

# Astaxantin - jeho zdroje a využití

Pavla Babicová

---

Bakalářská práce  
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav technologie a mikrobiologie potravin  
akademický rok: 2009/2010

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavla BABICOVÁ**  
Osobní číslo: **T07853**  
Studijní program: **B 2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Chemie a technologie potravin**  
  
Téma práce: **Astaxantin -- jeho zdroje a využití**

Zásady pro vypracování:

- 1. Charakterizace astaxantinu - jeho vlastnosti a zdroje.**
- 2. Možnosti jeho využití.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] YAZAWA, K. Astaxanthin for beautiful skin, eye health and sharp brain. Heart Publishing Co., LTD. Tokyo 2005.

[2] LIANG, J., TIAN, Y. X., YANG, F., ZHANG, J. P., SKIBSTED, L. H. Antioxidant synergism between carotenoids in membranes. Astaxanthin as a radical transfer bridge. Food Chemistry. 2009, 115, 1437-1442.

[3] IMAMOGLU, E., DALAY, M.C., SUKAN, F.V. Influences of different stress media and high light intensities on accumulation of astaxanthin in the green alga Haematococcus pluvialis. New Biotechnology. 2009, 26, 199-204.

[4] MIAO, F., LU, D., LI, Y., ZENG, M. Characterization of astaxanthin esters in Haematococcus pluvialis by liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. Analytical Biochemistry. 2006, 352, 176-181.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Ladislava Mišurcová, Ph.D.**

Ústav technologie a mikrobiologie potravin

Datum zadání bakalářské práce:

**11. února 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**31. května 2010**

Ve Zlíně dne 15. dubna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



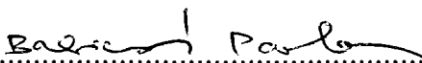
doc. Ing. Jan Hrabě, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 24.5.2010

  
.....

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je popsat karotenoidové barvivo astaxantin a jeho využití. Jsou v ní podány informace o zdrojích tohoto barviva a o možnostech jeho získávání z těchto zdrojů. Tato práce je zaměřena na silné antioxidační vlastnosti astaxantinu. Taktéž se zabývá možnostmi jeho využití v oblastech potravinářství, kosmetiky a farmacie.

Klíčová slova: karotenoidy, astaxantin, *Haemacoccus pluvialis*, *Xanthophyllomyces dendrorhous*, *Agrobacterium aurantiacum*, antioxidant, aktivní kyslík

## **ABSTRACT**

This bachelor work deals with carotenoid pigment astaxanthin and its usage. There are described information about sources of this pigment and about abilities of gaining from this sources. This work is focused on strong antioxidant properties of astaxanthin. Further, the work considers of abilities of carotenoid utilization in food, cosmetic and pharmaceutical industry.

Keywords: *carotenoids*, *astaxantin*, *Haemacoccus pluvialis*, *Xanthophyllomyces dendrorhous*, *Agrobacterium aurantiacum*, antioxidants, active oxygen

Ráda bych na tomto místě poděkovala vedoucí bakalářské práce Ing. Ladislavě Mišurcové, PhD. za pomoc, cenné rady, odborné vedení a trpělivost při vypracování mé bakalářské práce.

Trojí cestou můžeme dojít k moudrosti: za první cestou přemýšlení, cestou to nejušlechtlejší; za druhé cestou napodobování, cestou to nejlehčí, a za třetí cestou zkušenosti, cestou to nejtěžší.

Konfucius

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 KAROTENOIDY</b> .....	<b>11</b>
1.1 CHARAKTERISTIKA.....	11
1.2 ROZDĚLENÍ KAROTENOIDŮ.....	11
1.2.1 Karoteny.....	12
1.2.2 Xantofyly.....	12
<b>2 ASTAXANTIN</b> .....	<b>13</b>
2.1 CHARAKTERISTIKA.....	13
<b>3 ZDROJE ASTAXANTINU</b> .....	<b>14</b>
3.1 HAEMATOCOCCUS PLUVIALIS.....	14
3.1.1 Získávání astaxantinu.....	14
3.1.2 Vliv kultivačních podmínek na růst řasy .....	16
3.2 XANTHOPHYLLOMYCES DENDRORHOUS.....	18
3.2.1 Získávání astaxantinu.....	18
3.3 BAKTERIE.....	21
3.3.1 <i>Agrobacterium aurantiacum</i> .....	21
<b>4 ANTIOXIDAČNÍ AKTIVITA ASTAXANTINU</b> .....	<b>22</b>
4.1 AKTIVNÍ KYSLÍK.....	22
4.1.1 Druhy aktivního kyslíku.....	23
4.1.2 Obrana proti aktivnímu kyslíku .....	23
4.2 ÚČINKY ASTAXANTINU .....	24
<i>Mozek a oči</i> .....	24
<i>Stres</i> .....	25
<i>UV záření</i> .....	26
<b>5 VYUŽITÍ ASTAXANTINU</b> .....	<b>28</b>
5.1 ASTAXANTIN V POTRAVINÁŘSTVÍ .....	28
<i>Doplňěk lidské stravy</i> .....	28
<i>Krmivo pro mořské živočichy</i> .....	29
<i>Vejce</i> .....	29
5.2 ASTAXANTIN JAKO ÚČINNÝ PŘÍPRAVEK MEDICÍNY .....	30
5.3 ASTAXANTIN, SOUČÁST KOSMETICKÝCH PŘÍPRAVKŮ .....	32
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>33</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>34</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>38</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>39</b>



## ÚVOD

Červený pigment astaxantin patří do skupiny karotenoidů, přesněji xantofylů. Tato skupina je schopna vázat molekulu kyslíku na rozdíl od karotenů, které ve své struktuře molekulu kyslíku nemají. Mezi nejznámější zástupce karotenoidů patří  $\beta$ -karoten, lutein, kryptoxantin a astaxantin.

Astaxantin se dá v přírodě nalézt v rozmanitém množství živých organismů, které jsou díky nakumulovanému astaxantinu zbarveny oranžově až červeně. Mezi nejznámější a největší zdroje astaxantinu patří řasa *Haemacoccus pluvialis* nebo kvasinka *Xanthophylomyces dendrorhous*.

Z těchto zdrojů se dá tento červený pigment vyextrahovat pomocí vysokého tlaku nebo metodou fermentace neboli kvašení. Získané množství je závislé na podmínkách prostředí. A to například na množství dusíku, chloridových iontů, teplotě, pH nebo velikosti nádrže, kde probíhá kvašení, popřípadě na složení fermentačního média.

Astaxantin má široké využití v různých průmyslových odvětvích. Mezi jeho nejvýznamnější vlastnosti patří antioxidační schopnost. Je schopen zabraňovat oxidaci aktivního kyslíku, který působí v lidském těle i těle živočichů negativně.

Astaxantin lze nalézt v tělech mořských živočichů, jako jsou krabi, krevety, langusty nebo lososi. Jejich maso je zbarveno oranžově až červeně podle množství astaxantinu, který je navázán. Kvůli výraznější barvě je do jejich stravy přidáván v podobě planktonu, který obsahuje řasu *Haemacoccus pluvialis*.

Astaxantin je taktéž přidáván do krmiva drůbeže, neboť tento pigment je schopen se navázat na vaječný žloutek a zbarvit ho do oranžova.

Do lidské stravy je přidáván pomocí různých potravinových doplňků, nejčastěji jako tablety. Tyto kapsle mají pozitivní vliv na funkci mozku, nervů, zlepšují zrak. Mezi jejich další významné vlastnosti patří ochrana proti kardiovaskulárním onemocněním, zlepšení funkce svalů.

Díky schopnosti zabraňovat stárnutí buněk je astaxantin přidáván do kosmetických krémů, které zabraňují tvorbě vrásek a obnovují svěžest pleti. Taktéž ho lze nalézt v různých opalovacích krémech, kde zabraňuje negativním účinkům UV záření oxidovat buňky.

V posledních letech je slovo astaxantin často skloňováno, a to díky těmto vlastnostem, které mají pozitivní vliv na pokožku i zdraví člověka.

Tato bakalářská práce je zaměřena také na možnosti získávání astaxantinu z přírodních zdrojů. A na jeho využití v oblastech farmacie, kosmetiky nebo potravinářství.

# 1 KAROTENOIDY

## 1.1 Charakteristika

Karotenoidy patří mezi skupinu oranžových, žlutých, červených nebo fialových barviv. Karotenoidy neboli organické pigmenty se přirozeně vyskytují v chloroplastech a chromoplastech rostlin a některých dalších fotosyntetizujících organismů, jako jsou řasy, některé druhy plísní a některé bakterie. Karotenoidy patří z chemického hlediska mezi skupinu tetraterpenoidů, jedná se tedy o oligomery isoprenu.

Vyznačují se pouze několika variantami uhlíkového skeletu. Řetězec je buď čistě alifatický, nebo je zakončen jedním či dvěma cykly, pětičlenným či šestičlenným. Je umožněna isomerie cis-trans, a to díky dvojným vazbám.

V kyselém prostředí podléhají karotenoidy isomerii. Při zahřívání kyselých roztoků dochází k ustanovení rovnováhy mezi jednotlivými karotenoidy, což je způsobeno typem příslušného karotenoidu, dobou působení zvýšené teploty a hodnotou pH.

Díky působení kyslíku dochází k oxidaci, jinak jsou karotenoidy velmi stálé. Velmi dobře jsou rozpustné v benzenu, chloroformu, sirouhlíku. A naopak nerozpustné ve vodě, solích a kyselinách. [1]

Karotenoidy se podílejí na přenosech energie při fotosyntéze. Mají též ochranný účinek proti působení UV záření. Živočichové je neumí syntetizovat a musí je přijímat z rostlinné říše, některé z nich (zejména  $\beta$ -karoteny) působí jako provitaminy (prekursory vitamínu A). [2]

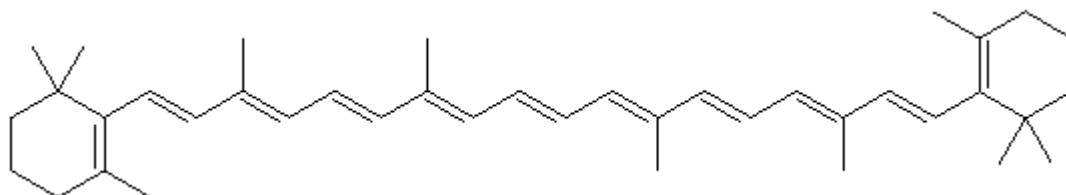
Užívají se k přibarvování tukové složky potravin. Jejich stanovení probíhá nejčastěji spektrofotometricky při vlnové délce 450 nm.

## 1.2 Rozdělení karotenoidů

Karotenoidy lze rozdělit do dvou tříd, a to podle toho jestli obsahují molekulu kyslíku. Bezokyslíkaté uhlovodíky se nazývají karoteny, kyslíkaté sloučeniny jsou známy jako xantofyly.

### 1.2.1 Karoteny

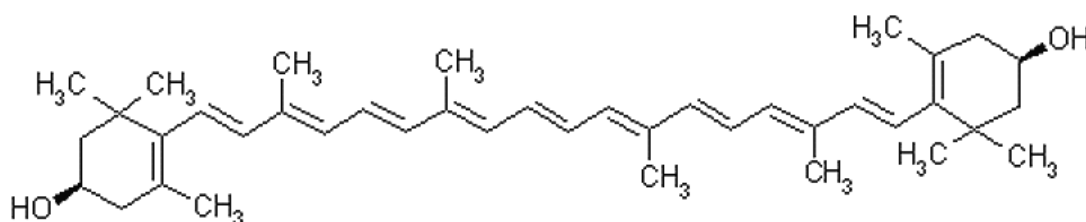
Karoteny  $\alpha$ ,  $\beta$  a  $\gamma$  se liší strukturním uspořádáním konců polyenového řetězce. Nejhojněji je zastoupen  $\beta$ -karoten, který se dnes vyrábí ve velkém měřítku synteticky. Užívá se jako barvivo, potravinářské aditivum a součást farmaceutických a kosmetických přípravků. Za výzkum karotenoidů a vitamínu A získali P. Karrer (roku 1937) a R. Kuhn (roku 1938) Nobelovu cenu. [3]



Obr. 1.  $\beta$ -karoten [4]

### 1.2.2 Xantofyly

Mezi xantofyly z chemického hlediska patří karotenoidní alkoholy, epoxidy, ketony nebo kyseliny, vyznačující se rozpustností v etanolu a nerozpustností v petroletheru. Mezi nejznámější xantofyly patří lutein neboli  $\beta$ -xanthofyl nebo kryptoxanhin, který je hlavním pigmentem kukuřice nebo papriky a také astaxantin, který je znám svými antioxidačními vlastnostmi. [5]



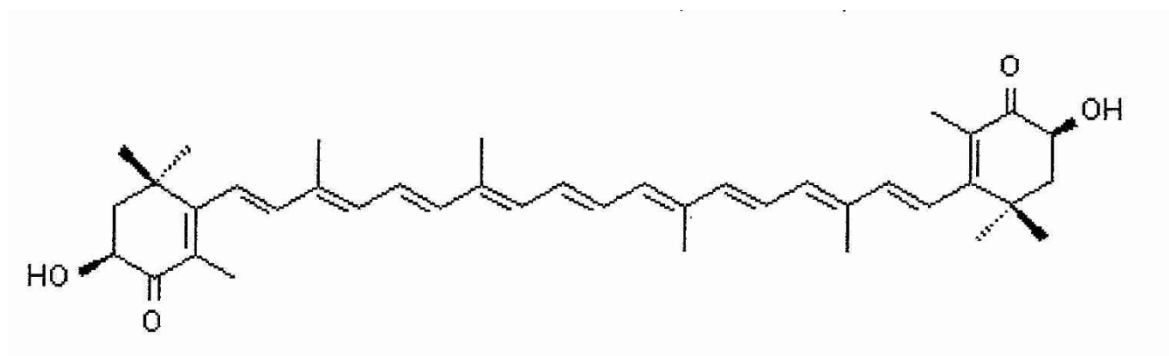
Obr. 2. Lutein [6]

## 2 ASTAXANTIN

### 2.1 Charakteristika

Astaxantin neboli červený pigment patří z chemického hlediska mezi skupinu karotenoidů, které jsou produkovány rostlinami a mikrořasami. V přírodě se dá nalézt ve velkém množství organismů. Mnoho ryb a korýšů je zbarveno červeně díky nakumulovanému astaxantinu, losos, humr nebo krab jsou toho příkladem. Tento pigment je často přidáván do jejich stravy, aby se dosáhlo správného zbarvení. A taktéž proto, že tento pigment není přítomen v dostatečném množství v přirozené stravě a je velice důležitý pro jejich přežití a správný vývoj. V současné době je největším producentem tohoto pigmentu řasa *Haematococcus pluvialis*. Na kilogram suché biomasy se uvádí obsah až 40 g astaxantinu. Dále se dá získat fermentací kvasinek *Xanthophyllomyces dendrorhous*, nebo taktéž extrakcí z antarktických korýšů *Euphausia superba*. [7]

V současné době je astaxantin využíván pro jeho velmi silné antioxidační účinky. Výzkumy ukazují, že může být velmi prospěšný při různých imunitních, kardiovaskulárních nebo zánětlivých onemocněních. Předpokládá se, že chrání různé tkáně od oxidačních procesů. Taktéž přispívá ke zmírnění oxidačního stresu, který způsobuje zelený zákal nebo Alzheimerovu chorobu. Astaxantin má 200-500 krát větší antioxidační schopnosti oproti vitamínu E a až 10 krát větší antioxidační schopnosti oproti beta-karotenu. Podle některých studií bylo dokázáno, že je silnější antioxidant než lutein, lykopen nebo tokotrienoly. [8]

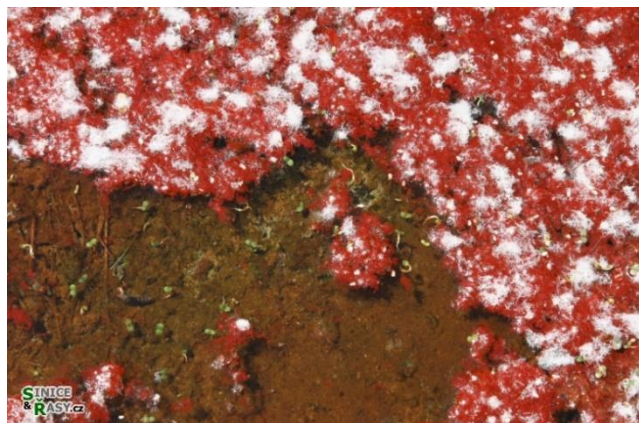


Obr. 3. Astaxantin [9]

### 3 ZDROJE ASTAXANTINU

#### 3.1 Haematococcus pluvialis

Nejvýznamnějším a největším producentem astaxantinu je v dnešní době řasa *Haematococcus pluvialis*.



Obr. 4. *Haematococcus pluvialis* [10]

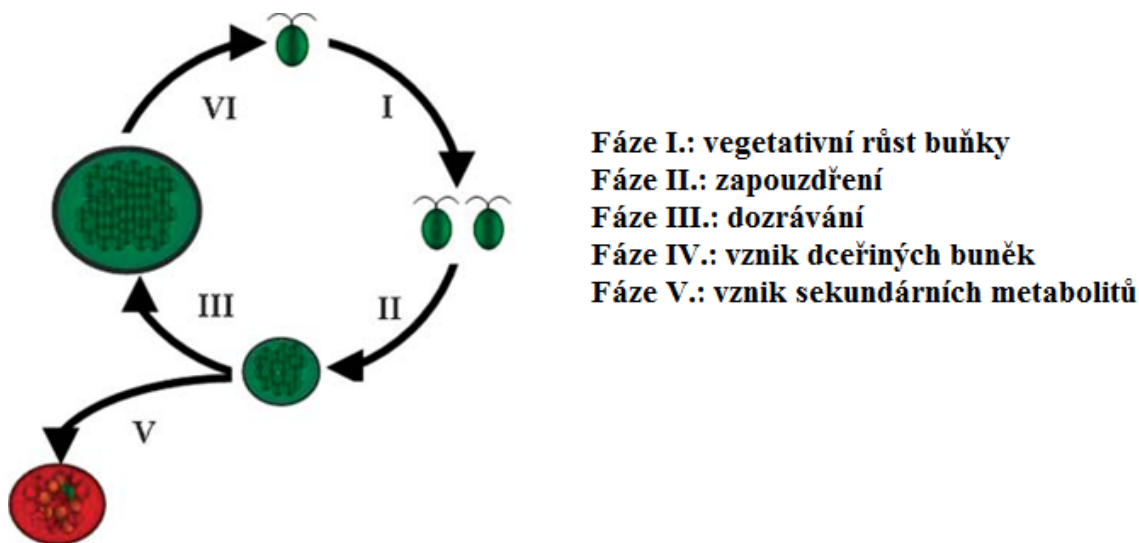
Patří do oddělení *Chlorophyta*, třídy *Chlorophyceae*. Tento bičíkovec je znám dvěma stejně dlouhými bičíky, kapkovitým tvarem těla a velikostí do 60  $\mu\text{m}$ . [11] Tento druh je znám pro své intenzivní červené zbarvení způsobené obsahem karotenoidů v buňce. Během nepříznivých podmínek vytváří spory, které jsou intenzivně červeně zbarvené a velké. [12]

Astaxantin se v řase *Haematococcus pluvialis* nachází ve třech formách: volný (5 %), jako monoester (70 %) nebo jako diester (25 %). Nejvíce se tedy astaxantin vyskytuje jako monoester. [13]

##### 3.1.1 Získávání astaxantinu

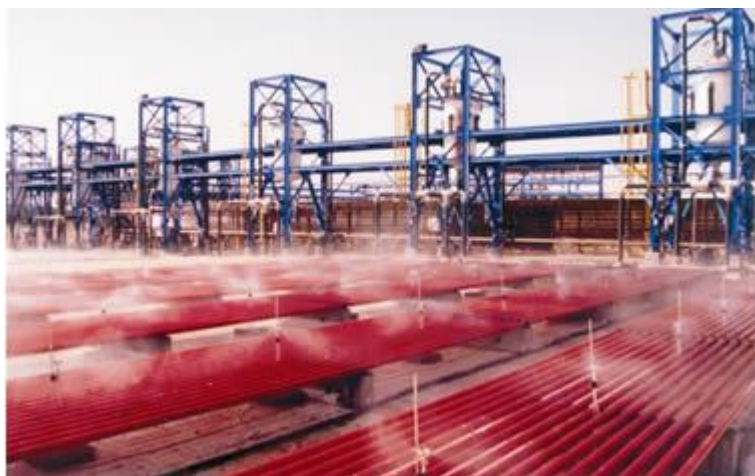
Astaxantin je významný sekundární metabolit buněčného cyklu této řasy. Buněčný cyklus řasy *Haematococcus pluvialis* lze rozdělit do čtyř hlavních fází. V první fázi má řasa pohyblivé bičíky, dochází k vegetativnímu růstu. Ve druhé fázi tyto bičíky ztrácí, buňka roste do kulovitěho tvaru. Ve třetí fázi buňka dozrává, stále zvětšuje svůj objem. Ve čtvrté fázi buňka dozrává a dochází ke vzniku buněk dceřiných. Pokud jsou podmínky pro dělení nepříznivé, na rozhraní třetí fáze dochází k odbočení z buněčného cyklu, buňka vytvoří tlus-

tu buněčnou stěnu a následně zčervená díky nakumulovanému astaxantinu. Tento jev je způsoben různými formami stresu.



Obr. 5. Fáze růstu řasy *Haematococcus pluvialis* [14]

K výrobě astaxantinu jsou využívány řasy, které jsou kultivovány ve venkovních fotobioreaktorech, které mají kapacitu až 25 000 litrů. Kultivace probíhá po pět dnů, poté jsou řasy přeneseny do nádrže, kde je astaxantin extrahován z řasové biomasy pomocí velkého tlaku. Při extrakci jsou živé řasy zničeny, což je velmi časově náročné pro nárůst nové řasové biomasy a následnou extrakci astaxantinu. V dnešní době se vědci snaží vymyslet způsob, jak extrahovat co největší množství astaxantinu z řas, aniž by byly živé řasy zničeny. [14]



Obr. 6. Fotobioreaktor [15]

Syntéza astaxantinu je zvýšena například vlivem intenzivního osvětlení, teploty, obsahem solí. Obsah astaxantinu v řase *Haemacoccus pluvialis* je nejvyšší ze všech zdrojů, kde se astaxantin nachází, tudíž je řasa *Haemacoccus pluvialis* používána jako primární zdroj astaxantinu. Ovšem je velmi obtížné srovnávat tuto produkci astaxantinu za různých podmínek a množství. [16]

### 3.1.2 Vliv kultivačních podmínek na růst řasy

Růst řasy *Haemacoccus pluvialis* může být ovlivněn různými faktory.

#### ***Koncentrace dusíku, fosforu***

Bylo prokázáno, že vysoký poměr uhlíku k dusíku podporuje vznik karotenů v této řase. Za nižší koncentrace dusíku je růst řas omezen a zvyšuje se úroveň astaxantinu v buňkách. Za těchto podmínek množství všech karotenoidů, z nichž 95 % tvoří astaxantin, dosahuje více než 300 pg. Tohoto množství je dosaženo po 30-ti denní kultivaci.

Bylo taktéž prokázáno, že nízká koncentrace dusíku podporuje vznik červených buněk s vysokým obsahem astaxantinu. Hlavní faktory vedoucími k vysokému nahromadění tohoto karotenu je nejen nízká koncentrace dusíku, ale také nízká koncentrace fosforu. Optimální koncentrace dusíku pro zvýšení koncentrace karotenů je mezi 0,5 – 1,0 g/l a koncentrace fosforu přibližně 0,1 g/l.

#### ***Ionty kovů***

Médium obohacené o ionty  $Fe^{2+}$  a  $Mn^{2+}$  mají za následek zastavení růstu buňky, morfoloické změny buňky a opětovné nahromadění astaxantinu. Růst buňky za nízké účasti železných iontů má za následek nízký stimulační efekt na nárůst astaxantinu. Pokud dojde k nahromadění iontů železa, množství astaxantinu dosahuje přibližně 50 pg na buňku během 30-ti denní kultivace.

#### ***Hydroxylové radikály***

Taktéž hydroxylové radikály mohou zahájit buněčný proces syntézy astaxantinu. Bylo zjištěno, že zvýšená tvorba astaxantinu způsobená přidáním iontů  $Fe^{2+}$ , způsobuje vznik radikálů  $OH\cdot$ . Pokud ovšem dojde k přidání jodidu draselného, který s tímto radikálem  $OH\cdot$  reaguje, opět dochází k potlačení syntézy astaxantinu.



### ***Kyslíkaté sloučeniny***

Jiné kyslíkaté aktivní sloučeniny včetně  $O_2$ ,  $H_2O_2$ , peroxidových radikálů a radikálů superoxidů taktéž stimulují hromadění astaxantinu v této řase. Největší podíl astaxantinu v těchto buňkách je shodný pro různé kyslíkaté zdroje. Obsah karotenu může dosáhnout až 600 pg na jednu buňku. Zvýšení množství astaxantinu vlivem kyslíkatých sloučenin je zastavován pomocí antibiotik aktinomycinu D nebo cycloheximide, ovšem růst není ovlivňován stejnými inhibitory po vytvoření cysty. Z čehož vyplývá, že buňky patrně potřebují kyslíkaté sloučeniny pro posttranslační aktivaci syntézy karotenoidů v cystách buněk.

### ***Obsah chloridových iontů***

Byl zkoumán také vliv koncentrace NaCl v prostředí na tvorbu astaxantinu. Koncentrace NaCl vyšší než 1% může být pro *Haematococcus pluvialis* smrtelná. Bylo prokázáno, že vystavení buňky koncentraci 0,8 % NaCl vedlo k zastavení jejího růstu a nahromadění astaxantinu. Optimální koncentrace NaCl pro tvorbu karotenů je 0,2 %. Při této koncentraci bylo získáno více než 3 % astaxantinu v suché biomase a 18 mg/l kultury. Vyšší obsah NaCl než 0,2 % má za následek snížení koncentrace astaxantinu. Výsledky ukazují, že koncentrace pro syntézu karotenů je přibližně 25-30 mM, což odpovídá přibližně 0,2 % obsahu NaCl. Avšak největší množství astaxantinu (500 pg/buňku) bylo získáno při obsahu 100 mM, což odpovídá 0,58 % obsahu NaCl, avšak tato koncentrace byla doprovázena větší úmrtností buněk.

Přidání KCl ke kultuře řas dokonce v nejmenších koncentracích vyústilo v relativně velkou úmrtnost buněk, ale obsah astaxantinu po 30-ti denní kultivace dosáhl hodnoty 350 pg na buňku.

### ***Teplota a pH***

Optimální teplota růstu řasy je velmi nízká. *Haematococcus pluvialis* nejlépe roste při teplotě kolem 15 °C. Při 25 °C je růst řasy zastaven a při 35 °C řasa odumírá.

Optimální hodnota pH pro růst buněk *haemacoccus pluvialis* je 6. Při pH 7,5 dochází k největšímu formování červených buněk obsahujících astaxantin.

V dnešní době je *Haematococcus pluvialis* jedním z největších zdrojů astaxantinu. Tato řasa může nakumulovat v biomase 6-8 % tohoto karotenu. V současné době jsou zkoumány fyzikální a ekologické faktory pro růst červených buněk obsahujících astaxantin. Výzkum je zaměřen především na možnosti využití tohoto karotenoidového barviva. [17]

## 3.2 Xanthophyllomyces dendrorhous

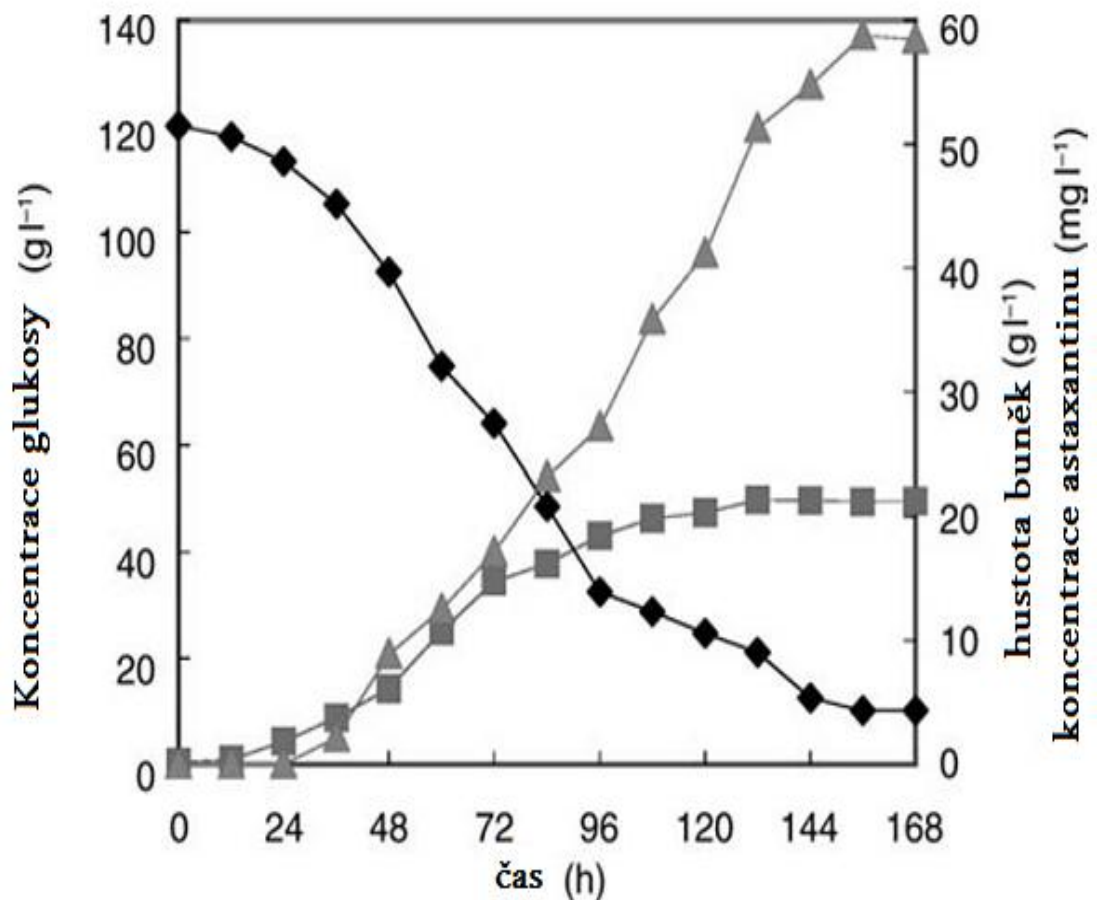
Červená kvasinka *Xanthophyllomyces dendrorhous*, dříve známá pod pojmem *Phaffia rhodozyma*, je považována za perspektivní komerční zdroj astaxantinu. Z těchto kvasinek se astaxantin získává metodou fermentace. [18] Nicméně komerčnímu využití *Xanthophyllomyces dendrorhous* pro výrobu astaxantinu metodou fermentace pořád brání nízká produktivita ve srovnání s jinými biologickými a chemickými procesy. [19]



Obr. 7. *Xanthophyllomyces dendrorhous* [20]

### 3.2.1 Získávání astaxantinu

Astaxantin se z této kvasinky dá získat metodou fermentace. Kvašení je v laboratorních podmínkách prováděno ve fermentoru, což je nádrž, která je mechanicky míchána. Tato nádrž má celkový objem 50 l, má 3 oběžná kola a na každém kole se nachází 6 čepelí upevněných na disku turbíny. Voda čerpaná dovnitř fermentoru podléhá kontrole teploty. Inokulum je přeneseno do 500 ml baňky obsahující 50 ml fermentačního média. Fermentační médium je složeno ze 120 g glukosy, 8 g kvasničného extraktu a 2 g peptonu na litr. Poté jsou baňky uchovávány po 48 hodin na rotační třepačce (200 otáček/min.) při teplotě 20 °C. Poté je inokulum naočkováno do fermentoru s pracovním objemem 35 l. Teplota, pH, množství rozpuštěného kyslíku a rychlost míchání je sledováno během celého procesu fermentace v 12 hodinových intervalech.



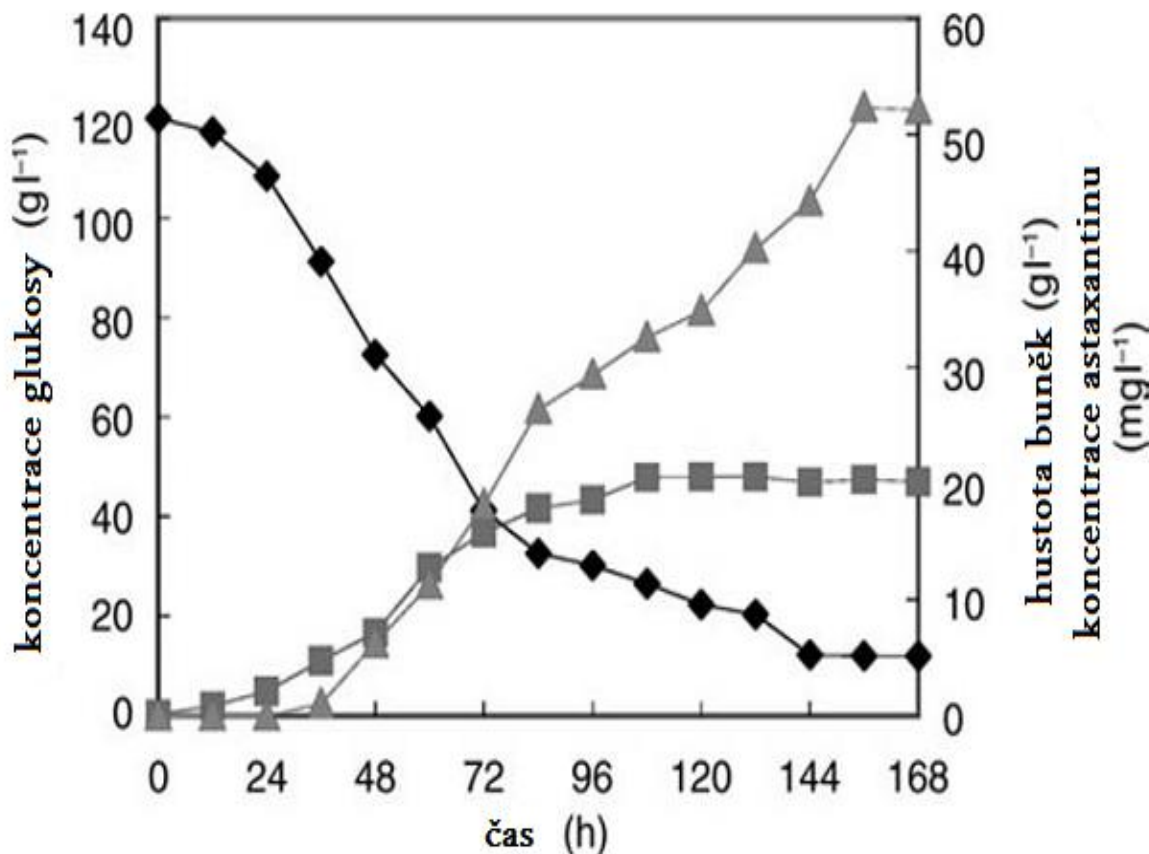
Obr. 8. Časový průběh získávání astaxantinu v 50 l nádrži [21]

(▲ - astaxantin, ◆ – glukosa, ■ – hustota buňky)

Při procesu fermentace dochází ke spotřebě glukosy, jejíž koncentrace se během sledovaného období (198 hodin) snížila z hodnoty 120 g.l<sup>-1</sup> na 4,5 g.l<sup>-1</sup>. Současně dochází k postupnému zvyšování koncentrace astaxantinu. Maximální hustoty buněk bylo dosaženo za 132 hodin a tato hustota byla 21,33 g.l<sup>-1</sup>, zatímco maximální koncentrace astaxantinu bylo dosaženo za 156 hodin a tato koncentrace byla 58,78 mg.l<sup>-1</sup>.

Kvašení v nádrži o objemu 10 m<sup>3</sup> probíhá podobným mechanismem, s tím rozdílem, že fermentační médium je složeno ze 120 g glukosy, 8 g kvasničného extraktu, 8 g (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0,1 g MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 0,3 g KNO<sub>3</sub>, 0,5 g K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> a 0,1 ml polyethylenglykolu na litr. Polyethylenglykol je přidán jako odpěňovač. Kvašení fermentačního média probíhá v autoklávu při teplotě 121 °C po dobu 30 minut. Po 48 hodinách je inokulum převedeno do fermentoru o objemu 13 m<sup>3</sup> o pracovním objemu 10 m<sup>3</sup>. Teplota, pH, rychlost míchání

a množství rozpuštěného kyslíku je opět sledováno. Průběh kvašení je kontrolován po 12 hodinových intervalech. Každý vzorek je podroben zkoušce na sterilitu, obsah redukujících cukrů, hustotu buněk a koncentraci astaxantinu.



Obr. 9. Časový průběh získávání astaxantinu v nádrži o objemu 10 m<sup>3</sup> [21]

( ▲ - astaxantin, ◆ – glukosa, ■ – hustota buňky)

Výsledky produkce astaxantinu jsou znázorněny na obr. 9. Maximální koncentrace astaxantinu 52,32 mg.l<sup>-1</sup> bylo dosaženo po 156 hodinové kultivaci, což je o 11 % nižší hodnota oproti získávání astaxantinu z 50 l nádrže (obr.8). Maximální hustota buněk byla 20,58 g.l<sup>-1</sup>, a i tato hodnota je nižší než při procesu fermentace v 50 l nádrži, a to o 3,5 %. [21]

### 3.3 Bakterie

#### 3.3.1 *Agrobacterium aurantiacum*

Mezi méně významné zdroje astaxantinu patří i bakterie *Agrobacterium aurantiacum*, která se nachází v moři v oblasti Okinawa v Japonsku. Z této bakterie byla izolována skupina genů, která je zapojena do biosyntézy astaxantinu. [22]



Obr. 10. *Agrobacterium* [23]

## 4 ANTIOXIDAČNÍ AKTIVITA ASTAXANTINU

Astaxantin patří mezi karotenoidy, které jsou po celém světě známy pro své účinky antioxidantů. Tyto sloučeniny eliminují škodlivý kyslík známý jako aktivní kyslík.

### 4.1 Aktivní kyslík

Aktivní kyslík, extrémně škodlivá forma kyslíku je charakterizována vlastností napadat jiné sloučeniny a oxidovat je. Jako příklad se uvádí kuchyňský olej, který když se nechá na vzduchu a světle, začne zapáchat a je nepoživatelný. Právě tento zápach je ukazatelem oxidace mastných kyselin a vzniku senzoryicky nepříjemných látek. Podobný proces oxidace může probíhat i v lidském těle. Volné kyslíkové radikály vznikají v lidském těle při metabolismu lipidů a sacharidů. Ke vzniku velkého množství aktivního kyslíku taktéž dochází, pokud lidské tělo odstraňuje cizí sloučeniny, včetně infekcí nebo virů, které napadly lidské tělo zvenčí. A v neposlední řadě taktéž ultrafialové záření, stres, chemické sloučeniny, potravinové aditiva nebo jiné faktory mohou vyvolat vznik tohoto kyslíku. Lidské tělo si vyvinulo schopnost eliminovat tento kyslík, což zahrnuje schopnost produkce enzymu SOD (superoxiddismutasa), katalasy nebo glutathionperoxidasy. S přibývajícím věkem však množství těchto enzymů ubývá.

Pokud dojde ke vzniku aktivního kyslíku v lidském těle, lehce napadnutelné jsou membrány. Většina buněčných membrán je složena především z lipidů nebo tuků, které jsou snadno oxidovatelné. Navíc zoxidované buněčné membrány jsou transformovány na lipoperoxidy, jiné škodlivé sloučeniny, které budou řetězovou reakcí oxidovat i okolí buněčných membrán. Tato forma hromadění aktivního kyslíku má za následek urychlené stárnutí buněk a různé nemoci. Taktéž pokud aktivní kyslík napadne DNA v buňkách přímo, hrozí nebezpečí vzniku rakoviny.

V důsledku toho, antioxidanty, které mohou být užitečné pro eliminaci aktivního kyslíku, vzbudily v posledních letech velkou pozornost. Kromě karotenů je pro své účinky antioxidantů znám i vitamin E. Uvádí se, že antioxidační aktivita astaxantinu převyšuje antioxidační aktivitu vitaminu E až tisíckrát. Taktéž bylo zjištěno, že je astaxantin účinnější v inhibování lipoperoxidů v mitochondriích jaterních buněk. [24]

#### 4.1.1 Druhy aktivního kyslíku

##### *Superoxid*

Superoxid je radikál vznikající redukcí kyslíku. Lze ho najít v pevné, kapalné i plynné fázi. [25]

##### *Peroxid vodíku*

Peroxid vodíku je čistá, průhledná kapalina libovolně mísitelná s vodou. Kontakt s lidskou kůží vede k podráždění a zblednutí pokožky. Pokud je kůže vystavena delší dobu účinku peroxidu vodíku, může dojít ke vzniku popálenin. Peroxid vodíku poškozuje respirační ústrojí a plíce. [26]

##### *Hydroxylové radikály*

Hydroxylové radikály jsou vysoce toxickou formou aktivního kyslíku. Jsou hlavní příčinou vzniku rakoviny, chronických onemocnění nebo stárnutí.

##### *Singletový kyslík*

Singletový kyslík je také silně toxická forma aktivního kyslíku. Je produkován ve velkém množství uvnitř kůže, pokud je kůže opakovaně vystavena UV záření, navíc podporuje vznik rakoviny kůže. [24]

#### 4.1.2 Obrana proti aktivnímu kyslíku

Astaxantin je znám svým účinkem vůči singletovému kyslíku. V uměle vytvořeném prostředí byl získán singletový kyslík, na němž byla zkoumána antioxidační aktivita různých karotenů a vitamínu E vůči tomuto druhu aktivního kyslíku. Bylo dokázáno, že antioxidační aktivita astaxantinu je více než 40 krát silnější oproti beta-karotenu a více než 550 krát silnější než vitamin E. V hodnotě antioxidační aktivity astaxantinu oproti vitamínu E se studie rozcházejí, avšak názor, že účinek astaxantinu je mnohem větší oproti vitamínu E, je stejný.

Právě tato významná schopnost astaxantinu ničit singletový kyslík v buněčných membránách je často srovnávána se schopností beta-karotenu, který je schopen pracovat pouze v částech buněčných membrán, kde se nacházejí lipidy. Astaxantin existuje ve formě, která se pohybuje skrz buněčné membrány mnohem rychleji, z vodorozpustného prostředí do prostředí, které hraničí s cytoplazmou buňky. To je důvod, proč může astaxantin napadnout aktivní kyslík mnohem dříve, než ostatní antioxidanty. Pokud je aktivní kyslík díky

astaxantinu eliminován, buněčné membrány si mohou ponechat svou poddajnost a měkkost a přispívají dále k celkovému zdraví.

Pokud se v těle nachází pouze malé množství aktivního kyslíku, je beta-karoten nebo vitamin E dostačující antioxidant pro potlačení účinku kyslíku. Ovšem v dnešní moderní době je mnoho faktorů podmiňujících vznik aktivního kyslíku, tudíž oxidované formy beta-karotenu nebo vitamínu E budou rapidně vzrůstat uvnitř lidského těla, což má za následek produkci škodlivých fyzikálních efektů.

Astaxantin odstraňuje aktivní kyslík efektivněji a bezpečněji než jiné antioxidanty. Část jeho molekuly zachytí aktivní kyslík a zbaví ho jeho škodlivého účinku a navrátí ho zpět do těla a krevního oběhu. [24]

## 4.2 Účinky astaxantinu

### *Mozek a oči*

Astaxantin vykazuje pozitivní účinky na mozek a oči. Tyto orgány jsou velmi důležité pro lidský život a pro různé aktivity, pro které je nutné, aby fungovaly správně.

Vstup různých sloučenin do mozku a očí je střežen bariérami, která jsou známé jako bariéry "krev-mozek" a "sítnice-krev", sloučeniny s účinkem antioxidantů nejsou výjimkou. Dokonce ani beta-karoten se nemůže dostat přes tyto bariéry. Na druhou stranu astaxantin se přes tyto bariéry může dostat snadněji.

Váha mozku představuje pouze 2 % váhy celého těla, ale spotřebuje zhruba 20 % energie potřebné ke správné funkci lidského těla. Jak už bylo dříve popsáno, aktivní kyslík, je produkován při tvorbě energie. Což znamená, že pokud dojde ke vzniku většího množství energie, dochází taktéž ke vzniku většího množství aktivního kyslíku. Vzhledem k tomu, že polovina mozkové tkáně je tvořena lipidy, které podléhají snáze oxidaci, je velmi důležité stále přijímat antioxidanty. Lidský organismus, zvláště od středního věku, kdy úroveň enzymů, jako SOD, začíná pomalu klesat, je citlivější na působení aktivního kyslíku. Kromě toho, mozková kůra se skládá zhruba ze 12 bilionů mozkových buněk, které během puberty dosáhnou svého maximálního počtu. K třicátému roku věku naopak množství mozkových buněk začíná pomalu klesat, a to až v počtu 100 000 buněk na den. Velké množství mozkových buněk odumírá působením aktivního kyslíku a taktéž díky přirozenému úbytku mozkových buněk. Na rozdíl od jiných orgánů, pokud dojde k usmrcení jedné mozkové buňky, je pouze ve výjimečných případech nahrazena buňkou jinou. Díky



přirozenému úbytku mozkových buněk a působení aktivního kyslíku je stárnutí mozku urychleno a může dojít až do stádia demence.

K zamezení stárnutí mozku jsou užívány různé potravinové doplňky, které mají účinek antioxidantů. Tento účinek je však omezen bariérou "krev-mozek", přes kterou je průchod antioxidantů značně omezen, a tyto antioxidanty jsou odstraněny krevním oběhem. Díky těmto okolnostem je málo sloučenin schopných projít přes tuto bariéru. Jednou ze sloučenin, které touto bariérou projdou je astaxantin.

Astaxantin, který stimuluje mozkovou činnost, je účinnou prevencí proti mozkové mrtvici a senilitě, způsobené tímto onemocněním. Mozkový infarkt vzniká, když trombus (krevní sraženina) ucpe cévu v mozku. Při mozkovou mrtvici, dochází k roztržení cévy nacházející se přímo v mozku. V obou případech je zapojen aktivní kyslík.

Pokud dojde ke vzniku velkého množství aktivního kyslíku, LDL cholesterol se opakovaně oxiduje v krvi a akumuluje se v krevních cévách. V důsledku toho, krevní cévy ztrácí svou původní pružnost, dochází k ucpávání buněčné dutiny a začíná se objevovat arterioskleróza neboli kornatění cév. Toto onemocnění může vyústit v mozkovou mrtvici.

První výhodou astaxantinu je, že blokuje oxidaci LDL cholesterolu. Dokonce při studiích na zvířatech bylo zjištěno, že zároveň s blokací oxidace LDL cholesterolu, je účinný také i na prevenci krevního tlaku a je důležitou prevencí proti sraženinám. Velké dávky astaxantinu podávané po delší dobu než týden inhibují zvyšování krevního tlaku.

Byl sledován vliv astaxantinu na četnost výskytu mrtvice. Lidé s vysokým tlakem, u nichž je větší riziko mrtvice, byli rozděleni na dvě skupiny, z nichž jedné byl podáván astaxantin. Bylo zjištěno, že u lidí, kterým byl podáván jako doplněk astaxantin, klesl výskyt mozkové mrtvice na polovinu. Navíc bylo navrženo, aby lidem, kteří již mozkovou mrtvici prodělali, byl podáván astaxantin. Díky jeho schopnosti bránit oxidaci lipidů, je účinek poškození mnohem menší. [24]

### ***Stres***

Psychický stres je také významným producentem aktivního kyslíku. Pokud je člověk vystaven stresové situaci opakovaně, může trpět různými gastritidami, žaludečními vředy, protože aktivní kyslík ničí žaludeční stěnu. Pokračující oxidace LDL cholesterolu v krvi má za následek zvyšování krevního tlaku a možnou srdeční příhodu. Pokud navíc aktivní kyslík napadá mozek a nervový systém, vegetativní nervový systém vysílá upozornění,

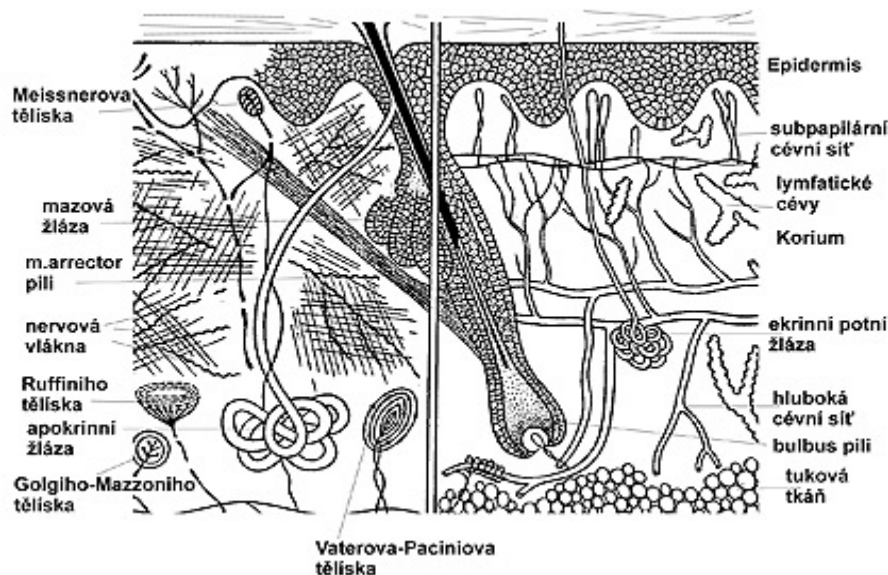
kteřá se projevují jako chronická únava, bolest a strnulost ramen a v některých případech přichází deprese a jiné mentální nemoci, které mohou vyústit až psychosomatické onemocnění. [24]

### *UV záření*

Poškození lidského těla UV zářením začíná být v posledních letech vážným problémem z důvodu ozonové díry. Poškození díky přímé expozici UV záření je rozšířenější více než kdy dříve. V poslední době se množí případy rakoviny kůže, a to díky zvýšenému množství UV záření. Poškození kůže díky UV záření je opět způsobeno aktivním kyslíkem.

Lidská kůže je složena ze tří hlavních vrstev: pokožky, škáry a podkožního vaziva.

Pokud dojde k poškození kůže zářením, obrovské množství aktivního kyslíku se uvolní na pokožce kůže. Buňky buněčných membrán se postupně oxidují a přeměňují na lipoperoxidy. Pokud tento proces trvá velmi dlouho, pokožka je oslabená, obnovení buněk je pomalé a dochází k postupnému stárnutí kůže. Snadněji dochází k formování pigmentových skvrn, pokožka se celkově zdrsňuje. [24]



Obr. 11. Složení lidské kůže [27]

Kyslík uvolněný UV zářením poškozuje škáru, která se nachází pod pokožkou kůže. Zde dochází k největšímu poškození. Škára je tvořena vlákny z kolagenu, která jsou velmi

ohebná a dodávají pokožce její pružnost. Vlhkost obsažená mezi kolagenovými vlákny dodává pokožce její svěžest. Pokud singletový kyslík pronikne do kůže, dojde ke zničení kolagenových vláken. Kůže ztrácí svou přirozenou podporu a smršťuje se. Ztrácí schopnost udržet si vláhu a dochází k objevování malých skvrn a vrásek.

UV záření se dělí do tří skupin, a to podle jejich vlnové délky: "UV-A", "UV-B", "UV-C". Nejkratší vlnová délka UV záření má nejsilnější vliv na pokožku. "UV-B" a část "UV-C" záření jsou absorbována v ozonové díře, a ta část "UV-B" záření, která dopadá na zemský povrch, je největším nebezpečím pro lidskou pokožku.

Byly provedeny studie na zvířatech a shromážděny informace o účincích astaxantinu proti poškození zářením "UV-B". Krysy, na kterých byla provedena studie, byly zbaveny srsti a byly vystaveny jednodennímu záření "UV-B". Astaxantin byl aplikován dvakrát denně na ozářenou plochu a byl zkoumán vývoj vrásek a změny v elasticitě kůže. Po 18 týdnech byl výsledek srovnán s kontrolní skupinou. U skupiny, která byla vystavena "UV-B", došlo ke ztrátě poškození kolagenových vláken, a taktéž tvorba vrásek a ztráta elasticity kůže byly inhibovány. Taktéž koupání při vystavování UV záření po delší dobu způsobuje dermatitidu. [24]

Ve výsledku kůže zčervená a může dojít až ke vzniku popálenin. Tomuto se snaží zabránit melanin, který vzniká v pigmentových buňkách kůže. Tento pigment brání pronikání UV záření do hlubších vrstev kůže. Dlouhotrvající vystavení UV záření může vést až ke vzniku popálenin, kdy mohou vznikat puchýře a edémy. Při větším poškození může dojít až ke vzniku horečky a ke zvracení. Chronické vystavování záření může mít za následek až vznik pigmentových skvrn, vrásek, či předčasného stárnutí kůže, případně může vést až ke vzniku rakoviny kůže. [28]

## 5 VYUŽITÍ ASTAXANTINU

Vzhledem k tomu, že je astaxantin výborným antioxidantem, má velmi rozsáhlé využití v oblasti potravinářství, farmacie nebo kosmetiky.

### 5.1 Astaxantin v potravinářství

#### *Doplňk lidské stravy*

Astaxantin je prodáván na českém trhu jako doplněk stravy. Lze ho nalézt v různých podobách, nejčastěji jako tablety. Tyto tablety jsou vyrobeny z řasy *Haemacoccus pluvialis*. Tyto komerční výrobky podporují zdraví kloubů a šlach, chrání kůži před UV zářením. Taktéž chrání imunitní systém, jsou prevencí proti kardiovaskulárním onemocněním, účinkují proti stárnutí buněk a poskytují ochranu očím, mozku a nervové soustavě. Na tabletách je udávána doporučená dávka 1-3 tablety denně. Používání astaxantinu je vhodné pro sportovce, manažery a osoby se zvýšenou zátěží. Nejsou vhodné pro těhotné a kojící ženy a jsou určeny pro osoby starší 15 let. Jedna kapsle (500 mg) obsahuje 4 mg čistého astaxantinu, 10 % řasy *Haemacoccus pluvialis*, vitamin E (10 %) a zbytek tvoří světlivý olej (80 %). [29]



Obr. 12. Tablety astaxantinu [29]

Astaxantin může být přidáván i do různých jiných doplňků stravy, a to v kombinaci s jinými antioxidanty a výživnými látkami. Na českém trhu se dá nalézt poměrně rozmanité zastoupení těchto doplňků stravy. Produkty mohou být zaměřeny například na zrak, zdravé opalování nebo na ochranu imunitního systému.

### ***Krmivo pro mořské živočichy***

Astaxantin je užíván jako doplněk krmiva pro získávání barvy a antioxidačních vlastností mořských živočichů.

Lososi a jiné lososovité ryby nemohou astaxantin samy syntetizovat, musí jim být tedy do krmiva přidáván. A to v podobě planktonu, skládajícího se především z řasy *Haemacoccus pluvialis*, nebo různých krmiv, do kterých je toto barvivo již přidáno.

Je dokázáno, že astaxantin je pro ryby a korýše esenciální. Potřebují ho pro svůj růst a je důležitý při příjmu vitamínů. Navíc je absorbován mnohem snadněji a efektivněji než jiné podobné xantofyly jako lutein a zeaxantin.

Astaxantin je v krmivu obsažen v množství více než 80 mg/kg krmiva a způsobuje zbarvení od růžové po oranžovo-červenou barvu. Kromě zbarvení působí preventivně proti oxidaci tuků a žluknutí.

Obsah astaxantinu u atlantických lososů dosahuje 5-10 mg/kg. U lososů žijících v pacifickém oceánu může být tato hodnota mnohem větší, a to v závislosti na druhu lososa. Obsah astaxantinu může dosahovat až 40 mg/kg. [30]



Obr. 13. Maso lososa [31]

### ***Vejce***

Astaxantin se využívá také jako krmivo pro drůbež. Díky tomu, že je astaxantin zásobní barvivo, které se ukládá v tucích, dochází k jeho akumulaci ve žloutku vejce. Astaxantin se tudíž podílí na oranžovém zbarvení žloutku. [32]

## 5.2 Astaxantin jako účinný přípravek medicíny

Typickým příkladem vzniku aktivního kyslíku je i UV záření. UV záření je spojováno s poškozením kůže. Taktéž oči a jiné orgány jsou citlivé k tomuto druhu záření. Protože do očí se UV záření dostává přímo ze slunce, tak jak na povrchu i uvnitř očí dochází k velké produkci aktivního kyslíku.

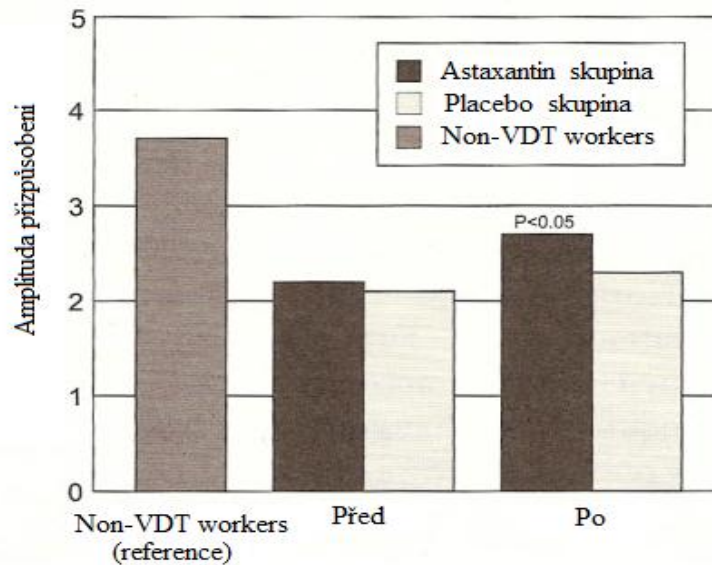
Spojení oči-mozek je zabezpečeno bariérou krev-oči, která zabraňuje průchodu aktivního kyslíku do mozku z očí. UV zářením je generován především singletový kyslík.

Při studiích na krysách, byl prokázán pozitivní účinek astaxantinu ve čtyřech po sobě jdoucích krocích:

1. Astaxantin podaný injekčně se okamžitě vstřebal do sítnice oka;
2. Zranění sítnice světlem bylo sníženo podáváním astaxantinu;
3. Inhibice symptomů průběhu na sítnici způsobeného ischemickým poškozením;
4. Podávání astaxantinu potvrdilo inhibici poškození sítnice díky UV záření a bylo také prokázáno zlepšení poškození oční skvrny.

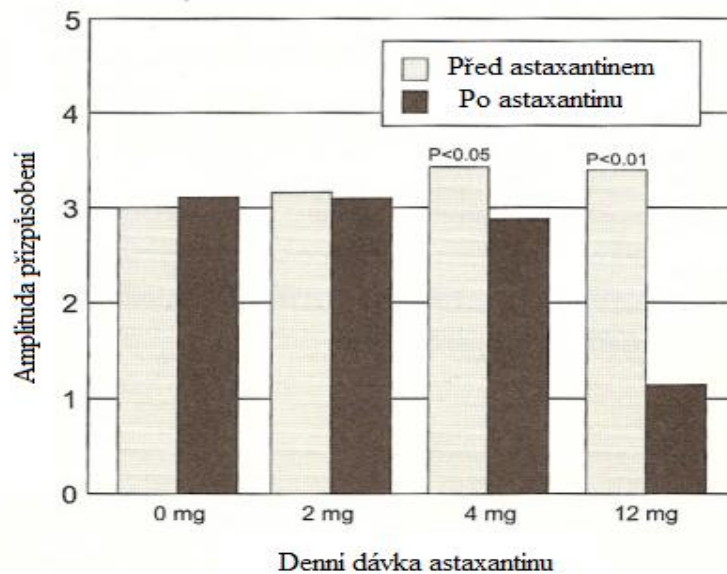
Díky tomuto zjištění, je astaxantin používán proti problémům jako je slabozrakost, šedý zákal, onemocnění malého očního tlaku jako sítnicová arterioskleróza, různých očních onemocnění způsobených autoimunitními onemocněními.

Účinek astaxantinu na onemocnění athenopia neboli oční únavu byl popsán v mnoha studiích. Skupina lidí trpících tímto onemocněním byla rozdělena do dvou menších skupin po třinácti subjektech a byla zkoumána jejich amplituda přizpůsobení (rozdíl v oční schopnosti lomu). Tato studie byla prováděna po jeden měsíc. První skupina pacientů dostávala denně 5 mg astaxantinu, druhá skupina 5 mg placebo. Během pokusu byla měřena amplituda přizpůsobení, která byla srovnána s lidmi, kteří se nezúčastnili podávání léku ani placebo, byli nazýváni non-VDT workers. Taktéž byl zkoumán pozitivní čas přizpůsobení. Což je čas potřebný pro změnu zaostření z dálky na blízko. Ke studii byli opět přizváni lidé trpící oční únavou. Byli rozděleni na čtyři skupiny. První skupině o 10 členech nebyl podán žádný astaxantin, druhé, taktéž o 10 členech, 2 mg astaxantinu, třetí skupina dostávala 4 mg astaxantinu (13 členů) a poslední skupina 12 mg astaxantinu (13 členů). [24]



Obr. 14. Amplituda přizpůsobení [24]

U první studie bylo prokázáno, že amplituda přizpůsobení se po požití astaxantinu zvýšila na mnohem větší hodnotu, na rozdíl od skupiny, která místo astaxantinu užívala placebo. Amplituda přizpůsobení se zvětšila skoro až o 50 % při porovnání se srovnávací skupinou, která onemocněním netrpěla, viz obr. 14. [24]



Obr. 15. Pozitivní čas přizpůsobení [24]

U druhé studie byl taktéž prokázán pozitivní efekt astaxantinu, viz obr. 15. Čas potřebný pro zaostření z dálky na blízko, byl mnohem menší s množstvím podaného astaxantinu. U poslední skupiny, která požíla 12 mg astaxantinu, byl čas potřebný pro zaostření snížen skoro až na 1 sekundu. Což dokazuje, že astaxantin má velmi pozitivní vliv na léčbu tohoto onemocnění. [24]

### 5.3 Astaxantin, součást kosmetických přípravků

Astaxantin je díky své vysoké antioxidační schopnosti vyhledávanou kosmetickou součástí. Lze ho nalézt v široké škále kosmetických přípravků, ať pro zdravé opalování, redukci vrásek, pigmentových skvrn nebo pro ochranu svalů.

Vznik vrásek je zapříčiněn hlubokým poškozením buněk. Toto poškození je navíc urychleno stresem, znečištěním vzduchu, UV zářením, kouřením nebo drastickými dietami. Astaxantin chrání schopnost obnovy kolagenu, neutralizuje volné radikály. Díky tomu umožňuje kůži regeneraci.

Astaxantin je důležitý pro uchování zdravé a svěží pleti. Díky nevyvážené stravě s nedostatkem vitaminů a antioxidantů pleť stárne, vysušuje se a vypadá nezdravě. Astaxantin pomáhá zvýšit hydrataci suché pleti, její pružnost a obnovuje rovnováhu hydrolipidické bariéry.

Taktéž působí příznivě na redukci poškození svalů a zvyšuje jejich výkonnost. Je to způsobeno redukcí volných radikálů, které se ve svalech nacházejí. Díky tomu zabraňuje astaxantin poškození svalů a chrání je před degenerací. Taktéž snižuje hladinu kyseliny mléčné v těle, díky tomu posiluje svalovou výkonnost a pomáhá urychlit regeneraci svalů. [33]



Obr. 16. Astaxantin-součást krémů [34]



## ZÁVĚR

Astaxantin je velmi účinným antioxidantem, který zabraňuje poškození buněk aktivním kyslíkem. V dnešní době je velmi důležité tělo chránit pomocí různých antioxidantů. Ovšem s přibývajícím stresem, množstvím práce nebo množstvím civilizačních chorob, jsou běžné antioxidanty jako  $\beta$ -karoten nebo vitamin E nedostačujícím zabezpečením. Astaxantin jejich sílu mnohonásobně překračuje. Astaxantin je mnohem rychlejší v průchodu skrz buněčné membrány oproti jiným antioxidantům, tudíž zajišťuje rychlejší zneškodnění aktivního kyslíku.

Taktéž povzbuzuje mozkovou činnost, což je velmi důležité jako prevence mozkové příhody. Blokuje syntézu LDL cholesterolu, který ve velkém množství způsobuje ucpávání cév.

Je využíván také pro jeho pozitivní účinky na onemocnění očí. Dokáže zlepšit slabozrakost a je taktéž účinnou složkou kapek používaných při šedém zákalu.

V kosmetickém průmyslu se začíná používat teprve v posledních letech. Má pozitivní účinky na redukci vrásek a pigmentových skvrn. Zabraňuje stárnutí pokožky a buněk a také působí proti škodlivému UV záření, které způsobuje rakovinu kůže.

Astaxantin je důležitý potravinový doplněk, který zabezpečí ochranu těla před oxidačními vlivy.

Své uplatnění může nalézt ve větší míře při barvení žloutků vajíček nebo jako součást krmiv mořských živočichů, kterým je podáván nejen pro jejich výraznou barvu, ale i k zamezení oxidace buněk v jejich tělech.

Využití astaxantinu je ovšem teprve na začátku. V budoucnosti bude astaxantin neodmyslitelnou součástí lidského života.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

[1] Karotenoidy-charakteristika [cit. 2009-08-24] dostupné z www:

[http://hplc1.sweb.cz/Carotenoids/ch\\_karotenoids.htm](http://hplc1.sweb.cz/Carotenoids/ch_karotenoids.htm)

[2] LIANG, J., TIAN, Y. X., YANG, F., ZHANG, J. P., SKIBSTED, L. H. Antioxidant synergism between carotenoids in membranes. Astaxanthin as a radical transfer bridge. Food Chemistry. 2009, 115, 1437-1442

[3] KODÍČEK, M. *karotenoidy*. From *Biochemické pojmy : výkladový slovník* [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2007 [cit. 2009-12-01]. Dostupné z www: <[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-002/ebook.html?p=karotenoidy](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-002/ebook.html?p=karotenoidy)>

[4]  $\beta$ -karoten [cit. 2010-04-01] dostupné z www:

<http://www.vasa.abo.fi/pf/li/mat/kemres/farger/fargkemi/Image3.gif>

[5] Karotenoidy-rozdělení [cit. 2010-03-01] dostupné z www:

<http://utb->

[fi-](http://utb-)

[les.cepac.cz/moduly/M0028\\_chemie\\_a\\_analyza\\_potravin/distancni\\_text/M0028\\_chemie\\_a\\_analyza\\_potravin\\_distancni\\_text.pdf](http://les.cepac.cz/moduly/M0028_chemie_a_analyza_potravin/distancni_text/M0028_chemie_a_analyza_potravin_distancni_text.pdf)

[6] Lutein [cit. 2010-04-01] dostupné z www:

[http://www.worldofmolecules.com/antioxidants/lutein\\_zeaxanthin.gif](http://www.worldofmolecules.com/antioxidants/lutein_zeaxanthin.gif)

[7] Astaxantin [cit. 2010-08-01] dostupné z www:

[www.nutris.net/.../seminarni\\_prace\\_moderni\\_antioxidanty\\_v\\_praxi.doc](http://www.nutris.net/.../seminarni_prace_moderni_antioxidanty_v_praxi.doc)

[8] Astaxantin [cit. 2010-08-01] dostupné z www:

[en.wikipedia.org/wiki/Astaxanthin](http://en.wikipedia.org/wiki/Astaxanthin)

[9] Astaxantin [cit. 2010-04-01] dostupné z www:

<http://www.benbest.com/nutrceut/astaxanthin.jpg>

[10] *Haematococcus pluvialis* [cit. 2010-03-20] dostupné z www:

<http://galerie.sinicearasy.cz/galerie/chlorophyta/chlamydoephyceae/haematococcus>

[11] POULÍČKOVÁ, A., JURČÁK, J. Malý obrazový atlas našich sinic a řas. Univerzita Palackého v Olomouci. 2001, 48–49

- [12] *Haematococcus pluvialis* [cit. 2010-03-20] dostupné z www:  
<http://www.sinicearasy.cz/134/Chlamydoephyceae>
- [13] MIAO, F., LU, D., LI, Y., ZENG, M. Characterization of astaxanthin esters in *Haematococcus pluvialis* by liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. *Analytical Biochemistry*. 2006, 352, 176 – 181
- [14] FIEDLER, D., HAGER, U., FRANKE, H., SOLTMANN, U., BÖTCHER, H. Algae biocers: astaxanthin formation in sol–gel immobilised living microalgae. *Journal of Materials Chemistry*. 2007, 17, 261–266
- [15] Fotoboireaktor [cit. 2010-05-16] dostupné z www:  
<http://www.algatech.com/astax.htm>
- [16] IMAMOGLU, E., DALAY, M.C., SUKAN, F.V. Influences of different stress media and high light intensities on accumulation of astaxanthin in the green alga *Haematococcus pluvialis*. *New Biotechnology*. 2009, 26, 199-204
- [17] COHEN, Z. *Chemicals from Microalgae*. Taylor and Francis Ltd, London. 1999, 175-189 [cit. 2010-04-05] dostupné z www:
- [18] WANG, W., YU, L., ZHOU, P. Effects of different fungal elicitors on growth, total carotenoids and astaxanthin formation by *Xanthophyllomyces dendrorhous*. *Bioresource Technology*. 2006, 97, 26 – 31
- [19] LIU, Y., S., WU, J., Y. Optimization of cell growth and carotenoid production of *Xanthophyllomyces dendrorhous* through statistical experiment design. *Biochemical Engineering Journal*. 2007, 36, 182–189
- [20] *Xanthophyllomyces dendrorhous* [cit. 2010-03-25] dostupné z www:  
[lib.sytu.edu.cn/ASM/176-Introduce.htm](http://lib.sytu.edu.cn/ASM/176-Introduce.htm)
- [21] ZHENG, Y.G., HU, Z.C., WANG, Z., SHEN, Y.C. Large scale production of astaxanthin by *Xanthophyllomyces dendrorhous*. *Food and bioproducts processing*. 2006, 84, 164-166
- [22] *Agrobacterium aurantiacum* [cit. 2010-05-03] dostupné z www:  
<http://books.google.cz/books?id=3fNYxeqWel0C&pg=PA66&dq=Agrobacterium+aurantiacum&cd=6#v=onepage&q=Agrobacterium%20aurantiacum&f=false>
- [23] *Agrobacterium* [cit. 2010-03-25] dostupné z www:

<http://microbewiki.kenyon.edu/images/b/b1/Agro1.JPG>

[http://books.google.com/books?id=XuMVxsnVUR4C&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs\\_v2\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com/books?id=XuMVxsnVUR4C&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs_v2_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

[24] YAZAWA, K. Astaxanthin for beautiful skin, eye health and sharp brain. Heart Publishing Co., LTD. Tokyo 2005

[25] AFANAS'EV, I.B. Superoxide ion: Chemistry and Biological implications Volume I. CRC PRESS, Florida. 2000 [cit. 2010-05-06] dostupné z www:

<http://books.google.com/books?id=zVdSrKAYokEC&printsec=frontcover&dq=superoxide&hl=cs&cd=1#v=onepage&q&f=false>

[26] JONES, C.W. Applications of hydrogen peroxide and derivatives. The royal society of chemistry. 1999, 15-33 [cit. 2010-05-06] dostupné z www:

<http://books.google.com/books?id=QLePlhTsE0oC&printsec=frontcover&dq=hydrogen+peroxide&hl=cs&cd=2#v=onepage&q&f=false>

[27] Vrstvy kůže [cit. 2010-04-25] dostupné z www:

[www.linkos.cz/pacienti/images/melanom01.jpg](http://www.linkos.cz/pacienti/images/melanom01.jpg)

[28] ROSINA, Z., KOLÁŘOVÁ, H., STANEK, J. Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů. Grada publishing, Praha. 2006, 164 [cit. 2010-05-15] dostupné z www:

<http://books.google.com/books?id=XZGg9qKgm0QC&pg=PA164&dq=UV+z%C3%A1%C5%99en%C3%AD&hl=cs&cd=1#v=onepage&q=UV%20z%C3%A1%C5%99en%C3%AD&f=false>

[29] Tablety astaxantinu [cit. 2010-05-16] dostupné z www:

<http://www.docsimon.cz/zbozi/hema-astaxanthin-cps-30>

[30] Astaxantin jako krmivo [cit. 2010-05-16] dostupné z www:

[http://www.astaxanthin.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2&Itemid=3](http://www.astaxanthin.org/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=3)

[31] Maso lososa [cit. 2010-05-16] dostupné z www:

[http://www.google.cz/imgres?imgurl=http://www.somvprahe.sk/gallery2/d/11039-1/Takto%2Bvypad\\_\\_%2Blosos.JPG&imgrefurl=http://www.somvprahe.sk/gallery2/v/vasalbumy/Pumpkin/Takto%2Bvypad\\_\\_%2Blosos.JPG.html&usg=\\_\\_HiIZkxcBIseH9Jt5iLAzmQLriO8=&h=480&w=640&sz=225&hl=cs&start=8&itbs=1&tbnid=K8x4pz7yWFW0xM](http://www.google.cz/imgres?imgurl=http://www.somvprahe.sk/gallery2/d/11039-1/Takto%2Bvypad__%2Blosos.JPG&imgrefurl=http://www.somvprahe.sk/gallery2/v/vasalbumy/Pumpkin/Takto%2Bvypad__%2Blosos.JPG.html&usg=__HiIZkxcBIseH9Jt5iLAzmQLriO8=&h=480&w=640&sz=225&hl=cs&start=8&itbs=1&tbnid=K8x4pz7yWFW0xM)

:&tbnh=103&tbnw=137&prev=/images%3Fq%3Dlosos%26hl%3Dcs%26sa%3DN%26gb  
v%3D2%26ndsp%3D20%26tbs%3Disch:l

[32] Vejce [cit. 2010-05-16] dostupné z www:

[http://fineco\\_ltd\\_en.products.cn.com/Products/Astaxanthin.htm](http://fineco_ltd_en.products.cn.com/Products/Astaxanthin.htm)

[33] Kosmetické výrobky [cit. 2010-05-16] dostupné z www:

<http://cz.oriflame.com/faq/list.jhtml?faq1Tag=wellness>

[34] Astaxantin-součást krémů [cit. 2010-05-16] dostupné z www:

<http://cz.fleurdesante.com/Products/SkinCare/Betatan/BetatanDaycream.aspx>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

Non-VDT Non-Visual display terminal – bez zrakově hraničního zobrazení

SOD Superoxiddismutasa

LDL Low density lipoproteins – nízká hustota lipoproteinů

mM mmol

DNA Deoxyribonukleová kyselina

UV záření Ultrafialové záření

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. $\beta$ -karoten [4] .....	12
Obr. 2. Lutein [6] .....	12
Obr. 3. Astaxantin [9] .....	13
Obr. 4. <i>Haematococcus pluvialis</i> [10] .....	14
Obr. 5. Fáze růstu řasy <i>Haematococcus pluvialis</i> [14] .....	15
Obr. 6. Fotobioreaktor [15].....	15
Obr. 7. <i>Xanthophyllomyces dendrorhous</i> [20].....	18
Obr. 8. Časový průběh získávání astaxantinu v 50 l nádrži [21] .....	19
Obr. 9. Časový průběh získávání astaxantinu v nádrži o objemu 10 m <sup>3</sup> [21].....	20
Obr. 10. <i>Agrobacterium</i> [23] .....	21
Obr. 11. Složení lidské kůže [27] .....	26
Obr. 12. Tablety astaxantinu [29] .....	28
Obr. 13. Maso lososa [31].....	29
Obr. 14. Amplituda přizpůsobení [24].....	31
Obr. 15. Pozitivní čas přizpůsobení [24] .....	31
Obr. 16. Astaxantin-součást krémů [34].....	32