

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



**Významné antioxidanty a antioxidační aktivita v různě
zbarvených hlízách odrůd brambor**

Bakalářská práce

Autor práce: Sebastian Holaza

Obor studia: Výživa a potraviny (ATZD)

Vedoucí práce: prof. Ing. Jaromír Lachman, CSc.

© 2019 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Významné antioxidanty a antioxidační aktivita v různě zbarvených hlízách odrůd brambor" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 18.4.2019

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu své práce panu prof. Ing. Jaromíru Lachmanovi, CSc. za velmi vstřícný přístup a ochotu při společném řešení mé bakalářské práce. Dále děkuji své rodině a přátelům za podporu během studia na univerzitě.

Významné antioxidanty a antioxidační aktivita v různě zbarvených hlízách odrůd brambor

Souhrn

Antioxidanty jsou významnou součástí mnohých rostlin. Svou aktivitou degradují volné radikály, jež jsou charakteristické zvyšováním oxidačních reakcí v organismu. Degradace spočívá ve snižování pravděpodobnosti jejich vzniku, nebo jsou převáděny do méně reaktivních forem. Díky antioxidačním vlastnostem se přidávají jako konzervanty do potravin.

Antioxidanty vykazují jasné pozitivní vlivy na lidský organismus. Často jim jsou s ohledem na jejich antioxidační působení přisuzovány účinky antibakteriální, protizánětlivé, antialergické, antimutagenní, antivirové, antineoplastické, antitrombotické a mnohé další. Přemíra těchto sloučenin je spíše škodlivá, jelikož antioxidanty jsou inhibitory přirozených oxidačních procesů, které jsou do určité míry žádoucí.

V dnešní době se upřednostňuje příjem přírodních antioxidantů před uměle vytvořenými, výzkumy však dokázaly neškodnost užívání uměle vytvořených antioxidantů. Kontroverze užívání těchto látek tkví v tom, že mohou v některých případech podporovat rakovinné bujení, jelikož rakovinné buňky jsou více vystaveny oxidativnímu stresu než buňky zdravé, čímž podporují bujení a rychlejší vznik metastáz. Onkologickým pacientům se obecně doporučuje snížit jejich příjem.

Mezi nejvýznamnější antioxidanty řadíme polyfenoly, antokyany, karotenoidy, některé druhy vitamínů, například vitamíny A, E, B₃ nebo C. Důležitým minerálním antioxidantem je také selen.

Bramborové hlízy patří bezpochyby k nejvýznamnějším zdrojům přírodních antioxidantů vzhledem k jejich časté konzumaci. Bramborové slupky obsahují daleko více těchto důležitých sloučenin v porovnání s vnitřní hmotou hlíz. Největší podíl antioxidantů bramborových hlíz tvoří polyfenoly. Dělíme je na fenolické kyseliny, flavonoidy, stilbeny a lignany. Polyfenoly zapříčiňují enzymové hnědnutí brambor při jejich zpracování, zejména při krájení a loupání syrových hlíz. Kyselina chlorogenová je nejvíce zastoupenou polyfenolickou sloučeninou brambor s bílou a žlutou dužninou, zastoupením tvoří až 95 % obsahu veškerých polyfenolů. Karotenoidy jsou významnou skupinou organických pigmentů, brambory jsou jejich značné zdroje. Dělí se na karoteny a xantofyly. Hlízy brambor jsou dobrým zdrojem vitamínu C, z brambor se průměrně získává většina doporučené denní dávky tohoto vitamínu. Mimo jiné inhibuje hnědnutí dužniny hlíz při zpracování. Barevné antokyany jsou zastoupeny zejména v modrých, fialových a červeně zbarvených odrůdách brambor, v takto zbarvených odrůdách tvoří valnou většinu antioxidační aktivity.

S analýzou jednotlivých složek brambor se zkoumají i bramborové glykoalkaloidy a kalysteginy a jejich vliv na zdraví člověka.

Obecně fialové a červené kultivary brambor mají několikanásobně vyšší obsahy antioxidantů ve srovnání se žlutomásými odrůdami. Vlivem toho vykazují i vysokou antioxidační aktivitu, proto jsou nezvykle zbarvené brambory předmětem mnoha studií a experimentů. Do popředí zájmu se dostávají obsažené látky v bramborách, jež se extrahují a zkoumají pro možnou výrobu potravinových doplňků a léčiv.

Klíčová slova: brambory, antioxidanty, karotenoidy, antokyany, polyfenoly, vitamín C

Significant antioxidants and antioxidant activity in differently coloured tubers of potato species

Summary

Antioxidants are an important part of many plants. With their activity they can degrade free radicals, which are characteristic with increasing oxidative reactions in organism. Degradation means reduction probability creation of free radicals or they are transferred to less reactive form. Because they have antioxidants benefits, they are adding into food like preservatives. Antioxidants prove positive benefits in human organism. Often, due to antioxidative action, antibacterial, anti-inflammatory, antiallergic, antimutagenic, antiviral, antineoplastic, antithrombotic and a lot of effects are attributed to them. Exuberance of this compounds is rather damaging, because antioxidants are inhibitors natural oxidative process, which are desirable in a certain amount.

At nowadays are preferred natural antioxidants more than synthetic, but scientist proved, that synthetic antioxidants are harmless. Controversy about using this substances speculate about making cancerous growth in some cases, because cancer cells are more exposed than healthy cells for oxidative stress and therefore they can promote in metastasis increase. For oncological patient is recommended reduced quantity using. The most important antioxidants are polyphenols, anthocyanins, carotenoids, some groups of vitamins like A, E, B or C. The important mineral antioxidant is a selen too.

The most important antioxidants are polyphenols, anthocyanins, carotenoids, some group of vitamin A, E, B or C. The important mineral antioxidant is selen too. Potato tuber are one of the most relevant source of nature antioxidants because they are consumed often and in large quantities. Potato peel contains more of this important compounds than mass inside tubers. Most antioxidants are in polyphenols. We divide them into phenolic acids, flavonoids, stilbens and lignans. Polyphenols causing enzymatic browning mainly at cutting and peeling of raw tubers. Chlorogenic acid is the most represented polyphenol compound in potatoes with white and yellow flesh, representation about 95% of all polyphenols. Carotenoids are significant group of organic pigments, potatoes are important source on them. They are divided into carotens and xanthophylls. Potato tubers are good source of vitamin C. On average, the recommended daily doses of this vitamin are obtained from potatoes. Among other things, it inhibits the browning of the tuber flesh during processing. Colourful anthocyanins are in blue, purple and red potatoes.

This colourful sources are major the part of antioxidant activity. Potatoes glycoalkaloids and calystegines are also examined with analysis of the individual components and their effects on human health. In general, purple and red cultivars of potatoes have higher content of antioxidants in several times than yellow cultivars. As a result, they also exhibit antioxidant activity and therefore unusually colored potatoes are object in many studies and experiments. Some healthy-beneficial compounds contained in the potato, which can be extracted and investigated for possible production of dietary supplements and medicines, are at the forefront of interest.

Keywords: potatoes, antioxidants, carotenoids, anthocyanins, polyphenols, vitamin C

Obsah

1	Úvod	9
2	Cíl práce.....	11
3	Oxidační stres a volné radikály	12
3.1	Vznik a zdroje volných radikálů.....	12
3.2	Negativní vlivy volných radikálů na lidský organismus.....	13
4	Významné antioxidanty v různě zbarvených hlízách odrůd brambor.....	13
4.1	Polyfenoly.....	13
4.1.1	Obsah celkových polyfenolů	14
4.1.2	Význam polyfenolů v lidské výživě a jejich přínos pro zdraví člověka...	15
4.1.3	Vliv tepelného zpracování na obsah polyfenolů.....	16
4.2	Fenolické kyseliny	17
4.2.1	Obsah fenolických kyselin.....	18
4.2.2	Vliv tepelného zpracování na obsah fenolických kyselin.....	18
4.3	Antokyany.....	18
4.3.1	Obsah antokyanů.....	20
4.3.2	Význam antokyanů v lidské výživě a jejich přínos pro zdraví člověka....	20
4.3.3	Vliv tepelného zpracování na obsah antokyanů	22
4.4	Karotenoidy	22
4.4.1	Obsah karotenoidů	23
4.4.2	Význam karotenoidů v lidské výživě a jejich přínos pro zdraví člověka .	24
4.4.3	Vliv tepelného zpracování na obsah karotenoidů	25
4.5	Vitamín C.....	26
4.5.1	Obsah vitamínu C	27
4.5.2	Význam vitamínu C v lidské výživě a jeho přínos pro zdraví člověka	28
4.5.3	Vliv tepelného zpracování a skladování na obsah vitamínu C	29
5	Obsah glykoalkaloidů a kalysteginů.....	30
5.1	Glykoalkaloidy.....	30
5.1.1	Obsah glykoalkaloidů v bramborách	30
5.1.2	Chemická struktura glykoalkaloidů brambor	31
5.1.3	Vliv glykoalkaloidů na zdraví člověka	32
5.2	Kalysteginy.....	32
5.2.1	Obsah kalysteginů v bramborách.....	33
5.2.2	Vliv kalysteginů na zdraví člověka.....	33
6	Závěr	35
7	Literatura.....	36

8 Samostatné přílohy	40
-----------------------------------	-----------

1 Úvod

Původní odrůdy brambor se před tisíci lety pěstovaly v oblasti Jižní Ameriky, odkud také pochází. Tamější civilizace se mimo jiné mohly rozvíjet, když měly dostatečný přísun potravin a nehrozil tak hladomor. Předcházením nedostatku potravy se často pěstovaly brambory, které dokázaly civilizace uživit. Kromě původních oblastí se brambory rozšířily do celého světa a nejednou zachránily lidstvo před propuknutím hladu. Do našich zemí se brambory dostaly z Braniborska, odtud vznikl jejich český název. Dříve skeptický přístup ke konzumaci bramborových hlíz v Evropě vystřídala novodobá senzace.

V současnosti se brambory řadí k nejkonzumovanějším plodinám na světě. Dnes jsou známy brambory s netypickým zbarvením hlíz, tedy fialové, červené nebo modré. Vzhledem k četným studiím, které se zabývají analýzou bramborových hlíz, se dnes dá dobře určit profil chemických sloučenin a z toho lze vyvodit zdravotní účinky na člověka. Brambory jsou významným zdrojem komplexních sacharidů, vody, vlákniny, menšího množství proteinů a tuků, minerálů a vitamínů. Řada studií prokázala silnou antioxidační aktivitu bramborových hlíz, která je určena obsahy antioxidantů. Bylo také potvrzeno, že bramborové hlízy jsou jejich nejvýznamnějším zdrojem, jelikož se často a ve velkém množství konzumují. S příchodem mnohých civilizačních onemocnění, které jsou vyvolávány zejména působením volných radikálů, tedy oxidačním stresem, se pozornost upřela na látky, které dokážou působení radikálů inhibovat. Jedná se především o obsahy polyfenolů, antokyanů, karotenoidů, vitamínu C a dalších. Často můžeme nalézt vyšší obsahy složek antioxidantů v netypicky kolorovaných hlízách odrůd brambor, třeba fialových, neboť například antokyany jsou svou podstatou červenofialové pigmenty.

Vzhledem k zajímavému kvalitativnímu a kvantitativnímu složení antioxidantů v bramborových hlízách se jejich konzumací kromě zahnání hladu můžeme preventivně vyvarovat propuknutí řady onemocnění. Antioxidanty v bramborách obecně vykazují protinádorové, protizánětlivé, antibakteriální, antimutagenní, vazodilatační nebo anticholesterolové účinky. Nově se také propaguje zdravý životní styl, s čímž úzce souvisí i úloha antioxidantů v bramborách.

Na hladiny antioxidantů v bramborách působí rozmanité podmínky prostředí, často se jedná o roční úhrn srážek, teplota, nadmořská výška, ale také další stresové faktory. Kultivar brambor hraje silnou roli v obsazích těchto důležitých sloučenin.

Bramborové hlízy se před konzumací obvykle tepelně upravují, existuje řada kulinářských zpracování, jako je vaření, pečení, smažení a jiné, které ovšem mohou mít vliv na obsahy a biodostupnost jednotlivých antioxidačních sloučenin. Obsahy antioxidantů se odvíjí od jejich odolnosti na teplo, lipofilitě, hydrofilitě, krájení a dalších faktorů. Hlízy se také musí skladovat, a i v souvislosti s uskladněním se vedou mnohé výzkumy na retence antioxidantů v hlízách různých kultivarů brambor.

2 Cíl práce

Cílem zpracování této bakalářské práce je na základě pečlivého studia odborné a vědecké literatury podat ucelený přehled o významných antioxidantech a antioxidačních aktivit v různě zbarvených hlízách odrůd brambor. Práce předkládá věcné informace o působení významných druhů antioxidantů na zdraví člověka, jejich výskyt v hlízách brambor a řeší problematiku retence antioxidantů po různých metodách kulinářského zpracování. V této souvislosti je taktéž probírán obsah a úloha glykoalkaloidů a kalysteginů.

3 Oxidační stres a volné radikály

Většina autorů charakterizuje antioxidační aktivitu jako schopnost sloučeniny zachytit volné radikály nebo složité kovové ionty, které řídí oxidační proces. Je třeba zdůraznit, že existuje velký rozdíl mezi „antiradikálovým“ a „antioxidačním“ účinkem a že se nemusí nutně shodovat. Antiradikálová aktivita charakterizuje schopnost sloučenin reagovat s volnými radikály, ale antioxidační aktivita představuje schopnost inhibovat proces oxidace (který obvykle zahrnuje celou řadu různých reakcí) (Tirzitis & Bartosz 2009).

Je ironií, že kyslík, který je nepostradatelným prvkem, může v určitých situacích vykazovat závažné škodlivé účinky na lidské tělo. Většina potenciálně škodlivých účinků kyslíku je způsobena tvorbou a aktivitou řady chemických sloučenin, známých jako reaktivní formy kyslíku (ROS), které mají tendenci působit jako donory kyslíku pro jiné molekuly. ROS se účastní řady chemických reakcí s biomolekulami, což vede k patologickému stavu známému jako oxidační stres. ROS je termín používaný pro klasifikaci kyslíkových radikálů a několika neradikálových oxidačních činidel (Kunwar & Priyadarsini 2011). Mezi radikální částice patří superoxid ($\bullet\text{O}_2^-$), hydroxylový radikál ($\text{HO}\bullet$), peroxy ($\text{ROO}\bullet$) a hydroperoxy ($\bullet\text{HO}_2$). Do neradikálových oxidačních činidel řadíme kyselinu chlornou (HClO), peroxid vodíku (H_2O_2), singletový kyslík ($^1\text{O}_2$), ozon (O_3) a hydroperoxid lipidu (LOOH). Kromě ROS jsou známy ještě reaktivní formy dusíku (RNS) (Halliwell 1989).

Tyto částice mají jeden nebo více nepárových elektronů a jsou proto nestabilní a vysoce reaktivní. Radikály působí velmi krátkodobě, s poločasem rozpadu v mikro/nanosekundách. V lidském těle a potravinovém systému může být vytvořena široká škála kyslíkových radikálů a jiných reaktivních látek (Kumar 2011).

3.1 Vznik a zdroje volných radikálů

Elektrony se nacházejí v atomových orbitalech. Každý orbital může pojmout maximálně dva elektrony, které se otáčejí v opačných směrech. Volný radikál může být jednoduše definován jako jakýkoliv druh schopný nezávislé existence, který obsahuje jeden nebo více nepárových elektronů, nepárový elektron je jeden, který je sám v orbitálu. Většina biologických molekul jsou neradikály, obsahující pouze párované elektrony.

Elektrony jsou stabilnější, pokud jsou spárovány společně v orbitalech, z toho důvodu jsou radikály obecně reaktivnější než neradikály, i když existuje značná variabilita v jejich reaktivitě. Radikály mohou reagovat s jinými molekulami řadou způsobů. Jestliže se setkají dva radikály, mohou zkombinovat jejich nepárové elektrony a společně vytvořit kovalentní vazbu. Radikál může darovat svůj nepárový elektron do jiné molekuly nebo může její elektron přijmout a stát se tak neradikálem. Pokud však radikál odevzdává nebo naopak přijímá jeden elektron z neradikálu, stane se tento neradikál radikálem. Proto je typickým znakem reakcí volných radikálů to, že mají tendenci postupovat v řetězové reakci (Halliwell 1989).

Zdroje volných radikálů jsou přirozené produkty metabolických reakcí v organismu nebo pochází z externích zdrojů, při vystavení rentgenovým paprskům, ozónu, kouření cigaret, polutantům, průmyslovým chemikáliím atd. Enzymatické reakce slouží jako zdroj reaktivních

částic. Mezi ně patří reakce, které se týkají dýchacího řetězce, fagocytózy a dalších (Noda & Wakasugi 2000).

3.2 Negativní vlivy volných radikálů na lidský organismus

Pokud nejsou volné radikály inaktivovány, jejich chemická reaktivita může poškodit všechny buněčné makromolekuly včetně proteinů, sacharidů, lipidů a nukleových kyselin. Jejich destruktivní účinek na bílkoviny může hrát roli v příčinách onemocnění, jako je šedý zákal. Poškození DNA volnými radikály je také zapojeno do příčin rakoviny a její účinek na LDL cholesterol je velmi pravděpodobně zodpovědný za srdeční onemocnění. Volné radikály jsou také zodpovědné za stárnutí. Vlivem jejich působení se mohou objevit zánětlivá onemocnění (revmatoidní artritida, zánětlivá onemocnění střev a pankreatitida), neurologická onemocnění, hypertenze a mnoho dalších (Kumar 2011).

Buněčné membrány jsou například náchylné k oxidaci ROS v důsledku přítomnosti vysoké koncentrace nenasyčených mastných kyselin. Reakce ROS s membránovými lipidy způsobují peroxidaci lipidů, což vede k tvorbě lipidového hydroperoxidu (LOOH). Důsledky peroxidace lipidů jsou zesílení membránových proteinů, změna fluidity membrány a tvorba lipidového proteinu, který může být škodlivý pro fungování buňky (Kunwar & Priyadarsini 2011).

Volné radikály však nejsou vždy škodlivé. Mají i užitečný účel v lidském těle. Kyslíkové radikály v živém systému jsou pravděpodobně nezbytné komponenty v procesu růstu buněčných struktur. Bílé krvinky uvolňují volné radikály, aby zničily napadající patogenní mikroby jako součást mechanismu ochrany těla proti onemocněním. Úplné odstranění těchto radikálů by tedy bylo nejen nemožné, ale také škodlivé (Halliwell 1989).

4 Významné antioxidanty v různě zbarvených hlízách odrůd brambor

Antioxidanty jsou inhibitory procesu oxidace, dokonce i při relativně malé koncentraci, a proto mají v těle důležitou fyziologickou úlohu. Antioxidační složky rostlinného materiálu fungují jako lapače radikálů a pomáhají při přeměně radikálů na méně reaktivní druhy. Podle literatury se jedná o látku, která, pokud je přítomna v nízké koncentraci ve srovnání s oxidovatelným substrátem, významně prodlužuje nebo inhibuje oxidaci této látky (Kumar 2011).

4.1 Polyfenoly

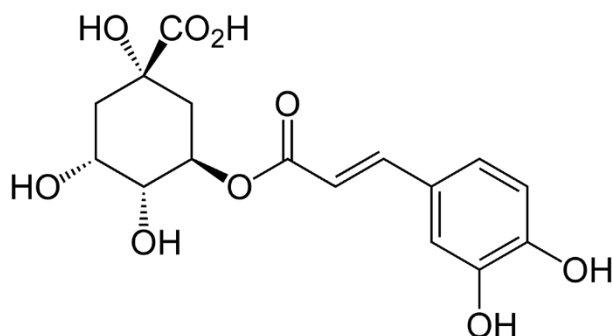
Mezi další významné antioxidanty v hlízách brambor patří polyfenolické sloučeniny (Lachman et al. 2008).

Polyfenoly jsou sekundární rostlinné komponenty, které se dělí na fenolické kyseliny, flavonoidy, stilbeny a lignany. Fenolové sloučeniny přispívají k chuti, barvě a výživové hodnotě brambor (Perla et al. 2012).

Mezi nejlepší rostlinné zdroje celkových fenolů patří brambory. Kyselina chlorogenová a její izomery, kyseliny 3-, 4-, a 5-kafeoylchinové tvoří zhruba 96–98 % celkového obsahu fenolových látek v bramborových hlízách. Také aminokyselina L-tyrosin s fenolickým charakterem přispívá k antioxidační aktivitě (Hamouz et al. 2010).

Mezi běžné fenolické kyseliny v bramborách patří kyselina chlorogenová, kyselina kávová, kyselina skořicová, kyselina *p*-kumarová, kyselina ferulová a kyselina sinapová (samostatně probírány v podkapitole „Fenolické kyseliny“). Převládající fenolová kyselina v bramborách je kyselina chlorogenová (Perla et al. 2012). Fenolické kyseliny jsou prekurzory v biosyntéze antokyanů (Wegener et al. 2009).

Flavonoidy jsou nejběžnější skupinou rostlinných polyfenolů a z velké části ovlivňují chuť a barvu ovoce a zeleniny. V rostlinách bylo popsáno více než 5000 různých flavonoidů. Šest hlavních podtříd flavonoidů jsou: flavony (např. apigenin, luteolin), flavonoly (např. kvercetin, myricetin), flavanony (např. naringenin, hesperidin), katechiny nebo flavanoly (např. epikatechin, galokatechin), antokyanidiny (např. kyanidin, pelargonidin; samostatně probírány v podkapitole „Antokyaniny“) a isoflavony (např. genistein, daidzein). Ačkoliv je většina flavonoidů v rostlinách vázána na cukry (glykosidy), mohou být příležitostně nalezeny i jako aglykony. Flavonoidy tvoří až 30 mg na 100 g čerstvých hlíz v bílých bramborách a tato úroveň je téměř dvojnásobná v červených a purpurových bramborách. Převládajícími flavonoidy v bramborách jsou katechin a epikatechin (Perla et al. 2012)



Obrázek 1 - Kyselina chlorogenová

4.1.1 Obsah celkových polyfenolů

Výsledky ukázaly statisticky významný rozdíl v obsahu celkových fenolů a antioxidační aktivity mezi žlutými a purpurovými bramborami. Fialové kultivary vykazovaly vyšší obsah celkových fenolů (o 60 %) než odrůdy žluté barvy. Antioxidační aktivita ve fialových kultivarech byla dvakrát vyšší než u brambor žlutých (Perla et al. 2012).

Obsah celkových polyfenolů je ve slupkách brambor 0,9 až 1,6krát vyšší než ve vnitřní hmotě (Lachman et al. 2008). U kultivarů s fialovou dužninou bylo množství rozpustných fenolů 2,6krát vyšší než u bílých/žlutých brambor. Potvrdila se také vyšší antioxidační aktivita v barevných odrůdách (Wegener et al. 2009).

Závěry studií vykazují výrazné rozdíly v obsahu celkových polyfenolů (TP) ve žlutomasých odrůdách. Kultivar Karin obsahoval 3,44 g TP/kg sušiny; Impala 3,28 g TP/kg

sušiny; Ditta 2,66 g TP/kg sušiny a poslední testovaná odrůda Saturna obsahovala 2,46 g TP/kg sušiny. Odrůdy purpurové barvy obsahovaly v průměru o 58,1 % více celkových fenolů ve srovnání se žlutými kultivary (kultivar Valfi 4,81 g TP/kg sušiny; Violette 4,55 g TP/kg sušiny), z čehož lze usuzovat, že purpurové odrůdy mají vyšší antioxidační aktivitu, mimo jiné díky vyšším obsahům antokyanů ve srovnání se žlutomasými kultivary (Lachman et al. 2008). Odrůdy Saturna, Agria a Asterix jsou ideální k výrobě smažených potravinářských výrobků vzhledem ke své moučnatější konzistenci (Hamouz et al. 2010).

Z hlediska vnějších podmínek má na obsah celkových polyfenolů značný vliv nadmořská výška, roční souhrn srážek, teplota a úrodnost půdy. Nejvyšší obsahy TP ve všech zkoumaných kultivarech byly zaznamenány v lokalitě Stachy. Tato lokalita se silně liší od ostatních pěstebních lokalit, neboť má nejvyšší nadmořskou výšku, nejnižší průměrnou roční teplotu, největší roční úhrn srážek a také nejnižší úrodnost půdy. Zejména nižší průměrné roční teploty jsou považovány za hlavní důvod vyššího obsahu TP v hlízách (Lachman et al. 2008). Vyšší obsah TP v oblastech s relativně chladným podnebím je v souladu s mnoha dalšími studii, které se zabývaly touto problematikou (Hamouz et al. 2010).

Do jisté míry i stresové faktory (mechanické poškození hlíz, napadení hlíz patogeny, působení světla na hlízy) hrajou roli v obsahu celkových fenolů (Lachman et al. 2008). Metabolismus fenylpropanoidů je ovlivňován environmentálním stresem, včetně „zranění“ hlíz. Vyšší obsah fenolů v hlízách souvisejících s poraněním hlíz je iniciován aktivitou fenylalanin amonium-lyázy (PAL), enzymem, který katalyzuje deaminaci fenylalaninu vedoucí k biosyntéze kyseliny skořicové, která je důležitým prekurzorem dalších fenolů, ligninu a suberinu, všech látek spojených s hojením ran a defencí bramborových hlíz.

Nižší obsah antokyanů se shodoval s vyšším obsahem rozpustných fenolů a naopak. Ve výzkumu byl účinek zranění na rozpustné fenoly slabší u hlíz s fialovou dužninou než u bílých/žlutých kultivarů, které měly nižší počáteční hladiny polyfenolů. Například žlutá odrůda Lambada vykazovala nejvyšší nárůst rozpustných fenolů po poranění hlíz (Wegener et al. 2009).

Důležitým faktorem ovlivňující jakostní parametry brambor je způsob pěstování a hnojení. Porovnání konvenčního a organického ekologického způsobu pěstování způsobilo rozdíly v obsahu kyseliny chlorogenové a tento obsah je vyšší u brambor pěstovaných organicky bez použití hnojiv. Použitím minerálních hnojiv N, P, K a Mg, K byl obsah TP ovlivněn pouze dávkou K a Mg, což způsobilo mírné snížení obsahu celkových fenolů (Hamouz et al. 2010).

Závěry výzkumu poskytují jasný důkaz, že vysoké koncentrace rozpustných fenolů, včetně kyseliny chlorogenové, v hlízách barevných odrůd brambor se shodovaly ve vysoké antioxidační aktivitě, což je důležité z hlediska kvality hlíz. Proto může být použití barevných kultivarů brambor ve šlechtění prospěšné pro dosažení vyšších hladin biologicky aktivních rostlinných fenolů v hlízách, které jsou spojeny s vyšší aktivitou zachycování volných radikálů, což je pozitivní pro zdraví člověka i zvířat (Wegener et al. 2009).

4.1.2 Význam polyfenolů v lidské výživě a jejich přínos pro zdraví člověka

Antioxidační aktivita polyfenolů v lidském těle vykazuje různorodou biologickou aktivitu, mimo jiné se aktivně podílí na odstraňování volných radikálů, chelataci iontů kovů a ovlivňuje aktivitu enzymů a dostupnost proteinů. Vzhledem ke svým blahodárným zdravotním vlastnostem polyfenolové sloučeniny zabírají mj. koronárním onemocněním srdce, rakovině a zánětlivým onemocněním (Rytel et al. 2014). Jsou jim tedy přisuzovány účinky antibakteriální, protizánětlivé, antialergické, antimutagenní, antivirové, antineoplastické, antitrombotické a vazodilatační (Barba et al. 2008). Fenolové sloučeniny vykazují také

anticholesterolové vlastnosti. Kyselina chlorogenová je nejrozšířenějším antioxidantem v bramborách, která chrání před degenerativními chorobami, které souvisí s vyšším věkem jak u lidí, tak u zvířat (Lachman et al. 2008).

4.1.3 Vliv tepelného zpracování na obsah polyfenolů

Bramborové hlízy, jež jsou jedním z nejbohatších zdrojů antioxidantů, se vždy tepelně upravují před lidskou spotřebou. Pokles aktivity vychytávání radikálů přímo souvisí se ztrátou antioxidantů v důsledku vaření ve všech bílých a barevných hlízách. Červené a purpurové hlízy vykazovaly vyšší antioxidační aktivitu po běžných kulinářských úpravách ve srovnání s bělomasými a žlutomasými kultivary. Na rozdíl od domácího vaření nebo pečení, vědecky optimalizovaný mikrovlnný ohřev (2 min 30 s při 1100 W), pečení (375 °C po dobu 30 minut), vaření (18 min), vaření v páře (15 min) a smažení s použitím za studena lisovaného řepkového oleje (18 min) vývojově mladých (malých) brambor tří různých kultivarů vedl ke zvýšení využitelnosti celkových fenolů. Tyto optimalizované metody vaření, které se vyhýbají rozvaření a přesmažení v domácích podmínkách, zvyšují antioxidační aktivitu zkoumaných kultivarů brambor.

Naproti tomu studie zkoumající účinky postupů vaření na zralé brambory ukázala, že pečení v troubě při teplotě 212 °C po dobu 45 minut, vaření ve vodě po dobu 30 minut nebo mikrovlnný ohřev při teplotě 218 °C po dobu 30 minut, snížily hladiny kyseliny chlorogenové o 0 %, respektive 35 % a 55 % z původního obsahu.

Nejvyšší hladiny celkových fenolů byly zjištěny v červených kultivarech, průměrný obsah činil 4,4 mg/g čerstvých vzorků. Tyto hodnoty jsou o 137 % vyšší než průměrný obsah celkových fenolů všech ostatních testovaných odrůd (1,9 mg/g čerstvých hlíz). Syrové hlízy Purple Majesty obsahovaly 2,9 mg/g celkových fenolů, což bylo o 54 % více než průměrná hodnota uvedená výše. Nejnižší hodnota pro syrové hlízy byla nalezena u Russet Nugget (0,9 mg/g). Celkové fenoly v syrových hlízách všech ostatních kultivarů se pohybovaly mezi 1,2 a 1,9 mg/g.

Vařením, pečením i mikrovlnným ohřevem se snížily celkové fenoly ve všech testovaných odrůdách. Červené kultivary vykazovaly významně větší množství celkových fenolů než ostatní kultivary po každé kulinářské úpravě, neboť měly i vyšší obsahy TP v čerstvém stavu. Průměrný obsah polyfenolů po zpracování červených kultivarů byl 1,9 mg/g. Značné množství ostatních zkoumaných kultivarů nedosáhlo této hodnoty ani v čerstvém stavu. Hlízy Purple Majesty ztratily v průměru 60–70 % po zpracování. Průměrné ztráty TP varem byly 44 %, mikrovlnným záhřevem 52 % a pečením v troubě 53 % (Perla et al. 2012).

Kvantitativní analýza fenolových sloučenin ukázala, že mikrovlnné zpracování při 500 W je úprava, která zajišťuje nejpříjemnější úroveň retence fenolových sloučenin. Retence těchto látek spočívá v důležitosti obsahu vody v bramborách během mikrovlnného zpracování, protože má zásadní význam pro zamezení tepelného poškození a zachování antioxidantů (Barba et al. 2008).

V dalším pokusu z roku 2006 byly měřeny koncentrace rozpustných fenolů v čerstvé tkáni hlíz a opět po 24 hodinách, kdy se hlízy nařízly. Ve vzorcích odebraných po 24 hodinách bylo množství rozpustných fenolů vyšší než množství získané z čerstvé tkáně hlíz. V bílých/žlutých hlízách se tedy obsah fenolů v průměru zvýšil o 75 %, zatímco u hlíz s fialovou dužninou byl průměrný nárůst 15 % (Wegener et al. 2009).

Čerstvé řezy v hlízách mohou vyvolat hromadění polyfenolů. Fenylyalanin-amonium-lyáza (PAL) je hlavním enzymem metabolické dráhy fenylypropanoidů, který produkuje fenolické sloučeniny. Aktivita PAL je zvýšena „poškozením“ tkání například čerstvými řezy (Barba et al. 2008).

Nebezpečný akrylamid vzniká Maillardovou reakcí v potravinách bohatých na sacharidy, které jsou zpracovávány při vysokých teplotách. Je také známo, že se jedná o neurotoxin a karcinogen. Různé fenolové sloučeniny inhibují tvorbu akrylamidu působením jako karbonylové záchytné látky během Maillardovy reakce. V přítomnosti nadbytečných redukujících cukrů však může být tvorba akrylamidu zvýšena.

Výběr kultivarů brambor s nižšími hladinami asparaginu a redukujících cukrů, stejně jako vyššími obsahy fenolů, by mohl snížit tvorbu akrylamidu ve smažených bramborových výrobcích (Kalita et al. 2013).

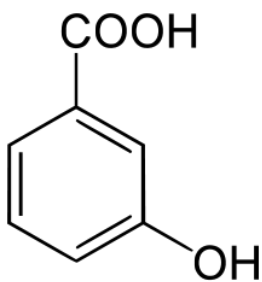
4.2 Fenolické kyseliny

Fenolické kyseliny se řadí do polyfenolických sloučenin. Mají jeden nebo více aromatických kruhů s vícero hydroxylovými skupinami a v rostlinách se nacházejí buď ve volné nebo vázané formě.

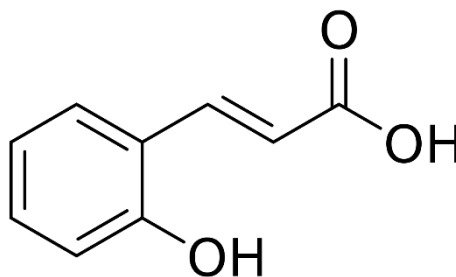
Existují rozpustné a nerozpustné formy fenolických kyselin. Rozpustnou formou jsou volné a rozpustné estery nebo rozpustné glykosidy. Většina fenolických kyselin jsou deriváty kyseliny hydroxykořicové (volné formy) a kyseliny hydroxybenzoové (vázané formy). Hlavním rozdílem mezi strukturami těchto dvou kategorií jsou vzory aromatických kruhů jejich derivátů. Fenolické kyseliny se běžně vyskytují v bramborových hlízách (Gao 2014).

K nejběžnějším derivátům kyseliny hydroxykořicové patří kyselina kávová, *p*-kumarová a ferulová, které se často vyskytují jako jednoduché estery s kyselinou chinovou nebo glukózou. Pravděpodobně nejznámějším vázaným derivátem kyseliny hydroxykořicové je kyselina chlorogenová, která je výsledkem kombinace kyseliny kávové a kyseliny chinové. Deriváty kyseliny hydroxybenzoové se vyskytují především ve formě glukosidů. Kyselina *p*-hydroxybenzoová, vanilová a protokatechová jsou její nejčastější deriváty (Mattila & Hellström 2007).

V bramborových hlízách jsou obsaženy tři hlavní izomery kyseliny chlorogenové: 3-O-kafeoylchinová (kyselina *n*-chlorogenová), 4-O-kafeoylchinová (kyselina kryptochlorogenová) a 5-O-kafeoylchinová (kyselina neochlorogenová). Kyselina 3,4-di-O-kafeoylchinová, kyselina 3,5-di-O-kafeoylchinová a kyselina 4,5-di-O-kafeoylchinová se také, v menší míře, vyskytovaly v bramborových vzorcích (Akyol et al. 2016).



Obrázek 2 - Kyselina hydroxybenzoová



Obrázek 3 - Kyselina hydroxykořicová

4.2.1 Obsah fenolických kyselin

Výsledky z roku 2005 ukázaly, že množství kyseliny chlorogenové bylo výrazně vyšší u fialových odrůd než u bílých/žlutých kultivarů (Wegener et al. 2009).

Vyšší hladiny kyseliny chlorogenové byly nalezeny v hlízách odrůd z teplejších lokalit s pravidelnými obdobími sucha ve srovnání s místy s vyšší nadmořskou výškou, která jsou však obecně prospěšnější pro pěstování brambor.

V organicky pěstovaných bramborách byly nalezeny významně vyšší hladiny chlorogenových kyselin ve srovnání s konvenčními kultivary. Na druhou stranu studie prokázaly, že odrůda brambor má větší vliv na obsah fenolických kyselin než lokalita pěstování. Ačkoliv organicky pěstované brambory mají vyšší obsahy fenolických kyselin, jsou pěstители preferovány komerční kultivary, protože mají daleko lepší agronomické vlastnosti (Akyol et al. 2016).

4.2.2 Vliv tepelného zpracování na obsah fenolických kyselin

Nejvyšší obsah rozpustných fenolových kyselin byl nalezen v syrových a vařených bramborových slupkách. Mezi nejlepší rostlinné zdroje celkových fenolových kyselin patřily brambory, kde se obsah těchto sloučenin pohyboval od 7,9 mg/100 g (vařená a loupaná odrůda Rosamunda) do 52 mg/100 g (vařená slupka odrůdy Van Gogh).

Zkoumal se účinek varu, mikrovlnného zpracování a pečení na bramborové hlízy. Zjistilo se, že varem se zničilo 65 %, mikrovlnným zpracováním 45 % a pečením 100 % původního množství kyseliny chlorogenové (Mattila & Hellström 2007).

Studie hodnotící mikrovlnné zpracování neloupaných brambor zjistila rozmezí úbytku od 14,0 % (u vzorků zpracovaných při 500 W) až po 73,6 % (při 750 W) pro kyselinu protokatechovou; od 5,6 % (při 1000 W) až 59,3 % (při 750 W) pro kyselinu kafeoylchinovou a od 21,4 % (při 300 W) po 78,3 % (při 750 W) pro tryptofan. U loupaných vzorků hlíz byly zjištěné vyšší ztráty. U kyseliny protokatechové činily ztráty v rozmezí od 49,6 % (při 300 W) do 83,2 % (při 750 W); od 26,8 % (při 500 W) do 64,4 % (při 750 W) pro kyselinu kafeoylchinovou a od 77,3 % (při 300 W) do 89,2 % (při 150 W) pro tryptofan.

Kyselina kafeoylchinová je obecně odolnější vůči tepelnému zpracování, protože je méně citlivá na teplo, zatímco kyselina protokatechová a tryptofan vykazují vyšší tepelnou citlivost a tím pádem jsou snadněji degradovány (Barba et al. 2008).

V další studii byl pozorován vliv vaření na obsah sedmi typů fenolových kyselin v hlízách brambor. Hodnotil se stav kyseliny gallové, 3-CQA (kyseliny neochlorogenové), 5-CQA (kyseliny chlorogenové), 4-CQA (kyseliny kryptochlorogenové), 4,5-diCQA (kyseliny isochlorogenové), 3,5-diCQA (kyseliny isochlorogenové) a 3,4-diCQA (kyseliny isochlorogenové). Vařením se ve vzorcích žlutomasých kultivarů hladina kyseliny gallové nezměnila, zatímco obsahy 3-CQA a 3,4-diCQA se snížily. Ve vzorcích brambor bylo nalezeno pět druhů fenolických kyselin: kyselina gallová, 3-CQA, 5-CQA, 4-CQA a 4,5-diCQA. Ve vzorcích vařených brambor byly detekovány také dva druhy nových fenolických kyselin. 3,5-diCQA a 3,4-diCQA však nebyly detekovány v čerstvých ani vařených vzorcích brambor (Gao 2014).

4.3 Antokyany

Zatímco u brambor s bílou nebo žlutou barvou hlíz jsou přispěvatelé antioxidantní aktivity zejména kyselina chlorogenová, kyselina gallová, kyselina kávová a katechin, ve fialových a

červených bramborách jsou hlavními přispěvateli antioxidační aktivity antokyany (Lachman et al. 2009).

Hydrofilní antokyanové pigmenty jsou třídou flavonoidních sloučenin, které jsou zodpovědné za modré, fialové a červené zbarvení většiny druhů rostlin. Důležitým atributem těchto pigmentů je, že jsou silnými antioxidanty. Jsou široce konzumovány lidmi a jejich denní příjem se odhaduje na 180 mg (Lachman et al. 2012)

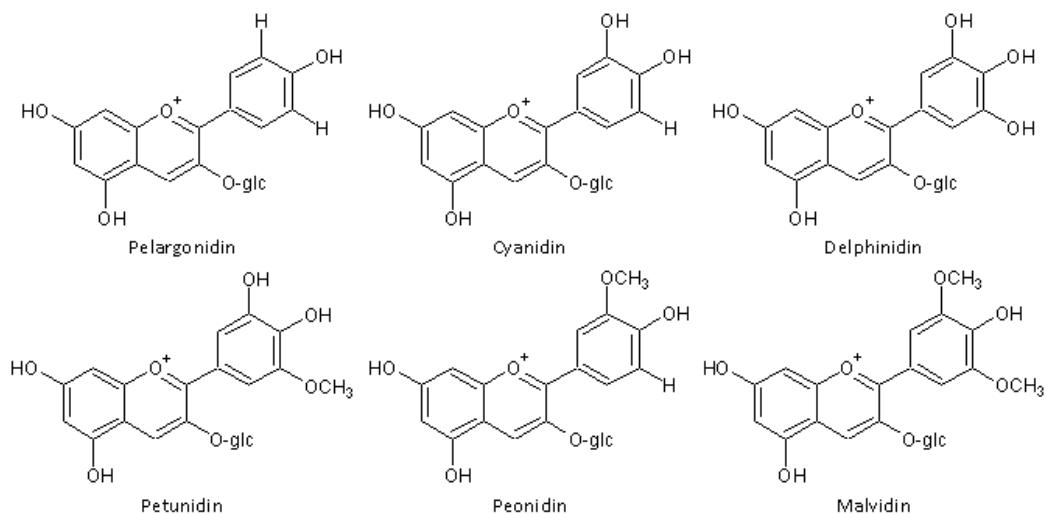
Dosud bylo identifikováno 23 bazických antokyanidinů (aglykonů) a šest nejčastějších v rostlinách jsou pelargonidin, kyanidin, peonidin, delphinidin, petunidin a malvidin. V přírodě byly identifikovány tisíce antokyanových sloučenin, jejichž struktury se liší s ohledem na typ a počet přítomných cukrů, organických kyselin a fenolických kyselin (Kim et al. 2012).

Mnoho nedávných výzkumů prokázalo, že antioxidační potenciál antokyanů brambor je určen současně třemi strukturálními faktory antokyanových molekul, tj. stupněm hydroxylace, acylací a glykosylací. Antioxidační aktivita kladně souvisí s počtem volných hydroxylových skupin antokyanidinových molekul, z čehož vyplývá, že petunidin má větší antioxidační účinky ve srovnání s malvidinem, peonidem nebo pelargonidem. Existují tři druhy fenolových kyselin acylující bramborové antokyany, a podle četnosti výskytu od nejvyšší po nejnižší, to jsou kyselina *p*-kumarová (tj. derivát kyseliny skořicové), kyselina ferulová a kyselina kávová. Bylo zjištěno, že glykosidové substituce na pozici C3 nebo C5 antokyanidinů snižují antioxidační aktivitu antokyanů (Zhao et al. 2009).

Ve většině výzkumů kompozice antokyanů v *Solanum tuberosum* L. se uvádí převaha acylovaných antokyanů v odrůdách pigmentovaných brambor. Tyto antokyany jsou zajímavé pro účely barvení potravin, protože vykazují neškodnost a zvýšenou stabilitu pH. Například antokyany z červených brambor jsou v zájmu zkoumání jakožto alternativy k syntetickým barvivům. Plody obsahující antokyany (např. borůvky, ostružiny, jahody atd.) mají velmi vysoké koncentrace pigmentů; spotřebovávají se však ve velmi malém množství a jsou obvykle drahé. Zelenina bohatá na antokyany (brambory, mrkev, cibule) tak může mít několik výhod, protože jsou méně nákladné, spotřebovávají se častěji, ve velkých množstvích a mohou být snadno a dlouho skladovány (Šulc et al. 2017).

Hlavním cílem nedávných studií je šlechtění hlíz brambor se zvýšenými hladinami fenolových sloučenin a antokyanů, a tedy bramborám s modifikovanými a zlepšenými antioxidačními schopnostmi. Nadměrná exprese DNA kódující dihydro-flavonol 4-reduktázu by mohla vést ke zvýšení obsahu celkových antokyanů (TAC) v hlízách a až ke čtyřnásobnému zvýšení petunidinu a pelargonidinu (Lachman et al. 2012).

Barevné brambory navíc obsahují více než dvojnásobné množství fenolových kyselin ve srovnání se žlutými nebo bílými bramborami (Zhao et al. 2009).



Obrázek 4 - Chemické struktury vybraných antokyanů

4.3.1 Obsah antokyanů

Antokyanidiny (aglykony) jsou přítomny v bramborových hlízách převážně ve svých glykosylovaných formách jako antokyanany. Petunidin-3-(kafeyl)-rutinosid-5-glukosid, petunidin-3-(*p*-kumaroyl)-rutinosid-5-glukosid a malvidin-3-(*p*-kumaroyl)-rutinosid-5-glukosid byly nalezeny hlavně v purpurových bramborách, zatímco pelargonidin-3-rutinosid-5-glukosid, pelargonidin-3-(*p*-kumaroyl)-rutinosid-5-glukosid, pelargonidin-3-(feruloyl)-rutinosid-5-glukosid a peonidin-3-(*p*-kumaroyl)-rutinosid-5-glukosid byly obsaženy v červených kultivarech. V jiné studii se potvrzují stejné obsahy; tedy brambory s červenou dužninou obsahují pelargonidin a peonidin, zatímco purpurové brambory obsahují petunidin a malvidin. Oproti tomu jiné studie označily obsahy acylovaných glykosidů pelargonidinu v červených odrůdách, zatímco purpurové brambory měly navíc acylované glykosidy malvidinu, petunidinu, peonidinu a delphinidinu.

Ačkoliv je množství antokyanidinů v jednotlivých kultivarech značně odlišné, lze usuzovat, že v průměru v červených a purpurových bramborách byl nejhojnějším antokyanidem petunidin (46,9 %), následovaný malvidinem (22,8 %), pelargonidem (22,1 %), cyanidem (5,38 %), peonidem (2,74 %) a delphinidem (0,15 %). Brambory s barevnou dužninou mají stejné množství antokyanů, jaké se nachází v červeném zelí, červené cibuli nebo jahodách (Šulc et al. 2017).

Obecně bramborové slupky obsahují podstatně více fenylypropanoidů ve srovnání s vnitřní hmotou. Acylované antokyanové pigmenty tvoří více než 98 % celkových antokyanů v hlízách brambor (Burgos et al. 2013).

Identifikace těchto sloučenin je však možná pouze pomocí pokročilé hmotnostní spektrometrie. Ještě důležitější je, že kvantifikace složitějších antokyanů je téměř vždy relativní, protože analytické standardy nejsou k dispozici. Intenzita antioxidační aktivity antokyanů brambor vyplývá ze synergického účinku všech těchto obsažených pigmentů (Lachman et al. 2009).

Obsah celkových antokyanů (TAC) ze vzorků osmi barevných kultivarů ze čtyř rozdílných lokalit byl stanoven na 248,5 až 2257,8 mg/kg sušiny a potvrdil se silný vliv šlechtění na obsah celkových antokyanů. Rozdíly mezi TAC u každého druhu byly ve většině případů statisticky významné. Nejvyšší TAC byl zjištěn v kultivarech Violette (2257,8 mg/kg sušiny) a Vitelotte (2065,6 mg/kg sušiny), jenž mají temně fialové barvy hlíz (Lachman et al. 2012).

Obsahy fytonutrientů v bramborách jsou ovlivněny růstovou fází rostliny, teplotou a dalšími faktory, zatímco hnojení N-P-K nemá na obsah těchto sloučenin téměř žádný vliv. Zpravidla platí, že čím vyšší obsah antokyanů je v hlízách, tím sytější je jejich barva. Vysoké koncentrace fenylypropanoidů v mladých hlízách jsou způsobeny vysokou aktivitou enzymu PAL (fenylalanin amonium lyáza) a také zvýšenými koncentracemi sacharózy, glukózy a fruktózy, které jsou nejvyšší u nezralých hlíz. Ukázalo se, že obsah sacharózy v hlízách je do jisté míry schopný modulovat syntézu antokyanů (Šulc et al. 2017).

Testy potvrdily, že hladiny antioxidantů v červených nebo purpurových bramborách byly dvakrát až třikrát vyšší než u bílých nebo žlutě zbarvených brambor; studie šlechtění s pigmentovanými bramborami a liniemi transgenních rostlin brambor jsou nyní prováděny s cílem získat klony obsahující vysoké hladiny antokyanů (Lachman et al. 2012).

4.3.2 Význam antokyanů v lidské výživě a jejich přínos pro zdraví člověka

Fialové a červené hlízy odrůd brambor jsou novinkou, která je pro spotřebitele poměrně atraktivní. Kromě exotické barevnosti hlíz vykazují takto zbarvené odrůdy ve srovnání s bělomasými kultivary třikrát až čtyřikrát vyšší obsah fenolových sloučenin. Antokyanany,

barevně zřetelné i pouhým okem, jsou vedle kyseliny chlorogenové nejvýznamnější skupinou fenolických sloučenin přítomných v barevných hlízách brambor. Lze tvrdit, že brambory s vyššími obsahy antokyanů mají potenciál předcházet některým nemocem a pozitivně ovlivňovat zdraví člověka (Šulc et al. 2017).

Vzhledem k tomu, že antokyany vykazují celou řadu biologických aktivit, podíl těchto látek na lidské zdraví je v současné době předmětem zkoumání mnoha studií. Pro tyto účely jsou prováděny *in vivo* a *in vitro* výzkumy (Eichhorn & Winterhalter 2005).

V závislosti na konzumovaném kultivaru údaje naznačují, že denní spotřeba 100 g brambor (která se blíží světovému průměru 94 g/obyvatel/den v roce 2013) by mohla pokrýt 40 až 104 % odhadovaného denního příjmu antokyanů na udržení dobrého zdraví. Antokyany jsou významní činitelé v boji proti různým typům onemocnění, zahrnující obezitu, kardiovaskulární choroby, diabetes a neurodegenerativní poruchy (Šulc et al. 2017).

Studie ukázaly, že tyto fytochemikálie vykazují vysokou aktivitu v zachycování volných radikálů, což pomáhá snižovat riziko chronických onemocnění a degenerace nervové soustavy související s věkem (Lachman et al. 2009). Chrání lidské buňky před poškozením volnými radikály a zabraňují oxidaci LDL cholesterolu (Lachman et al. 2012).

Antokyany se svou antioxidační a protizánětlivou aktivitou mají též silný protinádorový účinek, jsou také schopny indukovat inhibici buněčné proliferace, zasahovat do buněčného cyklu a ovlivňovat apoptózu ve specifických rakovinových buňkách (Kim et al. 2012).

Výsledky výzkumů z posledních let předběžně potvrzují, že antokyany z brambor vykazují značný potenciál v boji proti čtyřem druhům rakoviny s různými, a ne zcela pochopenými mechanismy.

Za prvé, bramborové antokyany mohou inhibovat růst buněčné linie leukémie lidských erytrocytů. Bylo zjištěno, že antokyany z purpurových hlíz odrůdy „Yunshite 035“ a červených hlíz odrůdy „Yunshite 038“ značně inhibují růst buněčné linie leukémie lidských erytrocytů, což naznačuje možnost, že by mohly být využívány jako nový druh přírodních antileukemických léčiv.

Za druhé, bramborové antokyany mohou zastavit proliferaci buněk rakoviny žaludku indukci jejich apoptózy. Antokyany z červených brambor „Inca Red“ a purpurových brambor „Inca Purple“ způsobují apoptózu u kultivovaných buněk lidského žaludku. Krmení dušenými červenými a purpurovými bramborami potlačilo proliferaci rakoviny žaludku myši o 46,2 resp. 38,5 % a krmení 1% roztokem antokyanů z červených a purpurových odrůd brambor se standardním krmivem byla proliferace potlačeno o 47,6 resp. 38,1 %, což ukazuje na jejich účinnost v boji s rakovinou žaludku.

Za třetí, bramborové antokyany jsou toxické pro buňky karcinomu prostaty. Antokyanové frakce barevných brambor vykazovaly silné antiproliferační vlastnosti rakovinných buněk.

A za čtvrté, bramborové antokyany mohou poskytovat ochranu proti rakovině prsu. U karcinomu prsu vedly antokyany červených odrůd brambor „Mountain Rose“ ke snížení nejen výskytu rakoviny, ale také četnosti rakoviny. Inhibice karcinogeneze může souviset se synergickými účinky antokyanů a jiných antioxidantů, např. derivátů kyseliny chlorogenové.

Antokyany z červené odrůdy „Inca Red“ inaktivují jak virus chřipky A, tak B. Mají prokazatelné antivirové účinky. Antokyany extrahované z fialových hlíz mají hepatoprotektivní účinky proti hepatotoxicitě vyvolané D-galaktosaminem (Zhao et al. 2009). Pozitivní vliv antokyanů na lidské zdraví byl podpořen několika dalšími studiemi (Kita et al. 2013).

Vynikající antioxidační účinek antokyanů barevných odrůd brambor se projevuje hlavně v profilu celkových antokyanů a jejich obsahu. Několikrát bylo podpořeno tvrzení, že hladiny antioxidantů v bramborách červených nebo fialově zbarvených byly dvakrát až třikrát vyšší než v bramborách bílých/žlutých.

Antioxidačním působením jsou antokyany schopny chránit lidský organismus před škodlivým působením volných radikálů a tím poskytují různé zdravotní výhody, jako je zachování kardiovaskulárního zdraví, prevence rakoviny, zpomalení makulární degenerace sítnice a další nemoci související se stárnutím (Zhao et al. 2009).

4.3.3 Vliv tepelného zpracování na obsah antokyanů

Vzhledem k antioxidačním aktivitám hlíz odrůd červených a fialových brambor se nutriční průmysl seriózně zajímá o použití produktů z těchto brambor do různých potravinových přípravků (Lachman et al. 2012).

Brambory jsou konzumovány vařené, dušené, smažené, pečené nebo se používají pro výrobu ethanolu (Šulc et al. 2017). Procesy vaření ovlivňují nejen fyzikální vlastnosti, ale také chemické složení potravin. Příspěvek všech potravin k celkovému dennímu příjmu antokyanů také závisí na množství konzumované potravy. Například průměrný příjem borůvek, brusinek a lilku ve Spojených státech se odhaduje na méně než 1 g/den, zatímco průměrný příjem brambor v některých oblastech, jako je peruánská vysočina, kde jsou brambory základním pilířem stravování, mohou dosáhnout více než 500 g/den (včetně pigmentovaných kultivarů).

Konečnou fází v příjmech antokyanů tvoří jejich biologická dostupnost. Cukrové zbytky a acylové skupiny mohou významně ovlivnit biologickou dostupnost a stabilitu antokyanů. Výzkum týkající se biologické dostupnosti různých antokyanů v bramborách i jiných potravinách je nutný k posouzení jejich úlohy ve stravě (Lachman et al. 2009).

Vliv způsobů tepelného zpracování na jednotlivé odrůdy vykazoval mírně snížený, konstantní nebo dokonce mírně zvýšený obsah antokyanů, ať už pečením, mikrovlnným ohřevem, vařením v páře nebo vařením ve vodě. Studie prokazují, že vaření a mikrovlnný ohřev jsou šetrnější způsoby tepelného zpracování než smažení nebo pečení na výsledný obsah antokyanů. U pigmentovaných brambor však tepelné zpracování průměrně nezpůsobilo žádné změny v obsahu fenolových kyselin, zatímco antokyany vykazovaly menší pokles (16–29 %). Důležitými faktory ovlivňujícími fyzikální a biochemické vlastnosti jsou optimalizace tepelných úprav brambor (Lachman et al. 2012).

Studie ukazují, že obsah celkových antokyanů (TAC) byl naměřen u syrových bramborových hlíz vyšší než u bramborových hlíz vařených. Hodnota TAC se pohybovala v rozmezí od 253 do 2 357 mg/100 g u syrových brambor a v rozmezí od 284 do 1 814 mg/100 g u brambor vařených (Burgos et al. 2013).

Vliv smažení na obsah antokyanů v bramborách záleží na odrůdách. V červených kultivarech se pohyboval pokles antokyanů kolem 40-60 %, což je nižší než u odrůd fialových, kde se ztráty antokyanů pohybovaly okolo 50-80 % (Kita et al. 2013).

4.4 Karotenoidy

Karotenoidy jsou významnou skupinou přírodních organických pigmentů, které se přirozeně vyskytují v chloroplastech a chromoplastech fotosyntetických organismů, jako jsou rostliny, řasy a některé houby a bakterie. Plní dvě klíčové role v rostlinách a řasách: absorbují světelnou energii při fotosyntéze a chrání chlorofyl před jeho světelným rozkladem.

Karotenoidy jsou syntetizovány v plastidech z isoprenoidů a mohou být rozděleny na karoteny (např. lykopen, β -karoten), které obsahují pouze uhlíkové a vodíkové skupiny, a xantofyly (např. lutein, zeaxanthin a β -kryptoxantin), jenž jsou jejich okysličenými deriváty (Hejtmánková et al. 2013). Karotenoidy sdílejí stejnou tetraterpenoidní strukturu se 40 atomy

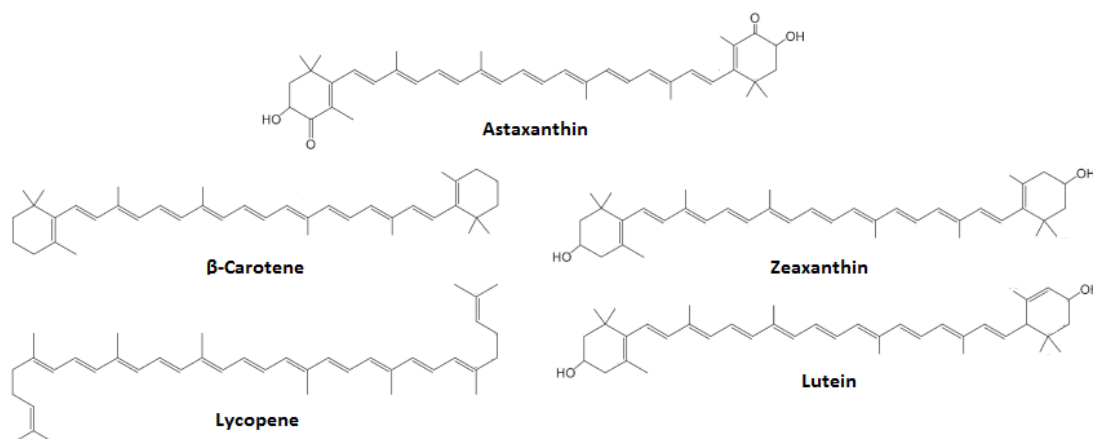
uhlíku, dlouhý konjugovaný řetězec dvojných vazeb ve středu molekuly a blízkou podobnost kolem centrální dvojně vazby (Lachman et al. 2016).

Hlavními karotenoidy brambor jsou xantofyly. Chrání buňky před poškozením způsobeným UV zářením. V několika studiích byla prokázána koncentrace karotenoidů v hlízách brambor, které uvádí violaxanthin, lutein-5,6-epoxid a lutein jako převládající karotenoidy, zastoupení zeaxantinu bylo velmi nízké (Burgos et al. 2012).

Karotenoidy jsou efektivní antioxidanty s pozitivními účinky na zdraví, jako je aktivita provitaminu A, podpora imunitního systému, redukce kardiovaskulárních onemocnění a rakoviny nebo prevence proti ateroskleróze. Vyšší konzumace karotenoidů může spotřebitele ochránit, a proto se v současné době projevuje značný zájem při screeningu a šlechtění zemědělských plodin se zvýšenými koncentracemi celkových karotenoidů.

Hlízy brambor jsou považovány za důležitý zdroj bioaktivních sloučenin, které jsou vysoce žádoucí ve stravě, i když koncentrace různých fytochemikálií jsou ovlivňovány vařením a dalšími procesy zpracování (Lachman et al. 2016).

Barva hlíz brambor konvenčních odrůd závisí na obsahu a složení karotenoidů (Burmeister et al. 2011) a intenzita hlíz žluté barvy pozitivně koreluje s celkovým obsahem karotenoidů. Veškeré karotenoidy, přibližně 50 sloučenin, vykazují aktivitu provitaminu A. Jedním z nejdůležitějších a nejrozšířenějších provitaminů A je β -karoten, avšak v bramborách bylo β -karotenu nalezeno pouze malé množství (Hejtmánková et al. 2013).



Obrázek 5 - Chemické struktury vybraných karotenoidů

4.4.1 Obsah karotenoidů

Předchozí publikace vyvozují, že bramborové hlízy by mohly být pravidelným zdrojem karotenoidů. Největší množství karotenoidů v bramborových hlízách se nachází ve slupkách. Obsah karotenoidů je ovlivněn kultivarem, lokalitou pěstování a počasím (Lachman et al. 2016).

V další studii byl popsán β -karoten-5,6,5',6'-diepoxid, lutein, lutein-5,6-epoxid a 9-*cis*-violaxanthin jako hlavní karotenoidy u odrůd *S. tuberosum*. Méně zastoupeny byly neoxanthin a β -karoten.

V jiné studii byl zjištěn 9-*cis*-violaxanthin, antheraxanthin, lutein a zeaxanthin jako hlavní sloučeniny a neoxanthin, β -kryptoxanthin a β -karoten jako minoritní sloučeniny.

V původních odrůdách *S. phureja* byl přítomen 9-*cis*-violaxanthin, antheraxanthin, lutein, zeaxanthin a β -karoten. Analýza kultivaru *S. phureja* Chaucha přinesla výsledky s potvrzeným obsahem neoxanthinu vedle jiných karotenoidů v těchto hlízách (Burmeister et al. 2011).

Nedávné poznatky naznačují, že obsahy jednotlivých karotenoidů jsou alespoň částečně stanoveny aktivitou štěpících karotendioxygenáz. Ve slupkách hlíz byly zjištěny vyšší hladiny celkových karotenoidů s maximálními hodnotami 28 mg/kg sušiny, respektive 9 mg/kg v sušině vnitřní hmoty. Žlutomasé tetraploidní kultivary měly vyšší obsah karotenoidů než odrůdy se světlejší barvou. Koncentrace karotenoidů v některých diploidních odrůdách brambor byly až 22krát vyšší než u brambor bělomasých.

Rozlišení mezi bělomasými a žlutomasými odrůdami lze dosáhnout stanovením a porovnáním obsahu celkových karotenoidů.

V dalším experimentu bylo zjištěno, že celkový obsah karotenoidů pro všechny zkoumané kultivary se pohyboval od 0,50 do 15,5 mg/kg sušiny, i když většina vzorků měla méně než 10,0 mg/kg sušiny, s průměrnou hodnotou přibližně 4,35 mg/kg sušiny. 50 % DDD vitamínu A však lze uspokojit konzumací 250 g obohacených geneticky upravených brambor denně (Lachman et al. 2016).

Různé typy xantofylů vykazují různé koncentrace v různých odrůdách brambor. Hlavní karotenoid byl lutein ve všech analyzovaných kultivarech brambor (54–93 %); ve většině zkoumaných vzorků bylo nalezeno množství violaxanthinu, neoxanthinu, zeaxanthinu a β -karotenu (Hejtmánková et al. 2013).

Významná a převažující množství zeaxanthinu a anteraxanthinu se nachází v bramborách s tmavě žlutou dužninou, zatímco violaxanthin, anteraxanthin, lutein a zeaxanthin jsou zastoupeny v bramborách se světle žlutou dužninou a violaxanthin, lutein a β -karoten se nachází u brambor s bílou dužninou (Burgos et al. 2012).

Analýza karotenoidů ukázala podobné kvalitativní složení pro všechny kultivary brambor, přičemž byly identifikovány následující látky: *trans*-neoxanthin, 9'-*cis*-neoxanthin, *trans*-violaxanthin, 9-*cis*-violaxanthin, anteraxanthin, lutein-5,6-epoxid, *trans*-lutein, 9-*cis*-lutein, 13-*cis*-lutein, *trans*- β -kryptoxanthin a *trans*- β -karoten. Dvě skupiny pigmentů byly rozděleny na částečně (monoestery dihydroxyxantofylů) a zcela esterifikované karotenoidy (monoestery monohydroxyxantofylů a diestery dihydroxyxantofylů).

Je potřeba zdůraznit nedostatek zeaxanthinu ve všech vzorcích, na rozdíl od jiných studií, které uvádějí, že zeaxanthin je ve většině analyzovaných kultivarů brambor hlavním karotenoidem. V jiné studii se uvádí, že žluté odrůdy vykazují mnohem vyšší průměrný celkový obsah karotenoidů (26,2 mg/kg sušiny) ve srovnání s bramborami červenými/fialovými (5,69 mg/kg sušiny). Žlutým kultivarům dominoval anteraxanthin, zatímco neoxanthin byl hlavní karotenoid v odrůdách červenomasých/fialomasých brambor.

Lokalita pěstování a vyšší průměrné roční teploty mají jasný pozitivní vliv na obsah karotenoidů v hlízách (Lachman et al. 2016).

4.4.2 Význam karotenoidů v lidské výživě a jejich přínos pro zdraví člověka

Karotenoidy mají široké spektrum funkcí, zejména ve vztahu k lidskému zdraví a jejich role biologických antioxidantů (Burgos et al. 2012), proto jsou důležitou složkou ve stravě a pro zdravý životní styl (Leong & Oey 2012).

Vyšší živočišné nejsou schopni biosyntézy karotenoidů, takže tyto pigmenty jsou přijímány stravou. Aktivita provitamínu A je schopnost karotenoidů vytvářet vitamín A (retinol a retinal) působením karotendioxygenázy. Jakýkoliv karotenoid obsahující alespoň jeden

nemodifikovaný β -iononový kruh může být štěpen za vzniku provitamínu A. Aktivní karotenoidy provitamínu A zahrnují β -karoten, α -karoten, γ -karoten a β -kryptoxanthin.

Ačkoliv je aktivita provitamínu A hlavní funkcí karotenoidů, významnou roli při prevenci určitých typů rakoviny, kardiovaskulárních onemocnění a makulární degenerace sítnice hraje silná antioxidační aktivita karotenoidů prostřednictvím vychytávání a deaktivací volných radikálů.

Kromě toho hrají karotenoidy důležitou roli v buněčných a organelárních pochodech. β -karoten inhibuje expresi zánětlivých genů v makrofágách stimulovaných lipopolysacharidech s možnou pozitivní úlohou proti obezitě. Obecně se karotenoidy podílejí na embryonálním vývoji, mezibuněčné komunikaci, formování imunity, buněčné diferenciaci, metabolismu kostí, antiangiogenezi, antiproliferaci, hematopoéze, zdraví kůže, apoptóze, dobrém vidění a protizánětlivému účinku (Lachman et al. 2016).

Na začátku 80. let minulého století si vědci začali všimnout antioxidační aktivity β -karotenu zejména na základě pozorovacích studií na pokusných zvířatech, ze kterých vyplynulo, že vyšší konzumace ovoce a zeleniny s obsahem β -karotenu a jiných karotenoidů vedlo k podstatnému snížení rizika rakoviny a kardiovaskulárních chorob (Haila 1999).

Brambory obsahují mnoho důležitých fytochemikálií, proto by měly tvořit podstatnou část naší každodenní stravy. Je třeba rozvíjet a hodnotit různé pigmentované potraviny na bázi brambor, zejména s ohledem na antioxidační kapacitu a další zdravotní výhody, jež plynou z jejich pravidelné konzumace (Ezekiel et al. 2013).

4.4.3 Vliv tepelného zpracování na obsah karotenoidů

Karotenoidy jsou považovány za náchylné k degradaci během zpracování. Například epoxidové karotenoidy brambor jsou velmi citlivé na většinu tepelných příprav. V jiných studiích bylo prokázáno, že zatímco epoxykarotenoidy byly poměrně citlivé, lutein a uhlovodíkové karotenoidy, jako je β -karoten, přežily tepelné zpracování. Studie, která hodnotila vliv vaření na koncentraci karotenoidů u tří odrůd brambor, zjistila ve vzorcích pouze lutein a uvedla, že koncentrace luteinu nebyla ovlivněna vařením (Burgos et al. 2012).

Novější studie, která analyzovala koncentraci karotenoidů v čerstvých a vařených hlízách čtyř odrůd brambor uvádí, že tepelným zpracováním se přeměnily všechny *trans*-karotenoidy na *9-cis* a *13-cis* isomerní formy nebo byly degradovány (Burmeister et al. 2011).

Jelikož karotenoidní profily a koncentrace v bramborách korelují s intenzitou žluté barvy (Burgos et al. 2012), byly vybrány světle žluté, středně žluté a tmavě žluté odrůdy, aby se určil účinek vaření na celkové a individuální koncentrace karotenoidů. Zeaxanthin a anteraxanthin byly převládajícími karotenoidy v odrůdách s tmavě žlutou dužninou. Vařením se významně snížily koncentrace violaxanthinu a anteraxanthinu ve všech hodnocených odrůdách. Koncentrace luteinu a zeaxanthinu ve vařených hlízách některých hodnocených odrůd byla však vyšší než u syrových hlíz. Bylo potvrzeno, že celkový obsah karotenoidů ve vařených bramborách je nižší než u syrových brambor, avšak v jiných kulinářských úpravách nebyl pozorován významný rozdíl (Lachman et al. 2016). Pečení a vaření bramborových hlíz ve slupce se osvědčilo jako dobrý způsob, jak v nich uchovat více živin (Ezekiel et al. 2013).

Izomerizační a oxidační reakce při zahřívání karotenoidů mohou způsobit malé ztráty. Byl zaznamenán průměrný pokles o 9,7 % ve vařených bramborách, které byly vařeny po dobu 12 minut.

V jiné studii se potvrdilo tvrzení, že koncentrace luteinu a zeaxanthinu ve žlutomasých bramborách se zvýšila po vaření v páře a mikrovlnném záhřevu. Dospělo se k závěru, že napařováním (3–5 min), mikrovlnným záhřevem (1,5–5 min) a varem (9 min) nedojde ke snížení koncentrací luteinu a že v mnoha případech se karotenoidy stanou dostupnějšími po vaření, neboť se varem poruší buněčné struktury a může dojít ke snadnějšímu uvolnění karotenoidů (Burgos et al. 2012).

Koncentrace luteinu v syrových hlízách se pohybovala v rozmezí 3,27–9,50 mg/kg sušiny a oproti tomu ve vařených hlízách byly naměřeny hodnoty 3,89–9,50 mg/kg sušiny. Tyto nejvyšší naměřené hodnoty jsou však nižší než nejvyšší koncentrace luteinu, které byly naměřeny v jiných experimentech. Koncentrace zeaxanthinu se pohybovaly od stopových množství až po více než 40,0 mg/kg sušiny, v syrových i vařených hlízách žlutomasých odrůd.

Co se týče β -karotenu, dva světle žluté kultivary vykazovaly vyšší koncentraci ve vařeném stavu oproti čerstvým hlízám a tmavě žluté a žlutohnědé odrůdy měly po uvaření nižší koncentrace β -karotenu. Koncentrace β -karotenu v syrových a vařených hlízách se pohybovala v rozmezí od 0 po více než 1,20 mg/kg sušiny. V jiné studii bylo naměřeno rozdílné rozmezí obsahu β -karotenu a to 0,42–2,19 mg/kg sušiny.

U brambor s fialovou dužninou se kulinářským zpracováním snížily celkové obsahy karotenoidů, vařením o 20,2 %, pařením o 34,9 % a pečením o 52,0 %. Mikrovlnným ohřevem, smažením, smažením v horkovzdušné fritéze a smažením ve woku se obsahy snížily o 66,3; 75,7; 72,0 a 76,2 %. Dále je uvedeno, že varem se snížily celkové karotenoidy o 92 % ve srovnání s pečením (o 88 %) u brambor žlutých, purpurových nebo červených. Lutein byl nejstabilnější karotenoid vzhledem k tepelnému zpracování (snížení o 24–43 %) následovaný β -karotenem (snížení o 78–83 %); další karotenoidy byly degradovány téměř úplně.

Vaření obecně způsobuje snížení obsahu karotenoidů. Vařením ve vodě nebo smažením v oleji se sníží karotenoidy v důsledku účinku vyšších teplot a lipofilních vlastností karotenoidů. V některých případech jsou však během vaření protein-xantofylové agregáty disociovány, což umožňuje detekovatelné zvýšení obsahu karotenoidů ve vařených bramborách (Lachman et al. 2016). Je zapotřebí dalšího výzkumu, který by prozkoumal způsoby, jak lze snížit ztráty fytochemikálií a zvýšit jejich stabilitu (Ezekiel et al. 2013).

Biodostupnost karotenoidů z rostlinných potravin je ovlivněna strukturou a formou karotenoidů, složením a uvolňováním z potravy, absorpcí ve střevním traktu a biochemickými přeměnami, jakožto i zdravím spotřebitele (Burgos et al. 2012).

Biodostupnost luteinu a zeaxanthinu ve žlutomasých hlízách se pohybovala od 76–82 % pro lutein a od 24–55 % pro zeaxanthin. Jiný výzkum odhaduje, že biologická dostupnost luteinu a zeaxanthinu v bramborách se žlutou dužninou se pohybovala v rozmezí 33–71 %, respektive 51–71 %. Biodostupnost karotenoidů z brambor je mnohonásobně zvýšena, pokud se brambory konzumují s jedlými tuky (Lachman et al. 2016).

4.5 Vitamín C

Kyselina askorbová je jedním z důležitých vitamínů rozpustných ve vodě. Je nezbytná pro biosyntézu kolagenu, karnitinu a neurotransmiterů. Systematický název kyseliny askorbové je 2-oxo-L-threo-hexono-1,4-lakton-2,3-endiol. Kyselina askorbová působí jako kofaktor pro enzym dopaminhydroxylázu, který katalyzuje přeměnu neurotransmiteru dopaminu na norepinefrin. Kyselina askorbová je tedy nezbytná pro syntézu katalytických echolaminů. Kromě toho kyselina askorbová katalyzuje další enzymatické reakce zahrnující amidaci nezbytnou pro maximální aktivitu hormonů oxytocinu, vazopresinu, cholecystokininu a alfa-melanotropinu.

Většina rostlin a živočichů je schopna samostatné biosyntézy vitamínu C, výchozí sloučeninou pro syntézu je D-glukóza nebo D-galaktóza. Opice a lidé však nemohou syntetizovat kyselinu askorbovou kvůli nedostatku enzymu gulonolakton oxidázy. Proto musí být kyselina askorbová přijímána stravou (Naidu 2003).

Existují dvě hlavní formy vitamínu C: kyselina L-askorbová (AA) a kyselina L-dehydroaskorbová (DHAA); nicméně termíny vitamín C a kyselina askorbová jsou často používány jako synonyma.

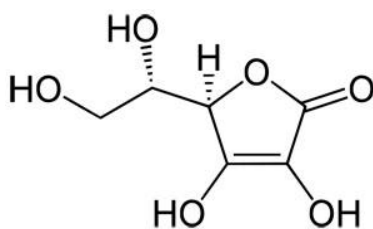
Jako antioxidant hraje AA důležitou roli v ochraně před oxidačním stresem. Je důležitým lapačem volných radikálů, jako jsou reaktivní druhy kyslíku, které mohou způsobit poškození tkáňových struktur v důsledku peroxidace lipidů, patologických změn v DNA a nukleových bází. Kromě toho, díky své účasti na oxidaci iontů přechodných kovů, hraje AA také významnou úlohu při zvyšování biologické dostupnosti nehemového železa (Burgos et al. 2009).

Kyselina askorbová byla poprvé izolována z přírodních zdrojů a charakterizována její chemická struktura Szent-Gyorgyim, Waughem a Kingem. Tento vitamín byl nejprve syntetizován Haworthem a Hirstem. V současné době je kyselina askorbová nejrozšířenějším vitamínovým doplňkem na světě. Přírodní i syntetická kyselina askorbová je chemicky identická a nejsou známy žádné rozdíly v jejich biologických aktivitách nebo biologické dostupnosti (Naidu 2003).

Brambory jsou hlavním zdrojem AA v západním světě z důvodu jejich časté konzumace. AA je hlavní biologicky aktivní forma, ale kyselina dehydroaskorbová (DHA) také vykazuje biologickou aktivitu, protože může být snadno přeměněna na AA v lidském těle. Ve studiích se proto měří obsah jak AA, tak DHA (Tudela et al. 2002).

Kyselina askorbová přítomná v potravinách je biologicky dostupná a snadno absorbována aktivním transportem ve střevě. Většina AA (80–90 %) bude absorbována, pokud je dávka 100 mg/den, zatímco při vyšších hladinách (500 mg/den) účinnost absorpce kyseliny askorbové rychle klesá. Kyselina askorbová je citlivá na vzduch, světlo, teplo a je snadno zničena dlouhodobým skladováním a tepelným zpracováním (Naidu 2003).

Kyselina askorbová je hlavní, přirozeně se vyskytující inhibitor enzymatického hnědnutí brambor (Hamouz et al. 2007). Akumulace AA v hlízách může zabránit tvorbě melaninu, a tak vést k menší diskoloraci krájeného povrchu (Tudela et al. 2002).



Obrázek 6 - Kyselina askorbová

4.5.1 Obsah vitamínu C

Obsah vitamínu C v bramborách závisí na několika faktorech, včetně skladování a tepelného zpracování hlíz (Tudela et al. 2002).

Dalšími studiemi bylo potvrzeno, že obsah kyseliny askorbové v hlízách se také odvíjí od zralosti hlíz během sklizně, metody odběru vzorků a taktéž podmínkách prostředí, za kterých byly brambory pěstovány.

Byly zjištěny významné rozdíly v obsahu vitamínu C v rámci testovaných odrůd. Koncentrace kyseliny askorbové (AA) v čerstvě sklizených syrových loupaných hlízách se pohybovala v rozmezí od 22,2 do 121,4 mg/100 g sušiny (DW), a od 6,5 do 36,9 mg/100 g čerstvé hmotnosti (FW). Sto gramů čerstvě sklizených vařených brambor by zhruba mohlo pokrýt DDD vitamínu C pro dospělého člověka ze 17-20 % (Burgos et al. 2009).

V další studii měla odrůda Marabel nejvyšší obsah AA (207,2 mg/kg FW) a převýšila svým obsahem dalších sedm testovaných kultivarů o 15–49 %.

Negativní vliv na obsah AA v hlízách byl pozorován v případě zvýšené intenzity hnojení N (při 180 kg N/ha byl naměřen pokles AA o 6,1 % ve srovnání s hnojením dávkou 100 kg N/ha). Naopak příznivý efekt byl pozorován při zvýšeném hnojení draslíkem a hořčíkem (při 166 kg K/ha a 60 kg Mg/ha bylo stanoveno zvýšení AA o 6,2 % ve srovnání s hladinami 108 kg K/ha a 30 kg Mg/ha).

Vysoké teploty vzduchu během vegetačního období příznivě stimulovaly akumulaci vitamínu C v hlízách raných odrůd brambor (Hamouz et al. 2007).

4.5.2 Význam vitamínu C v lidské výživě a jeho přínos pro zdraví člověka

Kyselina askorbová (AA) je silným antioxidantem, imunomodulátorem, má antiaterogenní a antikarcinogenní účinky, zamezuje nachlazení atd (Naidu 2003).

Doporučená denní dávka vitamínu C (DDD) se pohybuje v rozmezí od 25 do 45 mg v závislosti na věku. Na základě dostupných biochemických, klinických a epidemiologických studií se však předpokládá, že DDD by měla být alespoň 100–120 mg pro dospělé, aby se vlivem působení vitamínu C snížilo riziko onemocnění srdce, mrtvice a rakoviny u zdravých jedinců (Burgos et al. 2009).

Nedostatek kyseliny askorbové vede ke kurdějím. Kurděje jsou charakterizovány oteklými krvácejícími dásněmi, suchou kůží, otevřenými ranami na kůži, únavou, zhoršeným hojením ran a depresí. V současné době je nedostatek vitamínu C vzácným jevem. Stres, kouření, alkoholismus, horečky nebo virové infekce způsobují rychlý pokles hladin kyseliny askorbové v krvi.

Údaje z výzkumů *in vivo* neprokazují jasný vztah mezi přebytkem kyseliny askorbové a tvorbou ledvinových kamenů, jak bylo předpokládáno. Řada klinických a epidemiologických studií o antikarcinogenních účincích kyseliny askorbové u lidí neprokázala žádné přesvědčivé příznivé účinky na různé typy rakoviny s výjimkou karcinomu žaludku. V poslední době bylo na rakovinných buňkách testováno několik derivátů kyseliny askorbové, z nichž estery kyseliny askorbové vykazovaly slibnou protinádorovou aktivitu ve srovnání s čistou AA. Bylo zjištěno, že askorbyl stearát inhibuje proliferaci lidských rakovinových buněk tím, že interferuje s progresí buněčného cyklu, indukuje apoptózu modulací signálních transdukčních drah. Pro pochopení a objasnění molekulárního mechanismu, který je základem antikarcinogenních vlastností kyseliny askorbové, je však zapotřebí více humánních studií *in vivo*.

Hlavními metabolity kyseliny askorbové u člověka jsou kyselina dehydroaskorbová, kyselina 2,3-dioxogulonová a kyselina šťavelová. Hlavní cestou eliminace kyseliny askorbové a jejích metabolitů je moč. Při vysokých dávkách se AA vylučuje beze změny. Kyselina askorbová je obecně netoxická, ale při vysokých dávkách (2–6 g/den) může způsobit gastrointestinální poruchy nebo průjem. Vedlejší účinky nejsou obecně závažné a lze je snadno

zvrátit snížením příjmu kyseliny askorbové. Kromě toho neexistují žádné konzistentní a přesvědčivé údaje o závažných zdravotních účincích vitamínu C na člověka (Naidu 2003).

4.5.3 Vliv tepelného zpracování a skladování na obsah vitamínu C

Někteří autoři popsali značné snížení obsahu AA při vaření a skladování brambor, přičemž ztráty se značně liší podle způsobu tepelného zpracování a podle délky skladování (Hamouz et al. 2007)

Protože lidé konzumují pouze tepelně upravené brambory, a protože je známo, že AA je náchylná k degradaci při kulinářských procesech, byl studován vliv tří způsobů vaření (vaření ve vodě, pečení a mikrovlnný ohřev) na její obsah. U všech zkoumaných odrůd se vlivem vaření ve vodě snížil obsah AA v menší míře než vlivem pečení nebo mikrovlnného ohřevu. U jiných druhů zeleniny, jako je brokolice, květák nebo špenát je nejšetrnější k retenci vitamínu C mikrovlnný ohřev. Tento rozdíl je vysvětlován tak, že během měření obsahů AA byly použity neloupané brambory, zatímco ostatní jmenovaná zelenina byla přímo vystavena horké vodě při vaření.

Procento retence AA se pohybovalo v rozmezí od 53 do 97 % po vaření ve vodě, od 6 do 66 % po pečení v troubě a od 6 do 39 % po mikrovlnném zpracování. Podobné výsledky potvrdily další studie. Mimoto záleží na přípravě hlíz před tepelným zpracováním, tj. loupání brambor, způsob krájení a další (Burgos et al. 2009).

Pozoruhodné snížení AA bylo pozorováno při zpracování hranolků a bramborových lupínků. Pro budoucí optimalizaci zpracování brambor se zdá, že postupy pro praní a blanšírování jsou pro ztráty vitamínu C nejkritičtější. Následné smažení potvrdilo další ztráty. Bramborové lupínky vykazovaly nejvyšší ztráty po krájení a praní. Během zpracování byly celkové ztráty AA u hranolků asi 52 % a u bramborových lupínků asi 26 %. Tepelná degradace AA je méně výrazná pro hranolky, protože teplota uvnitř hranolků během smažení není větší než 100 °C. Oproti tomu výroba bramborových lupínků, kde brambůrky prochází vyššími teplotami, vede k pozoruhodné tepelné degradaci AA a odpovídajícímu zvýšení DHA. Samotná DHA je nestabilní při fyziologických hodnotách pH a spontánně a enzymaticky delaktonizuje na kyselinu 2,3-diketogulonovou (2,3-DKG) (Haase & Weber 2003).

Nicméně, ve starší studii byl pozorován neobvyklý nárůst kyseliny askorbové při krájení hlíz na bramborové plátky a hranolky a jejich následné skladování. Až 300% nárůst AA z původní hodnoty byl zaznamenán při krájení bramborových plátků, které pak byly skladovány po dobu 2 dnů při teplotě 23 °C. Podobné zvýšení obsahu vitamínu C (o 250 %) bylo pozorováno u bramborových hranolek a jejich stejných podmínkách skladování. Tendence zvyšování obsahů je vysvětlována „zraněním“ hlíz během zpracování a jejich následné krátké uskladnění (Tudela et al. 2002).

Je dobře známo, že AA je citlivá na vzduch, teplo a vodu a může být snadno zničena dlouhodobým skladováním. U všech odrůd se zjistilo, že koncentrace AA klesá s rostoucí dobou skladování. Procento retence po 26 týdnech skladování (relativní vlhkost mezi 58–79 % a teplota mezi 12–15 °C) se pohybovalo od 22,0 do 61,6 % u odrůd, které vykazovaly nejvyšší koncentrace AA po sklizni. Podobné procentní podíly retence byly hlášeny v jiných studiích (Burgos et al. 2009).

Obecně se obsah vitamínu C během prvních 3 měsíců skladování snižuje o 30–45 % a kultivary s vysokým počátečním obsahem AA vykazují při dlouhodobém skladování větší ztráty než hlízy s nižším počátečním obsahem. Časná sklizeň má navíc za následek vyšší obsah kyseliny askorbové, zatímco pozdní sklizeň má za následek rozsáhlejší postupné snižování obsahu. Čerstvé brambory zachovávají svůj původní obsah AA do 6 dnů skladování při teplotě 4 °C (Tudela et al. 2002).

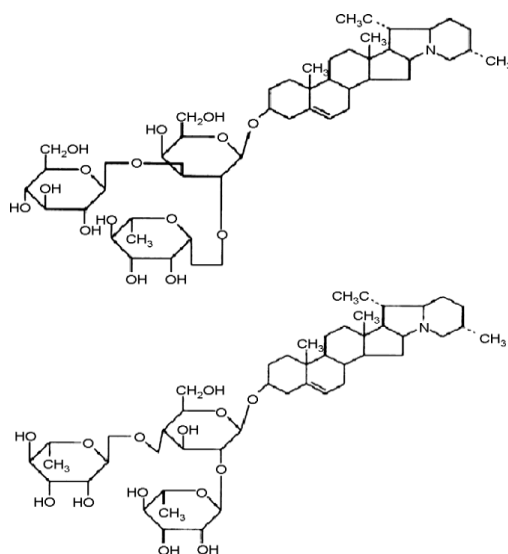
5 Obsah glykoalkaloidů a kalysteginů

5.1 Glykoalkaloidy

Jako jedna z hlavních zemědělských plodin se brambory denně konzumují lidmi z různých koutů světa. Produkty globálního významu, hlízy brambor, však obsahují toxické glykoalkaloidy (GA), které sporadicky způsobují propuknutí otrav u lidí, stejně jako mnoho náhlých úmrtí hospodářských zvířat (Korpan et al. 2004).

Glykoalkaloidy jsou složky běžných odrůd brambor a v malých množstvích přispívají k typické bramborové chuti. Větší množství ovšem činí chuť brambor hořkou a může způsobit zdravotní problémy (Knuthsen et al. 2009). Úloha GA v bramborách je vysvětlována jejich ochrannou funkcí proti houbám, hmyzím škůdcům a býložravcům (Ruprich et al. 2009).

Hlavními glykoalkaloidy, jež můžeme nalézt v rostlinách brambor jsou α -chakonin a α -solanin, jež tvoří 95 % veškerých glykoalkaloidů (Knuthsen et al. 2009).



Obrázek 7 - α -solanin; α -chakonin

5.1.1 Obsah glykoalkaloidů v bramborách

Glykoalkaloidy se nacházejí ve všech částech rostliny brambor. Celkové obsahy glykoalkaloidů (TGA) zjištěných v analyzovaných vzorcích brambor byly nižší než 200 mg/kg, což je hodnota, která byla považována za bezpečnou pro lidskou spotřebu (Machado et al. 2007). Analýza literatury dokazuje, že GA, přírodní složky brambor, jsou jednoznačně toxické jak pro lidi, tak pro zvířata. GA koncentrace 200 mg/kg v bramborách určených pro lidskou spotřebu je v mnoha zemích přijímána jako bezpečná. Mnozí autoři berou v potaz pouze účinky

akutní/subakutní, avšak chronické přijímání GA velmi často neberou v úvahu, proto se lze domnívat, že přijímaná hodnota 200 mg/kg by měla být důkladněji prostudována s ohledem na možné negativní dopady chronického užívání (Korpan et al. 2004).

Nejvyšší koncentrace glykoalkaloidů byly zaznamenány v zelených částech brambor a v klíčících bramborách. V rámci hlíz je koncentrace glykoalkaloidů nejvyšší ve slupce a těsně pod ní, celkové hladiny obecně klesají s rostoucí velikostí hlíz; nicméně, úrovně jsou podřízené velkým rozdílům mezi kultivary (Knuthsen et al. 2009). Obsah glykoalkaloidů se může v různých kultivarech brambor značně lišit a biosyntéza glykoalkaloidů může být silně stimulována environmentálními faktory, jako je světlo, mechanické poškození a teplota při skladování. Syntéza glykoalkaloidů v důsledku vystavení světla může nastat buď během růstu, při sklizni nebo během skladování. Několik autorů prokázalo, že koncentrace GA bramborových hlíz vystavených světlu se může zvýšit dvakrát až třikrát. Bylo prokázáno, že akumulace glykoalkaloidů v bramborových hlízách může být také významně ovlivněna spektrálním složením světelného zdroje (Machado et al. 2007).

Množství glykoalkaloidů nalezené v hlízách brambor obecně spadalo do dvou kategorií: ≤ 100 mg TGA/kg nebo 100–200 mg TGA/kg. Bylo zjištěno, že α -chakonin měl relativně vyšší zastoupení v hlízách oproti α -solaninu. Obsah drtivé většiny vzorků se pohyboval od 45 do 167 mg TGA/kg. Zkoumání glykoalkaloidů v bramborách ukázalo, že jen velmi málo vzorků brambor (pouze 3 z 386 vzorků) obsahovalo více než 200 mg TGA/kg (Knuthsen et al. 2009). Obsah glykoalkaloidů se obecně vyjadřuje jako obsah celkových glykoalkaloidů (TGA) na kg, vypočítaný jako součet α -chakoninu a α -solaninu, často nazývaný stroze jako obsah „solaninu“. Tepelné úpravy mají jen malé účinky na obsah glykoalkaloidů brambor, ale odstraněním slupky před vařením může snížit obsah v syrovém bramboru. Obsah TGA komerčních odrůd brambor je obvykle nižší než 200 mg/kg, podle některých studií se jedná o bezpečné hladiny pro lidskou spotřebu. Některé země s vyšší roční spotřebou brambor na obyvatele zkoumají obsahy solaninu v bramborách a obecně doporučují pouze 100 mg TGA/kg v nově vyšlechtěných odrůdách (Knuthsen et al. 2009).

Loupání brambor snižuje obsah GA. Vařením se obsahy GA jen málo snižují. GA jsou prakticky nerozpustné ve vodě a tepelně stabilní. Například bod tání α -solaninu je v rozmezí 190–285 °C. Tato skutečnost ovšem neznamená, že během zpracování (jiného než loupání) nedochází ke ztrátám GA. Ztráty byly pozorovány i během krájení, praní a blanšírování oloupaných brambor (Ruprich et al. 2009).

5.1.2 Chemická struktura glykoalkaloidů brambor

Glykoalkaloidy (GA) jsou steroidní glykosidy se stejnou steroidní strukturou, ale odlišnou glykosidovou kompozicí (cukry). Z celkového obsahu GA v komerčně dostupných bramborách je 95 % reprezentováno α -solaninem (solanidin–glukóza–ramnóza–ramnóza) a α -chakoninem (solanidin–galaktóza–glukóza–ramnóza). Další kombinace mezi solanidinovým alkaloidem a molekulami cukru mohou být přítomny v malých množstvích: β -chakonin (solanidin–glukóza–ramnóza), c -chakonin (solanidin–glukóza), β_1 -solanin (solanidin–galaktóza–glukóza), β_2 -solanin (solanidin–galaktóza–ramnóza) a c -solanin (solanidin–galaktóza) (Ruprich et al. 2009).

Bramborové glykoalkaloidy sestávají z nepolárního lipofilního steroidního jádra, které je rozšířeno o dva kondenzované dusíkaté heterocyklické kruhy na jednom konci a navázané na polární ve vodě rozpustný trisacharid na druhé. Několik výzkumných studií prokázalo toxicitu steroidních alkaloidů, které mají být definovány nejen jejich koncentrací, ale také povahou a počtem molekul cukru (sacharidová skupina připojená ke skupině 3-OH aglykonu),

jako i jejich stereochemickou orientací. α -forma je toxičtější než β -forma, která je zase toxičtější než γ -forma (Korpan et al. 2004).

5.1.3 Vliv glykoalkaloidů na zdraví člověka

Steroidní alkaloidy (glykoalkaloidy) jsou sloučeniny teratogenní a genotoxické. Nedávný výzkum zjistil, že GA jsou zodpovědní za zvýšená rizika rakoviny mozku, prsu, plic a štítné žlázy (Korpan et al. 2004).

Toxicita glykoalkaloidů je výsledkem anticholinesterázové aktivity na centrální nervový systém a disrupce membrán nepříznivě ovlivňující trávicí systém a metabolismus celého těla. Experimenty *in vitro* ukázaly, že α -solanin a zvláště α -chakonin jsou silné cytotoxiny, které rychle indukují lýzu buněk. Cytotoxická účinnost bramborových glykoalkaloidů je značná, zejména v případě směsi α -solaninu a α -chakoninu, které jsou společně v synergii. Symptomy otravy glykoalkaloidy zahrnují bolesti břicha a žaludku, gastroenteritidu, průjem, zvracení, horečku, zrychlený puls, nízký krevní tlak a neurologické poruchy (Machado et al. 2007).

Nedávné studie buněčných kultur a experimentální studie na zvířatech prokázaly, že GA mohou nepříznivě ovlivnit intestinální permeabilitu. Expozice vyšším koncentracím GA může u člověka způsobit přetrvávání nebo zhoršení chronického onemocnění (např. nemoci střev) (Ruprich et al. 2009).

Údaje o toxicitě ze studií *in vitro* a ze studií na zvířatech potvrzují, že chakonin je nejtoxičtější alkaloidem brambor. Navíc potraviny obsahující GA podstatně mění reakci organismu na anestezii a určité typy léčiv z důvodu inhibice butyrylcholinesterázy a AChE (Korpan et al. 2004).

Silným faktorem, který ovlivňuje toxicitu GA na organismus, je individuální citlivost k těmto látkám. V extrémních případech jsou taktéž potvrzeny kardiotoxické účinky, ospalost, apatie, zmatenost, slabost, poruchy vidění, bezvědomí a smrt (Ruprich et al. 2009).

Farmakokinetické parametry docházejí k závěru, že jsou možné jak akutní, tak chronické účinky. Dosud nebyla stanovena hladina NOAEL a odvozený tolerovatelný denní příjem GA.

Výsledky studie dospěly k závěru, že syrové brambory, které jsou v současné době dostupné na evropském trhu s uvažovanou „bezpečnou“ hladinou GA (do 200 mg/kg), mohou vést k akutnímu příjmu vyšším než 1 mg GA/kg tělesné hmotnosti spotřebitelů a že chronický (obvyklý) příjem je pod hodnotou kritických účinků. Je stále nejasné, zda je toto hodnocení přesné, výskyt potvrzených otrav GA je nedostatečný, protože symptomy jsou velmi časté jako součást mnoha jiných nemocí. Je třeba rozsáhlejších výzkumů ke kvantitativnímu posouzení toxicity GA, doporučuje se shromáždit standardizované údaje o stravovacích zvyklostech spotřebitelů a přesné údaje o koncentracích GA v konzumovaných bramborách (Ruprich et al. 2009).

5.2 Kalysteginy

Kalysteginy jsou polyhydroxylované nortropanové alkaloidy, které byly poprvé objeveny v roce 1988 v rostlinách *Calystegia sepium*, *Convolvulus arvensis* a *Atropa belladonna*.

Alkaloidy byly nalezeny v kořenovém systému rostlin a zdá se, že poskytují zdroj uhlíku a dusíku pro určité prospěšné rhizosférické bakterie (Friedman & Levin 2016).

Biologická aktivita kalysteginů je spojena s jejich schopností inhibovat glykosidázy a blokovat metabolismus sacharidů. Inhibice glykosidáz může indukovat buněčnou toxicitu

prostřednictvím akumulace částečně katabolizovaných sacharidů v lysozomech (Binaglia et al. 2019).

Kalysteginy B₁ a C₁ jsou silnými inhibitory β-glukosidázy, zatímco B₂ je silným inhibitorem α-galaktosidázy. Jejich struktury byly objasněny v roce 1990. Následně byly nalezeny v bramborách stejně jako v několika dalších rostlinách čeledi *Solanaceae*, včetně lilku a rajčat. Uvádí se, že brambory obsahují primárně kalysteginy A₃ a B₂, i když bylo zjištěno i menší množství jiných kalysteginů.

V současné době je známo asi 14 těchto sloučenin, rozdělují se do skupin A (trihydroxynortropan), B (tetrahydroxynortropan) a C (pentahydroxynortropan) v závislosti na počtu hydroxylových skupin.

S rostoucím počtem hydroxylových skupin roste schopnost inhibice. Kalysteginy A tedy vykazují nízkou aktivitu jako glykosidázové inhibitory, kalysteginy B jsou více účinnější a kalysteginy C jsou velmi efektivní inhibitory glykosidáz. Schopnost kalysteginů inhibovat glykosidázy by mohla mít za následek různé poruchy a zdravotní potíže hospodářských zvířat i lidí. Na druhou stranu je tato vlastnost zkoumána za účelem léčení cukrovky, rakoviny nebo virových onemocnění.

Nortropanové alkaloidy jsou podobné tropanovým alkaloidům, jako je atropin vyskytující se v jiných rostlinách *Solanaceae*, ale postrádají substituci methylové skupiny na dusíku (Friedman & Levin 2016)

5.2.1 Obsah kalysteginů v bramborách

Podobně jako glykoalkaloidy se kalysteginy akumulují ve vyšších koncentracích ve výhoncích a slupkách než uvnitř hlíz. Na rozdíl od glykoalkaloidů se však nezdá, že by se koncentrace kalysteginů zvyšovaly v reakci na stresové podněty.

Zjistilo se, že koncentrace kalysteginů ve slupkách brambor byla 13krát vyšší než v nitru hlíz u pěti testovaných kultivarů. Předpokládá se, že existuje přímá vazba mezi odrůdou, obsahem cukrů a obsahem kalysteginů (Friedman & Levin 2016).

Nejvyšší koncentrace kalysteginů (1,6 % v sušině) byly zaznamenány v malých výhoncích brambor. V kořenech, kde se tvoří kalysteginy, může být jejich biosyntéza zvýšena rozpustnými cukry, přičemž nejúčinnější je sacharóza. Mezi velkými a malými hlízami nebyl zjištěn žádný konzistentní rozdíl v koncentraci kalysteginů (Richter et al. 2007).

5.2.2 Vliv kalysteginů na zdraví člověka

Dosud nebyly hlášeny žádné údaje o toxicitě kalysteginů u lidí. Skutečně nelze jednoznačně tvrdit, zda byly otravy bramborami v minulosti výsledkem toxicity glykoalkaloidů samotných nebo výsledkem kombinace glykoalkaloidů a kalysteginů (Friedman & Levin 2016).

Výsledky naznačují, že kalysteginy nejsou akutně toxické pro myši. Nebyla pozorována žádná mortalita po jednorázovém perorálním podání extraktu *Hyoscyamus albus* obsahující sedm různých kalysteginů do 2000 mg celkových kalysteginů/kg tělesné hmotnosti (Binaglia et al. 2019). Kalysteginy a jím podobné sloučeniny mají potenciál k léčebnému využití jako prostředky proti různým onemocněním, jako je rakovina, diabetes nebo bakteriální a virové infekce. Také mohou stimulovat imunitní systém. Mohou být použity k indukci změněných nebo neobvyklých stavů buněčného metabolismu pro studijní účely. Oligosacharidové glykoproteiny v buněčné stěně jsou zčásti vysoce specifické z důvodu působení glykosidázy, a tak změna jejich aktivity může poskytnout pohled na fungování buněčného metabolismu.

Kalysteginy A₃ a B₂ extrahované z brambor mají potenciál zabránit prudkému zvýšení hladin glukózy v krvi po jídle bohatém na sacharidy inhibicí trávicích glykosidáz, které štěpí komplexní sacharidy. Kalystegin B₂ a jeho izomery jsou účinnými inhibitory lidského lyzozomálního enzymu β -glukocerebrosidázy, který je spojen s příčinou Gaucherovy choroby, která způsobuje kosterní a neurologické poruchy.

Metastáze zhoubného nádoru byly spjaty se změnami N-vázaných oligosacharidových glykoproteinů, a proto existuje zájem o použití kalysteginů pro léčbu nebo studii rakoviny. Obal mnoha živočišných virů je tvořen glykoproteiny, které mohou být ohroženy působením inhibitorů glykosidázy. Nyní se zdá, že je zájem o syntézu nových léčiv založených na chemii kalysteginů (Friedman & Levin 2016).

6 Závěr

Bramborové hlízy by měly tvořit značnou část jídelníčku lidí po celém světě, pokud tomu ještě tak není. Jedná se o výborný zdroj komplexních sacharidů a vody. Značný je také obsah vlákniny, která se nachází především ve slupkách. V menší míře jsou zastoupeny kvalitní proteiny a téměř žádný tuk. Co je ovšem mnohem zajímavější, je obsah mikroživin. Kromě obsahu mnoha minerálů a vitamínů jsou v bramborách zastoupeny důležité sloučeniny. Jedná se souhrně o antioxidanty, které vykazují antioxidační aktivitu. Nejzastoupenější skupinou antioxidantů v hlízách brambor jsou celkové polyfenoly, kam se mimo jiné řadí antokyany, fenolické kyseliny a další. Značné pozornosti se dostává i obsahu karotenoidů a vitamínu C.

Svojí aktivitou jsou tyto sloučeniny schopny zachytávat volné radikály a regulovat tak oxidační stres. Vzhledem k tomu, že brambory jsou jedním z nejlepších zdrojů antioxidantů, se hlízy různých kultivarů významně podílí na prevenci mnoha degenerativních nemocí, jak bylo prokázáno řadou výzkumů. Podstatně se podílí na dobrém zdraví kardiovaskulárního systému, vykazují účinky protinádorové, protizánětlivé, antibakteriální, antialergické, antimutagenní, antivirové, také anticholesterolové a mnohé další.

Potenciál antioxidační aktivity se přímo odvíjí od kvalitativního a kvantitativního zastoupení antioxidantů v hlízách brambor. Hlízy různých odrůd brambor jsou různé zbarvené. Obecně platí, že netypicky zbarvené brambory (červené, fialové...) mají vyšší obsahy antioxidantů a tím pádem vykazují vyšší antioxidační aktivitu. Nejenom genotyp, potažmo odrůda, má vliv na obsah antioxidantů. Hladiny byly ovlivněny vnějšími faktory prostředí. Stresové faktory jsou pak dalším důvodem pro celkové vyšší obsahy antioxidantů. Z toho důvodu jsou organicky pěstované brambory jejich lepším zdrojem než komerční kultivary.

Obsah polyfenolů je ovlivněn zejména lokalitou pěstování, důležitými faktory jsou nadmořská výška, průměrná roční teplota, roční úhrn srážek a úrodnost půdy. Zejména pak nižší průměrné roční teploty jsou důvodem vyšších obsahů polyfenolů. Hladiny antokyanů a karotenoidů jsou ovlivněny hlavně kultivarem. Obsah kyseliny askorbové se odvíjí od mnoha vnějších faktorů, především od vlivu genotypu a pěstebních podmínkách. Platí, že ve slupkách se vždy nachází největší koncentrace všech druhů antioxidantů.

Brambory se vždy před konzumací tepelně upravují. Vlivem kulinařského zpracování hlíz se obsah antioxidantů spíše snižuje, ale může zůstat konstantní nebo se dokonce zvýšit. Platí, že nejhorším způsobem tepelného zpracování je smažení, v některých případech je nejpříjemnější způsob vaření ve vodě a někdy pečení. V každém případě by se konzument měl vyvarovat rozvaření nebo přesmažení brambor. Dlouhodobé skladování má obecně negativní vliv na retence antioxidantů.

Vzhledem k výborným antioxidačním aktivitám brambor, zejména fialových a červených, se dostávají brambory více do povědomí lidí jakožto velmi zdravý a hodnotný pokrm. Nutraceutický průmysl se zajímá o antioxidanty obsažených v hlízách, pěstitelé projevují snahu o vyšlechtění odrůd s vyššími obsahy antioxidantů, v neposlední řadě se antioxidanty z brambor testují jakožto nový typ doplňků stravy a léčiv, jež mohou mít zvláštní místo například při léčbě různých typů nádorů.

7 Literatura

- Akyol H, Riciputi Y, Capanoglu E, Caboni MF, Verardo V. 2016. Phenolic compounds in the potato and its byproducts: An overview. *International Journal of Molecular Sciences* **17**:1-19.
- Barba AA, Calabretti A, d'Amore M, Piccinelli AL, Rastrelli L. 2008. Phenolic constituents levels in cv. Agria potato under microwave processing. *LWT - Food Science and Technology* **41**:1919–1926.
- Binaglia M, Baert K, Schutte M, Serafimova R. 2019. Overview of available toxicity data for calystegines. *EFSA Journal* **17**:1–13.
- Burgos G, Amoros W, Muñoa L, Sosa P, Cayhualla E, Sanchez C, Díaz C, Bonierbale M. 2013. Total phenolic, total anthocyanin and phenolic acid concentrations and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes as affected by boiling. *Journal of Food Composition and Analysis* **30**:6–12.
- Burgos G, Amoros W, Salas E, Muñoa L, Sosa P, Díaz C, Bonierbale M. 2012. Carotenoid concentrations of native Andean potatoes as affected by cooking. *Food Chemistry* **133**:1131–1137.
- Burgos G, Auqui S, Amoros W, Salas E, Bonierbale M. 2009. Ascorbic acid concentration of native Andean potato varieties as affected by environment, cooking and storage. *Journal of Food Composition and Analysis* **22**:533–538.
- Burmeister A, Bondiek S, Apel L, Kühne C, Hillebrand S, Fleischmann P. 2011. Comparison of carotenoid and anthocyanin profiles of raw and boiled *Solanum tuberosum* and *Solanum phureja* tubers. *Journal of Food Composition and Analysis* **24**:865–872.
- Eichhorn S, Winterhalter P. 2005. Anthocyanins from pigmented potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties. *Food Research International* **38**:943–948.
- Ezekiel R, Singh N, Sharma S, Kaur A. 2013. Beneficial phytochemicals in potato - a review. *Food Research International* **50**:487–496.
- Friedman M, Levin CE. 2016. Glycoalkaloids and Calystegine Alkaloids in Potatoes. Pages 182-194 in Singh J and Kaur L, editors. *Advances in Potato Chemistry and Technology*:

Riddet Institute and Massey Institute of Food Science and Technology, Massey University, Palmerston North, New Zealand.

- Gao Y. 2014. Antioxidant Activities and Phenolic Acids in Different Raw and Boiled Potatoes and Sweet Potatoes [MSc. Thesis]. Louisiana State University, Baton Rouge.
- Haase NU, Weber L. 2003. Ascorbic acid losses during processing of French fries and potato chips. *Journal of Food Engineering* **56**:207–209.
- Haila K. 1999. Effects of Carotenoids and Carotenoid- Tocopherol Interaction on Lipid Oxidation In Vitro [Ph.D. Thesis] University of Helsinki, Department of Applied Chemistry and Microbiology, Helsinki.
- Halliwell B. 1989. Free radicals, reactive oxygen species and human disease: a critical evaluation with special reference to atherosclerosis. *British journal of experimental pathology* **70**:737–757.
- Hamouz K, Lachman J, Dvořák P, Dušková O, Čížek M. 2007. Effect of conditions of locality, variety and fertilization on the content of ascorbic acid in potato tubers. *Plant, Soil and Environment* **53**:252–257.
- Hamouz K, Lachman J, Hejtmánková K, Pazderů K, Čížek M, Dvořák P. 2010. Effect of natural and growing conditions on the content of phenolics in potatoes with different flesh colour. *Plant, Soil and Environment* **56**:368-374.
- Hejtmánková K, Kotíková Z, Hamouz K, Pivec V, Vacek J, Lachman J. 2013. Influence of flesh colour, year and growing area on carotenoid and anthocyanin content in potato tubers. *Journal of Food Composition and Analysis* **32**:20–27.
- Kalita D, Holm DG, Jayanty SS. 2013. Role of polyphenols in acrylamide formation in the fried products of potato tubers with colored flesh. *Food Research International* **54**:753–759.
- Kim HW et al. 2012. Anthocyanin changes in the Korean purple-fleshed sweet potato, Shinzami, as affected by steaming and baking. *Food Chemistry* **130**:966–972.
- Kita A, Bakowska-Barczak A, Hamouz K, Kułakowska K, Lisińska G. 2013. The effect of frying on anthocyanin stability and antioxidant activity of crisps from red- and purple-fleshed potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Food Composition and Analysis* **32**:169–175.

- Knuthsen P, Jensen U, Schmidt B, Larsen IK. 2009. Glycoalkaloids in potatoes: Content of glycoalkaloids in potatoes for consumption. *Journal of Food Composition and Analysis* **22**:577–581.
- Korpan YI, Nazarenko EA, Skryshevskaya I V., Martelet C, Jaffrezic-Renault N, El'skaya A V. 2004. Potato glycoalkaloids: True safety or false sense of security? *Trends in Biotechnology* **22**:147–151.
- Kumar S. 2011. Free Radicals and Antioxidants: Human and Food System. *Pelagia Research Library Advances in Applied Science Research* **2**:129–135.
- Kunwar A, Priyadarsini KI. 2011. Free radicals, oxidative stress, and antioxidants in human health and disease. *Journal of the American Oil Chemists' Society* **1**:53–60.
- Lachman J, Hamouz K, Orsák M, Kotíková Z. 2016. Carotenoids in potatoes - A short overview. *Plant, Soil and Environment* **62**:474–481.
- Lachman J, Hamouz K, Orsák M, Pivec V, Dvořák P. 2008. The influence of flesh colour and growing locality on polyphenolic content and antioxidant activity in potatoes. *Scientia Horticulturae* **117**:109–114.
- Lachman J, Hamouz K, Orsák M, Pivec V, Hejtmánková K, Pazderů K, Dvořák P, Čepl J. 2012. Impact of selected factors - Cultivar, storage, cooking and baking on the content of anthocyanins in coloured-flesh potatoes. *Food Chemistry* **133**:1107–1116.
- Lachman J, Hamouz K, Šulc M, Orsák M, Pivec V, Hejtmánková A, Dvořák P, Čepl J. 2009. Cultivar differences of total anthocyanins and anthocyanidins in red and purple-fleshed potatoes and their relation to antioxidant activity. *Food Chemistry* **114**:836–843.
- Leong SY, Oey I. 2012. Effects of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables. *Food Chemistry* **133**:1577–1587.
- Machado RMD, Toledo MCF, Garcia LC. 2007. Effect of light and temperature on the formation of glycoalkaloids in potato tubers. *Food Control* **18**:503–508.
- Mattila P, Hellström J. 2007. Phenolic acids in potatoes, vegetables, and some of their products. *Journal of Food Composition and Analysis* **20**:152–160.

- Naidu KA. 2003. Vitamin C in human health and disease is still a mystery? An overview. *Nutrition Journal* **2**:1-10.
- Noda N, Wakasugi H. 2000. Cancer and oxidative stress. *Journal of the Japan Medical Association* **124**:1571–1574.
- Perla V, Holm DG, Jayanty SS. 2012. Effects of cooking methods on polyphenols, pigments and antioxidant activity in potato tubers. *LWT - Food Science and Technology* **45**:161–171.
- Richter U, Sonnewald U, Dräger B. 2007. Calystegines in potatoes with genetically engineered carbohydrate metabolism. *Journal of Experimental Botany* **58**:1603–1615.
- Ruprich J, Rehurkova I, Boon PE, Svensson K, Moussavian S, Van der Voet H, Bosgra S, Van Klaveren JD, Busk L. 2009. Probabilistic modelling of exposure doses and implications for health risk characterization: Glycoalkaloids from potatoes. *Food and Chemical Toxicology* **47**:2899–2905.
- Rytel E, Tajner-Czopek A, Kita A, Aniołowska M, Kucharska AZ, Sokół-Łęćowska A, Hamouz K. 2014. Content of polyphenols in coloured and yellow fleshed potatoes during dices processing. *Food Chemistry* **161**:224–229.
- Šulc M, Kotíková Z, Paznocht L, Pivec V, Hamouz K, Lachman J. 2017. Changes in anthocyanidin levels during the maturation of color-fleshed potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *Food Chemistry* **237**:981–988.
- Tirzitis G, Bartosz G. 2009. Determination of antiradical and antioxidant activity: basic principles and new insights. *Acta Biochimica Polonica* **57**:139-142.
- Tudela JA, Espín JC, Gil MI. 2002. Vitamin C retention in fresh-cut potatoes. *Postharvest Biology and Technology* **26**:75–84.
- Wegener CB, Jansen G, Jürgens HU, Schütze W. 2009. Special quality traits of coloured potato breeding clones: Anthocyanins, soluble phenols and antioxidant capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **89**:206–215.
- Zhao CL, Guo HC, Dong ZY, Zhao Q. 2009. Pharmacological and nutritional activities of potato anthocyanins. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology* **3**:463–468.

8 Samostatné přílohy

Obrázek 1 - Kyselina chlorogenová (wikipedia.org).....	14
Obrázek 2 - Kyselina hydroxybenzoová (wikipedia.org).....	17
Obrázek 3 - Kyselina hydroxyskořicová (wikipedia.org).....	17
Obrázek 4 - Chemické struktury vybraných antokyanů (worldofmolecules.com).....	19
Obrázek 5 - Chemické struktury vybraných karotenoidů (worldofmoleculs.com)	23
Obrázek 6 - Kyselina askorbová (wikipedia.org)	27
Obrázek 7 - α -solanin; α -chakonin (researchgate.net).....	30

