



Pedagogická  
fakulta  
Faculty  
of Education

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Pedagogická fakulta  
Katedra biologie

Diplomová práce

# Bioaktivní látky v brukvovité zelenině

Vypracovala: Bc. Karolína Kovačiková  
Vedoucí práce: Ing. Štěpánka Chmelová, Ph.D.  
Odborný konzultant: Doc. Ing. Eva Dadáková, Ph.D.  
České Budějovice 2024

## Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne:

.....

(Karolína Kovačiková)

## Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá bioaktivními látkami v brukvovité zelenině. Cílem práce bylo zjištění obsahu celkových fenolických látek, chlorofylu A, chlorofylu A+B, karotenoidů, a také vitamínu C ve vybraných druzích brukvovité zeleniny (kapusta růžičková, kapusta krmná, kapusta kadeřavá, kapusta hlávková, okrasné zelí). Nejvyšší koncentrace fenolických látek byla zjištěna v kapustě kadeřavé, červené, odrůdy Scarlet. Nejvyšší množství chlorofylu A bylo zastoupeno v zelí okrasném červeném, odrůdy Pigeon Victoria F1. Ze všech stanovovaných odrůd brukvovité zeleniny byl obsah chlorofylu B nejvyšší u kapusty kadeřavé, zelené, odrůdy Toskánské. Množství chlorofylu A+B a zároveň i karotenoidů bylo nejvyšší u kapusty kadeřavé, zelené odrůdy Toskánské. Nejvyšší množství vitamínu C bylo naměřeno rovněž u kapusty kadeřavé, zelené odrůdy Toskánské.

**Klíčová slova:** brukvovitá zelenina, bioaktivní látky, fenolické látky, chlorofyly, karotenoidy, vitamin C

## **Abstract**

This diploma thesis deals with bioactive compounds in cruciferous vegetables (*Brassicaceae*). The thesis aimed to determine the content of phenolic compounds, chlorophyll A, chlorophyll A+B, carotenoids and also vitamin C, in selected species of cruciferous vegetables: Brussel sprouts (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*), Fodder Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*), Curly Kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) and Ornamental Cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). The highest amount of chlorophyll A was represented in the sample of ornamental red cabbage, variety Pigeon Victoria F1. The highest content of chlorophyll B, chlorophyll A+B, carotenoids and also vitamin C was determined in curly green kale, a variety Tuscan. The highest amount of phenolic compounds was measured in curly red kale, variety Scarlet.

**Keywords:** cruciferous vegetables (*Brassicaceae*), bioactive compounds, phenolic compounds, chlorophyll, carotenoids, vitamin C

## **Poděkování**

Velmi děkuji Ing. Štěpánce Chmelové, Ph. D za odborné vedení této diplomové práce, za její cenné rady a velkou pomoc. Také jí moc děkuji za trpělivost a drahocenný čas.

Dále bych chtěla velmi poděkovat doc. Ing. Evě Dadákové, Ph.D. za odbornou pomoc při stanovování bioaktivních látek na katedře aplikované chemie ZFT JU v Českých Budějovicích. Také jí děkuji za přínosné konzultace, ochotu a čas, který strávila nad mou diplomovou prací.

Také velmi děkuji své mamince a partnerovi za podporu při psaní této diplomové práce.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod a cíle práce</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Literární přehled</b> .....	<b>2</b>
2.1	Brukvovitá zelenina .....	2
2.1.1	Kapusta hlávková – <i>Brassica oleracea</i> var. <i>sabauda</i> .....	3
2.1.2	Kapusta růžičková – <i>Brassica oleracea</i> var. <i>gemmifera</i> .....	5
2.1.3	Kapusta krmná – <i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala</i> .....	6
2.1.4	Kapusta kadeřavá – <i>Brassica oleracea</i> var. <i>sabellica</i> .....	7
2.1.5	Zelí okrasné – <i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> .....	8
2.2	Bioaktivní látky .....	9
2.2.1	Fenolové sloučeniny .....	10
2.2.2	Karotenoidy .....	21
2.2.3	Chlorofyly .....	28
2.2.4	Vitamin C .....	29
2.2.5	Metody stanovení bioaktivních látek .....	31
<b>3</b>	<b>Metodika práce</b> .....	<b>34</b>
3.1	Rostlinný materiál pro analýzy .....	34
3.2	Úprava rostlinného materiálu pro analýzy .....	36
3.3	Spektrofotometrické stanovení celkových fenolických látek pomocí činidla Folin - Ciocalteu .....	36
3.4	Spektrofotometrické stanovení karotenoidů a chlorofylů .....	37
3.5	Stanovení obsahu vitamínu C .....	39
3.5.1	Vyhodnocení stanovení pomocí kalibrační závislosti .....	40
3.6	Použité přístroje a pomůcky .....	41
3.7	Použité chemikálie .....	41

3.8 Použité statistické programy .....	42
<b>4 Výsledky.....</b>	<b>43</b>
4.1 Analýza celkového obsahu fenolických látek.....	43
4.2 Analýza chlorofylů a karotenoidů .....	45
4.3 Analýza vitamínu C .....	51
<b>5 Diskuze.....</b>	<b>56</b>
<b>6 Využití tématu ve výuce na základní škole.....</b>	<b>65</b>
<b>7 Závěr .....</b>	<b>68</b>
<b>8 Použité literární zdroje.....</b>	<b>70</b>
<b>9 Seznam obrázků.....</b>	<b>85</b>
<b>10 Seznam tabulek .....</b>	<b>87</b>

# 1 Úvod a cíle práce

Zelenina z čeledi brukvovité je velmi oblíbenou zeleninou, která má velmi dlouhou historii, je známa již ze starověkého Řecka a Říma. Lidé ji velmi rádi konzumují, nejenom kvůli tomu, že jim chutná, ale také proto, že má významné antioxidační účinky. Kapusta kadeřavá (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) je jednou z nejstarších odrůd brukvovité zeleniny a pěstuje se nejenom pro kulinářské účely, ale také kvůli svým léčebným vlastnostem. Kapusta růžičková (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*) zaujme na první pohled svým vzhledem, díky přítomnosti malých růžiček (hlávek). Tato kapusta je zdraví prospěšná, je bohatá na různé vitaminy a používá se zejména jako příloha k masu. Hlávková kapusta (*Brassica oleracea* var. *sabauda*) se používá nejčastěji pro kulinářské úpravy, ale obsahuje také velké množství zdraví prospěšných minerálů a vitaminů.

Všechny tyto výše zmíněné rostliny a další rostliny z čeledi brukvovité jsou hojně využívány k přípravě pokrmů, ale také pro svůj léčivý účinek. Obsahují například značné množství vitaminů, zejména vitaminu C. Dalšími obsaženými látkami v těchto rostlinách jsou fenolické látky a karotenoidy. Tyto látky jsou přírodními antioxidanty a dokáží chránit lidské tělo před poškozením způsobeným volnými radikály. V těchto rostlinách nalezneme ale i glukosinoláty nebo chlorofyly, které mohou snížit riziko vzniku mnoha chorob.

**Cílem této diplomové práce bylo stanovit u vybraných druhů a odrůd brukvovité zeleniny obsahy některých bioaktivních látek – celkových fenolických látek, chlorofylů, karotenoidů a vitaminu C.**

**Byla položena výzkumná otázka: Ve kterých druzích vybrané brukvovité zeleniny je obsaženo nejvyšší množství sledovaných bioaktivních látek?**



## 2 Literární přehled

### 2.1 Brukvovitá zelenina

Brukvovitou zeleninu řadíme do čeledi *Brassicaceae* – brukvovité, dříve křížaté – *Cruciferae*, patřící do třídy rostlin dvouděložných (Jelínek & Zicháček, 2014).

Čeď *Brassicaceae* – brukvovité je velmi obsáhlou čeledí zahrnující většinou byliny a vzácněji keře (Novák & Skalický, 2008). Pro tuto čeď jsou charakteristické jednoduché, střídavé, členěné nebo celistvé listy. Květy jsou drobné a zbarvené do bílých, žlutých, ale také i růžových až fialových barevných odstínů, jsou pravidelné a oboupohlavné a skládají se ze čtyř okvětních plátků. Kalich je tvořen čtyřmi volnými kališními lístky (Kocián, 2023). Květy mají dvě tyčinky s kratšími nitkami ve vnějším kruhu a čtyři tyčinky s delšími nitkami v kruhu vnitřním a jeden dvouplodolistový pestík (Rosypal et al., 2003). Mohou růst jednotlivě, ale nejčastěji jsou uspořádány v hroznech a skládají tak latovité květenství. Plod je suchý a pukavý, je jím nejčastěji šešulka nebo šešule, též ale může být i nepukavý (Kocián, 2023).

Rostliny z této čeledi jsou významným zdrojem přírodních antioxidantů díky jejich vysokému obsahu karotenoidů, tokoferolů (vitamin E) a kyseliny askorbové (vitamin C), jelikož tyto látky mohou chránit lidské tělo před poškozením způsobeným volnými radikály. Kromě těchto látek obsahují také velké množství fenolických látek, které nejen přispívají k chuti a barvě zeleniny, ale také mají významný antioxidační účinek (Cartea et al., 2010). Další látky, které nalezneme v brukvovitých rostlinách, jsou chlorofyly (Marchioni et al., 2021). Různé studie prokázaly, že chlorofyly mohou mít antikarcinogenní účinek, a také mohou mít pozitivní vliv na redukci tělesného tuku (Martins et al., 2023). Konzumace těchto plodů může snížit riziko vzniku chronických onemocnění, kardiovaskulárních chorob či dokonce rakoviny (Cartea et al., 2010). V brukvovité zelenině nalezneme i několik desítek různých glukosinolátů a jejich reakčních zplodin, které mají výraznou chuť a charakteristický zápach, zejména při vaření

(Kopec, 2010). Tato čeleď celosvětově zahrnuje 350 rodů a přibližně 3500 druhů (Cartea et al., 2010). V České republice najdeme 64 rodů a 148 druhů (Danihelka, 2013). Mezi ně patří některé druhy zeleniny – různé odrůdy brukve zelné (*Brassica oleracea*) – (například kapusta, zelí, kedluben, kadeřávek, květák, ředkev setá), pochutiny (hořčice, křen), olejniný (řepka olejka), ale také plevely (kokoška pastuší tobolka, ředkev ohnice, penízek rolní, hořčice polní (Jelínek & Zicháček, 2014). Zeleninu z čeledi *Brassicaceae* můžeme třídit do třech skupin – zelenina košťálová (kadeřávek, kapusta, květák, brokolice, hlávkové zelí), zelenina listová (řeřicha, pekingské a čínské zelí) a zelenina kořenová (křen, ředkev, tuřín, ředkvička) (Kopec, 1998).

Jelikož se v této práci budu věnovat pouze vybraným plodinám a jejich odrůdám, budou následující kapitoly věnovány zejména druhům: kapusta hlávková (*Brassica oleracea* var. *sabauda*), kapusta růžičková (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*), kapusta krmná (*Brassica oleracea* var. *acephala*), kapusta kadeřavá (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) - (zelená, červená a toskánská) a zelí okrasné (*Brassica oleracea* var. *capitata*) - červené a zelené.

### **2.1.1 Kapusta hlávková – *Brassica oleracea* var. *sabauda***

Kapusta hlávková (*Brassica oleracea* var. *sabauda*) pochází z brukve zelné (*Brassica oleracea*), která planě roste na přímořských stanovištích ve Španělsku, Francii a britských ostrovech. První písemné zmínky o tomto druhu pocházejí ze starověkého Řecka a Říma (Šamec et al., 2019). Hlávková kapusta je botanicky dvouletá, cizosprašná a hmyzosnubná rostlina (Melichar et al., 1997). V prvním roce se sklízí hlávka, která je tvořena světle či tmavě zelenými až temně modrozelenými bublinatými listy. Ve druhém roce vytváří květní stvol (Malý et al., 1998). Tato rostlina kvete žlutě, jejím plodem je dvou pouzdrá šesule, obsahující deset až dvacet šest hnědých kulatých semen. Kořenový systém zasahuje do hloubky jednoho a půl metru, je tvořen z křivého kořene a bohatě větvených, široce rozložených postranních kořenů. U předpěstovaných rostlin je kořenový systém podstatně menší a chybí mu křivý kořen (Bartoš et al., 2000).

Kapustu hlávkovou lze pěstovat v široké škále půd, nejlepší produkce lze dosáhnout na půdách málo kyselých nebo neutrálních (pH 6–7), které jsou hluboké, středně těžké a obsahují vyšší množství humusu (Šamec et al., 2019). Rané odrůdy by se měly pěstovat v teplejších oblastech na lehčích půdách, pozdní odrůdy kapusty snesou i horší klimatické podmínky s těžkými půdami. V osevním postupu se zařazuje do I. nebo II. trati po obilovinách, luskovinách a jetelovinách. Jako předplodiny by se neměly používat jakékoli rostliny z čeledi brukvovitých. Raná kapusta se vysazuje nejčastěji do volné půdy začátkem dubna, letní odrůda do poloviny května a zimní koncem června. Rané odrůdy se sbírají probírkou koncem května a začátkem června, jakmile dosáhnou požadované hmotnosti – 350 g. Pozdní odrůdy se sklízí jednorázově v listopadu (Bartoš et al., 2000).

Pro lidský organismus je velmi cenná svým obsahem vitaminů a minerálních látek (Petříková, 1996). Obsahuje 4 % bílkovin, 5,1 % sacharidů, 0,9 % tuků. Je velmi bohatá na kyselinu askorbovou (vitamin C), její obsah činí 80–105 mg, ostatní vitaminy jsou zastoupeny v menším množství např. vitamin A 7 mg, vitamin B<sub>6</sub> 2,5 mg, niacin 25 mg na 100 g čerstvé hmoty. Má také vysoký obsah draslíku 280 mg, fosforu 56 mg, hořčíku 12 mg, vápníku 48 mg a sodíku 42 mg na 100 g čerstvé hmoty (Malý et al., 1998). Zdraví prospěšná je i vláknina, které kapusta obsahuje 1,5 % a má pozitivní vliv na trávení a zajišťuje dlouhodobý pocit sytosti. V hlávkové kapustě jsou také zastoupeny sloučeniny síry a glukosinoláty – hořčičné glykosidy, které jí dodávají typickou chuť. Tyto sloučeniny ovlivňují imunitní systém, působí proti bakteriím, zháší volné radikály kyslíku a mohou snižovat riziko vzniku některých druhů rakoviny (Öffentliches Gesundheitsportal Österreichs, 2024). Hlavním kulinářským zpracováním je vaření a dušení. Nehodí se do syrových salátů (Kopec, 2010).



Obrázek. č. 1 Kapusta hlávková (zdroj: <https://www.receptyonline.cz/hlavkova-kapusta/>)

### 2.1.2 Kapusta růžičková – *Brassica oleracea* var. *gemmifera*

Kapustu růžičkovou (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*) můžeme najít i pod názvem *Brussels sprouts*. Jak název již napovídá, tento druh pochází z Belgie, pravděpodobně z okolí Bruselu (Choudhary et al., 2014). Této rostlině se dobře daří v chladnějších oblastech, je hojně pěstována v mírném pásmu Evropy a ve Spojených státech amerických zejména pro svou vynikající kvalitu, chuť a skladovací vlastnosti (Jeon et al., 2022). Jedná se o rostlinu dvouletou a hmyzosubnou, která má charakteristickou stavbu (Melichar et al., 1997). Její kořenový systém je mohutný, stonek dosahuje výšky i přes jeden metr a v husté spirále jsou na něm uspořádány řapíkaté listy. V paždí listových řapíků se z axiálních pupenů tvoří v prvním roce pěstování malé hlávky – růžičky o průměru 20–70 mm, které se konzumují. V druhém roce vyrůstá latovité květenství. Plodem je podlouhlá šešule s průměrným obsahem 300 semen (Bartoš et al., 2000).

Půdy pro pěstování růžičkové kapusty by měly obsahovat dostatečné množství humusu a živin. Dokáže snést mrazy -12 °C až -15 °C, vyžaduje dostatek srážek a vyšší vzdušnou vlhkost. V osevním postupu ji řadíme do I. nebo II. trati po bramborách nebo plodové zelenině. Vhodnými předplodinami jsou doporučovány obilniny, jeteloviny a luskovinoobilné směsky. Opět nevhodné jsou všechny brukvovité rostliny (Melichar et al., 1997). Sklizeň probíhá nejčastěji v říjnu, ale vzhledem k mrazuvzdornosti můžeme sklízet celou zimu (Malý et al., 1998).

Růžičková kapusta se vyznačuje vysokým obsahem zdraví prospěšných látek. Je velmi bohatá na vitamin C (85mg/100 g čerstvé hmoty), kterého obsahuje jednou tolik co pomeranč a je nezbytný pro správné fungování imunitního systému, ale také podporuje tvorbu kolagenu. Dále obsahuje vitamin K podílející se na tvorbě koagulačních – srážecích faktorů umožňující srážení krve. Ve velké míře by tedy růžičkovou kapustu neměli konzumovat lidé užívající léky snižující srážlivost krve (např. Warfarin – zabraňuje účinku vitaminu K). Dalšími vitaminy nacházející se v tomto druhu je  $\beta$  – karoten, také celá skupina vitaminu B - (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub> a B<sub>7</sub>) a antioxidačně působící vitamin E, který je zde hned po brokolici nejhojněji zastoupen (Hlavatá, 2017). Bylo zjištěno, že konzumací růžičkové kapusty se snižuje riziko vzniku karcinomu prsu u žen před menopauzou, díky přítomným glukosinolátům (Awulachew, 2022). Kulinární úpravy

jsou jednoduché, aby vynikla její chuť. Nejčastěji se podává dušená na másle, ale také se výborně hodí jako příloha k masu. Kapusta růžičková je také výborná zapečená společně se sýrem (Kopec, 2010).



Obrázek. č. 2 Kapusta růžičková

(zdroj: [https://x.com/Andi\\_Kur\\_/status/1299302699683512321?s=20](https://x.com/Andi_Kur_/status/1299302699683512321?s=20))

### **2.1.3 Kapusta krmná – *Brassica oleracea* var. *acephala***

Kapusta krmná se řadí mezi dvouleté rostliny. Poskytuje v prvním roce vysoké výnosy píce a ve druhém roce se sklízí její drobná semena. Lodyha je silná, přibližně jeden až dva metry dlouhá a má velké, šťavnaté listy. Hlavní kořen je křovitý a sahá do hloubky až 1,5 metru (Skládanka, 2006).

Je možno ji pěstovat i v drsnějších klimatických podmínkách, jelikož velmi dobře odolává nízkým teplotám až do  $-15^{\circ}\text{C}$ . Pěstuje se jako hlavní plodina po včas sklizených raných bramborách. Kvůli hrozícímu nebezpečí nádorovitosti kořenů by neměla být vysévána po jiných brukvovitých plodinách či sama po sobě na stejný pozemek dříve než po šesti letech. Je velmi vhodné ji hnojit chlévským hnojem nebo jinými organickými hnojivy. Krmná kapusta se sklízí od září do konce listopadu (Tichá & Vyzínová, 2006).

Krmná kapusta se využívá jako pícnina, jelikož se vyznačuje velmi vysokými a stabilními výnosy. Může se také používat jako plodina pro zelené hnojení (Mikić et al., 2010). Tato plodina obsahuje antinutriční látky (SMCO, glukosinoláty a dusičnany), které v případě překrmení zvěře mohou způsobit zdravotní potíže. Mezi první příznaky patří

nechutenství, apatie či poruchy reprodukce, nejzávažnější je hemolytická anemie (Scherer, 2022).



Obrázek. č. 3 Kapusta krmná (zdroj: <https://www.vybavzahradu.cz/clanky/krmna-kapusta/>)

#### **2.1.4 Kapusta kadeřavá – *Brassica oleracea* var. *sabellica***

Kapusta kadeřavá – (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) je v Čechách známá spíše jako kadeřávek nebo také jarmuz (Peleška, 1995). Kadeřávek je jednou z nejstarších odrůd brukvovitých rostlin, jejíž původ je datován ve starověkém Řecku a Římě (Kamińska & Sliwinska, 2023). Jedná se o dvouletou, hmyzosnubnou a cizospašnou rostlinu (Melichar et al., 1997). Kadeřávek netvoří hlávkou, ale mohutnou růžici s bohatě zkadeřenými, hustými a nerovnoměrnými vroubkovanými listy. Nejčastěji se pěstuje v červených a zelených kultivarech (Novák & Skalický, 2008). V dnešní době jsou známy i různé druhy kadeřávku, například kadeřávek toskánský, okrasný kadeřávek či kadeřávek ruský (Cifrová, 2017). Tato rostlina dosahuje výšky 20 až 120 cm a její vzhled je velmi dekorativní (Pekárková, 2000).

Kapusta kadeřavá je velice mrazuvzdorná, snese i teploty okolo – 15 °C (Malý et al., 1998). Dokáže ale tolerovat i velké sucho nebo slané půdy (Kamińska & Sliwinska, 2023). Nejvíce jí vyhovují hlinitopísčité půdy. Kadeřávek zařazujeme do první trati a vyžaduje dostatek organického hnojiva. Sazenice se mohou předpěstovat nebo se může vysévat v přímém výsevu na začátku května (Peleška, 1995).

Kapusta kadeřavá obsahuje 4,3 % bílkovin, 0,9 % lipidů a 2,1 % sacharidů a 3,3 % vlákniny. Z minerálních látek obsahuje vápník, železo, sodík, hořčík, fosfor, draslík a chlór. Má velký obsah vitamínu C, dále obsahuje provitamin A, vitamín B<sub>6</sub> a B<sub>2</sub> (Malý et al., 1998). Při pravidelné konzumaci kadeřávku se snižuje množství cholesterolu v krvi, obsažená vláknina zlepšuje střevní peristaltiku a je preventivním i léčebným prostředkem proti zácpě. Díky obsahu vápníku, který je obsažen v kadeřávku ve velmi dobře vstřebatelné podobě, je vhodným doplňkem stravy při jaterních dietách a ledvinových problémech, ale také v období těhotenství a kojení, kdy je spotřeba vápníku velmi vysoká (Mlčoch, 2015). Dále se v kadeřávku nachází speciální chemická látka sulforafan, která příznivě působí proti rakovině tlustého střeva, prsu, jícnu a ledvin a má také příznivé účinky proti cukrovce (diabetes II. typu) – pomáhá regulovat množství sacharidů v těle (Khalid et al., 2023).



Obrázek. č. 4 Kapusta kadeřavá (zdroj: <https://minimalisticka-kucharka.cz/o-kaderavku/>)

#### **2.1.5 Zelí okrasné – *Brassica oleracea var. capitata***

Okrasné zelí, známé také jako dekorativní zelí, patří do stejného druhu *Brassica oleracea* jako jedlé hlávkové zelí, brokolice či květák (Mahr, 2009). Tato rostlina byla vyšlechtěna v Asii a poprvé ji začali pěstovat v Japonsku a Číně (Malich, 2010). Okrasné zelí není obvykle určeno k jídlu, ale využívá se jako okrasná rostlina v zahradách, květinových záhonech nebo květinových aranžmá. Je známá svými velkými, dekorativními nařasenými listy, které mohou mít různé odstíny fialové, zelené, růžové a bílé. Může dorůst šířky až jednoho metru a výšky přibližně 30 cm (Mahr, 2009).

Pro správný růst potřebuje půdy, které obsahují dostatek živin, ale neměly by být hnojeny chlévským hnojem. Vyžaduje také slunné stanoviště a pravidelné zalévání. Okrasné zelí můžeme vypěstovat ze semínek nebo je možné si zakoupit předpěstované sazenice. S výsevem je nejlepší začít v březnu, v dubnu mladé rostlinky přendáme do květináčů o průměru 10 cm. Ke konci května je přesadíme na jejich finální stanoviště. Některé odrůdy okrasného zelí se mohou vysévat až v červnu a na záhonek vysazovat až ke konci července, kde byla umístěna zelenina s krátkou vegetační dobou (například ředkvičky, salát, velmi rané odrůdy brambor) (Malich, 2010).

U okrasného zelí je známo mnoho kultivarů, například *Nagoya*, která má kulatý tvar kapusty se silně pomačkanými listy zbarvené od fuksiově růžové přes levandulovou, žlutozelenou až po krémově bílou. Odrůda *Pigeon* má listy červené s bílými středy. Další známé kultivary jsou například *Chidori* vyznačující se extrémně kudrnatými krémově bílými či tmavě purpurovými listy nebo *Tokyo*, jenž má téměř dokonale modrozelené kulaté listy s hladkým povrchem a jemně růžovými až bílými středy (Mahr, 2009).



Obrázek. č. 5 Zelí okrasné (zdroj: <https://vova.edu.vn/decorative-cabbage-5s8hbc42/>)

## 2.2 Bioaktivní látky

Historie využívání rostlin pro potřeby lidstva sahá až do počátků lidské existence. Původně byly rostliny využívány především jako potrava, ale jakmile byly objeveny jejich léčivé vlastnosti, staly se nedocenitelným zdrojem pro léčení nemocí a podporu zdraví. Například ve starém Egyptě používali k léčebným účelům a kosmetice koriandr a ricinový olej, v řeckém a římském období popsalo několik učenců (například Hippokrates, Celsus, Theophrastos) tisíce léčebných vlastností různých bylin (Azmir et al., 2013).



Bioaktivní látky jsou sloučeniny produkované rostlinami, které mají toxikologické nebo farmakologické účinky na člověka a zvířata. V rostlinách jsou vytvářeny jako sekundární metabolity, které jsou součástí jejich metabolismu (Bernhoft, 2010). Na rozdíl od primárních metabolitů, které jsou nezbytné pro správný růst a vývoj rostlin, sekundární metabolity nejsou nezbytné pro přežití a rozmnožování, ale mohou hrát klíčovou roli v interakci s okolním prostředím (Azmir et al., 2013). Sekundární metabolity mohou sloužit jako obranné mechanismy proti predátorům, nemocem, také slouží k přilákání opylovačů díky své barevnosti či atraktivní vůni (Guaadaoui et al., 2014). Bioaktivní látky nalezneme v zelenině, ovoci, obilovinách a dalších rostlinných potravinách. Mají pozitivní vliv na lidské zdraví a snižují nám riziko vzniku závažných chronických onemocnění (Liu, 2013). Mnohé výzkumy ukázaly, že tyto látky mají antioxidační, protizánětlivé, antihypertenzní, nebo také antitrombotické účinky (Kris-Etherton et al., 2002). Existuje spousta možností, jak bioaktivní látky dělit. Liu (2013) je ve svém výzkumu dělí na vitamíny, minerály a fytochemikálie, kam řadí flavonoidy, fenolové kyseliny, alkaloidy, sloučeniny obsahující dusík, organické sloučeniny síry, fytosteroly a karoteinoidy. Croteau et al. (2000) dělí bioaktivní látky do třech hlavních kategorií: terpeny a terpenoidy, kterých je přibližně 25 000 druhů, alkaloidy – přibližně 12 000 druhů a fenolové sloučeniny, kterých je okolo 8 000 druhů. Například flavonoidy chrání před volnými radikály, které mohou vznikat při fotosyntéze. Alkaloidy chrání rostliny před herbivory nebo proti útokům hmyzu a terpenoidy mohou lákat příslušný hmyz a zajistit si tak opylení (Bernhoft, 2010).

### **2.2.1 Fenolové sloučeniny**

Fenolové sloučeniny, běžně označované jako polyfenoly či rostlinné fenoly, jsou velmi heterogenní skupinou látek. Nalezneme je ve všech rostlinách a jsou součástí prakticky všech potravin (Kris-Etherton et al., 2002).

Rostlinné fenoly jako hlavní sekundární metabolity rostlin jsou klíčovým přirozeným obranným mechanismem rostlin a jsou zodpovědné za ochranu rostlin před abiotickými (teplota, UV záření) a biotickými (napadení patogeny, parazity nebo predátory) stresovými faktory (Dobričević, 2019).

Ve stravě mají redukční účinky a jejich denní příjem byl odhadnut na 1 g a je výrazně vyšší, než příjem antioxidačních vitaminů jako jsou kyselina askorbová, karoteny nebo tokoferoly. Hlavními zdroji polyfenolů je ovoce, zelenina, čokoláda a nápoje – víno, káva, čaj, ovocné džusy, ale také pivo (Slanina & Táborská, 2004). Fenoly jsou také hlavními sloučeninami při tvorbě organoleptických (smyslových) charakteristik potravin, jsou zodpovědné za specifický vývoj barvy a také chuti potravin (Dobričević, 2019).

Jedná se o organické molekuly složené z jednoho nebo více aromatických kruhů, na kterých je přímo navázaná alespoň jedna hydroxylová funkční skupina (-OH) (Chen et al., 2024). Existuje více než 8000 fenolických látek, které se strukturálně liší od jednoduchých molekul fenolů – C<sub>6</sub> až po vysoce polymerizované sloučeniny – taniny (Kris-Etherton et al., 2002). Také Velíšek & Hajšlová (2009a) dělí fenolové sloučeniny dle chemické struktury podle počtu atomů uhlíku. Fenolovou sloučeninu mající sedm atomů uhlíku nazývají kyselinou benzoovou a sloučeniny tvořeny čtrnácti uhlíky antrachinony, stilbeny. Další typy fenolových sloučenin jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka č.1).

Počet atomů	Základní typ skeletu	Skupina fenolových sloučenin
6	C <sub>6</sub>	jednoduché fenoly, benzochinony
7	C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub>	benzoové kyseliny
8	C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub>	acetofenoly, fenyloctové kyseliny
9	C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub>	kumariny, chromony, fenylypropanoidy
10	C <sub>6</sub> -C <sub>4</sub>	naftochinony
14	C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>6</sub>	xanthony, stilbeny
15	C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub>	flavonoidy
16	C <sub>6</sub> -C <sub>10</sub>	gingeroly
17	C <sub>6</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub>	diarylpentanoidy
18	(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> )	lignany, neolignany
30	(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> ) <sub>2</sub>	biflavonoidy
n	(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> ) <sub>n</sub>	lignin
n	(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> ) <sub>n</sub>	kondenzované tanniny, flavolany

Tabulka č. 1 – Hlavní typy fenolových sloučenin (Velíšek & Hajšlová, 2009a)

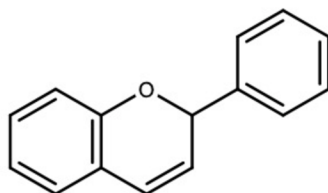
### 2.2.1.1 Biosyntéza fenolických sloučenin

Fenolové či fenolické sloučeniny, které jsou hojně zastoupeny v rostlinách, jsou biosyntetizovány šikimátovou cestou. Kyselina šikimová je pojmenovaná po vysoce toxickém japonském květu shikimi – badyáníku pravém (*Illicium anisatum*), ze kterého byla poprvé izolována. Dráha šikimátu je u rostlin lokalizována v chloroplastech a spojuje primární a sekundární metabolismus vyšších rostlin. Šikimátová dráha se skládá ze sedmi po sobě jdoucích reakčních kroků, které začínají aldolovým typem kondenzace kyseliny dvou fosforylovaných aktivních sloučenin, kyseliny fosfoenolpyrohroznové (PEP) z glykolytické dráhy a D-erythrosa-4-fosfátu z pentozofosfátového cyklu za vzniku 7-fosfátu kyseliny 3-deoxy-D-arabino-heptulosonové (DAHP). Šikimátovou cestou vznikají aminokyseliny fenylalanin, tryptofan, tyrosin nebo také lignany. Hlavními meziprodukty jsou kyselina šikimová a kyselina chorismová (Santos-Sánchez et al., 2019). U kyseliny chorismové dochází k větvení, kdy jedna větev vede k fenylalaninu a druhá k tryptofanu (Hluska, 2023).

### 2.2.1.2 Flavonoidy

Flavonoidy jsou nejběžnější a nejrozšířenější skupinou rostlinných fenolických sloučenin, vyskytujících se prakticky ve všech částech rostlin (Kumar & Pandey, 2013). Běžně se nachází ve fotosyntetizujících buňkách (Cushnie & Lamb, 2005). Najdeme je také v semenech, stoncích a květech rostlin. Flavonoidy jsou zodpovědné za zbarvení květů, také chrání listy před houbovými patogeny a UV – B zářením. Kromě toho se podílejí na přenosu energie, fungují jako signální molekuly a způsobují odolnost proti mrazu a suchu (Panche et al., 2016). Flavonoidní látky najdeme také v lidské stravě, zejména v zelenině, ovoci, ořeších, propolisu a medu, dokonce i v čaji i víně (Cushnie & Lamb, 2005). Podle Velíška a Hajšlové, (2009a) jsou flavonoidy nejrozmanitější a nejrozšířenější skupinou polyfenolů v druhu *Brassica*.

Flavonoidy obsahují v molekule dva benzenové kruhy spojené tříuhlíkatým řetězcem. Jsou odvozeny od kyslíkaté heterocyklické sloučeniny 2*H* – chromenu, který je v poloze C-2 substituovaný fenylovou skupinou a nazývá se flavan (viz obrázek č. 6). Podle typu skeletu se jedná o uspořádání C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub> a sloučeniny, které mají tento typ uspořádání, se nazývají 1,3 – diarylpropanoidy. Na těchto třech kruzích dochází často k substituci methoxyskupinami nebo hydroxyskupinami a jednotlivé deriváty se liší pouze stupněm substituce a oxidace. Vyskytují se jako volné látky nebo častěji jako glykosidy. Flavonoidy se mohou vyskytovat volně nebo jako polymery, ale nejčastěji jako glykosidy a acylované glykosidy (Velíšek & Hajšlová, 2009a).



Obrázek č.6 – Strukturní vzorec flavanu (zdroj: Kovačiková, 2024)

Flavonoidů bylo identifikováno více než 4000 (Liu, 2013). Shen et al. (2022) klasifikuje flavonoidní sloučeniny podle stupně oxidace centrálního heterocyklu do sedmi podtříd:

- flavonoly
- flavony
- isoflavony
- anthokyaniny
- flavanony
- flavanoly
- chalkony

Následně jsou jednotlivé sloučeniny popsány.

#### 2.2.1.2.1 Flavonoly

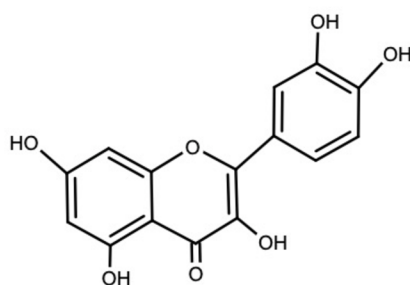
Flavonoly, které se vyskytují v potravinách, mají v poloze C-3, C-5, C-7 a C-4' hydroxyskupinu a odlišují se substitucí v poloze C-3' a C-5'. Jsou to žluté sloučeniny,

které jsou velmi důležitými barvivy. Nejdůležitějšími flavonoly z této skupiny jsou kvercetin, kemferol a myricetin (Velíšek & Hajšlová, 2009a).

### **Kvercetin**

Chemický vzorec kvercetinu je 3,3',4',5,7-pentahydroxyflavanon. Kvercetin je aglykonem, tedy nemá na sobě připojenou cukernou skupinu (Kelly, 2011). Jeho pojmenování pochází z latinského slova quercetum, z něhož pochází název pro dub letní – *Quercus robur*. Jedná se o žlutě zbarvenou, krystalickou nerozpustnou pevnou látku s hořkou chutí. Navzdory své nízké nerozpustnosti je mírně rozpustný v alkoholu, ve vodných alkalických roztocích a v kyselině octové. Kvercetin můžeme najít v různých rostlinných čeledích, například v čeledi brukvovité se vyskytuje v kadeřávku, brokolici, potočnici lékařské, v čeledi růžovité ve slivoni, jabloni a třešni, v čeledi miříkovité v koriandru setém či pupečniku asijském. Dále ho najdeme morušovníku bílém z čeledi morušovníkovité nebo v jinanu dvouláčném – čeleď jinanovité a v mnohých dalších čeledích (Singh et al., 2021). Největší koncentrace kvercetinu byly nalezeny v cibuli kuchyňské z čeledi amarylkovitých (Nishimuro et al, 2015).

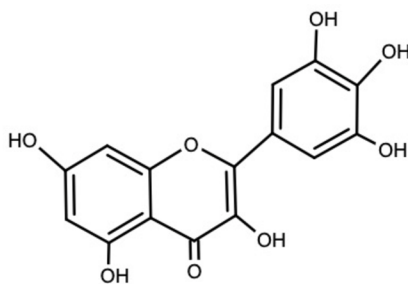
Kvercetin běžně přijímáme v potravě a jeho denní příjem je přibližně 15,5 mg (Nishimuro et al, 2015). Je jeden z nejsilnějších biologicky aktivních flavonoidů, má preventivní a léčivé účinky. Působí totiž jako silný antioxidant – působí proti růstu některých rakovinových buněk, proti zánětům, bakteriím a virům. Působí také proti trombóze a pomáhá bránit vzniku krevní sraženiny. Zabraňuje poškození cév oxidovaným cholesterolem a volnými kyslíkovými radikály, čímž pomáhá udržovat cévy čisté a průchodné. Dále pomáhá s tlumením alergických reakcí po bodnutí hmyzem tím, že potlačuje uvolnění histaminu z buněk (Patočka, 2010). Kvercetin také může podporovat duševní pohodu a zvyšovat fyzickou výkonnost, jelikož je jeho psychostimulační účinek podobný kofeinu (Jan et al., 2010).



Obrázek č. 7 – Kvercetin (zdroj: Kovačiková, 2024)

### Myricetin

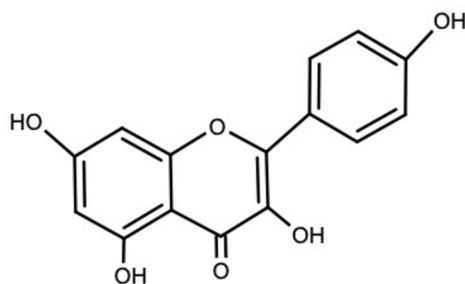
Myricetin (obrázek č.8) byl poprvé izolován na konci osmnáctého století z kůry stromu *Myrica rubra* (voskovník červený). Je to polyhydroxyflavonolová sloučenina složená ze světle žlutých krystalů. Jeho chemický vzorec je 3, 5, 7, 3', 4', 5'-hexahydroxyflavonol (Song et al., 2021). Tato sloučenina je někdy označovaná jako hydroxyquercetin díky jeho strukturální podobnosti s kvercetinem. Myricetin je snadno rozpustný v acetonitrilu, methanolu a ethanolu. Nachází se v několika rostlinných čeledích včetně voskovníkovitých, růžovitých, bukovitých, prvosenkovitých a borovitých. Také se běžně vyskytuje v bobulích, ovoci, zelenině, medu, červeném víně, čaji a v dalších mnoha potravinách (Semwal et al., 2016). Myricetin vykazuje hepatoprotektivní, protinádorové, protizánětlivé, analgetické a antidiabetické účinky. Významná antioxidační aktivita myricetinu je připisována přítomnosti tří hydroxylových skupin na kruhu B ve srovnání s jinými flavonoidy (Imran et al., 2021).



Obrázek č. 8 – Myricetin (zdroj: Kovačiková, 2024)

## Kemferol

Kemferol, systematickým názvem 3,5,7-trihydroxy-2-(4-hydroxyfenyl)-4H-1-benzopyran-4-on nebo také 3,4',5,7-tetrahydroxyflavon, známý také jako kemferol – 3 je druh přírodní flavoidní látky. Je to žlutě zbarvený krystalický prášek s bodem tání 276 °C. Je málo rozpustný ve vodě, ale dobře se rozpouští v horkém ethanolu a alkalickém etheru (Ren et al., 2019). Kemferol je velmi rozšířen v čaji, ovoci a zelenině. Najdeme ho v brokolici, kapustě růžičkové, hořčici, ředkvičkách, špenátu, malinách, jablku, v rajčatech, nebo také v plodech góji. Běžný je ale jeho výskyt u léčivých rostlin jako jsou přeslička a *Ginkgo biloba*. Stejně jako ostatní flavonoidy vykazuje četnou biologickou aktivitu. Vykazuje protizánětlivé účinky a je účinným antioxidantem. Výzkumy ukázaly, že je velmi prospěšný u neurogenerativních onemocnění (Devi et al., 2015).



Obrázek č.9 – Kemferol (zdroj: Kovačiková, 2024)

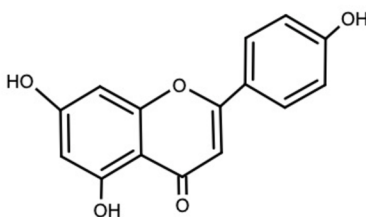
### 2.2.1.2.2 Flavony

Flavony jsou žlutými pigmenty rostlin. Běžné sloučeniny flavonů, vyskytující se v potravinách, jsou substituované na C-5 a C-7, méně často v poloze C-4' v kruhu B a C-6 v kruhu A. Běžným substituentem je methoxylová a hydroxylová skupina. Běžnými flavonoly jsou luteolin a apigenin, méně často se vyskytuje například tricetin (Velíšek & Hajšlová, 2009a).

### Apigenin

Apigenin (4',5,7-trihydroxyflavon) je jedním z nejrozšířenějších flavonoidů v rostlinách a formálně patří do skupiny flavonů. Je to žlutá pevná krystalická látka, která se používá

k barvení vlny (Ali et al., 2017). Apigenin je ve významném množství obsažen především v zelenině (celer, petržel, cibule), ovoci (pomeranče, grapefruity), bylinkách (heřmánek, tymián, oregano, bazalka) a rostlinných nápojích (čaj, pivo a víno) (Salehi et al., 2019). Tato flavonová sloučenina vykazuje také antioxidační účinky a může být vhodným terapeutickým prostředkem k překonání například revmatoidní artritidy, autoimunitní poruchy, Alzheimerovy a Parkinsonovy choroby či některých typů rakoviny (Ali et al., 2017).



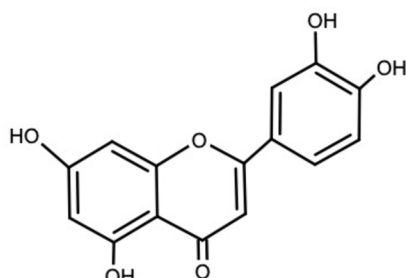
Obrázek č. 10 – Apigenin (zdroj: Kovačiková, 2024)

### **Luteolin**

Luteolin (obrázek č. 11) má strukturu C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub> a má dva benzenové kruhy (A, B) a třetí kruh (C) obsahující kyslík a dvojnou vazbu mezi uhlíkem 2 a 3. Luteolin má také hydroxylové skupiny v polohách uhlíku 5, 7, 3' a 4'. Hydroxylové skupiny a dvojná vazba na druhu C jsou důležitými strukturálními znaky luteolinu, které jsou spojeny s jeho biochemickými a biologickými aktivitami. Stejně jako u jiných flavonoidů je luteolin v rostlinách často glykosylován a glykosid je během vstřebávání hydrolyzován na volný luteolin. Část luteolinu se při průchodu střevní sliznicí přeměňuje na glukuronidy. Luteolin je tepelně stabilní a ztráty vařením jsou relativně nízké (Lin et al., 2008). Jeho název je odvozen od rostliny *Reseda luteola* (rýt barvířský), který se používal ve starověku jako barvířská rostlina. Tento flavon je obsažen v mnoha léčivých rostlinách a je součástí naší každodenní výživy. Koncentrace jsou však obecně nižší ve srovnání s některými flavonoly, jako je kvercetin nebo kemferol (Seelinger et al., 2008a). Jeho denní příjem z potravin je u člověka menší než 1mg. Značné koncentrace luteolinu se nacházejí v petrželi, šalvěji, divoké mrkvi, brukvi, špenátu a v některých druzích paprik. Luteolin vykazuje specifické protizánětlivé a antikarcinogenní účinky, které lze jen částečně vysvětlit jeho antioxidační schopností a schopností pohlcovat volné radikály.



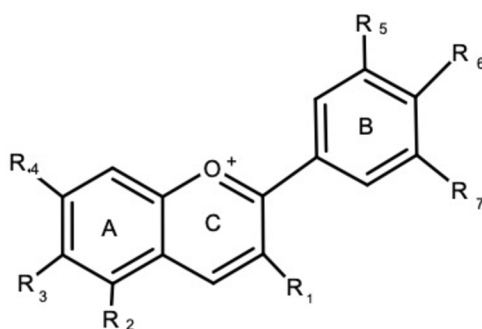
Může také zpomalit nebo blokovat vývoj rakovinných buněk a bylo zjištěno, že konzumace potravin bohatých na obsah luteolinu má pozitivní vliv na snížení rizika výskytu rakoviny prsu u žen (Seelinger et al., 2008b).



Obrázek č. 11 – Luteolin (zdroj: Kovačiková, 2024)

### 2.2.1.2.3 Anthokyaniny

Anthokyaniny nazývané spíše anthokyaniny, jsou nejrozšířenější a početně velice rozsáhlou skupinou rostlinných barviv. Dosud bylo v přírodě identifikováno přes tři sta různých anthokyanů (Velíšek & Hajšlová, 2009a). Jejich název byl odvozen z řeckého *anthos* – květ a *kyanos* – modrý (Kong et al., 2003). Anthokyanidiny jsou základní struktury anthokyanů. Anthokyanidiny (nebo také aglykony) se skládají z aromatického kruhu [A] vázaného na heterocyklický kruh [C], který obsahuje kyslík a je rovněž vázán vazbou uhlík-uhlík na třetí aromatický kruh [B]. Když se anthokyanidiny nacházejí ve své glykosidové formě (navázané na cukernou část), označujeme je jako anthokyaniny (Castañeda-Ovando et al., 2009).



Obrázek č.12 – Obecný vzorec aglykonu – anthokyanidinu (zdroj: Kovačiková, 2024)

V přírodě existuje celkem 17 různých anthokyanidinů, které jsou v poloze C-4 substituovány hydroxylovou skupinou a vzájemně se od sebe liší substitucí v polohách C-3, C-5, C-6, C-7. V potravinách jich má význam pouze šest s hydroxyskupinou v poloze C-3. Jedná se o kyanidin – název odvozen z latinského názvu *Cyanus* – chrpa, peonidin – (*Paeonia spp.* – pivoňka), pelargodin (*Pelargonium spp.* – pelargonie), delfinidin – (*Delphinium spp.* – stračka), malvinidin (*Malva spp.* – sléz), petunidin (*Petunia spp.* – petunie). Jejich barva je závislá na pH. Barevná škála je tvořena od červené přes modrou až ke žluté. Při hodnotách pH nižších než 1 mají červenou barvu, jakmile se pH zvyšuje, dochází k odbarvování a při pH 4 dojde k úplnému odbarvení. V rozmezí pH 7,8 – 8 dochází k modrému zbarvení. Při dalším růstu pH se intenzita modrého zbarvení snižuje a postupně se vytváří žluté zbarvení (Velíšek & Hajšlová, 2009a). Anthokyany jsou rozpustné v polárních rozpouštědlech a z rostlinných materiálů se extrahují pomocí methanolu s malým množstvím kyseliny mravenčí (Kong et al., 2003)

Anthokyany se vyskytují v různých rostlinných orgánech, jako jsou plody, květy, stonky, listy, ale i kořeny. Barevné pigmenty se nacházejí rovnoměrně rozpuštěné ve vakuolárním roztoku epidermálních buněk. U některých druhů ale mohou být lokalizovány v takzvaných anthokyanoplastech. Hlavními zdroji anthokyanů jsou černý rybíz, hroznové víno, brusinky, červené zelí, ředkev, mučenka nebo také broskve (Pascual-Teresa & Sanchez-Ballesta, 2008). Nejčastěji nacházeným anthokyanem v plodinách rodu *Brassica* je kyanidin (Avato & Argentieri, 2015).

Anthokyany vykazují antioxidační účinky. Jsou schopny zabránit oxidativnímu poškození DNA, proteinů a lipidů, způsobeným reaktivními formami kyslíku. Snižují také pravděpodobnost vzniku aterosklerózy. Anthokyany, které jsou obsaženy v červeném víně, snižují pravděpodobnost vzniku karcinomu jater a tlustého střeva (Pascual-Teresa & Sanchez-Ballesta, 2008). Chrání také oční pozadí a příznivě působí na regeneraci oční sítnice například při šerosleposti. Preparáty obsahující anthokyany jsou doporučovány při glaukomech. Mají také analgetické a protizánětlivé účinky (Růžková, 2012).

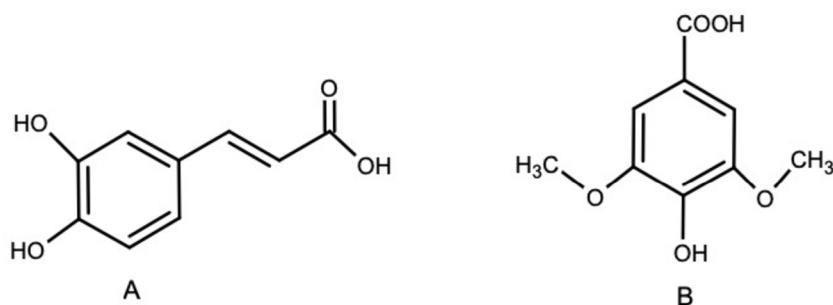
### 2.2.1.3 Fenolové kyseliny

Fenolové kyseliny jsou sekundární metabolity, které se běžně vyskytují v rostlinné potravě. Obecně se jedná o fenolové sloučeniny, které mají ve své struktuře navázanou karboxylovou skupinu (Mattila & Hellström, 2007).

Fenolové kyseliny můžeme rozdělit do dvou skupin: deriváty kyseliny hydroxybenzoové a deriváty kyseliny skořicové. Deriváty kyseliny skořicové jsou tvořeny především kyselinou kávovou, ferulovou, sinapovou a p-kumarovou. Kyselina kávová je nejběžnější kyselina, která tvoří převážnou část (70 %) všech derivátů kyseliny skořicové v ovoci. Kyselina ferulová se nachází zejména v obilných zrnech. Kyseliny tvořící deriváty skořicové kyseliny se málokdy vyskytují ve volné formě, většinou jsou esterifikovány kyselinou vinnou nebo chinovou. Těmto esterům říkáme chlorogenové kyseliny (Lafay & Gil-Izquierdo, 2008). Deriváty hydroxybenzoové kyseliny jsou odvozené od kyseliny benzoové a mají společnou strukturu C6-C1. Vyskytují se buď ve volné formě nebo ve formě vázané. Nejběžněji vyskytujícími hydroxybenzenovými kyselinami jsou p-hydroxybenzoová, vanilová, syringová a prokatechová (Kumar & Goel, 2019).

Fenolové kyseliny se vyskytují běžně v ovoci, zelenině, kávě a obilí. Najdeme je zejména v třešních, jablkách, grapefruitu, malinách, jahodách, bramborách, ale také v brokolici, kadeřávku, bílém zelí (King & Young 1999). V čeledi *Brassicaceae* byly nejvíce zastoupeny kyselina kávová, ferulová a kyselina sinapová (Ayaz et al., 2008).

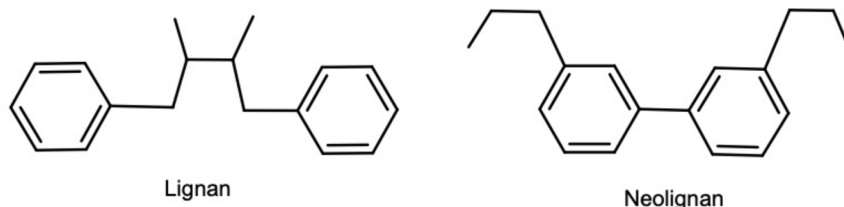
Zjistilo se, že fenolové kyseliny mají značný zdravotní přínos. Jsou silnými antioxidanty a vykazují mnoho prospěšných účinků: antibakteriální, antivirové, antikarcinogenní, protizánětlivé, a také vasodilatační (Mattila & Hellström, 2007).



Obrázek č. 13 – Kyselina kávová – A, kyselina syringová – B (zdroj: Kovačiková, 2024)

#### 2.2.1.4 Lignany

Lignany jsou v rostlinách sekundárními metabolity a fytoestrogeny (Landete, 2012). Najdeme je v kořenech, stoncích, květech, plodech, semenech, xylému a pryskyřicích. Vyskytují se především v čeledi vavřínovitých, vstavačovitých, klanopraškovitých (Cui et al., 2020). Nalezneme je ale také v rámci čeledi *Brassicaceae* (Avato & Argentieri, 2015), a také byla zjištěna jejich přítomnost ve vysoké koncentraci ve lněném semínku nebo kávě (Landete, 2012). Lignany jsou odvozené z biosyntetické dráhy kyseliny šikimové a jsou tvořeny dvěma fenylypropanoidními (C6-C3) deriváty. Nejčastěji se vyskytují jako dimery, ale mohou existovat i jako trimery nebo tetramery. V přírodě se vyskytují volně nebo jako glykosidy. Tyto dimery fenylypropanu se dělí nejčastěji na lignany a neolignany (Wang et al., 2022). V současnosti bylo objeveno více než 200 lignanů a 100 neolignanů, které mají mnohem rozmanitější strukturu než klasické lignany. Tyto látky vykazují mnoho farmakologických aktivit, jako jsou antibakteriální, imunosupresivní, antioxidační, protinádorové a antiastmatické vlastnosti (Cui et al., 2020).



Obrázek č.14 – Lignan a neolignan (zdroj: Kovačiková, 2024)

#### 2.2.2 Karotenoidy

Karotenoidy jsou přirozeně se vyskytující pigmenty, které se nacházejí v rostlinách, houbách, řasách a bakteriích. V přírodě existuje více než 650 různých typů karotenoidů (Eggersdorfer & Wyss, 2018). Karotenoidy jsou zodpovědné za mnoho červených, oranžových a žlutých odstínů rostlinných listů, plodů a květů, stejně jako za barvy

některých ptáků, hmyzu, ryb a korýšů. Pouze ale rostliny, bakterie, houby a řasy mohou karotenoidy syntetizovat. Zvířata a lidé si je neumí syntetizovat, dokáží je pouze přijímat z potravy (Stahl & Sies, 2003). V lidské stravě a potravním řetězci bylo objeveno až 100 různých karotenoidů (Eggersdorfer & Wyss, 2018). Z tohoto množství karotenoidů vykazuje asi 50 sloučenin aktivitu vitamínu A a označujeme je jako retinoidy (Velíšek & Hajšlová, 2009a). V lidské stravě je nalezneme zejména ve špenátu, mrkvi, rajčatech, brokolici, kapustě, papáje, hrášku, meruňkách a v mnoha dalších potravinách (Rao & Rao, 2007). Karotenoidy se také používají jako potravinářská barviva a hojně využití mají i ve farmacii (Eggersdorfer & Wyss, 2018).

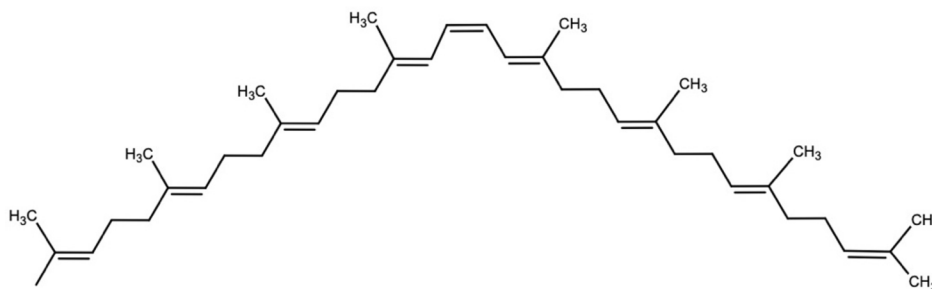
Karotenoidy jsou základní součástí fotosyntetického aparátu, podílejí se na tvorbě fotosystémů a mají významnou roli při získávání světelného záření. Dokáží absorbovat světlo v mnohem širším rozsahu spektra než chlorofyl. Jejich funkce je i fotoprotektivní, dokáží zhaset kyslík pocházející z přebytečné světelné energie a zamezují tím poškození membrány chloroplastů. Kromě své funkce ve fotosyntetickém aparátu hrají velmi důležitou roli v reprodukci rostlin, jelikož díky svému zbarvení přitahují opylovače (Howitt & Pogson, 2006). Mají také ale potenciální pozitivní přínos pro lidské zdraví, který lze vysvětlit jejich antioxidačními vlastnostmi. Dokáží posílit imunitní systém, snižují riziko degenerativních onemocnění a obezity (Mezzomo & Ferreira, 2016). Mají také vliv na zdraví očí a srdce, posilují kognitivní funkce mozku, chrání kůži před UV zářením a mohou mít i pozitivní vliv na plodnost (Eggersdorfer & Wyss, 2018).

Karotenoidy jsou lipofilní molekuly, které mají tendenci se hromadit v lipofilních kompartmentech, jako jsou membrány nebo lipoproteiny (Stahl & Sies, 2003). Velíšek & Hajšlová (2009a) definují, že strukturně se většina karotenoidních látek řadí mezi tetraterpeny, což znamená, že obsahují osm izoprenových jednotek. Jejich barevnost je způsobena díky řetězci konjugovaných dvojných vazeb, který se vyskytuje v několika základních strukturách a jejich kombinacích. Karotenoidy se obecně dělí na dvě hlavní skupiny:

- uhlovodíky – **karoteny**
- kyslíkaté sloučeniny – **xanthofyly**

### 2.2.2.1 Karoteny

Karoteny jsou složeny pouze z uhlíku a vodíku (Jackson et al., 2008). Acyklický polynenasycený uhlovodík fytoen (obrázek č.15) – strukturně (15Z) -7,8,11,12,7',8'-hexahydro- $\psi$ ,  $\psi$  karoten, je nejjednodušším prototypem karotenů a vzniká ze dvou molekul geranylgeranyl-difosfátu. Isomerizací fytoenu vzniká trans-isomer fytofluen, jeho oxidací neurosporen a lykopen, jako finální produkt biosyntézy. Lykopen, neurosporen, fytoen a fytofluen jsou acyklické karoteny. Enzymově katalyzovanou cyklizací na jednom nebo obou koncích acyklických  $\psi$ -karotenů vznikají alicyklické karoteny, kam řadíme například  $\beta$ -karoten,  $\beta$ -zeakaroten nebo  $\gamma$  – karoten (Velíšek & Hajšlová, 2009a).



Obrázek č.15 – Vzorec fytoenu (zdroj: Kovačiková, 2024)

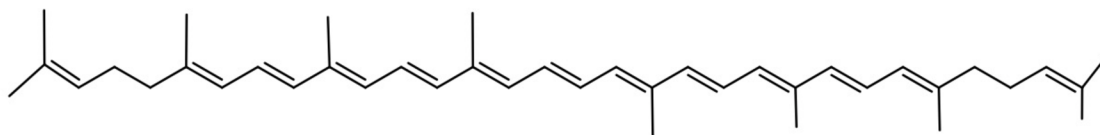
#### 2.2.2.1.1 Lykopen

Lykopen je nacyklický karoten s molekulovým vzorcem  $C_{40}H_{56}$ . Ve své struktuře obsahuje 11 konjugovaných a 2 nekonjugované dvojně vazby (Rao et al., 2006). Poprvé byl objeven v rajčeti Millardem v roce 1876. Dnes se lykopen běžně vyskytuje v potravě lidí po celém světě. Hojně se vyskytuje v rajčatech, grapefruitu, mrkvi, mangu a další zelenině a ovoci. U rostlin, řas a dalších fotosyntetických organismů je zodpovědný za žluté, oranžové, červené pigmentace, fotosyntézu a fotoprotekci. Díky své výrazné barvě a netoxicitě je lykopen užitečným potravinářským barvivem, ale využívá se také při výrobě kosmetických produktů (Caseiro et al., 2020). Lykopen na rozdíl od  $\beta$ -karotenu

postrádá aktivitu provitaminu A, jelikož je acyklický a postrádá  $\beta$  – inonový kruh (Rao et al., 2006).

Lycopen je lipofilní uhlovodík, který je rozpustný v benzenu, chloroformu, etheru a prakticky nerozpustný v methanolu, ethanolu a vodě (Van Breemen & Pajkovic 2008). Je stabilní při rozsahu pH 3,5 – 4,5. V krystalické formě je tvořen červenými jehličkami, v práškové formě je tmavě červenohnědý (Caseiro et al., 2020). Za jeho červené zbarvení je zodpovědný dlouhý chromofor v polyenovém řetězci (Bramley, 2000). Jeho struktura je poměrně zranitelná vůči tepelnému zpracování a oxidačním procesům (Caseiro et al., 2020).

Lycopen je velmi silný antioxidant. Ze všech karotenoidů má nejvyšší schopnost zachycovat volné radikály kyslíku, jelikož má ve své struktuře velký počet dvojných vazeb. Strava, ve které je obsaženo velké množství lycopenu, má pozitivní vliv na lidský organismus. Už příjem 7 mg lycopenu za den by mělo významně snížit riziko kardiovaskulárních onemocnění a některých druhů rakoviny – prostaty, děložního čípku, leukémie, plic a prsu. Zpomaluje také růst nádorů (Caseiro et al., 2020). Podle studií by měl lycopen také snižovat riziko vzniku osteoporózy a snižuje také hodnoty systolického tlaku (Rao et al., 2006).



Obrázek č. 16 – Strukturní vzorec lycopenu (zdroj: Kovačiková, 2024)

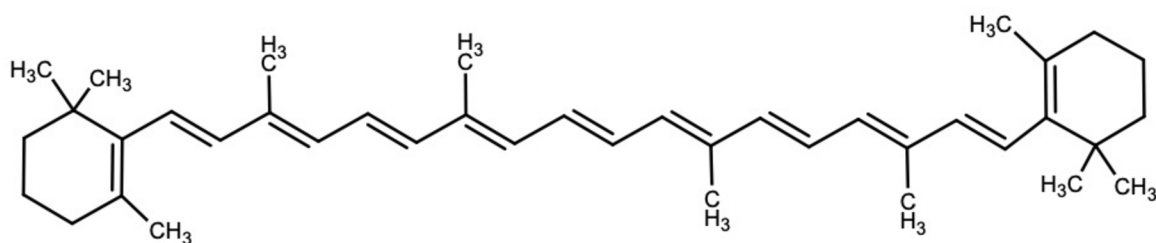
#### 2.2.2.1.2 $\beta$ -karoten

$\beta$ -karoten je organická sloučenina s molekulovým vzorcem  $C_{40}H_{56}$ . Ve své struktuře obsahuje 11 konjugovaných dvojných vazeb (Novikov et al., 2022). Na jeho koncích jsou dvě identické koncové skupiny vzniklé cyklizací, obsahuje dva  $\beta$ -jononové cykly (Velíšek & Hajšlová, 2009a).  $\beta$ -karoten byl poprvé izolován z mrkve v roce 1831 objevitelem Wackenroderem. V roce 1907 Willstätter identifikoval jeho molekulární vzorec. Jeho vlastní stavba byla objasněna až v roce 1930 Kareerem a Kuhnem (Ribeiro et al., 2011).

$\beta$ -karoten je hlavním prekurzorem vitamínu A (Ribeiro et al., 2011). Jeho přeměna na retinol, tedy na vitamin A, probíhá pasivní difúzí ve sliznici tenkého střeva (Bogacz-Radomska & Harasym, 2018). Vitamin A je velmi důležitý pro zrak, růst a k eliminaci akné. Hypovitaminóza A je velmi častým problémem v málo rozvinutých zemích a u dětí vede velmi často ke slepotě (Ribeiro et al., 2011).

$\beta$ -karoten je oranžovo-červený pigment hojně se vyskytující v rostlinách, ovoci a zelenině (Gul et al., 2015). Nachází se zejména v mrkvi, meruňkách, kapustě, brokolici, v oranžovém melounu a špenátu (Rao & Rao, 2007). Jelikož si ho tělo nedokáže nasyntetizovat, musíme ho přijímat z potravy. Je rozpustný v tucích, ale jeho použití v léčivech, potravinách je omezeno kvůli jeho citlivosti na světlo, teplo, kyslík (Qiang et al., 2024).  $\beta$ -karoten se vyskytuje ve formě červených až fialových krystalů nebo krystalického prášku (Gul et al., 2015).

$\beta$ -karoten se využívá jako silný antioxidant. Umožňuje správný růst plodu ( $\beta$ -karoten jako provitamin A je povolen v denní dávce cca 2500 IU, ale samotný doplněk stravy – vitamin A je v těhotenství kontraindikován pro možný teratogenní účinek). Dále podporuje regeneraci a růst kožních buněk. Je hojnou složkou opalovacích krémů (Růžková, 2012).



Obrázek č.17 – Vzorec  $\beta$ -karotenu (zdroj: Kovačiková, 2024)

#### 2.2.2.2 Xanthofyly

Xanthofyly jsou sloučeniny obsahující alespoň jednu funkční skupinu s kyslíkem na cyklických koncových skupinách (Jackson et al., 2008). Vznikají jako produkty biochemické oxidace – hydroxylace, epoxidace karotenů. Příkladem



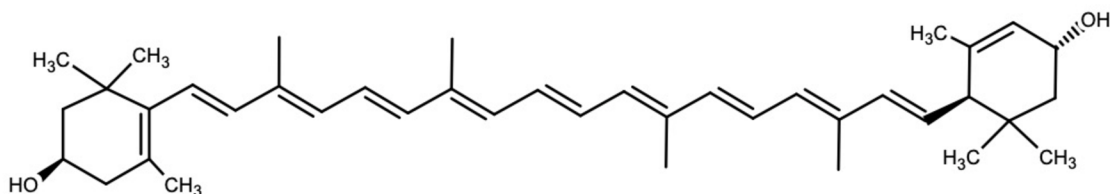
dihydroxysubstituovaných xanthofylů je lutein, zeaxanthin, nebo také laktukaxanthin. Jejich oxidací vznikají 5,6-epoxidy, kam patří antheraxanthin, taraxanthin. Další oxidací vznikají 5,6,5',6'-diepoxidy, kterým je violaxanthin. Přesmykem 5,6-epoxidů vzniká další skupina xanthofylů, která se nazývá K-karoteny. Nejvýznamnějšími K-karoteny jsou kapsorubin a ksanthin (Velíšek & Hajšlová, 2009a). V brukvovité zelenině se nejčastěji nachází lutein, violaxanthin, neoxanthin a zeaxanthin (Lee et al., 2020).

#### **2.2.2.2.1 Lutein**

Lutein - ((3R,3'R,6'R)- $\beta,\epsilon$ -karoten-3,3'-diol) je xanthofyl patřící do skupiny karotenoidů (Fernández-Sevilla et al., 2010). Jeho strukturu lze popsat jako dlouhý uhlovodíkový řetězec se střídajícími se jednoduchými a dvojnými vazbami a připojenými methylovými skupinami. Na obou koncích hlavního uhlovodíkového řetězce se nachází cyklické hexenylové struktury s navázanou hydroxylovou skupinou. Jeho struktura si je velmi podobná se zeaxanthinem a liší se polohou dvojných vazeb v hexenylovém kruhu. Jeho charakteristická struktura s devíti dvojnými vazbami na hlavním řetězci je zodpovědná za absorpenci určitých vlnových délek světla a emisi jiných vlnových délek vedoucí k charakteristickým barevným vlastnostem (Kijlstra et al., 2012). V rostlinách lutein funguje jako antioxidant a chrání je před fotoindukovaným poškozením volnými radikály. Modré světlo je forma viditelného světla s nejvyšší energií a je známo, že vyvolává fotooxidační poškození tím, že vytváří reaktivní formy kyslíku. Lutein, jehož maximální absorpce se vyskytuje při 446 nm ve vizuálním světelném spektru, stíní modré světlo a chrání rostliny, zatímco propouští jiné vlnové délky světla důležité pro fotosyntézu. Ačkoli to u zelené listové zeleniny není zjevné, díky přítomnému chlorofylu, čištěný krystalický lutein vyzařuje ve skutečnosti žlutooranžovou barvu (Alves-Rodrigues, & Shao, 2004).

Lutein je druhý nejrozšířenější karotenoid v krevním séru a v potravinách je hojně zastoupen v tmavé listové zelenině jako je špenát, kapusta (Alves-Rodrigues, & Shao, 2004). Dále ho můžeme nalézt v zeleném hrášku, v brokolici a zelené řepě (Rao & Rao, 2007). Lutein společně se zeaxanthinem jsou jedinečnými karotenoidy, jelikož jsou přítomny ve specifických očních tkáních. Jsou vysoce koncentrované v makule – (žluté skvrně), tedy v malé oblasti sítnice odpovědné za centrální vidění a vysokou zrakovou

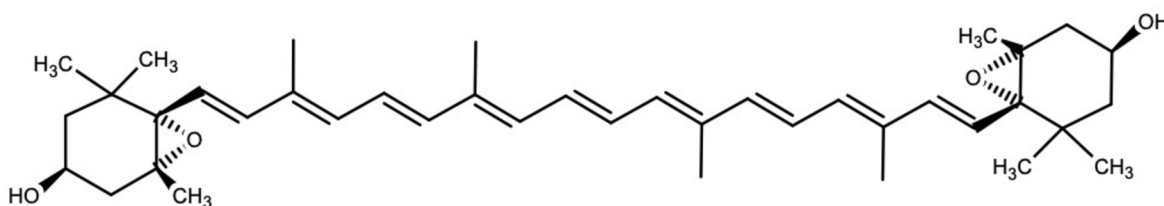
ostrost. Lutein také může sloužit k ochraně pokožky před poškozením způsobeným UV zářením a chrání proti kardiovaskulárním onemocněním. (Alves-Rodrigues, & Shao, 2004).



Obrázek č. 18 – Lutein (zdroj: Kovačiková, 2024)

#### 2.2.2.2.2 Violaxanthin

Violaxanthin (5,6,5',6'-diepoxy-5,6,5',6'-tetrahydro- $\beta,\beta$ -karoten-3,3'-diol) je přírodní xantofylový pigment. Je syntetizovaný ze zeaxanthinu pomocí zeaxanthin epoxidázy a ve své struktuře má obsažené dvě epoxyskupiny (Kim et al., 2020). Violaxanthin se nachází zejména v organismech, které jsou schopny fotosyntézy. To jsou zejména řasy (*Chlorophyta a Rhodophyta*), suchozemské rostliny a jätrovky. Violaxanthin najdeme ve žlutých nebo oranžových okvětních lístcích značného počtu druhů kvetoucích rostlin, například lilie, narcis, růže, měsíček, gerbera a jiné. Dále ho najdeme například v mangu a brukvi (Takemura et al., 2021). Karotenoidní pigment violaxanthin pocházející z řas se využívá ve farmacii, jelikož vykazuje protirakovinové a protizánětlivé účinky. Používá se i k barvení potravin a v kosmetických výrobcích proti stárnutí (Kim et al., 2020).

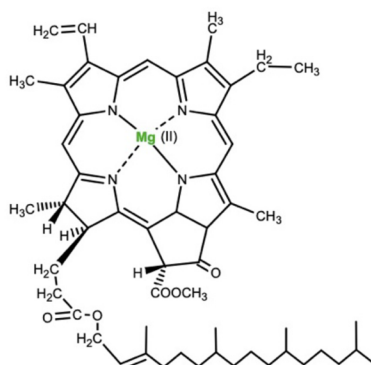


Obrázek č.19 – Violaxanthin (zdroj: Kovačiková, 2024)

### 2.2.3 Chlorofyly

Chlorofyly jsou jedním z nejrozšířenějších barviv na Zemi a jsou zodpovědné za zelenou pigmentaci rostlin, mořských řas a dalších fotosyntetizujících organismů. Proto jsou nedílnou složkou lidské potravy a za den jich přijmeme přibližně 28 mg. Chlorofyly se vyskytují v různých potravinách, jako je špenát, hrách, kapusta, brokolice, hrášek, pomerančová kůra, olivový olej, ale i papriky (Viera et al., 2022). V živých buňkách je najdeme v chloroplastech, přesněji v thylakoidní membráně (Velíšek & Hajšlová, 2009a).

Název „chlorofyl“ byl dán v roce 1818 zelenému barvivu, které se podílí na fotosyntéze. Ale až v roce 1913 Willstätter s kolegou popsali chlorofyl jako hořčnaté komplexy bez železa a fosforu. Struktura chlorofylu, jako ji známe, dnes byla objevena o několik let později, v roce 1940 Fisherem a jeho spolupracovníky (Schoefs, 2002). Základní strukturou chlorofylů je cyklický tetrapyrrol - 17,18 dihydroporfyryl odvozený od protoporfyrynu. Chlorofyly se dělí na chlorofyl a, chlorofyl b, chlorofyl c, chlorofyl d a bakteriochlorofyly a současně se mění i jejich struktura. Chlorofyl a je nejrozšířenějším chlorofylem, který najdeme ve všech fotosyntetizujících organismech (vyšší rostliny, řasy – *Cyanophyta*, *Prochlorophyta*, bakterie). Strukturně se jedná o dihydroporfyryl – 17,18dihydrofeytynato Mg (II) substituovaný v poloze C-2, C-7, C-12, C-18 methylovými skupinami, v poloze C-3 vinylovou skupinou, v C-8 ethylovou skupinou. V poloze C-17 se nachází zbytek propionové kyseliny esterifikovaný diterpenovým alkoholem fytolem, který tvoří postranní lipofilní řetězec chlorofylů. Chlorofyl b se nachází ve vyšších rostlinách a řasách (*Chlorophyta*, *Euglenophyta*) a bakteriích a je strukturně velmi podobný chlorofylu a. Liší se pouze v poloze C-7, kde se nachází formylová skupina místo methylové (Velíšek & Hajšlová, 2009a).



Obrázek č. 20 – Struktura chlorofylu a (zdroj: Kovačiková, 2024)

Chlorofyl hraje velmi důležitou roli v procesu fotosyntézy. Fotosyntéza je proces, při kterém rostliny, řasy a některé bakterie přeměňují světelnou na energii chemickou. Světelná energie je absorbována chlorofylem a dalšími pigmenty, které excitují elektrony. Po absorpci světelné energie jsou excitované elektrony z chlorofylu využity k usnadnění syntézy ATP (adenosin trifosfát) a NADPH (nikotinamid adenin dinukleotidfosfát), které jsou nezbytnými složkami pro následující fáze fotosyntézy – světelnou a temnostní část (Martins et al., 2023).

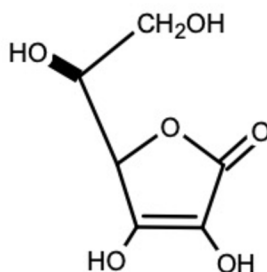
Chlorofyl je téměř jediné barvivo, které se vyskytuje na Zemi v prakticky neomezeném množství. Jeho celková roční produkce se odhaduje na  $11,5 \cdot 10^8$  tun, z toho v oceánech vzniká  $8,6 \cdot 10^8$  tun a na souši  $2,9 \cdot 10^8$  tun. Hlavní využití chlorofylu je použití jako potravinářské barvivo, které se získává především z kopřiv, tolíce vojtěšky a některých dalších píceň. V Japonsku se získávají ze zelených exkrementů bource morušového (Velíšek & Hajšlová, 2009a). Chlorofyly ale podle nedávných studií mohou také působit jako antimutageny, antioxidanty a antikarcinogeny. Díky své jedinečné struktuře dokáží zmírňovat poškození DNA a vychytávat volné škodlivé radikály. Mohou tak snižovat oxidační poškození mozkových buněk a zpomalit tak nástup neurodegenerativních poruch (Martins et al., 2023). Chlorofyl se také používá k hojení ran, proleženin, bércových vředů, jelikož vytváří nevhodné prostředí pro množení bakterií. Podporuje také trávení a detoxikaci organismu a využívá se v prevenci rakoviny tlustého střeva (Růžková, 2012).

#### 2.2.4 Vitamin C

Základní biologicky aktivní sloučeninou vitamínu C je kyselina askorbová. Aktivitu vitamínu C vykazuje ze čtyř možných stereoizomerů pouze L-askorbová kyselina (1,4-lakton L-*threo*-hex-2-enonová kyselina). D-askorbová kyselina, její isomer a druhý pár enantiomerů aktivitu vitamínu C prakticky nevykazují (Velíšek & Hajšlová, 2009b).

Vitamin C izoloval z kůry nadledvin v roce 1928 Albert Szent-Györgyi. Prokázal, že tato sloučenina se vzorcem  $C_6H_8O_6$  může působit jako silné redukční činidlo a nazval ji jako

kyselina hexuronová. Finální strukturu vitamínu C objevil v roce 1933 Norman Haworth (Paciolla et al., 2019).



Obrázek č. 21 – L-askorbová kyselina (zdroj: Kovačiková, 2024)

Kyselinu askorbovou syntetizují všechny zelené rostliny, které dokáží fotosyntetizovat (Velíšek & Hajšlová, 2009b). Hojně se vyskytuje v čerstvém ovoci a zelenině, zejména v citronech, grapefruitech, papáje, mangu, ale také v listové zelenině, brokolici, květáku, zelí a paprice. Většina rostlin a živočichů si ji dokáže nasyntetizovat z D-glukózy nebo D-galaktózy. U živočichů tento mechanismus chybí u hmyzu, morčat, netopýrů živících se ovocem, lidoopů a lidí. Je to způsobeno absencí enzymu L-gulonolaktonoxidázy, proto musí být kyselina askorbová doplňována potravou nebo ve formě tablet (Naidu, 2003). Její nedostatek způsobuje onemocnění zvané kurděje (Hemilä, 2017). Kurděje jsou charakterizovány oslabením kolagenních struktur, což má za následek špatné hojení ran a oslabenou imunitu. Jedinci, kteří trpí kurdějemi, jsou vysoce náchylní k potenciálně smrtelným nemocem, jako je například pneumonie (zápal plic). 10mg/den je potřebná dávka vitamínu C, která zamezuje vzniku kurdějí. Ale doporučená denní dávka kyseliny askorbové je přibližně 100 mg (Carr & Maggini, 2017). Stres, kouření, alkoholismus, horečka či virové infekce způsobují rychlý pokles hladiny kyseliny askorbové v krvi. Bylo zjištěno, že lidé, kteří kouří cigarety, by měli mít denní příjem kyseliny askorbové alespoň 140 mg/den (Naidu, 2003). Vitamin C je rozpustný ve vodě (Carr & Maggini, 2017).

Vitamin C je silný antioxidant a jeho účinky mohou být nejvýraznější za podmínek, kdy je zvýšený oxidační stres (Hemilä, 2017). Přispívá k imunitní obraně podporou různých buněčných funkcí jak vrozeného, tak adaptivního imunitního systému. Podporuje také

funkci epitelární bariéry proti patogenům a podporuje aktivitu vychytávání oxidantů v pokožce, čímž potenciálně chrání před oxidačním stresem z okolního prostředí (Carr & Maggini, 2017). Nejznámějším zdraví prospěšným účinkem kyseliny askorbové je prevence nebo úleva od běžného nachlazení. Kyselina askorbová hraje také důležitou roli v procesu hojení ran, jelikož stimuluje syntézu kolagenu. Kolagen tvoří asi jednu třetinu celkového množství bílkovin v těle (je součástí kůže, kostí, zubů, chrupavek, šlach). Kyselina askorbová je nezbytná pro přeměnu cholesterolu na žlučové kyseliny, při jejím nedostatku se hromadí cholesterol v játrech a vede k tvorbě cholesterolových žlučových kamenů. Má také vliv na snížení rizika rozvoje kardiovaskulárních onemocnění (Naidu, 2003).

### **2.2.5 Metody stanovení bioaktivních látek**

Fenolické látky vykazují redukční vlastnosti, proto metody pro jejich stanovení jsou založeny na oxidačně-redukčních vlastnostech. Pro jejich stanovení se v dnešní době používá nejčastěji vysokoúčinná kapalinná chromatografie na reverzní fázi. Můžeme využít i chromatografii tenkovrstevnou a papírovou pro orientační stanovení (Bílková, 2018). Fenolické látky se také dají stanovovat pomocí spektrofotometrických metod v UV/VIS oblasti (Blainski et al., 2013). Spektrofotometrické stanovení se využívá i pro stanovení pigmentových sloučenin, jako jsou chlorofyly a karotenoidy (Dobričević, 2019).

#### **2.2.5.1 Spektrofotometrie**

Spektrofotometrie je optická analytická metoda patřící do molekulové absorpční spektroskopie v UV/VIS oblasti (Křížek & Šíma, 2015). Metoda je založena na měření prošlého zářivého toku v rozmezí vlnových délek 180-800 nm (Klouda, 2003).

Přístroje pro měření absorbovaného záření roztokem se nazývají spektrofotometry a jsou složeny z pěti základních komponent: ze zdroje záření, selektoru vlnových délek izolujícího ze spektra omezený rozsah vlnových délek, jedné nebo více kyvet, detektoru záření konvertujícího zářivý tok na měřitelný elektrický signál a jednotek, které zajišťují

zpracování elektrického signálu. Zdroj záření musí splňovat určité podmínky. V rozmezí určitých vlnových délek musí produkovat velký zářivý tok, který musí být dostatečně stabilní v čase. Tyto podmínky ve viditelné oblasti spektra splňují halogenové žárovky obsahující žhavené wolframové vlákno (Skoog et al., 2019). Pro získání monochromatického záření se používají nejčastěji hranolové nebo mřížkové monochromátory. Těmito monochromátory můžeme získat spektrální šíři záření 0,5 až 5 nm. Kyveta společně s roztokem tvoří absorpční prostředí. Ve viditelné oblasti se používají kyvety skleněné. Rozpouštědlo musí být vybráno tak, aby neabsorbovalo záření, které se používá pro stanovení. Nejběžněji používaným rozpouštědlem je voda, jelikož neabsorbuje záření v rozmezí vlnových délek 180–1000 nm. Detektorem je nejčastěji fotonka nebo fotonásobič. Fotoelektrický proud se měří digitálním mikroampérmetrem. Na stupnici jsou zobrazeny hodnoty absorbance. U registračních spektrofotometrů je i zapisovač, který umožňuje grafický záznam spektra (Křížek & Šíma, 2015).

#### **2.2.5.2 Kapalinová chromatografie**

Chromatografie je jednou z nejvýznamnějších analytických separačních metod. Základy kapalinové chromatografie položil na počátku 20.století botanik Cvet, který úspěšně rozdělil listová barviva na sloupci sorbentu (Křížek & Šíma, 2015).

Vysokoučinná kapalinová chromatografie (HPLC) je nejvšestrannějším a nejpoužívanějším typem eluční chromatografie. Je používána pro separace a stanovení analytů obsažených v nejrůznějších organických, anorganických a biologických materiálech. V kapalinové chromatografii je mobilní fáze kapalina, do které je dávkován kapalný vzorek obsahující rozpuštěné analyty. Módy HPLC jsou často děleny podle separačních mechanismů nebo typů stacionární fáze. Jedná se o rozdělovací kapalinovou chromatografii, adsorpční kapalinovou chromatografii, iontovou (iontově výměnou) chromatografii, chirální chromatografii (Skoog et al., 2019).

Kapalinový chromatograf je složen z čerpadla, zařízení na dávkování vzorku, kolony, detektoru a vyhodnocovacího zařízení (Kříženecká & Synek, 2014). Mobilní fáze je

vedena ze zásobníku přes odplynovač do vysokotlakého čerpadla. Čerpadlo musí zajišťovat konstantní průtok mobilní fáze (0,1 až 10 ml/min) a musí zvládat vysoké tlaky (1–60 MPa), se kterými se pracuje. Nejčastěji se používají pístová nebo membránová čerpadla. Při pohybu membrány nebo pístu vpřed dochází k vytlačení malého objemu mobilní fáze do systému. Tlumičem pulzů nebo zařazením dalšího čerpadla, které pracuje v opačné fázi, je tlumena pulzace. K dávkování vzorku se využívá šesticečný ventil s dávkovací smyčkou. Smyčka o určitém konstantním objemu se nejdříve naplní vzorkem, poté se ventil otočí do druhé polohy a eluent protéká smyčkou a vnáší vzorek do kolony. Kolony jsou rovné trubice, jejichž délka je 10 až 50 cm a průměr mají 2 až 6 mm. Nejčastěji jsou vyrobeny z nerezové oceli nebo speciálního tvrzeného skla. Bezprostředně za kolonou se nachází detektor, který je spojen se zařízením pro registraci průběhu analýzy (zapisovač nebo PC s vyhodnocovacím softwarem). V kapalinové chromatografii jsou používány zejména optické (fluorimetrický a fotometrický) a elektrochemické (vodivostní a voltmetrický) detektory (Kříženecká & Synek, 2014; Křížek & Šíma, 2015).



### 3 Metodika práce

#### 3.1 Rostlinný materiál pro analýzy

Pro analýzu bylo vybráno osm druhů brukvovité zeleniny (Tabulka č. 2).

Druh rostlin česky	Druh rostlin latinsky	Odrůda
Zelí okrasné, zelené	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>	Nagoya F1
Zelí okrasné, červené	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>	Pigeon Victora F1
Kapusta hlávková	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>sabauda</i>	Předzvěst
Kapusta růžičková	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>gemmifera</i>	Groninger
Kapusta krmná	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala</i>	Inka
Kapusta kadeřavá, zelená	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>sabellica</i>	Lerchenzungen
Kapusta kadeřavá, červená	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>sabellica</i>	Scarlet
Kapusta kadeřavá, zelená	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>sabellica</i>	Toskánská

Tabulka č. 2 – Seznam druhů a odrůd brukvovité zeleniny použité pro analýzu

Všechny druhy rostlin z čeledi brukvovitých, které byly použity pro výzkum v této diplomové práci, byly vypěstovány na pokusném pozemku Pedagogické fakulty Jihočeské univerzity (JU) v roce 2022. Pozemek se nachází v Českých Budějovicích v kampusu JU. Přesné souřadnice pozemku jsou N 48°58'29.528'', E 14°26'52.057''. Osivo bylo pořízeno v roce 2021 na e-shopu osiva-semena.cz a vyprodukovala je firma Semo. Rostliny okrasného zelí, kapusty hlávkové, kapusty růžičkové, kapusty krmné a kapusty kadeřavé byly předpěstovány ze semen. Semena byla vyseta do skleníku začátkem března a v druhé polovině května 2022 byly rostliny sázeny na záhony. Růžičková kapusta a kadeřávek byly sázeny do sponu 60x50 cm. Okrasné zelí bylo sázeno do sponu 30x30 cm. Všechny odrůdy okrasného zelí, kapusty a kadeřávku byly pěstovány na nezakryté ploše s designem standardní maloparcelkové pokusné metody. Od každé odrůdy bylo pěstováno vždy 20 kusů rostlin. Po celou dobu vegetace plodin byly záhony udržovány bez plevelu, za suchého počasí dostatečně zalévány. Sklizeň všech osmi odrůd se odehrála na začátku října 2022. Na obrázku č.22–26 jsou fotografie

roslin v době sklizně. Téměř okamžitě po sklizni došlo ke zpracování vzorků, k obvyklé konzervaci a dále k následným analýzám.

Původní záměr opakovat pěstování za stejných podmínek včetně analýz i v následujícím roce (tzn. vypěstovat stejné odrůdy i v roce 2023) byl bohužel zmařen tím, že většinu sazenic i přes opakovanou ochranu (muloskocidy, ochranná plastová síť) zlikvidovali nespécializovaní škůdci – slimáci. Nebyl tudíž dostatečný reprezentativní materiál k analýzám pro srovnání. Proto jsou v práci uváděny jen výsledky měření za rok 2022.



Obrázek č. 22 – Kapusta kadeřavá, červená, odrůda Scarlet – rok 2022

Obrázek č. 23 – Kapusta kadeřavá, odrůda Toskánská – rok 2022

Obrázek č. 24 – Kapusta kadeřavá, odrůda Lerchenzungen – rok 2022



Obrázek č. 25 – Kapusta krmná, odrůda Inka – rok 2022

Obrázek č. 26 – Kapusta růžičková, odrůda Groninger – rok 2022

### **3.2 Úprava rostlinného materiálu pro analýzy**

Rostliny, které byly sklizeny začátkem října 2022, byly povrchově očištěny. Následně se odstranily části, které se běžně nekonzumují a byly ponechány části obvyklé ke konzumaci. U okrasného zelí byla ponechána barevná hlávka, tato rostlina totiž není určená ke konzumaci. Dále byla každá rostlina pokrájena nožem na maximálně 0,5 cm velké části. Všechny vzorky byly následně zamrazeny při teplotě  $-16^{\circ}\text{C}$ . Takto připravené vzorky byly uchovány v mrazícím zařízení. Bylo prokázáno (Rickman et al., 2007), že konzervace zamražením neovlivňuje hodnoty těchto zkoumaných látek v rostlinných matricích, jako je např. ovoce a zelenina.

Pomocí spektrofotometrické metody byly zjištěny karoteny a chlorofyl A, chlorofyl B, chlorofyl A+B a obsah celkových fenolických látek. Vitamin C byl identifikován pomocí HPLC – vysokoučinné kapalinové chromatografie.

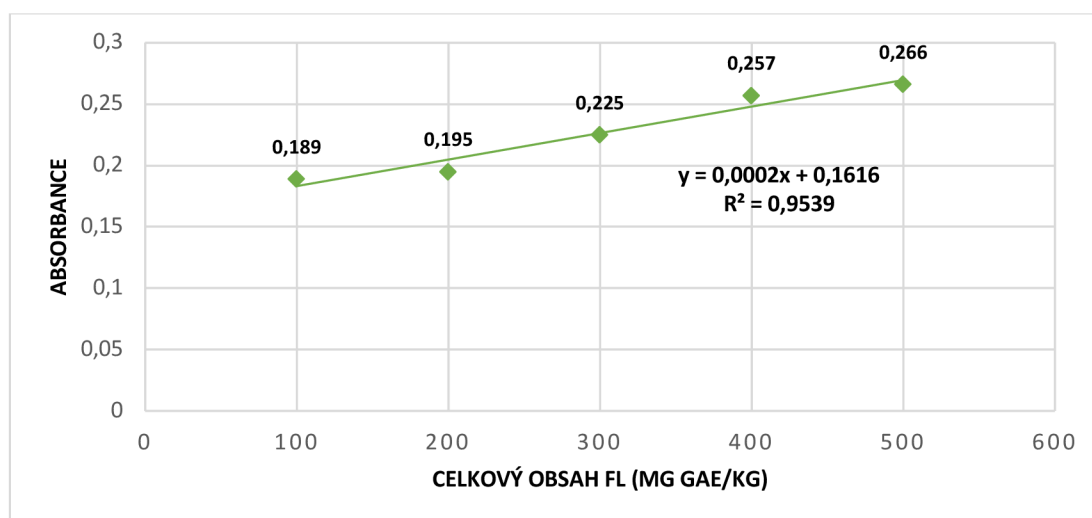
### **3.3 Spektrofotometrické stanovení celkových fenolických látek pomocí činidla Folin - Ciocalteu**

Folin – Ciocalteuova metoda je referenční metodou pro stanovení celkových fenolů v potravinách (Chen et al., 2015; Waterhouse, 2002). Folin – Ciocalteuovo činidlo můžeme nalézt pod zkratkou F-C. V průběhu reakce činidlo reaguje s redukčními činidly za vzniku rozpustného, modrého chromoforu s maximální absorbcí při 765 nm (Pérez et al., 2023).

Před začátkem provedení analýzy bylo nutné si připravit extrakt. Ten byl připraven v Erlenmayerově baňce z 5 g zmraženého rostlinného materiálu a 80 ml 60 % methanolu a 15 ml destilované vody. Baňka s extraktem se překryla celá alobalem a utěsnila víčkem. Extrakce probíhala po dobu 24 hodin.

Extrakt se další den zfiltroval přes filtrační papír. Pak se 1 ml přefiltrovaného extraktu se odpipetoval do 50 ml odměrné baňky, ve které bylo 20 ml destilované vody. Následně se přidal 1 ml Folin – Ciocalteova činidla. Odměrná baňka se důkladně protřepala a nechala se 3 minuty odstát. Po uplynutí 3 minut se přidal 5 ml 20 % roztoku  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Opět došlo k protřepání a destilovanou vodou se doplnila odměrná baňka po rysku. Reakce probíhala 30 minut. Po uplynutí této doby se část výluhu převedla do křemenných kyvet a změřila se intenzita zabarvení. Každý vzorek se měřil třikrát při vlnové délce 765 nm proti slepému vzorku (voda; nulový obsah kyseliny gallové). Výsledek byl odečten z kalibrační křivky kyseliny gallové (GAE), která představuje lineární závislost absorbance na koncentraci gallové kyseliny a objemu měřeného extraktu. Celkem bylo zpracováno 24 vzorků.



Obrázek č.27 – Kalibrační křivka kyseliny gallové

### 3.4 Spektrofotometrické stanovení karotenoidů a chlorofylů

Za zelené zbarvení vyšších rostlin, některých druhů zeleniny a ovoce jsou zodpovědná přírodní zelená barviva – chlorofyly (Velíšek & Hajšlová, 2009a).

Postup stanovení obsahu chlorofylu a karotenů v brukvovité zelenině byl zvolen podle publikovaného výzkumu Dobričeviče (2019).

Před začátkem analýzy bylo nutné si připravit extrakty ze zmražených vzorků všech analyzovaných odrůd okrasného zelí, kapusty a kadeřávku. Z každé odrůdy bylo naváženo přibližně 0,20 g a toto množství bylo rozetřeno v třecí misce s křemenným pískem a 15 ml acetonu. Roztírání trvalo 15 minut. Následovalo převedení směsi do

odstředovací kyvety o objemu 50 ml. Zbylá směs v třecí misce se vypláchla 10 ml acetonu a spojila se s extraktem, který byl již v kyvetě. Plastová kyveta se směsí byla vložena do třepačky ve svislé poloze a třepala se tam po dobu 10 minut. Po dokončení třepacího procesu se směs vložila do odstředivky, kde se po dobu 10 minut odstředovala při 3500 otáčkách. Supernatant se přelil do odměrné baňky o objemu 25 ml a doplnil se po rysku.

Samotné spektrofotometrické měření bylo provedeno na přístroji Biochrom WPA Lightwave II s křemennými kyvetami - 1 cm (obrázek č.28). Měření probíhalo při třech vlnových délkách (440 nm, 644 nm, 662 nm) proti vzorku acetonu. Z každé odrůdy byly odebrány dva vzorky a každý z nich byl měřen při jedné vlnové délce třikrát. Celkem bylo změřeno 144 vzorků.



Obrázek č. 28 – Přístroj pro spektrofotometrické stanovení chlorofylů a karotenoidů

**Výpočet obsahu barviv vychází z Holm-Wettsteinových rovnic:**

- **Chlorofyl A** =  $9,784 \times A_{662} - 0,990 \times A_{644}$  (mg/l)
- **Chlorofyl B** =  $21,426 \times A_{644} - 4,65 \times A_{662}$  (mg/l)
- **Chlorofyl A+B** =  $5,134 \times A_{662} + 20,436 \times A_{644}$  (mg/l)
- **Karotenoidy** =  $4,695 \times A_{440} - 0,268 \times \text{chlorofyl A+B}$  (mg/l)

### 3.5 Stanovení obsahu vitamínu C

Obsah vitamínu C se stanovuje jako obsah L-askorbové kyseliny a jiných příbuzných látek (pravděpodobně L-dehydroaskorbová) po extrakci materiálu extrakčním činidlem chromatograficky pomocí metody HPLC. L-askorbová kyselina má tendenci velmi rychle oxidovat při zpracování vzorku. Lze tomu zabránit přidáním extrakčního činidla ve formě roztoku kyseliny šťavelové a chelatačního činidla (0,02 mol/l šťavelové kyseliny a 0,5 mmol/l EDTA). Tento postup stanovení obsahu vitamínu C vychází z publikované práce Beguma & Harikrishna (2010).

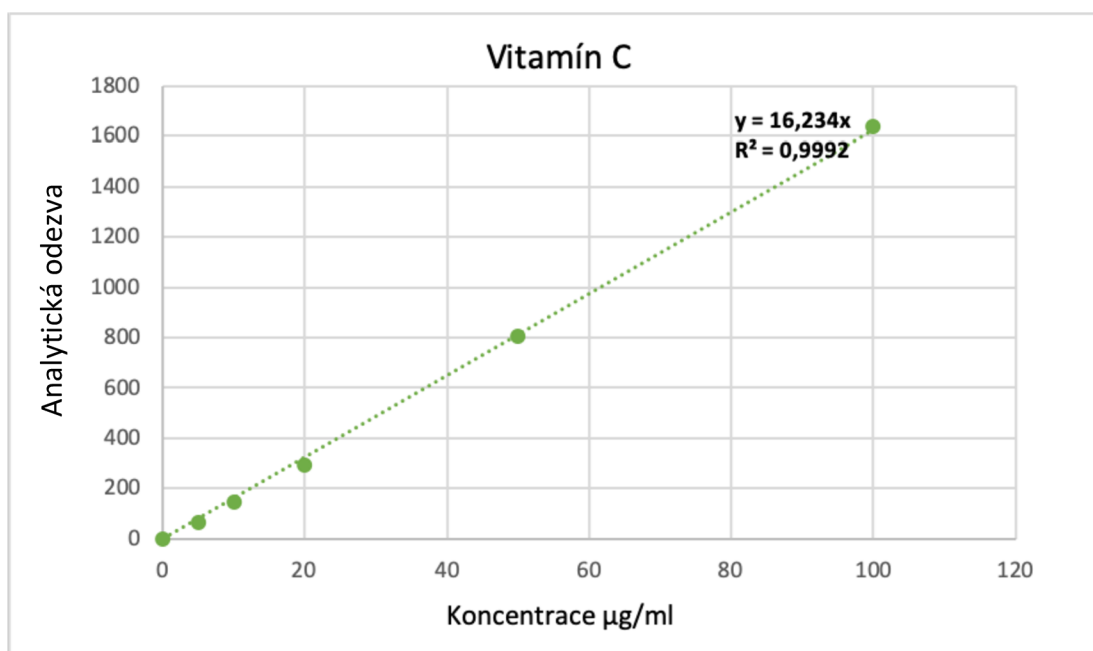
Obdobně jako u dvou předchozích stanovení bylo nutné si připravit extrakty ze zmražených vzorků brukvovité zeleniny. Z každého vzorku se navážilo 5 g a vzorek se po dobu 5 minut homogenizoval s 20 ml extrakčního činidla. Dále se směs převedla do odstředivací kyvety a vložila do třepačky, kde se po dobu 10 minut třepala. Následovalo vyvážení kyvet extrakčním činidlem a odstředění při 3500 otáčkách po dobu 10 minut. Supernatant se oddělil do odměrné baňky o objemu 50 ml, zbytek se resuspendoval v kyvetě s 20 ml čerstvého extrakčního činidla a odstředil se za stejných podmínek. Spojené supernatanty se v baňce doplnily po rysku a dobře se promíchaly. Následně se všechny vzorky přefiltrovaly přes filtr ze skleněných vláken. Tyto vzorky se neprodleně měřily metodou HPLC.

Přístroj UHPLC Agilent 1200 Series Rapid Resolution LC System posloužil k provedení chromatografické separace na koloně Zorbax SB-C8 (4,6 x 150 mm, zrnitost 5  $\mu$ m).

Roztok 0,02 M kyseliny šťavelové se používal jako mobilní fáze. Nastříknuto bylo 5  $\mu$ l vzorku, absorbance každého vzorku se odečítala při vlnové délce 254 nm. Teplota v přístroji při analýze byla 25 °C. Za těchto použitých podmínek koeluují pravděpodobně všechny formy vitamínu C. Kvantifikace byla provedena pomocí standardu L-askorbové kyseliny v pracovním rozsahu 5-100 mg/kg čerstvého materiálu.

### 3.5.1 Vyhodnocení stanovení pomocí kalibrační závislosti

Zjištění obsahu vitamínu C se provádí pomocí rovnice kalibrační závislosti, která se získá proměřením souboru roztoků o známé koncentraci (viz obrázek č.29). Pro kalibrační závislost byly vytvořeny vzorky kyseliny L-askorbové o koncentraci 0–100 µg/ml a jejich absorbance byla změřena při vlnové délce 254 nm. Jako analytická odezva byla odečtena plocha píku (bezrozměrné číslo), jenž byla získána z grafického záznamu (chromatogramu).



Obrázek č. 29 – Kalibrační graf pro vitamín C

### 3.6 Použité přístroje a pomůcky

- Analytické váhy (Mettler toledo-AB 204, Švýcarsko)
- Laboratorní váhy (Denver instrument- APX-602)
- Laboratorní odstředivka (Sigma- 2-5)
- SPE extraktor (vývojové dílny JCU)
- Zkumavky s víčkem s teflonovým těsněním (Merc, Německo)
- Laboratorní třepačka (Kavalier- LT2, ČR)
- Automatická pipeta (Transfer pette 20-200 µl Brand, Německo)
- Automatická pipeta (Transfer pette 100-1000 µl Brand, Německo)
- Magnetické míchadlo (Heidolph, Německo)
- Filtry ze skleněných vláken GF/C (Whatman, Velká Británie)
- Kapalinový chromatograf Agilent 1200 Series Rapid Resolution LC Systém (Agilent Technologies, USA), detektor DAD UV VIS (Agilent Technologies, USA)
- Kolona Zorbax SB-C8 (4,6 x 150 mm, zrnitost částic stacionární fáze 5 µm) (Agilent Technologies, USA)
- Biochrom WPA Lightwave II spektrofotometr (WPA Biochrom, UK) Biochrom Libra S11 (WPA Biochrom, UK)
- Biochrom Libra S11 (WPA Biochrom, UK)
- Křemenné kyvety (Merck, Německo)

### 3.7 Použité chemikálie

- Destilovaná a redestilovaná voda (Merck, Německo)
- Methanol 60 % (Merck, Německo)
- Folin – Ciocalteuovo činidlo (Merck, Německo)
- Hydrogenuhličitan sodný (Penta, ČR)
- Gallová kyselina (Merck, Německo)
- L-askorbová kyselina (Merck, Německo)



- Acetonitril (LiChrosolv Reag. Ph. Eur, Merck)
- EDTA (LachNer, ČR)
- Aceton (Merck, Německo)
- Křemenný písek (Merck, Německo)
- Kyselina šťavelová (Merck, Německo)

### **3.8 Použité statistické programy**

Chromatografická data byla vyhodnocena pomocí programového vybavení ChemStation verze 3 (Agilent Technologies, USA). Výsledky byly zpracovány formou přehledných tabulek a grafů a vyhodnoceny základními statistickými metodami v programu Microsoft Office 365 – Excel.

## 4 Výsledky

Výsledky jsou rozděleny na stanovení celkových fenolických látek, obsahy chlorofylu A, chlorofylu B, chlorofylu A+B, karotenů a stanovení vitamínu C.

### 4.1 Analýza celkového obsahu fenolických látek

Stanovení celkového obsahu fenolických látek bylo provedeno při vlnové délce 765 nm spektrofotometrem Biochrom Libra S11. Vzorky byly stanovovány oproti standardu kyseliny gallové (GAE), vyjádřeny v mg GAE a přepočteny na 1 kg čerstvé hmoty. Množství polyfenolů bylo zkoumáno ve zmražených vzorcích brukvovité zeleniny.

Měření celkových fenolických látek bylo provedeno u každého vzorku brukvovité zeleniny celkem třikrát. V následující tabulce (tabulka č. 3) jsou uvedeny minimální a maximální výsledné hodnoty změřených vzorků. Rovněž je v tabulce uveden aritmetický průměr ze třech měření pro jeden vzorek a zároveň i směrodatná odchylka.

Z naměřených výsledků vyplývá, že největší množství fenolických látek obsahovala kapusta kadeřavá červená odrůdy Scarlet ( $450 \pm 83,2$  mg/kg), dále pak kapusta kadeřavá zelená odrůdy Lerchenzungen ( $335 \pm 63$  mg/kg). Nejnižší množství fenolických látek bylo nalezeno v kapustě hlávkové, odrůdy Předzvěst ( $18,7 \pm 7,53$  mg/kg) a velmi malé množství fenolických sloučenin obsahovala i růžičková kapusta odrůdy Groninger ( $55,7 \pm 3,90$  mg/kg).

Tabulka č. 3- Celkový obsah fenolických látek v brukvovité zelenině

<b>Brukvovitá zelenina</b>	<i>Celkový obsah fenolických látek (mg/kg)</i>			
	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>Průměr</b>	<b>SD</b>
Zelí okrasné, zelené, Nagoya F1	75,1	83,1	78,3	4,20
Zelí okrasné, červené, Pigeon Victoria F1	195	195	195	0,16
Kapusta hlávková, Předzvěst	10,1	23,8	18,7	7,53
Kapusta růžičková, Groninger	51,3	58,7	55,7	3,90
Kapusta krmná, Inka	80,4	97,9	91,2	9,41
Kapusta kadeřavá, zelená, Lerchenzungen	291	380	335	63
Kapusta kadeřavá, červená, Scarlet	355	508	450	83,2
Kapusta kadeřavá, zelená, Toskánská	195	296	245	71,5

(Min. = minimální hodnota, Max. = maximální hodnota, Průměr = aritmetický průměr, SD = směrodatná odchylka)

## 4.2 Analýza chlorofylů a karotenoidů

Stanovení chlorofylů a karotenoidů bylo provedeno při vlnové délce 440 nm, 644 nm a 662 nm spektrofotometrem Biochrom WPA Lightwave II. Vzorky byly stanoveny proti vzorku acetonu. Množství jednotlivých chlorofylů a karotenů bylo zkoumáno ve zmražených vzorcích brukvovité zeleniny.

Měření jednotlivých chlorofylů (chlorofyl A, chlorofyl B, chlorofyl A + chlorofyl B) a karotenoidů proběhlo ve dvou vzorcích celkem třikrát při jedné vlnové délce u každé odrůdy brukvovité zeleniny. U každé odrůdy proběhlo celkem 18 měření a celkem tedy bylo provedeno 144 měření.

Výsledky pro chlorofyl A jsou uvedeny v následující tabulce v mg/100 g čerstvé hmoty (tabulka č. 4). Do tabulky byly zaznamenány minimální a maximální hodnoty ze všech šesti měření jednoho druhu brukvovité zeleniny. Z těchto měření byl spočítán aritmetický průměr a směrodatná odchylka a rovněž byly zapsány do tabulky.

Největší množství chlorofylu A obsahovalo zelí okrasné červené, odrůda Pigeon Victoria F1 ( $322 \pm 50,1$  mg/100 g) a zároveň i kapusta kadeřavá, zelená, odrůda Toskánská ( $317 \pm 0,79$  mg/100 g). Nejnižší množství chlorofylu A bylo nalezeno v kapustě hlávkové odrůdy Předzvěst ( $2,08 \pm 0,07$  mg/100 g) a velmi malé množství chlorofylu A obsahovala také růžičková kapusta odrůdy Groninger ( $5,20 \pm 0,42$  mg/100 g). Podrobnější výsledky jsou k nahlédnutí v příložené tabulce č.4.

Tabulka č. 4 – Obsah chlorofylu A v brukvovité zelenině

Brukvovitá zelenina	Obsah chlorofylu A (mg/100 g)			
	Min.	Max.	Průměr	SD
Zelí okrasné, zelené, Nagoya F1	199	227	213	14,7
Zelí okrasné, červené, Pigeon Victoria F1	275	368	322	50,1
Kapusta hlávková, Předzvěst	1,99	2,19	2,08	0,07
Kapusta růžičková, Groninger	4,78	5,69	5,20	0,42
Kapusta krmná, Inka	123	165	145	22,3
Kapusta kadeřavá, zelená, Lerchenzungen	118	127	123	4,02
Kapusta kadeřavá, červená, Scarlet	171	185	178	7,50
Kapusta kadeřavá, zelená, Toskánská	316	318	317	0,79

(Min. = minimální hodnota, Max. = maximální hodnota, Průměr = aritmetický průměr, SD = směrodatná odchylka)

Výsledky chlorofylu B jsou uvedeny v tabulce č.5 v mg/100 g čerstvého materiálu. V tabulce se nacházejí minimální a maximální hodnoty chlorofylu B ze šesti měření jedné odrůdy brukvovité zeleniny. Dále jsou v tabulce zaznamenány průměrné hodnoty a směrodatné odchylky.

Nejnižší množství chlorofylu B obsahovala hlávková kapusta odrůdy Předzvěst ( $2,30 \pm 0,12$  mg/100 g). Nejvíce byl chlorofyl B zastoupen v kapustě kadeřavé, zelené, odrůdy Toskánské ( $179 \pm 19,1$  mg/100 g) a také v okrasném zelí, červeném ( $170 \pm 42,9$  mg/100 g).

Tabulka č. 5 – Obsah chlorofylu B v brukvovité zelenině

Brukvovitá zelenina	Obsah chlorofylu B (mg/100 g)			
	Min.	Max.	Průměr	SD
Zelí okrasné, zelené, Nagoya F1	83,3	115	102	19,7
Zelí okrasné, červené, Pigeon Victoria F1	131	210	170	42,9
Kapusta hlávková, Předzvěst	2,14	2,38	2,30	0,12
Kapusta růžičková, Groninger	3,79	5,25	4,47	0,61
Kapusta krmná, Inka	60,7	86,2	72,9	13,1
Kapusta kadeřavá, zelená, Lerchenzungen	90,2	101	95,7	5,12
Kapusta kadeřavá, červená, Scarlet	105	131	118	13,3
Kapusta kadeřavá, zelená, Toskánská	159	197	179	19,1

(Min. = minimální hodnota, Max. = maximální hodnota, Průměr = aritmetický průměr, SD = směrodatná odchylka)

Výsledky pro chlorofyl A+B jsou uvedeny v tabulce č. 6 v mg/100 g čerstvého materiálu. V tabulce jsou uvedeny maximální a minimální výsledné hodnoty změřených vzorků. Zároveň je v tabulce uveden aritmetický průměr ze šesti měření vzorků brukvovité zeleniny a také směrodatná odchylka.

Z naměřených výsledků vyplývá, že chlorofyl A+B byl nejvíce zastoupen v kapustě kadeřavé, odrůdy Toskánské ( $462 \pm 18,7$  mg/100 g) a také velké množství bylo nalezeno v červeném okrasném zelí, odrůda Pigeon Victoria F1 ( $458 \pm 88,1$  mg/100 g). Nejnižší množství chlorofylu A+B bylo nalezeno v kapustě hlávkové, odrůdy Předzvěst ( $4,15 \pm 0,15$  mg/100g) a také v kapustě růžičkové odrůdy Groninger ( $9,11 \pm 0,95$  mg/100 g).

Tabulka č.6 – Obsah chlorofylu A+B v brukvovité zelenině

Brukvovitá zelenina	Obsah chlorofylu A+B (mg/100 g)			
	Min.	Max.	Průměr	SD
Zelí okrasné, zelené, Nagoya F1	261	325	292	32,7
Zelí okrasné, červené, Pigeon Victoria F1	377	539	458	88,1
Kapusta hlávková, Předzvěst	3,97	4,33	4,15	0,15
Kapusta růžičková, Groninger	8,07	10,3	9,11	0,95
Kapusta krmná, Inka	172	234	202	32,9
Kapusta kadeřavá, zelená, Lerchenzungen	204	207	205	1,29
Kapusta kadeřavá, červená, Scarlet	269	284	276	6,59
Kapusta kadeřavá, zelená, Toskánská	443	480	462	18,7

(Min. = minimální hodnota, Max. = maximální hodnota, Průměr = aritmetický průměr, SD = směrodatná odchylka)

V následující tabulce (Tabulka č.7) jsou zaznamenány výsledky pro obsah karotenoidů v měřených vzorcích brukvovité zeleniny v mg/100 g čerstvého materiálu. V tabulce jsou minimální a maximální hodnoty změřených vzorků, rovněž aritmetický průměr a směrodatná odchylka.



Z výsledků měření vyplývá, že nejvyšší obsah karotenoidů byl zaznamenán u kapusty kadeřavé, odrůdy Toskánské ( $115 \pm 2,50$  mg/100 g). Nejnižší obsah karotenoidů obsahovala kapusta růžičková odrůdy Groninger ( $1,26 \pm 0,05$  mg/100 g). Podrobnější výsledky jsou k nahlédnutí v příložené tabulce č.7.

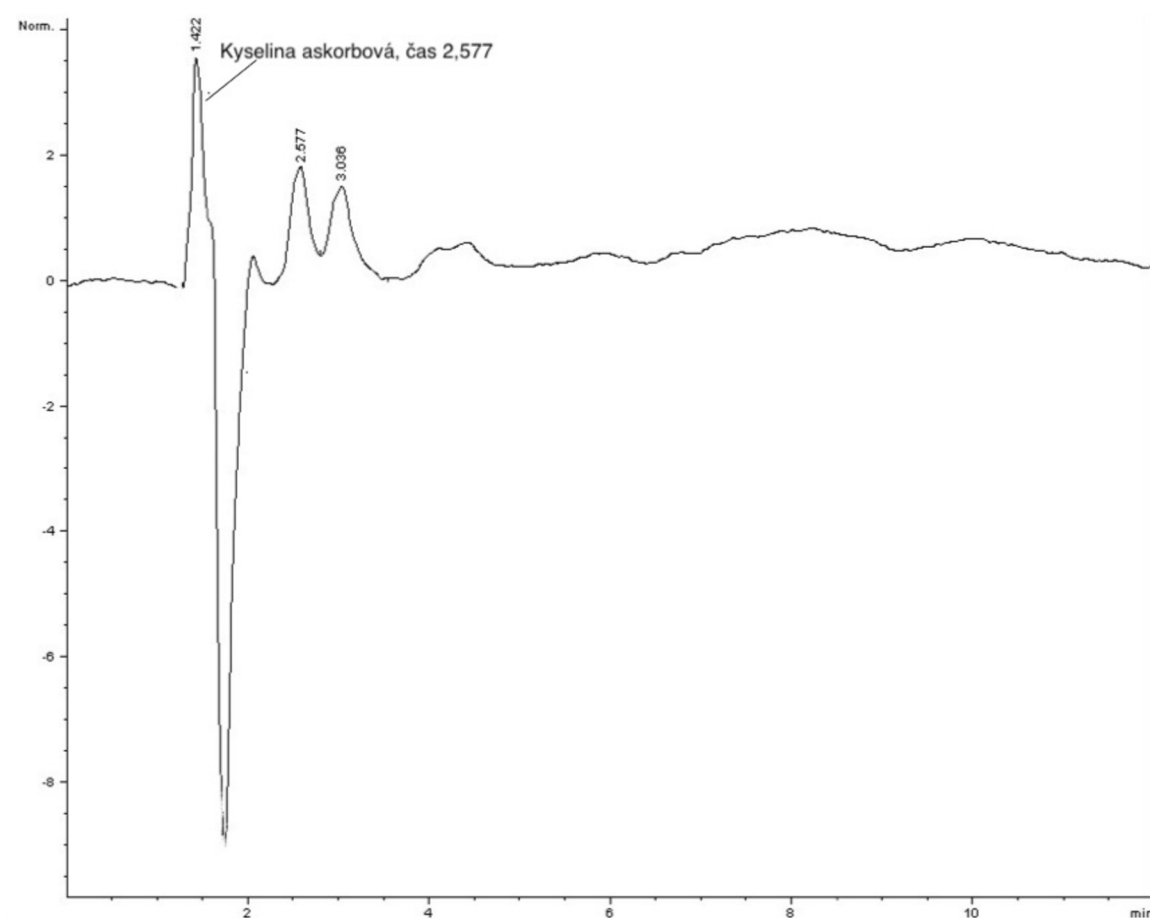
Tabulka č.7 – Obsah karotenoidů v brukvovité zelenině

Brukvovitá zelenina	Obsah karotenoidů (mg/100 g)			
	Min.	Max.	Průměr	SD
Zelí okrasné, zelené, Nagoya F1	64,1	65,2	64,1	0,97
Zelí okrasné, červené, Pigeon Victoria F1	80,2	97,6	88,9	9,38
Kapusta hlávková, Předzvěst	2,09	2,17	2,12	0,02
Kapusta růžičková, Groninger	1,17	1,29	1,26	0,05
Kapusta krmná, Inka	38,9	41,2	39,9	0,98
Kapusta kadeřavá, zelená, Lerchenzungen	29,9	35,9	32,8	2,90
Kapusta kadeřavá, červená, Scarlet	51,9	64,5	58,3	6,61
Kapusta kadeřavá, zelená, Toskánská	112	117	115	2,50

(Min. = minimální hodnota, Max. = maximální hodnota, Průměr = aritmetický průměr, SD = směrodatná odchylka)

### 4.3 Analýza vitamínu C

Množství vitamínu C v jednotlivých druzích brukvovité zeleniny bylo stanoveno vysokoúčinnou kapalinovou chromatografií (HPLC). Obsah vitamínu C byl stanoven jako obsah kyseliny askorbové. U jednotlivých druhů brukvovité zeleniny, ve kterých byl naměřen obsah vitamínu C, se v chromatografickém záznamu objevil viditelný pík reprezentující kyselinu askorbovou. Na obrázku č. 30 je chromatografický záznam kyseliny askorbové v kapustě kadeřavé, zelené, odrůdy Toskánské.



Obrázek č. 30 - Chromatografický záznam měření kyseliny askorbové v kapustě kadeřavé, zelené, odrůdy Toskánské

Měření vitamínu C proběhlo u každé odrůdy brukvovité zeleniny celkem čtyřikrát (vzorek byl navážen dvakrát a každý extrakt měřen dvakrát). Minimální a maximální výsledné hodnoty změřených vzorků jsou zaznamenány v přehledné tabulce č.8 v jednotkách mg/kg čerstvé hmoty. V tabulce č.8 je také uvedený aritmetický průměr ze čtyř měření pro každou odrůdu a směrodatná odchylka. Hodnota pod mezí kvantifikace (tzv. LOQ) byla 0,5 mg/100 g pro všechny analýzy.

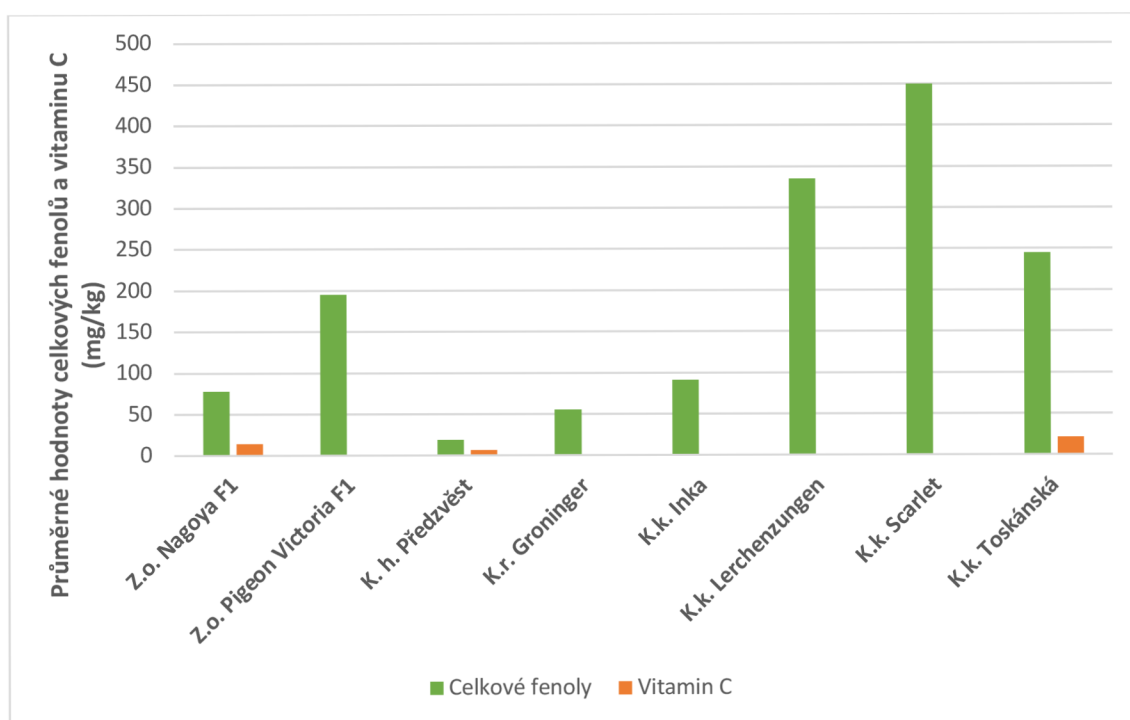
Obsah vitamínu C byl zaznamenán pouze u třech odrůd, u ostatních odrůd byly hodnoty pod mezí kvantifikace. Největší množství vitamínu C bylo naměřeno u kapusty kadeřavé, zelené, odrůdy Toskánské ( $21,1 \pm 0,57$  mg/kg). Nejmenší množství vitamínu C obsahovala kapusta hlávková, odrůdy Předzvěst ( $6,5 \pm 0,32$  mg/kg).

Tabulka č.8 – Obsah vitamínu C v brukvovité zelenině

Brukvovitá zelenina	Celkový obsah vitamínu C (mg/kg)			
	Min.	Max.	Průměr	SD
Zelí okrasné, zelené, Nagoya F1	13,6	15,0	14,5	0,99
Zelí okrasné, červené, Pigeon Victoria F1	<LOQ	<LOQ	-	-
Kapusta hlávková, Předzvěst	6,08	6,84	6,51	0,32
Kapusta růžičková, Groninger	<LOQ	<LOQ	-	-
Kapusta krmná, Inka	<LOQ	<LOQ	-	-
Kapusta kadeřavá, zelená, Lerchenzungen	<LOQ	<LOQ	-	-
Kapusta kadeřavá, červená, Scarlet	<LOQ	<LOQ	-	-
Kapusta kadeřavá, zelená, Toskánská	20,5	21,8	21,1	0,57

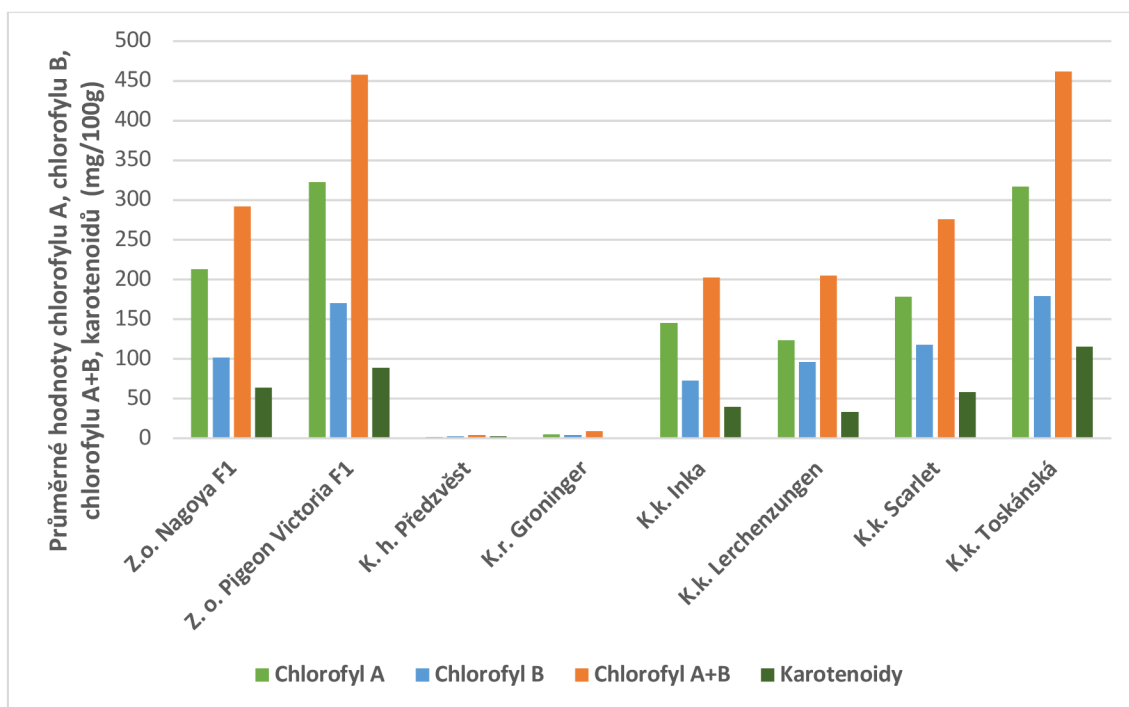
(Min. = minimální hodnota, Max. = maximální hodnota, Průměr = aritmetický průměr, SD = směrodatná odchylka, LOQ= pod mezí kvantifikace)

Pro přehlednost a shrnutí jsou v následujícím grafu (obrázek č. 31) zobrazeny průměrné hodnoty celkových fenolických látek a vitamínu C v mg/kg čerstvé hmoty u jednotlivých druhů brukvovité zeleniny.



Obrázek č. 31 – Průměrné hodnoty celkových fenolů a vitamínu C u brukvovité zeleniny

Pro shrnutí výsledků byl vytvořen následující graf (obrázek č. 32), kde se nacházejí průměrné hodnoty chlorofylu A, chlorofylu B, chlorofylu A+B a karotenoidů v mg/100 g čerstvé hmoty u jednotlivých druhů brukvovité zeleniny.



Obrázek č. 32 – Průměrné hodnoty chlorofylu A, chlorofylu B, chlorofylu A+B, karotenoidů u brukvovité zeleniny

## 5 Diskuze

Tato diplomová práce měla za cíl zjistit obsah celkových fenolických látek, obsah chlorofylu A, chlorofylu B, chlorofylu A+B a celkový obsah karotenoidů ve vybraných rostlinách z čeledi brukvovité. Následně byl zjišťován i obsah vitamínu C u této zeleniny. Předmětem této studie byly tyto brukvovité rostliny: zelí okrasné červené a zelené, kapusta růžičková, kapusta hlávková, kapusta krmná a kapusta kadeřavá.

Celkový obsah fenolických sloučenin byl stanovován spektrofotometrickou metodou s využitím činidla Folin – Ciocalteu. Tato metoda se používá pro stanovení absorbance při vlnové délce 765 nm. Analýza celkových polyfenolů prokázala vyšší hodnoty u všech rostlin a odrůd kapusty kadeřavé než u rostlin okrasného zelí a kapusty krmné, růžičkové a hlávkové. Průměr celkového obsahu fenolických látek se pohyboval v rozmezí od 18,7 mg/kg do 450 mg/kg. Nejvyšší množství celkových fenolických látek bylo prokázáno v kapustě kadeřavé odrůdy Toskánské, a to přibližně ve dvacetičtyřnásobném množství než v kapustě hlávkové odrůdy Předzvěst.

Fusari et al. (2020) ve svém výzkumu zkoumal obsah bioaktivních látek u devíti druhů brukvovité zeleniny. Vzorky byly použity čerstvé a celkové fenolické sloučeniny byly identifikovány pomocí metody HPLC. Nejvyšší množství celkových fenolických látek bylo nalezeno v řeřiše  $550 \pm 40$   $\mu\text{g/g}$ . V růžičkové kapustě bylo nalezeno  $120 \pm 10$   $\mu\text{g/g}$  celkových fenolických látek, což je přibližně dvakrát takové množství, než bylo nalezeno v této práci. V bílém zelí byl celkový obsah fenolických látek  $220 \pm 30$   $\mu\text{g/g}$ , v červeném zelí  $40 \pm 5$   $\mu\text{g/g}$ . Například v brokolici bylo nalezeno  $170 \pm 20$   $\mu\text{g/g}$  celkových fenolických látek.

Li et al. (2018) sledoval ve 12 druzích brukvovité zeleniny různé fenolické sloučeniny metodou HPLC. V růžičkové kapustě bylo nalezeno  $80,8 \pm 19,6$   $\mu\text{g/g}$  celkových flavonoidů, v zelí  $63,0 \pm 18,2$   $\mu\text{g/g}$  a například v kvěťáku  $177 \pm 36,3$   $\mu\text{g/g}$ .

Francisco et al. (2009) se ve své studii zabýval identifikací glukosinolátů a fenolických sloučenin v brukvi řepák (*Brassica rapa*). Fenolové sloučeniny byly zjišťovány pomocí

metody HPLC – vysokoučinné kapalinové chromatografie. Celkové množství fenolických látek bylo  $170 \pm 27,7 \mu\text{mol/g}$ .

Vale et al. (2015) se ve své práci zabýval klíčky brukvovité zeleniny, a to klíčky brokolice, červeného zelí, kadeřavé kapusty (odrůdy Galea) a zeleným zelím (odrůda Penca). Kyselina hydroxyskořicová je hlavní složkou fenolického profilu u klíčků a semen různých odrůd *Brassica oleracea*. Největší obsah hydroxyskořicové kyseliny byl zaznamenán v zeleném zelí –  $252 \mu\text{g/g}$ . V červeném zelí byl obsah  $226 \mu\text{g/g}$  a v kapustě kadeřavé  $222 \mu\text{g/g}$  kyseliny hydroxyskořicové. Výše zmíněné práce stanovovaly celkové fenolické látky metodou HPLC.

Prade et al. (2021) zjišťoval ve svém výzkumu obsah fenolických látek a bílkovin ve dvou druzích brukvovité zeleniny – v brokolici a kapustě kadeřavé. Zelenina byla vypěstována ve Švédsku. Následně byly rostliny zamrazeny a skladovány v mrazícím zařízení. Vzorky byly stanovovány pomocí spektrofotometru při vlnové délce  $765 \text{ nm}$ , také jako v této práci. V brokolici bylo zjištěno  $108 \pm 7,20 \mu\text{mol/g}$ . V kapustě kadeřavé bylo zjištěno  $87,8 \pm 1,70 \mu\text{mol/g}$ .

Stejnou metodou jako v této diplomové práci pak stanovil Gudiño et al. (2022) bioaktivní látky v různých druzích brokolice. Stanovení celkových fenolických látek probíhalo pomocí metody Folin – Ciocalteu a absorbance byla zjišťována při vlnové délce  $760 \text{ nm}$ . Vzorky nebyly čerstvé, ale sušené. V brokolici odrůdy Monaco bylo zjištěno  $1135 \pm 753 \text{ mg GAE/100g sušiny}$ . V odrůdě Parthenon bylo zjištěno  $1518 \pm 940 \text{ mg GAE/100g sušiny}$ .

Jaiswal et al. (2011) zjišťoval fenolické sloučeniny a antibakteriální aktivitu v brukvovité zelenině pocházející z Irska. Největší obsah fenolických sloučenin byl zaznamenán v Yorském zelí  $33,5 \text{ mg GAE/g sušiny}$ . Celkové množství fenolů v růžičkové kapustě bylo  $20,4 \text{ mg GAE/g sušiny}$ , v bílém zelí  $18,4 \text{ mg GAE/g sušiny}$  a v brokolici  $23,6 \text{ mg GAE/g sušiny}$ .

Samozřejmě jsou patrné rozdíly jak v metodách stanovení celkových fenolických látek, tak v jednotkách, ve kterých jsou uváděny v obdobných výzkumech.



Dalším cílem této diplomové práce bylo zjistit obsah chlorofylu A, chlorofylu B, chlorofylu A+B a karotenoidů u brukvovité zeleniny. Zkoumané odrůdy brukvovité zeleniny byly okrasné zelí, kapusta kadeřavá, kapusta hlávková, kapusta krmná a kapusta růžičková. Tyto bioaktivní látky byly zjišťovány pomocí spektrofotometrického stanovení na přístroji Biochrom WPA Lightwave II při třech vlnových délkách – 440 nm, 644 nm a 662 nm proti vzorku acetonu.

Průměr celkového množství chlorofylu A se pohyboval od 2,08 mg/100 g čerstvého materiálu do 322 mg/100 g čerstvého materiálu. Nejnižší hodnoty chlorofylu A byly zaznamenány v kapustě hlávkové, odrůdy Předzvěst, která byla oproti ostatním hodnotám mnohonásobně menší – oproti nejvyšší hodnotě přibližně 161krát. Hodnoty chlorofylu A se u ostatních odrůd brukvovité zeleniny, kromě kapusty růžičkové, ve které bylo naměřeno také velmi malé množství chlorofylu A, od sebe výrazně nelišily.

Nejvyšší koncentrace chlorofylu B byla zaznamenána v kapustě kadeřavé, zelené odrůdy Toskánské  $179 \pm 19,1$  mg/100 g čerstvého materiálu, zatímco nejnižší průměrná hodnota chlorofylu B byla v kapustě hlávkové, odrůdy Předzvěst  $2,30 \pm 0,12$  mg/100 g čerstvého materiálu.

Průměrné hodnoty chlorofylu A+B se pohybovaly v rozmezí od  $4,15 \pm 0,15$  mg/100 g čerstvého materiálu do  $462 \pm 18,7$  mg/100 g čerstvého materiálu. Analýza prokázala mnohem vyšší hodnoty chlorofylu A+B u všech odrůd kapusty kadeřavé, u obou odrůd okrasného zelí a kapusty krmné než u kapusty hlávkové a kapusty růžičkové. Kapusta kadeřavá, zelená, odrůda Toskánská obsahovala přibližně dvakrát větší množství chlorofylu A+B než kapusta kadeřavá, zelená, odrůda Lerchensungen.

V odrůdách brukvovité zeleniny byly zjištěny i karotenoidy. Průměrné množství, které se vyskytovalo v osmi vzorcích této zeleniny, bylo v rozmezí od 1,26 mg/100 g čerstvého materiálu do 115 mg/100 g čerstvého materiálu. Největší obsah karotenoidů byl zaznamenán v kapustě kadeřavé, zelené, odrůdy Toskánské a byl přibližně dvakrát větší než obsah karotenoidů v zeleném okrasném zelí, odrůdy Nagoya F1.

Kopsell et al. (2004) ve svém výzkumu zkoumal rozdíly v koncentracích karotenoidů a chlorofylů mezi 23 odrůdami *Brassica oleracea*. Tato rostlinná barviva byla extrahována z lyofilizovaných vzorků a separace byla provedena pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie (HPLC). K výzkumu byla vybrána například kapusta kadeřavá, odrůda Toskánská, kapusta kadeřavá odrůdy Jersey, kapusta dřeňová. V kapustě kadeřavé, odrůdy Toskánské bylo zjištěno  $276 \pm 40,8$  mg/100 g čerstvé hmoty chlorofylu A, což je jen o cca 41 mg/100 g čerstvé hmoty menší množství chlorofylu A než se zjistilo v rámci této diplomové práce. V kapustě kadeřavé, odrůdy Jersey bylo zjištěno  $152 \pm 5,97$  mg/100 g čerstvé hmoty a kapustě dřeňové  $171 \pm 18,9$  mg/100 g čerstvé hmoty. Chlorofylu B bylo v kapustě kadeřavé, Toskánské zaznamenáno  $86,8 \pm 5,80$  mg/100 g čerstvé hmoty a v kapustě kadeřavé odrůdy Winterbor F1 bylo  $49,6 \pm 9,39$  mg/100 g čerstvé hmoty. Chlorofyl A+B byl také zjišťován a kapusta kadeřavá, odrůdy Toskánské obsahovala  $211 \pm 21,7$  mg/100 g čerstvé hmoty a v odrůdě Jersey bylo objeveno  $169 \pm 37,7$  mg/100 g čerstvé hmoty. Množství chlorofylu A je v této studii přibližně srovnatelné s našimi naměřenými hodnotami, ale množství chlorofylu B je ve výzkumu Kopsella et al. (2004) u kapusty kadeřavé, odrůdy Toskánské přibližně pětkrát menší než v této diplomové práci. Průměrné množství  $\beta$ -karotenu u všech odrůd bylo  $5,19$  mg/100 g čerstvé hmoty.

Lefsrud et al. (2007) zkoumal v kapustě kadeřavé odrůdy Winterbor množství karotenoidů a chlorofylů. Vzorky kapusty byly lyofilizovány a změřeny metodou HPLC. V kapustě bylo zjištěno  $248 \pm 22,2$  mg/100 g čerstvé hmoty chlorofylu A, chlorofylu B  $55,6 \pm 4,80$  mg/100 g čerstvé hmoty a  $\beta$ -karotenu  $10,3 \pm 0,92$  mg/100 g čerstvé hmoty. Množství chlorofylu A zjištěného v uvedeném výzkumu je přibližně o 69 mg/100 g čerstvé hmoty vyšší než u kapusty kadeřavé, zelené odrůdy Toskánské naměřené v této diplomové práci. Obsah chlorofylu B byl u kapusty kadeřavé, odrůdy Toskánské zjištěn přibližně 3krát větší než ve výzkumu Lefsrud et al. (2007). Tyto rozdíly mohou být způsobeny rozdílnou metodou stanovení těchto látek.

Také Fernández-León et al. (2014) zjišťoval obsah bioaktivních látek ve dvou druzích hlávkového zelí. Obsah karotenoidů byl zjišťován pomocí HPLC metody a obsah chlorofylu A a chlorofylu B byl stanovován vícerozměrnou kalibrací. Obsah chlorofylu

A byl v odrůdě Dama  $2,26 \pm 0,18$  mg/100 g čerstvé hmoty a obsah chlorofylu B v této odrůdě byl  $0,85 \pm 0,04$  mg/100 g čerstvé hmoty. Z karotenoidních barviv byl měřen obsah Luteinu – v odrůdě Dama ho bylo nalezeno  $0,18 \pm 0,02$  mg/100 g čerstvé hmoty a obsah  $\beta$ -karotenu byl  $0,37 \pm 0,05$  mg/100 g čerstvé hmoty. Všechny tyto zjištěné hodnoty se poměrně hodně odlišují od našich zjištěných hodnot, tento rozdíl mohl být způsoben použitím jiné metody stanovení chlorofylů a karotenoidů.

Další, kdo se zabýval zjišťováním těchto látek, byl Lee et al. (2020). Stanovoval ve 12 druzích brukvovité zeleniny obsah karotenoidů, tokoferolů a fytochinonu. Celkové množství karotenoidů bylo v růžičkové kapustě  $162 \pm 11$   $\mu$ g/g sušiny, v zelí  $50 \pm 6,01$   $\mu$ g/g sušiny a například v pakchoi  $491 \pm 38,2$   $\mu$ g/g sušiny. Množství karotenoidů obsažené ve výše zmíněných druzích brukvovité zeleniny se liší oproti hodnotám karotenoidů, které byly změřeny v rámci této práce. Množství karotenoidů obsažené v růžičkové kapustě v práci Lee et al. (2020) je přibližně 12krát větší než množství, které bylo zjištěno v této diplomové práci. Obsah karotenoidů v zelí se také liší, množství, které bylo nalezeno v zeleném okrasném zelí odrůdy Nagoya F1 je přibližně 13krát větší, než množství nalezeno ve výzkumu Lee et al. (2020). Tento poměrně velký rozdíl je nejspíše způsoben rozdílným výběrem vzorků – čerstvý/sušený.

Fernández-León et al. (2010) měřil obsah chlorofylů A a B ve dvou odrůdách brokolice a v Milánském zelí. Obsah chlorofylu A v brokolici odrůdy Parthenon byl  $9,42 \pm 1,50$  v mg/100 g čerstvé hmoty a obsah chlorofylu B byl  $3,24 \pm 0,54$ . V druhé odrůdě brokolice (Monacká) se obsah chlorofylu A a B významně nelišil (chlorofyl A –  $9,15 \pm 1,47$  mg/100 g čerstvé hmoty a chlorofyl B –  $3,22 \pm 0,63$  mg/100 g čerstvé hmoty). Obsah chlorofylu A v Milánském zelí byl nižší, a to  $2,17 \pm 0,38$  mg/100 g čerstvé hmoty a obsah chlorofylu B  $0,82 \pm 0,11$  mg/100 g čerstvé hmoty. Toto nalezené množství chlorofylu A a chlorofylu B ve dvou odrůdách brokolice je srovnatelné s množstvím chlorofylu A a chlorofylu B, které bylo nalezeno v kapustě růžičkové a kapustě hlávkové v této práci. Dá se tedy konstatovat, že brokolice a kapusta hlávková a růžičková mají podobný obsah chlorofylu A a chlorofylu B.

Guzman et al. (2012) se zabýval zjišťováním karotenoidů, chlorofylů a tokoferolů ve třech odrůdách květáku a ve čtyřech odrůdách brokolice. Ve všech třech odrůdách

květáku nebyl chlorofyl A a B nalezen, ale celkový obsah karotenoidů ve fialovém květáku byl  $36,5 \pm 0,40 \mu\text{g/g}$  sušiny a například v brokolici odrůdy BNC byl obsah chlorofylu A  $963 \pm 31,3 \mu\text{g/g}$  sušiny, obsah chlorofylu B  $209 \pm 10,7 \mu\text{g/g}$  sušiny a celkový obsah karotenoidů byl stanoven na  $368 \pm 15,7 \mu\text{g/g}$  sušiny.

Kaulmann et al. (2014) zjišťoval v různých odrůdách *Brassica oleraceae* a švestkách množství karotenoidů, polyfenolů a jejich celkovou antioxidační kapacitu. Vzorky byly skladovány při teplotě  $-80 \text{ }^\circ\text{C}$  a množství karotenoidů bylo zjištěno chromatograficky. Celkové množství karotenoidů bylo u bílého zelí  $0,51 \text{ mg/100 g}$  čerstvé hmoty, u růžičkové kapusty  $3,95 \text{ mg/100 g}$  čerstvé hmoty, což je přibližně o  $2,7 \text{ mg/100 g}$  čerstvé hmoty více, než jsem zjistila já v tomto výzkumu. V kapustě kadeřavé bylo zjištěno celkové množství karotenoidů  $13,3 \text{ mg/100 g}$  čerstvé hmoty. Toto množství karotenoidů je ale velmi malé ve srovnání s obsahem karotenoidů v kadeřavých kapustách v této práci (kapusta kadeřavá, červená odrůdy Scarlet obsahovala 4x větší množství karotenoidů). V brokolici odrůdy Marathon byl zjištěn celkový obsah karotenoidů  $3,46 \text{ mg/100 g}$  čerstvé hmoty a například v květáku bylo celkové množství karotenoidů pouze  $0,07 \text{ mg/100 g}$  čerstvé hmoty.

Ve své studii Reif et al. (2013) zkoumal listovou zeleninu z čeledi brukvovité, a to různé druhy čínského zelí, mizuny a brukve sítinovité. Celkové množství  $\beta$ -karotenu bylo v čínském zelí odrůdy Choho  $4,6 \pm 0,7 \text{ mg/100 g}$  čerstvé hmoty, v odrůdě Tama  $3,9 \pm 0,3 \text{ mg/100 g}$  čerstvé hmoty a v mizuně odrůdy Mandovi  $3,4 \pm 0,2 \text{ mg/100 g}$  čerstvé hmoty.

Kim et al. (2017) se zabýval stanovením glukosinolátů, karotenoidů, vitamínu E a K u různých druhů kapusty. Lyofilizované vzorky karotenoidů byly stanoveny pomocí kapalinové chromatografie. Celkové množství karotenoidů u kapusty kadeřavé odrůdy Scarlet bylo  $281 \pm 11,9 \mu\text{g/g}$  sušiny, u kapusty kadeřavé odrůdy Toskánské bylo  $1849 \pm 290 \mu\text{g/g}$  sušiny a v odrůdě Premier bylo nalezeno  $181 \pm 18 \mu\text{g/g}$  sušiny. Množství karotenoidů, které bylo nalezeno ve studii Kim et al. (2017) je přibližně srovnatelné s množstvím karotenoidů, které bylo nalezeno v rámci této diplomové práce. V odrůdě Scarlet v této práci bylo nalezeno dvakrát vyšší množství karotenoidů a v kapustě odrůdy Toskánské bylo obsaženo ve výzkumu Kim et al. (2017)

1,5x vyšší množství než v této diplomové práci. Rozdíly opět mohou být způsobeny rozdílnou metodou stanovení či použitým vzorkem (sušený vs čerstvý).

Celkový obsah vitamínu C byl stanoven pomocí metody HPLC. Analýza prokázala vitamín C (resp. kyselinu L-askorbovou) pouze u třech druhů brukvovité zeleniny, a to u zeleného okrasného zelí odrůdy Nagoya F1, u kapusty hlávkové odrůdy Předzvěst a u kapusty kadeřavé, zelené, odrůdy Toskánské. Průměrné hodnoty byly od 6,5 mg/kg do 21,1 mg/kg. Nejvyšší obsah vitamínu C obsahovala kapusta kadeřavá, a to 21,1 mg/kg. Praktická část této diplomové práce potvrdila tvrzení z literární rešerše (Malý et al., 1998), že kapusta kadeřavá obsahuje velké množství vitamínu C.

Brukvovitá zelenina je velmi bohatým zdrojem vitamínu C. Jeho množství může být ovlivněno předsklizňovými (např. klimatické podmínky) a posklizňovými faktory (např. zralost při sklizni, způsob sklizně a podmínky manipulace při sklizni). Vitamín C je ze všech vitamínů nejméně stabilní a velmi často podléhá degradaci. Jeho velké ztráty mohou být způsobeny například delším skladováním, vyššími teplotami, nízkou relativní vlhkostí, fyzickým poškozením, poškození mrazem, vystavení světlu a kyslíku. Tyto faktory podporují oxidaci kyseliny L-askorbové na nestabilní kyselinu L-dehydroaskorbovou, která se v důsledku hydrolýzy a otevření laktonového kruhu přeměňuje na vitamínově neaktivní kyselinu 2,3-diketogulonovou (Lee & Kader, 2000; Mieszczakowska-Fraç et al., 2021).

Singh et al. (2007) měřil v brukvovité zelenině kromě vitamínu C, E, také fenolické látky a karoteny. Vitamín C byl měřen chromatograficky (metodou HPLC). V růžičkové kapustě odrůdy Diablo bylo zjištěno 17 mg/100 g čerstvé hmoty. Květák odrůdy Kanchan obsahoval 24,8 mg/100 g čerstvé hmoty vitamínu C a v brokolici odrůdy Lucky byl obsah vitamínu C 25,5 mg/100 g čerstvé hmoty. Hodnoty vitamínu C jsou v této studii přibližně osmkrát až sedmnáctkrát větší než v této diplomové práci.

Rovněž Johansen et al. (2016) zkoumal obsah vitamínu C v tuřínu z čeledi brukvovité. Průměrný obsah vitamínu C činil 22,6 mg/100 g čerstvé hmoty.

Vale et al. (2015) měřil také ve svém výzkumu brukvovitých klíčků obsah kyseliny askorbové. V zelí odrůdy Penca byl obsah této kyseliny  $2 \pm 0,01$  mg/g sušené hmoty a v brokolici  $1,9 \pm 0,01$  mg/g sušené hmoty. V kadeřavé kapustě, odrůdy Galea byl naměřen obsah kyseliny askorbové  $2,05 \pm 0,02$  mg/g sušené hmoty.

Fernández-León et al. (2014) stanovoval u dvou odrůd zelí také množství vitamínu C. V zelí odrůdy Dama byla naměřena jeho hodnota  $49,1 \pm 7,52$  mg/100 g čerstvé hmoty a v odrůdě Leticia  $43,7 \pm 4,86$  mg/100 g čerstvé hmoty. Hodnoty vitamínu C v zelí odrůdě Dama jsou přibližně třicetkrát vyšší než naměřené hodnoty v okrasném zelí, zeleném odrůdy Nagoya F1.

Park et al. (2014) se ve svém výzkumu zabývali stanovením glukosinolátů, antokyanů a vitamínu C v různých druzích zelí. Množství vitamínu C bylo stanoveno metodou HPLC při vlnové délce 254 nm. Obsah vitamínu C v různých druzích červeného a zeleného zelí se pohyboval od  $22,7 - 130$  mg/100 g čerstvé hmoty. Obsahy vitamínu C v různých druzích zelí v této studii jsou mnohonásobně vyšší než v mém výzkumu.

Obsahy celkových fenolických látek, chlorofylu A, chlorofylu B, chlorofylu A+B, karotenoidů a vitamínu C se v jednotlivých rostlinných materiálech brukvovité zeleniny podstatně liší v mnoha výzkumech. Tyto rozdíly jsou nejspíše způsobeny různou úpravou materiálu a vzorků, použité metodě stanovení, kalibrační závislosti, měřením při různých vlnových délkách, při kterých bylo měření prováděno. Velmi často jsou také obsahy celkových fenolických látek vyjádřeny v různých jednotkách (objemových, hmotnostních) a jsou přepočteny na jednotky hmotnosti v čerstvé hmotě nebo v sušině. Napříč studiemi lze alespoň vyvodit závěr, že obsah chlorofylů i celkových fenolických látek je v brukvovité zelenině velmi vysoký. Jak je již zmíněno v literární rešerši, fenolické látky, barviva – chlorofyly a karotenoidy, vitamin C jsou v dnešní době velmi zkoumanými látkami, jak ve vědeckém výzkumu, tak i v medicíně, jelikož jsou hojně spojovány s antioxidační aktivitou a pozitivním vlivem na zdraví lidí.

V rámci řešení diplomové práce byla položena výzkumná otázka: Ve kterých druzích vybrané brukvovité zeleniny je obsaženo nejvyšší množství sledovaných bioaktivních látek? Lze konstatovat, že nejvyšší množství sledovaných bioaktivních látek (chlorofylu

B, chlorofylu A+B, karotenoidů a vitamínu C) bylo obsaženo v kapustě kadeřavé, zelené odrůdy Toskánské. Nejvyšší množství celkových fenolických látek obsahovala kapusta kadeřavá, červená odrůda Scarlet. V červeném okrasném zelí odrůdy Pigeon Victoria F1 bylo nalezeno nejvyšší množství bioaktivní látky, a to chlorofylu A.

## 6 Využití tématu ve výuce na základní škole

Jelikož studuji učitelský obor, je vhodné navíc do práce zařadit i možné využití tématu této diplomové práce – bioaktivní látky v brukvovité zelenině, ve výuce na základní škole. Možností, jak toto téma ve výukovém procesu na 2.stupni základní školy použít, je hned několik.

Nejvíce možností nabízí vzdělávací oblast Člověk a příroda (přírodopis, chemie) pro 2.stupeň základní školy.

V hodinách přírodopisu nelze opomenout výuku čeledi brukvovitých rostlin. Tato čeleď je pro žáky velmi známá, jelikož zelenina pocházející z této čeledi je jednou z nejvíce zastoupených zelenin, kterou běžně konzumují. Žáci se s touto čeledí setkávají zpravidla v sedmé třídě, kde se probírá typická stavba květu brukvovitých rostlin, květních obalů a také typy plodů. V učebnici Přírodopis 7 od nakladatelství Fraus (Pelikánová et al., 2021), jenž je určená pro sedmou třídu základní školy, nechybí zmíněné ani charakteristické vlastnosti brukvovitých rostlin či nejběžněji se vyskytující zástupci, jako je brukev řepka olejka, hlávkové zelí, kapusta hlávková, kapusta růžičková, květák, brokolice nebo také kokoška pastuší tobolka.

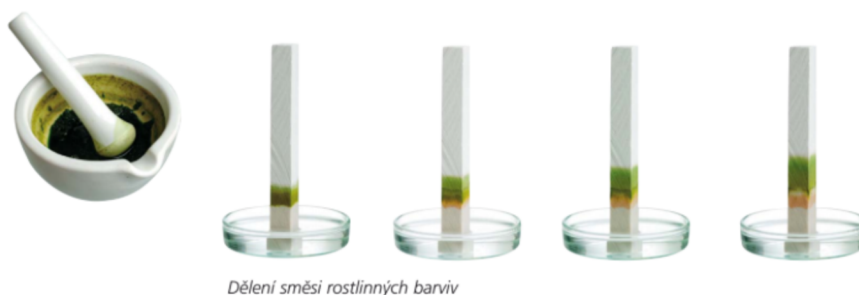
Také je možné toto téma využít v hodinách přírodopisu, při probírání tématu obecné stavby rostlin, které se probírá v sedmém ročníku. V Rámcově vzdělávacím programu pro základní vzdělávání je anatomie a morfologie rostlin také zmíněna, žák by měl znát stavbu a význam jednotlivých částí těla vyšších rostlin (Rámcově vzdělávací program pro základní vzdělávání, 2023). Při výuce tohoto tématu je žáky vhodné seznámit s faktem, že rostliny jsou zelené, protože obsahují barvivo chlorofyl, a že například květy jsou zbarveny díky přítomnosti dalších chemických látek – např. karotenoidů nebo fenolických sloučenin.

Dalším možným využitím tohoto tématu je při výuce fotosyntézy. Podle Rámcově vzdělávacího programu pro základní vzdělávání (2023) by žák měl znát základní principy rostlinných fyziologických procesů (fotosyntéza) a jejich využití při pěstování rostlin. Škoda & Doulík (2007) uvádí, že ve fotosyntéze hraje zelené barvivo chlorofyl velmi



důležitou roli. Tento velmi složitý proces probíhající v zelených částech rostlin potřebuje ke vzniku monosacharidu (glukózy) z oxidu uhličitého a vody, nejenom světlo, ale také zelené barvivo chlorofyl.

Při výuce chemie můžeme toto téma opět využít. Vyučující žákům předvede demonstrační pokus – dělení směsi rostlinných barviv pomocí chromatografie, při kterém žáci mohou vidět na bílé křídě postupně se vybarvující rostlinná barviva (chlorofyly, karotenoidy). K tomuto pokusu je potřeba třecí miska s tloučkem, ve které se rozetře s malým množstvím křemenného písku list zelené rostliny – například kopřivy nebo pelargonie. Do misky se přilije 10 ml ethanolu, směs se zamíchá a následně zfiltruje. Filtrát se pomocí kapátka nanese na bílou křidu asi 2 cm od konce – nejlepší je vytvořit souvislou čáru kolem dokola. Takto upravená křída se postaví do připravené kádinky, ve které je 1 cm vysoká vrstva ethanolu a chvíli se nechá stát. Žáci pak pozorují rozdělení rostlinných barviv (Škoda & Doulík, 2007).



Obrázek č. 33 – Dělení směsi rostlinných barviv (zdroj: Škoda & Doulík, 2022)

V hodinách chemie v devátém ročníku při probírání přírodních látek lze žákům předvést pokus týkající se vitaminů rozpustných ve vodě. Vyučující si připraví čtyři zkumavky. Do první nalije 5 ml šťávy z kiwi, do druhé 5 ml šťávy z kyselého zelí, do třetí 5 ml pomerančové šťávy a ve čtvrté rozpustí tabletu Celaskonu a do každé zkumavky přilije 5 ml Fehlingova činidla. Všechny zkumavky se pak zahřívají ve vodní lázni (v kádince s vodou). Po několika minutách by mělo být vidět ve zkumavkách oranžové až červenohnědé zbarvení (ve zkumavkách vzniká měď či oxid měďný). Vzniklé zbarvení ve zkumavkách indikuje přítomnost látky, která pozitivně reaguje s Fehlingovým

čínidlem. Ve všech čtyřech zkumavkách je touto látkou vitamin C (resp. kyselina askorbová) (Škoda & Doulík, 2022).



Obrázek č. 34 – Důkaz vitaminu C v ovocných šťávách a Celaskonu (zdroj: Škoda & Doulík, 2022)

Další možností, kde je vhodné využít téma této diplomové práce, je ve vzdělávací oblasti Člověk a svět práce – konkrétně pěstitelské práce a příprava pokrmů. Ve školách, kde mají možnost použít zahradu se záhonem, by si žáci mohli vypěstovat z předpěstovaných sazenic vlastní kapustu kadeřavou, kapustu růžičkovou, nebo také okrasné zeli. Žáci by na vlastní oči viděli, jak rostliny rostou, co vše potřebují k životu a také by si vyzkoušeli, jak se vhodně starat o pěstované rostliny (například dostatečné zalévání, zbavování okolí rostlin plevelů). Poté by si z nich mohli připravit nějaký pokrm (například zeleninový salát s kadeřávkem nebo zeleninovou polévku). Při přípravě těchto pokrmů by měl být zdůrazněn i význam a konzumace zeleniny v rámci zdravého životního stylu.

Recept na kadeřávkový salát s avokádem, cizrnou a citrónovým dresinkem dle Pavleye (2017):

Na salát je potřeba si připravit kadeřávkové listy, avokádo nakrájené na kostičky, 2 hrsti uvařené cizrny, šťávu z jednoho citrónu, 4 lžice olivového oleje, 2 stroužky prolisovaného česneku, 1 jablko nakrájené na kostičky, sůl, pepř, orestované a nasekané ořechy a je možné přidat i čerstvý koriandr. Kadeřávek je nutné omýt a natrhat do velké misky, kam také přijdou všechny ostatní suroviny. Vše je potřeba dobře promíchat a salát můžeme servírovat na připravené talíře.

## 7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zjistit obsahy některých bioaktivních látek – celkových fenolických látek, karotenoidů, chlorofylů a vitamínu C ve vybraných druzích brukvovité zeleniny, a to v kapustě růžičkové (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*), v kapustě hlávkové (*Brassica oleracea* var. *sabauda*), v kapustě kadeřavé (*Brassica oleracea* var. *sabellica*), v kapustě krmné (*Brassica oleracea* var. *acephala*) a v okrasném zeli (*Brassica oleracea* var. *capitata*).

Literární část diplomové práce je věnována podrobnému popisu jednotlivých vybraných rostlin z čeledi brukvovité, také jejich pěstování a významu. V další části literární rešerše se nachází informace věnované stanovovaným bioaktivním látkám, jejich rozdělení, chemické struktuře a vlastnostem.

V praktické části diplomové práce byl nejprve měřen celkový obsah fenolických látek ve vzorcích jednotlivých druhů brukvovité zeleniny pomocí spektrofotometrické metody s využitím Folin-Ciocalteauva činidla. Analyzováno bylo celkem 24 vzorků. Celkové fenoly byly identifikovány ve všech vzorcích brukvovité zeleniny. Obsahy celkových fenolů se pohybovaly v rozmezí od 18,7 mg/kg do 450 mg/kg čerstvého materiálu.

Dalšími měřeními bioaktivní látkami byly chlorofyly a následně karotenoidy. Tyto látky byly stanoveny spektrofotometricky. Celkem bylo změřeno 144 vzorků. Obsahy chlorofylu A se ve vzorcích pohybovaly v rozmezí od 2,08 mg/100 g čerstvého materiálu do 317 mg/100 g čerstvého materiálu. Nejvyšší množství chlorofylu B, a to 179 mg/100 g čerstvého materiálu obsahovala kapusta kadeřavá, zelená odrůda Toskánská. Nejnižší naměřená hodnota chlorofylu A+B byla u kapusty hlávkové, odrůdy Předzvěst a nejvyšší množství chlorofylu A+B obsahovala kapusta kadeřavá, zelená odrůda Toskánská. Obsahy celkových karotenoidů se pohybovaly od 1,26 mg/100 g čerstvého materiálu do 115 mg/100 g čerstvého materiálu.

Rovněž byl stanoven obsah vitamínu C v jednotlivých druzích brukvovité zeleniny. Toto stanovení proběhlo za použití metody vysokoúčinné kapalinové chromatografie (HPLC). Vitamin C byl zjištěn pouze u třech druhů brukvovité zeleniny (kapusta hlávková,

odrůda Předzvěst; kapusta kadeřavá, zelená odrůda Toskánská; zelí okrasné, zelené odrůda Nagoya F1). U zbývajících pěti druhů byly hodnoty pod mezí kvantifikace (LOQ). Průměrné hodnoty vitamínu C se pohybovali v rozmezí od 6,5 mg/kg do 21,1 mg/kg čerstvého materiálu.

Vzhledem ke studiu učitelského oboru byla do práce přidána ještě kapitola, která se věnuje možnému využití tématu této diplomové práce ve výuce na základní škole.

Zjištěné hodnoty chlorofylu A, chlorofylu B, chlorofylu A+B, karotenoidů, celkových fenolických látek a vitamínu C by bylo velmi zajímavé porovnávat se stejnými i dalšími druhy brukvovité zeleniny vypěstované na různých stanovištích s možností opakování během několika let pro větší přesnost a interpretaci výsledků. Také by se v dalších analýzách mohly změřit například glukosinoláty, které jsou v brukvovité zelenině taktéž velmi významně zastoupeny. Výzkum by se dále mohl zaměřit na změny obsahu jednotlivých bioaktivních látek při různých kulinářských úpravách brukvovité zeleniny.

## 8 Použité literární zdroje

Ali, F., Rahul, Naz, F., Jyoti, S., & Siddique, Y. H. (2017). Health functionality of apigenin: A review. *International Journal of Food Properties*, 20(6), 1197-1238.

Alves-Rodrigues, A., & Shao, A. (2004). The science behind lutein. *Toxicology letters*, 150(1), 57-83.

Avato, P., & Argentieri, M. P. (2015). Brassicaceae: A rich source of health improving phytochemicals. *Phytochemistry reviews*, 14(6), 1019-1033.

Awulachew, M. T. (2022). A Review to Nutritional and Health Aspect of Sprouted Food. *Int. J. Food Sci. Nutr. Diet*, 10(7), 564-568.

Ayaz, F. A., Hayırlıoğlu-Ayaz, S., Alpay-Karaoğlu, S., Grúz, J., Valentová, K., Ulrichová, J., & Strnad, M. (2008). Phenolic acid contents of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC.) extracts and their antioxidant and antibacterial activities. *Food Chemistry*, 107(1), 19-25.

Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., ... & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of food engineering*, 117(4), 426-436.

Bartoš, J., Kopec, K., Mydlil, V., & Rod, J. (2000). *Pěstování a odbyt zeleniny*. Agrospoj.

Begum, A., & Harikrishna, S. (2010). Evaluation of some tree species to absorb air pollutants in three industrial locations of South Bengaluru, India. *Journal of Chemistry*, 7, S151-S156.

Bernhoft, A. J. A. B. (2010). A brief review on bioactive compounds in plants. *Bioactive compounds in plants-benefits and risks for man and animals*, 50, 11-17.

Bílková, A. (2018). *Metodika stanovení hlavních fenolických sloučenin v genotypech jabloní s ohledem na různé podmínky skladování*. Výzkumný a šlechtitelský ústav ovocnářský Holovousy sro.

- Blainski, A., Lopes, G. C., & De Mello, J. C. P. (2013). Application and analysis of the folin ciocalteu method for the determination of the total phenolic content from *Limonium brasiliense* L. *Molecules*, *18*(6), 6852-6865.
- Bogacz-Radomska, L., & Harasym, J. (2018).  $\beta$ -Carotene—properties and production methods. *Food Quality and Safety*, *2*(2), 69-74.
- Bramley, P. M. (2000). Is lycopene beneficial to human health?. *Phytochemistry*, *54*(3), 233-236.
- Carr, A. C., & Maggini, S. (2017). Vitamin C and immune function. *Nutrients*, *9*(11), 1211.
- Cartea, M. E., Francisco, M., Songeas, P., & Velasco, P. (2010). Phenolic Compounds in Brassica Vegetables. *Molecules*.
- Caseiro, M., Ascenso, A., Costa, A., Creagh-Flynn, J., Johnson, M., & Simões, S. (2020). Lycopene in human health. *Lwt*, *127*, 109323.
- Castañeda-Ovando, A., de Lourdes Pacheco-Hernández, M., Páez-Hernández, M. E., Rodríguez, J. A., & Galán-Vidal, C. A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food chemistry*, *113*(4), 859-871.
- Cifrová, B. (2017). Hodnocení odrůdového sortimentu kadeřávku z České republiky a Asie [Diplomová]. Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta v Lednici.
- Croteau, R., Kutchan, T. M., & Lewis, N. G. (2000). Natural products (secondary metabolites). *Biochemistry and molecular biology of plants*, *24*, 1250-1319.
- Cui, Q., Du, R., Liu, M., & Rong, L. (2020). Lignans and their derivatives from plants as antivirals. *Molecules*, *25*(1), 183.
- Cushnie, T. T., & Lamb, A. J. (2005). Antimicrobial activity of flavonoids. *International journal of antimicrobial agents*, *26*(5), 343-356.
- Danihelka, J. (2013). Jak se dělá seznam. *Živa*, *6*.

Devi, K. P., Malar, D. S., Nabavi, S. F., Sureda, A., Xiao, J., Nabavi, S. M., & Daglia, M. (2015). Kaempferol and inflammation: From chemistry to medicine. *Pharmacological research*, 99, 1-10.

Dobričević, N., Šic Žlabur, J., Voća, S., Pliestić, S., Galić, A., Delić, A., & Fabek Uher, S. (2019). Bioactive compounds content and nutritional potential of different parsley parts (*Petroselinum crispum* Mill.). *Journal of Central European Agriculture*, 20(3), 900-910.

Eggersdorfer, M., & Wyss, A. (2018). Carotenoids in human nutrition and health. *Archives of biochemistry and biophysics*, 652, 18-26.

Fernández -León, M. F., Lozano, M., Ayuso, M. C., Fernández-León, A. M., & González-Gómez, D. (2010). Fast and accurate alternative UV-chemometric method for the determination of chlorophyll A and B in broccoli (*Brassica oleracea Italica*) and cabbage (*Brassica oleracea Sabauda*) plants. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(8), 809-813.

Fernández- León, A. M., Lozano Ruiz, M., González Gómez, D., Ayuso Yuste, M. C., & Fernández León, M. F. (2014). Bioactive compounds content and total antioxidant activity of two savoy cabbages.

Fernández-Sevilla, J. M., Acién Fernández, F. G., & Molina Grima, E. (2010). Biotechnological production of lutein and its applications. *Applied microbiology and biotechnology*, 86, 27-40.

Francisco, M., Moreno, D. A., Cartea, M. E., Ferreres, F., García-Viguera, C., & Velasco, P. (2009). Simultaneous identification of glucosinolates and phenolic compounds in a representative collection of vegetable *Brassica rapa*. *Journal of Chromatography A*, 1216(38), 6611-6619.

Fusari, C. M., Nazareno, M. A., Locatelli, D. A., Fontana, A., Beretta, V., & Camargo, A. B. (2020). Phytochemical profile and functionality of Brassicaceae species. *Food Bioscience*, 36, 100606.

Guaadaoui, A., Benaicha, S., Elmajdoub, N., Bellaoui, M., & Hamal, A. (2014). What is a bioactive compound? A combined definition for a preliminary consensus. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(3), 174-179.

Gudiño, I., Martín, A., Casquete, R., Prieto, M. H., Ayuso, M. C., & Córdoba, M. D. G. (2022). Evaluation of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) crop by-products as sources of bioactive compounds. *Scientia Horticulturae*, 304, 111284.

Gul, K., Tak, A., Singh, A. K., Singh, P., Yousuf, B., & Wani, A. A. (2015). Chemistry, encapsulation, and health benefits of  $\beta$ -carotene-A review. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1), 1018696.

Guzman, I., Yousef, G. G., & Brown, A. F. (2012). Simultaneous extraction and quantitation of carotenoids, chlorophylls, and tocopherols in Brassica vegetables. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(29), 7238-7244.

Hemilä, H. (2017). Vitamin C and infections. *Nutrients*, 9(4), 339.

Hlavatá, K. (2017). *Výjimečná růžičková kapusta. Zdroj vitamínů i antioxidační ochrany.* Víím co jím. [cit. 13.2.2024]. Dostupné z: [https://www.vimcojim.cz/magazin/clanky/o-vyzive/Vyjimecna-ruzickova-kapusta.-Zdroj-vitaminu-i-antioxidacni-ochrany\\_\\_s10010x10733.html](https://www.vimcojim.cz/magazin/clanky/o-vyzive/Vyjimecna-ruzickova-kapusta.-Zdroj-vitaminu-i-antioxidacni-ochrany__s10010x10733.html)

Hluska, T. (2023). *Šikimátová dráha.* BioLib. [cit.17.2.2024]. Dostupné z <https://www.biolib.cz/cz/glossaryterm/id4789/>.

Howitt, C. A., & Pogson, B. J. (2006). Carotenoid accumulation and function in seeds and non-green tissues. *Plant, cell & environment*, 29(3), 435-445.

Chen, Z., Li, S., Yang, F., & Yue, W. (2024). Construction of a colorimetric sensor array for the identification of phenolic compounds by the laccase-like activity of N-doped manganese oxide. *Talanta*, 268, 125324.



Chen, L. Y., Cheng, C. W., & Liang, J. Y. (2015). Vliv esterifikační kondenzace na Folin–Ciocalteu metodu pro kvantitativní měření celkových fenolů. *Chemie potravin*, 170, 10-15.

Choudhary, A. K., Rana, K. S., Dass, A., & Srivastav, M. (2014). Advances in vegetable agronomy. *An ICAR Publication, New Delhi*. p358.

Imran, M., Saeed, F., Hussain, G., Imran, A., Mehmood, Z., Gondal, T. A., ... & Islam, S. (2021). Myricetin: A comprehensive review on its biological potentials. *Food science & nutrition*, 9(10), 5854-5868.

Jackson, H., Braun, C. L., & Ernst, H. (2008). The chemistry of novel xanthophyll carotenoids. *The American Journal of Cardiology*, 101(10), S50-S57.

Jaiswal, A. K., Rajauria, G., Abu-Ghannam, N., & Gupta, S. (2011). Phenolic composition, antioxidant capacity and antibacterial activity of selected Irish Brassica vegetables. *Natural Product Communications*, 6(9), 1934578X1100600923.

Jan, A. T., Kamli, M. R., Murtaza, I., Singh, J. B., Ali, A., & Haq, Q. M. R. (2010). Dietary flavonoid quercetin and associated health benefits—an overview. *Food Reviews International*, 26(3), 302-317.

Jelínek, J., & Zicháček, V. (2014). *Biologie pro gymnázia*. Nakladatelství Olomouc.

Jeon, K. W., Kim, M. G., Heo, S. H., & Hwan Boo, K. (2022). Comparative analysis of active components and antioxidant activities of Brussels sprouts (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*) and cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). *J Appl Biol Chem*, 413 - 419.

Johansen, T. J., Hagen, S. F., Bengtsson, G. B., & Mølmann, J. A. (2016). Growth temperature affects sensory quality and contents of glucosinolates, vitamin C and sugars in swede roots (*Brassica napus* L. ssp. *rapifera* Metzg.). *Food chemistry*, 196, 228-235.

Kamińska, M., & Sliwinska, E. (2023). Effective micropropagation of kale (*Brassica oleracea* convar. *Acephala* var. *sabellica*): one of the most important representatives of cruciferous crops. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 153(3), 601-609.

- Kaulmann, A., Jonville, M. C., Schneider, Y. J., Hoffmann, L., & Bohn, T. (2014). Carotenoids, polyphenols and micronutrient profiles of Brassica oleraceae and plum varieties and their contribution to measures of total antioxidant capacity. *Food chemistry*, 155, 240-250.
- Kelly, G. S. (2011). Quercetin. *Alternative medicine review*, 16(2), 172-195.
- Khalid, W., Iqra, Afzal, F., Rahim, M. A., Abdul Rehman, A., Faiz ul Rasul, H., ... & Refai, M. (2023). Industrial applications of kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) as a functional ingredient: a review. *International Journal of Food Properties*, 26(1), 489-501
- Kijlstra, A., Tian, Y., Kelly, E. R., & Berendschot, T. T. (2012). Lutein: more than just a filter for blue light. *Progress in retinal and eye research*, 31(4), 303-315.
- Kim, J., Kim, M., Lee, S., & Jin, E. (2020). Development of a *Chlorella vulgaris* mutant by chemical mutagenesis as a producer for natural violaxanthin. *Algal Research*, 46, 101790.
- Kim, M. J., Chiu, Y. C., & Ku, K. M. (2017). Glucosinolates, carotenoids, and vitamins E and K variation from selected kale and collard cultivars. *Journal of Food Quality*, 2017.
- King, A. M. Y., & Young, G. (1999). Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. *Journal of the American dietetic association*, 99(2), 213-218.
- Klouda, P. (2003). *Moderní analytické metody* (2., upr. a dopl. vyd). Pavel Klouda.
- Kocián, P. (2023). *Květena ČR - brukvovitě*. Květena ČR. [cit. 11.2.2024]. Dostupné z: <http://www.kvetenacr.cz/celed.asp?IDceled=3>
- Kong, J. M., Chia, L. S., Goh, N. K., Chia, T. F., & Brouillard, R. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry*, 64(5), 923-933.
- Kopec, K. (2010). *Zelenina ve výživě člověka*. Grada.
- Kopec, K. (1998). *Tabulky nutričních hodnot ovoce a zeleniny*. Ústav zemědělských a potravinářských informací.

Kopsell, D. A., Kopsell, D. E., Lefsrud, M. G., Curran-Celentano, J., & Dukach, L. E. (2004). Variation in lutein,  $\beta$ -carotene, and chlorophyll concentrations among Brassica oleracea cultivars and seasons. *HortScience*, 39(2), 361-364.

Kris-Etherton, P. M., Hecker, K. D., Bonanome, A., Coval, S. M., Binkoski, A. E., Hilpert, K. F., ... & Etherton, T. D. (2002). Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *The American journal of medicine*, 113(9), 71-88.

Křížek, M., & Šíma, J. (2015). Analytická chemie. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta.

Kříženecká, S., & Synek, V. (2014). Základy analytické chemie. Univerzita JE Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí.

Kumar, N., & Goel, N. (2019). Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnology reports*, 24, e00370.

Kumar, S., & Pandey, A. K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview. *The scientific world journal*, 2013.

Lafay, S., & Gil-Izquierdo, A. (2008). Bioavailability of phenolic acids. *Phytochemistry Reviews*, 7, 301-311.

Landete, J. M. (2012). Plant and mammalian lignans: A review of source, intake, metabolism, intestinal bacteria and health. *Food Research International*, 46(1), 410-424.

Lee, H. W., Zhang, H., Liang, X., & Ong, C. N. (2020). Simultaneous determination of carotenoids, tocopherols and phylloquinone in 12 Brassicaceae vegetables. *Lwt*, 130, 109649.

Lee, S. K., & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest biology and technology*, 20(3), 207-220.

- Lefsrud, M., Kopsell, D., Wenzel, A., & Sheehan, J. (2007). Changes in kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) carotenoid and chlorophyll pigment concentrations during leaf ontogeny. *Scientia Horticulturae*, *112*(2), 136-141.
- Li, Z., Lee, H. W., Liang, X., Liang, D., Wang, Q., Huang, D., & Ong, C. N. (2018). Profiling of phenolic compounds and antioxidant activity of 12 cruciferous vegetables. *Molecules*, *23*(5), 1139.
- Lin, Y., Shi, R., Wang, X., & Shen, H. M. (2008). Luteolin, a flavonoid with potential for cancer prevention and therapy. *Current cancer drug targets*, *8*(7), 634-646.
- Liu, R. H. (2013). Dietary bioactive compounds and their health implications. *Journal of food science*, *78*(s1), A18-A25.
- Mahr, S. (2009). Ornamental Cabbage and Kale. *University of Wisconsin - Garden facts*. <https://hort.extension.wisc.edu/files/2014/11/Ornamental-Cabbage-and-Kale.pdf>
- Malich, J. (2010). *Okrasné zeli: zpestření podzimních záhonů*. Abeceda zahrady a bydlení.[cit. 15.2. 2024]. Dostupné z:<https://abecedazahrady.dama.cz/clanek/okrasne-zeli-zpestreni-podzimmnich-zahonu>
- Malý, I., Bartoš, J., Hlušek, J., Petříková, K., Spitz, P., & Kopec, K. (1998). *Polní zelinářství*. Agrospoj.
- Marchioni, I., Martinelli, M., Ascrizzi, R., Gabbrielli, C., Flamini, G., Pistelli, L., & Pistelli, L. (2021). Small functional foods: Comparative phytochemical and nutritional analyses of five microgreens of the Brassicaceae family. *Foods*, *10*(2), 427.
- Martins, T., Barros, A. N., Rosa, E., & Antunes, L. (2023). Enhancing health benefits through chlorophylls and chlorophyll-rich agro-food: A comprehensive review. *Molecules*, *28*(14), 5344.
- Mattila, P., & Hellström, J. (2007). Phenolic acids in potatoes, vegetables, and some of their products. *Journal of Food Composition and Analysis*, *20*(3-4), 152-160.

- Melichar, M., Kostrhounová, M., & Vaško, Š. (1997). *Zelinářství*. Květ.
- Mezzomo, N., & Ferreira, S. R. (2016). Carotenoids functionality, sources, and processing by supercritical technology: a review. *Journal of chemistry*, 2016.
- Mieszczakowska-Fraç, M., Celejewska, K., & Płocharski, W. (2021). Impact of innovative technologies on the content of vitamin C and its bioavailability from processed fruit and vegetable products. *Antioxidants*, 10(1), 54.
- Mikić, A., Cupina, B., Krstic D. (2010). Potential of fodder kale (*Brassica oleracea* L. var. *viridis* L.) as a green manure crop. *Cruciferae Newsletter Cruciferae Newsletter*, 10.
- Mlčoch, Z. (2015). *Kadeřávek, kadeřavá kapusta - účinky na zdraví, co léčí, použití, užívání, využití, pěstování, škůdci a nemoci kapusty*. [Cit. 14.2.2024]. Dostupné z: <https://www.bylinkyprovsechny.cz/ovoce-zelenina/zelenina/1176-kaderavek-kaderava-kapusta-ucinky-na-zdravi-co-leci-pouziti-uzivani-vyuziti-pestovani-skudci-a-nemoci-kapusty>
- Naidu, K. A. (2003). Vitamin C in human health and disease is still a mystery? An overview. *Nutrition journal*, 2, 1-10.
- Nishimuro, H., Ohnishi, H., Sato, M., Ohnishi-Kameyama, M., Matsunaga, I., Naito, S., ... & Kobori, M. (2015). Estimated daily intake and seasonal food sources of quercetin in Japan. *Nutrients*, 7(4), 2345-2358.
- Novák, J., & Skalický, M. (2008). *Botanika: cytologie, histologie, organologie a systematika*. Powerprint.
- Novikov, V. S., Kuzmin, V. V., Darvin, M. E., Lademann, J., Sagitova, E. A., Prokhorov, K. A. & Nikolaeva, G. Y. (2022). Relations between the Raman spectra and molecular structure of selected carotenoids: DFT study of  $\alpha$ -carotene,  $\beta$ -carotene,  $\gamma$ -carotene and lycopene. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 270, 120755.

Öffentliches Gesundheitsportal Österreichs. (2024). *Kohl*. [cit. 20.2.2024]. Dostupné z: <https://www.gesundheit.gv.at/leben/ernaehrung/saisonkalender/alle/kohl.html#pflanzenkunde>

Paciolla, C., Fortunato, S., Dipierro, N., Paradiso, A., De Leonardis, S., Mastropasqua, L., & De Pinto, M. C. (2019). Vitamin C in plants: from functions to biofortification. *Antioxidants*, 8(11), 519.

Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: an overview. *Journal of nutritional science*, 5, e47.

Park, S., Arasu, M. V., Lee, M. K., Chun, J. H., Seo, J. M., Lee, S. W., ... & Kim, S. J. (2014). Quantification of glucosinolates, anthocyanins, free amino acids, and vitamin C in inbred lines of cabbage (*Brassica oleracea* L.). *Food chemistry*, 145, 77-85.

Pascual-Teresa, S., & Sanchez-Ballesta, M. T. (2008). Anthocyanins: from plant to health. *Phytochemistry reviews*, 7, 281-299.

Patočka, J. (2010). Flavonoidy brusinky ohelo.

Pavleye, M. (2017). Salát z kadeřávku s avokádem, cizrnou a citrónovým dresinkem. Kitchenette. [cit. 19.3.2024]. Dostupné z: <https://kitchenette.cz/clanek/salat-z-kaderavku-s-avokadem-cizrnou-a-citronovym-dresinkem>

Pekárková, E. (2000). *Pěstujeme zeleninu*. Grada Publishing.

Peleška, S. (1995). *Zelenina na zahrádce a balkoně*. Brána.

Pelikánová, I., Čabradová, V., Hasch, F., Sejpka, J., & Šimonová, P. (2021). *Přírodopis 7: pro základní školy a víceletá gymnázia* (2. vydání). Fraus.

Pérez, M., Dominguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. M. (2023). The chemistry behind the folin–ciocalteu method for the estimation of (poly) phenol content in food: Total phenolic intake in a mediterranean dietary pattern. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(46), 17543-17553.

Petříková, K. (1996). *Zelinařství - pěstitelské technologie*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.

Prade, T., Muneer, F., Berndtsson, E., Nynäs, A. L., Svensson, S. E., Newson, W. R., & Johansson, E. (2021). Protein fractionation of broccoli (*Brassica oleracea*, var. *Italica*) and kale (*Brassica oleracea*, var. *Sabellica*) residual leaves—A pre-feasibility assessment and evaluation of fraction phenol and fibre content. *Food and Bioprocess Processing*, *130*, 229-243.

Qiang, S., Zhou, J., Yang, T., Wang, J., Chen, Y., Chen, G., & Li, S. (2024). Structure, stability and in vitro digestion of a novel zein-based oil gel delivery system loaded  $\beta$ -carotene. *Journal of Food Engineering*, *366*, 111848.

Rao, A. V., & Rao, L. G. (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological research*, *55*(3), 207-216.

Rao, A. V., Ray, M. R., & Rao, L. G. (2006). Lycopene. *Advances in food and nutrition research*, *51*, 99-164.

Reif, C., Arrigoni, E., Berger, F., Baumgartner, D., & Nyström, L. (2013). Lutein and  $\beta$ -carotene content of green leafy Brassica species grown under different conditions. *LWT-Food Science and Technology*, *53*(1), 378-381.

Ren, J., Lu, Y., Qian, Y., Chen, B., Wu, T., & Ji, G. (2019). Recent progress regarding kaempferol for the treatment of various diseases. *Experimental and therapeutic medicine*, *18*(4), 2759-2776.

Ribeiro, B. D., Barreto, D. W., & Coelho, M. A. Z. (2011). Technological aspects of  $\beta$ -carotene production. *Food and Bioprocess Technology*, *4*, 693-701.

Rickman, J. C., Barrett, D. M., & Bruhn, C. M. (2007). Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part 1. Vitamins C and B and phenolic compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *87*(6), 930-944.

Rosypal, S., Horáček, I., Kubišta, V., Losos, B., Šašek, V., Slavíková, J., & Hůrka, K. (2003). *Nový přehled biologie*. Scientia.

Růžková, B. (2012). Barviva a jejich vliv na lidský organismus. *Klinická farmakologie a farmacie*.

Rámcově vzdělávací program pro základní vzdělávání. (2023). MŠMT 2023. [Cit. 11.3.2024] dostupné z:<https://www.edu.cz/rvp-ramcove-vzdelavaci-programy/ramcove-vzdelavaci-program-pro-zakladni-vzdelavani-rvp-zv/>

Salehi, B., Venditti, A., Sharifi-Rad, M., Kęrgiel, D., Sharifi-Rad, J., Durazzo, A., ... & Martins, N. (2019). The therapeutic potential of apigenin. *International journal of molecular sciences*, 20(6), 1305.

Santos-Sánchez, N. F., Salas-Coronado, R., Hernández-Carlos, B., & Villanueva-Cañongo, C. (2019). Shikimic acid pathway in biosynthesis of phenolic compounds. *Plant physiological aspects of phenolic compounds*, 1, 1-15.

Seelinger, G., Merfort, I., & Schempp, C. M. (2008b). Anti-oxidant, anti-inflammatory and anti-allergic activities of luteolin. *Planta medica*, 74(14), 1667-1677.

Seelinger, G., Merfort, I., Wölfle, U., & Schempp, C. M. (2008a). Anti-carcinogenic effects of the flavonoid luteolin. *Molecules*, 13(10), 2628-2651.

Semwal, D. K., Semwal, R. B., Combrinck, S., & Viljoen, A. (2016). Myricetin: A dietary molecule with diverse biological activities. *Nutrients*, 8(2), 90.

Shen, N., Wang, T., Gan, Q., Liu, S., Wang, L., & Jin, B. (2022). Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. *Food chemistry*, 383, 132531.

Scherer, P. (2022). *Výživa srnčí zvěře – správné principy příkrmování*. Časopis myslivost.[Cit.13.2.2024], dostupné z: <https://www.myslivosť.cz/Casopis-Myslivosť/Myslivosť/2022/Brezen-2022/Vyziva-srn-ci-zvere-spravne-principy-prikrmovani>



Schoefs, B. (2002). Chlorophyll and carotenoid analysis in food products. Properties of the pigments and methods of analysis. *Trends in food science & technology*, 13(11), 361-371.

Singh, J., Upadhyay, A. K., Prasad, K., Bahadur, A., & Rai, M. (2007). Variability of carotenes, vitamin C, E and phenolics in Brassica vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(2), 106-112.

Singh, P., Arif, Y., Bajguz, A., & Hayat, S. (2021). The role of quercetin in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 166, 10-19.

Skládanka, J. (2006). *Krmná kapusta*. Multimediální učební texty pěstivařství. [cit.13.2.2024]. Dostupné z: [https://web2.mendelu.cz/af\\_222\\_multitext/picniny/sklady.php?odkaz=kapusta.html](https://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/picniny/sklady.php?odkaz=kapusta.html)

Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2019). *Analytická chemie* (přeložil Karel NESMĚRÁK, přeložil Václav ČERVENÝ, přeložil Tomáš KRÍŽEK, přeložil Eliška NOVÁKOVÁ). Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.

Slanina, J., & Táborská, E. (2004). Příjem, biologická dostupnost a metabolismus rostlinných polyfenolů u člověka. *Chemické listy*, (5).

Song, X., Tan, L., Wang, M., Ren, C., Guo, C., Yang, B., ... & Pei, J. (2021). Myricetin: A review of the most recent research. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 134, 111017.

Stahl, W., & Sies, H. (2003). Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular aspects of medicine*, 24(6), 345-351.

Šamec, D., Urlič, B., & Salopek-Sondi, B. (2019). Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) as a superfood: Review of the scientific evidence behind the statement. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(15), 2411-2422.

Škoda, J., & Doulík, P. (2007). *Chemie 9 - učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia*. Fraus.

Škoda, J., & Doulík, P. (2022). *Hybridní učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia - nová generace* (Druhé). Fraus.

Takemura, M., Sahara, T., & Misawa, N. (2021). Violaxanthin: Natural function and occurrence, biosynthesis, and heterologous production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(16-17), 6133-6142.

Tichá, M., & Vyzínová, P. (2006). *Polní plodiny*. Brno, Veterinární a farmaceutická univerzita.

Vale, A. P., Santos, J., Melia, N., Peixoto, V., Brito, N. V., & Oliveira, M. B. P. (2015). Phytochemical composition and antimicrobial properties of four varieties of Brassica oleracea sprouts. *Food Control*, 55, 248-256.

Van Breemen, R. B., & Pajkovic, N. (2008). Multitargeted therapy of cancer by lycopene. *Cancer letters*, 269(2), 339-351.

Velišek, J., & Hajšlová, J. (2009a). *Chemie potravin II* (třetí). OSSIS.

Velišek, J., & Hajšlová, J. (2009b). *Chemie potravin II* (třetí). OSSIS.

Viera, I., Herrera, M., & Roca, M. (2022). Influence of food composition on chlorophyll bioaccessibility. *Food chemistry*, 386, 132805.

Wang, L. X., Wang, H. L., Huang, J., Chu, T. Z., Peng, C., Zhang, H., ... & Tan, Y. Z. (2022). Review of lignans from 2019 to 2021: Newly reported compounds, diverse activities, structure-activity relationships and clinical applications. *Phytochemistry*, 113326.

Waterhouse, A. L. (2002). Determination of Total Phenolics. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, vol. 6, s. 321–329.

## Zdroje obrázků

*Hlávková kapusta*. [cit. 13.2.2024]. Dostupné z: <https://www.receptyonline.cz/hlavkova-kapusta/>

*Krmná kapusta*. Vybav zahradu.cz. [cit. 13.2.2024] Dostupné z: <https://www.vybavzahradu.cz/clanky/krmna-kapusta/>

Kur, A. *Brassica oleracea var. gemmifera*. X - Twitter. [cit. 13.2.2024]. Dostupné z: [https://twitter.com/Andi\\_Kur\\_/status/1299302699683512321](https://twitter.com/Andi_Kur_/status/1299302699683512321)

*O kadeřávku*. <https://minimalisticka-kucharka.cz/>. [cit. 13.2.2024]. Dostupné z: <https://minimalisticka-kucharka.cz/o-kaderavku/>

Škoda, J., & Doulík, P. (2007). *Chemie 9 - učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia*. Fraus.

Škoda, J., & Doulík, P. (2022). *Hybridní učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia - nová generace (Druhé)*. Fraus.

*Top 130+ decorative cabbage super hot*. [cit. 15.2.2024]. Dostupné z: <https://vova.edu.vn/decorative-cabbage-5s8hbc42/>

## 9 Seznam obrázků

**Obrázek č.1** – Kapusta hlávková

**Obrázek č.2** – Kapusta růžičková

**Obrázek č.3** – Kapusta krmná

**Obrázek č.4** – Kapusta kadeřavá

**Obrázek č.5** – Zelí okrasné

**Obrázek č.6** – Strukturní vzorec flavanu

**Obrázek č.7** – Kvercetin

**Obrázek č.8** – Myricetin

**Obrázek č.9** – Kemferol

**Obrázek č.10** – Apigenin

**Obrázek č.11** – Luteolin

**Obrázek č.12** – Obecný vzorec aglykonu – anthokyanidinu

**Obrázek č.13** – Kyselina kávová – A, kyselina syringová – B

**Obrázek č.14** – Lignan a neolignan

**Obrázek č.15** – Vzorec fytoenu

**Obrázek č.16** – Strukturní vzorec lykopenu

**Obrázek č.17** – Vzorec  $\beta$ -karotenu

**Obrázek č.18** – Lutein

**Obrázek č.19** – Violaxanthin

**Obrázek č.20** – Struktura chlorofylu a

**Obrázek č.21**– L-askorbová kyselina

**Obrázek č. 22** – Kapusta kadeřavá, červená, odrůda Scarlet – rok 2022

**Obrázek č. 23** – Kapusta kadeřavá, odrůda Toskánská – rok 2022

**Obrázek č. 24** – Kapusta kadeřavá, odrůda Lerchenzungen – rok 2022

**Obrázek č. 25** – Kapusta krmná, odrůda Inka – rok 2022

**Obrázek č. 26** – Kapusta růžičková, odrůda Groninger – rok 2022

**Obrázek č.27** – Kalibrační křivka kyseliny gallové

**Obrázek č. 28** – Přístroj pro spektrofotometrické stanovení chlorofylů a karotenoidů

**Obrázek č. 29** – Kalibrační graf pro vitamin C

**Obrázek č. 30** – Chromatografický záznam měření kyseliny askorbové v kapustě kadeřavé, zelené, odrůdy Toskánské

**Obrázek č. 31** – Průměrné hodnoty celkových fenolů a vitaminu C u brukvovité zeleniny

**Obrázek č. 32** – Průměrné hodnoty chlorofylu A, chlorofylu B, chlorofylu A+B, karotenoidů u brukvovité zeleniny

**Obrázek č. 33** – Dělení směsi rostlinných barviv (zdroj: Škoda & Doulík, 2022)

**Obrázek č. 34** – Důkaz vitaminu C v ovocných šťávách a Celaskonu (zdroj: Škoda & Doulík, 2022)

## **10 Seznam tabulek**

**Tabulka č. 1** – Hlavní typy fenolových sloučenin

**Tabulka č. 2** – Seznam druhů a odrůd brukvovité zeleniny použité pro analýzu

**Tabulka č. 3** – Celkový obsah fenolických látek v brukvovité zelenině

**Tabulka č. 4** – Obsah chlorofylu A v brukvovité zelenině

**Tabulka č. 5** – Obsah chlorofylu B v brukvovité zelenině

**Tabulka č.6** – Obsah chlorofylu A+B v brukvovité zelenině

**Tabulka č.7** – Obsah karotenoidů v brukvovité zelenině

**Tabulka č.8** – Obsah vitamínu C v brukvovité zelenině