

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra chemie**



**Potravinářská barviva**

**Bakalářská práce**

**Nikola Králová**

**Výživa a potraviny**

**doc. Ing. Alena Hejtmánková, CSc.**

© 2020 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Potravinářská barviva" 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 17. 7. 2020

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala paní doc. Ing. Aleně Hejtmánkové, CSc. za vstřícnost, trpělivost a odborné rady při zpracovávání této bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině, která mě po celou dobu plně podporovala.

# Potravinářská barviva

## Souhrn

Potravinářská barviva byla využívána již v dobách starověku a dnes jsou jedním z nejvýznamnějších potravinářských aditiv používaných v potravinářském průmyslu. Pro potravinářský průmysl jsou velmi důležitá hlavně z důvodu zachování barvy, kterou daný výrobek ztratil například během výrobního procesu. Potravinářská barviva jsou do potravin přidávána také kvůli spotřebitelům, kteří nakupují mnoho výrobků na základě jejich barevnosti, a tedy atraktivnosti, a zároveň pro ně barva znamená i určitou kvalitu. Přidávání barviv stejně jako dalších aditiv do potravinářských výrobků je řízeno přísnou evropskou a státní legislativou. Každé použité barvivo musí být uvedeno na obalu potraviny, a to buď celým chemickým názvem, nebo E-kódem. Všechna povolená barviva jsou pravidelně přehodnocována společností EFSA a v případě shledání rizik je snížena hladina bezpečného příjmu zkoumaného barviva.

Přírodní barviva jsou látky získávané z přírodních surovin. Vznikají primárně jako přirozená součást potravin rostlinného či živočišného původu nebo jiných materiálů přírodního původu (vyšších rostlin, řas, hub a mikroorganismů), dále pak sekundárně při reakcích enzymového hnědnutí a dalších technologických procesech při zpracování, jako je například neenzymové hnědnutí při vyšších teplotách. Mezi přírodní barviva se řadí i anorganické pigmenty využívané především k barvení cukrovinek a likérů. Většina přírodních barviv působí pozitivně na organismus, například chlorofyl je využíván k prevenci rakoviny tlustého střeva, kurkumin a anthokyany mají protizánětlivé účinky, anthokyany jsou dále využívány v prevenci nádorových onemocnění. Velmi pozitivní pro lidský organismus je  $\beta$ -karoten, lutein a lykopen ze skupiny karotenoidů. Všechny tři mají antioxidační účinky. Velmi důležitý  $\beta$ -karoten (E160a) je provitaminem a v organismu dochází k jeho přeměně na vitamin A, který je nepostradatelný pro funkci a metabolismus rhodopsinu. Negativní účinky byly zkoumány u dvou přírodních barviv, annata a karminu. Byl potvrzen negativní vliv karminu na dýchací soustavu a naopak nebyly potvrzeny žádné mutagenní účinky annata.

Syntetická barviva byla poprvé použita v 19. století a byla připravována z uhelného dehtu. Dnes se vyrábí z přečištěných ropných produktů. V potravinářském průmyslu jsou hojně využívána, a to hlavně z důvodu jejich stability, barevné stálosti a levnější výroby. Dalším pozitivem je, že nevnášejí do barvených produktů osobité vůně a chutě. Syntetická barviva jsou oproti přírodním větším rizikem pro zdraví konzumentů, proto jsou tato rizika pravidelně posuzována společností EFSA. Barviva tartrazin (E102), ponceau 4R (E124), červeň Allura AC (E129), azorubin (E122), brilantní černá BN (E151) a chinolinová žluť (E104)) byla negativní jak v genotoxicitě, tak i v dlouhodobých studiích karcinogenity. Pro tartrazin, amarant a erytrosin byl na základě studií potvrzen toxický vliv pro lymfocyty. Negativními vlastnostmi syntetických barviv jsou také jejich nežádoucí účinky na děti, u nichž může docházet ke zhoršení poruch pozornosti (ADD) a poruch pozornosti spojených s hyperaktivitou (ADHD).

**Klíčová slova:** přírodní potravinářská barviva, syntetická potravinářská barviva, bezpečnost potravin, zdroje přírodních potravinářských barviv, autenticita potravin

# Food colorants

## Summary

Food colourants were used already in ancient times; and currently, the colourants belong among the most frequently utilised food additives in the food industry where they are mainly applied to preserve the colour that the product has lost, for example during the production process. Consumers also play an essential role in the reasons why food colourants are added to food because they buy many products based on their colour and, thus, attractiveness. Moreover, consumers also perceive colour as a sign of a certain quality. The addition of colourants, as well as other additives to food products, is governed by strict European and national regulations and standards. Each colourant used must appear on the packaging, either in the form of its full chemical name or E-code. EFSA regularly re-evaluates all permitted colourants and, in the event of a genuine risk, reduces the level of safe intake of the particular colourant.

Natural colourants are substances obtained from natural raw materials. Primarily, they represent a natural component of foods of plant or animal origin or other natural materials such as higher plants, algae, fungi and microorganisms. Furthermore, they are also formed in enzymatic browning reactions and other technological processing processes, such as non-enzymatic browning at higher temperatures. Natural colourants also include inorganic pigments predominantly used for colouring confectionery and liqueurs. The majority of these substances has a positive effect on the human body, for example, chlorophyll is used to prevent colon cancer, curcumin and anthocyanins have anti-inflammatory effects, and anthocyanins are also used to prevent cancer. In particular,  $\beta$ -carotene, lutein and lycopene from the carotenoid group are very beneficial for the human body for their antioxidant effects. The human body processes mainly the very important  $\beta$ -carotene (E160a) belonging to provitamins and converts it into vitamin A, which is essential for the function and metabolism of rhodopsin. As far as the negative effects of natural colourants are concerned, only two substances, annatto and carmine, have been investigated so far. While the negative effect of carmine on the respiratory system has been confirmed, no mutagenic effects of annatto have been demonstrated.

For the first time, synthetic colourants were used in the 19<sup>th</sup> century and were prepared from coal tar. Today they are obtained from refined petroleum products. They are widely used in the food industry, mainly because they are stable, colourfast and their production is rather cheap. Furthermore, they do not bring distinctive aromas and tastes to coloured products, which is also positive. However, synthetic colourants pose a higher risk to the health of consumers than natural colourants, and, therefore, EFSA regularly assesses their risk level. The genotoxicity of colourants such as tartrazine (E102), ponceau 4R (E124), Allura AC red (E129), azorubine (E122), brilliant black BN (E151), and quinoline yellow (E104) was evaluated negatively, and long-term studies have confirmed their carcinogenicity. Studies have also corroborated the toxic effects of tartrazine, amaranth and erythrosine on lymphocytes. Other harmful properties of synthetic colourants include their side effects on children who may experience worsening of attention deficit disorders (ADD) and attention deficit hyperactivity disorder (ADHD).

**Keywords:** natural food colourants, synthetic food colourants, food safety, sources of natural food colourants, food authenticity

# Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>2 Cíl práce.....</b>	<b>- 2 -</b>
<b>3 Charakteristika potravinářských barviv .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>3.1 Historie používání barviv .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>3.2 Definice barviv.....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>3.3 Legislativa.....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>3.4 Rozdělení potravinářských barviv .....</b>	<b>- 6 -</b>
3.4.1 Přírodní barviva .....	- 7 -
3.4.1.1 Tetrapyrroly .....	- 7 -
3.4.1.2 Další dusíkatá barviva.....	- 11 -
3.4.1.3 Flavonoidy .....	- 14 -
3.4.1.4 Xanthony .....	- 19 -
3.4.1.5 Kurkuminoidy.....	- 19 -
3.4.1.6 Isochromeny .....	- 19 -
3.4.1.7 Chinony .....	- 19 -
3.4.1.8 Karotenoidy .....	- 21 -
3.4.1.9 Enzymové hnědnutí potravin .....	- 26 -
3.4.1.10 Neenzymové hnědnutí potravin.....	- 26 -
3.4.2 Syntetická barviva .....	- 26 -
3.4.2.1 AZO barviva .....	- 27 -
3.4.2.2 Trifenylmethanová barviva.....	- 31 -
3.4.2.3 Další syntetická barviva.....	- 32 -
<b>3.5 Potravinářská barviva a jejich vliv na lidský organismus .....</b>	<b>- 34 -</b>
<b>3.6 Hodnocení a způsoby detekce potravinářských barviv .....</b>	<b>- 36 -</b>
<b>4 Závěr .....</b>	<b>- 37 -</b>
<b>5 Literatura.....</b>	<b>- 38 -</b>
<b>6 Seznam tabulek a obrázků .....</b>	<b>- 45 -</b>

# 1 Úvod

Díky svým smyslům vnímají lidé okolní svět. Jeden ze smyslů přináší člověku až 80 % vjemů a díky němu vnímá svět kolem sebe v barvách. Tímto smyslem je zrak. Barva člověka oslovuje vždy jako první a až poté jsou vnímány další informace o velikosti či tvaru. Totéž platí i pro potraviny, barvy člověka ovlivňují kdykoliv jde nakupovat nebo usedne k jídlu, ať už v restauraci nebo doma. Barevnost vlastně ovlivňuje lidskou chuť konzumovat potraviny, ale také pomáhá nastartovat biochemické procesy v těle, které jsou nezbytné pro organismus, aby byl schopen využít živiny z konzumovaných potravin.

Kvůli zlepšení vizuálních vlastností potravin výrobci přidávají do svých výrobků potravinářská barviva, což jsou látky senzorycky aktivní. V potravinách i nápojích jsou obsažena přirozeně, ze surovin použitých při výrobě daného výrobku, anebo jsou přidávána úmyslně, a to většinou právě za účelem zvýraznění barvy.

Ačkoli se může přidání barviv do potravin jevit jako zbytečná úprava, není pochyb o tom, že uvážlivé použití barvy zvyšuje atraktivitu mnoha potravin. Barva je důležitá pro vnímání potravin spotřebitelem a často označuje i specifickou chuť. Očekává se tedy, že jahodová příchut' bude mít červenou barvu a pomerančová příchut' barvu oranžovou. Očekávání spotřebitele je proto legitimním důvodem pro přidání barvy.

Použití barviv je kontroverzní, částečně proto, že barvu vnímají někteří jako prostředek klamání spotřebitele, ale také proto, že některé z nejjasněji zbarvených produktů jsou výrobky určené dětem. Výrobci potravin barvivy obsaženými v potravinách a nápojích mohou děti snadno ovlivnit, ale na skutečnost, že syntetická barviva mohou mít vliv na jejich zdraví, již neberou ohled. Ne zrovna příznivých účinků na zdraví člověka jsou si vědomi, ale chrání se tím, že jsou tady právě rodiče, kteří mají za děti zodpovědnost a je jen na nich, zda dítěti takový produkt dovolí konzumovat či nikoliv.

V potravinářském průmyslu se dnes používají přírodní i syntetická potravinářská barviva. Stejně jako u všech aditiv se jejich využívání v potravinářském průmyslu řídí přesně stanovenou legislativou. Jejich použití je přísně kontrolováno a povoleno pouze tam, kde je prokázán případ potřeby, například pro obnovení barvy ztracené při zpracování, zajištění konzistence barev a pro vizuální výzdobu. Přidávanými barvivy se nesmějí zakrývat například závady výrobku.

## **2 Cíl práce**

Cílem práce je komplexní rešerše o povolených a používaných přírodních i syntetických potravinářských barvivech, zdrojích přírodních barviv, pravidlech jejich použití, jejich významu ve výživě včetně jejich případných negativních účinků na lidský organismus, stanovených množstvích, která mohou být přítomna ve finálním potravinářském výrobku a metodách jejich detekce.



## 3 Charakteristika potravinářských barviv

### 3.1 Historie používání barviv

Historie používání nejrůznějších barev se datuje od počátku civilizace ve starověkém Egyptě, Indii a Číně, kde byly využívány k nejrůznějším účelům barvy získané z minerálů, půd, hmyzu nebo různých částí rostlin (kořeny, květy, plody, listy, kůra, šťávy, pletiva, pryskyřice). Většinou se jednalo o barvení textilu, obrazů a lidských těl ve spojitosti s náboženskými obřady a rituály. Po celou historii byly obohacovány o barevné přísady i potraviny, aby byly jasnější a přitažlivější, vypadaly svěžeji a bylo maskováno zhoršování jejich stavu a kažení způsobem, který by dnes mohl být považován za falšování. Barevné přísady již v těchto raných dobách obohacovaly životy lidí a staly se tak součástí každodenního života.

Římský přírodovědec Plinus starší v 1. století n. l. zaznamenal, že vinaři falšovali chuť a barvu vína kouřem a extraktem z rostliny aloe vera. Již v roce 1155 byly zavedeny zákony, které měly zabránit například falšování chleba. V roce 1292 byl vydán zákon proti falšování piva a v roce 1392 byla v Paříži vydána první vyhláška zakazující používání barevných přísad, jako jsou křída, vápno, drcené kosti a bylo zakázáno přidávat do másla květiny, bylinky a drogy (Simon *et al.* 2017).

Až do poloviny 19. století byly barvy používané v potravinách, léčivech a kosmetice většinou z přírodních zdrojů (zvířat, hmyzu, zeleniny a minerálů). V roce 1856 anglický chemik Sir William Henry Perkin náhodou objevil první organické syntetické barvivo, pigment na bázi anilinu ze zdroje uhelného dehtu, který vykazoval světle fialovou nebo fialovou barvu. Tento objev vedl k revoluci v syntetických pigmentech (Burrows 2009).

### 3.2 Definice barviv

Nařízení Evropského parlamentu a rady (ES) č. 1333/2008 v příloze 1 definuje barviva následovně: „Barvivy“ se rozumějí látky, které potravině dodávají barvu nebo barvu obnovují a zahrnují přírodní složky potravin a přírodních zdrojů, jež jako takové nejsou obvykle požívány jako potraviny a nejsou obvykle používány jako charakteristické složky potravin. Ve smyslu tohoto nařízení jsou barvivy přípravky získané z potravin a dalších jedlých materiálů z přírodních zdrojů extrakcí fyzikální nebo chemické povahy, která má za následek selektivní oddělení pigmentů vzhledem k výživovým nebo aromatickým složkám (Evropský parlament a rada Evropské unie 2008).

### 3.3 Legislativa

V roce 1963 za účelem dohledu nad zdravotní nezávadností potravinářských aditiv byla dvěma organizacemi v rámci států OSN založena komise Codex Alimentarius. Zakládajícími členy této komise byla Světová zdravotnická organizace (World Health Organisation, WHO) a Organizace pro potraviny a zemědělství (Food and Agriculture Organization of United

Nations, FAO). V rámci komise Codex Alimentarius pracuje také Výbor pro potravinářská aditiva a kontaminanty (Codex Committee on Food Additives and Contaminants, CCFAC), který dal vzniknout mezinárodnímu systému číslování (International Numbering System, INS). Tento systém číslování umožňuje identifikaci potravinářských aditiv. Evropskou unií byl pro identifikaci potravinářských aditiv zaveden systém E -kódů (Vrkoslavová & Winklerová 2012; Bezpečnost potravin 2012).

Na balených potravinách musí být vždy na etiketě uveden seznam všech složek včetně aditivních látek, které musí být uvedeny buď celým chemickým názvem, nebo číselným kódem. Číselný kód je složen z velkého tiskacího písmene E a trojmístného nebo čtyřmístného čísla. Dále musí být pro aditivum uveden i název kategorie, do níž je řazeno. Pokud je přídatná látka, neboli aditivum, označeno tímto kódem, znamená to, že prošlo taktéž hodnocením bezpečnosti (Vrkoslavová & Winklerová 2012).

Nezávadnost aditiv posuzuje Evropský úřad pro bezpečnost potravin (European Food Safety Authority, EFSA), který byl dne 28. ledna 2002 zřízen Nařízením Evropského Parlamentu a Rady (ES) č. 178/2002. Vznikem tohoto úřadu došlo k vytvoření komplexního systému zajištění bezpečnosti potravin v EU a k obnovení důvěry spotřebitelů v evropské potraviny. EFSA zodpovídá za hodnocení rizik v oblasti bezpečnosti potravin a krmiv, výživy, zdraví a pohody zvířat, ochrany a zdraví rostlin. V těchto oblastech je jejím úkolem poskytovat objektivní a nezávislé poradenství podložené vědeckými fakty a snaha ochraňovat spotřebitele před riziky potravinářského průmyslu. Z hlediska organizační struktury se EFSA skládá z vědeckého výboru a vědeckých panelů, kterých aktuálně existuje deset, z nichž jedním je vědecký panel pro potravinářská aditiva (Panel on Food Additives and Flavourings, FAF). Činnost tohoto panelu spočívá v hodnocení bezpečnosti chemických látek přidávaných do potravin a vystavování spotřebitelů těmto látkám (Bezpečnost potravin 2018; EFSA 2020).

Všechna aditiva musí být podrobena toxikologickým vyšetřením, ve kterých je cílem určit hodnotu NOAEL (No Observed Adverse Effect Level), což je nejvyšší dávka, při které ještě není pozorován nežádoucí účinek. Tato hodnota se pak využívá ke stanovení přípustného denního příjmu určité látky, tzv. hodnoty ADI (Acceptable Daily Intake), která vyjadřuje množství přídatné látky v mg na kg tělesné hmotnosti a vyjadřuje zároveň množství látky, které je možné konzumovat denně po celý život, a to bez zdravotního rizika. Hodnota ADI se získává stonásobným snížením hodnoty NOAEL. V případě, že se jedná o látku toxickou se závažnými účinky, musí se hodnota NOAEL snížit tisíckrát. ADI představuje hladinu bezpečnostního příjmu, nikoli však hladinu toxicity příslušné látky. Proto lze ve výjimečných případech tuto hladinu překročit, avšak je třeba zajistit, aby byl příjem potravinářského aditiva z dlouhodobého hlediska snížen pod hladinu ADI (Bezpečnost potravin 2012).

Kontrolou, zda jsou dodržovány předpisy pro používání aditiv, se zabývají dozorové orgány Ministerstva zemědělství ČR, tj. Státní zemědělská a potravinářská inspekce (SZPI) a Státní veterinární správa České republiky (SVS). Problematikou zdravotní nezávadnosti přidávaných aditiv se zabývá Státní zdravotní ústav (SZÚ), a to konkrétně Národní referenční laboratoř pro aditiva v potravinách (Vrkoslavová & Winklerová 2012). Následující tabulka uvádí seznam všech potravinářských barviv povolených v České republice (Tab. 1).

**Tab. 1:** Seznam potravinářských barviv povolených v ČR (eAgri 2020)

<b>E kód</b>	<b>Název</b>
E 100	Kurkumin
E 101	Riboflavin, riboflavin-5 '-fosfát
E 102	Tartrazin
E 104	Chinolinová žlut'
E 110	Žlut' SY (Sunset Yellow FCF, Gelborange S )
E 120	Košenila, kyselina karmínová, karmíny
E 122	Azorubin (Carmoisin)
E 123	Amarant
E 124	Ponceau 4R (košenilová červeň A )
E 127	Erythrosin
E 129	Allura Red AC / Červeň AC
E 131	Patentní modř V
E 132	Indigotin (Indigocarmine)
E 133	Brilantní modř FCF
E 140	Chlorofyly a chlorofyliny
E 141	Měďnaté komplexy chlorofylů a chlorofylinů
E 142	Zeleň S
E 150a	Karamel
E 150b	Kaustický sulfitový karamel
E 150c	Amoniakový karamel
E 150d	Amoniak-sulfitový karamel
E 151	Čerň BN (čerň PN)
E 153	Rostlinná uhlíková čerň
E 155	Hněď HT
E 160a	Karoteny
E 160b	Annatto, bixin, norbixin
E 160c	Paprikový extrakt, kapsanthin, kapsorubin
E 160d	Lykopen
E 160e	$\beta$ -apo-8 '-karotenal (C30)
E 161b	Lutein
E 161g	Kanthaxanthin
E 162	Betalainová červeň, betanin
E 163	Anthokyany
E 170	Uhličitan vápenatý
E 171	Oxid titaničitý
E 172	Oxidy a hydroxidy železa
E 173	Hliník
E 174	Stříbro
E 175	Zlato
E 180	Lithorubin BK

### 3.4 Rozdělení potravinářských barviv

Barviva neboli pigmenty, které se nacházejí v potravinách, se podle původu dělí na tři základní skupiny:

- přírodní barviva,
- syntetická barviva identická s přírodními,
- syntetická barviva.

Přírodní barviva jsou látky, které jsou syntetizovány, akumulovány nebo vypouštěny do prostředí živými buňkami. Tato barviva jsou součástí potravin živočišného nebo rostlinného původu podmíněné genetickými dispozicemi daného organismu nebo jsou součástí jiných materiálů přírodního původu (pigmenty řas, hub, lišejníků či mikroorganismů), ze kterých se získávají v původním stavu nebo strukturně pozměněné, používající se k barvení potravin (Hendry 1996).

Přírodními barvivy jsou také barevné produkty získávané z přírodních surovin různými technologickými procesy, např. karamel. Mezi přírodní barviva se dále řadí měďnaté komplexy chlorofylů a chlorofylinů (Attokaran 2011), anorganické pigmenty (např. uhličitan vápenatý, oxid železitý a oxid titaničitý) a syntetická barviva identická s přírodními.

Anorganické pigmenty se v potravinářském průmyslu používají například při povrchové úpravě dražé a jiných cukrovinek. K jejich úpravě se využívá uhličitan vápenatý, oxid titaničitý (bílé pigmenty), stříbrný, případně zlatý pigment. Stříbrný a zlatý pigment se využívá pro dekoraci určitých druhů likérů (Christie 2015).

Některá přírodní barviva vznikají během zpracování a skladování potravinářských materiálů a potravin, a to reakcí svých složek, nejčastěji s aminokyselinami. Většinou se jedná o nežádoucí reakce a změny přirozeného zbarvení jimi způsobené jsou považovány za vady, tzv. diskolorace (Weigl et al. 2009).

Syntetická barviva identická s přírodními jsou získávána chemickými syntézami. Jejich struktura je totožná se strukturou barviv přírodních, a tím se liší od barviv syntetických. Jako příklad těchto barviv bývá uváděn např. syntetický  $\beta$ -karoten, riboflavin a kantaxanthin (Henry 1996).

Přírodní barviva se dělí podle struktury, výskytu v biologických materiálech nebo důležitých vlastností, např. rozpustnosti ve vodě a v tucích (Sigurdson et al. 2017).

Podle chemické struktury se rozeznávají následující základní skupiny barviv:

- dusíkaté heterocyklické sloučeniny – pigmenty odvozené od pyrolu, indolu, isochinolinu, pyrimidinu, resp. purinu, pterinu a příbuzného flavinu, fenazinu a fenoxazinu;
- kyslíkaté heterocyklické sloučeniny – velké množství fenolových sloučenin, např. flavonoidy;
- fenoly a od nich odvozené chinony;
- terpenoidy – karotenoidy (karoteny a xanthofyly) (Velíšek & Hajšlová 2009).

Syntetická barviva jsou barevně intenzivnější než barviva přírodní, mají stálý odstín barvy, a to jak při změnách pH, tak i při působení světla. V současnosti se používají ke zvýšení

atraktivitu jídla a potravin. Do barvených potravin nevnašejí osobité vůně a chuti, proto syntetická barviva našla v potravinářské praxi široké uplatnění, a to zejména z ekonomických a praktických důvodů (Vachirapatama 2008; Babička 2012).

Syntetická barviva se dělí dle struktury, fyzikálně-chemických vlastností a na základě rozpustnosti.

Dle struktury se rozlišují:

- azobarviva,
- difenylmethanová a trifenylmethanová barviva,
- pyrazolová barviva,
- nitrobarviva,
- xanthenová barviva,
- anthrachinonová barviva,
- chinolinová barviva,
- indigoidní barviva.

Dle fyzikálně-chemických vlastností se rozlišují:

- kyselá barviva,
- zásaditá barviva,
- neutrální barviva.

Dle rozpustnosti se rozlišují:

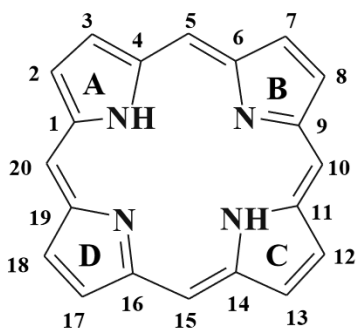
- barviva rozpustná ve vodě,
- barviva rozpustná v tucích (Velíšek & Hajšlová 2009).

### **3.4.1 Přírodní barviva**

#### **3.4.1.1 Tetrapyrroly**

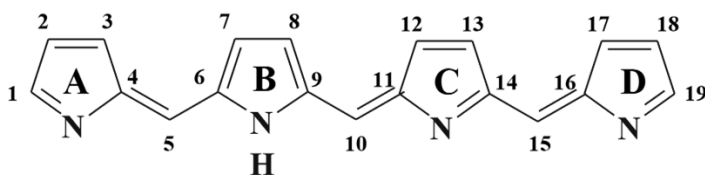
Tetrapyrrolová barviva jsou relativně malou, ale významnou a rozšířenou skupinou různobarevných pigmentů. Jejich strukturu utváří čtyři pyrrolová jádra spojená v tetrapyrrolový kruh pomocí methinových můstků nebo jsou uspořádaná lineárně (Marquez & Sinnecker 2008). Na základě rozdílné struktury se rozeznávají dvě základní skupiny barviv s konjugovaným systémem dvojných vazeb:

- cyklické porfyriny (porfyrinová barviva) (Obr. 1 )



**Obr. 1:** Základní struktura porfyrinových barviv

- lineární biliny (bilinová barviva) (Obr. 2) (Gunhild et al. 2010).



**Obr. 2:** Základní struktura bilinových barviv

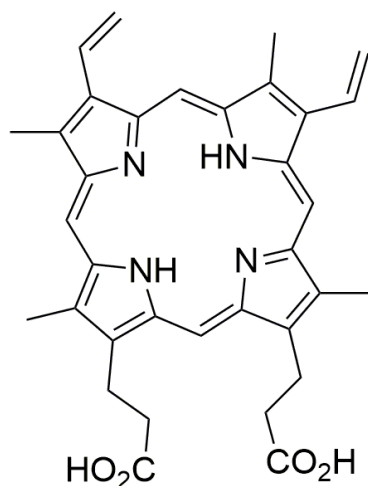
Celkový počet přirozeně se vyskytujících porfyrinových barviv a jejich prekurzorů, které byly evidovány, je 28. Porfyriny jsou chromofory dvou základních skupin metaloproteinů, a to hemových barviv a chlorofylů neboli chlorofylových barviv.

Lineárních sloučenin bilinů je známo 6 a dělí se podle původu na fykobiliny a žlučová barviva (Houghton 1996; Velíšek & Hajšlová 2009).

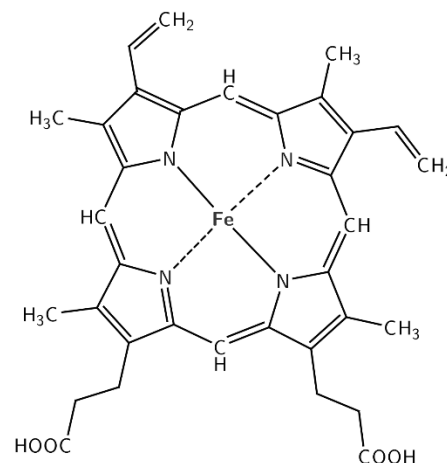
## HEMOVÁ BARVIVA

Nejvýznamnějšími hemovými barvivy jsou metaloproteiny myoglobin (červené barvivo svalové tkáně) a hemoglobin (barvivo erytrocytů) (Velíšek & Hajšlová 2009).

Substituovaný tetrapyrrol protoporfyrin IX (Obr. 3) s centrálním atomem dvojmocného železa, který se nazývá hem (Obr. 4), je základem struktury myoglobinu, hemoglobinu a od nich odvozených dalších pigmentů (Ogun et al. 2020). V myoglobinu a jeho derivátech je na atom dvojmocného železa vázána bílkovina globin (Fennema 1996). Čtyři polypeptidové řetězce, z nichž každý obsahuje po jedné molekule hemu, tvoří molekulu hemoglobinu.



**Obr. 3:** Protoporfyrin IX



**Obr. 4:** HEM

Hemoproteiny (hemoglobin a myoglobin) mají v rostlinných a živočišných organismech různé funkce. Hemoglobin je přenašečem kyslíku a oxidu uhličitého, myoglobin slouží jako zásobárna kyslíku (Vanek & Kohli 2019; Farid et al. 2020). Hemy mají zásadní funkci při přeměně energie v cytochromech a taktéž zodpovídají za využití energie, kterou rostliny získávají fotosyntézou a živočichové zase oxidací živin v dýchacím řetězci (Houghton 1996).

Myoglobin a hemoglobin mohou mimo kyslík vázat i jiné sloučeniny, například při otravách oxidem uhelnatým vzniká karboxylmyoglobin a karboxylhemoglobin.

Z výživového hlediska jsou hemová barviva významná díky zásobování organismu železem. Železo vázané v hemoglobinu, myoglobinu a svalových dýchacích enzymech lidský organismus vstřebává z 10 – 30 %, naproti tomu nehemové železo pouze z 1 – 5 % (Velíšek & Hajšlová 2009).

Pozornost u hemových barviv byla věnována především jejich biochemickým vlastnostem, a to v souvislosti s přenosem kyslíku ve tkáních a s metabolismem žlučových kyselin. Hemová barviva jsou zodpovědná za barvu masa. (Fennema 1996) Podstatné z potravinářského hlediska jsou změny hemových barviv během zpracování a skladování masa a masných výrobků (De Maere et al. 2018).

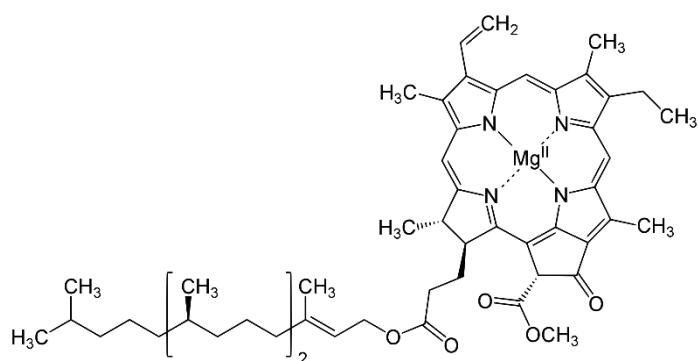
## CHLOROFYLY

Chlorofyly (chlorofylová barviva) jsou skupinou zelených barviv vyskytujících se v pletivech, která fotosyntetizují. Nacházejí se ve všech vyšších rostlinách, řasách, meších, a dokonce i v některých bakteriích jako takzvané bakteriochlorofyly (Frank & Codell 2012; Scheer 2013). Původně se za chlorofyl označovaly jen pigmenty zelené barvy účastníci se fotosyntézy ve vyšších rostlinách, ale později byl název chlorofyl rozšířen na všechna fotosyntetizující porfyrinová barviva. Dosud bylo popsáno několik různých druhů chlorofylů a má se za to, že v méně známých druzích řas se mohou vyskytovat další pigmenty (Velíšek & Hajšlová 2009).

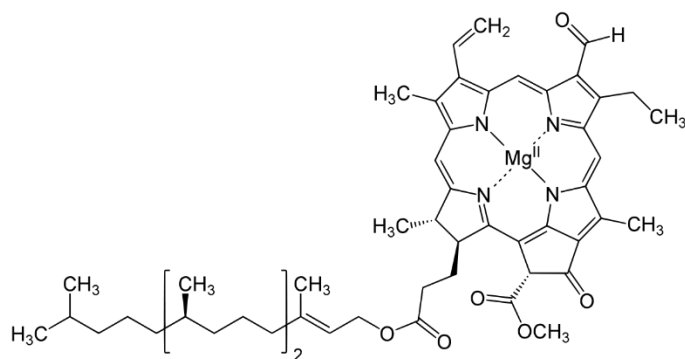
Základní strukturu chlorofylů tvoří cyklický tetrapyrrol 17,18-dihydroporfyryn odvozený od protoporfyrynu IX. Centrálním atomem je hořečnatý ion (Hendry 1996; Velíšek & Hajšlová 2009).

Největší význam z potravinářského hlediska mají chlorofyly (*chlorofyl a* a *chlorofyl b*) a jejich rozkladné produkty feofytiny (feofytin a a feofytin b). Feofytiny jsou odvozeny od chlorofylů náhradou hořčíku vodíkem (Solymosi & Mysliwa-Kurziel 2017).

*Chlorofyl a* (Obr. 5) je modrozelené barvy a má na druhém pyrrolovém kruhu methylovou skupinu, *chlorofyl b* (Obr. 6) je žlutozelený a má na zmíněném pyrrolovém jádře aldehydickou (formylovou) skupinu (Fennema 1996).



**Obr. 5:** Chlorofyl a



**Obr. 6:** Chlorofyl b

V suchozemských rostlinách se nejčastěji vyskytuje *chlorofyl a* a *chlorofyl b*, a to zhruba v poměru 3:1. Celkový obsah chlorofylů v zelených částech rostlin se výrazně liší v závislosti na rodu, druhu, růstových podmínkách a kvalitě životního prostředí.

Chlorofyly se vyskytují v přírodě téměř v neomezeném množství. Odhadované množství syntézy a degradace chlorofylu na Zemi je 10<sup>9</sup> tun ročně. Z tohoto množství je jedna třetina terestrického původu a dvě třetiny vodního původu (Marquez & Sinnecker 2008). Skoro jediné a hlavní využití chlorofylů z důvodu velké nestability je jejich použití jako potravinářská barviva (Velíšek & Hajšlová 2009). Chlorofyly jsou v lamelách mezibuněčných organel zelených rostlin většinou spojeny s karotenoidy, lipidy a lipoproteiny. Mezi těmito



mlekulami existují slabé vazby, díky nimž jsou chlorofyly snadno extrahovatelné, například macerací v organických rozpouštědlech (aceton, ethanol, petrolether). V případě *chlorofylu a* a *b* se dnes k oddělení jednotlivých chlorofylů a jejich derivátů využívá kapalinová chromatografie (HPLC) (Sathya 2017; Pniewski 2020).

Na trhu se nachází směs zelených barviv rozpustná v tuku. Tyto směsi se obchodně nazývají chlorofyly nebo měďnaté komplexy chlorofylů (Vollmannova et al. 2018).

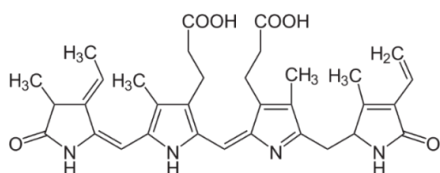
Velké procento chlorofylů se pro potravinářské účely získává především z kopřiv, vojtěšky, ale také z petrželové nati (Hendry 1996). Chlorofyly jsou jako potravinářská barviva prakticky ve všech zemích akceptována. Používají se například pro barvení těstovin, nápojů, cukrovinek, polévek, jogurtů a mražených smetanových krémů. Největší množství těchto zelených barviv se spotřebuje v kosmetických výrobcích. Použití měďnatých komplexů chlorofylů se převážně omezuje pouze na některé výrobky, např. na žvýkací gummy (Velíšek & Hajšlová 2009).

## FYKOBILINY

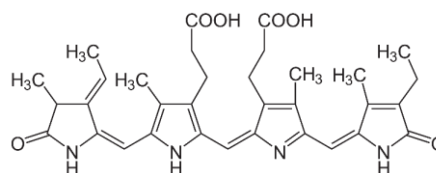
Fykobiliny jsou fluoreskující, ve vodě rozpustné komplexy lineárních tetrapyrrolů s proteiny. Pigmenty se získávají z modrozelených řas (třída *Cyanophyta*) a z řas červených (třída *Rhodophyta*). Jejich barevná škála je velice široká a závisí na zdroji a řadě dalších faktorů. Fykobiliny se dělí do tří hlavních skupin (Vucinic et al. 2018). Rozlišují se:

- červené fykoerythrin,
- modré fykokyanin,
- modré allofykokyanin (Krillovski & Büchel 2019).

Chromofory červeně zbarvených fykoerythrinů se nazývají fykoerythrobiliny (Obr. 7), chromofory modrých fykokyaninů a allofykokyaninů fykokyanobiliny (Obr. 8).



**Obr. 7:** Fykoerythrobilin



**Obr. 8:** Fykokyanobilin

Všechny fykobiliny mají strukturu sestávající z lineárního tetrapyrrolu nebo bilinu, který je kovalentně vázaný na bílkovinu (Marquez & Sinnecker 2008).

Využití fykobilinů jako potravinářských barviv je minimální, ale považují se za barviva perspektivní, protože jejich struktura je podobná struktuře žlučových barviv savců (biliverdinu a bilirubinu), jež vznikají rozkladem hemových barviv (Mandal et al. 2020).

### 3.4.1.2 Další dusíkatá barviva

Kromě tetrapyrrolových barviv se v potravinách vyskytují i další dusíkaté pigmenty, kterými jsou sloučeniny odvozené od:

- indolu:
  - melaniny,
  - indigo,
  - betalainy,
- isochinolinu:
  - berberin,
- pyrimidinu:
  - puriny,
  - pteriny:
    - fenazin,
    - fenoxyzin,
- isoalloxaziny:
  - riboflavin (Velíšek & Hajšlová 2009).

## BETALAINOVÁ BARVIVA

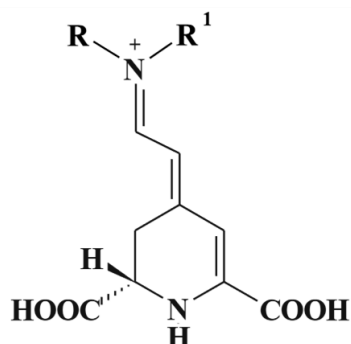
Betalainy tvoří malou skupinu fialových, červených, oranžových a žlutých barviv, která se nacházejí ve vyšších rostlinách a některých vyšších houbách (Velíšek & Hajšlová 2009). Jsou rozpustné ve vodě a vyskytují se ve vakuolách rostlinných buněk (Fennema 1996; Solovchenko et al. 2019). Existují dvě skupiny betalainů:

- betakyany (fialové a červené),
- betaxanthiny (žluté a oranžové) (Rodriguez-Amaya 2019).

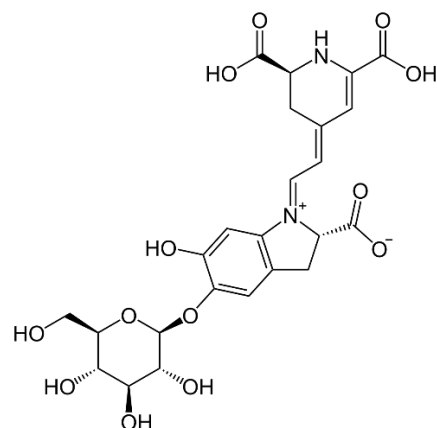
Obecný vzorec pro betalainy (Obr. 9) představuje kondenzaci primárního nebo sekundárního aminu s betalamovou kyselinou (Fennema 1996). Základní struktura betalainů je stejná, je odvozena od dihydropyridinu. Jednotlivé sloučeniny se od sebe odlišují polohou dvou uhlovodíkových zbytků. Ve všech betakyanech jsou vázány molekuly cukrů, např. *D*-glukosa, *L*-rhamnosa a  $\beta$ -soforosa (Jackman & Smith 1996).

Příkladem betakyanů je potravinářsky významný betanidin, dále pak isobetanidin a výjimečně se vyskytující neobetanidin. Hlavním betakyanem je však betanin (Obr. 10), který bývá doprovázen isobetaninem, prebetaninem a isoprebetaninem. Méně významný je gromfrenin I.

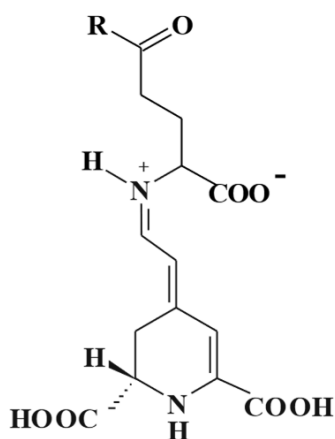
Ze skupiny betaxanthinů jsou méně významnější vulgaxanthin I (Obr. 11), vulgaxanthin II (Obr. 11), vulgaxanthin III a vulgaxanthin IV. Ne tak rozšířeným betaxanthinem je např. indikaxanthin a portulaxanthin (Attokaran 2011).



**Obr. 9:** Základní struktura betalainů



**Obr. 10:** Betanin



**Obr. 11:** Vulgaxanthin I, R = NH<sub>2</sub>; Vulgaxanthin II, R = OH

Betalainy se nacházejí v menší míře v rostlinách řádu hvozdíkotvarých (*Caryophyllales*). Výjimkou jsou však rostliny této čeledi, jež neakumulují betakyaniny, ale anthokyaniny, neboť společně se tyto dva pigmenty nevyskytují (Solovchenko et al. 2019). Betalainy se dále vyskytují v rostlinách čeledi laskavcovité (*Amaranthaceae*) a kaktusovité (*Cactaceae*) (Azeredo 2009).

Významnými zdroji jsou odrůdy červené salátové řepy (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*) z čeledi merlíkovitých (*Chenopodiaceae*) a líčidlo americké (*Phytolacca americana*), keř s červenými bobulemi z čeledi líčidlovitých (*Phytolaccaceae*) (Jackman & Smith 1996; Velišek & Hajšlová 2009).

Červená řepa obsahuje asi 0,1 % betalainů, jiné odrůdy jich však mohou obsahovat až dvakrát více (tj. asi 2 g .kg<sup>-1</sup>) a další z mnoha studií ukázala, že obsah betalainů může být až 10 g .kg<sup>-1</sup> (Azeredo 2009; Sawicki et al. 2016). Hlavní betakyanin v řepě betanin představuje asi 75 – 95 % celkového obsahu betakyaninů řepy a převažuje nad žlutými betaxanthiny

(Jackman & Smith 1996). Dalším betakyaninem v červené řepě je isobetain. Hlavními žlutými pigmenty v řepě jsou vulgaxanthin I a vulgaxanthin II (Azeredo 2009).

Další betalainy červený amaranthin a isoamaranthin jsou hlavními pigmenty květů, listů a stonků laskavce trojbarevného (*Amaranthus tricolor*) a i jiných druhů rostlin z čeledi laskavcovitých (*Amaranthaceae*) (Miguel 2018).

V indickém špenátě (*Basella rubra*) se nachází gromferin I a gromferin II.

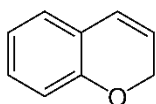
Betalainy jsou dále obsaženy například v jedlých plodech některých opuncí (kaktusů rodu *Opuntia*) (Azeredo 2009) a jsou to rovněž pigmenty některých hub, např. žampionů (pečárka dvouvýtrusná, *Agaricus bisporus*) a muchomůrek (rod *Amanita*), ve kterých se nacházejí muskaurin I a muskaurin II.

V praxi se využívají pouze pigmenty červené řepy, jež se obchodně nazývají betaninová červeň nebo také betain a na trh jsou dodávány ve formě koncentrovaného sirupu nebo prášku. Tyto pigmenty mají malou stabilitu, proto se používají pro barvení potravin s kratší trvanlivostí, jako jsou mléčné a masné výrobky a nealkoholické nápoje.

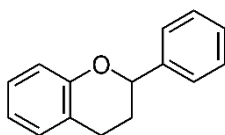
Nepříznivé účinky betalainů nebyly zjištěny, a proto jsou pigmenty červené řepy povoleným potravinářským barvivem (Silva et al. 2019).

### 3.4.1.3 Flavonoidy

Flavony (flavonoidní látky) obsahují v molekule dva benzenové kruhy spojené tříuhlíkatým řetězcem. Ve většině z nich je tříuhlíkatý řetězec součástí heterocyklického kruhu odvozeného od 2H-pyranu. Flavonoidy jsou tedy odvozeny od 2H-chromenu (Obr. 12), který je substituován v poloze C-2 fenylovou skupinou a nazývá se flavan (Obr. 13). Všechny tři kruhy bývají substituovány hydroxyskupinami nebo methoxyskupinami. Deriváty se pak od sebe liší stupněm substituce a oxidace (Velíšek & Hajšlová 2009).



Obr. 12: 2H-chromen



Obr. 13: Flavan

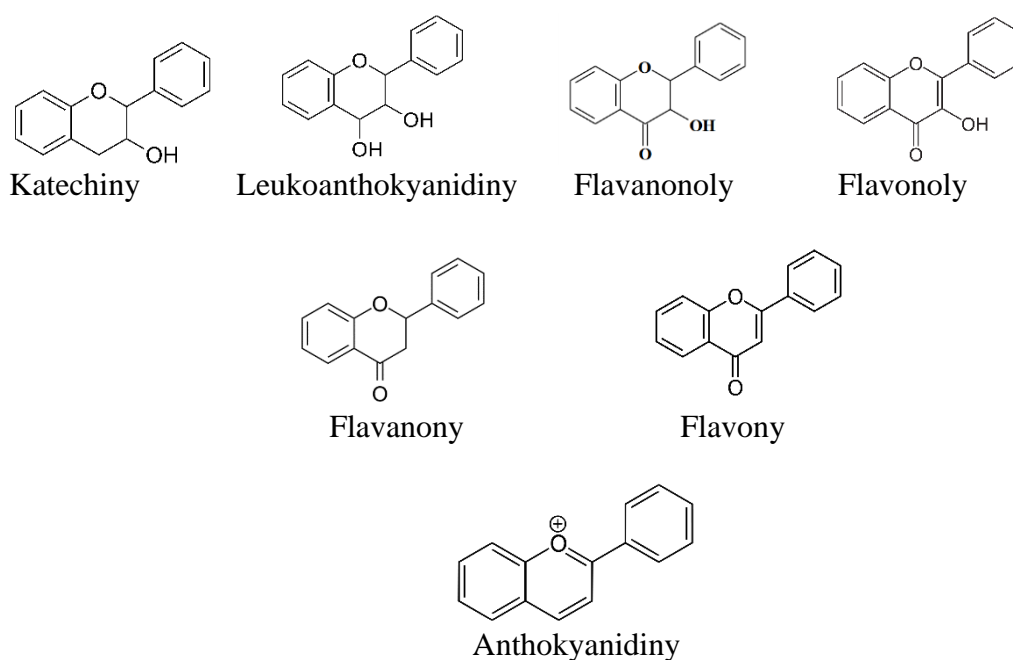
Flavonoidy a další fenolové sloučeniny jsou obecně známé jako rostlinné sekundární metabolity, které tvoří aromatický kruh nesoucí alespoň jednu hydroxylovou skupinu (Tungmannithum et al. 2018). Flavonoidy jsou biologicky aktivní látky (Weston & Mathesius 2013) a dosud bylo popsáno více než 8 000 fenolických sloučenin přirozeně se vyskytujících v rostlinách (Tungmannithum et al. 2018).

Vyskytují se jako látky volné, častěji pak jako glykosidy, acylované glykosidy, ale i jako polymery (Terahara 2015). Základní struktury flavonoidů (Obr. 14) se rozeznávají podle stupně oxidace C<sub>3</sub> řetězce a jeho substituce. Flavonoidy se dělí na:

- katechiny (flavan-3 -oly),
- leukoanthokyanidiny (flavan-3 ,4 -dioly),

- flavanony,
- flavanonoly,
- flavony,
- flavonoly,
- anthokyanidiny.

V Obr. 14 jsou vzorce flavonoidních látek seřazeny podle svých vlastností. V řádcích zleva doprava roste stupeň oxidace, a tím roste i intenzita barvy (Velíšek & Hajšlová 2009; Terahara 2015).



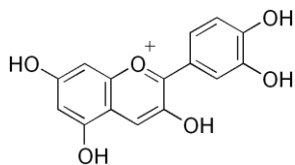
**Obr. 14:** Obecná struktura hlavních flavonoidních látek

## ANTHOKYANY

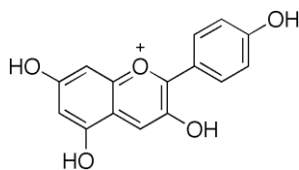
Anthokyanany jsou nejrozšířenější a nejrozsáhlejší (je jich známo asi 300) skupinou rostlinných barviv. Anthokyanany zodpovídají za širokou škálu barev v rostlinách, včetně modré, fialové, purpurové, červené a oranžové (Brodowska 2017; Vollmannová et al. 2018).

Anthokyanany jsou glykosidy šestnácti různých přirozeně se vyskytujících antokyanidinů (Jackman & Smith 1996), což jsou polyhydroxylové a polymethoxylové deriváty fenylobenzopyrylové soli (Brodowska 2017).

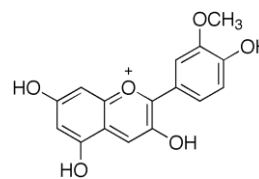
V potravinách má velký význam pouze 6 anthokyanidinů (Vollmannová et al. 2018), jsou to kyanidin (Obr. 15), pelargonidin (Obr. 16), peonidin (Obr. 17), delphinidin (Obr. 18), petunidin (Obr. 19) a malvidin (Obr. 20).



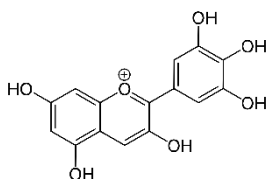
**Obr. 15:** Kyanidin



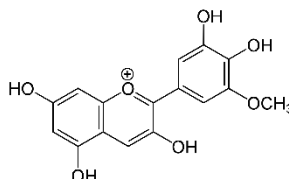
**Obr. 16:** Pelargonidin



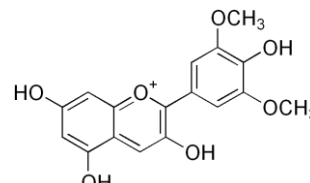
**Obr. 17:** Peonidin



**Obr. 18:** Delfinidin



**Obr. 19:** Petunidin



**Obr. 20:** Malvidin

Někdy se v ovoci či zelenině nacházejí anthokyaniny odvozené od jediného anthokyanidinu, např. v jablkách, v zelí červených odrůd a v bezinkách jsou to glykosidy kyanidinu. V jiných druzích ovoce a zelenin jsou pigmenty odvozeny od dalších anthokyanidinů, např. anthokyaniny černého rybízu jsou deriváty kyanidinu a delfinidinu, anthokyaniny jahod jsou odvozeny od pelargonidinu a kyanidinu (Velíšek & Hajšlová 2009).

Molekuly anthokyanů mohou obsahovat sacharidy. Nejběžnějšími cukry jsou *D*-glukosa, *D*-galaktosa, *L*-arabinoza, *D*-xyloza a *L*-rhamnosa. Na molekuly cukrů se mohou vázat kyseliny. Nejčastějšími kyselinami podílejícími se na acylaci cukrů jsou kumarová, malonová, jablečná, kofeinová a jantarová kyselina (Fennema 1996; Vollmannová et al. 2018).

Anthokyaniny jsou lokalizovány v buněčných vakuolách různých druhů rostlin. Zdroji těchto barviv jsou plody rostlin čeledí:

- révovitých (*Vitaceae*, hrozny vinné révy),
- růžovitých (*Rosaceae*, aronie temnoplodá, třešně, švestky, ostružiny, jahody, maliny, jablka aj.),
- lilkovitých (*Solanaceae*, lilek vejcoplodý, odrůdy brambor s červenou slupkou, kustovnice čínská),
- srstkovitých (*Grossulariaceae*, černý rybíz, červený rybíz, červenoplodý angrešt),
- vřesovcovitých (*Ericaceae*, borůvka, brusinka),
- olivovitých (*Oleaceae*, olivy),
- brukvovitých (*Brassicaceae*, červené zelí, ředkvičky, další červená brukvovitá zelenina) (Jackman & Smith 1996; Velíšek & Hajšlová 2009; Brodowska 2017).

## HROZNY A RÉVOVÁ VÍNA

Evropské odrůdy obsahují deriváty malvidinu, kdežto americké a jiné druhy obsahují deriváty kyanidinu, peonidinu, delfinidinu, petunidinu a malvidinu.

## JABLKA A HRUŠKY

Ve slupkách červených jablek se nachází anthokyanová barviva odvozená od kyanidinu. V odrůdách červených hrušek se taktéž nacházejí pigmenty odvozené od kyanidinu a jejich koncentrace ve slupce je od 50 do 100 mg.kg<sup>-1</sup>.

## VIŠNĚ

V plodech višně se vyskytují anthokyaniny odvozené od kyanidinu a jejich celkový obsah se pohybuje od 350 do 820 mg.kg<sup>-1</sup> (Velíšek & Hajšlová 2009).

## KUSTOVNICE ČÍNSKÁ (*Lycium ruthenicum*)

Kustovnice čínská je tradiční čínská bylina široce rozšířená v Tibetu. Ovoce, známé jako černé goji, je oblíbené v tradiční čínské medicíně. Extrakty z goji jsou bohaté na deriváty petunidinu a jeho glukosidy.

Pomocí metody HPLC bylo zjištěno, že černé antokyaniny goji produkují různé intenzivní odstíny v širokém rozmezí pH, díky čemuž jsou slibnými kandidáty na přírodní barviva (Tang & Giusti 2018).

## BRAMBORY

Některé odrůdy brambor (s červenou a fialovou dužninou) jsou schopny produkovat antokyanidiny spolu s dalšími fotochemikáliemi. Hlavním antokyanidem brambor s červenou dužninou je pelargonidin, zatímco petunidin je hlavním v bramborech s fialovou dužninou. Hladiny antokyanidinů se během růstu hlíz pohybují až okolo 78 mg.100g<sup>-1</sup>. Ve zrajících hlízách je jejich obsah pouze 10 – 39 mg.100g<sup>-1</sup> (Šulc *et al.* 2017).

## OLIVY

Pokud oliva není zralá, je hlavním pigmentem chlorofyl. Ve zralých olivách, především ve slupce, se nacházejí anthokyanová barviva odvozená od kyanidinu.

Pro potravinářské účely se využívají anthokyaniny ve formě koncentrovaných šťáv izolovaných z přírodních zdrojů. Velkou nevýhodou je, že anthokyaniny mají intenzivní barvu pouze v kyselém prostředí při pH < 3,5; proto jsou vhodné pouze pro kyselé potraviny.

Hojně se k barvení potravin používají antokyanová barviva získaná z hroznů vinné révy, která má obsah anthokyanů 0,3 až 7,5 g.kg<sup>-1</sup>. Nejstarším přípravkem tohoto typu je enocyanin. Výborným zdrojem anthokyanů jsou plody černého bezu (2 až 10 g.kg<sup>-1</sup>), aronie černoplodé (10 g.kg<sup>-1</sup>). Dalším zdrojem anthokyanů jsou ostružiny (0,8 až 3,3 g.kg<sup>-1</sup>), dále pak hlávky červeného zelí (0,7 až 0,9 g.kg<sup>-1</sup>), květy ibišku (15 g.kg<sup>-1</sup> v sušině), pomeranče s červenou dužninou a sladké brambory (Velíšek & Hajšlová 2009).

Toxicita a mutagenita anthokyanů není žádná nebo jen velice nízká, proto jsou tyto látky povoleny k barvení potravin (Attokaran 2011).

## DALŠÍ FLAVONOIDY

Flavonoidy jsou světle žluté až tmavě žluté pigmenty, jejichž nositeli jsou flavanony, flavanony, flavony, flavonoly, chalkony, aurony a isoflavony. Z této skupiny látek se jako nejpoužívanější přirozená barviva potravin využívají flavony a flavonoly, ostatní látky se k těmto účelům příliš nevyužívají.

Díky schopnosti flavonoidů vázat rizikové kovy spolu se schopností ukončovat radikálové oxidační reakce mají vlastnosti antioxidantů. Jejich kovové komplexy mohou způsobovat v potravinách nechtěné diskolorace (Velíšek & Hajšlová 2009).

## KATECHINY

Katechiny neboli flavan-3-oly jsou bezbarvé sloučeniny, ze kterých se při reakcích enzymatického hnědnutí stanou hnědé pigmenty. Využívají se k barvení potravin (Velíšek & Hajšlová 2009). Vyskytují se například v meruňkách, jahodách, švestkách a třešních (Belitz *et al.* 2009). Vysoké obsahy katechinů jsou v čajových listech (Terahara 2015).

## FLAVONY

Flavony jsou důležitou podskupinou flavonoidů. Vyskytují se v listech, květech a ovoci jako glykosidy. Tyto žluté pigmenty rostlin jsou velmi rozšířené. Častými flavony jsou apigenin a luteolin a v menší míře se vyskytuje například tricetin. Zdroji flavonů jsou citrusové plody, dále například celer, petržel, paprika, heřmánek a ginko biloba (Panche *et al.* 2016).

Velmi běžnými glykosidy flavonů jsou vitexin a orientin vyskytující se v rýžových otrubách a dalších druzích ovoce. Antioxidační vlastnosti má orientin a isoorientin (Velíšek & Hajšlová 2009).

## FLAVONOLY

Flavonoly jsou důležitými žlutými barvivy. Hojně se vyskytují v různých druzích ovoce a zeleniny (Vollmannová *et al.* 2018). Příkladem ovoce jsou jablka, rybíz, třešně, borůvky a hrozny (Belitz *et al.* 2009). Ze zeleniny je zdrojem například cibule, hlávkový salát a rajčata. Mimo zeleninu a ovoce se flavonoly a jejich glykosidy nacházejí také v čaji (Brodowska 2017).

Nejstudovanějšími flavonoly jsou kemferol, kvercetin a myricetin, které jsou kopigmenty doprovázející anthokyany a vyskytující se hlavně jako glykosidy (Panche *et al.* 2016).

Obsah kvercetinu ve slupkách červených odrůd cibule je vysoký (2,6 až 6,5 %). Nejčastějším glykosidem rostlin je rutin, borůvky obsahují avikularin a isokvercin, spiraein se nachází ve slupkách cibule a kaštanech (Velíšek & Hajšlová 2009).

## CHALKONY

Chalkony, dihydrochalkony a aurony mají význam jako barviva květů rostlin. Jsou barvivy například dřevní hmoty stromů, semen luštěnin a vyskytují se i v chmelových šišticích (Velíšek & Hajšlová 2009). Ve významném množství se vyskytují v rajčatech, hruškách a jablkách (Panche *et al.* 2016).

Významný chalkon karthamin je žluté až červené barvivo rozpustné ve vodě. Získává se z květů světlice barvířské (*Carthamus tinctorius*). Toto barvivo se skládá ze tří barevných sloučenin a jejich prekurzorů. Barevnými sloučeninami jsou červený karthamin, saflorová žlutá



A a saflorová žlut' B . V některých zemích je karthamin jediným doporučeným chalkonovým barvivem pro barvení potravin a může být perspektivním potravinářským barvivem pro jogurty či jiné mléčné výrobky (Velíšek & Hajšlová 2009).

#### ISOFLAVONY

Isoflavony neboli isoflavonoidy se převážně vyskytují v sóji a luštěninách (Panche *et al.* 2016). V potravinářství je proto důležitý pouze obsah isoflavonů v sójových bobech, luštěninách a ve výrobcích z nich (Velíšek & Hajšlová 2009).

#### 3.4.1.4 Xanthony

Xanthony jsou odvozeny od xanthonu, je to skupina asi 70 žlutých barviv (Fennema 1996). Vyskytují se v rostlinách čeledi hořcovité (*Gentianaceae*), ledvinovnickovité (*Anacardiaceae*), morušovníkovité (*Moraceae*) a i v některých houbách a lišejnících. Využívají se jako potravinářská barviva, ale našly uplatnění i ve farmakologii jako kardiovaskulární protektanty.

Příbuzná žlutá barviva gentisin a gentisein se spolu s dalšími xanthony nacházejí v kořeni hořce žlutého, jenž se využívá k výrobě likérů kvůli hořké chuti a specifické vůni. V listech a nezralém ovoci mangu se vyskytuje potravinářsky významný norathyriol, který vykazuje protizánětlivé, antioxidační a antivirové účinky (Velíšek & Hajšlová 2009).

#### 3.4.1.5 Kurkuminoidy

Kurkuminoidy jsou skupinou fenolových sloučenin (Velíšek & Hajšlová 2009) a řadí se k nim barviva kurkumy. Kurkuma nebo také kurkumin je extrakt žluté barvy z oddenků rostliny kurkumovníku dlouhého (*Curcuma longa*) z čeledi zázvorovitých (*Zingiberaceae*) (Deshpande 2002). Barviva kurkumy jsou poměrně stabilní, ale na světle se mění na nebarevné produkty. Kurkuma je využívána k barvení pekařských, ale také mléčných výrobků (např. cukrovinek, zmrzlin) a jako součást koření kari (Velíšek & Hajšlová 2009).

#### 3.4.1.6 Isochromeny

Z isochromenů je potravinářsky významná směs žlutých, oranžových a červených barviv zvaná monasková červeně nebo také monaskus. V této směsi převažují žlutá barviva monascin a ankaflavin a jejich oxidované formy mají barvu oranžovou (Velíšek & Hajšlová 2009).

Při kultivaci plísní rodu *Monascus* na pevných substrátech (vařené rýži) jsou uvedena intracelulární barviva těmito plísněmi produkována (Jongrungruangchok *et al.* 2004). Červenou rýži využívají v Orientu k barvení masa ryb, tofu, rýžového vína a dalších potravin. Červená rýže bývá používána buď neupravená, nebo sušená a rozdrčená na prášek (Zhu *et al.* 2019).

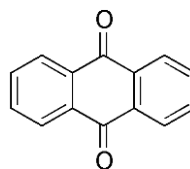
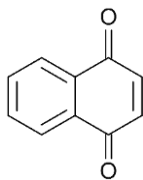
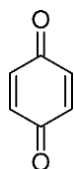
#### 3.4.1.7 Chinony

Chinony jsou sekundárními metabolity rostlin (Lu *et al.* 2011). Představují velkou skupinu přírodních pigmentů vyskytujících se ve vyšších rostlinách, houbách, lišejnících a v některých bezobratlých živočiších (Pintea 2008). Chinony jsou široce distribuovány

zejména ve stromech, kde přispívají ke zbarvení dřeva (Hendry & Houghton 1992). Společným strukturním znakem chinonů je přítomnost dvou ketonových skupin na monocyklickém nebo polycyklickém aromatickém skeletu. Ketonové skupiny mohou být umístěny na stejném kruhu nebo na různých kruzích, ale je nutné, aby byla dodržena konjugace dvojných vazeb zahrnující  $\pi$  elektrony (Pintea 2008).

Vyskytují se v podobě glykosidů, které jsou bezbarvé nebo jinak barevné. Chinony tvoří skupinu asi 200 žlutých, červených, hnědých až černých barviv, které se vzájemně liší počtem hydroxylových skupin a dalšími substituenty (Velíšek & Hajšlová 2009). V přírodě se vyskytují:

- benzochinony (odvozeny od benzo-1,4 -chinonů) (Obr. 21),
- naftochinony (odvozeny od nafto-1,4 -chinonů) (Obr. 22),
- anthrachinony (odvozeny od anthra-9,10-chinonů) (Obr. 23) (Pintea 2008).



**Obr. 21:** Benzo-1 ,4 -chinon    **Obr. 22:** Nafto-1 ,4 -chinon    **Obr. 23:** Anthra-9 ,10-chinon

Jednodušší chinony, kterými jsou benzochinony, jsou bezbarvé. V případě jejich vysoké koncentrace mohou mít narůžovělý odstín (Hendry 1996). Naftochinony a anthrachinony jsou v rostlinách přítomny s komplexními substituenty. Tyto substituce poskytují tmavě fialovou až černou barvu (Fennema 1996).

Chinony se vyskytují v rostlinách čeledi pryskyřníkovité (*Ranunculaceae*), bobovité (*Fabaceae*), ebenovité (*Ebenaceae*) a řešetlákovité (*Rhamnaceae*) (El-Najjar *et al.* 2011).

Některé pigmenty ze skupiny chinonů se dnes využívají jako potravinářská barviva, ale i pro kosmetické a farmaceutické účely. Ve srovnání s jinými barvivy však mají poměrně malý význam jako přirozené pigmenty potravinářských materiálů (Velíšek & Hajšlová 2009).

## BENZOCHINONY

Velká většina benzochinonů se nachází v mikroorganismech (plísních), vyšších houbách a lišejnících. Světle žlutý glukosid hydrochinonu arbutin se vyskytuje v listech brusinky obecné (*Rhodococcus vitis-idaea*) a medvědice léčivé (*Arctostaphylos uva-ursi*), dále pak v pšenici, rýži a hruškách (Velíšek & Hajšlová 2009). V olivách se vyskytuje glykosid s názvem kornosid (Armandodoriano *et al.* 1993).

## NAFTOCHIONY

Velké procento naftochinonů vyšších rostlin se vyskytuje ve formě nebarevných glykosidů. Žlutooranžový lawson se nachází v barvivo henna a vykazuje antimikrobní účinky. Barvivo se získává z listů keře henny bílé (*Lawsonia alba*). Henna se využívá k barvení vlasů, pro zdobení kůže rukou a chodidel. V listech a nezralých plodech ořešáku královského

(*Juglans regia*) z čeledi ořešákovitých (*Juglandaceae*) se nachází červenohnědý juglon (Ashnagar & Shiri 2011).

## ANTHRACHINONY

Z přírodních chinonů jsou anthrachinony nejvíce rozšířenou skupinou. Anthrachinony poskytují jasné barvy a jsou stálé na světle (Christie 2015). Nacházejí se ve vyšších rostlinách, houbách, lišejnících a některých druzích hmyzu. V kořeni mořeny barvířské se nacházejí žlutooranžový alizarin a červené barvivo purpurin. Alizarin se využíval jako barvivo textilní i potravinářské.

Emodin se vyskytuje v houbách, lišejnících a vyšších rostlinách a jeho vodný extrakt je povolen jako barvivo cigaretového papíru. Aloin se nachází v rostlinách rodu aloe (*Aloe spp.*). Citronově žlutý aloin je směsí dvou isomerů, kde hlavním produktem je aloin A (barbaloin) a aloin B (isobarbaloin) (Velíšek & Hajšlová 2009). Aloe pravá je v Evropské unii povolena jako potravní doplněk v souladu s vyhláškou 1831/2003 (Nařízení (ES) č. 1831/2003). Pokud doplněk stravy obsahuje Aloe vera, musí být obsah aloinu nižší než 1 ppm (1  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) (SZÚ 2020). Hypericin je fialovým pigmentem květů třezalky tečkované a červené barvivo fagopyrin se nachází v květech a nati pohanky obecné (*Fagopyrum esculentum*) z čeledi rdesnovitých (*Polygonaceae*).

Košenila je nejvýznamnějším anthrachinonovým barvivem. Na rozdíl od ostatních barviv je živočišného původu a je získávána z oplodněných samiček červce nopálového, který žije jako parazit na kaktusech rodů *Opuntia* a *Nopalea*. Tímto červeným barvivem jsou suchá rozemletá těla hmyzu. Košenila je využíváno k barvení aperitivů, masných výrobků, džemů a mléčných výrobků (Francis 1999).

### 3.4.1.8 Karotenoidy

Karotenoidy jsou polyenové uhlovodíky syntetizované z tetraterpenů mající kostru se 40 uhlíky (Belitz *et al.* 2009). Díky řetězci konjugovaných dvojných vazeb vyskytujícímu se v různých strukturách a kombinacích jsou barevné (Ötles & Çagindi 2008). Některé struktury karotenoidů obsahují dvě cyklické koncové skupiny ( $\beta$ -karoten, zeaxanthin, astaxanthin), zatímco jiné mají jednu ( $\alpha$ -karoten,  $\gamma$ -karoten), nebo žádnou cyklizaci (lykopen). Jiné karotenoidy mohou mít kratší uhlíkaté řetězce a jsou známé jako apokarotenaly (Fenema 1996). Jsou syntetizovány pouze rostlinami, ale mohou se vyskytnout i v živočišných tkáních, kde je živočichové modifikují a následně ukládají. Příkladem je žlutek slepičího vejce zbarvený karotenoidy. V rostlinách jsou sdružovány s chlorofyly, které je maskují. Po degradaci chlorofylů dojde k odhalení jejich přítomnosti (např. zelený pepř po dozrání zčervená) (Belitz *et al.* 2009).

Karotenoidy jsou žluté, oranžové, lipofilní pigmenty rostlin, hub, řas, mikroorganismů a živočichů (korýšů, ryb, ptáků, savců) (Chandrika 2009). Přirozeně se vyskytujícími karotenoidy je kolem 700, z nich přibližně 50 sloučenin, které se nazývají retinoidy, vykazuje aktivitu vitamínu A (Velíšek & Hajšlová 2009). Karotenoidy jsou velmi rozšířenou skupinou pigmentů a v přírodě se jich za rok vyprodukuje kolem  $1 \cdot 10^8$  tun (Ötles & Çagindi 2008).

Hlavními dvěma skupinami karotenoidů jsou xanthofyly a karoteny. Xanthofyly jsou deriváty karotenů, které ve své molekule obsahují nejčastěji hydroxy, keto, epoxy a oxy skupinu (Langi *et al.* 2018).

Z hlediska lidského zdraví mají karotenoidy významný vliv pro prevenci karcinogenních onemocnění, kardiovaskulárních chorob, diabetu mellitu, osteoporózy, degenerace žluté skvrny oka, aterosklerózy a ischemické choroby srdeční (Eggersdorfer & Wyss 2018).

## KAROTENY: LYKOPEN, FYTOEN, KAROTENY

Příkladem karotenů je acyklický fytoen, z něhož izomerací vzniká fytofluen, jeho oxidací postupně  $\zeta$ -karoten a lykopen, jako finální produkt biosyntézy. Lykopen může dále podléhat cyklizaci na jednom nebo na obou koncích molekuly za vzniku monocyklického  $\gamma$ -karotenu,  $\delta$ -karotenu a bicyklického  $\beta$ -karotenu a  $\alpha$ -karotenu (Britton 1996). Acyklické karoteny se v potravinářských materiálech nacházejí v malém množství a jsou doprovázeny alicyklickými karoteny a xanthofyly.  $\alpha$ -karoten,  $\beta$ -karoten a  $\gamma$ -karoten jsou prekurzory retinolu a řadí se tak mezi provitaminy A (Velíšek & Hajšlová 2009).

### $\beta$ -KAROTEN

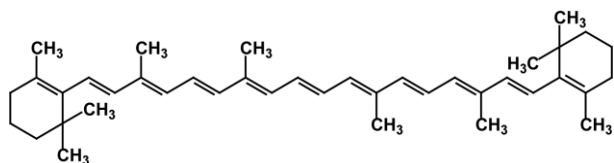
$\beta$ -karoten (provitamin A) (Obr. 24) je isomer přirozeně se vyskytujícího karotenoidního pigmentu karotenu. Jedná se o první analog přírodního barviva, které bylo synteticky vyrobené. FDA (Food and Drug Administration) umožňuje jeho přidávání do potravin v jakýchkoliv úrovních, které odpovídají správné výrobní praxi (Deshpande 2002).

Většina dnes používaného  $\beta$ -karotenu je synteticky vyrobená, výsledkem je molekula ekvivalentní molekule nacházející se v přírodě. K dispozici je však rovněž několik přírodních zdrojů, které se stále více používají k nahrazení syntetické varianty.

Jeho zdrojem jsou zelené listy, ve kterých působí jako médium pro přenos fotoenergie a jako fotoprotektant v komplexech chloroplastů odebírajících světlo.  $\beta$ -karoten se nachází ve formě krystalického prášku. Je nerozpustný ve vodě a ethanolu a není příliš rozpustný ani v rostlinných tucích.  $\beta$ -karoten hraje klíčovou roli pro lidské zdraví, protože je hlavním zdrojem vitamínu A pro většinu lidí na celém světě (Ötles & Çagindi 2008). Má aktivitu vitamínu A : 1 g  $\beta$ -karotenu odpovídá 1,67 milionu IU vitamínu A .

Antioxidační vlastnosti  $\beta$ -karotenu jsou předmětem zvláštní pozornosti, protože mohou představovat prevenci určitých typů rakoviny (Linden & Lorient 1999; Eggersdorfer & Wyss 2018).

Nejkoncentrovanějšími zdroji  $\beta$ -karotenu jsou mrkev, tykve, dýně a mango. Z ovoce jsou hlavním zdrojem broskve, meruňky a papáji. Malá množství  $\beta$ -karotenu jsou obsažena v kukuřici (Ötles & Çagindi 2008). V Tab. 2 jsou uvedena množství  $\beta$ -karotenu ve vybraných plodinách dle USDA (U.S. Department of Agriculture) Food Data Central.



Obr. 24:  $\beta$ -karoten

**Tab. 2:** Obsahy  $\beta$  -karotenu v různých plodinách (FDC 2020)

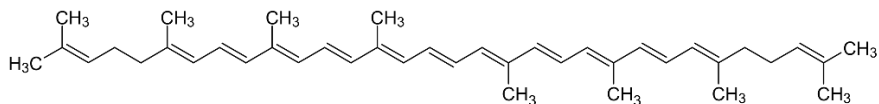
Plodina	Množství $\beta$ -karotenu $\mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$
Mrkev	8285
Tykev	4226
Mango	640
Broskev	162
Meruňka	1094
Papája	274
Grapefruit	552
Meloun vodní	303
Červené kyselé třešně	770
Petržel	5054
Špenát	5626
Salát římský	5226
Salát listový zelený	4443
Cantaloupe (meloun)	2020
Červená paprika	1624
Rajčata	449
Brokolice	361

#### LYKOPEN

Lykopen (Obr. 25) je hlavním pigmentem v rajčatech a je jedním z hlavních karotenoidů v lidské stravě. Je tvořen dlouhým uhlovodíkovým řetězcem s 11 konjugovanými dvojnými vazbami a postrádá charakteristické kruhové struktury (Francis 1999).

Lykopen je jasně červený pigment, který barví zralé ovoce, zeleninu a květy rostlin. Rajčata a výrobky z rajčat jsou hlavními zdroji tohoto karotenoidu. Dále se vyskytuje také ve vodních melounech, guavě a růžových grepech (Ötles & Çagindi 2008).

V rajčatech tvoří běžně 85 % všech karotenoidů, zráním se jeho množství zvyšuje a konečný obsah bývá v rozmezí 30 – 200  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Velíšek & Hajšlová 2009). V Tab. 3 jsou uvedena množství lykopenu ve vybraných plodinách dle USDA (U.S. Department of Agriculture) Food Data Central.

**Obr. 25:** Lykopen

**Tab. 3:** Obsahy lykopenu v různých plodinách (FDC 2020)

Plodina	Množství lykopenu $\mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$
Rajčata	2573
Červené zelí	20
Mrkev	1
Guava (Kvajáva)	5204
Vodní meloun	4532
Papája	1828
Grapefruit	1135
Mango	3

### XANTHOFYLY: LUTEIN, ZEAXANTHIN, KANTAXANTHIN, NEOXANTHIN

Hlavními karotenoidy rostlin jsou xanthofyly, které primárně vznikají jako produkty biochemické oxidace karotenů (Attokaran 2011). Nejběžnějšími monohydroxyderiváty alicyklických karotenů jsou kryptoxanthiny, z nichž se v rostlinných pletivech nachází  $\alpha$ -kryptoxanthin (odvozen od  $\alpha$ -karotenu) a  $\beta$ -kryptoxanthin (odvozen od  $\beta$ -karotenu). Xanthofyl  $\beta$ -kryptoxanthin patří mezi provitaminy A (Jeong et al. 2018). Pigment zeaxanthin (jeho prekurzorem je  $\beta$ -karoten) a lutein (jeho prekurzorem je  $\alpha$ -karoten) jsou dihydroxyderiváty karotenů (Wiesner et al. 2017).

Dalšími příklady xanthofylů jsou neoxanthin a violaxanthin nacházející se ve vyšších rostlinách, fukoxantin vyskytující se jako karotenoidní barvivo řas, dále pak kapsanthin a kapsorubin, které jsou obsaženy v paprikách (Britton 1996).

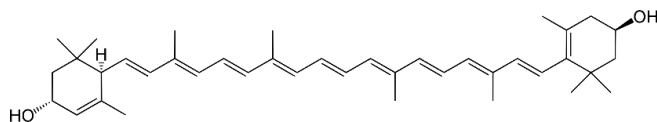
Apokarotenoidy jsou malou, ale významnou skupinou xanthofylů, které v molekule obsahují méně než 40 atomů uhlíku a vznikají štěpením molekuly karotenoidů. Nejvýznamnějším apokarotenoidem je vitamín A<sub>1</sub> (Velíšek & Hajšlová 2009).

#### LUTEIN, ZEAXANTHIN

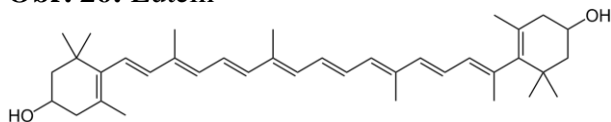
Lutein (Obr. 26) je dominantní xanthofyl v listové zelené a žluté zelenině, které jsou primárními zdroji karotenoidů v lidské výživě (Landrum 2002). Lutein má strukturu podobnou  $\beta$ -karotenu s hydroxylovou skupinou na iononovém kruhu na každém konci molekuly (Francis 2002). Zeaxanthin (Obr. 27) je symetrický a má dvě koncové skupiny. Jak lutein, tak zeaxanthin jsou dihydroxykarotenoidy s hydroxylovými skupinami (Ötles & Çagindi 2008).

Mezi bohaté zdroje luteinu patří špenát, kapusta a brokolice. Hlavním zdrojem luteinu v lidské výživě je zelená listová zelenina. Dobré zdroje jsou také nezralé luštěniny (hrách), nezralé ovoce (zelené papriky) a žloutky (Landrum 2002).

Název zeaxanthin je odvozen od kukuřice (*Zea mays*). Tento karotenoid je hojným xanthofylem pouze v malém počtu potravinových zdrojů a je dominantním xanthofylem v oranžových paprikách a bobulích kustovnice čínské (*Lycium chinense*) (Ötles & Çagindi 2008). V Tab. 4 jsou uvedena množství luteinu a zeaxanthinu ve vybraných plodinách dle USDA (U.S. Department of Agriculture) Food Data Central.



**Obr. 26:** Lutein



**Obr. 27:** Zeaxanthin

**Tab. 4:** Obsahy luteinu a zeaxanthinu v různých plodinách (FDC 2020)

Plodina	Množství luteinu a zeaxanthinu $\mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$
Řeřicha	12500
Špenát	12198
Čekanka	10300
Petržel	5561
Hrášek	2477
Cuketa	2125
Pórek	1900
Zelený listový salát	1730

#### ANNATO

Annato je směs látek, které se nachází v semenech keře tropické rostliny zvané oreláník barvířský (*Bixa orellana*). Je to jedno z nejstarších barviv, které bylo používáno ve starověku pro barvení potravin, kosmetiky a textilu (Rodriguez-Amaya 2015). V USA a Evropě se používá více než 100 let, především jako barvivo pro mléčné výrobky (Francis 1999). Hlavním pigmentem je oranžový bixin (Rodriguez-Amaya 2015), který vzniká jako produkt katabolismu luteinu (Velíšek & Hajšlová 2009).

#### ŠAFRÁN

Šafrán je velice staré barvivo pocházející z dob před našim letopočtem. Získává se ze sušených blizen šafránu setého (*Crocus sativus*) (Francis 1999).

Barvivem v šafránu je žlutooranžový krocetin vzniklý štěpením zeaxanthinu. Krocetin se v šafránu vyskytuje jako ester s disacharidem genciobiosou a nazývá se krocín (Velíšek & Hajšlová 2009). Cukernatá část zajišťuje rozpustnost ve vodě a činí barvivo velmi flexibilním při použití v různých potravinách a farmaceutických produktech (Francis 1999).

#### KANTAXANTHIN

Kantaxanthin je karotenoidní pigment přítomný v jedlých houbách, pstruzích, řasách, dafniích, lososech a krevetách. FDA (Food and Drug Administration) trvale uvádí kantaxantin jako necertifikované barevné aditivum (Deshpande 2002).

## PAPRIKA

Paprika je jedním z nejstarších a nejdůležitějších přírodních karotenoidních barviv potravin. Pro barvení potravin se využívá ve dvou formách. První formou je suchý paprikový prášek a druhou olejový extrakt ze složek lusků.

Hlavními přítomnými karotenoidy jsou kapsanthin a kapsorubin (Kendrik 2012; Arimboor et al. 2015). Množství kapsanthinu v paprikách se pohybuje od 523 do 1207 mg.kg<sup>-1</sup> a množství kapsorubinu je 53 až 179 mg.kg<sup>-1</sup> (Velíšek & Hajšlová 2009).

K barvení potravin se používají karotenoidní pigmenty ve formě čerstvých nebo sušených částí rostlin nebo extraktů. Syntetické karotenoidy se využívají jako lipofilní a hydrofilní potravinářská barviva, ale i jako antioxidanty. Karotenoidy v množství 1 – 10 mg.kg<sup>-1</sup> se používají k barvení mnoha potravin, např. sýrů, jogurtů, ovocných džusů, margarínů, cukrářských výrobků aj.

Syntetickými karotenoidy jsou: β -karoten (E160a), paprikový extrakt (E160c), lykopen (E160d), potravinářská oranž (E160f), lutein (E161b) a červený kanthaxanthin (E161g) (Velíšek & Hajšlová 2009; Nagarajan et al. 2017).

### 3.4.1.9 Enzymové hnědnutí potravin

Enzymové hnědnutí potravin spočívá v enzymové oxidaci fenolových sloučenin některými oxidoreduktázami za přítomnosti vzdušného kyslíku za vzniku chinonů, které dalšími enzymovými a neenzymovými reakcemi poskytují pigmenty různých barev.

K těmto reakcím dochází v potravinách rostlinného a živočišného původu při poškození buněk. Reakcemi vzniká hnědé zbarvení, které je způsobeno pigmenty melaninového typu. Reakce mohou být žádoucí (např. při fermentaci čaje, kakaových bobů, výrobě černých oliv, hrozinek aj.), ale také nežádoucí (např. hnědnutí jablek a brambor) (Velíšek & Hajšlová 2009).

### 3.4.1.10 Neenzymové hnědnutí potravin

Maillardova reakce známá jako neenzymatické hnědnutí je velmi složitý proces. Jedná se o reakci mezi redukcujícími cukry a bílkovinami působením teplot od 140 do 165 °C. Maillardova reakce začíná reakcí redukcujícího cukru s aminem za vzniku glykosylaminu, který je tzv. Amadoriho přesmykem přeměněn na ketosaminy. Ketosaminy podléhají dalším reakcím a mohou tvořit melanoidiny a různé hnědé dusíkaté polymery (Feiner 2016).

Při těchto reakcích vznikají důležité sensoricky aktivní sloučeniny dodávající vyráběným potravinám charakteristické zbarvení, vůni a chuť. Na druhou stranu Maillardova reakce má i svá negativa, kdy v případě působení příliš vysokých teplot dochází mimo jiné k tvorbě sloučenin s karcinogenními vlastnostmi, jako je například akrylamid (Mottram et al. 2002).

## 3.4.2 Syntetická barviva

Syntetická barviva se poprvé objevila v 19. století a využívala se k malování, barvení textilu, plastů a potravin (Francis 1999). Ve 20. století bylo dostupných více než 80 syntetických barviv, převážně získaných z uhelného dehtu a ropy, a některá z nich byla



používána jako aditiva do potravin bez řádného prokázání jejich bezpečnosti. Následkem toho došlo k několika úmrtím, intoxikacím a zdravotním problémům (Pintea 2008). Aby se předešlo těmto následkům, Úřad pro kontrolu potravin a léčiv (FDA) ve 20. století vydal legislativu povolující pouze barviva, u kterých byla známa jejich chemická struktura a bezpečnost. Zákonem byl založen systém certifikace syntetických organických potravinářských barviv určených pro použití v potravinách. Certifikace každé skupiny barviv nebo barviva obsahovala průkaz totožnosti a dokumentaci o hladinách nečistot (Francis 1999).

V současné době je ve Spojených státech amerických povoleno 9 syntetických barviv (tzv. FD&C certifikovaných barviv vhodných pro potravinářské, farmaceutické a kosmetické účely), zatímco v Evropské unii je jich povoleno 16. Syntetická barviva jsou snadno vyrobitelná, stabilní, méně nákladná, a mají lepší vlastnosti než přírodní barviva, přesto podléhají nejprísnějšímu bezpečnostnímu hodnocení (Pintea 2008).

Syntetická barviva jsou průmyslově vyráběné organické sloučeniny. V minulosti byla tato barviva připravována z uhelného dehtu. Dnes jsou vyráběny syntézou z přečištěných ropných produktů (Babička 2012).

Typickým znakem syntetických barviv je přítomnost funkčních skupin, a to chromoforů a auxochromů. Chromofor je látka absorbující elektromagnetické záření, mnohdy část molekuly (skupina) zodpovědná za absorpci světla v ultrafialové a viditelné oblasti spektra. Chromoforovými skupinami jsou například azo-, nitro- a karbonyl- skupiny. Auxochromy posunují absorpci světla k vyšším vlnovým délkám a zodpovídají za intenzitu a odstín barvy. Auxochromovými skupinami jsou například amino- a hydroxy- skupiny (Christie 2015).

### **3.4.2.1 AZO barviva**

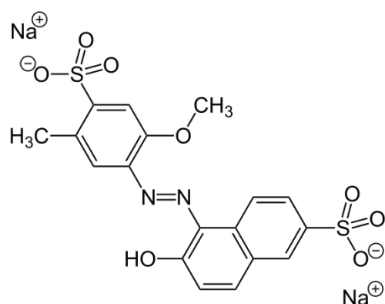
Azobarviva jsou dusíkaté deriváty uhlovodíků a ve vodě rozpustné sloučeniny, které mají charakteristickou azo skupinu ( $-N=N-$ ). Většina azobarviv obsahuje pouze jednu azoskupinu (monoazo), ale některá obsahují dvě (diazo), čtyři (tetrakisazo) nebo více. Azosloučeniny mají jasné barvy, zejména červené, oranžové a žluté. Azobarviva jsou nejdůležitější skupinou syntetických barviv a představují největší třídu barviv, která se dnes využívá (Ziarani et al. 2018).

Většina azobarviv je vyráběna diazotací aromatických aminů za vzniku diazonových solí, které reagují s fenoly nebo aromatickými aminy za vzniku azobarviv (Benkhaya et al. 2020).

Mezi azobarviva patří červeň Allura AC, amarant, azorubine, černá BN, hnědá FK a hnědá HT.

#### **Červeň Allura AC (E129)**

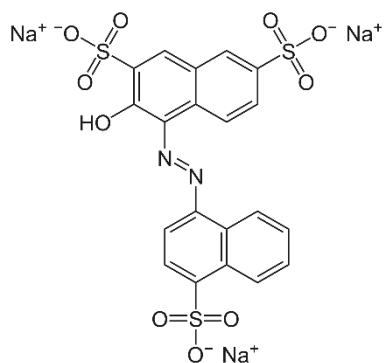
Červeň Allura AC (Obr. 28) je tmavě červený prášek nebo granule rozpustné ve vodě a nerozpustné v ethanolu (Pintea 2008). Je stabilní vůči teplu i světlu (Emerton 2008). Přijatelný denní příjem je 0 – 7 mg na kilogram tělesné hmotnosti. Využívá se k barvení nealkoholických ochucených nápojů ( $100 \text{ mg.l}^{-1}$ ), ovocných konzerv ( $200 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), pečiva ( $200 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), zmrzliny ( $150 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) a mléčných výrobků ( $150 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) (Pintea 2008).



**Obr. 28:** Červeň Allura AC (E129)

### Amarant (E123)

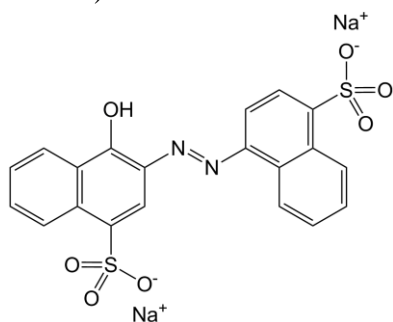
Amarant (Obr. 29) je červenohnědý prášek nebo granule rozpustné ve vodě a mírně rozpustné v ethanolu. Přijatelný denní příjem je 0 – 0,5 mg na kilogram tělesné hmotnosti. Využívá se k barvení alkoholických nápojů s obsahem alkoholu pod 15 % ( $30 \text{ mg.l}^{-1}$ ) a dále se může využívat spolu s dalšími barvivy, ale jeho množství nesmí být vyšší jak  $100 \text{ mg.l}^{-1}$  (Pintea 2008).



**Obr. 29:** Amarant (E123)

### Azorubin (E122)

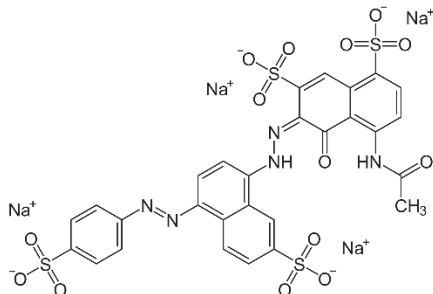
Azorubin (Obr. 30), kterému se jinak také říká karmoisin, je červený až hnědý prášek nebo granule rozpustné ve vodě a mírně i v ethanolu. Přijatelný denní příjem je 0 – 4 mg na kilogram tělesné hmotnosti. Využívá se k barvení nealkoholických nápojů ( $50 \text{ mg.l}^{-1}$ ), cukrovinek, pečiva ( $50 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), zmrzlin ( $50 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) a mléčných výrobků ( $50 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) (Pintea 2008).



**Obr. 30:** Azorubin (E122)

### Čerň BN (E151)

Čerň BN (Obr. 31) je černý prášek nebo granule rozpustné ve vodě a mírně i v ethanolu. Přijatelný denní příjem je 0 – 1 mg na kilogram tělesné hmotnosti. Využívá se k barvení stejných potravin jako červec Allura AC a maximální přijatelná množství jsou taktéž shodná.



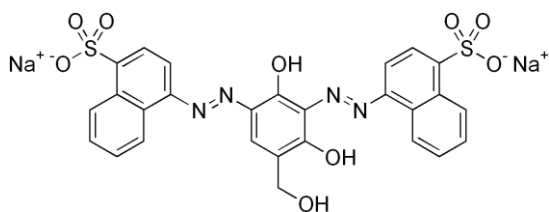
Obr. 31: Čerň BN (E151)

### Hněď FK (E154)

Hněď FK je směs azosloučenin. Jedná se o hnědý prášek nebo granule rozpustné ve vodě a mírně i v ethanolu. Přijatelný denní příjem nebyl stanoven. Využívá se zejména k barvení uzených ryb (20 mg.kg<sup>-1</sup>). V rámci EU není povolené, ale v USA ano.

### Hněď HT (E155)

Hněď HT (Obr. 32) je hnědý prášek nebo granule rozpustné ve vodě a nerozpustné v ethanolu. Přijatelný denní příjem je 0 – 1,5 mg na kilogram tělesné hmotnosti. Využívá se k barvení stejných potravin jako azorubin, především k barvení čokolády, cukrovinek, omáček a pečiva.



Obr. 32: Hněď HT (E155)

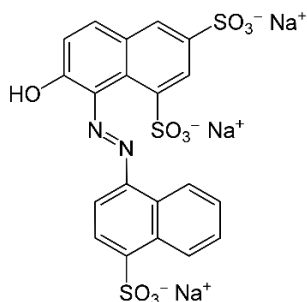
### Litholrubin BK (E180)

Litholrubin BK je červený prášek nebo granule mírně rozpustné v horké vodě, nerozpustné ve studené vodě a v ethanolu. Přijatelný denní příjem nebyl stanoven. Využívá se k barvení kůry sýrů (Pintea 2008).

### Ponceau 4R (E124)

Ponceau 4R (Obr. 33) nebo také košenilová červec A je červený prášek nebo granule rozpustné ve vodě a mírně i v ethanolu (Pintea 2008). Používá se i ve formě hliníkového laku. Je stabilní vůči teplu i světlu (Emerton 2008). Přijatelný denní příjem je 0 – 4 mg

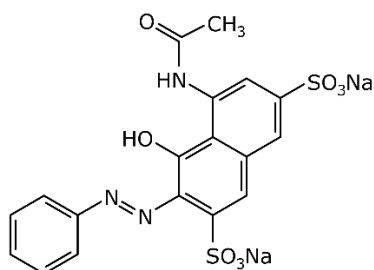
na kilogram tělesné hmotnosti. Využívá se k barvení kečupů marmelád, žvýkaček, cukrovinek, zmrzlin a limonád (Pintea 2008).



**Obr. 33:** Ponceau 4R (E124)

### Červeň 2G (E128)

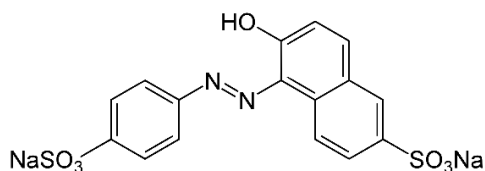
Červeň 2G (Obr. 34) je modročervený prášek nebo granule rozpustné ve vodě a mírně rozpustné v ethanolu. Přijatelný denní příjem je 0 – 0,1 mg na kilogram tělesné hmotnosti. Využívá se k barvení uzenin a masa na hamburgery (Pintea 2008).



**Obr. 34:** Červeň 2G (E128)

### Žlutý SY (E110)

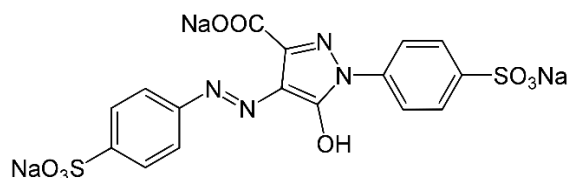
Žlutý SY (Obr. 35) je syntetický pigment oranžovo-červené barvy ve formě prášku. Při jeho rozpuštění ve vodě vzniká oranžovo-žlutý roztok (Deshpande 2002). Lze jej používat i ve formě hliníkového laku. Má velmi dobrou odolnost vůči teplu (Emerton 2008). Přijatelný denní příjem je 0 – 2,5 mg na kilogram tělesné hmotnosti. Využívá se k barvení nealkoholických nápojů, sladkostí, hořčice, pekařských výrobků, zmrzliny a meruňkového džemu (Pintea 2008).



**Obr. 35:** Žlutý SY (E110)

### Tartrazin (E102)

Tartrazin (Obr. 36) je citronově žlutý prášek nebo granule rozpustné ve vodě a mírně i v ethanolu (Pintea 2008). Je možné jej používat i ve formě hliníkového laku. Je stabilní vůči teplu i světlu (Emerton 2008). Přijatelný denní příjem je 0 – 7,5 mg na kilogram tělesné hmotnosti (Pintea 2008). Tartrazin u některých lidí způsobuje například kopřivku, astma a alergické reakce. Vzhledem k těmto nepříznivým účinkům na lidské zdraví, je možné tartrazin nahradit kurkuminem (Deshpande 2002). Využívá se k barvení ovocných džusů, čokolády, konzervovaného hrášku, zmrzlin a hořčic (Pintea 2008).



Obr. 36: Tartrazin (E102)

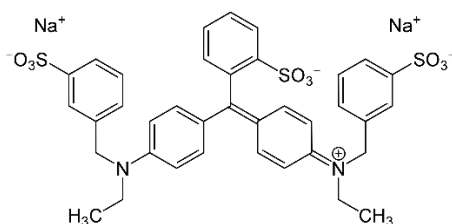
### 3.4.2.2 Trifenylmethanová barviva

Základem struktury trifenylmethanových barviv je centrální atom uhlíku, který je spojen se třemi aromatickými kruhy substituovanými aminoskupinou, hydroxylovou nebo sulfonovou skupinou (Damant 2011).

Mezi trifenylmethanová barviva se řadí brilantní modř FCF, zeleň S a patentní modř V.

### Brilantní modř (E133)

Brilantní modř (Obr. 37) je modrozelený prášek nebo granule rozpustné ve vodě a mírně i v ethanolu. Přijatelný denní příjem je 0 – 10 mg na kilogram tělesné hmotnosti. Využívá se k barvení různých potravin, např. fermentovaného mléka (150 mg.kg<sup>-1</sup>) a pečiva (100 mg.kg<sup>-1</sup>) (Pintea 2008).



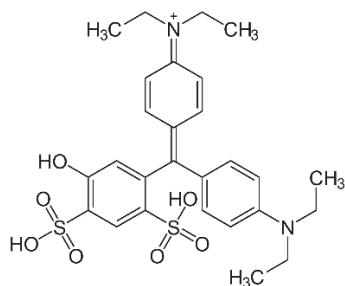
Obr. 37: Brilantní modř (E133)

### Zeleň S (E142)

Zeleň S je zelený prášek nebo granule rozpustné ve vodě a mírně i v ethanolu. Přijatelný denní příjem nebyl stanoven. Využívá se k barvení marmelád a želé (100 mg.kg<sup>-1</sup>) a konzervovaného hrášku (10 mg.kg<sup>-1</sup>) (Pintea 2008).

### Patentní modř V (E131)

Patentní modř V (Obr. 38) je zelenomodrý prášek nebo granule rozpustné ve vodě a slabě i v ethanolu. Přijatelný denní příjem nebyl stanoven. Využívá se k barvení žvýkaček, sladkostí, alkoholických i nealkoholických nápojů a likérů (Pintea 2008).



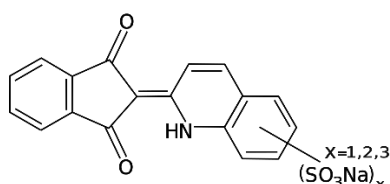
Obr. 38: Patentní modř V (E131)

#### 3.4.2.3 Další syntetická barviva

Dalšími syntetickými barvivy využívanými v potravinářství jsou chinolinová žluť, erythrosin a indigotin.

#### Chinolinová žluť (E104)

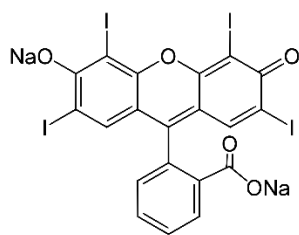
Chinolinová žluť (Obr. 39) patří mezi chinolinová barviva (Pintea 2008). Vyrábí se destilací uhelného dehtu, alkaloidů nebo reakcí acetaldehydu s formaldehydem (Vollmannová et al. 2018). Je to žlutý prášek nebo granule rozpustné ve vodě a mírně i v ethanolu. Přijatelný denní příjem je 0 – 10 mg na kilogram tělesné hmotnosti. Využívá se k barvení omáček, nealkoholických nápojů, cukrovinek, hořčice, mléčných výrobků a marmelád (Pintea 2008).



Obr. 39: Chinolinová žluť (E104)

#### Erythrosin (E127)

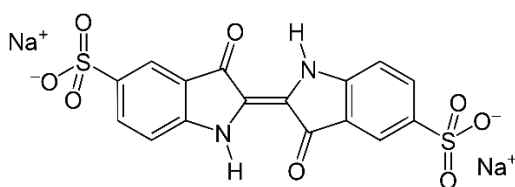
Erythrosin (Obr. 40) patří mezi xanthenová barviva. Je to červený prášek nebo granule rozpustné ve vodě a ethanolu. Přijatelný denní příjem je 0 – 0,1 mg na kilogram tělesné hmotnosti. Využívá se jako přísada koktejlových třešní a ovocných salátů z třešní. V EU je jeho využití značně omezeno. Přidává se pouze do koktejlových třešní a ovocných salátů s obsahem třešní. V USA je barvivem povoleným k barvení marmelád, želé, oplatek, limonád a cukrovinek (Pintea 2008).



**Obr. 40:** Erythrosin (E127)

### **Indigotin (E132)**

Indigotin (Obr. 41) patří mezi indigoidní barviva. Je to tmavě modrý prášek nebo granule rozpustné ve vodě a mírně i v ethanolu. Přijatelný denní příjem je 0 – 5 mg na kilogram tělesné hmotnosti. Využívá se k barvení nealkoholických nápojů, pekařských výrobků, cereálií, sladkostí, želé, mražených dezertů a krémů (Pintea 2008).



**Obr. 41:** Indigotin (E132)

### 3.5 Potravinářská barviva a jejich vliv na lidský organismus

Potravinářská barviva mohou mít na organismus pozitivní i negativní vliv.

Positivně na organismus působí hlavně přírodní rostlinná barviva. Chlorofyl (E140) podporuje hojení ran, využívá se jako prevence při tvorbě dnových kamenů, podporuje trávení a detoxikaci organismu a využívá se v prevenci rakoviny tlustého střeva. Kurkumin (E100) má protizánětlivé účinky, využívá se k léčbě akné a zanícených ran, má protirakovinové účinky a podporuje trávení. Anthokyany (E163) mají schopnost chránit stěnu vlásečnic, dále mají chemoprotektivní a chemopreventivní účinky u nádorových onemocnění a jsou protizánětlivé. Z karotenoidů je důležitý hlavně  $\beta$ -karoten, lykopen a lutein.  $\beta$ -karoten (E160a) je provitaminem a v organismu dochází k jeho přeměně na vitamin A, který je nepostradatelný pro funkci a metabolismus rhodopsinu.  $\beta$ -karoten je dále silným antioxidantem, napomáhá ke správnému vývoji plodu, podporuje regeneraci a růst kožních buněk. Lykopen (E160d) ochraňuje cévy, srdce, kožní buňky a působí jako antioxidant. Lutein (E161b) má antioxidační účinky a zpomaluje degeneraci sítnice (Růžková 2012).

Z hlediska negativního působení na zdraví jsou nejvíce diskutovanými přírodními barvivy karmin a annato. Na základě podezření z jejich toxicity bylo provedeno mnoho studií zaměřujících se na jejich zdravotní rizika.

Dvě ze studií, které se zabývaly negativními účinky karminu na lidské zdraví, potvrdily jeho negativní vliv na dýchací systém. Vždy byli testováni pracovníci továren, v nichž se vyrábí potravinářská barviva, a to konkrétně právě barvivo karmin. Všichni zaměstnanci trpěli příznaky rýmy a astmatu. Dále byly v krvi testovaných osob nalezeny specifické protilátky proti karminu (Quirce 1994) a pozitivní byly i kožní testy na karmin (Tabar-Purroy 2003). U jednoho bývalého zaměstnance karmin rovněž způsobil profesní astma (Quirce 1994).

Mutagenita annata byla sledována v buňkách kostní dřeně myši. Tato studie neprokázala mutagenní účinky annata, ale pokud by byly dlouhodobě podávány vysoké dávky annata, mohlo by dojít ke zvýšení účinku mutagenu (Lima 2003). V další studii byla zkoumána hepatokarcinogenita annata v játrech krys, výsledky studie však hepatokarcinogenitu neprokázaly (Agner 2004). V jiném experimentu na krysách bylo zjištěno, že bezpečná koncentrace annata obsažená v krmivu je 0,1 %. Pokud byly krysy krmeny krmivem s koncentrací annata 0,3 % a 0,9 % docházelo již ke změnám v jejich těle. Hodnota NOAEL určená na základě tohoto experimentu je 69 mg.kg<sup>-1</sup> tělesné hmotnosti na den u mužů, respektive 76 mg.kg<sup>-1</sup> tělesné hmotnosti na den u žen (Hagiwara 2003).

Větším rizikem pro zdraví konzumentů jsou barviva syntetická. Společnost EFSA, a to konkrétně vědecký panel pro potravinářská aditiva (The Panel on Food Additives and Flavourings, FAF), pravidelně posuzuje riziko a bezpečnost potravinářských barviv. Možnými karcinogeny ze syntetických barviv může být tartrazin (E102), ponceau 4R (E124), červec Allura AC (E129), azorubin (E122), brilantní čern BN (E151) a chinolinová žlut (E104). Všechna tato barviva byla negativní jak v *in vitro* genotoxicitě, tak i v dlouhodobých studiích karcinogenity a neočekává se, že účinky na dělení jaderné DNA povedou ke karcinogenitě. Vědecký panel pro potravinářská aditiva (FAF) na základě těchto informací nepotvrdil karcinogenní vliv syntetických barviv (EFSA 2009).

Byly provedeny dvě studie, ve kterých se sledovala interakce DNA nativního telecího brzlíku s tartrazinem (Kashaniana 2011). Výsledek studie ukázal, že tartrazin má toxický



potenciál pro lidské lymfocyty a že se váže přímo na DNA. V rámci těchto studií byl prokázán toxický potenciál pro lidské lymfocyty a přímá vazba na DNA i u barviv amarant a erythrosin (Mpountoukas et al. 2015).

Na syntetická barviva je také nazíráno negativně z toho důvodu, že mohou mít nežádoucí účinky na děti. Jedná se zejména o zhoršení poruchy pozornosti (ADD) a poruchy pozornosti spojené s hyperaktivitou (ADHD). Tento negativní vliv barviv projevující se ve zvýšené hyperaktivitě potvrdila i studie z roku 2007, ve které byla dětem po dobu šesti týdnů podávána šťáva obsahující syntetická barviva. Po uplynutí šesti týdnů byla u dětí pozorována hyperaktivita, zhoršená schopnost učení a porucha soustředění (Růžková 2012). Příznaky hyperaktivity při dlouhodobém užívání syntetických barviv potvrdila i americká studie (Nigg et al. 2012).

### 3.6 Hodnocení a způsoby detekce potravinářských barviv

Barevnost potravin je možné hodnotit pomocí senzoričké analýzy a instrumentálních metod.

Senzoričká analýza je založena na zkoumání vlastností potravin za využití lidských smyslů. Vzhledem k široké škále potravin je nejdůležitější nejprve definovat určitý standard kvality a až poté navrhnout metodu a uskutečnit její ověření. Výrobní podniky si většinou definují vlastní standard a požadavky, které by měly potravinářské výrobky splňovat (Jůzl 2014).

Instrumentálními metodami se na rozdíl od senzoričké analýzy měří podněty, a to fyzikální či chemické. Výhodou těchto metod je, že poskytují opakovatelné a snadno reprodukovatelné výsledky. Jejich provedení je jednoduché, poměrně rychlé a i cena bývá relativně nízká. Instrumentální metody lze použít pouze pokud je znám vztah mezi podnětem a vjemem. To znamená, že pokud je snahou vyjádřit nějakou senzoričkou vlastnost instrumentálními metodami, je nutno nejdříve přístroj kalibrovat vzorky, jež byly hodnoceny senzoričce (Kinclová 2004).

Barviva lze v potravině detekovat nejčastěji pomocí chromatografie a spektrofotometrie, dále pak i pomocí elektroforézy.

Principem chromatografie je rozdělení směsi na základě různé rychlosti migrace jejích složek. Migrace probíhá v soustavě dvou fází, z nichž jedna je nepohyblivá (stacionární) a druhá pohyblivá (mobilní). Na základě rozdílné afinity složek směsi k oběma fázím je vzorek rozdělen (Lakka & Kuppan 2019). Chromatografií je více druhů, například kapalinová, gelová a plynová (Klouda 1996). Ke stanovení vybraných syntetických barviv (Tartrazine, Amaranth, Brilantní modř) byla v jedné ze studií použita vysoce účinná kapalinová chromatografie (Alves et al. 2008) a současná studie provedla identifikaci chlorofilinu a syntetických barviv pomocí kapalinové chromatografie s reverzní fází (RP-HPLC) (Mathiyalagan et al. 2019).

Principem spektrofotometrie je využití absorpce, rozptylu nebo emise elektromagnetického záření sledovanou složkou pro určení jejího obsahu v analyzovaném vzorku. Spektrofotometrie se využívá ke stanovení buď absolutního množství, nebo relativního množství dvou nebo více sloučenin či prvků ve vzorku nebo sadě vzorků (Germer et al. 2014).

Elektroforéza patří mezi separační metody a jejím principem je využití schopnosti nabitých částic pohybovat se v elektrickém poli. Elektroforetický systém se skládá ze dvou elektrod opačného náboje, spojených elektrolytem. Separační účinek nabitých částic vychází z rozdílů v jejich rychlosti, kterou nabité částice putují k elektrodě s opačnou polaritou (Gas 2005).

## 4 Závěr

Potravinářská barviva jsou jednou z nejdůležitějších a nejvýznamnějších skupin přídatných látek. V potravinářském průmyslu se stále ve velké míře přidávají do potravin i nápojů. Jejich hlavním cílem je zachování vizuálního vzhledu potravin, protože barva je jedním ze základních faktorů na základě, kterých se spotřebitel rozhodne výrobek zakoupit a také pro většinu lidí znamená barva i kvalitu. Ne vždy je však barva ukazatelem kvality. Často jsou výrobci nuceni snižovat ceny výrobků, proto snižují i obsahy určitých složek (ovoce v jogurtu) a nahrazují je například barvivy (karmin). Výsledkem je pak zachovaný vzhled, nikoliv však zcela vyhovující kvalita (málo ovoce). Spotřebitelé si tuto skutečnost stále více uvědomují, a proto se výrobci potravin snaží nahrazovat složky spíše barvivy přírodního původu.

Aktuálně jsou v potravinářství využívána jak barviva syntetická, tak přírodní. I přesto, že jsou syntetická barviva stabilnější, barevně intenzivnější, levnější na výrobu a neovlivňují výslednou chuť výrobku, výrobci se snaží využívat více barviva přírodní. Důvodů je více, například tlak spotřebitelů, ale i zdravotní aspekty, protože mnoho přírodních barviv má antioxidační i protirakovinné účinky. Naproti tomu jsou syntetická barviva podezírána z karcinogenity, je jim přisuzován negativní účinek na zdraví člověka v případě dlouhodobé konzumace vyšších dávek a také zvýšená hyperaktivita dětí.

Jako všechna potravinářská aditiva jsou i barviva a jejich přidávání do potravin a nápojů přísně regulována evropskou a státní legislativou. Společnost EFSA pravidelně přehodnocuje jednotlivá barviva na základě studií a různých experimentů. V případě, že je shledáno určité zdravotní riziko, je přehodnocena hladina bezpečného příjmu (ADI) dotyčného barviva a je doporučeno její snížení.

V České republice je povoleno užívat v potravinářském průmyslu 40 různých látek, 25 přírodních a 15 syntetických. Spotřebitelé jsou díky přísné legislativě (E-kódy) dobře informováni o použitých barvivech v potravinách a každý si může zvolit, zda zakoupí výrobek barvený syntetickými či přírodními barvivy nebo dá přednost výrobku bez barviv.

## 5 Literatura

Alves SP, Brum DM, de Andrade BÉC, Netto ADP. 2007. Determination of synthetic dyes in selected foodstuffs by high performance liquid chromatography with UV-DAD detection. *Food Chemistry* **107**:489-496.

Arimboor R , Natarajan RB, Menon KR, Chandrasekhar LP, Moorkoth V . 2015. Red pepper (*Capsicum annuum*) carotenoids as a source of natural food colors: analysis and stability-a review. *Journal of food science and technology* **52**(3):1258-1271.

Armandodoriano B , Lo Scalzo R , Scarpati ML. 1993. Isolation of cornoside from *Olea europaea* and its transformation into halleridone. *Phytochemistry* **32**:455-457.

Ashnagar A , Shiri A . 2011. Isolation and characterization of 2-hydroxy-1,4-naphthoquinone (lawsone) from the powdered leaves of henna plant marketed in Ahwaz city of Iran. *International Journal of ChemTech Research* **3**:1941-1944.

Attokarn M . 2011. *Natural Food Flavors and Colorants*. IFT Press, Ames.

Azeredo HMC. 2009. Betalains: properties, sources, applications, and stability – a review. *International Journal of Food Science and Technology* **44**:2365–2376.

Babička L . 2012. *Přídavné látky v potravinách*. Potravinářská komora České republiky, Česká technologická platforma pro potraviny, Praha.

Belitz HD, Grosch W , Schieberle P . 2009. *Food Chemistry*. Springer, Leipzig.

Benkhaya S , M'rabet S , El Harfi A . 2020. Classifications, properties, recent synthesis and applications of azo dyes. *Heliyon* (e03271) DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e03271.

Britton G . 1996. Carotenoids. Pages 197-240 in Hendry GAF, Houghton JD, editors. *Natural food colorants*. Springer Science+Business Media. New York.

Brodowska KM. 2017. Natural flavonoids: classification, potential role, and application of flavonoid analogues. *European Journal of Biological Research* **7**(2):108-123.

Burrows A . 2009. Palette of our palates: a brief history of food coloring and its regulation. *Comp Rev Food Sci Food Safety* **8**:394-408.

Bezpečnost potravin. 2012. Identifikace potravinářských aditiv podle čísla (INS). Systém E -kódů. Ministerstvo zemědělství. Available from [https://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/File/Kvasnickova/3\\_System\\_E-kodu.pdf](https://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/File/Kvasnickova/3_System_E-kodu.pdf) (accessed March 2020).

Bezpečnost potravin. 2012. Posuzování zdravotní nezávadnosti potravinářských aditiv a stanovení jejich akceptovatelného denního příjmu (ADI). Ministerstvo zemědělství. Available from [https://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/prilohy/Posuzovani\\_zdrav.nezavadnosti\\_PPL.pdf](https://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/prilohy/Posuzovani_zdrav.nezavadnosti_PPL.pdf) (accessed March 2020).

Bezpečnost potravin. 2018. EFSA. Ministerstvo zemědělství. Available from <https://www.bezpecnostpotravin.cz/kategorie/efsa.aspx> (accessed March 2020).

Damant AP. 2011. Food Colourants. Pages 252-305 in Clark M , editor. Handbook of Textile and Industrial Dyeing. Woodhead Publishing, Cambridge.

De Maere H , Chollet S , De Brabanter J , Michiels Ch, Paelinck H , Fraeye I . 2018. Influence of meat source, pH and production time on zinc protoporphyrin IX formation as natural colouring agent in nitrite-free dry fermented sausages. *Meat Science* **135**:46-53.

Deshpande S . 2002. Handbook of food toxicology. Marcel Dekker, New York.

eAgri. 2020. Odstavec předpisu 4/2008. Ministerstvo zemědělství. Available from <http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/ostatni/100065004.html> (accessed April 2020).

EFSA. 2009. Scientific Opinion on the re-evaluation Tartrazine (E 102). *EFSA Journal* (e1331) DOI: 10.2903/j .efsa.2009.1331.

EFSA. 2009. Scientific Opinion on the re-evaluation of Ponceau 4R (E 124) as a food additive. *EFSA Journal* (e1328) DOI: 10.2903/j .efsa.2009.1328.

EFSA. 2009. Scientific Opinion on the re-evaluation of Allura Red AC (E 129) as a food additive. *EFSA Journal* (e1327) DOI: 10.2903/j .efsa.2009.1327.

EFSA. 2009. Scientific Opinion on the re-evaluation of Azorubine/Carmoisine (E 122) as a food additive. *EFSA Journal* (e1332) DOI: 10.2903/j .efsa.2009.1332.

EFSA. 2010. Scientific Opinion on the re-evaluation of Brilliant Black BN (E 151) as a food additive. *EFSA Journal* (e1540) DOI: 10.2903/j .efsa.2010.1540.

EFSA. 2009. Scientific Opinion on the re-evaluation of Quinoline Yellow (E 104) as a food additive. *EFSA Journal* (e1329) DOI: 10.2903/j .efsa.2009.1329.

EFSA. 2020. About EFSA. EFSA. Available from <http://www.efsa.europa.eu/en/aboutefsa> (accessed February 2020).

Eggersdorfer M , Wyss A . 2018. Carotenoids in human nutrition and health. *Archives of Biochemistry and Biophysics* **652**:18-26.

El-Najjar N , Gali-Muhtasib H , Ketola RA, Vuorela P , Urtti A , Vuorela H . 2011. The chemical and biological activities of quinones: overview and implications in analytical detection. *Phytochemistry Reviews* **10**:353-370.

Emerton V . 2008. Food colours. Blackwell Pub., Oxford.

Evropský parlament a rada evropské unie. 2008. Nařízení evropského parlamentu a rady (ES) č . 1333/2008 ze dne 16. prosince 2008 o potravinářských přídatných látkách. Pages 16-33 in *Úřední věstník Evropské unie* L354, Lucembursko.

Farid Y , Bowman NS, Lecat P . 2020. Biochemistry, Hemoglobin Synthesis. StatPearls Publishing. Available from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK536912/> (accessed April 2020).

FDC. 2020. Food Data Central. USDA. Available from <https://fdc.nal.usda.gov/> (accessed April 2020).

Feiner G . 2016. Salami. Practical Science and Processing Technology. Academic Press, London.

Francis FJ. 1999. Colorants: practical guides for the food industry. Eagan press, Minnesota.

Francis FJ. 2002. Food Colorings. Pages 297-330 in MacDougall DB, editor. Colour in Food: Improving Quality. Woodhead Publishing. Cambridge.

Frank HA, Codell RJ. 2012. Light Capture in Photosynthesis. Comprehensive Biophysics **8**:94-114.

Gas B . 2005. Electrophoresis principle. Pages 363-370 in Worsfold P , Townshend A , Poole C , editors. Encyclopedia of Analytical Science. Elsevier, Amsterdam.

Germer TA, Zwinkels JC, Tsai BK. 2014. Theoretical Concepts in Spectrophotometric Measurements. Experimental Methods in the Physical Sciences **46**:11-66.

Gunhild Layer, Dieter Jahn, Evelyne Deery, Andrew D . Lawrence, Martin J . Warren. 2010. Biosynthesis of Heme and Vitamin B<sub>12</sub>. Comprehensive Natural Products II **7**:445-499.

Hendry GAF. 1996. Natural pigments in biology. Pages 1 -39 in Hendry GAF, Houghton JD, editors. Natural food colorants. Springer Science+Business Media. New York.

Hendry GAF. 1996. Chlorophylls and chlorophyll derivatives. Pages 131-155 in Hendry GAF, Houghton JD, editors. Natural food colorants. Springer Science+Business Media. New York.

Henry BS. 1996. Natural food colours. Pages 40-79 in Hendry GAF, Houghton JD, editors. Natural food colorants. Springer Science+Business Media. New York.

Houghton JD. 1996. Haems and bilins. Pages 157-193 in Hendry GAF, Houghton JD, editors. Natural food colorants. Springer Science+Business Media. New York.

Chandrika UG. 2009. Carotenoid Dyes. Pages 221-242 in Bechtold T , Mussak R , editors. Handbook of Natural Colorants. John Wiley & Sons, Wiltshire.

Christie RM. 2015. Colour Chemistry. The Royal Society of Chemistry, Cambridge.

Jackman RL, Smith JL. 1996. Anthocyanins and betalains. Pages 244-296 in Hendry GAF, Houghton JD, editors. Natural food colorants. Springer Science+Business Media. New York.

Jeong SJ, Choe SJ, Lim CJ, Park K , Park K . 2018. Micronutrients in Skin Immunity and Associated Diseases. Pages 257-270 in Chatterjee S , Jungraithmayr W , Bagchi D , editors. Immunity and Inflammation in Health and Disease. Elsevier, San Diego.

Jongrungruangchok S , Kittakoo P , Yongsmith B , Bavovada R , Tanasupawat S , Lartpornmatulee N , Thebtaranonth Y . 2004. Azaphilone pigments from a yellow mutant of the fungus *Monascus kaoliang*. Phytochemistry **65**:2569-2575.

Kendrik A . 2012. Natural food and beverage colourings. Pages 25-40 in Baines D , Seal R , editors. Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings. Woodhead Publishing, Cambridge.

Kirilovski D , Büchel C . 2019. Evolution and function of light-harvesting antenna inoxygenic photosynthesis. *Advances in Botanical Research* **91**:247-293.

Klouda P . 1996. *Moderní analytické metody: Učebnice základů instrumentálních analytických metod*. P . Klouda, Ostrava.

Lakka NS, Kuppan Ch. 2019. *Principles of Chromatography Method Development*. IntechOpen (e89501) DOI: 10.5772/intechopen.89501.

Landrum JT, Bone RA, Herrero C . 2002. Astaxanthin, cryptoxanthin, lutein, and zeaxanthin. Pages 173-192 in Meskin MS, Bidlack WR, Davies AJ, Omaye ST, editors. *Phytochemicals in Nutrition and Health*. CRC Press. Boca Raton.

Langi P , Kiokias S , Varzakas T , Proestos C . 2018. Carotenoids: From Plants to Food and Feed Industries. Pages 57-71 in Barreiro C , Barredo JL, editors. *Microbial Carotenoids. Methods in Molecular Biology*. Humana Press, New York.

Linden G , Lorient D . 1999. *New Ingredients in Food Processing*. Woodhead Publishing. Cambridge.

Lu JJ, Bao LJ, Wu GS, Xu WS, Huang MQ, Chen XP, Wang YT. 2011. Quinones Derived from Plant Secondary Metabolites as Anti-cancer Agents. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry* **13**:456-463.

Mandal MK, Chanu NG, Chaurasia N . 2020. Cyanobacterial pigments and their fluorescence characteristics: applications in research and industry. Pages 55-72 in Singh P , Kumar A , Singh VK, Shrivistava A , editors. *Advances in Cyanobacterial Biology*. Academic Press, London.

Marquez UML, Sinnecker P. 2008. Chlorophylls: Properties, Biosynthesis, Degradation and Functions. Pages 25-50 in Socaciu C, editor. *Food colorants: chemical and functional properties*. CRC Press, Boca Raton.

Mathiyalagan S , Mandal BK, Ling YC. 2019. Determination of synthetic and natural colorants in selected green colored foodstuffs through reverse phase-high performance liquid chromatography. *Food Chemistry* **278**:381-387.

Miguel MG. 2018. Betalains in Some Species of the Amaranthaceae Family: A Review. *Antioxidants*. Available from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5946119/> (accessed January 2020).

Mottram DS, Wedzicha BL, Dodson AT. 2002. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature* **419**:448-449.

Nagarajan J , Ramanan RN, Raghunandan ME, Galanakis CM, Krishnamurthy NP. 2017. Carotenoids. Pages 259-296 in Galanakis CM, editor. *Nutraceutical and Functional Food Components*. Academic Press, London.

Ogun AS, Joy NV, Valentine M . 2020. *Biochemistry, Heme Synthesis*. StatPearls Publishing. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537329/> (accessed April 2020).

- Ötles S, Çagindi Ö. 2008. Carotenoids as Natural Colorants. Pages 51-70 in Socaciu C, editor. Food colorants: chemical and functional properties. CRC Press, Boca Raton.
- Panche AN, Diwan AD, Chandra SR. 2016. Flavonoids: an overview. Journal of nutritional science 5 (e47) DOI: 10.1017/jns.2016.41.
- Pintea AM. 2008. Other Natural pigments. Pages 102-119 in Socaciu C, editor. Food colorants: chemical and functional properties. CRC Press, Boca Raton.
- Pintea AM. 2008. Synthetic colorants. Pages 603-616 in Socaciu C, editor. Food colorants: chemical and functional properties. CRC Press, Boca Raton.
- Pniewski F . 2020. HPLC separation of cyanobacterial and algal photosynthetic pigments. Biologia **75**:223-233.
- Rodriguez-Amaya DB. 2015. Carotenes and xanthophylls as antioxidants. Pages 17-50 in Shahidi F , editor. Handbook of Antioxidants for Food Preservation. Woodhead Publishing, Cambridge.
- Rodriguez-Amaya DB. 2019. Betalains. Encyclopedia of Food Chemistry **1** :35-39.
- Růžková B . 2012. Barviva a jejich vliv na lidský organismus. Klin Farmakol Farm **26**:148-152.
- Sathya S . 2017. Separation of algal pigments by thin layer chromatography (tlc) and high performance liquid chromatography (hplc). World Journal of Pharmaceutical Research **6**:1275-1284.
- Sawicki T , Bączek N , Wiczowski W . 2016. Betalain profile, content and antioxidant capacity of red beetroot dependent on the genotype and root part. Journal of Functional Foods **27**:249-261.
- Scheer H . 2013. Chlorophylls and Carotenoids. Pages 498-505 in Lennarz WJ, Lane MD, editors. Encyclopedia of Biological Chemistry. Elsevier, San Diego.
- Sigurdson GT, Tang P , Giusti MM. 2017. Natural Colorants: Food Colorants from Natural Sources. Annual Review of Food Science and Technology **8**:261-280.
- Silva DVT, Baião DS, Silva FO, Alves G , Perrone D , Aguila EM, Paschoalin VMF. 2019. Betanin, a Natural Food Additive: Stability, Bioavailability, Antioxidant and Preservative Ability Assessments. Molecules (e458) DOI: 10.3390/molecules24030458.
- Simon JE, Decker EA, Ferruzzi MG, Giusti MM, Mejia CD, Goldschmidt M , Talcott ST. 2017. Establishing Standards on Colors from Natural Sources. Journal of Food Science **82**:2539-2553.
- Solovchenko A , Yahia EM, Chen Ch. 2019. Pigments. Pages 225-252 in Yahia EM, editor. Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables. Woodhead Publishing, Cambridge.
- Solymosi K , Mysliwa-Kurdziel B . 2017. Chlorophylls and their Derivatives Used in Food Industry and Medicine. Mini Reviews in Medicinal Chemistry **17**:1194-1222.



SZÚ. 2020. Rostliny v doplňcích stravy. Státní zdravotní ústav. Available from <http://www.szu.cz/tema/bezpecnost-potravin/rostliny-v-doplncich-stravy> (accessed March 2020).

Šulc M , Kotíková Z , Paznocht L , Pivec V , Hamouz K , Lachman J . 2017. Changes in anthocyanidin levels during the maturation of color-fleshed potato (*Solanum tuberosum* L .) tubers. Food Chemistry **237**:981-988.

Tang P , Giusti MM. 2018. Black Goji as a Potential Source of Natural Color in a Wide pH Range. Food Chemistry **269**:419-426.

Terahara N . 2015. Flavonoids in Foods: A Review. Natural Product Communication **10**:521-528.

Tungmunnithum D , Thongboonyou A , Pholboon A , Yangsabai A . 2018. Flavonoids and Other Phenolic Compounds from Medicinal Plants for Pharmaceutical and Medical Aspects: An Overview. Medicines (e30093) DOI: 10.3390/medicines5030093.

Vachirapatama N , Mahajaroensiri J , Visessanguan W . 2008. Identification and Determination of Seven Synthetic Dyes in Foodstuffs and Soft Drinks on Monolithic C18 Column by High Performance Liquid Chromatography. Journal of Food and Drug Analysis **16**:77-82.

Vanek T , Kohli A . 2020. Biochemistry, Myoglobin. StatPearls Publishing. Available from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK544256/> (accessed april 2020).

Velíšek J , Hajšlová J . 2009. Chemie potravin II. Osis, Tábor.

Viera I , Pérez-Gálvez A , Roca M . 2019. Green Natural Colorants. Molecules (e154) DOI: 10.3390/molecules24010154.

Vollmannová A , et al. 2018. Chémia potravín. Slovenská poľnodospodárska univerzita v Nitre, Nitra.

Vrkoslavová J , Winklerová D . 2012. ěčka – noční můra mnohých z nás. Státní zdravotní ústav. Available from <http://www.szu.cz/uploads/documents/czpz/vyziva/legislativa/ecka-nocni-mura.pdf> (accessed March 2020).

Vucinic DS, Minic S , Nikolic MR, Velickovic TC. 2018. Spirulina Phycobiliproteins as Food Components and Complements. Pages 131-133 in Lopes EJ, Zepka LQ, Queiroz MI, editors. Microalgal Biotechnology. IntechOpen, London.

Weigl M , Kandelbauer A , Hansmann Ch, Pöckl J , Müller U , Grabner M . 2009. Application of Natural Dyes in the Coloration of Wood. Pages 277-308 in Bechtold T , Mussak R , editors. Handbook of Natural Colorants. John & Sons, Wiltshire.

Weston LA, Mathesius U . 2013. Flavonoids: Their Structure, Biosynthesis and Role in the Rhizosphere, Including Allelopathy. Journal of Chemical Ecology **39**:283-297.

Wiesner M , Hanschen FS, Maul R , Neugart S , Schreiner M , Baldermann S . 2017. Nutritional Quality of Plants for Food and Fodder. Encyclopedia of Applied Plant Sciences **1**:285-291.

Zhu B , Qi F , Wu J , Yin G , Hua J , Zhang Q , Qin L . 2019. Red Yeast Rice: A Systematic Review of the Traditional Uses, Chemistry, Pharmacology, and Quality Control of an Important Chinese Folk Medicine. *Front Pharmacol* (e01449) DOI: 10.3389/fphar.2019.01449.

Ziarani GM, Moradi R , Lashgari N , Kruger HG. 2018. *Metal-Free Synthetic Organic Dyes*. Elsevier, Amsterdam.

## 6 Seznam tabulek a obrázků

**Tab. 1:** Seznam potravinářských barviv povolených v ČR

**Tab. 2:** Obsahy  $\beta$ -karotenu v různých plodinách

**Tab. 3:** Obsahy lykopenu v různých plodinách

**Tab. 4:** Obsahy luteinu a zeaxanthinu v různých plodinách

**Obr. 1:** Základní struktura porfyrinových barviv

<https://web.vscht.cz/~dolezala/CHPP/11%20Senzoricky%20aktivn%c3%ad%201%c3%a1tky%20barevn%c3%a9.pdf>

**Obr. 2:** Základní struktura bilinových barviv

<https://web.vscht.cz/~dolezala/CHPP/11%20Senzoricky%20aktivn%c3%ad%201%c3%a1tky%20barevn%c3%a9.pdf>

**Obr. 3:** Protoporfyrin IX

[https://en.wikipedia.org/wiki/Protoporphyrin\\_IX#/media/File:PPIXtransH.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Protoporphyrin_IX#/media/File:PPIXtransH.png)

**Obr. 4:** HEM

<https://www.wikiskripta.eu/w/Hem#/media/File:Heme.svg>

**Obr. 5:** Chlorofyl a

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chlorophyll\\_a\\_structure.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chlorophyll_a_structure.svg)

**Obr. 6:** Chlorofyl b

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chlorophyll\\_b\\_structure.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chlorophyll_b_structure.svg)

**Obr. 7:** Fykoerythrobilin

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=phycoerythrobilin&title=Special%3ASearch&go=Go&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Phycoerythrobilin2.svg>

**Obr. 8:** Fykokyanobilin

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=phycocyanobilin&title=Special%3ASearch&go=Go&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Phycocyanobilin2.svg>

**Obr. 9:** Základní struktura betalainů

<https://web.vscht.cz/~dolezala/CHPP/11%20Senzoricky%20aktivn%c3%ad%201%c3%a1tky%20barevn%c3%a9.pdf>

**Obr. 10:** Betanin

<https://cs.wikipedia.org/wiki/Betanin#/media/Soubor:Betanin.svg>

**Obr. 11:** Vulgaxanthin I, R = NH<sub>2</sub>; Vulgaxanthin II, R = OH

<https://web.vscht.cz/~dolezala/CHPP/11%20Senzoricky%20aktivn%c3%ad%201%c3%a1tky%20barevn%c3%a9.pdf>

**Obr. 12:** 2H-chromen

<https://en.wikipedia.org/wiki/Benzopyran#/media/File:2H-Chromen.svg>

**Obr. 13:** Flavan

[https://en.wikipedia.org/wiki/Flavan#/media/File:Flavan\\_acsv.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Flavan#/media/File:Flavan_acsv.svg)

**Obr. 14:** Obecná struktura hlavních flavonoidních látek

<https://en.wikipedia.org/wiki/Flavan-3-ol#/media/File:Flavan-3-ol.svg>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Leucoanthocyanidin#/media/File:Flavan-3,4-diol.svg>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Flavanonol#/media/File:Flavanonol\\_num.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Flavanonol#/media/File:Flavanonol_num.svg)

<https://en.wikipedia.org/wiki/3-Hydroxyflavone#/media/File:Flavonol.svg>

[https://www.chemsrc.com/en/cas/487-26-3\\_587090.html](https://www.chemsrc.com/en/cas/487-26-3_587090.html)

[https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=flavone&title=Special%3ASearch&go=Go&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Flavone\\_acsv.svg](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=flavone&title=Special%3ASearch&go=Go&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Flavone_acsv.svg)

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Anthocyanidine>

**Obr. 15:** Kyanidin

[https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=cyanidin&title=Special%3ASearch&go=Go&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Cyanidin\\_structure.png](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=cyanidin&title=Special%3ASearch&go=Go&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Cyanidin_structure.png)

**Obr. 16:** Pelargonidin

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?sort=relevance&search=pelargonidin&title=Special:Search&profile=advanced&fulltext=1&advancedSearch-current=%7B%7D&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Pelargonidin.png>

**Obr. 17:** Peonidin

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?sort=relevance&search=peonidin&title=Special:Search&profile=advanced&fulltext=1&advancedSearch-current=%7B%7D&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Peonidin.png>

**Obr. 18:** Delfinidin

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?sort=relevance&search=delphinidin&title=Special:Search&profile=advanced&fulltext=1&advancedSearch-current=%7B%7D&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Delphinidin.svg>

**Obr. 19:** Petunidin

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?sort=relevance&search=petunidin&title=Special:Search&profile=advanced&fulltext=1&advancedSearch-current=%7B%7D&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Petunidin.svg>

**Obr. 20:** Malvidin

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?sort=relevance&search=malvidin&title=Special:Search&profile=advanced&fulltext=1&advancedSearch-current=%7B%7D&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Malvidin.png>

**Obr. 21:** Benzo-1,4 -chinon

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=benzoquinone&title=Special%3ASearch&go=Go&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:P-Benzoquinone.png>

**Obr. 22:** Nafto-1,4 -chinon

<https://en.wikipedia.org/wiki/1,4-Naphthoquinone>

**Obr. 23:** Anthra-9,10 -chinon

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=anthraquinones&title=Special%3ASearch>

h&go=Go&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Anthraquinone\_structure.png

**Obr. 24:** β -karoten

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?sort=relevance&search=beta+carotene&title=Special:Search&profile=advanced&fulltext=1&advancedSearch-current=%7B%7D&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Beta-carotene.png>

**Obr. 25:** Lykopen

<https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Lycopene#/media/File:Lycopin.svg>

**Obr. 26:** Lutein

[https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Lutein#/media/File:Luteine\\_-\\_Lutein.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Lutein#/media/File:Luteine_-_Lutein.svg)

**Obr. 27:** Zeaxanthin

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=zeaxanthin&title=Special%3ASearch&go=Go&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Zeaxanthin.png>

**Obr. 28:** Červená Allura AC (E129)

[https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=allura+red&title=Special%3ASearch&go=Go&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Allura\\_Red\\_AC.png](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=allura+red&title=Special%3ASearch&go=Go&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Allura_Red_AC.png)

**Obr. 29:** Amarant (E123)

[https://commons.wikimedia.org/w/index.php?sort=relevance&search=amaranth+dye&title=Special:Search&profile=advanced&fulltext=1&advancedSearch-current=%7B%7D&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Amaranth\\_Na-Salz.svg](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?sort=relevance&search=amaranth+dye&title=Special:Search&profile=advanced&fulltext=1&advancedSearch-current=%7B%7D&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Amaranth_Na-Salz.svg)

**Obr. 30:** Azorubin (E122)

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?sort=relevance&search=azorubine&title=Special:Search&profile=advanced&fulltext=1&advancedSearch-current=%7B%7D&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Azorubine.png>

**Obr. 31:** Černá BN (E151)

[https://commons.wikimedia.org/w/index.php?sort=relevance&search=brilliant+black+bn&title=Special:Search&profile=advanced&fulltext=1&advancedSearch-current=%7B%7D&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Brilliant\\_schwarz\\_BN.svg](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?sort=relevance&search=brilliant+black+bn&title=Special:Search&profile=advanced&fulltext=1&advancedSearch-current=%7B%7D&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Brilliant_schwarz_BN.svg)

**Obr. 32:** Hněd' HT (E155)

[https://commons.wikimedia.org/w/index.php?sort=relevance&search=brown+ht&title=Special:Search&profile=advanced&fulltext=1&advancedSearch-current=%7B%7D&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Brown\\_HT\\_structure.png](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?sort=relevance&search=brown+ht&title=Special:Search&profile=advanced&fulltext=1&advancedSearch-current=%7B%7D&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Brown_HT_structure.png)

**Obr. 33:** Ponceau 4R (E124)

[https://commons.wikimedia.org/w/index.php?sort=relevance&search=ponceau+4r&title=Special:Search&profile=advanced&fulltext=1&advancedSearch-current=%7B%7D&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Ponceau\\_4R.svg](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?sort=relevance&search=ponceau+4r&title=Special:Search&profile=advanced&fulltext=1&advancedSearch-current=%7B%7D&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Ponceau_4R.svg)

**Obr. 34:** Červeň 2G (E128)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Red\\_2G#/media/File:Red\\_2G\\_structure.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Red_2G#/media/File:Red_2G_structure.svg)

**Obr. 35:** Žlut' SY (E110)

[https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDlu%C5%A5\\_SY#/media/Soubor:FD&C\\_Yellow\\_6.svg](https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDlu%C5%A5_SY#/media/Soubor:FD&C_Yellow_6.svg)

**Obr. 36:** Tartrazin (E102)

<https://cs.wikipedia.org/wiki/Tartrazin#/media/Soubor:Tartrazine.svg>

**Obr. 37:** Brilantní modř (E133)

[https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Brilliant\\_Blue\\_FCF#/media/File:Alphazurine\\_FG.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Brilliant_Blue_FCF#/media/File:Alphazurine_FG.svg)

**Obr. 38:** Patentní modř V (E131)

[https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Patent\\_Blue\\_V#/media/File:Patentblau\\_V.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Patent_Blue_V#/media/File:Patentblau_V.svg)

**Obr. 39:** Chinolinová žlut' (E104)

[https://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Quinoline\\_Yellow\\_WS.svg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Quinoline_Yellow_WS.svg)

**Obr. 40:** Erythrosin (E127)

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?sort=relevance&search=erythrosine&title=Special:Search&profile=advanced&fulltext=1&advancedSearch-current=%7B%7D&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Erythrosine.svg>

**Obr. 41:** Indigotin (E132)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Indigo\\_carmine#/media/File:Indigo\\_carmine.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Indigo_carmine#/media/File:Indigo_carmine.svg)