

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



Jakon - možný zdroj antioxidantů

Bakalářská práce

Autor práce: Kateřina Buřilová

Obor studia: Výživa a potraviny

Vedoucí práce: Ing. Matyáš Orsák, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Jakon - možný zdroj antioxidantů" jsem vypracovala 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 autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 8. 7. 2020

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala všem, kteří se podíleli na vzniku mé bakalářské práce. Velké poděkování patří především mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Matyáši Orsákovi, Ph.D. za jeho čas, trpělivost a cenné rady při psaní této práce. Dále také paní Ing. Ivě Viehmannové, Ph.D. a panu prof. Dr. Ing. Eloy Fernández Cusimamani za jejich ochotu a poskytování užitečných informací při pěstování a sklizení plodiny jakonu.

Jakon - možný zdroj antioxidantů

Souhrn

Tato bakalářská práce se zaměřuje na jakon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp & Endl.), tradiční okopaninu Jižní Ameriky. Jakon není v jiných světadílech příliš známý, může být ale vhodnou alternativou ke zde tradičně konzumovaným okopaninám, a to nejen pro své nutriční vlastnosti, ale i pro příznivé účinky látek obsažených v jeho hlízách a listech na lidské zdraví.

První část práce se zabývá jak popisem jakonu a složením jeho hlíz a listů, tak jeho pěstováním, zpracováním a využitím v lidové andské medicíně. Hlavními zdravotními benefity konzumace hlíz jakonu je prebiotické působení speciálních forem sacharidů (fruktooligosacharidů a inulinu) ve střevech, které mohou příznivě ovlivňovat vstřebávání glukózy u diabetických i obézních pacientů, a obsah biologicky aktivních látek s antioxidačními účinky, mezi něž patří fenolické kyseliny. Ty jsou ve vyšší míře spolu s flavonoidy a seskviterpenovými laktony obsaženy i v listech jakonu. Kromě antioxidačních účinků tyto látky vykazují i antimikrobiální a protizánětlivé účinky; mohou tak mít vliv na snižování hladiny cholesterolu a glukózy v krvi a snížení rizika rakovinového bujení.

Náplní druhé části práce je podrobná analýza problematiky působení antioxidantů vůči volným radikálům (např. O_2^{\bullet} , HO^{\bullet} , HO_2^{\bullet} , NO^{\bullet} , NO_2^{\bullet} atd.), které se nachází v organismu. Příjem antioxidantů z potravy je důležitý, protože organismus v některých případech nedokáže zabránit vzniku oxidačního stresu pouze pomocí vlastního obranného antioxidačního systému. Nejznámější metody měření antioxidační aktivity látek získaných z potravy a jejich charakteristika jsou uvedeny ve třetí části bakalářské práce.

Jakon je v současnosti pro své pozitivní účinky na lidské zdraví předmětem mnoha vědeckých studií. V Evropě se pěstování jakonu může stát ekonomicky zajímavé, protože je možno zpracovávat relativně celou rostlinu a vyrábět tak více různých produktů atraktivních pro zákazníky.

Klíčová slova: ABTS, DPPH, hlízy, polyfenol, listy

Yacon - a possible source of antioxidants

Summary

This bachelor thesis focuses on yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp & Endl.), a traditional South American root crop. Yacon, not very well known in other continents, can be a suitable alternative to the root crops traditionally consumed here, not only for its nutritional value, but also for the health benefits of the substances contained in its tubers and leaves.

The first part of the thesis deals with the description of yacon and the composition of its tubers and leaves, as well as its cultivation, processing and use in folk Andean medicine. The merits of yacon tubers include both the prebiotic effect of special forms of carbohydrates (fructooligosaccharides and inulin) in the intestines which can favourably affect glucose absorption in diabetic and obese patients, and the content of biologically active substances with antioxidant effects, including phenolic acids. To a greater extent, these are also contained in yacon leaves, together with flavonoids and sesquiterpene lactones. In addition to antioxidant effects, all these substances also have antimicrobial and anti-inflammatory effects; they may facilitate lowering blood cholesterol and glucose levels and reducing the risk of cancer.

The second part of the work contains a detailed analysis of how antioxidants work against free radicals found in the human body (e.g. O_2^\bullet , HO^\bullet , HO_2^\bullet , NO^\bullet , NO_2^\bullet etc.). The intake of dietary antioxidants is important because in some cases the body can not prevent the development of oxidative stress using only its own defense antioxidant system. The best-known methods for measuring the antioxidant activity of substances obtained from food and their characteristics are mentioned in the third part of the bachelor's thesis.

Yacon is a little-known root crop which is currently the subject of many scientific studies due to its positive effects on human health. In Europe, growing yacon can become economically interesting because it is possible to process almost the whole plant and produce a variety of different products attractive to customers.

Keywords: ABTS, DPPH, tubers, polyphenol, leaves

Obsah

1 Úvod	8
2 Cíl práce	9
3 Literární rešerše	10
3.1 Jakon (<i>Smallanthus sonchifolius</i> Poepp & Endl.)	10
3.1.1 Taxonomie	10
3.1.2 Botanický a morfologický popis jakonu	11
3.1.2.1 Listy a květy	11
3.1.2.2 Hlízy	12
3.1.3 Pěstování a zpracování částí jakonu	12
3.1.3.1 Nároky jakonu na pěstování	12
3.1.3.2 Výsadba	13
3.1.3.3 Růst a vývoj	13
3.1.3.4 Zpracování hlíz	13
3.1.4 Chemické složení hlíz jakonu	13
3.1.4.1 Sacharidy	14
3.1.4.2 Fenolické látky	15
3.1.5 Chemické složení listů jakonu	19
3.1.5.1 Organické kyseliny	20
3.1.5.2 Seskviterpenové laktony	20
3.1.5.3 Flavonoidy	21
3.1.6 Přínosy pro zdraví	23
3.1.6.1 Rakovina tlustého střeva	24
3.1.6.2 Cukrovka	24
3.1.6.3 Obezita	25
3.2 Antioxidanty a volné radikály	26
3.2.1 Volné radikály	26
3.2.1.1 Vznik volných radikálů	26
3.2.1.2 Reaktivní formy kyslíku a dusíku	27
3.2.1.3 Škodlivé i pozitivní účinky radikálů a látek neradikálové povahy	30
3.2.2 Antioxidanty	32
3.2.2.1 Přírodní antioxidanty	32
3.2.2.2 Syntetické antioxidanty	35
3.2.2.3 Antioxidační ochrana organismu	36
3.3 Metody stanovení antioxidační aktivity	37

3.3.1	TAEC (metoda používající ABTS).....	37
3.3.2	Metoda používající DPPH	38
3.3.3	ORAC	38
3.3.4	FRAP	38
4	Závěr	39
5	Literatura.....	40

1 Úvod

V dnešní době je na trzích vysoká poptávka po tzv. funkčních potravinách. Jedná se o potraviny, které kromě nutričních hodnot příznivě přispívají k fyzickému či duševnímu zdraví, přináší tedy konzumentovi pozitivní zdravotní efekt.

Jakon je vytrvalá rostlina pocházející z území Jižní Ameriky, která se mezi funkční potraviny řadí. Pěstuje se pro své šťavnaté kořenové hlízy, které obsahují biologicky aktivní látky, jako například fenolické sloučeniny s antioxidačními účinky nebo specifické formy sacharidů. Tyto látky mohou na organismus fyziologicky působit nad rámec základních výživových funkcí, čímž může dojít ke snížení rizika chronických onemocnění nebo k jinému preventivnímu vlivu. Z jakonu se dále využívá jeho listů, které jsou taktéž bohaté na zdraví prospěšné látky, konkrétně s antioxidačními účinky v lidském organismu.

Tyto látky tedy lidé přijímají ve formě potravy, ale mnoho biologicky aktivních látek vzniká přirozeně ve vlastních buňkách a tkáních. Existují ochranné mechanismy v organismech založené na působení těchto látek, které se snaží předcházet, potlačovat nebo alespoň mírnit onemocnění vzniklá nerovnováhou mezi vznikem a potlačením škodlivých látek. Zde ale také záleží na kondici, imunitě i genové výbavě jedince, a proto je příjem těchto pozitivně působících látek důležitý.

2 Cíl práce

Cílem práce bylo v první řadě zjistit, zda jakon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) obsahuje přírodní látky s antioxidačními vlastnostmi (antioxidanty), a dále diskutovat, zda je obsah těchto látek vyšší v listech než v hlízách jakonu. Dále bylo mým úkolem zjistit a uvést možnosti použití jakonu v lidovém léčitelství, a zdali je založeno na vyšším obsahu antioxidačně působících látek. Nakonec byly popsány metody, které lze využít pro stanovení antioxidantů, antioxidační aktivity či kapacity.

3 Literární rešerše

3.1 Jakon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp & Endl.)

Jakon patří mezi tradiční okopaninu andského pohoří, která se pěstovala již za předindických dob. Původně se tato plodina vyskytovala v horských oblastech Bolívie a Peru ve výškách od 1000 do 3770 m n. m., dnes se pěstuje i v ostatních státech ležících v oblasti And (Fernández et al. 2010). V Bolívii a Peru je známý pod různými názvy: yacón, llakjum (Quechua), aricama (Aymara), v Ekvádoru jako jícama nebo yacón, v Kolumbii arboloco a jiquimilla, ve Venezuele jíquima a jikimilla a v oblasti severní Argentiny (Jujuy, Salta) jako llacjon a llag'on (Fernández et al. 2005).

Hojně se jakon pěstoval za doby Inků, kdy byl považován za nedílnou součást potravy a sloužil dokonce jako symbol při náboženských obřadech. Označoval se také za léčivou rostlinu používanou v lidové medicíně, což platí dodnes (Singh 2012). Listy jakonu jsou totiž bohaté na fenolické sloučeniny s antioxidačními účinky (Valentová et al. 2006) a hlízy jakonu jsou složeny převážně z fruktooligosacharidů, které mají pozitivní vliv na zdraví člověka (Fernández et al. 2006). Jelikož se nejedná o náročnou plodinu, co se týká nadmořské výšky, druhu půdy i klimatu, začal se jakon pěstovat i v jiných oblastech světa - Brazílie, Japonsko, Nový Zéland, Rusko, USA. V České republice se pěstuje od roku 1994 a i v dnešní době se zde udržují jeho klony (Fernández et al. 2010).

3.1.1 Taxonomie

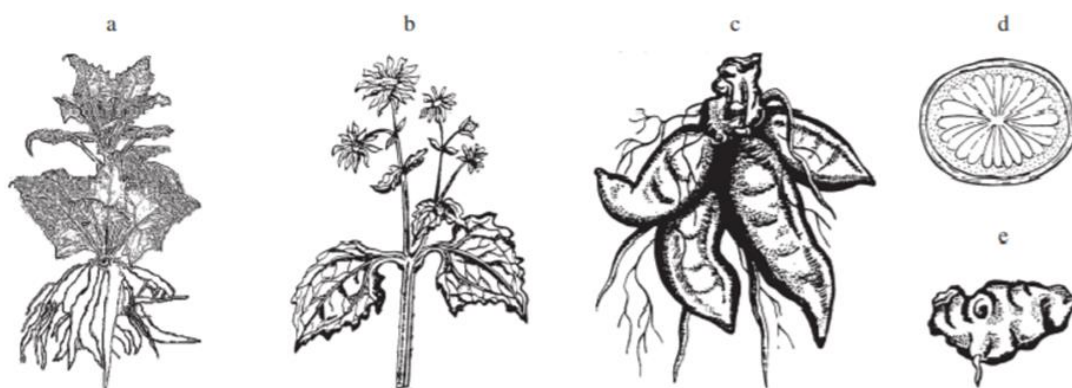
Jakon byl dříve řazen k rodu *Polymnia*, ale už kolem roku 1933 padl návrh o přeřazení mezi rod *Smallanthus* - čeleď hvězdnicovité (*Asteraceae*, *Heliantheae*). V roce 1978 ho Robinson znovu objevil a od té doby se primárně používá toto nové zařazení - *Smallanthus sonchifolius* (Poepp & Endl.). Starší název *Polymnia sonchifolia* je brán jako synonymum, ale rovněž může být nalezen pod názvem *Polymnia edualis* (Valentová et al. 2001). Taxonomie jakonu navržená podle taxonomické klasifikace Cronquisty a Meza je znázorněna v Tab. 1 (Singh 2012).

Tab. 1 - Taxonomie jakonu (Singh 2012).

Říše	<i>Plantae</i>
Podříše	<i>Embryobionta</i>
Oddělení	<i>Magnoliophyta</i>
Třída	<i>Magnoliopsida</i>
Podtřída	<i>Asteridae</i>
Řád	<i>Asterales</i>
Čeleď	<i>Asteraceae</i>
Podčeleď	<i>Asteroides</i>
Kmen	<i>Helianthae</i>
Podkmen	<i>Melampodiinae</i>
Rod	<i>Smallanthus</i> Meckenzie
Druh	<i>Smallanthus sonchifolius</i> (Poepp. & Endl.) H. Robinson

3.1.2 Botanický a morfologický popis jakonu

Jakon patří mezi vytrvalé byliny, jehož výška může dosáhnout až 3 metrů v andských podmínkách, v České republice dorůstá většinou do výšky 1,45 metru. Skládá se z nadzemních i podzemních stonků, přičemž každý stoněk má jinou úlohu. Svrchní stonky jsou bohatě rozvinuté, světle, ale i tmavě zelené, v menších případech purpurové, nejčastěji v počtu tří až pěti stonků na jednu rostlinu. Nesou na sobě trichomy a vstřícně postavené listy a stonky postranní přerůstají stoněk hlavní. Stonky podzemní vytvářejí dva různé typy hlíz. Jeden typ hlíz slouží rostlině k rozmnožování, druhý je zásobním orgánem. Právě pro ten se jakon pěstuje a následně slouží ke konzumaci (Fernández et al. 2010). Viz Obr. 1.



Obr. 1 - Jakon; a - celkový vzhled rostliny, b - nadzemní část, d - řez kořenovou hlízou, e - stonkové hlízy (Valentová et al. 2001).

3.1.2.1 Listy a květy

Jakon je velmi hustě olistěn tmavě i světle zelenými listy občas zbarvenými do fialova, nesoucími velké počty trichomů (viz Obr. 2). Mohou dorůstat do trojúhelníkovitého či šípovitého tvaru se zubatými okraji. Květenství tvoří drobné, žluté nebo oranžové úbory vyrůstající v latách na vrcholech lodyh. Objevují se dva typy květů, jak oboupohlavné uprostřed květenství, tak jazykovité samičí květy po obvodu rostliny. Plodem jsou černé nažky, asi 2 mm velké (Valentová et al. 2001).



Obr. 2 - Listy a květy (Ruben 2016).

3.1.2.2 Hlízy

Podzemní stonky produkují dva typy kořenů, jsou to stonkové a kořenové hlízy (viz Obr. 3). Stonkové hlízy neboli kaudexy slouží rostlině k vegetativnímu rozmnožování, je možné podle nich určit silné odrůdy s vysokými výnosy a dobrými vlastnostmi (Valentová et al. 2001). Vytvářejí očka, ze kterých po vyrašení vyrůstají nové rostliny. Jejich nejdůležitější funkcí je přijímat vodu a živiny z půdy pro správný růst rostliny (Fernández et al. 2010).

Kořenové hlízy zastávají funkci zásobní. Rostlina může vyprodukovat 5 až 20 masitých hlízovitých kořenů, které mohou dosahovat délky 25 centimetrů do šířky a 10 centimetrů do průměru. Vyznačují se větvenovitým, nepravidelným tvarem, který vzniká v důsledku kontaktu s půdními kameny nebo tlakem sousedních hlíz. Růst zásobních kořenů je způsoben proliferací parenchymatické tkáně zejména ve středním válci. Parenchym akumuluje cukry a pigmenty, které se pro určité skupiny klonů liší. Dužina hlíz může být bílá, krémová, bílá s fialovými pruhy, fialová, růžová i žlutá. Kůra neboli slupka je tenká asi 1-2 mm a mimo jiné obsahuje pryskyřičné kanálky s krystaly (Hermann & Heller 1997).



Obr. 3 - Kořenové a stonkové hlízy (Ruben 2016).

3.1.3 Pěstování a zpracování částí jakonu

3.1.3.1 Nároky jakonu na pěstování

Jakon je ochotný se velmi dobře přizpůsobit různým typům půd, ale pro nejlepší tvorbu kořenových hlíz potřebuje nejčastěji lehké půdy s vysokým obsahem organické hmoty, střední až větší hloubky a kvalitní drenáž. Jílovité půdy nejsou tolik vyhovující, může totiž docházet k deformaci hlíz. Pro pěstování se nejčastěji využívají půdy od kyselých po mírně zásadité. Ideální teplota je kolem 15 až 20 °C. Na podzim se musí dávat pozor na ranní mrazíky, protože teplota pod bodem mrazu může způsobit poškození nadzemních částí rostliny nebo i praskání kořenových hlíz. Důležitým prvkem pro růst jakonu je dostatečná zálaha k tvorbě biomasy i kořenových hlíz (Jůzl & Elzner 2014).

3.1.3.2 Výsadba

Pro výsadbu jsou potřebné celé stonkové hlízy (kaudexy), které se každým rokem po sklizni schovávají a neslouží ke konzumaci. Výsadba jakonu se přizpůsobuje dané oblasti. Záleží na klimatu, systému zavlažování, nadmořské výšce a poptávce na trhu. V oblastech s vyskytujícími se mrazy se jakon pěstuje pouze v období tepla, výsadba je většinou uskutečněna v květnu a sklizeň před prvními mrazíky na konci září. V ostatních případech se jakon pěstuje celoročně, výsadba se plánuje na září až říjen (Singh 2012).

3.1.3.3 Růst a vývoj

Jakon se pěstuje ve své oblasti původu hlavně v období dešťů. Není ale problém s vysazením i mimo tuto sezónu, protože přísun vody může být již zajištěn zavlažovacími systémy. Rostlina je schopná růstu i v nadmořské výšce okolo 3600 m n. m., ale nejlepší produkce kořenů je zaznamenána ve středních výškách mezi 1500 a 2000 metry. První výhonky jakonu se objevují kolem 30. až 50. dne po výsadbě. Během čtyř měsíců roste tak, aby okolo 170. dne rostlina dosahovala co nejlepší produkce stonků i listů. Poté se veškerá produkce strhává k vývinu a růstu kořenů. Reprodukční období jakonu začíná mezi šestým a desátým měsícem po výsadbě. Květy a počátek kvetení závisí na oblasti, kde se rostlina pěstuje, ale je známo, že v oblastech s nižší nadmořskou výškou vyžívají dříve. Po tomto období vývinu následuje období, ve kterém se zvyšuje obsah uhlovodíků v oddencích a kořenech. Hlízy by pak měly být sklizeny mezi začátkem kvetení výhonků a stárnutím (Silva et al. 2018).

3.1.3.4 Zpracování hlíz

Jakon má velký potenciál pro potravinářské využití. Hlízy jakonu lze konzumovat nejen syrové, vařené, ale také ve formě džemu, sirupu, octu, mouky, hranolek a šťávy. Pokud se dužina konzumuje syrová, je velmi šťavnatá a svěží. V Japonsku se hlízy zpracovávají k použití pro pekárenské výrobky, fermentované nápoje, lyofilizovaný prášek a další produkty. Celosvětová tržní hodnota prebiotik je v současné době vysoká, proto se jakon začíná využívat jako potravina v Japonsku, Jižní Koreji a na Tchaj-wanu a stává se známým i v západní Evropě a Severní Americe. Denní příjem 20 g fruktooligosacharidů se obecně považuje za bezpečný. Fruktooligosacharidy získaly status GRAS (všeobecně považovaný za bezpečný) uznaný FDA (Úřad pro kontrolu potravin a léčiv). Úřady pro bezpečnost potravin v Austrálii, na Novém Zélandu a v Evropě schválily prodej produktů z jakonu na svých trzích (Yan et al. 2019).

3.1.4 Chemické složení hlíz jakonu

Hlízy jakonu se v zemích původu (Jižní Amerika) konzumují jako čerstvé ovoce. Jsou šťavnaté, křupavé a relativně sladké (Khajehei et al. 2018).

Hlavní složkou hlíz je voda, která představuje 70 % čerstvé hmotnosti. Kvůli této skutečnosti mají hlízy nízkou energetickou hodnotu. Zbylých 30 % tvoří sušina, kde největší zastoupení mají sacharidy kolem 70-80 %. Na druhou stranu proteiny jsou zastoupeny jen v malém množství a to pouze 0,4 až 2 %, lipidy 1 % a popeloviny 2 % (Lachman et al. 2003).

Mikroživiny, jako jsou vápník, fosfor a železo, se v hlízách nachází v menším množství. Vitamíny jsou také důležitou složkou, nejvíce je obsaženo askorbové kyseliny a retinolu (de Almeida Paula et al. 2014). Přesnější hodnoty obsahu látek v hlízách jsou znázorněny v Tab. 2.

Tab. 2 - Obsah látek v hlízách (Valentová et al. 2001).

Složka	Množství [%]	složka	Množství [mg/100 g]
voda	93-70	vápník	23
proteiny	0,4-2	fosfor	21
sacharidy	12,60	železo	0,30
tuky	0,1-0,3	měď	0,96
popel	0,3-2	mangan	0,54
vláknina	0,3-1,7	zinek	0,67
		retinol	10
		thiamin	0,01
		askorbát	13,1
		karoten	0,02
		riboflavin	0,11
		niacin	0,34

3.1.4.1 Sacharidy

Sacharidy tvoří 70 až 80 % sušiny jakonu, z nichž nejvíce jsou zastoupeny fruktooligosacharidy (FOS), inulin a volné sacharidy (Lachman et al. 2004). Hlízy tedy ukládají sacharidy ve formě fruktanů, na rozdíl od většiny rostlinných hlíz v lidské stravě, které ukládají sacharidy ve formě škrobu. Fruktany s krátkým řetězcem jsou známy jako FOS (stupeň polymerace <9) a lineární fruktany s dlouhým řetězcem jako inuliny (stupeň polymerizace až 60). Obě dvě sloučeniny jsou složeny z β -D-fruktofuranosy spojené β -(1,2)-vazbou (Yan et al. 2019). Hlízy jakonu také významně obsahují volné sacharidy, mezi které patří fruktóza (3-22 % sušiny), glukóza (2-5 % sušiny) a sacharóza (Lachman et al. 2004).

Podíl monosacharidů a fruktooligosacharidů kolísá během růstového cyklu a po sklizni (Simonovska et al. 2003). Po sklizni dochází k chemickým změnám ve složení sacharidů. Polymerizované sacharidy mají tendenci depolymerizovat pomocí hydrolytických enzymů fruktanhydroláz na mono- a disacharidy, tedy fruktózu, glukózu a sacharózu. Po týdnu skladování při pokojové teplotě 25 °C se až 40 % fruktooligosacharidů přeměňují na jednodušší sacharidy. K minimalizaci těchto změn ve složení přispívá skladování přibližně při teplotě 4-10 °C (de Almeida Paula et al. 2014).

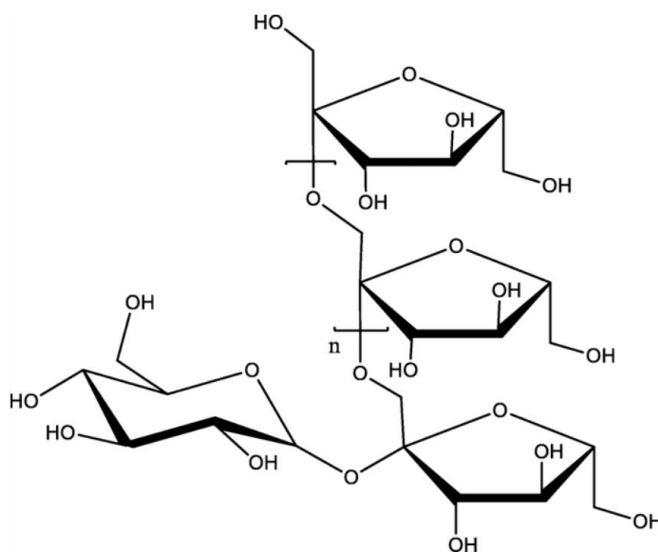
Fruktooligosacharidy

Fruktooligosacharidy představují hlavně oligosacharidy (od trisacharidů k dekasacharidům) vázané na koncovou sacharózu (Lachman et al. 2004). Jedná se o prebiotické, pro člověka nestravitelné sacharidy, díky kterým se hlízy jakonu postupně

stávají součástí stravy lidí trpících poruchami trávení. Také slouží jako prostředek pro redukci váhy. V tenkém střevě nedochází k jejich rozkladu a vstřebávání, proto se posouvají až do tlustého střeva, kde jsou metabolizovány probiotickými bakteriemi (*Lactobacilus*, *Bifidobacterium*) za vzniku mastných kyselin s krátkým uhlíkatým řetězcem (Alles et al. 2015; Yan et al. 2019). Rozštěpením fruktooligosacharidů na fruktózu se mohou získávat alternativní sladidla i doplňky stravy (Khajehei et al. 2018). Nejznámějším fruktooligosacharidem jakonu je ketóza, kterou tvoří jedna molekula glukózy a dvě molekuly fruktózy a nystóza skládající se z jedné molekuly glukózy a tří molekul fruktózy (Lachman et al. 2004).

Inulin

Přírodní polysacharid inulin (viz Obr. 4) je tvořen z 97 % fruktózou a ze 3 % glukózou. Od fruktooligosacharidů se odlišuje vyšším stupněm polymerace. Může dojít i k rozkladu inulinu na kratší fruktooligosacharidy (Fernández et al. 2010). Inulin bývá v potravinářském průmyslu používán jako nízkosacharidové sladidlo, dále se přidává do mléčných výrobků pro úpravu textury (Meyer et al. 2011). Podobně jako FOS podporuje funkce trávicí soustavy jako prebiotikum a přispívá k produkci butyrátu v tlustém střevě, což snižuje riziko rakoviny tlustého střeva a rakoviny prsu. Jeho nestravitelnost pro člověka má pozitivní dopad na koncentraci glukózy v krvi při konzumaci s jinými potravinami (Yan et al. 2019).



Obr. 4 - Struktura inulinu (Das et al. 2019).

3.1.4.2 Fenolické látky

Kromě sacharidů jsou hlízy bohaté na bioaktivní sloučeniny - fenolické sloučeniny s antioxidačními účinky, esterové deriváty, methylestery a glykosidy. Tyto sloučeniny se však vyskytují i v listech jakonu (Khajehei et al. 2018).

Fenolické sloučeniny jsou dominantní skupinou sekundárních metabolitů rostlin, které obsahují hydroxylové skupiny vázané na aromatické uhlovodíky. Na rozdíl od hlíz a kořenů dalších druhů rostlin, obsahují hlízy jakonu okolo 200 mg fenolických sloučenin na 100 g jedlé čerstvé hmoty. Mezi dominantní fenolické sloučeniny jakonu patří chlorogenová kyselina, dále však může být obsažena ferulová kyselina, kumarová kyselina a kávová

kyselina s jejími deriváty. Mezi hojně zastoupenými látkami můžeme nalézt i aminokyselinu tryptofan ($14,6 \pm 7,1 \mu\text{g/g}$), která se považuje společně s chlorogenovou kyselinou ($48,5 \pm 12,9 \mu\text{g/g}$) za hlavní antioxidant jakonu (Valentová et al. 2001; Yan et al. 2019). Vyšší obsah bioaktivních sloučenin je obsažen ve svrchní slupce hlíz, jako je to také u jiných druhů ovoce a zeleniny, např. u banánů nebo brambor. Tyto sloučeniny totiž vykazují antimikrobiální i antioxidační vlastnosti, proto se ukládají ve slupkách ve větším množství a chrání tak plody před potenciálními patogeny i před nepříznivým vnějším prostředím. Obsah fenolických sloučenin a antioxidantů se však může lišit v závislosti na kultivaru, podmínkách prostředí během kultivace, po sklizni a podmínkách zpracování (Khajehei et al. 2018).

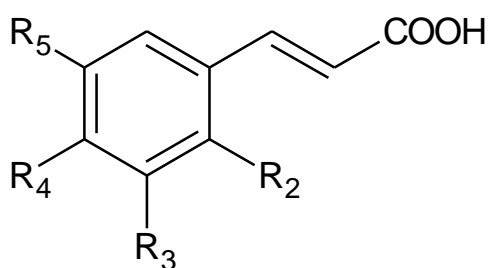
Fenolické kyseliny

Fenolické kyseliny jsou podtřídou velké kategorie nazývané fenoly (fenolické sloučeniny). Fenolické sloučeniny zahrnují více než 8000 přirozeně se vyskytujících látek, které se shodují navázanou skupinou. Touto skupinou je fenol - aromatický kruh nesoucí alespoň jeden hydroxylový substituent (Robbins 2003).

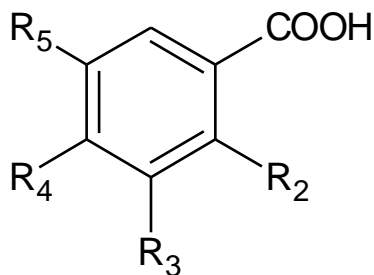
Název fenolické kyseliny obecně popisuje fenoly, které obsahují jednu karboxylovou funkční skupinu. Rozdělují se na dvě skupiny, a to na fenolické kyseliny odvozené od benzoové kyseliny a kyseliny odvozené od skořicové kyseliny. Nejčastěji se však nachází v hydroxylované formě jako hydroxybenzoová a hydroxyskořicová kyselina. Základní skelet zůstává stejný, liší se však počtem a pozicemi uhlíků a hydroxylových skupin (Robbins 2003). V Tab. 3 a 4 a na Obr. 5 a 6 jsou znázorněny základní kyseliny rozdělené do jednotlivých skupin.

Tab. 3 - Základní fenolické kyseliny (upraveno podle Bárta 2016).

Deriváty skořicové kyseliny	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
kávová kyselina	H	OH	OH	H
p-kumarová kyselina	H	H	OH	H
sinapová kyselina	H	OCH ₃	OH	OCH ₃
ferulová kyselina	H	OCH ₃	OH	H



Obr. 5 (vlevo) - Struktura derivátů skořicové kyseliny (vytvořeno autorem)



Obr. 6 (vpravo) - Struktura derivátů benzoové kyseliny (vytvořeno autorem)

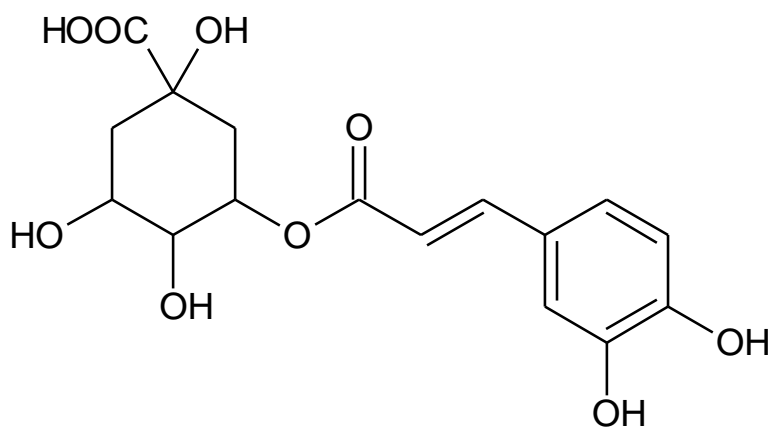
Tab. 4 - Základní fenolické kyseliny (upraveno podle Bárta 2016).

Deriváty benzoové kyseliny	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
gallová kyselina	H	OH	OH	OH
vanillová kyselina	H	OCH ₃	OH	H
salicylová kyselina	OH	H	H	H
protokatechová kyselina	H	OH	OH	H

Nejběžnějšími kyselinami odvozenými od hydroxybenzoové kyseliny jsou gallová, vanillová, salicylová a protokatechová kyselina. V potravinách se nejčastěji vyskytují ve formě glykosidů. Do skupiny kyselin odvozených od hydroxyskořicové kyseliny patří kávová kyselina a její deriváty, kumarová, ferulová, sinapová a chlorogenová kyselina. Na rozdíl od první skupiny se deriváty odvozené od hydroxyskořicové kyseliny objevují jako jednoduché estery s chinovou kyselinou nebo glukózou. Mezi různými fenolickými sloučeninami přitahují fenolické kyseliny pozornost kvůli potenciálním zdravotním přínosům (Mattila & Hellström 2007). Tyto sloučeniny jsou studovány hlavně z hlediska jejich vlastnosti působení proti oxidačnímu poškození, které může vést k různým onemocněním, jako jsou kardiovaskulární onemocnění, zánět a rakovina. Ve skutečnosti mají nádorové buňky včetně leukemických buněk naměřeno vyšší množství reaktivních druhů kyslíku než normální zdravé buňky, proto jsou náchylnější na oxidační stres (viz 3.2.1.3). V posledních letech význam antioxidantní aktivity těchto sloučenin značně vzrostl. Ve zpracovaných potravinách mohou být používány jako přírodní sloučeniny s antioxidantními vlastnostmi, proto jejich potenciální použití dosahuje nové úrovně. Bylo tedy rozpoznáno, že jejich biologické působení souvisí s antioxidantní aktivitou (Saxena et al. 2012).

Chlorogenová kyselina

Chlorogenová kyselina (3-caffeylchinová kyselina) (viz Obr. 7) je rozsáhle studována, protože je hojně distribuována v rostlinách. Je jedním z hlavních polyfenolů v lidské stravě a má spoustu zdravotně prospěšných vlastností (Santana-Gálves et al. 2017). Vzniká esterifikací z kávové a chinové kyseliny spadajících do skupiny hydroxyskořicových kyselin (Farah et al. 2008). Nachází se jak v ovoci a zelenině (brambor, mrkev, kiwi, artyčoky, kávová zrna...), tak v bylinách. Snižuje riziko kardiovaskulárních chorob, diabetu typu 2 a Alzheimerovy choroby. V potravinách působí proti širokému spektru mikroorganismů včetně bakterií, virů, plísní a kvasinek. Tyto antimikrobiální vlastnosti mohou být užitečné pro potravinářský průmysl, například pro konzervaci potravin. Jedná se o silný antioxidant, který dokáže inhibovat oxidaci lipidů (Santana-Gálves et al. 2017).

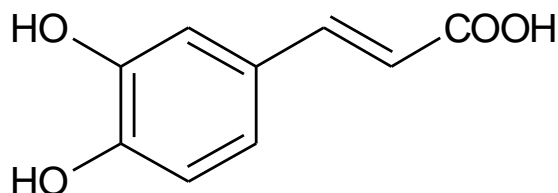


Obr. 7 - Struktura chlorogenové kyseliny (vytvořeno autorem).

Kávová kyselina a její deriváty

V hlízách jakonu bylo rozpoznáno pět derivátů kávové kyseliny. Jedná se o hlavní ve vodě rozpustné fenolické sloučeniny. Jejich struktury byly nalezeny pomocí analýz spektroskopických dat. Dvě z nich jsou už známé jako chlorogenová kyselina a 3,5-dicaffeoylchinová kyselina, ostatní tři se nachází jako estery kávové a altrarové kyseliny s hydroxylovými skupinami aldarové kyseliny (Takenaka et al. 2003).

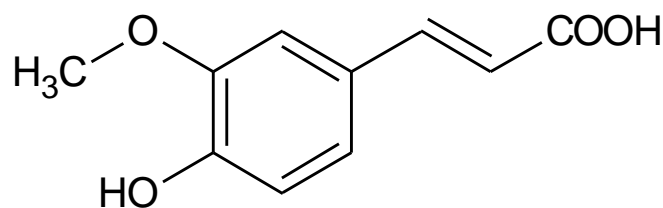
Kávová kyselina (viz Obr. 8) je jedním z reprezentativních členů skupiny fenolických kyselin odvozených od hydroxyskořicové kyseliny. Nejčastěji je obsažena v ovoci, čajích a víně. Je známá svými antioxidačními a protizánětlivými vlastnostmi (Basu Mallik et al. 2016). Basu Mallik et al. (2016) naznačili, že kávová kyselina dokáže zabránit akutním a pravděpodobně dlouhodobým neurodegenerativním změnám.



Obr. 8 - Struktura kávové kyseliny (vytvořeno autorem).

Ferulová kyselina

Mezi fytochemikálie řazená ferulová kyselina (viz Obr. 9) se běžně nachází v ovoci a zelenině, nejčastěji v kukuřici, rajčatech nebo rýžových otrubách (Srinivasan et al. 2007). Většinou ji najdeme navázanou na organické kyseliny nebo jako složku glykosidů, ve volné formě se objevuje jen v málo případech. Je kovalentně vázaná na lignin, pektin, hemicelulózu a suberin, ale i na bílkoviny (Ehrenbergerová et al. 2012). Jedná se o silný membránový antioxidant a pozitivně ovlivňuje lidské zdraví. V některých zemích byla schválena jako potravinářská přídatná látka, která zabraňuje oxidaci lipidů a lipoproteinů tím, že vychytává superoxidový anion (Srinivasan et al. 2007). Může zabraňovat chorobám, které jsou vyvolané volnými radikály, jako je rakovina nebo ateroskleróza (Kikuzaki et al. 2002).



Obr. 9 - Struktura ferulové kyseliny (vytvořeno autorem).

3.1.5 Chemické složení listů jakonu

Látky, které najdeme v Tab. 6, jsou hlavní látky, ze kterých se skládají listy jakonu. Kromě těchto látek obsahují listy také fenolické kyseliny, terpeny, flavonoidy, katechol a fytoalexiny (Valentová et al. 2001). Některé zdraví prospěšné vlastnosti byly přisuzovány právě listům jakonu, které jsou podávány nejčastěji ve formě tradičního čaje. Studie ukázaly, že extrakt ze sušených listů vykazuje řadu antimikrobiálních, protizánětlivých a antioxidačních účinků (de Andrade et al. 2014). Celkové hladiny fenolických látek v mladých listech jakonu jsou nižší než v listech získaných v době sklizně hlíz. Listy mají štiplavou a svíravou chuť a typicky zapáchají (Delgado et al. 2013).

Mezi fenolické sloučeniny v listech patří gallová, chlorogenová, protokatechová, kávová a ferulová kyselina, stejně jako flavonoidy rutin, myricetin a kvercetin. Z listů jakonu je možné vyizolovat seskviterpenový laktón typu melampolidů zvaný sonchifolin. Stejně dobře je známý polymatin B, uvedalin, enhydrin a fluktuanin. Tyto látky zastávají funkci obrannou a účinkují proti plísním (Lock et al. 2016). Jsou uloženy uvnitř žláznatých trichomů na povrchu listů (de Andrade et al. 2017).

Ve studii Biazona et al. (2016) byl měřen celkový obsah fenolických sloučenin pomocí Folin-Ciocalteuova činidla a antioxidační aktivita testem využívající radikál DPPH (viz 3.3) u extraktu z listů i hlíz jakonu. Jak je uvedeno v Tab. 5, obsah fenolických kyselin vyšel 12krát vyšší u extraktu získaného z listů než z extraktu hlíz. Antioxidační aktivita fenolických látek z testu DPPH byla také téměř dvacetkrát vyšší u extraktu z listů. Výsledky byly vyjádřeny pomocí účinné koncentrace EC_{50} . V této studii se dále zkoumala antioxidační aktivita měřením schopnosti extraktů inhibovat vznik reaktivních druhů (viz 3.2.1.2) v jaterních mitochondriích potkanů, které tvoří skutečný biologický systém na rozdíl od testu DPPH. I zde se extrakt z listů jevil mnohem účinnější.

Tab. 5 - Celkový obsah fenolických kyselin a antioxidační aktivita (upraveno podle Biazon et al. 2016).

Extrakt z:	Obsah fenolických kyselin [mg/g extraktu]	Test DPPH - antioxidační aktivita, EC_{50} [mg/ml]	Inhibice ROS, EC_{50} [mg/ml]
hlízy	6,25 ± 0,98	0,881 ± 0,071	1,217 ± 0,301
listy	74,00 ± 0,76	0,045 ± 0,005	0,029 ± 0,007

Bylo také prokázáno, že tepelně zpracované listy jakonu kultivaru „Andes no yuki“ vykazují vyšší obsah fenolických kyselin a vyšší antioxidační kapacitu pro zneškodnění

volných radikálů ve srovnání s listy bez tepelného zpracování. Lyofilizované listy zahříváné na 160 °C po dobu 20 minut a na 100 °C po dobu 60 minut měly 1,96 až 9,69krát vyšší celkový obsah fenolických sloučenin než u nezpracovaných listů. Stejný výsledek byl sledován u zjišťování antioxidační kapacity. Zahříváné listy ji měly o 1,98 až 4,07krát vyšší po třech pokusech vychytávání volných radikálů. Tyto výsledky prokázaly, že tepelným zpracováním se může ovlivnit obsah aktivních složek, a tím pádem i zesílit antioxidační účinky. Přesto by se ale měly dále prozkoumávat další vlivy zahřívacích procesů. Rozdíly mohou vznikat i u jiných odrůd nebo u listů sklizených v jiných měsících (Ueda et al. 2019).

Tab. 6 - Obsah látek v listech jakonu (Valentová et al. 2001).

Složka	Množství [%]	Složka	Množství [mg/100 g]
voda	10,47	vápník	1805
proteiny	24,48	fosfor	543
sacharidy	-	železo	10,82
tuky	4,2	měď	<0,5
popel	12,52	mangan	3,067
vláknina	11,63	zinek	6,2

3.1.5.1 Organické kyseliny

Mezi fenolické kyseliny listů jakonu patří gallová, chlorogenová, protokatechová, kávová a ferulová kyselina (Lock et al. 2016). Podobnou skladbu fenolických kyselin najdeme už ve zmíněných hlízách jakonu. Ve studii Valentové et al. (2003) se stanovovala přítomnost těchto kyselin v extraktu z listů a zjistilo se, že obsah protokatechové kyseliny byl $2,5 \pm 0,12$ mg/g, chlorogenové kyseliny $9,9 \pm 1,7$ mg/g, kávové kyseliny $14,7 \pm 0,09$ mg/g a ferulové kyseliny jen stopové množství.

Další kyselinou nacházející se v listech je (E)-kaurenová kyselina a její deriváty (18-angeloyloxy-ent-kaurenová a 15-angeloyloxy-ent-kauren-19-ová kyselina). Jejich hlavní funkcí je obrana proti působení patogenů a vnějšího prostředí, proto díky těmto látkám nemusí být rostliny ošetřovány žádnými herbicidy. Jedná se také o jedny z meziproductů syntézy fytohormonů giberelinů, díky kterým mají rostliny možnost správného vývoje (Valentová et al. 2001).

3.1.5.2 Seskviterpenové laktony

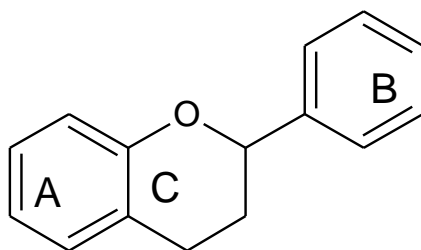
Seskviterpenové laktony jsou velkou skupinou sekundárních metabolitů rostlin, které jsou typické pro rostliny z čeledě hvězdnicovité (*Asteraceae*). Jedná se o aktivní složky z léčivých rostlin, které jsou používány k léčení zánětlivých onemocnění. Nevykazují však jen protizánětlivé účinky, ale i antivirové a antimikrobiální vlastnosti. V posledních letech byl proveden rozsáhlý výzkum těchto látek kvůli pravděpodobným protirakovinovým vlastnostem a možnosti potenciálního používání jako chemopreventivních a chemoterapeutických látek (De Ford et al. 2015).

Fytochemické studie listů jakonu prokázaly přítomnost několika seskviterpenových laktonů melampolidového typu, jako jsou sonchifolin, fluktuanin, enhydrin a uvedalin. Z těchto sloučenin fluktuanin, uvedalin a enhydrin vykazovaly silnou antibakteriální aktivitu proti *Bacillus subtilis*, ale nižší protiplísňovou aktivitu proti *Pyricularia oryzae*, která napadá rýži. Tyto tři zmíněné laktomy obsahují na devátém uhlíku acetoxy-skupinu, která je nezbytná pro silnou antibakteriální aktivitu. Enhydrin a uvedalin vykazují rovněž protizánětlivou aktivitu. Posledních několik let se zkoumá enhydrin, jakož to hlavní složka laktonů listů jakonu, kvůli možným antidiabetickým vlastnostem (Genta et al. 2010).

3.1.5.3 Flavonoidy

Flavonoidy představují velmi početnou skupinu sloučenin a jsou řazeny mezi fenolické sloučeniny izolované ze spousty cévnatých rostlin. Působí v rostlinách jako antioxidanty, antimikrobiální látky, fotoreceptory a vizuální atraktory. Mnoho studií uvádí, že flavonoidy mají antivirovou, protizánětlivou a vazodilatační funkci. Největší pozornost je však věnována antioxidační aktivitě schopností redukovat tvorbu volných radikálů a odstraňovat je (Pietta 2000).

Flavonoidy jsou v rostlinách tvořeny z aromatických aminokyselin, konkrétně z fenylyalaninu, tyrosinu, ale také z malonátu. Základní strukturu tvoří flavanové jádro, které se skládá z 15 uhlíků uspořádaných do tří kruhů. Tyto kruhy jsou znázorněny na Obr. 10. Podskupiny flavonoidů se liší v úrovni oxidace a substitucemi na kruhu C, jednotlivé sloučeniny v rámci podskupiny se odlišují strukturou kruhů A a B, nejčastěji počtem hydroxylových substituentů. Flavonoidy se mohou vyskytovat jak ve volné formě, tak vázané glykosidickou vazbou na jednoduchý sacharid nebo oligosacharid. Nejobvyklejší rozdělení flavonoidů do podskupin je na flavony, flavonony, flavonoly, flavanonony, flavan-3-oly (katechiny), anthokyanidy a leukoanthokyanidy. K flavonoidům se ale řadí i isoflavony, chalkony, aurony, biflavony a kumariny. Kromě různých druhů ovoce a zeleniny se vyskytují i v semenech, zrnech, ořeších, kořeni i v nápojích, jako je víno, čaj a pivo. Často určují jejich barvy a odstíny (Pietta 2000).

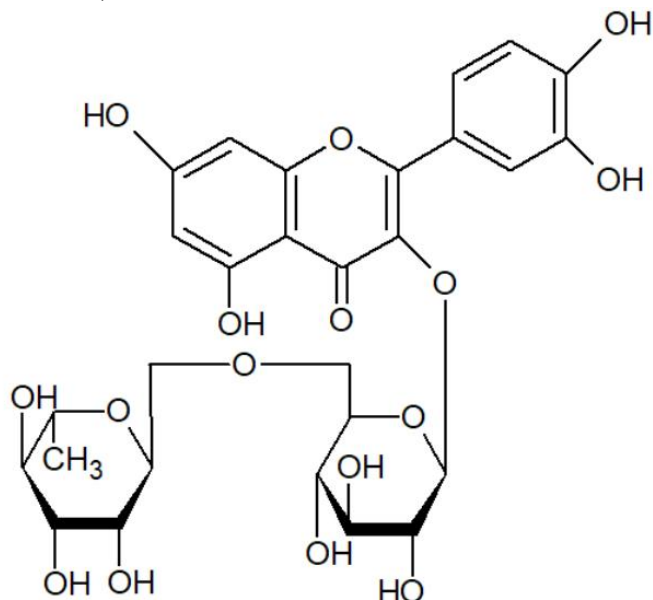


Obr. 10 - Základní struktura flavonoidů (Pietta 2000).

Rutin

Rutin, také nazývaný jako vitamin P, rutosid nebo kvercetin-3-rutinosid, spadá do skupiny flavonolů. Hojně se vyskytuje v rostlinách, jako je pohanka, mučenka a artyčoky, dále v jablečích, meruňkách, borůvkách, šípčích a čajích. Chemicky se jedná o glykosid obsahující aglykon kvercetin spolu s disacharidem rutinózou (viz Obr. 11) (Ganeshpurkar

& Saluja 2017). Jedná se o známý antioxidant, který se vyznačuje vynikajícími antikarcinogenními, antimutagenními a protizánětlivými účinky. Napomáhá proti křehkosti kapilár spojených s vysokým krevním tlakem, udržuje cévy pružné a podílí se na srážlivosti krve. V přítomnosti dalších flavonoidů zvyšuje účinnost vitamínu C a brání jeho oxidaci. Doporučená denní dávka nebyla stanovena, ale ve farmacii se využívá spojení rutinu s vitamínem C jako známý výrobek Ascorutin (Informační centrum bezpečnosti potravin; Mindell & Mundisová 2010).



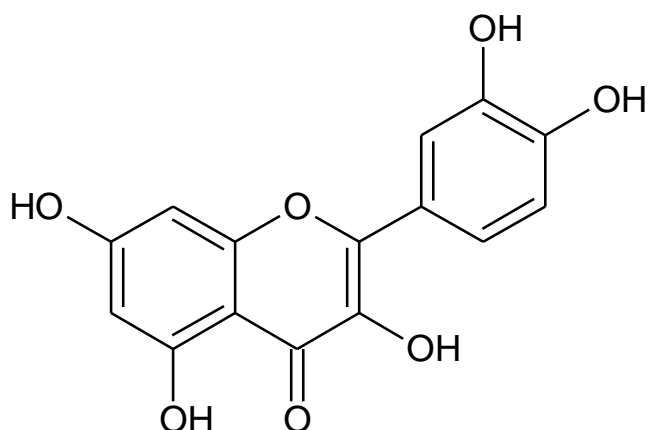
Obr. 11 - Struktura rutinu (vytvořeno autorem).

Kvercetin

Kvercetin (viz Obr. 12) je jedním z významných antioxidantů přijímaných potravou. Vyskytuje se v zelenině, ovoci, čajích i víně. Má prokazatelně příznivé účinky na zdraví. To zahrnuje ochranu proti různým onemocněním, jako je osteoporóza, určité formy rakoviny a plicní i kardiovaskulární onemocnění (Boots et al. 2008). Jednou z nejdůležitějších vlastností je i schopnost modulovat zánět (Anand David et al. 2016).

Kvercetin má schopnost vychytávat vysoce reaktivní druhy látek, jako je peroxynitrit a hydroxylový radikál. Převážně i díky tomu jsou kvercetinu přisuzovány příznivé zdravotní účinky (Boots et al. 2008). Jedná se o aglykon, který postrádá připojený cukr a spadá mezi flavonoly. Je zcela nerozpustný ve studené vodě, špatně rozpustný v horké vodě, ale docela dobře rozpustný v alkoholu a lipidech. Připojením glykosidové skupiny (glukóza, ramnóza, rutinóza), místo jedné OH skupiny, vznikne kvercetinový glykosid a právě tato připojená skupina zvyšuje rozpustnost ve vodě. Obecně by měl být kvercetin používán pouze pro popis aglykonu, ale občas můžeme pod tímto názvem najít i právě zmiňovaný kvercetinový glykosid (Li et al. 2016).

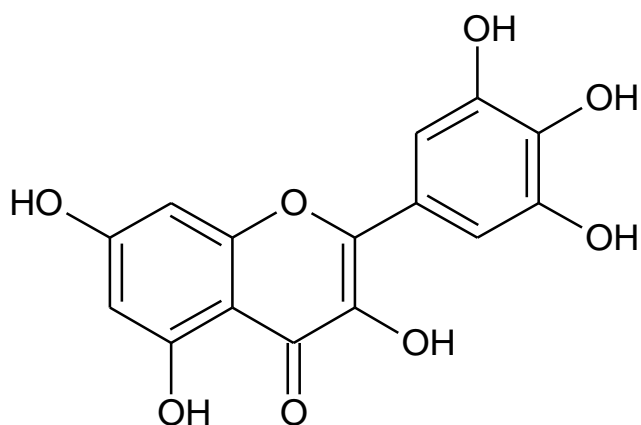
Kvercetin lze považovat za doplněk stravy s denními doporučenými dávkami 200-1200 mg. Biologická dostupnost kvercetinu, která dosáhne systémového oběhu nezměněna, je velmi nízká, většinou kvůli jeho rozsáhlému metabolismu (Lesjak et al. 2018).



Obr. 12 - Struktura kvercetinu (vytvořeno autorem).

Myricetin

Tato fenolická sloučenina se nejčastěji objevuje v bobulích, zelenině a čajích. Vyskytuje se jak ve volných, tak v glykosidicky vázaných formách. Kromě toho, že se jedná o antioxidant, vykazuje několik aktivit související s centrálním nervovým systémem. Studie také naznačují, že tato sloučenina může být prospěšná pro ochranu před nemocemi, jako je Parkinsonova a Alzheimerova choroba. Schopnost myricetinu chránit lipidy před oxidací se využívá u prodlužování trvanlivosti potravin obsahujících oleje a tuky. Myricetin byl zkoumán z hlediska protirakovinotvorné aktivity a bylo zjištěno, že může být cytotoxický vůči řadě lidských rakovinných buněčných linií. Má také schopnost inhibovat klíčové enzymy, které se podílejí na zahájení a šíření rakoviny (Semwal et al. 2016). Struktura myricetinu je zobrazena na Obr. 13.



Obr. 13 - Struktura myricetinu (vytvořeno autorem).

3.1.6 Přínosy pro zdraví

Dříve byl jakon konzumován hlavně z důvodu uspokojení žízně a hladu. Informace o terapeutických účincích se předávaly z generace na generaci. Jakon se konzumuje jako čerstvé nebo sušené ovoce, při náboženských obřadech nebo na večírcích také jako chicha (fermentovaný nápoj) nebo džem. Hlízy jsou výborným zdrojem vody, proto je využíván k rehydrataci organismu, může zabraňovat únavě a křečím. Andská lidová medicína tvrdí, že hlízy i listy jakonu pozitivně působí na onemocnění jater, ledvin i na křivici (Lock et al. 2016). V Bolívii jsou konzumovány také lidmi s cukrovkou, dyslipidemií a trávicími

problémy. Mimo jiné prý mají zásluhy v omlazování a udržování zdravé pleti. Obyvatelé Kajamarky konzumují jakon před spaním kvůli zpomalení stárnutí pleti (de Almeida Paula 2014). Listy jakonu se využívají nejčastěji v podobě bylinných čajů. Prokázalo se, že tyto čaje jsou prospěšné pro diabetiky a lidi s vyšším cholesterolem v krvi. Léčivé účinky listů jsou přisuzovány právě antioxidantně působícím látkám. Konzumace fruktooligosacharidů obsažených v hlízách má však také spoustu pozitivních účinků (viz 3.1.4.1) (Yan et al. 2019).

Uvádí se, že konzumace listů a hlíz je důležitá v souvislosti s rakovinou tlustého střeva, cukrovkou a obezitou (Caetano et al. 2016).

3.1.6.1 Rakovina tlustého střeva

Kolorektální karcinom neboli rakovina tlustého střeva je třetím nejčastěji diagnostikovaným typem rakoviny a hlavní příčinou úmrtí v západní části zeměkoule. Caetano et al. (2016) se zabývali chemopreventivními účinky hlíz jakonu na rakovinu tlustého střeva u samců potkanů. Prokázali snížení bujení poškozených buněk, jejich počtu a rozmanitosti. Lidský střevní mikrobiom hraje také důležitou roli, nerovnoměrný obsah mikroorganismů zvýhodňuje růst specifických patogenů, které jsou prokarcinogenní. Hlízy jakonu jsou považovány za vhodný doplněk stravy, protože vysoký obsah FOS pozitivně ovlivňuje složení a funkci střevního mikrobiomu. Důsledkem zvýšené spotřeby FOS dochází k vyšší produkci mastných kyselin s kratším řetězcem, které chrání sliznici a potlačují zánět i rakovinu.

3.1.6.2 Cukrovka

Cukrovka (diabetes mellitus, DM) je chronické onemocnění, ke kterému dochází kvůli nedostatečné tvorbě inzulínu slinivkou břišní (DM 1. typu) nebo z důvodu, že naše tělo nemůže účinně využívat inzulín, který vytváří (DM 2. typu). Hyperglykémie neboli zvýšená hladina cukru v krvi je hlavním znakem cukrovky a v průběhu času může docházet až k vážnému poškození mnoha tělesných systémů, zejména krevních cév a nervů. V roce 2014 mělo 8,5 % dospělých ve věku 18 a více let cukrovku a rok 2016 přinesl úmrtí 1,6 milionu lidí pouze na toto onemocnění. DM 1. typu, vyskytující se už v mladém věku, je charakteristický nedostatečnou produkcí inzulínu a vyžaduje každodenní přijímání inzulínu. Podle současných znalostí nelze cukrovce 1. typu zabránit a mechanismus není doposud znám. DM 2. typu je důsledkem špatného využívání inzulínu buňkami těla. Často je to spojeno s nadměrnou tělesnou hmotností a špatným životním stylem (WHO 2020). V současné době se v rámci prevence a léčby využívá dietní intervence. Proto jsou vysoké nároky na potraviny s protidiabetickými účinky, jako je jakon. V lidovém léčitelství jsou hlízy i listy uznávány jako alternativa při léčbě diabetu. Hlízy lze využít i jako nízkokalorické sladidlo (Biazon et al. 2016; Caetano et al. 2016).

Několik studií ukázalo, že FOS hlíz mají pozoruhodný hypoglykemický účinek (Caetano et al. 2016). Například ve studii Scheida et al. (2014) byl hodnocen denní příjem lyofilizovaného jakonu a mezi staršími jedinci obsah FOS (7,4 g) pozitivně působil na snižování hladiny glukózy. Jakon nezpůsobil žádné zažívací problémy, neovlivnil koncentraci lipidů v krvi ani průchod střevem (Scheid et al. 2014). Účinky konzumace hlíz a jeho produktů na DM 1. i 2. typu zahrnují zvýšené vstřebávání glukózy v periferních

tkáních, sníženou glukoneogenezi, zlepšenou toleranci inzulínu v játrech a zvýšenou sekreci inzulínu ve slinivce břišní (Caetano et al. 2016).

Dos Santos et al. (2017) prováděli experiment, který byl založený na testování účinků hydroethanolového extraktu z listů jakonu na glykémii vyvolanou streptozocinem u potkanů Wistar po dobu 30 dnů. Výsledkem bylo snížení obsahu glukózy, zvýšení koncentrace inzulínu a snížení koncentrace triacylglycerolů v séru potkanů. Tyto výsledky jsou v souladu s Aybar et al. (2001) a Genta et al. (2010) studiemi, kde byly zkoumány různé preparáty extraktů a dávky jakonu.

V současné době byly publikovány důkazy, které podporují roli oxidačního stresu ve vzniku a vývoji DM 1. i 2. typu. Tvorba volných radikálů neenzymatickou glykací bílkovin, oxidací glukózy a zvýšenou peroxidací lipidů vede k poškození enzymů, buněk a také ke zvýšené rezistenci na inzulín v důsledku oxidačního stresu (Asmat et al. 2016).

Jakon může být nápomocný při diabetu nejen ovlivněním hyperglykémie a dalších procesů, ale také zlepšením metabolismu lipidů a oxidačního stavu. Extrakty z listů i hlíz působí pozitivně na nefropatii, díky uspokojivé antioxidační aktivitě. Jedná se o komplikaci, která se projevuje v pozdějším stádiu neléčeného diabetu a je zprostředkována volnými radikály. Hepatocyty potkanů jsou podobným způsobem chráněny proti oxidačnímu poškození. Tyto pozitivní antioxidační vlastnosti jsou přisuzovány vysokým hladinám fenolických sloučenin v hlízách i listech, zejména aminokyselině L-tryptofanu, chlorogenové kyselině a kávové kyselině s jejími deriváty (Biazon et al. 2016).

3.1.6.3 Obezita

Nadváha a obezita se staly globálním zdravotním problémem ve spojitosti s vysokým výskytem různých chronických onemocnění jako je DM 2. typu, vysoký krevní tlak, ischemická choroba srdeční a jiná onemocnění. Obezita je výsledkem nerovnováhy mezi příjmem a výdejem energie (Honoré et al. 2018). Nadměrná konzumace tuků, cukrů a nízký příjem vlákniny v kombinaci s nízkou fyzickou činností přispěly ke zvýšení výskytu nadváhy (Machado et al. 2019). Nadbytečná energie se ukládá ve formě triglyceridů v tukové tkáni a hromadí se na místech, jako jsou játra a svaly, což může vést k metabolickému narušení a odchylné funkci těchto orgánů (Honoré et al. 2018). Konzumace potravin bohatých na vlákninu a nízké kalorické hodnoty, které mohou pomoci snížit příjem potravy a tím pádem i snížit tělesnou hmotnost, je zajímavý způsob prevence a léčby nadváhy. Hlízy jakonu mají nízkou kalorickou hodnotu díky vysokému obsahu vody a vlákniny ve formě FOS. Hlízy lyofilizované i ve formě extraktu, sirupu či mouky dosáhly pozitivních účinků na tělesnou hmotnost, koncentraci lipidů v krvi, glykemickou odpověď a činnost střev. Kromě toho fruktany stimulují sekreci endogenních střevních peptidů, což napomáhá ke snížení příjmu potravy a k prospěšnému složení mikrobioty střev (Machado et al. 2019). Brzy po sklizni dochází k hydrolýze FOS, k nárůstu volných cukrů v hlízách a enzymatickému hnědnutí. Kvůli tomuto procesu se jakon začal zpracovávat na dehydratované produkty, jako je mouka. Zaručují vyšší množství a stabilitu FOS. Honoré et al. (2018) se zabývali účinky mouky z hlíz jakonu na potkanech. Zjistili, že přidání jakonové mouky do stravy s vysokým obsahem tuku v dávkách 340 mg a 680 mg FOS/kg/den bylo účinné při snižování tělesné hmotnosti. Dále docházelo k výraznému snížení triglyceridů v séru, VLDL a volných mastných kyselin.

V listech i hlízách se nachází spousta látek s antioxidačními vlastnostmi, které by mohly čelit antioxidačnímu stresu, který souvisí i s obezitou. Obézní jedinci mají vysoké hladiny reaktivních druhů kyslíku a dusíku (viz 3.2.1.2), zhoršenou antioxidační obranu a zvýšené hladiny látek produkované tukovými buňkami. Oxidační stres je výsledkem nadměrné akumulace tuku. Ukázalo se, že oxidační stres sám o sobě vede ke zvýšení hmotnosti, ale není snadné stanovit správný vztah příčiny a účinku mezi obezitou a oxidačním stresem (Savini et al. 2016).

3.2 Antioxidanty a volné radikály

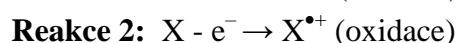
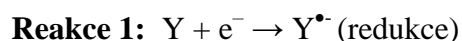
3.2.1 Volné radikály

Atomy prvků jsou tvořeny jádrem obsahujícím kladně nabitě protony a částice bez náboje, nazývané neutrony. Kolem jádra se nachází elektrony, které se vyznačují záporným nábojem. Elektrony v atomech se pohybují po tzv. orbitalech, což jsou místa nejpravděpodobnějšího výskytu těchto částic. Každý orbital umí pojmout maximálně dva elektrony, které se mohou otáčet opačným směrem proti sobě (Stratil & Kubáň 2018).

Volný radikál je jednoduše definován jako jakákoliv chemická částice (atom, molekula, ion) schopná samostatné existence většinou po krátkou dobu, která obsahuje jeden nebo více nepárových elektronů, přičemž nepárový elektron je ten, který se nachází sám v orbitalu (Halliwell 1991). Jedná se také o vysoce reaktivní druhy, schopné v jádře a v membránách buněk poškozovat biologické molekuly, jako jsou DNA, bílkoviny, lipidy a sacharidy (Lobo et al. 2010).

3.2.1.1 Vznik volných radikálů

Obecně se mohou volné radikály utvářet ze sloučenin získáním elektronu (redukce) za vzniku aniontového radikálu, jako je vyobrazeno v reakci 1. Dále může docházet k opačnému ději, a to k odebrání elektronu (oxidaci) za vytvoření kationtového radikálu. Tento proces je znázorněn rovnicí v reakci 2. Volné radikály se mohou tvořit i homolytickým štěpením vazby dvou elektronů mezi dvěma atomy. Při tomto štěpení se vazba dělí symetricky, oba fragmenty si zachovávají jeden elektron a stávají se z nich volné radikály. Není to však obvyklý způsob vzniku radikálů, obecně totiž tento proces vyžaduje spoustu energie. Nepárový elektron a radikálová povaha se obvykle označují horní indexovou tečkou. Kovalentní vazby se dělí i heterolytickým způsobem. To znamená, že si jeden fragment zachová oba elektrony a stává se záporně nabitým iontem, druhý fragment ztrácí elektron a stává se pozitivně nabitým iontem. Rozdíl homolytického a heterolytického štěpení u molekul vody je znázorněn v reakcích 3 a 4 (Southorn & Powis 1988; Stratil & Kubáň 2018).



V biologických systémech může docházet k reakci mezi reaktivními radikály a jinými molekulami. Radikál se vyznačuje velmi špatnou stabilitou, a proto se snaží dostat do rovnovážného stavu. Je schopný přijmout elektron od jiné molekuly nebo ho odevzdat jiné molekule, sám se stát stabilním a tím pádem předat roli radikálu. Nově vzniklý radikál může pokračovat dále stejným způsobem. Tomuto procesu se říká řetězová reakce. Dále také může reagovat s jiným radikálem. V tomto případě dochází ke vzniku kovalentní vazby a stále molekuly. Poslední možností je reakce radikálu se sloučeninou, která má konjugovaný systém dvojných vazeb, za vzniku stabilní molekuly nového radikálu (Stratil & Kubáň 2018).

Volné radikály vznikají buď při běžných metabolických procesech v lidském těle, nebo při působení vnějšího prostředí, kdy byl člověk vystaven rentgenovému záření, ozónu, znečišťujícím látkám v ovzduší, kouření cigaret, průmyslovým chemikáliím atd. (Bagchi & Puri 1998). Tvorba volných radikálů probíhá v těle nepřetržitě v důsledku enzymatických i neenzymatických reakcí (Lobo et al. 2010). Nezbytným prvkem pro život je kyslík, který je buňkami využíván k výrobě energie. V důsledku produkce energie ve formě adenosintrifosfátu (ATP) v mitochondriích se vytvářejí volné radikály. Dále mohou vznikat produkcí makrofágů při metabolických procesech, jako je metabolismus xenobiotik nebo trans-mastných kyselin v peroxizomech, ale také při poškození buněk a zánětech vzniklých fyzikálními, chemickými a biologickými vlivy. Tyto vzniklé vedlejší produkty se obecně nazývají reaktivní formy kyslíku (ROS) a reaktivní formy dusíku (RNS), viz Tab. 7. Mohou být prospěšné, ale i toxické, záleží na jejich koncentraci v organismu. Při nízké nebo střední hladině mají ROS i RNS pozitivní vliv na buněčný metabolismus a imunitní funkci. Při vysokých koncentracích těchto forem může docházet k poškození buněčných struktur (Pham-Huy et al. 2008; Stratil & Kubáň 2018).

3.2.1.2 Reaktivní formy kyslíku a dusíku

Jedná se o termíny popisující volné radikály a další neradikálové reaktivní sloučeniny nazývané též oxidanty, které sice nemají povahu volných radikálů, ale volné radikály z nich různými reakcemi mohou lehce vznikat. Radikály jsou méně stabilní než látky neradikálové povahy a jejich reaktivita je silnější (Pham-Huy et al. 2018). Obecně reaktivita těchto forem závisí na velikosti atomu či molekuly a na struktuře. Je známo, že za nejvíce reaktivní jsou považovány jedno a dvouatomové radikály, jako je například vodíkový (H^{\bullet}) nebo hydroxylový radikál ($\bullet OH$). Určitými reakcemi mohou vznikat z oxidantů reaktivní radikály (Stratil & Kubáň 2018). V Tab. 7 jsou zmíněné nejznámější radikály a látky neradikálové povahy.

Tab. 7 - Reaktivní formy kyslíku a dusíku (Štípek et al. 2000).

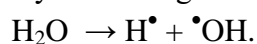
Reaktivní formy kyslíku	
Volné radikály	Látky neradikálové povahy
superoxid O_2^\bullet	peroxid vodíku H_2O_2
hydroxylový radikál HO^\bullet	kyselina chlorná $HOCl$
peroxyl ROO^\bullet	ozón O_3
alkoxyl RO^\bullet	singletový kyslík O_2
hydroperoxylový radikál HO_2^\bullet	
Reaktivní formy dusíku	
Volné radikály	Látky neradikálové povahy
oxid dusnatý NO^\bullet	nitrosyl NO^+
oxid dusičitý NO_2^\bullet	nitroxid NO
	kyselina dusitá HNO_2
	oxid dusitý H_2O_3
	oxid dusičitý N_2O_4
	peroxynitrit $ONOO$
	alkylperoxynitrit $ROONO$

Superoxid (O_2^\bullet)

Superoxid není zvláště reaktivní, ale je potenciálně toxický. Vzniká jednoelektronovou redukcí z kyslíku. Je předchůdcem většiny ROS a zprostředkovatelem řetězových reakcí. Může dismutovat spontánně nebo reakcí katalyzovanou superoxidodismutázou na peroxid vodíku (H_2O_2), který může být zcela redukován na vodu nebo částečně na hydroxylový radikál (jeden z nejsilnějších radikálů). Tvorba hydroxylového aniontu je katalyzována přechodnými kovy, nejčastěji mědí a železem. Kromě toho může O_2^\bullet reagovat s jinými radikály, včetně oxidu dusnatého za vzniku peroxynitritu, což je také silný oxidant. Hlavním zdrojem ve tkáních je mitochondriální elektronový transportní řetězec obsahující několik redoxních center, ze kterých mohou unikat elektrony přímo na O_2 . K další možnosti vzniku přispívají enzymy NADPH oxidáza ve fagocytujících buňkách, peroxidasa, katalasa, cytochrom P450 atd. (Turrens 2003).

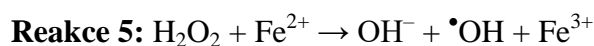
Hydroxylový radikál ($^\bullet OH$)

Jedná se o jeden z nejvíce reaktivních radikálů s poločasem života 10^{-9} sekundy. Vystavení organismů ionizujícímu záření způsobuje štěpení O-H vazeb vody:



Vzniklý hydroxylový radikál reaguje téměř se všemi molekulami v živých buňkách. Když se tedy $^\bullet OH$ tvoří *in vivo*, reaguje téměř v místě vzniku. $^\bullet OH$ může také vznikat

fotolytickým rozkladem alkylhydroperoxidů. Produkce $\cdot\text{OH}$ v blízkosti DNA by mohla způsobit poškození bází i kostry DNA. Jak už bylo zmíněno v odstavci o superoxidu, hydroxylové radikály nejčastěji vznikají reakcí kovových iontů s peroxidem vodíku. Jedná se o tzv. Fentonovu reakci, kdy železnaté soli reagují s peroxidem vodíku a utváří se hydroxylový radikál. Tato reakce je znázorněna v reakci 5 (Halliwell 1994).



Peroxyl a alkoxyl ($\text{ROO}\cdot$, $\text{RO}\cdot$)

Další typické radikály odvozené od kyslíku jsou peroxylové a alkoxylové radikály. Jsou to druhy s vysokou energií a s redukčním potenciálem (Valko et al. 2006). V živočišné tkáni jsou peroxylové radikály hlavním zdrojem oxidačního stresu (viz 3.2.1.3). Mohou vznikat z organických peroxidů lipidů vyjmutím vodíkového radikálu. Reakcí organické molekuly (nejčastěji mastné kyseliny) s hydroxylovým radikálem vzniká alkoxylový radikál. Oba dva mají možnost odtrhávat vodíkový radikál z jiných molekul, což je jednou z reakcí typických pro peroxidaci lipidů (Stratil & Kubáň 2018).

Peroxid vodíku (H_2O_2)

Předpokládá se, že peroxid vodíku je toxický v živém organismu, proto musí být eliminován pomocí enzymů, jako jsou katalázy, peroxidázy a to zejména glutathionperoxidázy. Z chemického hlediska je H_2O_2 málo reaktivní v nepřítomnosti přechodných kovů. Vystavení určitých lidských tkání může být větší, než se předpokládá, protože velké množství H_2O_2 je přijímáno v nápojích, jako je instantní káva. Dále se nachází v čerstvě vyprázdněné moči i ve vydechovaném vzduchu. Hladiny H_2O_2 mohou být kontrolovány jak katabolismem, tak vylučováním. Nebezpečí H_2O_2 přichází z velké části z jeho pohotové přeměny na reaktivní hydroxylový radikál, a to buď vystavením ultrafialovému záření, nebo interakcí s řadou iontů přechodných kovů. Bylo ale zjištěno, že H_2O_2 může být v malých koncentracích i prospěšný jako mezibuněčná a intercelulární signální molekula. Je vytvářen prostřednictvím dismutace superoxidového radikálu, ale také pomocí enzymů oxidázy včetně peroxisomální cesty pro β -oxidaci mastných kyselin (Halliwell et al. 2000).

Oxid dusnatý (NO)

Oxid dusnatý neboli nitrosylový radikál je malá molekula, která obsahuje jeden nepárový elektron. NO je vytvářen v biologických tkáních pomocí specifických syntéz oxidu dusnatého, které metabolizují L-arginin na citrulin za vznik $\text{NO}\cdot$, prostřednictvím oxidační reakce. Pokud dojde k poškození těchto enzymů, dochází k tvorbě menšího množství NO a začíná se produkovat superoxid. NO je hojný reaktivní radikál, který působí jako důležitá oxidační signální molekula ve velkém množství různých fyziologických procesů včetně regulace krevního tlaku, obranných mechanismů a relaxace hladkého svalstva. Protože je rozpustný ve vodě i organických rozpouštědlech, je schopný procházet cytoplazmou a plazmatickými membránami. V extracelulárním prostředí reaguje s kyslíkem a vodou za vzniku dusičnanových a dusitanových aniontů. Toxicita je tedy spojena především s jeho

schopností reagovat se superoxidovými anionty za vzniku peroxynitritu (ONOOH) (Valko et al. 2007).

Peroxynitrit (ONOO)

Peroxynitrit, též oxoperoxonitrát, je tvořen velmi rychlou reakcí oxidu dusnatého a superoxidového radikálu či kyslíku. Může negativně působit a poškozovat buňky a tkáně, relativně pomalu je schopný reagovat s DNA, proteiny a lipidy. Dokáže se i rychle protonizovat na peroxynitritovou kyselinu, která je mnohem reaktivnější než samotný peroxynitrit. Může způsobovat oxidaci lipidů a další řetězové reakce. Antioxidanty cystein, glutathion, α -tokoferol a askorbová kyselina mají zásluhu v inaktivaci této formy (Stratil & Kubáň 2018).

Ozón (O₃)

Tento světle modrý plyn se nevytváří v živém organismu. Slouží jako důležitý ochranný štít proti slunečnímu záření v atmosféře. V blízkosti zemského povrchu se O₃ chová jako nežádoucí okysličovadlo a často je považováno za jednu z nejtoxičtějších látek znečišťující ovzduší. Může se tvořit jak v laboratorním prostředí pomocí silných UV lamp, tak ve městech v důsledku fytochemických reakcí a znečištění. Plíce jsou nejvíce náchylné k poškození při vystavení O₃. Biologický účinek je často připisován jeho schopnosti způsobovat oxidaci nebo peroxidaci biomolekul buď přímo nebo prostřednictvím radikálového mechanismu (Aruoma 1998).

Singletový kyslík (O₂)

Singletový kyslík je reaktivní neradikálovou formou kyslíku. Jedná se o excitovaný stav O₂, ve kterém se mění rotace jednoho z nepárových elektronů, čímž se získají dva elektrony s opačnou rotací. Může působit jako velmi silný oxidant, který snadno poškozuje lipidy, proteiny i nukleové kyseliny. V buňkách setrvává poměrně dlouho a může se šířit na značné vzdálenosti i napříč buněčnými membránami. Největšími inaktivátory singletového kyslíku jsou vitaminy C a E i karoteny (Hrycay & Bandiera 2015).

3.2.1.3 Škodlivé i pozitivní účinky radikálů a látek neradikálové povahy

Pokud jsou radikály a oxidanty produkovány v nadbytku, vytváří se v organismu tzv. oxidační stres. Oxidační stres je stav, kdy vzniká nerovnováha mezi produkcí volných radikálů a antioxidační obranou. Je to proces, který může poškodit všechny buněčné struktury (Pham-Huy et al. 2008). Hlavním důsledkem oxidačního stresu je poškození bází nukleových kyselin, lipidů a proteinů, což může vážně narušit odolnost a životaschopnost buněk, nebo vyvolat různé buněčné reakce za tvorby sekundárních reaktivních druhů (Dalle-Donne et al. 2006). Bylo potvrzeno, že hrají jednu z hlavních rolí ve vývoji chronických a degenerativních onemocnění, jako je zánětlivé onemocnění kloubů, rakovina, diabetes mellitus a další kardiovaskulární a neurodegenerativní onemocnění. Dokonce může vést k předčasnému stárnutí (Pham-Huy et al. 2008).

Peroxidace lipidů

Vystavení membránových lipidů nebo lipoproteinů vůči $\bullet\text{OH}$ může mít za následek vznik řetězové reakce, tzv. peroxidaci lipidů, při které jsou lipidy oxidovány na hydroperoxy (Halliwell 2015). Peroxidace lipidů, vyvolaná oxidačním stresem, může být velmi škodlivá, protože vede ke změnám biologických vlastností membrán. Může docházet k inaktivaci vázaných receptorů nebo enzymů a tím pádem narušovat normální buněčnou funkci a zvýšit propustnost. Kromě toho může peroxidace přispět k poškození buněk v důsledku tvorby oxidovaných produktů, z nichž některé jsou reaktivní. Vytváří se zejména reaktivní aldehydy, jako je malondialdehyd, akrolein a isoprostany. Na rozdíl od volných radikálů jsou aldehydy relativně stabilní, mohou se pohybovat uvnitř buňky nebo dokonce uniknout z buňky a napadat buňky daleko od místa vzniku. Nejsou proto jen konečnými produkty, ale mohou také působit jako cytotoxické posli pro další reakce. Ukázalo se, že některé z těchto aldehydů vykazují reaktivitu s různými biomolekulami (DNA, bílkoviny) a vytvářejí se stabilní produkty přispívající ke vzniku a vývoji mnoha chorob (Dalle-Donne et al. 2006).

Reakce volných radikálů s proteiny

Proteiny bývají hlavními cíli ROS a RNS, protože se hojně nachází v biologických systémech a jsou primárně odpovědné za většinu funkčních procesů v buňkách. Odhaduje se, že proteiny mohou zachytit většinu (50-75 %) vzniklých reaktivních forem (Dalle-Donne et al. 2006). Může docházet k přímému i nepřímému poškození po vzájemném působení, což vede k peroxidaci, změnám v jejich struktuře, degradaci, zesílení (cross-link) a štěpení řetězců. Postranní řetězce proteinů tvořené z aminokyselinových zbytků, zejména z tryptofanu, cysteinu a methioninu jsou nejvíce citlivé na působení ROS a RNS. Poškození se často nedá napravit a oxidační změny struktury mohou způsobit snížení enzymatických a vazebných aktivit, zvýšení nebo snížení vychytávání proteinů buňkami a snížení imunogenity. Produkty oxidace proteinů jsou obvykle aldehydy a ketony (Kunwar & Priyadarsin 2011).

Jedním z důsledků působení reaktivních forem může být stárnutí. Neaktivní proteiny jsou degradovány, tvoří se agregáty a hromadí se v uzavřených kompartmentech uvnitř buněk. Akumulací zvyšujícího se počtu agregátů může dojít až k samotné apoptóze a nekroze buněk (Dalle-Donne 2006).

Oxidační poškození nukleových kyselin

Ačkoliv je DNA stabilní a dobře chráněná molekula, ROS a RNS jsou stejně schopné ovlivňovat molekulu a způsobovat různá onemocnění. Může docházet ke změnám bází DNA i struktury dvoušroubovice, ztrátě purinů, poškození deoxyribózového cukru, zesílení DNA s proteinem a poškození mechanismů oprav DNA. $\bullet\text{OH}$ radikál je jeden z nejvíce soustředěných radikálů na poškození DNA. Může napadat purinové i pyrimidinové báze za vzniku aduktů oxidační i redukční povahy. To vyvolává změny bází a jejich uvolňování. Vznikají produkty, jako 8-hydroxydeoxyguanosin, 8-hydroxyadenin, peroxid thyminu, thyminové glykoly atd. Když volné radikály napadají cukernou skupinu, dochází k produkci peroxylových radikálů. Těmito procesy dochází ke změně genetického materiálu vedoucí k buněčné smrti, mutagenezi, karcinogenezi a stárnutí (Kunwar & Priyadarsin 2011).

Příznivé působení

Příznivé účinky ROS a RNS (např. superoxidový radikál a oxid dusnatý) se vyskytují při jejich nízkých i středních koncentracích v organismu. Hrají důležitou roli jako regulační molekuly v signalizačních procesech, jako např. při obraně organismu proti infekcím nebo jako látky působící při vzniku či regeneraci buněčných struktur. Fagocytující buňky, mezi které patří neutrofyly, monocyty a makrofágy, uvolňují volné radikály jako součást obranného mechanismu těla, aby odstranily patogenní mikroby. Dvojstranná povaha je opodstatněná. Rostoucí počet důkazů ukazuje, že ROS a RNS v buňkách působí jako sekundární poslové při signalizačních procesech a indukují a udržují rakovinné buňky. Na druhou stranu mohou ROS a RNS také indukovat buněčnou senescenci a apoptózu, a proto mohou mít protinádorové účinky (Dröge 2002; Valko et al. 2007).

3.2.2 Antioxidanty

Antioxidanty se považují za látky, které jsou přítomny v nižších koncentracích v organismu a významně zpochybňují nebo zabraňují oxidaci makromolekulárních látek (DNA, proteinům, lipidům). Jsou odpovědné i za stabilitu a konzervaci potravin. Přitahují velkou pozornost jako potravinové stabilizátory, potravinové doplňky a zdravé přírodní látky. Antioxidanty jsou účinné, protože mohou darovat své vlastní elektrony, a tím neutralizovat nepříznivé účinky reaktivních druhů - volných radikálů a oxidantů (Shahidi & Zhong 2010; Kunwar & Priyadarsin 2011). Antioxidanty tvoří poměrně širokou škálu látek, které se liší původem, chemickou strukturou, ale i působením v organismu. Antioxidanty mohou mít svůj původ přírodní, jiné se naopak vyrábějí synteticky (Hřebíčková 2009). Tyto antioxidanty se široce využívají v potravinových výrobcích a v literatuře se objevuje stále větší počet výzkumných prací o objevování a aplikaci přírodních antioxidantů a jejich terapeutickém použití při inhibici nesčetných nemocí. Některé běžné syntetické antioxidanty se však staly kontroverzní kvůli jejich potenciálním nepříznivým účinkům na zdraví (Shahidi & Zhong 2010). Dále se mohou antioxidanty dělit i z hlediska rozpustnosti na lipofilní (rozpustné v tucích), kam můžeme zařadit například tokoferoly, a hydrofilní (rozpustné ve vodě) s typicky zastupující látkou askorbovou kyselinou (vitamin C) (Hřebíčková 2009).

3.2.2.1 Přírodní antioxidanty

Studium antioxidantů přítomných v rostlinách a potravinách jsou dnes jedním z oblíbených témat v oblasti potravin a zemědělství. Mnoho botanických druhů již bylo předmětem studií a tyto studie objevily tisíce různých sloučenin majících antioxidační vlastnosti. Tyto sloučeniny rostliny využívají pro různé biologické úkoly, jako např. obranné systémy proti negativně působícím látkám (Augustyniak et al. 2010). Nejbohatším zdrojem přírodních antioxidantů je ovoce, zelenina, koření, byliny, obiloviny, semínka, olejnatá semena, luštěniny, čaje, káva atd. Antioxidanty mají velký význam pro uchování potravinářských produktů, zejména těch, které obsahují lipidy. Je ale známé, že antioxidanty vyskytující se v potravinách se často, minimálně částečně, ztrácí během zpracování nebo skladování, proto se při výrobě těchto produktů záměrně přidávají antioxidanty umělé (Shahidi & Zhong 2010). Mezi přírodní látky s antioxidačními vlastnostmi se řadí vitamin C, vitamin E, karotenoidy a fenolické látky.

Vitamin C

Vitamin C, také askorbová kyselina, je přirozeně se vyskytující organická sloučenina s antioxidačními účinky, která se nachází jak u rostlin, tak u živočichů. Vitamin C není v lidském organismu syntetizován, proto musí být přijímán ve stravě. Funguje jako kofaktor pro enzymy podílející se na regulaci fotosyntézy, biosyntézy hormonů a regeneraci dalších antioxidantů. Také ovlivňuje buněčné dělení a růst, napomáhá při přenosu signálů a má roli v několika fyziologických procesech, jako je stimulace imunitního systému, syntéza kolagenu, hormonů, neurotransmiterů, absorpce železa i odstranění těžkých kovů z těla. Těžký nedostatek (až avitaminóza) způsobuje kurděje (skorbut - odtud název), zatímco omezený příjem vitamínu C může způsobit zvýšenou citlivost na infekce, suchost v ústech a očích, hybnost zubů, ztrátu vlasů, svědivost kůže, únavu a jiné problémy (Pehlivan 2017).

Vitamin C je mezi vitaminy jedinečný z několika důvodů. Má se za to, že je nejdůležitější hydrofilní antioxidant, který je účinný při odstraňování superoxidových a hydroxylových radikálů, peroxidu vodíku, reaktivních druhů dusíku a singletového kyslíku. Vitamin C může působit jako vychytávač reaktivních druhů, inhibuje oxidaci, avšak při nízkých hladinách může katalyzovat oxidaci (např. ve svalech). Ve své struktuře obsahuje čtyři OH skupiny, které mohou uvolňovat vodík do oxidačního systému (Oroian & Escriche 2015). Po ztrátě elektronu se vitamin C přemění buď na semidehydroaskorbát, askorbyl nebo askorbátový radikál. Jinak řečeno, reaktivní volné radikály mohou reagovat s askorbovou kyselinou, volný radikál je redukován a radikál vzniklý z vitamínu C je méně reaktivní. Vzniklé radikály mohou být redukovány zpět na askorbovou kyselinu třemi samostatnými enzymatickými drahami nebo i redukcí pomocí látky glutathionu. U lidí však existuje pouze částečná zpětná redukce, proto poté dochází k hydrolýze dehydroaskorbové kyseliny (vzniklé odtržením druhého nepárového elektronu askorbylového radikálu) a k její ztrátě (Padayatty et al. 2003).

Vitamin E

Vitamin E je kolektivní název pro osm přirozeně se vyskytujících forem. Čtyři tokoferoly (α , β , γ , δ) a čtyři tokotrienoly (α , β , γ , δ), z nichž biologicky nejúčinnější antioxidantem je α -tokoferol a vitamínem γ -tokoferol. Všechny formy mají 6-chromanolový skelet s fytolovým postranním řetězcem, díky kterému jsou lipofilní. Tokotrienoly se liší od tokoferolů tím, že obsahují nenasycený fytolový postranní řetězec v polohách 3', 7' a 11'. Jednotlivé tokoferoly a tokotrienoly se od sebe různí počtem methylových skupin na chromanovém skeletu (Traber & Packer 1995).

Základem antioxidační reakce vitamínu E je zachycení autooxidačního radikálového řetězce v biologických membránách. α -tokoferol reaguje s peroxylovými radikály mastných kyselin, primárními produkty peroxidace lipidů. To, co dělá α -tokoferol tak vysoce účinným antioxidantem, je extrémně rychlá reakce s peroxylovými radikály, která nedovoluje radikálům provádět jakékoliv jiné reakce. Dále se α -tokoferol přeměňuje na poměrně stabilní radikál, který za normálních okolností reaguje pouze s tokoferoxylovým nebo peroxylovým radikálem mastné kyseliny za vzniku stabilních, neradikálových produktů (Schneider 2005).

Vitamin C, glutathion a ubichinon jsou hydrofilní antioxidanty, které se v organismu vyskytují hojněji. Vitamin E může být těmito antioxidanty redukován, kdy například vitamin C redukuje α -tokoferoxylový radikál a tím šetří α -tokoferol (Stratil & Kubáň 2018).

Karotenoidy

Karotenoidy, v tucích rozpustné pigmenty tetraterpenoidního skeletu, jsou odpovědné za zbarvení několika druhů ovoce a zeleniny, které se běžně vyskytují v naší každodenní stravě. Je možné je rozdělit na dvě skupiny, a to na karoteny a xantofyly. Mezi nejhlavnější patří α - a β -karoten a lykopen, dále i zeaxanthin a lutein. Obzvláště se objevují v žlutooranžových plodech (mrkev, rajče, dýně, paprika atd.), ale také v tmavě zelené zelenině. K pigmentaci dochází ale i u některých živočichů a mikroorganismů (Oroian & Escriche 2015; Xavier & Pérez-Gálvez 2016).

V poslední době se nejvíce zkoumají biologické funkce karotenoidů, zejména jako antioxidantů. Obecně jsou karotenoidy tvořené molekulou ze 40 atomů uhlíku a uhlíkatým řetězcem se systémem konjugovaných dvojných vazeb. Tyto znaky jsou primárně zodpovědné za jejich pigmentové vlastnosti a schopnost mnoha z těchto sloučenin integrovat s reaktivními druhy, převážně singletovým kyslíkem (Young & Lowe 2018). Zhášecí mechanismus je založen na fyzikálním procesu, při kterém je přebytečná energie molekuly kyslíku absorbována karotenoidem, který navrací molekulu kyslíku zpět do svého stavu základní energie. Přebytečná energie karotenoidu je rozptýlena do okolí, aniž by působila poškození sousedních molekul. Tímto způsobem mohou karotenoidy působit až na 1000 molekul kyslíku, aniž by došlo k jeho destrukci (Xavier & Pérez-Gálvez 2016).

Fenolické sloučeniny

Jedná se o jednu z nejpočetnějších a hojně se vyskytujících skupin rostlinných sekundárních metabolitů, které jsou nedílnou součástí lidské i zvířecí stravy. Tyto látky obsahují jeden nebo více benzenových kruhů, které mohou být substituované jednou (monofenoly) nebo i více hydroxylovými skupinami (polyfenoly). Všechny rostlinné polyfenoly pocházejí z fenylalaninu nebo šikimové kyseliny. Primárně se vyskytují v konjugované formě s cukernými zbytky navázanými na hydroxylové skupiny, ale mohou existovat i přímé vazby monosacharidů i polysacharidů s aromatickými uhlovodíky. Běžné je také spojení s jinými sloučeninami, jako jsou karboxylové a organické kyseliny, aminy, lipidy i jiné fenoly. Polyfenoly mohou být klasifikovány do několika skupin v závislosti na počtu benzenových kruhů a dalších prvků. Mezi hlavní patří fenolické kyseliny, flavonoidy, stilbeny a lignany. Fenolické látky se nacházejí v rostlinách podle jejich rozpustnosti ve vodě. Nerozpustné fenolické sloučeniny působí v buněčných stěnách, zatímco rozpustné sloučeniny ve vakuolách rostlinných buněk (Pandey & Rizvi 2009; Stratil & Kubáň 2018).

Fenolické sloučeniny působí jako antioxidanty z mnoha důvodů. Fenolové hydroxylové skupiny mohou být snadno donorem vodíkového protonu a přeměnit se přitom na fenoxidový anion. Ten může ztratit elektron a přeměnit se na odpovídající radikál. Jestliže se spojí takové dva radikály, vzniká požadovaná kovalentní vazba a neškodná sloučenina. Fenolické sloučeniny jsou schopné přímo zhášet $\cdot\text{OH}$, NO_2 , ONOOH a HOCl . Některé polyfenoly umí reagovat i s $\text{O}_2\cdot^-$. Struktura molekul, vlastnosti a počet fenolových hydroxylových skupin určují možnou aktivitu jednotlivých fenolických látek. Obecně platí, že čím více hydroxylových skupin se nachází v molekule, tím je utvořena vyšší pravděpodobnost zachytávat volné radikály a jiné reaktivní druhy. Fenoly mají i možnost vázat ionty přechodných kovů a tím zabránit oxidačním reakcím. Při peroxidaci lipidů vychytávají vzniklé peroxylové nebo alkoxylové radikály a přerušují řetězovou reakci. Jako produkty

vznikají stabilní fenoxylové radikály, které mohou znovu reagovat s peroxylovým nebo alkoxylovým radikálem mastné kyseliny (Stratil & Kubáň 2018).

3.2.2.2 Syntetické antioxidanty

Účinnost přírodních a syntetických antioxidantů je velmi obtížné srovnávat, ale obecně se chovají velmi podobně. Jejich antioxidační aktivity závisí pouze na chemické struktuře a polaritě. Syntetické antioxidanty byly vyvinuty pro stabilizaci tuků a olejů nebo potravin bohatých na lipidy. Udává se, že v těchto substrátech jsou podstatně účinnější než přírodní antioxidanty, které jsou obvykle méně rozpustné v tucích (kromě karotenů, tokoferolů a jejich esterů i některých lignanů) (Pokorný 2007). Používání syntetických antioxidantů je přísně regulováno Evropskou unií a místními orgány. Ke schválení a stanovení bezpečnostních limitů jsou vyžadovány dlouhodobé toxikologické studie na zvířecích modelech. V posledních letech ale roste poptávka po nahrazení syntetických antioxidantů přírodními alternativami, protože spotřebitelé mají obavy ze škodlivých účinků syntetických sloučenin ve své stravě (Raikos 2017).

Mezi nejobvyklejší syntetické antioxidanty patří butylhydroxyanizol (BHA), butylhydroxytoluen (BHT), propylgalát (PG) a terciální butylchinon (TBHQ).

BHA a BHT

Butylhydroxyanizol a související sloučenina butylhydroxytoluen jsou syntetické fenolické látky, které se často přidávají do potravin, aby se po delší dobu zachovala kvalita tuků a olejů a zabránilo se jejich žluknutí. Přidávají se taktéž do kosmetiky, balených produktů obsahujících tuky a oleje, krmiva zvířat i gumových a ropných výrobků, aby se udržely jejich fyzikální a chemické vlastnosti. BHT se může prodávat jako doplněk stravy. BHA i BHT prochází neustále různými ověřovacími testy jejich účinků na lidské zdraví, které vyžaduje FDA (Úřad pro kontrolu potravin a léčiv). Jsou vynikajícími konzervačními prostředky, ale mohou mít i negativní vliv na zdraví člověka. Výzkumy vedou k protichůdným závěrům. Oxidační vlastnosti a metabolity BHA i BHT mohou přispívat ke karcinogenitě. Stejně reakce však mohou bojovat proti oxidačnímu stresu a pomáhat detoxikovat karcinogeny (Helminstine 2019).

BHA je antioxidant, při pokojové teplotě bílá nebo mírně nažloutlá voskovitá pevná látka se slabým charakteristickým zápachem. Sestává se ze směsi 3-terc-butyl-4-hydroxyanisol (3-BHA) a 2-terc-butyl-4-hydroxyanisol (2-BHA). Přidává se do másla, sádla, masa, uzenin, bramborových lupínků, pečiva, cukrovinek, rostlinných olejů, žvýkaček atd. FDA ji považuje za bezpečnou, pokud obsah tohoto antioxidantu nepřesáhne 0,02 % hmotnosti celkového tuku nebo oleje v potravě. NTP (National Toxicology Program) předpokládá, že se jedná o lidský karcinogen na základě dostatečných důkazů karcinogenity ze studií na experimentálních zvířatech (National Toxicology Program 2016).

BHT (3,5-di-terc-butyl-4-hydroxytoluen) je bílá krystalická pevná látka. Je vhodný pro tepelné zpracování, ale stabilitou se BHA nevyrovná. Běžně se spolu používají v kombinaci k zajištění větší antioxidační aktivity, ale mohou se nacházet pouze v koncentraci do 0,02 %. Pokud se použijí při zahřívání na vysokou teplotu po delší dobu, může docházet k znehodnocení potravin vznikem nežádoucího zápachu (Shahidi 2005).

TBHQ a PG

TBHQ může být bílý, béžový až žlutohnědý krystalický prášek, který se přidává do vysoce nenasycených rostlinných olejů používaných na smažení. V rostlinných olejích působí mnohem stabilněji než BHA. Je považován za nejúčinnější antioxidant v prevenci oxidace fritovacích olejů. TBHQ vykazuje vynikající spolupůsobení s úplně jinými antioxidanty, jako je například citrónová kyselina (Shahidi 2005).

Pro použití v potravinách jsou schváleny tři estery gallové kyseliny, jmenovitě propylgalát, oktylgalát a dodecylgalát. Propylgalát je bílý krystalický prášek nahořklé chuti a bez zápachu, který je mírně rozpustný ve vodě i v tuku, zatímco vyšší oktyl- a dodecylgalát jsou prakticky nerozpustné ve vodě, ale snadno rozpustné v tucích a olejích (Shahidi 2005).

3.2.2.3 Antioxidační ochrana organismu

Volné radikály a další reaktivní látky neradikálové povahy se neustále vytvářejí v biologických systémech v důsledku vnějších i vnitřních stresorů, proto si buňky vyvinuly silné a komplexní antioxidační obranné systémy, které omezují tvorbu a šíření reaktivních částic působících negativně v organismu (Morrissey & O'Brien 1998). Mohou být zastupovány enzymy (superoxiddismutáza, kataláza, glutathionperoxidáza), které jsou poměrně specifické i látkami neenzymové povahy (vitamin E, vitamin C, glutathion, močová kyselina, flavonoidy, prvky jako železo či měď, koenzym Q atd.), které už tolik specifické nejsou. Většina těchto látek se zařazují do endogenních ochranných mechanismů, ale kromě nich může být organismus chráněn i příjmem exogenních antioxidantů z potravy (viz kapitola 3.2.2.1). Působení antioxidantů není univerzální, každý z nich je zaměřen na zneškodnění jiné částice a na jiném místě (Stratil & Kubáň 2018).

Na základě obrany organismu mohou být antioxidanty klasifikovány jako obranné antioxidanty první, druhé a třetí linie (Ighodaro & Akinloye 2018).

První linii zastupují antioxidanty, které potlačují a zabraňují tvorbě volných radikálů a reaktivním neradikálním druhům. Velmi rychle neutralizují jakoukoliv molekulu s potenciálem přeměny na volný radikál nebo jakýkoliv radikál se schopností vyvolat produkci jiných radikálů. Tuto linii zastupují tři důležité enzymy: superoxiddismutáza, kataláza a glutathionperoxidáza. Tyto enzymy postupně zneškodňují superoxidový radikál, rozkládají peroxidy vodíku a hydroperoxidy na neškodné molekuly (H_2O_2 , alkohol a O_2). Dále do této linie patří i proteiny vázající kovové ionty (vysokomolekulární antioxidanty), jako je transferin, feritin, laktoferin a ceruloplazmin. Tyto látky poutají železo a měď. V důsledku toho brání tvorbě volných radikálů (Ighodaro & Akinloye 2018).

Ačkoliv tvorba volných radikálů je minimalizována výše uvedenými preventivními antioxidanty, může být i přes to v organismu vytvořeno malé množství volných radikálů, nebo se mohou přijímat z vnějšího prostředí. Druhou obrannou linií jsou antioxidanty, které vychytávají aktivní radikály, aby potlačily nebo přerušily řetězové reakce. Mezi nejznámější antioxidanty pohlcující radikály patří vitamin C, močová kyselina, bilirubin, glutathion, spadající do hydrofilní skupiny. Mezi lipofilní antioxidanty se zařazují vitamin E a ubiquinon. Tuto funkci mohou však vykonávat i karotenoidy. Aktivita antioxidantů je určena vlastní chemickou reaktivitou a koncentrací, ale také umístěním a pohyblivostí v prostředí. Hydrofilní antioxidanty účinně zachycují volné radikály ve vodném prostředí, ale nemohou

zachytávat radikály v membránách. Za tuto funkci jsou zodpovědné lipofilní antioxidanty (Poli et al. 1993).

Poslední obrannou linii zastupují antioxidanty, které vstoupí do procesu až poté, co dojde k poškození. Nazývají se také *de novo* enzymy a jejich funkcí je opravovat poškozené biomolekuly a obnovovat poškozenou buněčnou membránu. Provádějí také „čisticí povinnost“, rozkládají, rozpoznávají a odstraňují oxidované proteiny, DNA, lipidy, aby zabránily jejich hromadění, které může být pro organismus toxické. Mezi běžné příklady patří enzymy pro opravu DNA (polymerázy, glykosilázy a nukleázy), proteolytické enzymy (proteázy, peptidázy), které jsou umístěné jak v cytosolu buněk, tak v mitochondriích. Existuje také mechanismus, kdy tvorba a reakce volných radikálů vyvolává transport vhodného antioxidantu na místo dění (Ighodaro & Akinloye 2018).

3.3 Metody stanovení antioxidační aktivity

Antioxidační aktivita a antioxidační kapacita jsou pojmy, které se často zaměňují, ale mají různé významy. Antioxidační aktivita označuje rychlostní konstantu reakce mezi specifickým antioxidantem a oxidantem či volným radikálem. Antioxidační kapacita je definována jako míra množství (v molech) daného volného radikálu zachyceného vzorkem s antioxidanty (Macdonald-Wicks et al. 2006). Antioxidační aktivita sloučeniny může být hodnocena *in vitro* nebo *in vivo* pomocí experimentů a lze vyhodnotit možný prooxidační účinek na různé molekuly. Existuje celá řada metod pro hodnocení obsahu antioxidantů a antioxidační aktivity. Při studiu antioxidační aktivity vzorku je nutné vzít v úvahu zdroj radikálů a cílový substrát. Antioxidant totiž může chránit před oxidačním poškozením, zatímco na druhé straně může podporovat oxidaci jiných biologických molekul. Také se musí vzít v úvahu, že látky přijímané z rostlinné stravy podléhají metabolickým změnám již při trávení a proto může být jejich účinek ovlivněn. Proto látka, která vykazuje vysokou antioxidační aktivitu, nemusí v organismu za každých okolností působit. Metody musí být rychlé, reprodukovatelné a vyžadují, aby byla analyzována malá množství chemických sloučenin, aniž by se změnila fyzikální vlastnosti. Mezi nejtypičtější metody stanovení antioxidantů a antioxidační aktivity patří FRAP, ORAC a metoda používající DPPH, což jsou metody hodnotící eliminaci buď syntetického, nebo kyslíkového radikálu. Metoda FRAP zastupuje metody založené na hodnocení redoxních vlastností látek (Pavlová et al. 2004; Santos-Sánchez et al. 2019).

3.3.1 TAEC (metoda používající ABTS)

Tato metoda je považována za jednu ze základních metod stanovení antioxidační aktivity, protože má široké uplatnění. Je jednoduchá a rychle proveditelná. Principem této metody je zhášení stabilního uměle vytvořeného radikálu ABTS^{•+} [2,2'-azinobis(3-ethyl-2,3-dihydrobenzothiazol-6-sulfonát)] připraveným vzorkem s antioxidanty, které se chovají jako donory vodíku. Radikál ABTS^{•+} může vznikat převážně oxidací ABTS peroxidisíranem draselným, oxidem manganičitým, peroxidem vodíku nebo methemoglobinem. Tato metoda je nazývána jako TAEC, z anglického názvu Trolox Equivalent Antioxidant capacity, kde je celková antioxidační kapacita vzorku srovnávána s antioxidační kapacitou synteticky připravené látky Troloxu (hydrofilní derivát vitamínu E). Samotné zhášení je sledováno

spektrofotometricky měřením absorpance při 734 nm. Přidání antioxidantů k radikálu ABTS^{•+} následuje mechanismus přenosu elektronů, který je vizualizován jako změna barvy odpovídající tomu, kdy je radikál redukován antioxidantem. Výsledky jsou vyjadřovány většinou jako ekvivalenty Trolox nebo TAEC (Pavlová et al. 2004; Hernández-Rodríguez et al. 2019).

3.3.2 Metoda používající DPPH

Metoda používající radikál DPPH je také jedna z více praktikovaných spektrofotometrických metod, protože se považuje za jednoduchý a účinný experiment s dobrou stabilitou, citlivostí, proveditelností a relativně nízkými náklady. DPPH představuje stabilní radikál, který má tmavě fialovou barvu a maximální absorpční vlnovou délku 515-520 nm. Aby se vytvořila stabilnější molekula, radikál DPPH musí přijmout elektron nebo vodík od antioxidantu. Touto reakcí dochází ke změně barvy z tmavě fialové na světle žlutou. To znamená, že čím více bude docházet k zachytávání radikálu DPPH antioxidanty a tím bude vzorek světlejší. Výsledky se vyjadřují pomocí účinné koncentrace (EC_{50}). Udává množství vzorku, které je potřebné ke snížení koncentrace radikálů DPPH o 50 % (Hernández-Rodríguez et al. 2019).

3.3.3 ORAC

ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) je fluorescenční metoda založená na zpomalení nebo zastavení oxidace fluorescenční molekuly, vyvolané peroxylovými radikály zásluhou antioxidantů obsaženým ve vzorku. Současně se vyhodnocuje časový účinek a stupeň inhibice. Jako standart se používá Trolox. Zdrojem peroxylových radikálů je látka AAPH [2,2'-azobis(2-amidinopropan)dihydrochlorid], pokud se zahřívá v přítomnosti dostatečného množství kyslíku. Peroxylové radikály reagují s fluorescenční sondou (fluorescein, dříve β -fykoerytrin) a současně oslabují fluorescenci těchto látek. Snižování fluorescence je sledováno opticky a antioxidační aktivita je stanovena zpomalením ztráty fluorescence v přítomnosti antioxidantů. Platí tedy, že čím méně antioxidantů se nachází ve vzorku, tím více dochází k úbytku fluorescence. Metodu ORAC lze také použít k detekci \bullet OH i dalších radikálů. Používá se široce k měření antioxidační kapacity nápojů, doplňků, ovoce a zeleniny (Apak et al. 2013; Hernández-Rodríguez et al. 2019).

3.3.4 FRAP

Mechanismus metody FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) je založen spíše na přenosu elektronů. V této metodě dochází k redukci bezbarvého železitého komplexu Fe^{3+} -TPTZ [2,4,6-tri(2-pyridyl)-1,3,5-triazin] na modře zbarvený komplex Fe^{2+} -TPTZ působením antioxidantů poskytujících elektrony. Redukce byla monitorována měřením změny absorpance při 593 nm pomocí spektrofotometru (Irshad et al. 2012). Metodu omezuje příliš nízká hodnota pH, která činí přesně 3,6. Dále nedochází k zachycení polyfenolických látek, protože bylo zjištěno, že reagují s komplexem pomalu. Tato metoda nemůže detekovat sloučeniny, které působí radikálním zhášením. Jedná se o jednoduchou, rychlou (obvykle 4-6 min) a relativně levnou metodu (Fidler & Kolářová 2009; Cerretani & Bendini 2010).

4 Závěr

Podle poznatků z prostudovaných zdrojů je jakon významnou okopaninou pro obyvatele Jižní Ameriky. Na tomto území hraje důležitou roli jako potrava i jako zdroj pozitivně působících látek pro lidský organismus. V ostatních částech světa není jakon zatím až tolik známý, avšak v Evropě i v Asii v dnešní době probíhají relativně rozsáhlé průzkumy této rostliny i jejích zdravotních účinků.

Na základě mnoha studií bylo zjištěno, že hlízy i listy jakonu jsou významným zdrojem antioxidačně působících látek. Mezi nejvýznamnější antioxidanty patří chlorogenová a kávová kyselina i s jejími deriváty, dále aminokyselina tryptofan a flavonoidy rutin, myricetin a kvercetin. Byly izolovány i seskviterpenové laktony, kde mezi nejvýznamnější patří enhydrin. Funkcí těchto látek je chránit organismy před oxidačním stresem, který může vyvolávat poškození buněčných struktur i živých tkání, a tak k vzniku různých onemocnění.

Bylo také zjištěno, že extrakt z listů jakonu obsahuje vyšší množství těchto pozitivně působících látek, než obsahuje extrakt z hlíz. Antioxidační aktivita byla také naměřena asi 20krát vyšší u extraktů z listů. Z těchto výsledků můžeme usoudit, že listy jsou bohatším zdrojem fenolických sloučenin (antioxidantů) než kořenové hlízy jakonu. Na druhou stranu jsou hlízy bohatým zdrojem fruktooligosacharidů a inulinu, které pozitivně ovlivňují mikrobiom tlustého střeva i celkový chod trávicího traktu, tím pádem mohou taktéž ovlivňovat vznik některých onemocnění.

V andské lidové medicíně je jakon využíván jako léčivý prostředek pro diabetiky, pro lidi s dyslipidemií, trávicími problémy či problémy s játry a ledvinami. Mimo jiné jsou zde listy i hlízy jakonu konzumovány pro zpomalení stárnutí pleti, které je z části ovlivňováno oxidačním stresem. Listy jakonu využívají konzumenti i pro přípravu nálevů podobných bylinným čajům, hlízy se konzumují nejčastěji syrové, avšak v průběhu let se začal jakon zpracovávat i na další produkty jako je mouka, hranolky, džemy, šťávy i sirupy.

Většina studií zkoumající jakon (včetně jeho složení) byla provedena na zvířecích modelech. Zjistilo se, že podávání extraktu z listů, které byly bohaté na antioxidačně působící látky, snižovalo hladinu glukózy v séru diabetických potkanů, stejně tak zvyšovalo i koncentraci inulinu a snižovalo hladinu LDL cholesterolu. Studie účinků látek z hlíz i listů jakonu na lidech jsou prováděny omezeně, některé studie však prokázaly, že konzumace jakonu může pozitivně ovlivňovat zdraví člověka. Fenolické sloučeniny mají protinádorové, protizánětlivé a již zmíněné antioxidační vlastnosti, mohou se podílet i na kontrole hladiny cukru u diabetických pacientů či u starších lidí, u kterých mohou také snižovat riziko rakovinného bujení. Inulin a fruktooligosacharidy, které tvoří hlavní nestravitelnou složku hlíz jakonu, mohou mít zásluhu na redukci váhy u lidí trpících nadváhou či obezitou, dále mohou mít vliv na vstřebávání glukózy, snížení glukoneogeneze a zvýšení sekrece inulinu ve slinivce břišní.

Antioxidanty a jejich antioxidační vlastnosti se mohou stanovovat metodami TAEC, ORAC, metodou používající radikál DPPH a FRAP. Jedná se o relativně snadné a rychlé metody založené buď na eliminaci volných radikálů, nebo na hodnocení redoxních vlastností.

I když už se jakon i výrobky získané z jakonu na světovém trhu objevují, je zapotřebí získat ještě více informací o zdravotních účincích konzumace jakonu na lidský organismus.

5 Literatura

- Alles MJ, Tessaro IC, Noreña CP. 2015. Concentration and Purification of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Root Fructooligosaccharides Using Membrane Technology. *Food Technology and Biotechnology* **53**:190-200.
- Anand David AV, Arulmoli R, Parasuraman S. 2016. Overviews of biological importance of quercetin: A bioactive flavonoid. *Pharmacognosy Reviews* **10**:84-89.
- Apak R, Gorinstein S, Böhm V, Schaich KM, Özyürek M, Güçlü K. 2013. Methods of measurement and evaluation of natural antioxidant capacity/activity (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry* **85**:957-998.
- Aruoma OI. 1998. Free radicals, oxidative stress, and antioxidants in human health and disease. *Journal of the American Oil Chemists' Society* **75**:199-212.
- Asmat U, Abad K, Ismail K. 2016. Diabetes mellitus and oxidative stress - a concise review. *Saudi Pharmaceutical Journal* **24**:547-553.
- Augustyniak A et al. 2010. Natural and synthetic antioxidants: An updated overview. *Free Radical Research* **44**:1216-1262.
- Aybar MJ, Sánchez Riera AN, Grau A, Sánchez SS. 2001. Hypoglycemic effect of the water extract of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) leaves in normal and diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology* **74**:125-132.
- Bagchi K, Puri S. 1998. Free radicals and antioxidants in health and disease. *Eastern mediterranean Health Journal* **4**:350-360.
- Basu Mallik S, Mudgal J, Nampoothiri M, Hall S, Dukie SA, Grant G, Rao CM, Arora D. 2016. Caffeic acid attenuates lipopolysaccharide-induced sickness behaviour and neuroinflammation in mice. *Neuroscience Letters* **632**:218-223.
- Bárta J. 2016. Rostlinné fenolové látky a flavonoidy. DocPlayer. Available from <https://docplayer.cz/14319329-Rostlinne-fenolove-latky-a-flavonoidy.html> (accessed March 2020).
- Biazon ACB et al. 2016. The in Vitro Antioxidant Capacities of Hydroalcoholic Extracts from Roots and Leaves of *Smallanthus sonchifolius* (Yacon) Do Not Correlate with Their in Vivo Antioxidant Action in Diabetic Rats. *Journal of Biosciences and Medicines* **4**:15-27.
- Boots AW, Haenen GRMM, Bast A. 2008. Health effects of quercetin: From antioxidant to nutraceutical. *European Journal of Pharmacology* **585**:325-337.
- Caetano BF, de Moura NA, Almeida AP, Dias MC, Sivieri K, Barbisan LF. 2016. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a Food Supplement: Health-Promoting Benefits of Fructooligosaccharides. *Nutrients* **8**:MDPI (436) DOI: 10.3390/nu8070436.
- Cerretani L, Bendini A. 2010. Rapid Assays to Evaluate the Antioxidant Capacity of Phenols in Virgin Olive Oil. Pages 625-635 in Preedy VR, Watson RR, editors. *Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention*, Italy.

- Dalle-Donne I, Rossi R, Colombo R, Giustarini D, Milzani A. 2006. Biomarkers of Oxidative Damage in Human Disease. *Clinical Chemistry* **52**:601-623.
- Das D, Bhat MR, Selvaraj R. 2019. Review of inulase production using solid-state fermentation. *Annals of Microbiology* **69**:201-209.
- de Almeida Paula HA, Abranches MV, de Lucas Fortes Ferreira CL. 2014. Yacon (*Smallanthus Sonchifolius*): A Food with Multiple Functions. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **55**:32-40.
- de Andrade EF, Carpiné D, Dagostin JLA, Barison A, Rüdiger AL, de Muñoz GIB, Masson ML. 2017. Identification and antimicrobial activity of the sesquiterpene lactone mixture extracted from *Smallanthus sonchifolius* dried leaves. *European Food Research and Technology* **243**:2155-2161.
- de Andrade EF, Leone RD, Ellendersen LN, Masson ML. 2014. Phenolic profile and antioxidant activity of extracts of leaves and flowers of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Industrial Crops and Products* **62**:499-506.
- De Ford C, Ulloa JL, Catalán CAN, Grau A, Martino VS, Muschiatti LV, Merfort I. 2015. The sesquiterpene lactone polymatin B from *Smallanthus sonchifolius* induces different cell death mechanisms in three cancer cell lines. *Phytochemistry* **117**:332-339.
- Delgado GT, Tamashiro WM, Maróstica Junior MR, Pastore GM. 2013. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): A Functional Food. *Plant Foods for Human Nutrition* **68**:222-228.
- Dos Santos KC et al. 2017. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Leaf Extract Attenuates Hyperglycemia and Skeletal Muscle Oxidative Stress and Inflammation in Diabetic Rats. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* **2017**:1-9.
- Dröge W. 2002. Free Radicals in the Physiological Control of Cell Function. *Physiological Reviews* **82**:47-95.
- Ehrenbergerová J, Prokopcová Z, Běláková S, Cerkal R, Pluháčková H, Vaculová K, Smutná P. 2012. Variabilita obsahu volné a celkové ferulové kyseliny v obilkách ječmene jarního. *Kvasný Průmysl* **58**:201-208.
- Farah A, Monteiro M, Donangelo CM, Lafay S. 2008. Chlorogenic Acids from Green Coffee Extract are Highly Bioavailable in Humans. *The Journal of Nutrition* **138**:2309-2315.
- Fernández EC, Viehmannová I, Lachman J, Hamouz K, Pulkrábek J, Brunerová L. 2010. *Netradiční plodiny pro diabetiky*. Grada Publishing, Praha.
- Fernández CE, Viehmannová I, Lachman J, Milella L. 2006. Yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poeppig & Endlicher) H. Robinson]: a new crop in the Central Europe. *Plant, Soil and Environment* **52**:564-570.
- Fernández CE, Pérez VW, Robles CH, Viehmannová I. 2005. Screening of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in the Bilbao Rioja and Charcas Provinces of Department Potosí in Bolivia. *Agricultura Tropica Et Subtropica* **38**:6-11.

- Fidler M, Kolářová L. 2009. Analýza antioxidantů v chmelu a pivu. *Chemické listy* **103**:232-235.
- Ganeshpurkar A, Saluja AK. 2017. The Pharmacological Potential of Rutin. *Saudi Pharmaceutical Journal* **25**:149-164.
- Genta SB, Cabrera WM, Mercado MI, Grau A, Catalán CA, Sánchez SS. 2010. Hypoglycemic activity of leaf organic extracts from *Smallanthus sonchifolius*: Constituents of the most active fractions. *Chemico-Biological Interactions* **185**:143-152.
- Halliwell B. 1991. Drug Antioxidant Effects. *Drugs* **42**:569-605.
- Halliwell B. 1994. Free Radicals and Antioxidants: A Personal View. *Nutrition Reviews* **52**:253-265.
- Halliwell B. 2015. Antioxidant and anti-inflammatory components of food. ILSI Europe, Belgium.
- Halliwell B, Clement MV, Long LH. 2000. Hydrogen peroxide in the human body. *FEBS Letters* **486**:10-13.
- Helmenstine AM. 2019. Chemistry of BHA and BHT Food Preservatives. Thought.Co. Available from <https://www.thoughtco.com/bha-and-bht-food-preservatives-607393> (accessed March 2020).
- Hermann M, Heller J. 1997. Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacon. IPK, Gatersleben/IPGRI, Rome, Italy.
- Hernández-Rodríguez P, Baquero LP, Larrota HR. 2019. Flavonoids: Potential Therapeutic Agents by Their Antioxidant Capacity. Pages 265-288 in Segura-Campos MR, editor. *Bioactive Compounds: Health Benefits and Potential Applications*. Woodhead Publishing, United Kingdom.
- Honoré SM, Grande MV, Gomez Rojas J, Sánchez SS. 2018. *Smallanthus sonchifolius* (Yacon) Flour Improves Visceral Adiposity and Metabolic Parameters in High-Fat-Diet-Fed Rats. *Journal of Obesity* **2018**:1-15.
- Hrycay EG, Bandiera SM. 2015. Involvement of Cytochrome P450 in Reactive Oxygen Species Formation and Cancer. Pages 35-84 in Hardwick JP, editor. *Advances in Pharmacology*. Academy Press, United States.
- Hřebíčková Š. 2009. Antioxidanty a volné radikály: rozdělení, jejich kapacita a aktivita. *Výživa a potraviny* **64**:30-32.
- Ighodaro OM, Akinloye OA. 2018. First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria Journal of Medicine* **54**:287-293.
- Informační centrum bezpečnosti potravin. Rutin. Ministerstvo zemědělství, Praha 1. Available from <https://www.bezpecnostpotravin.cz/az/termin/92238.aspx> (accessed March 2020).

- Irshad M, Zafaryab M, Singh M, Rizvi MMA. 2012. Comparative Analysis of the Antioxidant Activity of Cassia fistula Extracts. *International Journal of Medicinal Chemistry* **2012**:1-6.
- Jůzl M, Elzner P. 2014. Pěstování okopanin. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Khajehei F, Merkt N, Claupein W, Graeff-Hoenninger S. 2018. Yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) as a Novel Source of Health Promoting Compounds: Antioxidant Activity, Phytochemicals and Sugar Content in Flesh, Peel, and Whole Tubers of Seven Cultivars. *Molecules* **23**:MDPI 278. DOI: 10.3390/molecules23020278.
- Kikuzaki H, Hisamoto M, Hirose K, Akiyama K, Taniguchi H. 2002. Antioxidant Properties of Ferulic Acid and Its Related Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50**:2161-2168.
- Kunwar A, Priyadarsin KI. 2011. Free radicals, oxidative stress and importance of antioxidants in human health. *Journal of Medical & Allied Sciences* **1**:53-60.
- Lachman J, Fernández EC, Orsák M. 2003. Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use - a review. *Plant, Soil and Environment* **49**:283-290.
- Lachman J, Havrland B, Fernández EC, Dudjak J. 2004. Saccharides of yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson]: tubers and rhizomes and factors affecting their content. *Plant, Soil and Environment* **50**:383-390.
- Lesjak M, Beara I, Simin N, Pintać D, Majkić T, Bekvalac K, Orčić D, Mimica-Dukić N. 2018. Antioxidant and anti-inflammatory activities of quercetin and its derivatives. *Journal of Functional Foods* **40**:68-75.
- Li Y, Yao J, Han C, Yang J, Chaudhry M, Wang S, Liu H, Yin Y. 2016. Quercetin, Inflammation and Immunity. *Nutrients* **8**:MDPI (167) DOI: 10.3390/nu8030167.
- Lobo V, Patil A, Phatak A, Chandra N. 2010. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews* **4**:118-126.
- Lock O, Perez E, Villar M, Flores D, Rojas R. 2016. Bioactive Compounds from Plants Used in Peruvian Traditional Medicine. *Natural Product Communications* **11**:315-337.
- MacDonald-Wicks LK, Wood LG, Garg ML. 2006. Methodology for the determination of biological antioxidant capacity in vitro: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **86**:2046-2056.
- Machado AM, da Silva NBM, Chaves JBP, Alfenas RCG. 2019. Consumption of yacon flour improves body composition and intestinal function in overweight adults: A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. *Clinical Nutrition ESPEN* **29**:22-29.
- Mattila P, Hellström J. 2007. Phenolic acids in potatoes, vegetables, and some of their products. *Journal of Food Composition and Analysis* **20**:152-160.
- Meyer D, Bayarri S, Tárrega A, Costell E. 2011. Inulin as texture modifier in dairy products. *Food Hydrocolloids* **25**:1881-1890.

- Mindell E, Mundis H. 2010. Nová vitaminová bible: vitaminy, minerální látky, antioxidanty, léčivé rostliny, doplňky stravy, léčebné účinky potravin i léky používané v homeopatii. Ikar, Praha.
- Morrissey PA, O'Brien NM. 1998. Dietary Antioxidants in Health and Disease. *International Dairy Journal* **8**:463-472.
- National Toxicology Program. 2016. Butylated Hydroxyanisole: CAS No. 25013-16-5. U. S. Department of Health and Human Services. Available from <https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/content/profiles/butylatedhydroxyanisole.pdf> (accessed March 2020).
- Oroian M, Escriche I. 2015. Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. *Food Research International* **74**:10-36.
- Padayatty SJ et al. 2003. Vitamin C as an Antioxidant: Evaluation of Its Role in Disease Prevention. *Journal of the American College of Nutrition* **22**:18-35.
- Pandey KB, Rizvi SI. 2009. Plant Polyphenols as Dietary Antioxidants in Human Health and Disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* **2**:270-278.
- Pavlová H, Bochořáková H, Táborská E. 2004. Metody stanovení antioxidační aktivity přírodních látek in vitro. *Chemické listy* **98**:174-179.
- Pehlivan FE. 2017. Vitamin C: An Antioxidant Agent. Pages 23-35 in Hamza AH, editor. *Vitamin C*. IntechOpen, Rijeka.
- Pham-Huy LA, He H, Pham-Huy C. 2008. Free Radicals, Antioxidants in Disease and Health. *International Journal of Biomedical Science* **4**:89-96.
- Pietta PG. 2000. Flavonoids as Antioxidants. *Journal of Natural Products* **63**:1035-1042.
- Pokorný J. 2007. Are natural antioxidants better - and safer - than synthetic antioxidants? *European Journal of Lipid Science and Technology* **109**:629-642.
- Poli G, Albano E, Dianzani MU. 1993. *Free Radicals: From Basic Science to Medicine*. Birkhäuser Verlag, Basilej, Švýcarsko.
- Raikos V. 2017. Natural Antioxidants for Food Applications: Challenges and Recent Developments. *EC Nutrition* **8**:33-34.
- Robbins RJ. 2003. Phenolic Acids in Foods: An Overview of Analytical Methodology. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **51**:2866-2887.
- Ruben. 2016. Yacón (*Smallanthus sonchifolius*): Descripción y cultivo. Flor de Planta. Available from <https://www.flordeplanta.com.ar/huerta/yacon-smallanthus-sonchifolius-descripcion-y-cultivo/> (accessed January 2020).
- Santana-Gálvez J, Cisneros-Zevallos L, Jacobo-Velázquez D. 2017. Chlorogenic Acid: Recent Advances on Its Dual Role as a Food Additive and a Nutraceutical against Metabolic Syndrome. *Molecules* **22**:MDPI (358) DOI: 10.3390/molecules22030358.

- Santos-Sánchez NF, Salas-Coronado R, Villanueva-Cañongo C, Hernández-Carlos B. 2019. Antioxidant Compounds and Their Antioxidant Mechanism. Pages in Shalaby E, editor. Antioxidants. IntechOpen, Rijeka.
- Savini I, Gasperi V, Catani MV. 2016. Oxidative Stress and Obesity. Obesity:65-86. Springer International Publishing, Cham.
- Saxena M, Saxena DJ, Pradhan DA. 2012. Flavonoids and phenolic acids as antioxidants in plants and human health. International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research **16**:130-134.
- Semwal D, Semwal R, Combrinck S, Viljoen A. 2016. Myricetin: A Dietary Molecule with Diverse Biological Activities. Nutrients **8**:MDPI (90) DOI: 10.3390/nu8020090.
- Shahidi F. 2005. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. John Wiley & Sons, New York.
- Shahidi F, Zhong Y. 2010. Novel antioxidants in food quality preservation and health promotion. European Journal of Lipid Science and Technology **112**:930-940.
- Scheid MMA, Genaro PS, Moreno YMF, Pastore GM. 2014. Freeze-dried powdered yacon: effects of FOS on serum glucose, lipids and intestinal transit in the elderly. European Journal of Nutrition **53**:1457-1464.
- Schneider C. 2005. Chemistry and biology of vitamin E. Molecular Nutrition & Food research **49**:7-30.
- Silva DMN, Oliveira FL, Cavatte PC, Quaresma MAL, Christo BF. 2018. Growth and development of yacon in different periods of planting and growing regions. Acta Scientiarum. Agronomy **40**:SciELO (e39442) DOI: 10.4025/actasciagron.v40i1.39442.
- Simonovska B, Vovk I, Andrenšek S, Valentová K, Ulrichová J. 2003. Investigation of phenolic acids in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) leaves and tubers. Journal of Chromatography A **1016**:89-98.
- Singh RJ. 2012. Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement. CRC Press, Boca Raton.
- Southorn PA, Powis G. 1988. Free Radicals in Medicine. I. Chemical Nature and Biologic Reactions. Mayo Clinic Proceedings **63**:381-389.
- Srinivasan M, Sudheer AR, Menon VP. 2007. Ferulic Acid: Therapeutic Potential Through Its Antioxidant Property. Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition **40**:92-100.
- Stratil P, Kubáň V. 2018. Reaktivní kyslíkové radikály, přírodní antioxidanty a jejich zdravotní účinky. 2 THETA. Český Těšín.
- Štípek S et al. 2000. Antioxidanty a volné radikály ve zdraví a v nemoci. Grada Publishing, Praha.
- Takenaka M, Yan X, Ono H, Yoshida M, Nagata T, Nakanishi T. 2003. Caffeic Acid Derivatives in the Roots of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). Journal of Agricultural and Food Chemistry **51**:793-796.

- Traber MG, Packer L. 1995. Vitamin E: beyond antioxidant function. *The American Journal of Clinical Nutrition* **62**:1501-1509.
- Turrens JF. 2003. Mitochondrial formation of reactive oxygen species. *The Journal of Physiology* **552**:335-344.
- Ueda Y, Matsuda Y, Murata T, Hoshi Y, Kabata K, Ono M, Kinoshita H, Igoshi K, Yasuda S. 2019. Increased phenolic content and antioxidant capacity of the heated leaves of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* **83**:2288-2297.
- Valentova K, Cvak L, Muck A, Ulrichova J, Simanek V. 2003. Antioxidant activity of extracts from the leaves of *Smallanthus sonchifolius*. *European Journal of Nutrition* **42**:61-66.
- Valentová K, Frček J, Ulrichová J. 2001. Jakon (*Smallanthus sonchifolius*) a maka (*Lepidium meyenii*), tradiční andské plodiny jako nové funkční potraviny na evropském trhu. *Chemické listy* **95**:594-601.
- Valentová K, Lebeda A, Doležalová I, Jirovský D, Simonovska B, Vovk I, Kosina P, Gasmanová N, Dziechciarková M, Ulrichová J. 2006. The Biological and Chemical Variability of Yacon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **54**:1347-1352.
- Valko M, Leibfritz D, Moncol J, Cronin MTD, Mazur M, Telser J. 2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease **39**:44-84.
- Valko M, Rhodes CJ, Moncol J, Izakovic M, Mazur M. 2006. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological Interactions* **160**:1-40.
- WHO. 2020. Diabetes. WHO. Available from <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/diabetes> (accessed March 2020).
- Xavier AAO, Pérez-Gálvez A. 2016. Carotenoids as a Source of Antioxidants in the Diet. Pages 359-375 in Stange C, editor. *Carotenoids in Nature*. Springer, Cham.
- Yan MR, Welch R, Rush EC, Xiang X, Wang X. 2019. A Sustainable Wholesome Foodstuff; Health Effects and Potential Dietotherapy Applications of Yacon. *Nutrients* **11**:MDPI (2632) DOI: 10.3390/nu11112632.
- Young A, Lowe G. 2018. Carotenoids-Antioxidant Properties. *Antioxidants* **7**:MDPI (28) DOI:10.3390/antiox7020028.