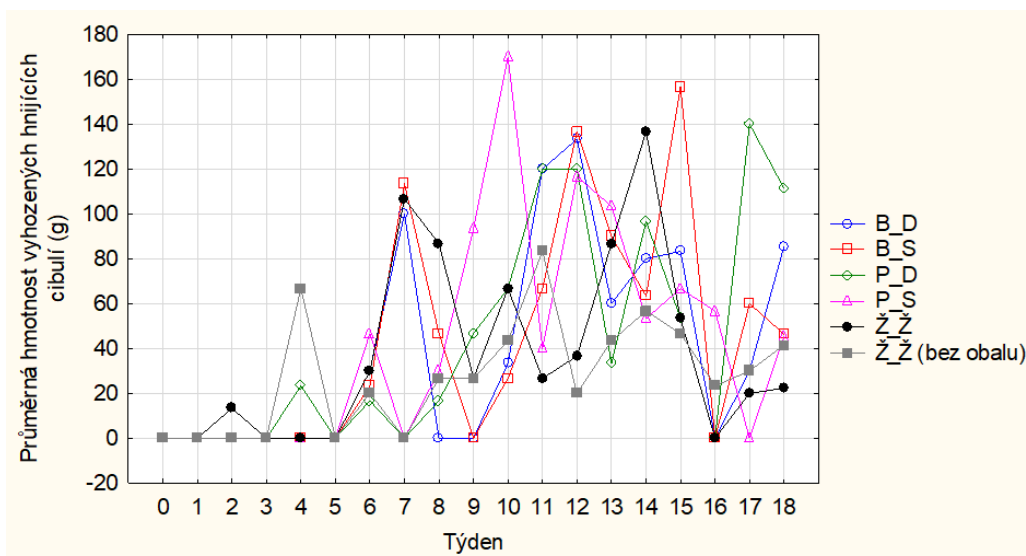
Nárůst hmotnosti vyhozených hnijících cibulí je znázorněna v grafu č. 8. Od šestého týdne byl horní kvartil nenulový (tj. více než čtvrtina hodnot hmotnosti vyhozených hnijících cibulí byla nenulových) a od 10. týdne byl ve většině týdnů nenulový i medián (tj. více než polovina hodnot hmotnosti vyhozených hnijících cibulí hodnot byla nenulových). V některých týdnech byly přítomny odlehlé a extrémní hodnoty.

Graf 8 Hmotnost vyhozených hnijećích cibulí.



Časový vývoj průměrné hmotnosti vyhozených hnijećích cibulí nevykazoval pro žádný způsob ošetření systematickou odchylku od kontrolních vzorků ani ostatních způsobů ošetření. Hodnoty pro všechny varianty nesystematicky kolísaly.

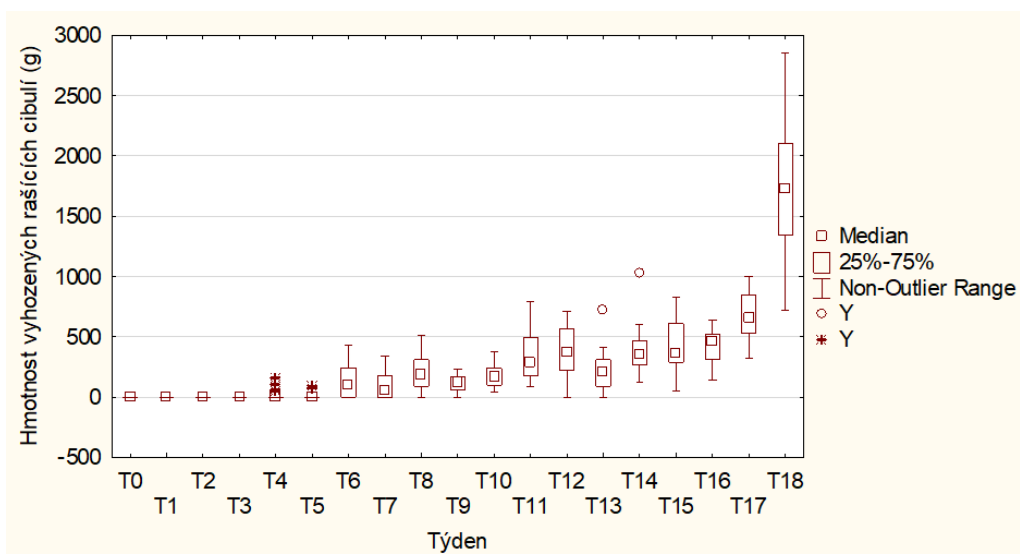
Graf 9: Časový vývoj průměrné hmotnosti vyhozených hnijećích cibulí.



5.1.4 Účinek silic na hmotnost vyhozených rašících cibulí

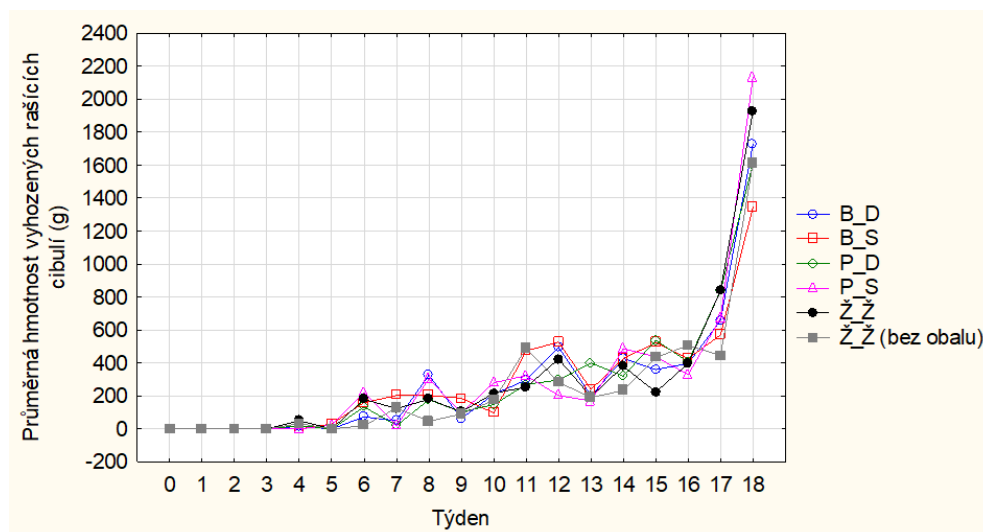
Nárůst hmotnosti vyhozených rašících cibulí je znázorněn v grafu č. 10. Kromě 18. týdne byl časový průběh rašících cibulí, které byly vyhozeny bez zlomů. Pouze 2 hodnoty byly klasifikovány jako odlehle.

Graf 10: Hmotnost vyhozených rašících cibulí.



Časový vývoj průměrné hmotnosti vyhozených rašících cibulí nevykazoval pro žádný způsob ošetření systematickou odchylku od ostatních způsobů ošetření.

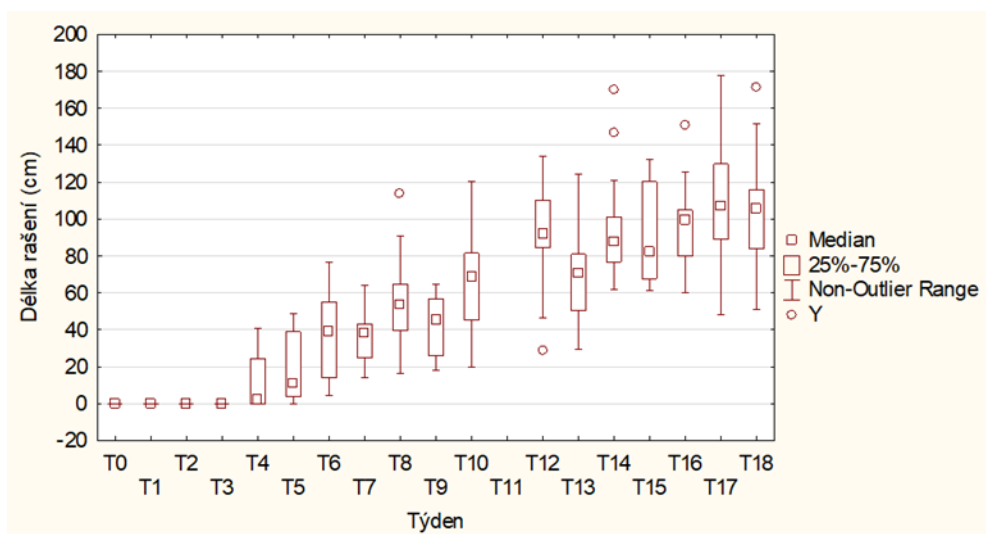
Graf 11: Časový vývoj průměrné hmotnosti vyhozených rašících cibulí.



5.1.5 Účinek silic na délku rašení cibulí

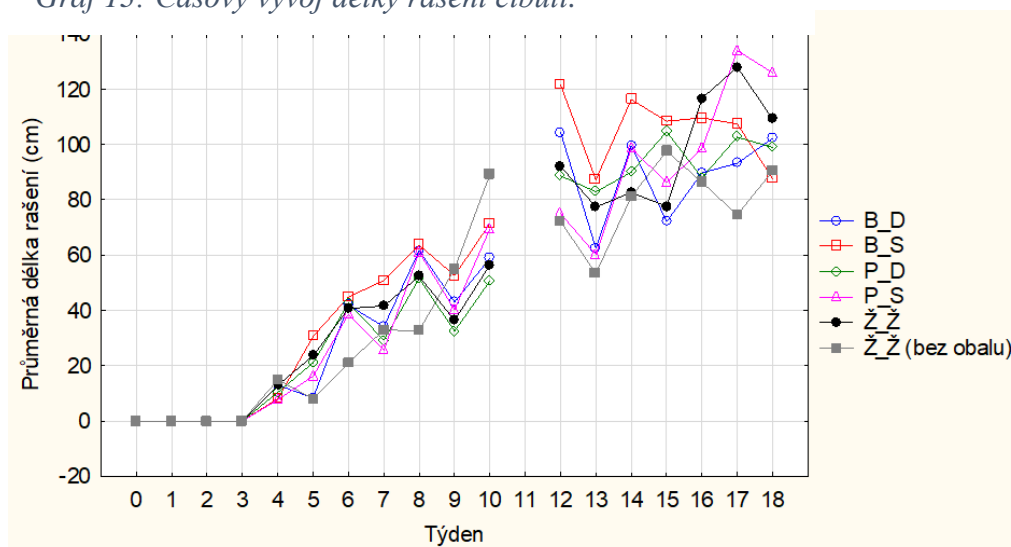
Nárůst délky rašení natí cibulí je znázorněn v grafu č. 12. V 11. týdnu nebyly naměřeny hodnoty délky rašení. Od 12. týdne nárůst délky rašení cibulí zpomalil. 6 hodnot bylo klasifikováno jako odlehlých.

Graf 12 Délka rašení cibulí zobrazena pomocí krabicového grafu.



Časový vývoj průměrné délky rašení nevykazoval pro žádný způsob ošetření systematickou odchylku od ostatních způsobů ošetření. Hodnoty pro všechny způsoby ošetření postupně rostly a nesystematicky okolo sebe kolísaly. Z 11. týdne sice délky rašení zaznamenány nebyly, ale významně by to celkové hodnocení neovlivnilo (Graf 13).

Graf 13: Časový vývoj délky rašení cibulí.



5.2 Statistické vyhodnocení malých boxů ve vybraných týdnech

Pro hmotnost vyhozených hnijećích cibulí, hmotnost vyhozených rašících cibulí a délku rašení byly pro různé způsoby skladování porovnány hodnoty v 6., 12. a 18. týdnu, a to pomocí analýzy rozptylu (ANOVA), neboť v těchto týdnech nebyly přítomny výrazné extrémní hodnoty a jedná se o týdny, které pravidelně pokrývají celý interval měření. V rámci hmotnosti netto v 18. týdnu byla zjištěna extrémní hodnota, zde tedy byla použita neparametrická metoda – Kruskal-Wallisův test.

5.2.1 Porovnání hmotnosti vyhozených hnijících cibulí

5.2.1.1 Šestý týden

Hmotnost vyhozených hnijících cibulí činila v 6. týdnu pro skladování Ž_Ž 30 gramů při směrodatné odchylce 52 gramů, pro skladování Ž_Ž (bez obalu) 20 gramů při směrodatné odchylce 34,6 gramů, pro skladování B_D 30 gramů při směrodatné odchylce 52 gramů, pro skladování P_D 16,7 gramů při směrodatné odchylce 28,9 gramů, pro skladování B_S 23,3 gramů při směrodatné odchylce 40,4 gramů a pro skladování P_S 46,7 gramů při směrodatné odchylce 80,8 gramů.

P-hodnota analýzy rozptylu (ANOVA) vyšla s ohledem na 3 desetinná místa 0,982, tj. vyšší než 0,05. Na hladině významnosti 0,05 nebyla v 6. týdnu prokázána závislost hmotnosti vyhozených hnijících cibulí na způsobu skladování.

Tabulka 5 Analýza rozptylu: p-hodnota a číselné charakteristiky.

Způsob skladování	počet	průměr	sm. odch.	p-hodnota
Ž_Ž	3	36,7	32,1	0,539
Ž_Ž (bez obalu)	3	20,0	34,6	
B_D	3	133,3	95,0	
P_D	3	120,0	137,5	
B_S	3	136,7	107,9	
P_S	3	116,7	120,1	

5.2.1.2 Dvanáctý týden

P-hodnota analýzy rozptylu (ANOVA) vyšla s ohledem na 3 desetinná místa 0,539, tj. vyšší než 0,05. Na hladině významnosti 0,05 nebyla ve 12. týdnu prokázána závislost hmotnosti vyhozených hnijících cibulí na způsobu skladování.

Tabulka 6: Analýza rozptylu: p-hodnota a číselné charakteristiky.

Způsob skladování	počet	průměr	sm. odch.	p-hodnota
Ž_Ž	3	36,7	32,1	0,539
Ž_Ž (bez obalu)	3	20,0	34,6	
B_D	3	133,3	95,0	
P_D	3	120,0	137,5	
B_S	3	136,7	107,9	
P_S	3	116,7	120,1	

5.2.1.3 Osmnáctý týden

P-hodnota analýzy rozptylu (ANOVA) vyšla s ohledem na 3 desetinná místa 0,686, tj. vyšší než 0,05. Na hladině významnosti 0,05 nebyla ve 18. týdnu prokázána závislost hmotnosti vyhozených hnijících cibulí na způsobu skladování.

Tabulka 7: Analýza rozptylu: p-hodnota a číselné charakteristiky.

Způsob skladování	počet	průměr	sm. odch.	p-hodnota
Ž_Ž	3	22,3	38,7	0,686
Ž_Ž (bez obalu)	3	41,5	71,9	
B_D	3	85,5	79,7	
P_D	3	111,3	124,3	
B_S	3	46,4	14,9	
P_S	3	45,4	52,3	

5.2.2 Porovnání hmotnosti vyhozených rašicích cibulí

5.2.2.1 Šestý týden

P-hodnota analýzy rozptylu (ANOVA) vyšla s ohledem na 3 desetinná místa 0,476, tj. vyšší než 0,05. Na hladině významnosti 0,05 nebyla v 6. týdnu prokázána závislost hmotnosti vyhozených rašicích cibulí na způsobu skladování.

Tabulka 8: Analýza rozptylu: p-hodnota a číselné charakteristiky.

Způsob skladování	počet	Průměr	sm. odch.	p-hodnota
Ž_Ž	3	180,0	223,4	0,476
Ž_Ž (bez obalu)	3	20,0	34,6	
B_D	3	73,3	127,0	
P_D	3	133,3	92,9	
B_S	3	160,0	138,6	
P_S	3	220,0	70,0	

5.2.2.2 Dvanáctý týden

P-hodnota analýzy rozptylu (ANOVA) vyšla s ohledem na 3 desetinná místa 0,375, tj. vyšší než 0,05. Na hladině významnosti 0,05 nebyla ve 12. týdnu prokázána závislost hmotnosti vyhozených rašicích cibulí na způsobu skladování.

Tabulka 9: Analýza rozptylu: p-hodnota a číselné charakteristiky.

Způsob skladování	počet	Průměr	sm. odch.	p-hodnota
Ž_Ž	3	423,3	176,2	0,375
Ž_Ž (bez obalu)	3	283,3	285,0	
B_D	3	496,7	287,3	
P_D	3	296,7	92,9	
B_S	3	526,7	145,0	
P_S	3	203,3	180,1	

5.2.2.3 Osmnáctý týden

P-hodnota analýzy rozptylu (ANOVA) vyšla s ohledem na 3 desetinná místa 0,673, tj. vyšší než 0,05. Na hladině významnosti 0,05 nebyla v 18. týdnu prokázána závislost hmotnosti vyhozených rašících cibulí na způsobu skladování.

Tabulka 10: Analýza rozptylu: p-hodnota a číselné charakteristiky.

Způsob skladování	počet	Průměr	sm. odch.	p-hodnota
Ž_Ž	3	1924,9	842,5	0,673
Ž_Ž (bez obalu)	3	1611,3	423,9	
B_D	3	1728,7	489,0	
P_D	3	1606,1	436,5	
B_S	3	1345,4	647,2	
P_S	3	2134,3	623,9	

5.2.2.4 Porovnání délky rašení všech skladovaných cibulí

5.2.2.5 Šestý týden

P-hodnota analýzy rozptylu (ANOVA) vyšla s ohledem na 3 desetinná místa 0,885, tj. vyšší než 0,05. Na hladině významnosti 0,05 nebyla v 6. týdnu prokázána závislost délky rašení na způsobu skladování.

Tabulka 11: Analýza rozptylu: p-hodnota a číselné charakteristiky.

Způsob skladování	počet	průměr	sm. odch.	p-hodnota
Ž_Ž	3	40,7	26,7	0,885
Ž_Ž (bez obalu)	3	21,1	20,9	
B_D	3	41,9	30,3	
P_D	3	42,7	25,3	
B_S	3	44,9	31,0	
P_S	3	38,6	26,7	

5.2.2.6 Dvanáctý týden

P-hodnota analýzy rozptylu (ANOVA) vyšla s ohledem na 3 desetinná místa 0,222, tj. vyšší než 0,05. Na hladině významnosti 0,05 nebyla ve 12. týdnu prokázána závislost délky rašení na způsobu skladování.

Tabulka 12: Analýza rozptylu: p-hodnota a číselné charakteristiky.

Způsob skladování	počet	průměr	sm. odch.	p-hodnota
Ž_Ž	3	92,2	4,7	0,222
Ž_Ž (bez obalu)	3	72,2	46,8	
B_D	3	104,5	28,7	
P_D	3	88,7	5,8	
B_S	3	121,7	10,0	
P_S	3	75,0	24,6	

5.2.2.7 Osmnáctý týden

P-hodnota analýzy rozptylu (ANOVA) vyšla s ohledem na 3 desetinná místa 0,712, tj. vyšší než 0,05. Na hladině významnosti 0,05 nebyla v 18. týdnu prokázána závislost délky rašení na způsobu skladování.

Tabulka 13: Analýza rozptylu: p-hodnota a číselné charakteristiky.

Způsob skladování	počet	průměr	sm. odch.	p-hodnota
Ž_Ž	3	109,3	60,1	0,712
Ž_Ž (bez obalu)	3	90,4	8,2	
B_D	3	102,2	16,4	
P_D	3	99,0	23,6	
B_S	3	87,7	30,9	
P_S	3	126,0	23,4	

5.2.3 Porovnání netto hmotnosti všech skladovaných cibulí

5.2.3.1 Šestý týden

P-hodnota analýzy rozptylu vyšla s ohledem na 3 desetinná místa 0,000, tj. nižší než 0,05. Na hladině významnosti 0,05 byla v 6. týdnu prokázána závislost netto hmotnosti na způsobu skladování.

Tabulka 14: Analýza rozptylu: p-hodnota a číselné charakteristiky.

Způsob skladování	počet	Průměr	sm. odch.	p-hodnota
Ž_Ž	3	9850,0	72,1	0,000
Ž_Ž (bez obalu)	3	9460,0	55,7	
B_D	3	9770,0	132,3	
P_D	3	9833,3	83,3	
B_S	3	9920,0	10,0	
P_S	3	9883,3	15,3	

Dle post-hoc Tukeyho HSD testu pro porovnání všech dvojic skupin byl statisticky významný rozdíl prokázán pro všechny dvojice zahrnující Ž_Ž (bez obalu). Netto hmotnost pro Ž_Ž (bez obalu) byla statisticky významně nižší než netto hmotnost pro způsoby skladování Ž_Ž, B_D, P_D, B_S a P_S. Pro ostatní dvojice skupin nebyl rozdíl na hladině významnosti 0,05 statisticky významný.

Tabulka 15: Tukeyho post-hoc test: tabulka p-hodnot.

Způsob skladování	Ž_Ž	Ž_Ž (bez obalu)	B_D	P_D	B_S	P_S
Ž_Ž	-	0,000	0,770	1,000	0,849	0,993
Ž_Ž (bez obalu)	0,000	-	0,003	0,001	0,000	0,000
B_D	0,770	0,003	-	0,894	0,206	0,462
P_D	1,000	0,001	0,894	-	0,710	0,957
B_S	0,849	0,000	0,206	0,710	-	0,989
P_S	0,993	0,000	0,462	0,957	0,989	-

5.2.3.2 Dvanáctý týden

P-hodnota analýzy rozptylu vyšla s ohledem na 3 desetinná místa 0,000, tj. nižší než 0,05. Na hladině významnosti 0,05 byla v 12. týdnu prokázána závislost netto hmotnosti na způsobu skladování.

Tabulka 16: Analýza rozptylu: p-hodnota a číselné charakteristiky.

Způsob skladování	počet	průměr	sm. odch.	p-hodnota
Ž_Ž	3	9506,7	120,1	0,000
Ž_Ž (bez obalu)	3	9053,3	40,4	
B_D	3	9456,7	172,1	
P_D	3	9576,7	148,4	
B_S	3	9623,3	15,3	
P_S	3	9626,7	80,8	

Dle post-hoc Tukeyho HSD testu pro porovnání všech dvojic skupin byl statisticky významný rozdíl prokázán pro všechny dvojice zahrnující Ž_Ž (bez obalu). Netto hmotnost pro Ž_Ž (bez obalu) byla statisticky významně nižší než netto hmotnost pro způsoby skladování Ž_Ž, B_D, P_D, B_S a P_S. Pro ostatní dvojice skupin nebyl rozdíl na hladině významnosti 0,05 statisticky významný.

Tabulka 17: Tukeyho post-hoc test: tabulka p-hodnot.

Způsob skladování	Ž_Ž	Ž_Ž (bez obalu)	B_D	P_D	B_S	P_S
Ž_Ž	-	0,003	0,993	0,968	0,789	0,770
Ž_Ž (bez obalu)	0,003	-	0,008	0,001	0,001	0,001
B_D	0,993	0,008	-	0,770	0,483	0,463
P_D	0,968	0,001	0,770	-	0,995	0,993
B_S	0,789	0,001	0,483	0,995	-	1,000
P_S	0,770	0,001	0,463	0,993	1,000	-

5.2.3.3 Osmnáctý týden

P-hodnota analýzy rozptylu vyšla s ohledem na 3 desetinná místa 0,435, tj. vyšší než 0,05. Na hladině významnosti 0,05 nebyla v 18. týdnu prokázána závislost netto hmotnosti na způsobu skladování.

Tabulka 18: Analýza rozptylu: p-hodnota a číselné charakteristiky.

Způsob skladování	počet	Průměr	sm. odch.	p-hodnota
Ž_Ž	3	9241,3	1071,0	0,435
Ž_Ž (bez obalu)	3	8666,7	25,2	
B_D	3	9220,0	141,1	
P_D	3	9336,7	122,2	
B_S	3	9396,7	70,2	
P_S	3	9256,7	57,7	

Směrodatná odchylka pro Ž_Ž 1071,0, tj. násobně vyšší než u ostatních skupin, což je důsledkem extrémních hodnot, takže nelze předpokládat normální rozdělení ani homogenitu rozptylu. Proto pro vyhodnocení za pomoci ANOVY byla varianta Ž_Ž vyřazena a bylo porovnáváno pouze 5 skupin skladování. P-hodnota analýzy rozptylu vyšla s ohledem na 3 desetinná místa 0,000, tj. nižší než 0,05. Na hladině významnosti 0,05 byla v 18. týdnu prokázána závislost netto hmotnosti na způsobu skladování.

Tabulka 19: Analýza rozptylu: p-hodnota a číselné charakteristiky.

Způsob skladování	počet	Průměr	sm. odch.	p-hodnota
Ž_Ž (bez obalu)	3	8666,7	25,2	0,000
B_D	3	9220,0	141,1	
P_D	3	9336,7	122,2	
B_S	3	9396,7	70,2	
P_S	3	9256,7	57,7	

Dle post-hoc Tukeyho HSD testu pro porovnání všech dvojic skupin byl statisticky významný rozdíl prokázán pro všechny dvojice zahrnující Ž_Ž (bez obalu). Netto hmotnost pro Ž_Ž (bez obalu) byla statisticky významně nižší než netto hmotnost pro způsoby skladování B_D, P_D, B_S a P_S. Pro ostatní dvojice skupin nebyl rozdíl na hladině významnosti 0,05 statisticky významný.

Tabulka 20: Tukeyho post-hoc test: tabulka p-hodnot.

Způsob skladování	Ž_Ž (bez obalu)	B_D	P_D	B_S	P_S
Ž_Ž (bez obalu)	-	0,000	0,000	0,000	0,000
B_D	0,000	-	0,569	0,218	0,988
P_D	0,000	0,569	-	0,929	0,828
B_S	0,000	0,218	0,929	-	0,408
P_S	0,000	0,988	0,828	0,408	-

5.3 Statistické vyhodnocení velkých boxů

5.3.1 Hmotnost dobrých cibulí

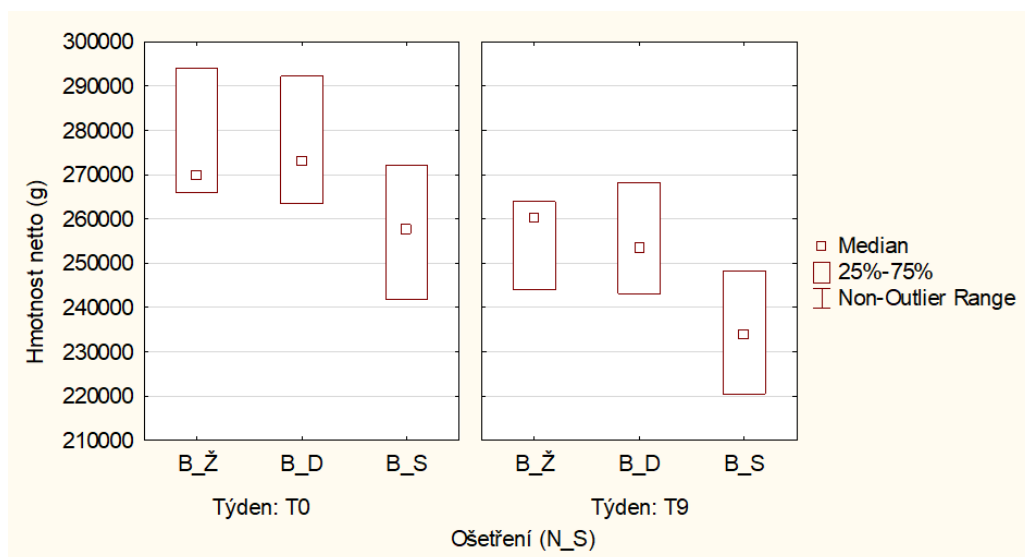
P-hodnota analýzy rozptylu (ANOVA) vyšla s ohledem na 3 desetinná místa 0,131, tj. vyšší než 0,05. Na hladině významnosti 0,05 nebyla v 9. týdnu prokázána závislost hmotnosti netto na způsobu skladování.

Tabulka 21: Analýza rozptylu: p-hodnota a číselné charakteristiky.

Způsob skladování	počet	průměr	sm. odch.	p-hodnota
B_Ž	3	256026,7	10640,7	0,131
B_D	3	254870,0	12594,6	
B_S	3	234236,7	13918,1	

Rozdíl hmotnosti dobrých cibulí na začátku a konci experimentu je znázorněn v grafu č. 14.

Graf 14: Netto hmotnost dobrých cibulí na začátku a konci experimentu.



5.3.2 Hmotnost hnilých cibulí

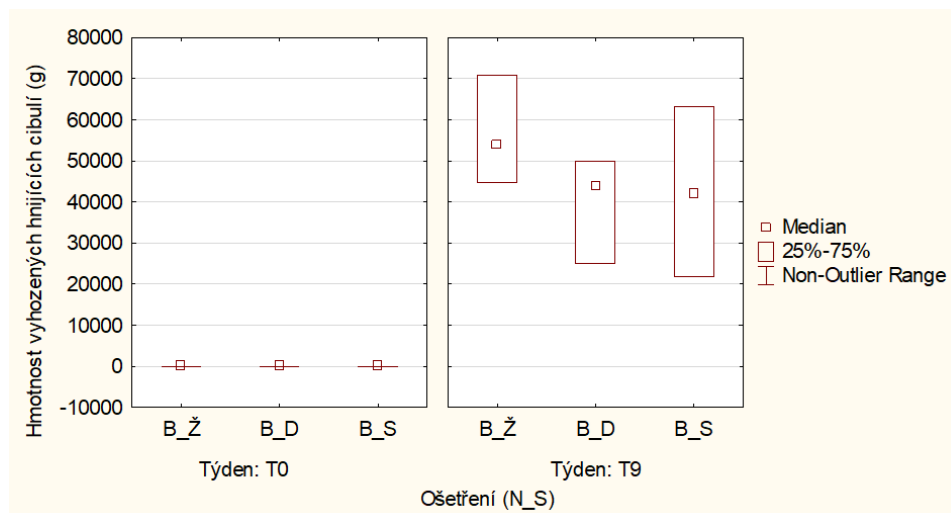
P-hodnota analýzy rozptylu (ANOVA) vyšla s ohledem na 3 desetinná místa 0,440, tj. vyšší než 0,05. Na hladině významnosti 0,05 nebyla v 9. týdnu prokázána závislost hmotnosti vyhozených hnilých cibulí na způsobu skladování.

Tabulka 22: Analýza rozptylu: p-hodnota a číselné charakteristiky

Způsob skladování	počet	Průměr	sm. odch.	p-hodnota
B_Ž	3	56453,3	13273,2	0,440
B_D	3	39666,7	13009,9	
B_S	3	42316,7	20751,9	

Vyhodnocení hmotnosti hnilých cibulí v experimentu je znázorněno v grafu č. 15.

Graf 15: Graf hmotnosti hnilých cibulí na začátku a konci experimentu



5.3.3 Hmotnost rašících cibulí

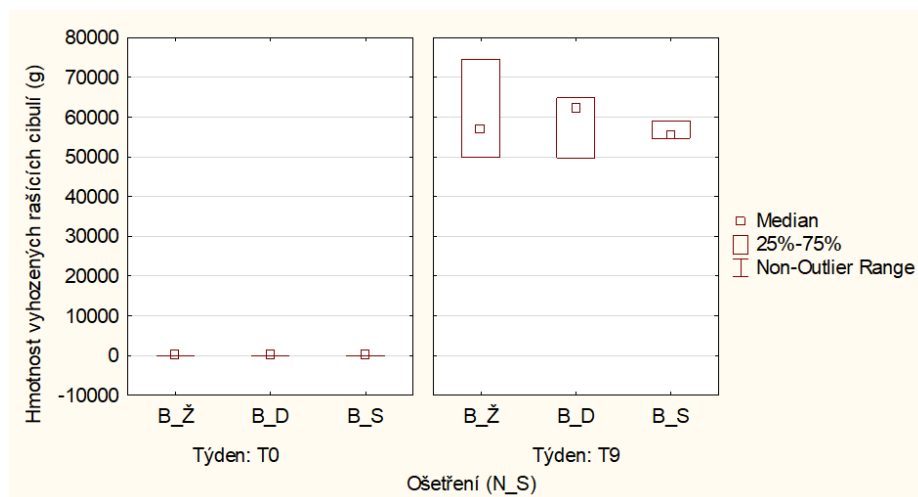
P-hodnota analýzy rozptylu (ANOVA) vyšla s ohledem na 3 desetinná místa 0,855, tj. vyšší než 0,05. Na hladině významnosti 0,05 nebyla v 9. týdnu prokázána závislost hmotnosti vyhozených rašících cibulí na způsobu skladování.

Tabulka 28: Analýza rozptylu: pTabulka 23-hodnota a číselné charakteristiky

Způsob skladování	počet	průměr	sm. odch.	p-hodnota
B_Ž	3	60423,3	12670,9	0,855
B_D	3	58906,7	8043,2	
B_S	3	56406,7	2391,3	

Vyhodnocení hmotnosti rašících cibulí v experimentu je znázorněno v grafu č. 16.

Graf 16: Hmotnost rašících cibulí na začátku a konci experimentu zobrazena pomocí krabicového grafu



5.3.4 Hmotnost plesnivějících cibulí

Statistické vyhodnocení zde postrádá smysl, jelikož hmotnost vyhozených plesnivějících cibulí byly jednotky, které se vyskytovaly pouze u ošetření bentonitem a skořicí. Nacházely se ve všech 3 opakováních, ve dvou bylo 140 g a ve třetím 30 g. Ve zbývajících variantách žádné plesnivě cibule nebyly.

6 Diskuze

Zdrojů ohledně použití silic k prodloužení skladovatelnosti cibule je poměrně málo, proto se řešerše věnuje aplikaci silic u obdobných potravin, především brambor, které je také potřeba chránit před klíčením, hnilobou, vysycháním a plísněmi. Na základě dosavadních poznatků se očekávalo, že silice z dobromysli bude mít vyšší předpoklad pro účinek než silice ze skořicovníku. Studie Zhang et al. (2023) ukázaly, že silice rostlin rodu *Origanum* mají vynikající potenciál v ochraně cibule proti bakteriálně způsobené hnilobě *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. Ve studii Hajan-maleki et al. (2019) byl též prokázán účinek antimikrobiálních látek (například thymolu, který je též účinnou složkou silice z dobromysli) proti této hnilobě. Tento experiment však probíhal na bramborách.

Předpokladem bylo, že boxy s cibulemi bez obalu by měly mít větší hmotnostní úbytek (ztráta vody). Dále, že by mohly mít méně hniјících a plesnivých cibulí díky horším podmínkám pro bakteriální a plísňové rozkladné procesy, zejména v případě, pokud aplikace silice nebude účinná. Byly detekovány rozdíly mezi jednotlivými skupinami v oblasti ztráty vody. Rozdíl hmotnostních úbytků mezi balenými a nebalenými cibulemi (větší úbytek) v malých boxech byl statisticky významný.

Naopak statisticky významný rozdíl nebyl detekován mezi jednotlivými typy silic nebo nosného materiálu. Podle Zhang et al. (2023) rozdíly mezi jednotlivými druhy silic v antibakteriální efektivitě existují a účinek je také silně závislý na dávce silice. Daná studie však využívala tekuté médium (postřik), což ztěžuje porovnání účinné dávky s naší metodou aplikace. Navíc metoda hodnotila především hnilobu způsobenou jedním typem bakterií, nikoli další mechanismy kažení. V našem experimentu byly také skladovací podmínky blíže těm, v nichž se potravina v praxi skladuje. To může být důvodem, proč jemnější rozdíly nebyly detekovány tak, jako v standardizovaných laboratorních podmínkách.

Nedávný korejský výzkum Se-Cheol et al. (2023) vedl k patentované metodě fungicidního ošetření cibule (KR101569010B). Tato metoda úspěšně využívá aplikaci účinné látky thymolu v plynné formě. Koncentrace výparů byla 5 až 30 ppm thymolu a cibule byla po ošetření skladována při teplotě 2-4 °C, zatímco v našem experimentu byla opět blíže praktickým podmínkám skladování (21 ± 3 °C). Tekutá i plynná forma umožňuje rovnoměrný kontakt účinné látky, čehož jsme se pokusili dosáhnout pomocí aktivního obalu, kdy látka působí delší dobu. Je však možné, že její koncentrace byla tímto způsobem aplikace příliš nízká. Důležitým aspektem patentované technologie bylo také využití alkoholů jako rozpouštědla pro odpařování thymolu. V našem experimentu nebyla organická rozpouštědla použita. Účinnost silice se liší i v závislosti na použitém patogenu, jelikož proti některým druhům plísní může chránit hůře. Výsledek tedy mohlo ovlivnit zastoupení konkrétních patogenů ve skladovacím prostoru u tohoto experimentu.

Balené cibule v naší studii vykazovaly menší úbytek vody, což je způsobeno použitím neprodyšných obalů. Tyto obaly však nevedly k vyššímu výskytu plísní nebo hniloby ve srovnání s nebalenými cibulemi, což naznačuje, že aplikace silic může částečně kompenzovat negativní efekty neprodyšného balení. Tato hypotéza však zůstává nepotvrzená kvůli malému rozsahu vzorků a velké variabilitě uvnitř skupin. Pro potvrzení by bylo nutné provést studii s větším počtem opakování. Skladovací místnost v naší studii byla bez pravidelné

cirkulace vzduchu a měla malé rozměry. Podle studie Mandake at al. (2023), cibule skladované při pokojové teplotě 25 až 30 °C a relativní vlhkosti mezi 65 a 75 % v prostorách s dobrou ventilací měly prodlouženou skladovatelnost. Srovnání konvenčních plachet z polypropylenu, polyethylenu, plátna a nylonu ukázalo, že polyetylenové plachty nebyly schopny udržet optimální teplotní a vlhkostní podmínky. Mandake at al. uvádí, že ztráty způsobené nevhodným skladováním mohou činit 30-60 %. To zdůrazňuje význam správně zvoleného materiálu balení a efektivní cirkulace vzduchu, která může zabránit jak úbytku hmotnosti, tak zároveň i mikrobiálnímu napadení a klíčení cibule.

Nepotvrdil se předpoklad vlivu silic na znehodnocování cibule rašením. V současnosti nejsou dostupné studie, které by podobný vliv u cibule pozorovali, proto byl účinek odvozován od inhibice klíčení u jiných plodin, jako jsou brambory. Thoma a Zheljaskov (2022) uvádějí, že efektivita je závislá i na odrůdě plodin. Přenos poznatků na jiný druh plodin bude vyžadovat podrobnější zkoumání.

Jak již bylo zmíněno, existuje jen málo studií zaměřených na ošetření cibule silicemi. Použili jsme rozdílný způsob aplikace, rozdílnou teplotu a sledovali jsme rozdílné parametry, než zvolili ve studii (přesný název a důvod proč jste změnili). Nebyla dosud určena přesná koncentrace silic, která by měla žádoucí vliv na skladovatelnost cibule, vycházelo se pouze z předpokladů účinku a z pokusů na jiných potravinách, především bramborách. Pro dosažení očekávaných výsledků by bylo vhodné zopakovat experiment s větším počtem vzorků a vhodnou vyšší koncentrací silic.

7 Závěr

- Cílem práce bylo ověřit hypotézu, že použití dvou vybraných silic z dobromysli a skořicovníku formulovaných do nosičů (bentonitu a pilin) v obalovém materiálu prodlužuje dobu skladovatelnosti cibule a oddaluje klíčení. Zvolená silice s nosičem byly v poměru 1/4 (hm.). První část experimentu tvořily malé boxy o hmotnosti 10 kg, kde byly silice s nosičem o hmotnosti 50 g. Druhou část tvořily velké boxy o hmotnosti cca 200-300 kg, kde byly silice s nosičem o hmotnosti 1000 g. Poměr silic a nosiče byl zvolen na základě experimentu, který této práci předcházel, ve kterém toto množství statisticky významně fungovalo, bylo bezpečné a neovlivňovalo potravinu nepříznivým způsobem.
- V poloprovozních podmínkách se potvrdil statisticky významný účinek aktivního balení pouze na úbytek netto hmotnosti u malých 10 kg boxů bez obalu v 6. a 12. týdnu. U velkých boxů nebyl pro kontrolu zvolen box bez obalu, a tudíž se statisticky významný účinek nepotvrdil. Na hmotnost hnijících, plesnivějících a rašících cibulí, včetně délky rašení taktéž nebyl prokázán statisticky významný vliv. Hypotéza tedy nebyla potvrzena.
- Silice představují šetrnější formu prodloužení skladovatelnosti potravin ve srovnání se syntetickými látkami. Vyznačují se antimikrobiálními, antifungálními a antioxidantními účinky, z čehož vyplývá jejich vysoký potenciál při použití do skladovacích obalů. Při skladování ve zvoleném rozsahu se však jejich účinek nepotvrdil. Kromě toho i samotná cibule obsahuje zejména ve svých svrchních vrstvách mnohé antimikrobiální látky. Nedosažené očekávané výsledky mohly být způsobeny rozsahem experimentu. K naplnění hypotézy mohla přispět silnější koncentrace silic vázaných na nosiče a též větší množství připravených sáčků.
- Navrhují v příštích experimentech navýšit koncentraci silic pro využití v poloprovozních podmínkách, obsah rozdělit u velkých boxů do ještě více dílčích sáčků a experiment zopakovat s větším počtem opakování pro vyšší přesnost. Potenciál vidím zejména v silici z dobromysli, jelikož ta by mohla vykazovat méně negativních účinků při úpravě pokrmů než silice ze skořicovníku.

8 Literatura

- Abdou, R., Malice, M., Bakasso, Y., Saâdou, M., & Baudoin, J.P. 2014. Taxonomie locale et analyse des critères des paysans pour caractériser les différents écotypes d'oignons (*Allium cepa* L.) du Niger. Cahiers Agricultures **23**:166-176.
- Abe K, Watada AE. 1991. Ethylene absorbent to maintain quality of lightly processed fruits and vegetables. J. Food Sci **56**:1589–1592.
- Adelakun OE, Oyelade OJ, Olanipekun BF. 2016. Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety, Chapter 7 - Use of Essential Oils in Food Preservation. Elsevier Science Inc 71-84.
- Ahmed MW, Haque MA, Mohibullah M, Khan MSI, Islam MA, Mondal MHT, Ahmmed R. 2022. A review on active packaging for quality and safety of foods: Current trends, applications, prospects and challenges. Food Packaging and Shelf Life (e 22142894) DOI: 10.1016/j.fpsl.2022.100913.
- Ali EA, Nada AA, Al-Moghazy M. 2021. Self-stick membrane based on grafted gum Arabic as active food packaging for cheese using cinnamon extract. Int J Biol Macromol **189**:114-123.
- Arokiyaraj S, Dinakarkumar Y, Shin H. 2024. A comprehensive overview on the preservation techniques and packaging of processed meat products: Emphasis on natural derivatives, Journal of King Saud University – Science **36**:1.
- Atarés L, Chiralt A. 2016. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. Trends Food Science & Technology **48**:51–62.
- Aziz ZAA, Ahmad A, Setapar SHM, Karakucuk A, Azim MM, Lokhat D, Rafatullah M, Ganash M, Kamal MA, Ashraf GM. 2018. Essential Oils: Extraction Techniques, Pharmaceutical And Therapeutic Potential – A Review. Curr Drug Metab **19**(13):1100-1110.
- Barreto MR, Aleixo NA, Silvestre RB, Fregonezi NF, Barud HDS, Dias DDS, Ribeiro CA, Resende FA. 2020. Genotoxicological safety assessment of puree-only edible films from onion bulb (*Allium cepa* L.) for use in food packaging-related applications. J Food Sci. **85**(1):201-208.
- Başer KHC, Buchbauer G. 2010. Handbook of essential oils: science, technology, and applications. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis.
- Boivin M, Bourdeau N, Barnabé S, Desgagné-Penix I. Sprout Suppressive Molecules Effective on Potato (*Solanum tuberosum*) Tubers during Storage: a Review. Am. J. Potato Res **97**:451–463.
- Borešová K, Hoca G. 2024. Skladování cibule s využitím rostlinných extraktů. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10802525>
- Boylston TD, Powers JR, Weiler KM, Yang J. 2001. Comparison of sensory differences of stored Russet Burbank potatoes treated with CIPC and alternative sprout inhibitors. Am. J. Pot Res **78**:99–107.

- Branen A.L, Davidson PM, Salminen S, Thorngate J. 2001. Food Additives. CRC Press.
- Burgos G, Zum Felde, T, Andre C, Kubow S. 2020. The Potato and Its Contribution to the Human Diet and Health. In *The Potato Crop: Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind*; Campos, H., Ortiz, O., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland 37–74.
- Burt SA., Reinders RD. 2003. Antibacterial activity of selected plant essential oils against *Escherichia coli* O157:H7. *Lett. Appl. Microbiol* **36**:162–167.
- Commission Regulation (EC) No 450/2009 of 29 May 2009 on active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food.
- CABI. 2023. *Urocystis cepulae* (onion smut). PlantwisePlus Knowledge Bank. Available from <https://plantwiseplusknowledgebank.org/doi/full/10.1079/pwkb.species.55787> (accessed March 2024).
- Campolo O, Giunti G, Russo A, Palmeri V, Zappalà L. 2018. Essential Oils in Stored Product Insect Pest Control. *Journal of Food Quality*. Essential Oils in Stored Product Insect Pest Control. *Journal of Food Quality* (e6906105) DOI: 10.1155/2018/6906105.
- Cao TL, Yang SY, Song KB. 2018. Development of Burdock Root Inulin/Chitosan Blend Films Containing Oregano and Thyme Essential Oils. *Int J Mol Sci* **19**(1):131.
- Carocho M, Morales P, Ferreira I. 2015 CFR. Natural food additives: Quo vadis? *Trends in Food Science & Technology* **45**(2): 284–295.
- De Greef D, Barton EM, Sandberg EN, Croley CR, Pumarol J, Wong TL, Das N, Bishayee A. 2020. Anticancer potential of garlic and its bioactive constituents: A systematic and comprehensive review. In *Seminars in cancer biology* **73**: 219–264.
- Deepa GT, Chetti MB, Khetagoudar MC, Adavirao GM. 2011. Influence of vacuum packaging on seed quality and mineral contents in chilli (*Capsicum annuum* L.). *J Food Sci Technol*, online journal DOI:10.1007/s13197-011-0241-3.
- Delahaut K, Stevenson W. 2004. Onion Disorders. Wisconsin County Extension Office Available from <https://barron.extension.wisc.edu/files/2023/02/Onion-Disorders-Botrytis-Leaf-Blight-Leaf-Fleck-and-Neck-Rot.pdf> (accessed March 2024).
- Demirhan B, Candoğan K. 2017. Active packaging of chicken meats with modified atmosphere including oxygen scavengers. *Poult Sci* **96**(5):1394-1401.
- Dini I. 2016. Essential oils in food preservation, flavor and safety, Chapter 14 - Use of Essential Oils in Food Packaging. Elsevier Science Inc 139-147.
- Dirpan A, Djalal M, Ainani AF. 2022. A Simple Combination of Active and Intelligent Packaging Based on Garlic Extract and Indicator Solution in Extending and Monitoring the Meat Quality Stored at Cold Temperature. *Foods*. **11**(10):1495.

- Dolea D, Rizo A, Fuentes A, Barat JM, Fernández-Segovia I. 2018. Effect of thyme and oregano essential oils on the shelf life of salmon and seaweed burgers. *Food Sci Technol Int.* **24**(5):394-403.
- Domadia P, Swarup S, Bhunia A, Sivaraman J, Dasgupta D. 2007. Inhibition of bacterial cell division protein FtsZ by cinnamaldehyde. *Biochem. Pharmacol* **74**(6):831-840.
- Dowding CH, Hafferty S. 2017. No dig organic home and garden – Grow, cook, use and store your harvest. Permanent Publications, Hampshire.
- Drago E, Campardelli R, Pettinato M, Perego, P. 2020. Innovations in smart packaging concepts for food: An extensive review. *Foods* **9**(11):1628.
- Duncan, TV. 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*, **363**(1):1-24.
- Dvořák P, Tomášek J, Hamouz K. 2014. Konvalina, P. Pěstování vybraných plodin v ekologickém zemědělství. Brambory (*Solanum tuberosum* L.). Jihočeská univerzita, České Budějovice.
- EFSA 2016. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance maleic hydrazide. *EFSA Journal* DOI:14. 10.2903/j.efsa.2016.4492.
- Elawady A. 2019. Effect of Essential Oils on Storability and Preservation of Some Vegetable Crops. *ISSN edsors*. Online.
- Emragi E, Kalita D, Jayanty SS. 2022. Effect of Edible Coating on Physical and Chemical Properties of Potato Tubers under Different Storage Conditions. *LWT* **153**:112580.
- EPA. 2023. Food Waste Research. U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.). Available from <https://www.epa.gov/land-research/food-waste-research#why> (accessed March 2024).
- Erginkaya Z, Konury G. 2017. Natural Preservatives: An Alternative for Chemical Preservative Used in Foods (e10006897) DOI: 10.5281/zenodo.1130043.
- Evans K, Frank, E. 2009. Iris Yellow Spot Virus in Onion. Utah State University Extension – Integrated Pest Management. Available from <https://extension.usu.edu/pests/research/iysv.pdf> (accessed March 2024).
- Evropská komise. 2019-2024. The European Green Deal. Strategy and policy. Directorate-General for Communication. Available from https://commission.europa.eu/languages-our-websites_cs (accessed April 2024).
- Evropská komise, 2019-2024. Farm to Fork strategy. Horizontal topics. Directorate-General for Communication. Available from https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en (accessed April 2024).

FAO. 2021. Agricultural production statistics 2020-2021. Agricultural production statistics. Rome, Italy Available from <https://www.fao.org/3/cc3751en/cc3751en.pdf> (accessed April 2024).

FAO. 2024. Food Loss and Food Waste. Policy Support and Governance Gateway. Available from <https://www.fao.org/policy-support/policy-themes/food-loss-food-waste/en/> (accessed April 2024).

Fabech B, et al. 2000. Active and Intelligent Food Packaging – A Nordic Report on the Legislative Aspects. TemaNord; Stockholm, Sweden.

Foyer ChH, Rasool B, Davey JW, Hancock RD. 2016. Cross-tolerance to biotic and abiotic stresses in plants: a focus on resistance to aphid infestation, *Journal of Experimental Botany* **67**(7):2025–2037.

Gill AO, Holley RA. 2006. Inhibition of membrane bound ATPases of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* by plant oil aromatics. *Int. J. Food Microbiol* **111**(2):170–174.

Glowacz M, Colgan R, Rees D. 2015. The use of ozone to extend the shelf-life and maintain quality of fresh produce. *J Sci Food Agric* **95**(4):662-71.

González-Fuentes F., López-Gil M.A., Mendoza S., Escarpa A. 2011. Electrochemical screening of biomarkers in chemotype Mexican oregano oils on single-walled carbon nanotubes screen-printed electrodes. *Electroanalysis* **23**:2212–2216.

Gómez-Castillo D, Cruz E, Iguaz A, Arroqui C, Virseda P. 2013, Effects of essential oils on sprout suppression and quality of potato cultivars, *Postharvest Biology and Technology* **82**:15-21.

Güner S., Boz Z., Yağız Y., Topalcengiz Z., Welt B.A., Sarnoski P., Simonne A., Kristinsson H.G., Marshall M.R. 2021. Investigation of phenolic compounds and antioxidant activity in red and yellow onions and a synergistic utilization of skin extract in modified atmosphere packaging of salmon (*Salmo salar*) *Packag. Technol. Sci.* **34**:371–382.

Greene J. 2023. Potato. Salem Press Encyclopedia.

Haile B, Worojie T, Hailu A. 2019. Diseases and Insect Pests of Onion (*Allium cepa* L.) in Masha District of Sheka Zone, South-West Ethiopia DOI: 10.15413/ajar.2016.0180.

Hajian-maleki H, Baghaee-ravari, Moghaddam M. 2019. Efficiency of essential oils against *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* causing potato soft rot and their possible application as coatings in storage. *Postharvest Biology and Technology* (e110928) DOI: doi:10.1016/j.postharvbio.2019.06.002.

- Hempel AW, O'Sullivan MG, Papkovsky DB, Kerry JP. 2013. Use of smart packaging technologies for monitoring and extending the shelf-life quality of modified atmosphere packaged (MAP) bread: Application of intelligent oxygen sensors and active ethanol emitters. *Eur. Food Res. Technol* **237**:117-124.
- Hoque M, Biswas R, Alam M, Hasan Md M, Haque Md I. 2021. Application of nanotechnology in food: A comprehensive review on processing, preservation, packaging, and safety assessment. Available from: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3968372.
- Hoseinnejad M, Jafari SM, Katouzian I. 2018. Inorganic and metal nanoparticles and their antimicrobial activity in food packaging applications. *Critical Reviews in Microbiology* **44**(2):161-181.
- Huang L, Liu Z, Wang J, Fu J, Jia Y, Ji L, Wang T. 2023. Bioactivity and health effects of garlic essential oil: A review. *Food Science* **11**(6):2450-2470.
- Hubík J, Dušek J, Spilková J, Šícha, J. 1989. *Obecná farmakognosie. II. Sekundární látky.* UK v Praze, SPN, Praha.
- Huffstetler E. 2021. 15 Best Onion Varieties for Storing. The Spruce Eats. Available from <https://www.thespruceeats.com/onions-that-store-well-4045259> (accessed November 2023).
- Chawengkijwanich C, Hayata Y. 2008. Development of TiO₂ powder-coated food packaging film and its ability to inactivate *Escherichia coli* in vitro and in actual tests. *International Journal of Food Microbiology* **123**(3):288-292.
- Chung W, Le GT, Tran, TV, Nguyen NH. 2017. Novel proximal fish freshness monitoring using batteryless smart sensor tag. *Sensors and Actuators B-chemical* **248**:910-916.
- ICAR. 2023. Podnebí a půda. Available from https://dogr.icar.gov.in/index.php?option=com_content&view=article&id=110&Itemid=156&lang=en (accessed November 2023).
- Jozwiak ZB, Bartsch JA, Aneshansley DJ. 2000. Modelling Disappearance of Ethylene from Controlled Storage Atmospheres Exposed to Ultraviolet Radiation. *IFAC Proceedings Volumes* **33**(19):215-220.
- Ju A, Song K. 2019. Incorporation of yellow onion peel extract into the funoran-based biodegradable films as an antioxidant packaging material. *International Journal of Food Science & Technology*. 55. 10.1111/ijfs.14436.
- Kader AA, Zagory D, Kerbel EL. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Crit Rev Food Sci Nutr* **28**(1):1-30.
- Kim JS et al. 2007. Antimicrobial effects of silver nanoparticles. *Nanomedicine* **3**(1):95-101.

Kleinkopf GE, Oberg NA, Olsen NL. 2003. Sprout Inhibition in Storage: Current Status, New Chemistries and Natural Compounds. *Am. J. Potato Res.* **80**:317.

Kocourek F; Koudela M, Jursík M, Rod J, Holý K, Kovaříková K. 2016. Technologie pěstování a ochrany cibule v systému integrované produkce: uplatněná technologie. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.

KouassiAST, Agbo S, Abdou R, Sani S, Karim TDA, , Bakasso Y. 2021. Garlic (*Allium sativum* L.): Overview on its Biology and Genetic Markers Available for the Analysis of Its Diversity in West Africa. *Asian Journal of Biochemistry Genetics and Molecular Biology* **7**:1-10.

Kuorwel KK, Cran MJ, Sonneveld K, Miltz J, Bigger SW. 2011. Essential oils and their principal constituents as antimicrobial agents for synthetic packaging films. *J Food Sci* **76**(9):164-77.

Lanzotti V. 2006. The analysis of onion and garlic. *Journal of Chromatography A* **1112**(1): 3-22.

Lasky J. 2023. Garlic (*Allium sativum*). Salem Press Encyclopedia.

Latou E, Mexis S, Badeka A, Kontominas M. 2010. Shelf life extension of sliced wheat bread using either an ethanol emitter or an ethanol emitter combined with an oxygen absorber as alternatives to chemical preservatives. *J. Cereal Sci* **52**:457-465.

Leyva-López N, Gutiérrez-Grijalva EP, Vazquez-Olivo G, Heredia JB. 2017. Essential Oils of Oregano: Biological Activity beyond Their Antimicrobial Properties. *Molecules* **22**(6):989.

Lukas B., Schmiderer C., Novak J. 2015. Essential oil diversity of European *Origanum vulgare* L. (Lamiaceae) *Phytochemistry* **119**:32–40.

Mamidala S. 2023. The SLED (Shelf Life Expiration Date) Tracking System: Using Machine Learning Algorithms to Combat Food Waste and Food Borne Illnesses.

Mandake S, Shikalgar N, Deshmukh AM. 2022. Design and development of an adequate ventilation system to preserve freshly harvested onions. *Materials Today: Proceedings* DOI: 10.1016/j.matpr.2022.09.096.

Melini V, Melini F, 2018. Strategies to extend bread and GF bread shelf-life: from sourdough to antimicrobial active packaging and nanotechnology. *Fermentation* **4**:9.

Mihalescu L, Voşgan Z, Lazăr A. 2018. Antifungal effect of spice extracts-Possible solutions for biological preservation of food. *Food and Environment Safety* **17**(2):103-112.

- Mills A. 2005. Oxygen indicators and intelligent inks for packaging food. *Chem Soc Rev* **34**(12):1003-11.
- Montesdeoca-Calderón MG, Gil-Saura I, Ruiz-Molina ME, Martín-Rios C. 2024. Tackling food waste management: Professional training in the public interest. *International Journal of Gastronomy and Food Science* **35**:100863.
- Morones JR, Elechiguerra JL, Camacho A., Holt K., Kouri JB., Ramírez JT, Yacamán, MJ. 2005. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology* **16**(10):2346.
- Müller P, Schmid M. 2019. Intelligent Packaging in the Food Sector: A Brief Overview. *Foods* **8**(1):16.
- Nagini S. 2008. Cancer chemoprevention by garlic and its organosulfur compounds-panacea or promise? *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry* **8**(3): 313–321.
- Naik R, Ambrose DC, Raghavan GS, Annamalai SJ. 2014. Enhancing shelf life of minimally processed multiplier onion using silicone membrane. *J Food Sci Technol* **51**(12):3963-9.
- National Center for Biotechnology Information. 2024. PubChem Compound Summary for CID 21954, Maleic hydrazide. Available from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Maleic-hydrazide> (accessed March 2024).
- Nazzaro F, Fratianni F, De Martino L, Coppola R, De Feo V. 2013. Effect of Essential Oils on Pathogenic Bacteria. *Pharmaceuticals* **6**:1451-1474.
- Oboo H, Muia AW, Kinyua ZM. 2014. Effects of selected essential oil plants on bacterial wilt disease development in potatoes (e6666-6674) DOI: 10.4314/jab.v78i0.2.
- Oh JY & Kim KD. 2016. Control Strategies for Fungal Pathogens on Stored Onion (*Allium cepa*) and Garlic (*Allium sativum*): A Review. *Life Science and Natural Resource Research*. **24**:31-40.
- Omerović N, Djisalov M, Živojević K, Mladenović M, Vunduk J, Milenković I, Knežević NŽ, Gadjanski I, Vidić J. 2021. Antimicrobial nanoparticles and biodegradable polymer composites for active food packaging applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **20**(3): 2428-2454.
- Oravetz K, Todea AV, Balacescu O, Cruceriu D, Rakosy-Tican E. 2023. Potential antitumor activity of garlic against colorectal cancer: focus on the molecular mechanisms of action. *European journal of nutrition* **62**(6):2347-2363.

Owolabi MS, Olowu RA., Lajide L, Oladimeji MO., Padilla-camberos E, Flores-fernández JM. 2013. Inhibition of potato tuber sprouting during storage by the controlled release of essential oil using a wick application method. *Industrial Crops* **45**:83-87.

Ozdemir M, Floros JD. 2004. Active food packaging technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **44**(3):185-93.

Pant AF, Sänglerlaub S, Müller K. 2017. Gallic Acid as an Oxygen Scavenger in Bio-Based Multilayer Packaging Films. *Materials (Basel)* **3**:10(5):489.

Park CH, Park YE, Yeo HJ, Chun SW, Baskar TB, Lim SS, Park SU. 2019. Chemical Compositions of the Volatile Oils and Antibacterial Screening of Solvent Extract from Downy Lavender. *Foods* **8**(4):132.

Se-Cheol CH, Kim TK, Ji S. 2023. A method for preventing onion storage disease. Korea. KR101569010B1. Available from <https://patents.google.com/patent/KR101569010B1/en> (accessed March 2024).

Pounds K, Jairam S, Bao H, Meng S, Zhang L, Godinez SA, Savin DA, Pelletier W, Correll MJ, Tong Z. 2021. Glycerol-Based Dendrimer Nanocomposite Film as a Tunable pH-Sensor for Food Packaging. *ACS Appl Mater Interfaces*. **13**(19):23268-23281.

Prakash B, Kujur A, Yadav A, Kumar A, Singh PP, Dubey NK. 2018. Nanoencapsulation: An efficient technology to boost the antimicrobial potential of plant essential oils in food system. *Food Control* **89**:1–11.

Prastuty, Kaur G, Singh A. 2022. Shelf life extension of muffins coated with cinnamon and clove oil nanoemulsions. *J Food Sci Technol* **59**(5):1878-1888.

Radulović NS, Genčić MS, Stojanović NM, Randjelović PJ, Stojanović-Radić ZZ, Stojiljković NI. 2017. Toxic essential oils. Part V: Behaviour modulating and toxic properties of thujones and thujone-containing essential oils of *Salvia officinalis* L., *Artemisia absinthium* L., *Thuja occidentalis* L. and *Tanacetum vulgare* L. *Food and Chemical Toxicology* **105**:355-369.

Raghuvanshi S, Khan H, Saroha V, Sharma H, Gupta HS, Kadam A, Dutt D. 2023. Recent advances in biomacromolecule-based nanocomposite films for intelligent food packaging- A review. *Int J Biol Macromol*. **7**:127420.

Regulation (EC) No 1935/2004 of 27 October 2004 on materials and articles intended to come into contact with food and repealing Directives 80/590/EEC and 89/109/EEC.

Rod J. 2017. *Choroby a škůdci na zahradě*. Grada, Praha.

- Rooney ML. 1995. Active packaging in polymer films. In: Active Food Packaging 74–110. Ed., Rooney, M.L. Blackie Academic and Professional, London.
- Ross L. 2023. Active Packaging: Definition, Types, and Benefits. Thomasnet. Available from <https://www.thomasnet.com/insights/active-packaging/> (accessed December 2023).
- Rout S, Tambe S, Deshmukh RK, Mali S, Cruz J, Srivastav PP, Amin PD, Gaikwad KK, Andrade EH de A, Oliveira MS de. 2022. Recent trends in the application of essential oils: The next generation of food preservation and food packaging. Trends in Food Science & Technology **129**:421–439.
- Sagar N, Pareek S, Benkeblia N, Xiao J. 2022. Onion (*Allium cepa* L.) bioactives: Chemistry, pharmacotherapeutic functions, and industrial applications. online. Food Frontiers DOI: <https://doi.org/10.1002/fft2.135>.
- Sánchez-González L, Vargas, M, González-Martínez Ch, Chiralt A, Cháfer M. 2011. Use of Essential Oils in Bioactive Edible Coatings: A Review. Food Engineering Reviews **3**(1): 1-16.
- Savitha S, Chakraborty S, Thorat BN. 2022. Microbial Contamination and Decontamination of Onion and its Products. Applied Food Research (e100032) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100032>.
- Seiler DAL, Russell NJ. 1993. Food Preservatives. Blackie Academic and Professional, London.
- Seznam.cz. 2024. Mapy.cz. Available from <https://mapy.cz/zakladni?x=14.3784980&source=firm&id=13453289&y=50.1274479&z=7&ds=1> (accessed March 2024).
- Sharma S, Byrne M, Perera KY, Duffy B, Jaiswal AK, Jaiswal S. 2023 Active film packaging based on bio-nanocomposite TiO₂ and cinnamon essential oil for enhanced preservation of cheese quality. Food Chem **405**:134798.
- Shouket S, et al. 2023. Enhancement of shelf-life of food items via immobilized enzyme nanoparticles on varied supports. A sustainable approach towards food safety and sustainability. Food Research International (e09639969) DOI: 10.1016/j.foodres.2023.112940.
- Shukla AC, Shahi SK, Dikshit A. 2000. Epicarp of Citrus Sinensis: A Potential Source of Natural Pesticide. Indian Phytopathol **53**:468–471.
- Schwartz HF. 1999. Botrytis, Downy Mildew, and Purple Blotch of Onion. Colorado State University Extension Available from <https://extension.colostate.edu/topic-areas/agriculture/botrytis-downy-mildew-and-purple-blotch-of-onion-2-941/> (accessed March 2024).

Singh H, Khar A. 2022. Potential of onion (*Allium cepa*) as traditional therapeutic and functional food: An update. online. Indian Journal of Agricultural Sciences **92**: 1291–1297.

Soares KS, Souza MP, Silva-Filho EC, Barud HS, Ribeiro CA, Santos DD, Rocha KNS, de Moura JFP, Oliveira RL, Bezerra LR. 2021. Effect of Edible Onion (*Allium cepa* L.) Film on Quality, Sensory Properties and Shelf Life of Beef Burger Patties. *Molecules* **26**(23):7202.

Subramaniyan V, Subramanian S, Sathiavelu M. 2022. Bread packaging techniques and trends. *Ital J Food Saf* **11**(4):10771.

Śmiecińska K, Gugolek A, Kowalska D. 2022. Effects of Garlic (*Allium sativum* L.) and Ramsons (*Allium ursinum* L.) on Lipid Oxidation and the Microbiological Quality, Physicochemical Properties and Sensory Attributes of Rabbit Meat Burgers. *Animals (Basel)* **12**(15):1905.

Terpenix s. r. o. 2022-2024. Zembag biostore. Litoměřice. Available from <https://www.zembag.cz/> (accessed December 2023).

Thoma J, Zheljzkov VD. 2022. Sprout Suppressants in Potato Storage: Conventional Options and Promising Essential Oils—A Review. *Sustainability* **14** (11):6382.

Tongnuanchan P, Benjakul S. 2014. Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *J Food Sci* **79**(7):1231-1249.

Tung YT, Yen PL, Lin CY, Chang ST. 2010. Antiinflammatory activities of essential oils and their constituents from different provenances of indigenous cinnamon (*Cinnamomum osmophloeum*) leaves. *Pharma Biol* **48**(10):1130–1136.

UGA extension. 2017. Onion Production Guide. UGA Cooperative Extension Bulletin 1198. Available from <https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=B1198&title=onion-production-guide> (accessed December 2023)

Ungvarsky J. 2022. Essential oil. Salem Press Encyclopedia of Science.

Usta J, Kreydiyyeh S, Barnabe P, Bou Moughlabay Y, Nakkash-Chmairie H. 2003. Comparative study on the effect of cinnamon and clove extracts and their main components on different types of ATPases. *Hum. Exp. Toxicol* **22**(7):355–362.

Vangalapati, M., Satya, N.S., Prakash, D.S., Avanigadda, S. 2012 A review on pharmacological activities and clinical effects of cinnamon species. *Res. J. Pharm. Biol. Chem. Sci* **3**(1):653–663.

- Vasconcelos NG, Croda J, Simionatto S. 2018. Antibacterial mechanisms of cinnamon and its constituents: A review. *Microb Pathog* **120**:198-203.
- Venâncio JB, Dias NDS, Medeiros JF, Morais PLD, Nascimento CWAD, Sousa Neto ON, Andrade LM, Pereira KTO, Peixoto TDC, Rocha JLA, Ferreira Neto M, Sá FVDS. 2022. Effect of Salinity and Silicon Doses on Onion Post-Harvest Quality and Shelf Life. *Plants (Basel)*. **11**(20):2788.
- Vira. 2022. What is active packaging? *Smart Packaging*. Available from <https://www.virasmart.co/en/what-is-active-packaging/> (accessed December 2023).
- Wang Q, Chen W, Zhu W, McClements DJ, Liu X, Liu F. 2022a. A review of multilayer and composite films and coatings for active biodegradable packaging. *npj. Sci* DOI: <https://doi.org/10.1038/s41538-022-00132-8>.
- Wang C, Lu Y, Li Z, An X, Gao Z, Tian S. 2022b. Preparation and Performance Characterization of a Composite Film Based on Corn Starch, κ -Carrageenan, and Ethanol Extract of Onion Skin. *Polymers (Basel)* **14**(15):2986.
- Warfur S. 2023. Onion: A Flavourful Powerhouse in Culinary Delights. *Journal of Nutrition & Food Sciences* **13**(4).
- Wasendorf C, Schmitz-Esser S, Eischeid CJ, Leyhe MJ, Nelson EN, Rahic-Seggerman FM, Sullivan KE, Peters NT. 2022. Genome analysis of *Erwinia persicina* reveals implications for soft rot pathogenicity in plants. *Frontiers in Microbiology* **13**.
- Xue W, Macleod J, Blaxland J. 2023. The Use of Ozone Technology to Control Microorganism Growth, Enhance Food Safety and Extend Shelf Life: A Promising Food Decontamination Technology. *Foods* **12**(4):814.
- Zagory D. 1995. Ethylene-removing packaging. In: *Active Food Packaging* 38–54.
- Zahl IH, Samuelsen O, Kiessling A. 2012. Anaesthesia of Farmed Fish: Implications for Welfare. *Fish Physiol. Biochem* **38**:201–218.
- Zhang J, Tian Y, Wang J, Ma J, Liu L, Islam R, Qi Y, Li J, Shen T. 2023. Inhibitory effect and possible mechanism of oregano and clove essential oils against *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* as onion soft rot in storage. *Postharvest Biology and Technology* (e09255214) DOI:<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112164>.
- Zhang Y, Lim LT. 2016. Inkjet-printed CO₂ colorimetric indicators. *Talanta* **161**:105-113.
- Zukauskas R. 2023. Onion. *Salem Press Encyclopedia of Science*.
- Zuo J, Feng J, Gameiro MG, Tian Y, Liang J, Wang, Ding J, He Q. 2022. RFID-based sensing in smart packaging for food applications: a Review. *Future Foods* (e100198) DOI:10.1016/j.fufo.2022.100198.