Aktivní látky mikrořas ve výživě

Akademie věd
České republiky

MBÚ

věda 59
kolem
nás
výzvy
a otázky

Mikrobiologický ústav AV ČR, v. v. i.

ALGATECH – Centrum řasových biotechnologií, Třeboň, vzniklo z původní Laboratoře pro výzkum řas, založené již v roce 1960 v Třeboni. V celé své historii se třeboňské pracoviště Mikrobiologického ústavu AV ČR zaměřovalo na mikroskopické řasy a jejich využití v potravinářském a krmivářském průmyslu a v humánní a veterinární medicíně. V současnosti patří Centrum ALGATECH mezi světově uznávaná pracoviště základního a aplikovaného výzkumu mikroskopických řas, sinic a fotosyntetických bakterií včetně vývoje řasových biotechnologií a je největším pracovištěm zabývajícím se výzkumem mikrořas v ČR. Centrum ALGATECH sídlí v historické budově Opatovického mlýna z 18. století, která byla nedávno rekonstruována a rozšířena v moderní výzkumné pracoviště s vynikajícím přístrojovým vybavením.
Centrum ALGATECH provozuje unikátní tenkovrstevnou kultivační jednotku (1000, 100 a 50 m^2) pro autotrofní kultivace a biotechnologickou halu pro heterotrofní kultivace mikrořas, včetně vybavení pro zpracování řasové biomasy.
Řasové biotechnologie dnes řeší aktuální otázky – využití řas v potravinářství a krmivářství, jako zdroje obnovitelné energie a paliv. Praktický význam mají i různé cenné látky obsažené v řasách a sinicích. Tyto látky, které se v laboratořích Centra ALGATECH izolují, charakterizují a testují na tkáňových kulturách, mají možné využití i v medicíně. Součástí výzkumu je v neposlední řadě i vývoj nových přístrojů a metodických postupů pro sledování fotosyntézy. Výzkum na Opatovickém mlýně, kde na vědeckých projektech v současné době spolupracuje několik kolegů z Evropské unie, Norska, USA, Izraele a Japonska, je v mnoha směrech na světové úrovni, o čemž svědčí publikace v prestižních časopisech a různá ocenění.

Organizačně se centrum člení do čtyř laboratoří:

LABORATOŘ ŘASOVÉ BIOTECHNOLOGIE
- Vývoj nových technologických postupů vedoucích ke zvýšení produktivity mikrořas ve fototrofním i heterotrofním režimu.
- Inovace downstream procesů v produkci řasové biomasy.
- Vyhledávání, popis a produkce nových aktivních látek sekundárního metabolismu mikrořas, testování jejich aplikace.
- Vývoj nových metod extrakce bioaktivních látek z mikrořas.

LABORATOŘ FOTOSYNTÉZY
- Nové přístupy ve výzkumu metabolismu mikrořas, především metabolismu fotosyntézy.
- Vývoj nových metod a přístrojů určených pro výzkum i aplikaci v zemědělství, monitoringu prostředí a vodním hospodářství.

LABORATOŘ ANOXYGENNÍCH FOTOTROFŮ
- Vývoj nových optických přístrojů pro detekci anoxygenních fototrofů.
- Izolace bioaktivních látek a studium bioakumulace u anoxygenních mikroorganismů.
- Studium fototrofních mikroorganismů jako potenciálního zdroje biopaliv, především vodíku.

LABORATOŘ BUNĚČNÝCH CYKLŮ
- Studium mikrořas jako zdroje biologicky aktivních terpenoidů.
- Bioremediace a recyklace kovů s využitím mikrořas.

Foto na obálce: Miroslav Adamec

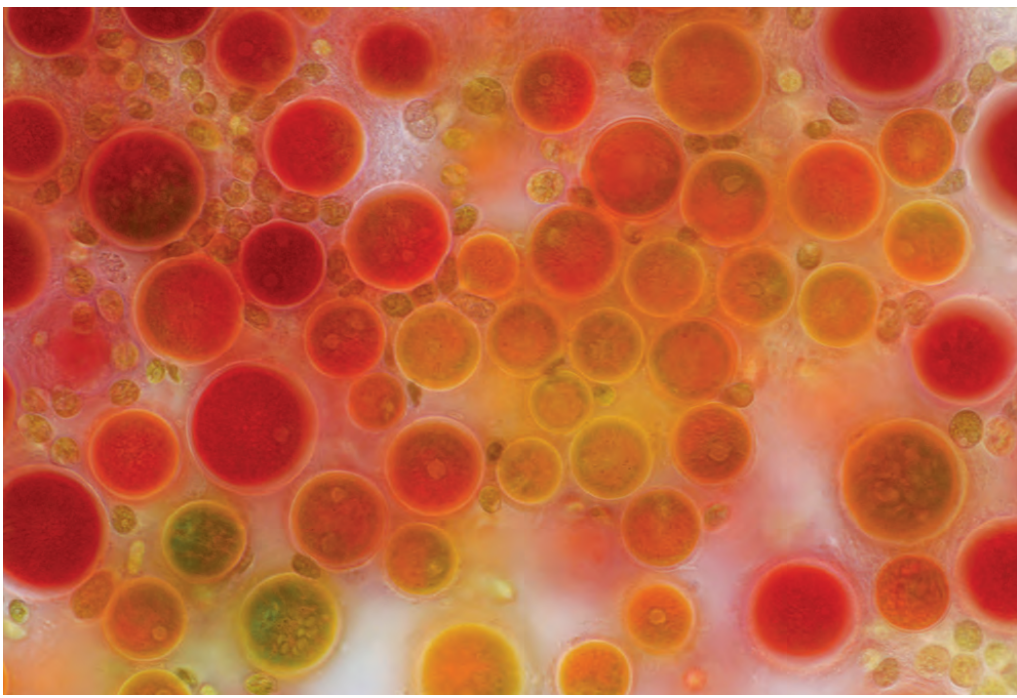
Úvod

Makroskopické mořské řasy byly součástí lidského jídelníčku od nepaměti, jak prokazují archeologické nálezy, ale jejich mikroskopičtí příbuzní to mají složitější. Lidé si jich všimli buď při masovém nárůstu, nebo pokud vytvořili kolonie. Až do vynálezu mikroskopu vlastně ani pořádně netušili, že za „výkalem hvězd", jak nazývali požívatelné kolonie sinice *Nostoc*, se ukrývají mikroskopické organismy.

Kolonie sinice *Nostoc* (foto: H. Krisp)

První kultivace jednoho druhu mikrořas se podařila až na konci 19. století u *Chlorelly*, od té doby stále slavnější řasy. Experimenty s využitím mikroskopických řas ve výživě přišly na konci první světové války, kdy se v Německu s nadějí vzhlíželo k jakémukoliv zdroji potravin. Podobně byla druhá světová válka katalyzátorem výzkumu cenných látek z řas, tato iniciativa vzala za své objevem penicilinu. Zájem o mikroskopické řasy jako zdroj bílkovin pro hladovějící svět i jako zdroj cenných látek ovšem přetrval. Ve druhé polovině 20. století nastal první velký boom v pěstování mikrořas. Prim v tomto ohledu hrálo Japonsko, ale i ostatní státy s vhodným klimatem a odborným zázemím. Od osmdesátých let v rozvinuté části naší planety prudce roste zájem o výživové preparáty, doplňky stravy, přírodní produkty a potraviny nového typu. Spolu s tím se pak rozšiřuje i spektrum nabízených produktů, ať již v přírodní formě, nebo jako specifické látky přírodního původu.

Jako **potravní doplňky (nutraceutika)** se označují látky přidávané do potravin při jejich zpracování a výrobě. Tyto látky se vyznačují nutriční nebo biologickou hodnotu. Jde o konkrétní vitamíny, minerální látky, aminokyseliny, specifické mastné kyseliny.
Naproti tomu **doplňky stravy** jsou již hotové produkty s nutričním nebo fyziologickým účinkem, jejichž účelem je doplňovat běžnou stravu. Obvykle se nabízí v lékové formě – tablety, kapsle a podobně. Může přitom jít o jednu biologicky aktivní látku nebo o jejich směs. Vzhledem k tomu, že se jedná o potraviny, zabývá se jimi například Zákon o potravinách 110/1997 Sb. Doplňky stravy ovšem nenahrazují běžnou stravu.
Je samozřejmě možné nenabízet speciální preparáty v lékové formě, ale nabízet potravinu ve standardní formě, která kromě své základní výživové hodnoty pozitivně ovlivňuje metabolismus vyšším obsahem (přirozeným nebo dodaným) biologicky aktivních látek, například vitamínů, probiotik a podobně. Takové potraviny se pak označují jako **funkční potraviny**. Podobně bychom popsali i tzv. **potraviny nového typu**, například oleje s netradičním složením mastných kyselin (oleje obohacené DHA z řas). Jde o potraviny, které se do roku 1997 víceméně nepoužívaly pro lidskou výživu.
Specifickou skupinou jsou potraviny pro **zvláštní výživu**, které mají na rozdíl od běžných potravin specifické složení pro dané účely nebo byly vyrobeny speciálními postupy. Do této skupiny patří například preparáty pro podvyživené děti s obsahem sinice *Spiruliny*.



Mikroskopická řasa *Haematococcus pluvialis* je největším producentem barviva astaxantinu (foto: E. Völker)

Mikrořasy obecně představují velmi zajímavý zdroj přírodních látek s téměř neomezeným spektrem obsahových cenných a bioaktivních látek, jež je možno využít jako inovativních funkčních složek potravin nového typu či doplňků lidské potravy. Na rozdíl od vyšších rostlin je chemické složení mikrořas velice proměnlivé v širokém rozsahu v závislosti na kultivačních podmínkách. Podmínky, za nichž jsou mikrořasy kultivovány, jako je teplota, intenzita ozáření, obsah živin, koncentrace CO_2, hodnota pH, hustota kultury, růstová fáze a celková fyziologie daného kmene, mohou ohromným způsobem modifikovat výsledné chemické složení biomasy. Způsobem kultivace mikrořas se zabýval 45. svazek edice Věda kolem nás, nazvaný *Mikrořasy – solární továrna v jedné buňce*. Mikrořasy poskytují pestrou škálu bioaktivních molekul s rozsáhlými aplikacemi v potravinářském a krmivářském průmyslu. Mohou jimi být proteiny, peptidy, polysacharidy, mastné kyseliny, polyfenoly, probiotika, enzymy, vitamíny a minerály. Využití tohoto bohatství řasové biomasy bude v následující části tohoto přehledu rozděleno do dvou oblastí:

- popis a využití jednotlivých složek biomasy,
- využití biomasy mikrořas jako celku.

Využití jednotlivých složek řasové biomasy

Proteinová frakce, čisté aminokyseliny

Proteiny jsou obecně v lidské výživě nezbytné pro tvorbu a obnovu tkání organismu, jsou nedílnou součástí enzymů a hormonů, zajišťují transport látek v organismu a v neposlední řadě jsou také významným zdrojem energie. Proteiny obsažené v biomase mikrořas jsou díky složení aminokyselin, zejména díky vysokému obsahu valinu, methioninu a lysinu, na rozdíl od jiných rostlinných zdrojů bílkovin, považovány za velmi kvalitní, s vysokou nutriční hodnotou. Do proteinové frakce náleží také inhibitory proteáz, patřící mezi zástupce kyselých proteinů. Představují velmi důležitou součást obranných mechanismů řasové buňky. Některé inhibitory proteáz vykazují specifické mechanismy působení, které by mohly nalézt uplatnění při léčbě nádorových a kožních onemocnění. Vedle základní nutriční hodnoty mají proteiny z mikrořas jedinečné vlastnosti, jako je např. schopnost tvorby gelů, filmů a pěny, dále pak schopnosti antioxidační, antikoagulační a antimikrobiální. Proto se využívají v potravinářství a jsou enzymaticky hydrolyzovány pro výrobu biologicky aktivních peptidů, které mohou být používány jako nutraceutika či jako přírodní antibakteriální konzervační prostředky. Proteinová frakce se v současnosti využívá především jako hydrolyzáty řasových bílkovin ve formě peptidických štěpů nebo čistých aminokyselin.

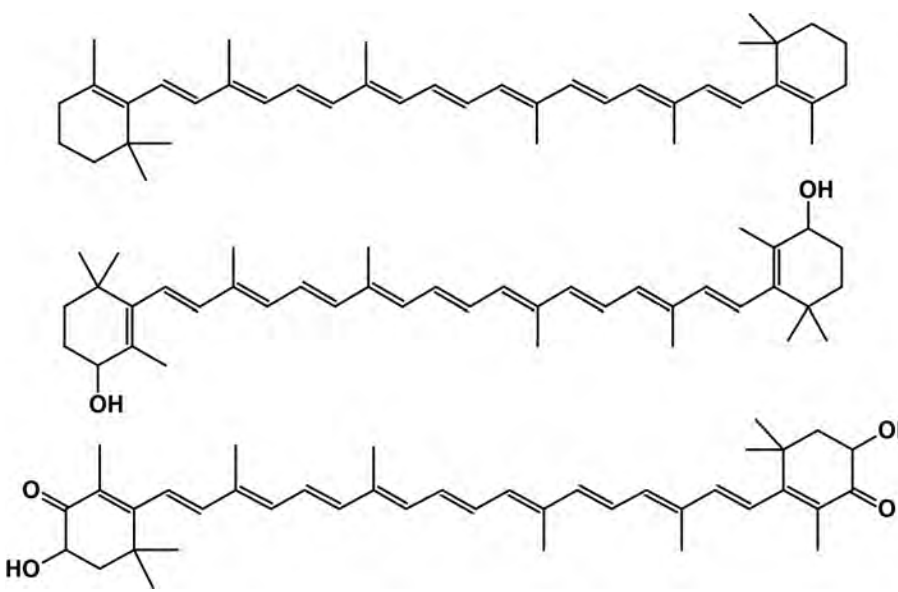
Bioaktivní peptidické štěpy jsou proteinové fragmenty o velikosti 2–20 zbytků aminokyselin. Typ a charakter těchto peptidických štěpů mohou ovlivnit dva faktory: za prvé primární sekvence hydrolyzovaného proteinu a za druhé specifičnost použitého enzymu(ů). Kromě enzymatického způsobu mohou být peptidické štěpy produkovány z proteinů pomocí kyselé nebo zásadité hydrolýzy. Tyto peptidy mají řadu významných vlastností, vykazují např. antimikrobiální, imunomodulační, antitrombotickou a antihypertensivní aktivitu. Jsou považovány za velmi významné sloučeniny. Některé bílkovinné hydrolyzáty z mikrořas poskytují zcela nové peptidy, které se mohou vázat na receptory na povrchu buněk a zvyšují vstře-

bávání vápníku. Tyto peptidy nacházejí terapeutické aplikace při léčbě osteoporózy a Pagetovy nemoci. Tyto štěpy se používají v různých průmyslových odvětvích, jako je kosmetika, farmacie, potravinářství a biomedicína.

Mikrořasovou bílkovinu i mouku nabízí celosvětově již několik firem (např. Roquette, Solazyme, TerraVia). K zajištění velké produkce (tisíce tun ročně) se mikrořasy pěstují heterotrofně, tj. zdrojem energie není světlo, ale snadno rozložitelný uhlíkatý substrát.

Fotosyntetické pigmenty mikrořas

Řasové pigmenty zahrnují tři základní typy sloučenin: karotenoidy, chlorofyly a fykobiliny. Z těchto tří skupin látek jsou **karotenoidy** nejvýznamnější z hlediska praktického využití. Karotenoidy bezesporu patří mezi látky velmi prospěšné pro lidské zdraví. V první řadě slouží jako prekurzor vitamínu A. Díky výrazným antioxidačním vlastnostem a schopnosti eliminovat negativní vliv volných radikálů se podílejí na prevenci velmi vážných onemocnění, jakými jsou nádorové choroby, srdeční problémy a degenerativní změny očního pozadí. Vedle toho například fukoxantin, vyskytující se ve velkém množství u hnědých řas a rozsivek, má výrazné účinky při korekci obezity. Velmi slibné je i využití některých karotenoidů rozpustných ve vodě (např. myxoxantofyl) v potravinářském průmyslu pro barvení limonád. Díky částečné absorpci v UV oblasti spektra chrání pokožku a sítnici před účinky UV záření. Všechny karotenoidní pigmenty mohou sloužit jako zdravotně nezávadná barviva v potravinářském, farmaceutickém i kosmetickém průmyslu. Mezi nejdůležitější karotenoidy patří astaxantin, β-karoten a lutein (viz obr.).



Struktura tří nejvýznamnějších karotenoidů (odshora ß-karoten, lutein, astaxantin)

Z hlediska zdravotního i nutričního je bezesporu nejdůležitějším karotenoidem **astaxantin**. Chemicky se jedná o karotenoid se dvěma asymetrickými atomy uhlíku nacházejícími se v poloze 3 a 3 iononového kruhu na obou koncích molekuly. Přítomnost hydroxylových a ketoskupin na každém iononovém kruhu v molekule astaxantinu vysvětluje některé unikátní vlastnosti, např. schopnost esterifikace mastnými kyselinami, vysokou antioxidační aktivitu a daleko polárnější charakter, než mají ostatní karotenoidy. Na rozdíl od jiných mikroorganismů (*Rhodotorula, Phafia*) se u mikrořas astaxantin vyskytuje téměř výhradně v esterifikované formě. Astaxantin se na trhu uplatňuje nejvíce jako antioxidant (lidská výživa) a zdroj pigmentace v akvakulturách. Jeho hlavními producenty jsou řasy *Haematococcus pluvialis, Chlorella zofingiensis, Chlorococcum* sp. a celá řada dalších zelených řas. Astaxantin je zodpovědný za snižování koncentrací lipidů v plazmě a zvýšení antioxidační obranyschopnosti organismu. Na rozdíl od β-karotenu není prekurzorem vitamínu A. Rostoucí umělý chov lososovitých a mořských ryb a korýšů vytváří obrovskou poptávku po astaxantinu jako esenciálním pigmentu. Živočichové nejsou schopni syntetizovat ho *de novo*, pigmentace masa tak pochází z astaxantinu v jejich potravě. Astaxantin není zodpovědný pouze za pigmentaci ryb a korýšů, ale je mu přičítán i mimořádný potenciál v ochraně organismu proti širokému spektru chorob, a to nejen u zvířat. Přírodní astaxantin byl například použit k účinné léčbě pacientů s funkční dyspepsií, způsobenou bakterií *Helicobacter pylori*. Astaxantin má až několikanásobně silnější antioxidační aktivitu než vitamín E a β-karoten. Bylo prokázáno, že funguje jako ochranný nástroj vůči změnám indukovaným UVA zářením ve fibroblastech lidské kůže. Antioxidanční potenciál astaxantinu je nadějí i pro pacienty s Parkinsonovou a Alzhaimerovou nemocí.

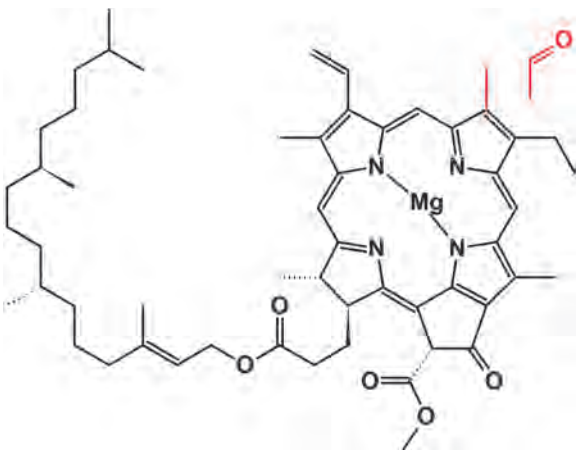
Dalším ze tří hlavních zástupců karotenoidů je **β-karoten**. Chemicky se jedná o polyenový tetraterpen se 40 atomy uhlíku; β-karoten mikrořas se skládá převážně z all-trans a 9-cis izomerů. Největším producentem přírodního β-karotenu je mikrořasa rodu *Dunaliella*, která je schopna akumulovat velké množství buněčného β-karotenu (12 % v suché hmotě). V lidském organismu funguje β-karoten především jako strukturní analog vitamínu A, rozštěpením jeho molekuly vznikají dvě jednotky vitamínu A. Bylo prokázáno, že díky svým antioxidačním účinkům β-karoten vykazuje ochranný účinek proti astmatu. Věkem způsobená makulární degenerace je jedním z nejčastějších očních onemocnění a způsobuje závažnou, někdy i trvalou ztrátu zraku. K léčbě této choroby se často využívají antioxidační terapie s použitím vysokých dávek antioxidantů, včetně β-karotenu.

Posledním z trojice hlavních karotenoidů, o kterém se v posledních letech hodně mluví, je **lutein**. Chemicky náleží mezi xantofyly s polyenovým řetězcem shodným s řetězcem β-karotenu a se dvěma hydroxyly na koncových iononových cyklech. Tyto volné hydroxyly zapříčiňují vyšší polaritu molekuly a také skutečnost, že se v řasách často vyskytuje jako ester jedné či dvou mastných kyselin. Použití luteinu ve farmacii je zhruba stejné jako jeho použití v potravinářském průmyslu. Používá se především jako aditivum do krmiv hospodářských zvířat, společně s ostatními karotenoidy, tam, kde je potřeba kvůli poptávce získat příslušně zbarvené živočišné produkty. Jde hlavně o rybí maso a žloutky vajec. Velká část produkce luteinu je určena k výrobě prostředků k prevenci zhoršování vidění, způsobeného věkem podmíněnou makulární degenerací. Bylo doloženo, že lutein hraje aktivní roli i při oddálení chronických

onemocnění, stimuluje imunitu, brání rozvoji katarakty a progresi raných stadií aterosklerózy, zlepšuje vlastnosti pokožky. Aksamitník vzpřímený (*Tagetes erecta*) nebo jeho blízký příbuzný měsíček lékařský jsou běžným zdrojem přírodního luteinu, nejvyšší koncentrace však mezi rostlinami mají žluté květy lichořeřišnice (*Tropaeolum*), pampelišky nebo kadeřávek. Plantáže aksamitníku ve střední Americe ale zabírají velkou rozlohu a produkce je snadno ovlivnitelná sezónními a klimatickými změnami. Z tohoto důvodu by lutein izolovaný z biomasy mikrořas mohl být hlavním přírodním zdrojem této látky, neboť mikrořasy obsahují až 6× víc luteinu než aksamitník. Mezi mikrořasy nejbohatší na lutein patří rody *Chlorella, Scenedesmus* nebo *Muriellopsis*. Jako velmi perspektivní se v této oblasti jeví modernější biotechnologické postupy kultivace, selekce vhodných kmenů řas, případně genetické inženýrství, díky nimž se koncentrace luteinu v mikrořasové biomase může ještě zvýšit.

Druhou skupinu fotosyntetických pigmentů mikrořas představují **chlorofyly**. Strukturálně se chlorofyl skládá ze dvou částí: substituovaného porfyrinového kruhu a fytolu – dlouhého uhlovodíkového řetězce (viz obr.). Zelené listy vojtěšky, která se často používá jako zdroj chlorofylů, obsahují maximálně 0,3 % chlorofylů a běžnou extrakcí za použití obvyklých způsobů se získá asi jen 5 % celkového obsahu. Obsah chlorofylů v zelených řasách je řádově vyšší, okolo 5 %, a jeho získání je podstatně jednodušší díky absenci pletiv a dalších orgánů přítomných u vyšších rostlin.

Chlorofyl používaný v potravinářství je převážně složen z různých derivátů. Tyto úpravy chlorofylových pigmentů, které spočívají hlavně v deesterifikaci fytolu, výrazně zvýší (až 65×) jeho přechod z potravinové matrice do střevních epitelových buněk v průběhu trávení. Jako potravinářské barvivo v nápojích se často používají měďnaté deriváty chlorofylu – chlorofyliny, které jsou stabilnější než chlorofyl s atomem hořčíku. Podobně se chlorofyliny využívají jako zelené barvivo v kosmetice. Z výše uvedených důvodů představují chlorofyl a jeho deriváty zelený pigment, po němž spotřebitelská poptávka stále vzrůstá, a tím pádem získává na významu jako potravinářské aditivum přírodního původu. I v této oblasti se otvírá ohromný trh pro produkci čistého chlorofylu a/b izolovaného z mikrořas, jelikož jej obsahují v průměru dvakrát více než vyšší rostliny.

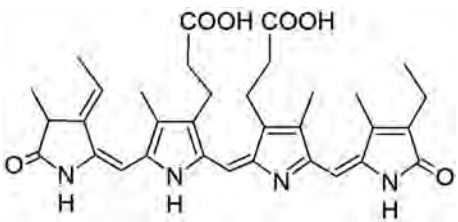


Struktura chlorofylu a/b

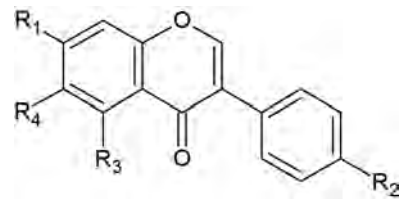
Do třetí skupiny fotosyntetických pigmentů mikrořas patří **fykobiliny**. Strukturálně jsou fykobiliny složeny z lineární tetrapyrolové struktury, ve které jsou pyroly spojeny methinovými a metylenovými můstky. Na rozdíl od chlorofylů však neobsahují hořčík ani jiný kov a je pro ně příznačná velice pevná kovalentní vazba na bílkovinu. Fykobiliproteiny mají v současnosti vysoký komerční potenciál jako přírodní barviva a mají také celou řadu aplikací ve farmaceutickém průmyslu. Vyskytují se především u sinic, ruduch a skrytěnek. Typickými zástupci mikrořas obsahujících fykobiliny jsou *Spirulina (Arthrospira), Aphanizomenon, Nostoc* nebo červené řasy *Porphyridium, Rhodella, Galdieria*. Podle absorpčních maxim se fykobiliny dělí na fykocyanin (modrý), fykoerytrin (červený) a allofykocyanin (modrofialový). Fykobiliny (fykoerytrin a fykocyanin) jsou velmi často využívány v imunochemii jako intenzivně fluoreskující složky (markery) biologicky aktivních molekul. Fykocyanin působí jako významný antioxidant proti volným radikálům. Je prokázáno, že fykocyanin je 20× účinnější než kyselina askorbová proti hemolýze vyvolané peroxylovými radikály u lidských erytrocytů. Fykobiliny jsou také látky, které mají hepatoprotektivní, protizánětlivé, imunomodulační a obecně protirakovinné účinky.

V potravinářství se z fykobilinů nejvíce uplatňuje fykocyanin, jasně modré barvivo, které v trendu používání přírodních barviv postupně nahrazuje brilantní modř. V popisu složek potravin jej najdeme pod označením „spirulina extrakt“. Veřejností byl modrý fykocyanin nejvřeleji přijat v podobě modrých lentilek různých světových výrobců. V Evropě dokonce proběhla kampaň Blue is back, když se mezi ostatními barvami čočkovitých sladkostí opět objevila modrá barva, byť ne tak intenzivní a zářivá, jako v případě brilantní modři.

Mezi pigmenty vyskytující se v biomase některých kmenů mikrořas patří též široká skupina **fenolických látek**. Fenolické sloučeniny se v mikrořasách syn-



Struktura fykocyaninů



Obecná struktura isoflavonů

tetizují především jako jeden z obranných mechanismů oxidačního stresu. Typickými zástupci fenolických látek jsou floroglucinol, eckol a dieckol u hnědých řas a především pak široká skupina **izoflavonů**, jež nejvíce přispívá k celkovému obsahu fenolických látek u zelených řas. Jejich silné antioxidační aktivity je možné využít jako aktivní složky různých přídavků do potravin, kde hrají též významnou ochrannou roli proti oxidaci a peroxidaci nenasycených mastných kyselin, jež následně způsobují zhoršení kvality potravin. Z nutričního a zdravotního hlediska se z vlastností izoflavonů uplatňují zejména jejich následující aktivity: antioxidační, protizánětlivá, estrogenní, antimikrobiální, antialergická,

cytotoxická, hepatoprotektivní a antifungální. Z izoflavonů je u mikrořas nejčastěji zastoupen genistein a jeho glukosidy (genistein 7-O-glukosid, genistein 4´-O-glukosid, genistein 4´,7-O-diglukosid), hydroxygenistein, hydroxygenistein 7-O-glukosid a luteolin.

Čisté mastné kyseliny, lipidy

Jednou z nejzajímavějších skupin látek obsažených v biomase mikrořas jsou bezesporu lipidy. Termín lipidy zahrnuje nesmírně širokou škálu látek s velmi rozdílnou chemickou strukturou, počínaje uhlovodíky, mastnými kyselinami (MK), neutrálními lipidy – triacylglyceroly (TAG), až po komplexní polární lipidy (fosfolipidy, sfingolipidy, plasmalogeny, glykolipidy, sulfolipidy, eterlipidy aj.) a steroly. Poměrně dlouhou dobu byly lipidy považovány pouze za zásobní látky bez jakýchkoliv biologických funkcí. Později byla odhalena jejich velmi důležitá funkce jako hlavní komponenty buněčných membrán. Avšak ani tato skutečnost nevysvětlovala existenci tak velkého počtu látek lipidické povahy s tak rozmanitým chemickým složením. Teprve v posledních deseti letech byl odhalen ohromný význam různých lipidů v důležitých biologických procesech.

Rozmanité biologické funkce především komplexních polárních lipidů obsažených v biomase mikrořas jsou dány v prvé řadě jejich chemickou heterogenitou. Z tohoto hlediska je prvořadé složení **mastných kyselin** (MK). Charakter přítomných mastných kyselin pak určuje jejich lokalizaci a funkci v buněčných membránách. Z hlediska nutričního jsou bezesporu nejvýznamnější tzv. polynenasycené mastné kyseliny s dlouhým řetězcem (PUFA), dělící se dále na několik skupin, z nichž ovšem nejvýznamnější jsou **ω-3 mastné kyseliny**, například α-linolenová (ALA), eikosapentaenová (EPA), dokosahexaenová (DHA) a **ω-6 mastné kyseliny**, například linolenová (LA), γ-linolenová (GLA) a arachidonová (ARA).

Z hlediska dietetických, nutričních i léčebných aspektů představuje v současné době hlavní problém nadměrné zastoupení nasycených MK ve stravě (tučné sýry, máslo, maso), dále pak vysoký obsah *trans*-MK (margaríny) a naopak nízké zastoupení ω-3 MK, z čehož vyplývá špatný poměr ω-6/ω-3 MK. Ten by měl být ideálně 1:1, zatímco ve stravě západní civilizace je spíše 15:1. Posledním negativním parametrem je příliš velký obsah oxidovaných tuků pocházejících z fritovaných a smažených jídel a vytvářejících vysoký obsah reaktivních kyslíkových sloučenin (ROS). Všechny tyto faktory se podílejí na obezitě, ateroskleróze, imunitních problémech a astmatu, cévních problémech (včetně infarktu myokardu) a rakovině.

Lidské tělo je schopné v omezené míře vytvořit ω-3 a ω-6 PUFA konverzí z kyseliny linolové (ω-6 MK) a α-linolenové (ω-3 MK). Tyto kyseliny však musí získat z potravy, proto se označují jako tzv. esenciální MK.

Zatímco ω-6 MK pro lidskou výživu jsou dobře dostupné (jejich zdrojem jsou rostlinné oleje, ořechy, vejce, drůbeží maso, celozrnné potraviny a cereálie), s ω-3 MK je trochu potíž. Savci si nedokáží tyto MK syntetizovat, jsou schopni si ale vytvořit ω-3 MK s delším řetězcem z kratší kyseliny α-linolenové. Jejím zdrojem jsou některá semena (chia, konopí, len) a oleje z nich připravené. Tradičním zdrojem ω-3 mastných kyselin (především DHA, EPA) jsou tučné mořské ryby, případně přímo rybí tuk. Tyto zdroje ovšem mají několik „ale“:

- Ryby a rybí tuk jsou živočišného původu, což je vylučuje z jídelníčku vegetariánské a veganské části populace.
- Mořské biotopy jsou již v mnoha případech přeloveny a limity na lov mořských ryb jsou stále přísnější. Dříve nebo později bude nedostatek vhodných ryb. Obdobně neudržitelné je k produkci oleje lovit korýše severních moří (krill oil), kteří jsou hlavní složkou potravy ohrožených kytovců.
- Světová moře a oceány jsou stále více znečištěny anorganickými a organickými kontaminanty, z nichž mnohé se koncentrují právě v tukové tkáni.

Vedle mořských ryb představují mikrořasy jediný zdroj těchto polynenasycených mastných kyselin. Přítomnost PUFA v některých mikrořasách tak výrazně zvyšuje jejich hodnotu v potravinářském průmyslu, což je jeden z důvodů, proč mikrořasy získávají stále větší pozornost.

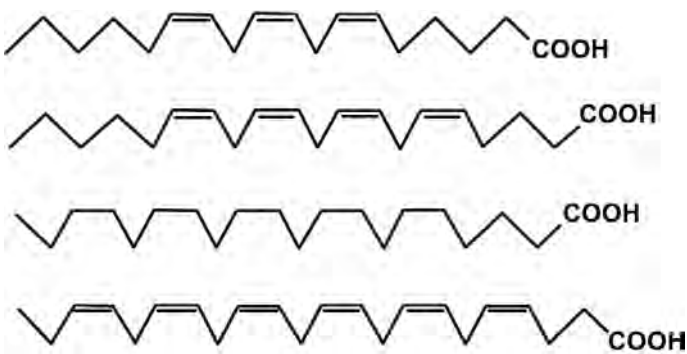
Z polynenasycených ω-3 mastných kyselin s dlouhým řetězcem je nejvýznamnější **kyselina dokosahexaenová** (DHA). DHA tvoří asi 30 % fosfolipidů v lidském mozku. Většinou se syntetizuje z α-linolenové kyseliny, tento proces je ale velmi pomalý na to, aby pokryl kompletní potřebu, a navíc s věkem schopnost přeměny MK klesá. Proto je nutné dodat DHA přímo v potravě. Od roku 1990 celá řada zdravotních a nutričních organizací doporučuje zahrnutí DHA do počáteční kojenecké výživy pro předčasně narozené i donošené kojence, neboť je důležitá pro správný vývoj mozku. DHA hraje v lidském těle významnou roli především v aktivaci imunitního systému, zmírnění onemocnění, jako je hypertenze a artritida, a snížení rizika kardiovaskulárních problémů; příznivé účinky má též na alergická onemocnění. Evropská unie i USA již schválily potravinářské oleje s přídavkem řasových PUFA (funkční potravina), tradičně se již nabízejí kapsle s řasovými PUFA jako vegetariánská alternativa k rybímu tuku.

Z tohoto důvodu se využití některých kmenů mikrořas, které jsou naopak velmi bohaté na DHA, jeví jako velmi vhodný doplněk stravy. Mořské mikrořasy mají významně vyšší obsah DHA ve srovnání se sladkovodními. Mezi perspektivní producenty DHA patří na prvním místě nefotosyntetizující mořská obrněnka *Crypthecodinium cohnii,* schopná produkovat DHA v množství 30–50 % z celkového obsahu mastných kyselin. Další výhodou je, že neobsahuje prakticky žádné jiné PUFA v množství nad 1 %, a je tedy významně snadnější oddělit DHA ze směsi mastných kyselin. Z tohoto důvodu *Crypthecodinium cohnii* představuje velmi slibný mikroorganismus pro komerční produkci DHA. Vedle zmíněné obrněnky mají vysoký obsah DHA i některé heterotrofně rostoucí kmeny mikrořas. Patří sem například rod *Schizochytrium* nebo *Japanochytrium*, které obsahují jako hlavní složku DHA v množství 30–40 % z celkového množství mastných kyselin.

V pořadí důležitosti PUFA pro lidskou výživu je na druhém místě **kyselina eikosapentaenová** (EPA). Je to ω-3 PUFA a hraje důležitou roli v regulaci biologických funkcí a v prevenci celé řady onemocnění, jako jsou nemoci srdce a zánětlivá onemocnění, podporuje správný vývoj mozku u novorozenců. Eikosanoidy jsou obecně látky typu hormonů a mezi nejvýznamnější zástupce patří prostaglandiny, tromboxany a leukotrieny. V mikrořasách se vyskytuje hlavně u kmene *Nannochloropsis* sp., jenž byl použit například k produkci vířníků, kteří se dále využívají k odchovu plůdku v akvakulturách. Mezi další mikrořasy bohaté na EPA patří rozsivky *Phaeodactylum*

tricornutum, Nitzschia laevis a *Isochrysis galbana*, které vedle EPA obsahují též DHA. Další významnou ω-6 PUFA je kyselina **arachidonová** (ARA). Kyselina arachidonová je stejně jako kyselina eikosapentaenová prekurzorem eikosanoidů, uplatňuje se především v procesu srážlivosti krve. Eikosanoidy z těchto dvou mastných kyselin se však liší strukturálně i funkčně, a někdy jsou jejich účinky dokonce v antagonistickém vztahu. Proto je vyvážený příjem EPA a ARA velmi důležitý a může zabránit disfunkci eikosanoidů a tím se aktivně podílet na léčbě celé řady nemocí a metabolických poruch. Nejvýznamnějším producentem ARA je červená řasa *Porphyridium cruentum*. Kyselina arachidonová se využívá například v umělých výživách předčasně narozených dětí, kde její obsah přispívá k vývoji mozku a k dozrávání erytrocytů.

Poslední z uvedených polynenasycených ω-6 MK je **γ-linolenová kyselina (GLA)**. Jejím hlavním producentem je sinice *Arthrospira* (*Spirulina*) sp. Tato kyselina je důležitá jako doplněk kojenecké výživy a snižuje též koncentraci lipoproteinů s nízkou hustotou u hypercholesterolemických pacientů. Dále omezuje atopické ekzémy a může zmírnit příznaky zánětlivých onemocnění, jako je revmatoidní artritida a atopická dermatitida, včetně psoriázy.



Struktura nejvýznamnějších PUFA mikrořas – odshora GLA, 18:3 ω-6; ARA, 20:4 ω-6; EPA, 20:5 ω-3; DHA, 22:6 ω-3

Lipidy mikrořas představují velice komplexní směs látek sestávající z několika lipidických tříd. Obecně lze lipidy členit do dvou širokých kategorií, na jednoduché (neutrální) lipidy, kam patří triacylglyceroly (TAG), a na komplexní (polární) lipidy.

Jednoduché lipidy jsou definovány jako takové lipidy, které hydrolýzou poskytují nejvýše dva typy primárního produktu. Z pohledu výživy se jednoduché lipidy uplatňují pouze jako zdroj energie.

V případě TAG mají informace o přesném složení zásadní význam pro pochopení chování tuků v průběhu zpracování, jejich dietetických a nutričních vlastností. Chemické, fyzikální a nutriční vlastnosti řasových lipidů jsou v prvé řadě ovlivněny složením TAG, tj. obsahem MK a jejich stereospecifitou (pozicí MK na glycerolu). Využití a aplikace lipidů z řas obsahujících TAG s PUFA jsou do značné míry dány strukturou těchto TAG, zejména polohou MK v molekule glycerolu. Nejlepší výživové vlastnosti jsou připisovány strukturovaným TAG, které mají PUFA v poloze *sn*-2. Naproti tomu TAG obsahující v poloze *sn*-2 většinou EPA a ARA jsou snadněji

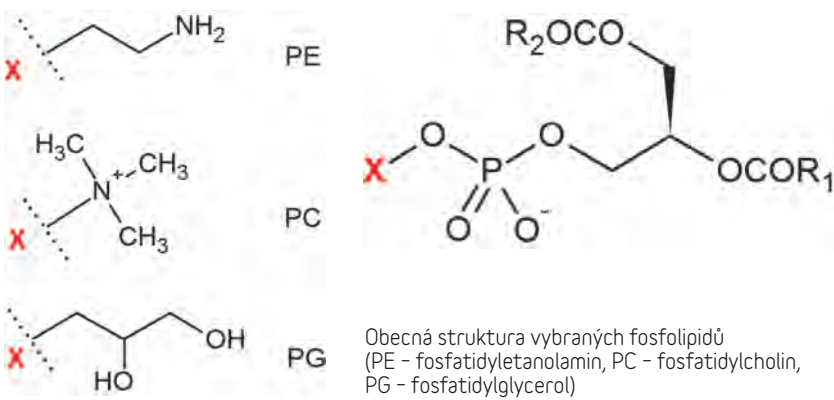
absorbovatelné než TAG, které mají náhodné rozdělení PUFA. Absorpce strukturovaných TAG v lidském organismu je také rychlejší a navíc mohou chránit před hypertriglyceridemií a obezitou způsobenou vysokým obsahem tuku ve stravě.

Komplexní lipidy dávají hydrolýzou tři nebo více primárních produktů. Mezi komplexní lipidy mikrořas patří **glycerofosfolipidy** (nebo méně přesně fosfolipidy), které jako polární složku obsahují kyselinu fosforečnou a glycerol, **glykolipidy**, které obsahují polární sacharid(y). Situace je dále komplikována existencí **fosfoglykolipidů**, **sfingofosfolipidů** (např. sfingomyelinu) nebo **eterlipidů**.

Fosfolipidy jsou hlavní součástí buněčných membrán, kde umožňují spontánní průnik malých částic. Větší částice již nemohou přes membránu projít spontánně, ale k průchodu potřebují tzv. transportní protein. Buněčná membrána je proto selektivně propustná: jednoduché, malé, metabolicky významné látky propouští, zato větší částice (například patogenní látky a částice) již nepropustí. Mezi nejvýznamnější zástupce fosfolipidů mikrořas patří fosfatidylcholin, fosfatidylglycerol a fosfatidyletanolamin. Ohromná chemická heterogenita fosfolipidů obsažených v biomase mikrořas je dána nejen druhovým výskytem, ale také kultivačními podmínkami.

Fosfatidylcholin (PC; 1,2-diacyl-*sn*-glycerol-3-fosforylcholin, známý spíš jako lecitin) je obvykle nalézán v membránách rostlin i mikrořas. Patří mezi nejrozšířenější fosfolipidy mikrořas a mezi typické zástupce s jeho vysokým obsahem patří *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Porphyridium*, *Nannochloropsis* a *Phaeodactylum*. Velmi dobře jsou známy pozitivní účinky PC při prevenci patologických změn v krevním oběhu, způsobených usazováním cholesterolu na vnitřních stěnách cév: PC podporuje zvýšené odplavování cholesterolu, čímž významně snižuje riziko aterosklerózy, podílí se na přenosu informací na buněčné membráně. Fosfatidylcholin se používá jako dodavatel cholinu, který je potřebný pro integritu buněčných membrán a urychluje pohyb tuků dovnitř buněk a ven z nich. Je též součástí nervového přenašeče acetylcholinu a je potřebný pro normální mozkové funkce, zejména u dětí. V trávicím systému je fosfatidylcholin součástí žlučového systému, který se podílí na emulgaci potravy pro usnadnění trávení.

Mezi nejdůležitější fosfolipidy patří **fosfatidylglycerol** (PG; 1,2-diacyl-*sn*-glycerol-3-fosforyl-1´-*sn*-glycerol). Velmi zajímavá je aplikace PG izolovaného z řasové biomasy (např. *Synechocystis* nebo *Thalassiosira*) v oblasti dětského lé-

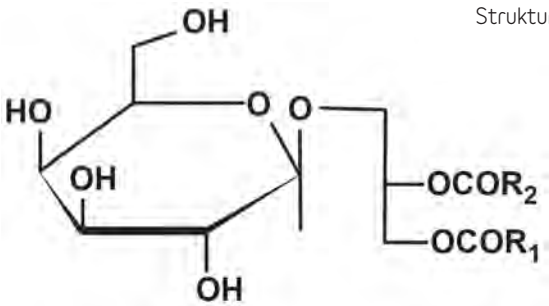


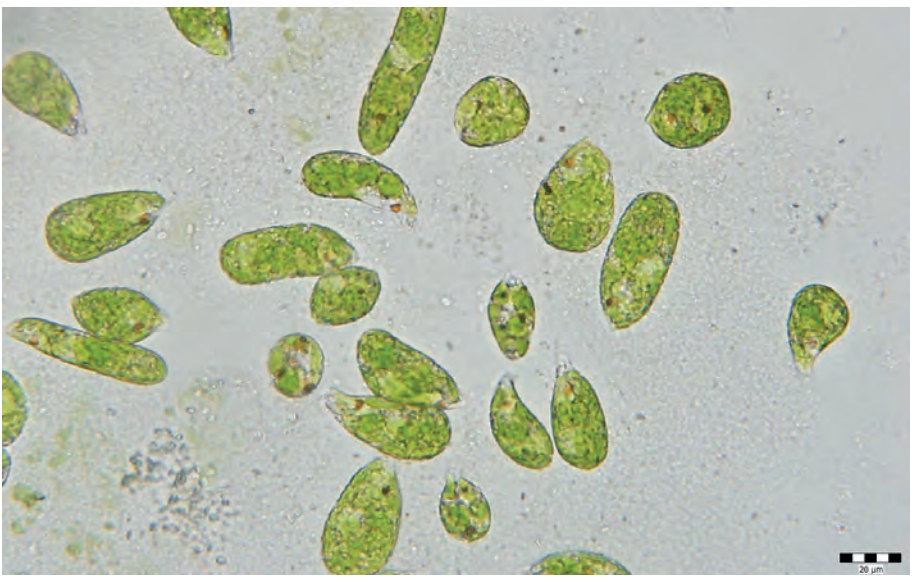
Obecná struktura vybraných fosfolipidů
(PE – fosfatidyletanolamin, PC – fosfatidylcholin,
PG – fosfatidylglycerol)

kařství. Spolu s PC tvoří PG hlavní součást plicního surfaktantu, který se začíná vyvíjet už u plodu. Nedostatek PG v plodové vodě vypovídá o plicní nezralosti, což může v případě předčasně narozených dětí vést k syndromu dechové tísně (RDS) nedostatkem surfaktantu. Součástí léčby je i podávání surfaktantů s obsahem PG, což významně snižuje úmrtnost předčasně narozených dětí na RDS.

Biomasa mikrořas obsahuje značné množství lipidů, ve kterých jsou 1,2-diacyl--*sn*-glyceroly vázány glykosidickou vazbou na sacharid v poloze *sn*-3. Tato skupina komplexních polárních lipidů mikrořas se nazývá **glyceroglykolipidy**. Hlavními složkami jsou mono- a digalaktosyldiacylglyceroly (MGDG, respektive DGDG, viz obr.), ale byly nalezeny lipidy obsahující až čtyři galaktózové jednotky, případně jedna nebo více z nich může být nahrazena glukózou. Cukerná složka zajišťuje z hlediska jejich biologické funkce především rozpoznávací receptor různých chemických látek, toxinů a mikroorganismů.

Struktura monogalaktosyldiacylglycerolu MGDG





Zástupce rodu *Euglena* – *E. mucifera* (foto: CCALA, Třeboň)

Vitamíny

Mikrořasy mají schopnost syntetizovat celou řadu potřebných vitamínů, jako je vitamín A, skupina B vitamínů (B1, B2, B12), vitamíny C, D, E, a H. Jako příklad může sloužit zelená řasa *Chlorella*, která může obsahovat až 18 % suché hmotnosti ve formě minerálů, vlákniny a vitamínů, zejména vitamínu B12. Červená řasa *Porphyridium cruentum* je známá jako dobrý zdroj vitamínu E (55 mg/g α-tokoferolu a 50 mg/g γ-tokoferolu v sušině). Jako další příklad může sloužit řasa *Euglena* (viz obr. na str. 12), která je významná nejvyšším obsahem tokoferolu nejen ve srovnání s ostatními druhy mikrořas, ale i s kvasinkami či plísněmi. Vitamín E slouží v lidském organismu k ochraně membránových lipidů před oxidačním poškozením a také je účinný proti cévním onemocněním, ateroskleróze a roztroušené skleróze. Vitamíny a minerály zajišťují v lidském těle mnoho základních funkcí, například transport uvnitř buněk, a také slouží jako kofaktory mnoha enzymů v průběhu metabolických procesů.

Polysacharidy

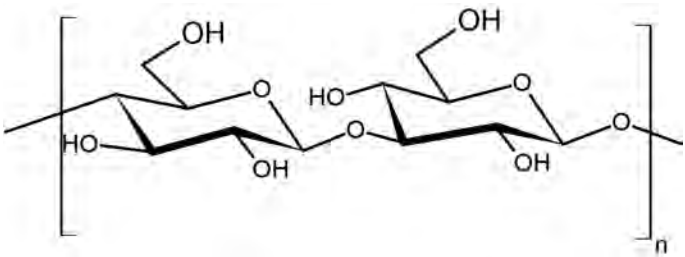
V potravinářském průmyslu nacházejí uplatnění především **extracelulární polysacharidy** (EPS) vylučované do kultivačního média některými kmeny mikrořas, a to jako stabilizátory, zahušťovací a želírující činidla, látky potlačující tvorbu ledových krystalů atd. V kosmetice jsou tyto látky využívány především pro své dispergační účinky a pro vysoký hydratační potenciál. Vedle těchto aplikací mají EPS významný potenciál v oblasti medicíny. Především celá řada glykokonjugátů (glykoproteiny, glykolipidy a glykoaminoglykany) nabízí zcela nový koncept ve vývoji nových terapeutik. Jedná se většinou o lineární biopolymery, které byly identifikovány v červených a hnědých řasách. Složitá struktura těchto látek extrahovaných z různých druhů mikrořas se liší v sacharidové složce, obsahu a poloze sulfátových skupin, molekulové hmotnosti, typu vazby a pořadí monosacharidových jednotek. Přítomné sulfátové skupiny zlepšují biologické vlastnosti EPS, což umožňuje jejich použití například v mlékárenském průmyslu jako emulgátory a stabilizátory.

Nejslibnější mikrořasa pro komerční získávání EPS je jednobuněčná červená řasa *Porphyridium cruentum*, která produkuje sulfátovaný exopolysacharid galaktan, který může v mnoha aplikacích nahradit galaktany získávané z mořských makrořas, jako je například karagenan, látka velmi příbuzná agaru, která tvoří pevný gel a jejíž hlavní použití je na zahuštění a stabilizaci potravinových výrobků (krémy, zmrzliny, smetana, pudinky) a jako emulgátor ve farmaceutickém, kosmetickém a textilním průmyslu. Současný problém je ve stále se snižujících zdrojích těchto látek, které se získávají výhradně extrakcí z červených mořských makrořas (*Chondrus*, *Gigartina*, *Furcellaria*, *Phyllophora* atd.) a právě masová kultivace mikrořasy *P. cruentum* je jedním z alternativních zdrojů těchto cenných látek.

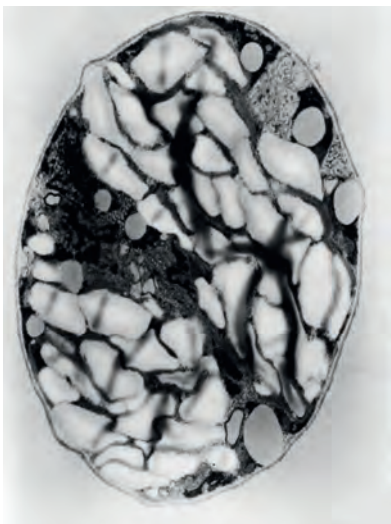
Dalším příkladem je *Chlamydomonas mexicana*, která uvolňuje až 25 % své celkové organické produkce ve formě extracelulárních polysacharidů, které, jak bylo zjištěno, mohou sloužit jako kondicionér půdy. Některé vysoce sulfatované polysacharidy mikrořas rovněž vykazují farmakologické vlastnosti, například stimulují imunitní systém.

Dalšími zástupci polysacharidů vyskytujících se velmi hojně v biomase mikrořas jsou **beta-1,3-glukany**. Vyskytují se především v buněčné stěně. Tyto polysa-

charidy nejvíce působí na evolučně nejstarší buňky imunitní kaskády organismu – makrofágy. Po jejich užití jsou makrofágy aktivovány a ve zvýšené míře produkují různé druhy cytokininů (informačních proteinů imunitního systému), které fungují jako vnitřní regulátory imunitního systému. Obecně lze tedy konstatovat, že beta-1,3-glukany jsou považovány za spouštěče obranných reakcí na antigenní strukturu patogenů. Například druhou nejdůležitější látkou obsaženou v zelené řase *Chlorella* sp. je právě beta-1,3-glukan. Beta-1,3-glukan je důležitý pro zdraví člověka. Jeho užívání zvyšuje nespecifickou i specifickou imunitu a úroveň ochrany proti bakteriálním infekcím. Beta-1,3-glukan má významné účinky jako profylaktická léčba při různých infekčních chorobách a stimulací důležitých cytokinů může také inhibovat růst rakovinných buněk *in vivo*. Použití beta-1,3-glukanu má zvláštní význam u pacientů podstupujících chemoterapie nebo ozařování, neboť vykazuje pozoruhodnou schopnost urychlit obnovu kostní dřeně po chemoterapii, což je zásadní pro potlačení růstu nádoru a prevenci infekčních komplikací v průběhu léčby.



Struktura beta-1,3-glukanu

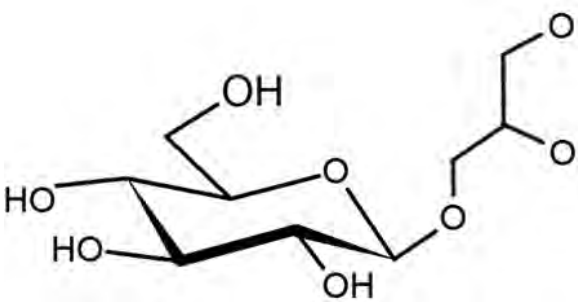


Mezi nejrozšířenější polysacharidy obsažené v biomase mikrořas patří **škrob** tvořený lineárním polymerem amylózou a rozvětveným mylopektinem. Na rozdíl od výše zmíněných glukanů se v případě škrobu jedná o biopolymer tvořený glukózovými jednotkami vázanými vazbou 1,4. Díky jiné struktuře nevykazuje škrob žádné biologické aktivity, avšak z hlediska nutričního jde o velmi důležitou zásobní látku. Nejvýznamnějším producentem tohoto důležitého polysacharidu je zelená řasa *Chlorella*, která dokáže za určitých podmínek akumulovat ve svých buňkách až 70 % škrobu (viz obr.).

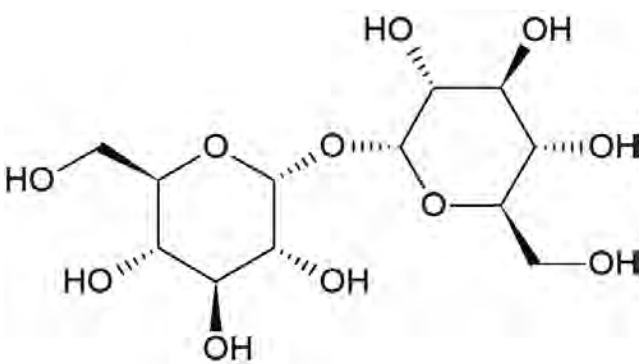
Buňka zelené řasy *Chlorella vulgaris*, kultivované za limitace dusíkem, se zrny škrobu (foto: Centrum Algatech, Třeboň)

Osmoprotektanty jsou látky vyskytující se v intracelulární tekutině (cytosolu) mikrořas, které udržují osmotickou rovnováhu s vnějším prostředím. Buňky syntetizují osmoticky aktivní látky především při osmotickém stresu a zabraňují tak ztrátám vody z cytoplazmy. V cytosolu je vysoká koncentrace draselných iontů a nízká koncentrace sodných iontů. Jejich poměr je důležitý pro osmotickou regulaci mezi vnitřním a vnějším prostředím buňky a funguje jako tzv. sodno-draselná pumpa. V cytosolu jsou dále vápenaté ionty v nízké koncentraci, které slouží jako spouštěče signálních drah. Mezi nejčastější osmoprotektanty patří trehalóza, acetylserin, acetylglukosamin, glukosyl glycerol, glycin betain, který je syntetizován v buňkách řas oxidací cholinu. Všechny tyto látky obecně zabraňují náhlým šokovým stavům v buňce a udržují osmotické reakce v rovnováze. Některé druhy mikrořas mohou díky těmto osmoprotektantům i kompletně vyschout, a tak přežít nepříznivé období. Výskyt těchto látek byl popsán u mnoha kmenů mikrořas, např. *Anabaena*, *Nostoc muscorum*, *Synechococcus*, *Synechocystis* sp.

Trehalóza a glukosyl glycerol nalézají uplatnění jako přídavek do energetických nápojů (viz obr.).

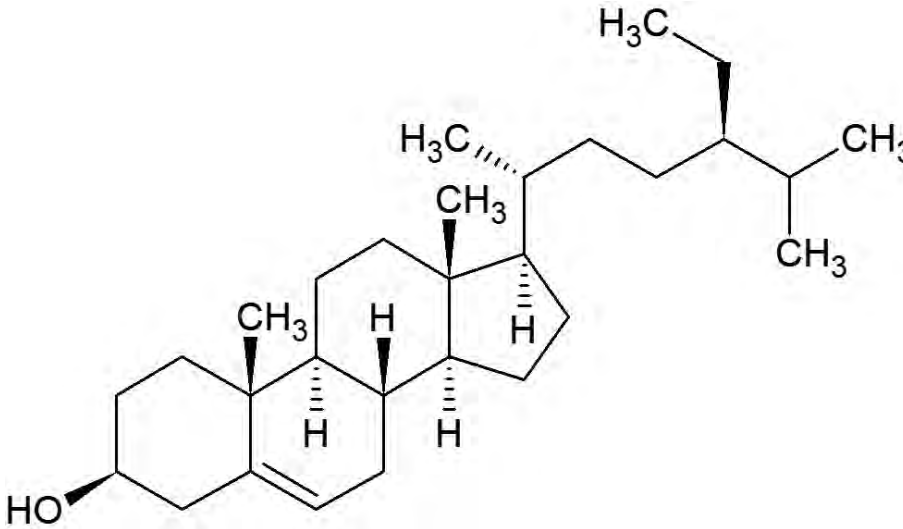


Struktura glukosyl glycerolu



Struktura trehalózy

Steroly
Některé druhy mikrořas (*Dunaliella tertiolecta* a *D. salina*) syntetizují rozmanité množství steroidních látek. Mezi nejčastěji se vyskytující patří brasikasterol, sitosterol (viz obr.) a stigmasterol. Jejich obsah lze regulovat změnou kultivačních podmínek, především složením živného média. Tyto látky vykazují výraznou *in vivo* neuromodulační aktivitu.



Struktura sitosterolu
izolovaného z řasy *Dunaliella salina*

Využití sušené (lyofilizované) biomasy

Konzumace potravních doplňků vyrobených z mikrořas je v současné době velmi populární. Jejich obliba je podpořena vzrůstajícím výskytem civilizačních onemocnění, u nichž je uváděna souvislost s negativním působením různých potravinových aditiv, jakými jsou umělá barviva, aromata, konzervační látky nebo stabilizátory vyráběné synteticky. Mikrořasy jsou totiž ceněny nejen pro svou nutriční a energetickou hodnotu, ale také pro vysoký obsah celé řady cenných a bioaktivních látek s antioxidačními, antibakteriálními a dalšími účinky. Požadované složení biomasy lze ve velkém rozsahu ovlivnit již výběrem vhodného druhu nebo kmene mikrořas a dále i vhodně zvolenými kultivačními podmínkami. Takto je možné cíleně připravit biomasu s vysokým obsahem pigmentů (β-karoten, astaxantin, lutein), esenciálních mastných kyselin (DHA, EPA, ARA), organicky vázaných mikroelementů (Se, Zn, Cr, Fe), vitamínů nebo ohromného množství různých sekundárních metabolitů.

Mikrořasa	Proteiny	Sacharidy	Lipidy
Anabaena cylindrica	45–55	25–30	5–10
Chaetoceros calcitrans	36	27	15
Chlamydomonas rainhardii	48	17	20
Chlorella sp.	30–50	15–35	5–15
Chlorella zofingiensis	15	25	30
Dunaliella salina	40–60	15–20	15–20
Euglena gracilis	10	40	40
Haematococcus pluvialis	50	25	15
Isochrysis galbana	50–55	10–17	15
Porphyridium cruentum	10–20	20–50	15–40
Scenedesmus obliquus	10–20	30–65	10–20
Scenedesmus dimorphus	60–70	10–15	7
Spirogyra sp.	45	20	5
Spirulina maxima	45–65	10–15	5–10
Spirulina platensis	60	15	10
Synechococcus sp.	30–40	30–60	10

Tab. I. Obvyklé obsahy hlavních komponent v procentech (proteiny, lipidy a sacharidy) u vybraných kmenů mikrořas

Celá biomasa jako doplněk lidské výživy

Přímá konzumace řasové biomasy jako celku je omezena na velmi malé množství druhů. Tento stav je dán relativně přísnými legislativními omezeními, faktory trhu, zvyky a požadavky zákazníků a v neposlední řadě i specifickou přípravou. *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Spirulina*, *Dunaliella*, *Haematococcus* a *Nannochloropsis* jsou hlavními druhy mikrořas na současném trhu. Mikrořasy jsou pro koncového spotřebitele vyráběny a nabízeny nejčastěji ve formě tablet, tobolek nebo prášku (obr. na str. 18).

Odhaduje se, že tento trend bude mít v budoucnu výrazně vzrůstající tendenci. Vedle základní nutriční a energetické hodnoty jsou mikrořasy cenné také pro vysoký obsah celé řady bioaktivních látek.

Klíčové aktivní látky byly probírány v úvodní části této publikace, nyní se zastavme u významného obsahu **minerálních látek** a **stopových prvků**, které hrají významnou roli pro růst tkání, aktivaci a regulaci látkové výměny v organismu a také se podílejí na přenosu nervových vzruchů. Obecně je obsah minerálních látek v mikrořasách velmi vyvážený a adekvátní doporučené denní dávce (např. doporučená dávka pro Ca je 800 mg/den pro dospělé osoby). Přidáním různých mikroelementů do kultivačního média lze produkovat biomasu s cíleným obohacením některým z požadovaných mikroprvků (Se, Zn, Cr, I, Mg atd.). Ještě významnější je fakt, že většina těchto esenciálních stopových prvků se v řasové biomase vyskytuje

Sušená biomasa zelené řasy *Chlorella*
(foto R. Lhotský)

ve formě vázané na organické molekuly (pigmenty, aminokyseliny, mastné kyseliny, metaloproteiny atd.). Takto organicky vázané stopové prvky jsou daleko lépe využitelné pro lidský organismus než ve formě anorganických solí.

Užívání řasové biomasy přináší celou řadu pozitivních účinků na lidský organismus, od úpravy zažívání až po celkový imunostimulační efekt projevující se posílením organismu, zvýšením celkové odolnosti proti infekcím a stresům. Výrazně pozitivní efekt byl zaznamenán i v prevenci kardiovaskulárních onemocnění, jako jsou ateroskleróza a hypertenze. Vedle notoricky známého obsahu hořčíku, jenž velmi příznivě ovlivňuje svalovou činnost, je krvetvorba pozitivně ovlivňována dalšími stopovými prvky, jako je železo, mangan nebo měď. Účinnost inzulínu je spjata s jeho vazbou na zinek, kterého řasová biomasa rovněž obsahuje značné množství. Jak jsme již zmínili, všechny tyto stopové prvky se v řasové biomase vyskytují v biologicky vázané formě, nesrovnatelně využitelnější než komerčně dostupné preparáty na bázi anorganických solí.

Některé, převážně mořské kmeny mikrořas jsou velmi bohaté na jod. Průměrný obsah jodu v biomase mořských řas se pohybuje v rozmezí 0,5–8,8 µg/g v sušině, na rozdíl od běžného jídla a rostlin, kde je tato hodnota výrazně nižší (1 µg/g sušiny). Doporučená denní dávka jodu je 150 µg (Vyhláška 450/2004 v platném znění). Nedostatek jodu se obecně řeší jodovanou solí, doporučuje se pochopitelně konzumace mořských ryb. Jod je nezbytný pro zdravý vývoj lidského organismu. Je součástí hormonů vylučovaných štítnou žlázou, které ovlivňují především fyzický a mentální vývoj člověka, a proto může jejich nedostatek negativně ovlivnit inteligenci.

Selen je další pro organismus velmi důležitý prvek, kterého bývá v lidské stravě nedostatek. Jeho účinek zasahuje do mnoha fyziologických i biochemických pochodů v živých organismech včetně člověka. Selen je důležitý pro prevenci nádorových onemocnění, správnou činnost imunitního a kardiovaskulárního systému a plodnost. Ve formě peroxidáz je jednou z nejaktivnějších složek antioxidační a antiradikálové ochrany organismu. Podílí se na syntéze hormonů štítné žlázy. Selen je v nízkých dávkách esenciální prvek, ale ve vysokých dávkách je toxický. Jeho příjem záleží především na jeho obsahu v půdě. Od obsahu selenu v půdě se odvíjí jeho koncentrace v rostlinných pletivech a následně v živočišných tkáních. Existují značné geografické rozdíly v množství selenu v půdě. Česká republika patří mezi oblasti s poměrně nízkým obsahem. Rozmezí příjmu selenu pro organismus prospěšného, ale ještě netoxického, je velice úzké. Je prokázáno, že příjem do 400 µg/den nebo 5 µg/kg tělesné hmotnosti denně je pro člověka ještě netoxický. Záleží však na chemické formě selenu. Obecně platí, že anorganické sloučeniny jsou více toxické než organické.

Potraviny rostlinného původu představují hlavní zdroj selenu pro člověka. V České republice je vzhledem k nízkým koncentracím selenu v půdě (0,07–0,12 mg/kg) příjem tohoto prvku velmi nízký, odhaduje se na 25–45 µg/den. Na rozdíl od rostlinných a živočišných zdrojů, ve kterých je selen vázán v organické formě, pro člověka dobře využitelné, mají anorganické sloučeniny velmi nízkou biologickou hodnotu, a to díky špatné vstřebatelnosti. Týká se to i většiny vitamínových a minerálních preparátů určených pro člověka. Doporučená denní dávka je 55 µg/den. Vedle jodu je selen dalším esenciálním mikroelementem pro správnou funkci štítné žlázy. Nej-

Za zbarvení masa lososů je zodpovědný astaxantin, který se do svaloviny dostává z přirozené potravy nebo v případě umělých chovů z doplňků krmiv

lépe vstřebatelnou formou je selen vázaný na organické molekuly, především sirné aminokyseliny (selenomethionin a selenocystein).

Další velice zajímavou složkou řasové biomasy je takzvaný ***Chlorella* růstový faktor** (Chlorella Growth Factor, CGF), který se získává horkovodní extrakcí. Tento komplex převážně organických látek je jednou z nejzajímavějších složek zelené řasy *Chlorella*. Pozitivní účinky CGF na růst a hojení tkání byly popsány již v polovině padesátých let 20. století v Japonsku. Dnes víme, že jde o směs aminokyselin, nukleových kyselin, sacharidů, minerálních látek, vitamínů a dalších stále nově popisovaných substancí z biomasy *Chlorelly*. Z tohoto hlediska se označení CGF považuje spíš za komerční název než název jedné konkrétní komplexní sloučeniny. Komplex CGF příznivě ovlivňuje hladinu sérových a jaterních lipidů, cholesterolu a glykogenu v krvi. Působí příznivě při léčbě alergií, chorob trávicího ústrojí, při prevenci stresových stavů. Mezi lékařské aplikace patří jeho využití pro léčení trofických a bércových vředů, ekzémů, popálenin a špatně se hojících ran, při němž podporuje granulaci a epitelizaci tkání. Ve veterinární medicíně se využíval jako imunostimulans.

Obecně lze konstatovat, že pravidelná konzumace řasové biomasy přispívá k udržování acidobazické rovnováhy narušované konzumací velkého množství kyselinotvorných potravin (maso a masné výrobky, mléko a mléčné výrobky, cukr a cukrářské výrobky). Obsažená **rozpustná vláknina** je stravitelná pouze ve velmi omezené míře, a proto zvyšuje pocit nasycenosti žaludku. Osm gramů suché řasové biomasy dodává přibližně osminu doporučené denní dávky vlákniny.

Doplněk krmných směsí

Řasová biomasa jako součást krmných směsí pro různá zvířata výrazně zlepšuje jejich celkový zdravotní stav, vitalitu a reprodukční schopnosti. Použití celkové řasové biomasy může mít i výrazný pozitivní finanční efekt, především pro malé soukromé farmy zabývající se chovem různých zvířat (telat, prasat, psů, kožešinových zvířat, akvarijních rybiček, atd.).

Největším odběratelem řasových biotechnologií nebo přímo konečných produktů je akvakultura, tedy chov vodních živočichů určených pro lidskou konzumaci (ryby, korýši, měkkýši). Využití řasové biomasy se ubírá v zásadě dvěma směry.

Prvním směrem je využití na karotenoidy bohaté biomasy (případně přímo extraktů) pro zlepšení pigmentace masa těch druhů ryb, které v přírodním prostředí loví potravu bohatou na karotenoidy a jejichž maso má přirozeně „lososovou“ nebo červenou barvu.

Řada lososovitých ryb, mořanů, chňapalů nebo korýšů dostupných na světovém trhu pochází z akvakultur, kde jsou krmeny speciálními krmivy. Jejich přirozená potrava je bohatá na karotenoidy. Jejich maso, kůže, šupiny nebo krunýř jsou pak typicky červené nebo oranžové a trh také takovou barvu očekává. Přirozené barvy ryb, masa nebo krunýřů je v umělých chovech dosaženo přídavkem karotenů ke konci produkčního cyklu. Karotenoidy mohou být buď syntetické, nebo přírodní. Vzhledem k ceně se pochopitelně nejvíc využívají syntetické karotenoidy, z přírodních zdrojů se využívá odpad po zpracování některých korýšů, jejichž krunýř obsahuje vysoké množství astaxantinu. Ale ani korýši neumějí produkovat astaxantin a jeho primárním zdrojem jsou mikroskopické řasy. Biomasa mikrořas obsa-

Na lesklé a zdravé srsti se podílí vitamín H neboli biotin, který je obsažen v biomase mikrořas

huje vysoké množství karotenů a pigmentů potřebných pro vybarvení zmíněných ryb, především tzv. sekundárních karotenoidů, jakými jsou echinenon, kantaxantin a astaxantin. Ve srovnání se syntetickými pigmenty standardně přidávanými do krmných směsí byla prokázána výrazně vyšší biologická účinnost přírodních karotenoidů. Požadovaného účinku je dosaženo doplněním krmné dávky již o 0,5–1 % řasové biomasy přimíchané přímo do krmiva (losos, pstruh duhový nebo okrasné ryby). Krmivo obohacené řasovou biomasou navíc zlepšuje kondici ryb. I ztráta pigmentace po vysazení krmné dávky je v případě využití řasových doplňků významně nižší než u synteticky vyrobených karotenů. Kromě toho přídavek řas do krmiva vede k výraznému zlepšení chuti masa a jeho kvalitativních parametrů, jako je obsah tuků, vitamínů a ω-3 mastných kyselin. Nevýhodou je pochopitelně vyšší cena přírodního karotenoidu.

Druhou variantou využití mikrořas ve výživě ryb je začlenění živých nebo sušených mikrořas do potravního řetězce ryb (fytoplankton, tj. mikrořasa – zooplankton – ryby), čehož se využívá při odchovu plůdku komerčně chovaných ryb. Sušená řasová biomasa je součástí krmných granulí pro vysoký obsah bílkovin, aminokyselin, nenasycených mastných kyselin. Řada druhů komerčně chovaných ryb je v larválním stadiu závislá přímo na konzumaci mikroskopických řas nebo na drobném zooplanktonu (vířnících, žábronožkách, klanonožcích), jejichž potravou jsou mikroskopické řasy. Dá se říci, že současná intenzivní akvakultura se bez mikroskopických řas neobejde.

Specifickou oblastí jsou krmné směsi pro okrasné a výrazně zbarvené akvarijní ryby, jejichž červené nebo oranžové zbarvení závisí na karotenoidech v potravě, a je tedy ovlivnitelné podobně jako maso u lososů. Vedle přirozeného zbarvení může přídavek řasové biomasy do krmení těchto zvířat zvyšovat plodnost a snižovat úmrtnost a podporuje celkovou odolnost organismu.

Další perspektivní aplikací celkové biomasy mikrořas je oblast „pet-food“, krmiv pro domácí zvířecí miláčky. Již poměrně nízké koncentrace řasového doplňku do krmiv mají pozitivní účinky na srst, imunitu, růst, chuť k jídlu. Z vlastní mnohaleté zkušenosti můžeme potvrdit zájem chovatelů psů o chlorellovou biomasu v případech rekonvalescence po operacích, ke zlepšení srsti před výstavami, před připouštěním. Specifické je použití mikrořas jako zdroje ω-3 mastných kyselin u speciálních krmiv pro staré psy. V neposlední řadě je řasová biomasa snadno stravitelný zdroj proteinů, lipidů, organicky vázaných minerálů a stopových prvků, vitamínů, karotenů a antioxidantů a jiných podpůrných látek. Z řasových extraktů se již několik let vyrábí několik preparátů, které zlepšují zdravotní stav mladých zvířat a snižují jejich úmrtnost.

Podobných výsledků se dosahuje přídavkem řasové biomasy do krmiv pro hospodářská zvířata. Výsledkem je zvýšení kvantity a kvality mléka, zvýšený obsah tuků obsahujících polynenasycené mastné kyseliny v másle, výrazné prodloužení ekonomické výhodnosti laktace, předcházení, redukce až eliminace osteoporózy a degenerativních stavů a zrychlení hojení mastitidy, redukce výskytu encefalopatie.

Z hospodářských zvířat, při jejichž chovu se uplatňuje řasová biomasa, je bezesporu nejvýznamnější chov drůbeže. Na světě je více kuřat než jakéhokoliv jiného ptactva, více než 50 miliard kuřat ročně je chováno jako zdroj potravin (údaj ciwf.org.uk). Obsáhlé analýzy a nutriční studie prokázaly, že řasová biomasa ob-

sahuje bílkoviny, které jsou vysoce kvalitní a srovnatelné s běžně používanými krmivy, a proto může být až do výše 5–10 % použita jako částečná náhrada za konvenční proteiny. Bylo též zjištěno, že hladina cholesterolu ve vaječném žloutku se po podávání řas snížila přibližně o 10 % za současného zlepšení barvy vaječného žloutku. Přídavek řasové biomasy do krmiva zvyšuje vedle kvantity i kvalitu vajec, která jsou zdravější, chutnější a s lepším vzhledem, zvyšuje ukládání vápníků a sílu vaječné skořápky, prodlužuje období snůšky, výrazně zlepšuje chuť masa, snižuje mortalitu, předchází, redukuje až eliminuje osteoporózu a degenerativní stavy.

Barva vaječných žloutků závisí na obsahu karotenoidů (foto: P. Goyette)

Potraviny pro budoucnost

Již v šedesátých letech se v Třeboni začalo s kultivací mikrořas, jejímž cílem byla produkce biomasy pro lidskou výživu, později pak jako potravní a krmné doplňky pro zlepšení fyzické kondice. Významným okamžikem bylo vyslání „třeboňské" *Chlorelly* do vesmíru v roce 1978 v rámci programu Interkosmos. Od devadesátých let se třeboňská *Chlorella* objevuje v řadě výrobků, vyráběly se kosmetické přípravky z *Chlorelly* (např. firma Dihé, s. r. o.), dosud se vyrábí přípravky pro zdravou výživu (např. UniLact, HM Harmonie, s. r. o.), třeboňské lázně začlenily procedury s *Chlorellou* do svých wellness programů.
V roce 2011 získalo pracoviště podporu z operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace a stalo se významným regionálním centrem excelentního výzkumu a vývoje, dnes známým jako Centrum ALGATECH. Tento projekt pokračuje jako Algatech Plus v Národním programu udržitelnosti.
V současné době se pracoviště zapojuje do programu **Potraviny pro budoucnost** v rámci Strategie AV21. Jde o přelomový projekt Akademie věd České republiky, který vznikl v roce 2015. Jak už motto „Špičkový výzkum ve veřejném zájmu" napovídá, jeho cílem je řešit problémy a výzvy, kterým čelí současná společnost. Strategie AV21 zahrnuje celkem patnáct výzkumných programů.
Program Potraviny pro budoucnost reaguje na významný společensko-ekonomický problém, kterým je riziko celosvětového nedostatku potravin, jejich kvalita, vliv na zdraví člověka a efektivita produkce. Program využívá multidisciplinární přístupy a nejmodernější technologie, které mohou přispět nejen k vyšší efektivitě šlechtění, k lepšímu využití cenných látek či mikrořas, ale v konečném důsledku i k prevenci některých nemocí trávicího traktu či k omezení plýtvání potravinami. Programu se účastní špičková výzkumná pracoviště ústavů AV ČR, která spolupracují s významnými univerzitními a rezortními pracovišti. Nové poznatky využijí například šlechtitelé, podniky zabývající se produkcí a zpracováním rostlinných a živočišných potravin, státní správa, neziskové či pacientské organizace.

Výzkumný program Potraviny pro budoucnost je zaměřený na:
- získávání nových poznatků o dědičné informaci rostlin, které pomohou při šlechtění odolnějších a kvalitnějších plodin;
- molekulární technologie pro šlechtění hospodářských zvířat, produkci, zpracování a využití potravin živočišného původu;
- prevenci nemocí trávicího traktu, především s ohledem na vliv lepku i probiotik na zdraví člověka;
- lepší využití mikrořas v potravě a vývoj řasových biotechnologií;
- výzkum cenných látek rostlinného i živočišného původu a jejich využití;
- hledání nových biotechnologických postupů, které by umožnily zpracování přírodních materiálů i bioodpadů;
- hledání příčin toho, proč lidé plýtvají potravinami, s cílem přispět k omezení těchto ztrát.

Zúčastněná pracoviště AV ČR:
Ústav experimentální botaniky
Ústav živočišné fyziologie a genetiky
Mikrobiologický ústav
Ústav chemických procesů
Sociologický ústav.

Po první publikaci *Mikrořasy - solární továrna v jedné buňce* přicházejí pracovníci Mikrobiologického ústavu AV ČR, v. v. i., Centra ALGATECH v Třeboni s další publikací, která se zabývá mikroskopickými řasami a sinicemi.

Mikroskopické řasy a sinice nacházejí stále větší uplatnění ve výživě, ale i v krmivářství. Tato publikace přináší ucelený přehled o účinných látkách mikrořas i o působení řasové biomasy jako celku. Autoři se věnují jednotlivým skupinám aktivních látek: proteinům, aminokyselinám, lipidům, vitamínům, sacharidům, jejich charakteristice i fyziologickým účinkům v organismu. Druhá část publikace se věnuje využití řasové biomasy ve výživě člověka i jako doplňku krmných směsí pro hospodářská a domácí zvířata.

Centrum ALGATECH Mikrobiologického ústavu AV ČR, v. v. i., vzniklo v Třeboni již před 55 lety a po celou dobu se věnuje studiu mikroskopických řas z pohledu genetiky, fyziologie, biochemie a biotechnologie.

V EDICI VĚDA KOLEM NÁS PŘIPRAVUJEME:
M. Tučková: **Pamětní místa na komunistický režim**
Jan Vít: **Jan Patočka**
P. Soudek, R. Podlipná, Š. Petrová, P. Landa, T. Vaněk: **Fytoremediace a možnosti její aplikace**

DOSUD VYŠLO:
J. Masojídek, R. Lhotský, J. Kopecký, O. Prášil: **Mikrořasy – solární továrna v jedné buňce**
Věra Exnerová: **Demokracie na rozcestí: Čína, Střední Asie a Blízký východ**
Marie Makariusová: **Biografický slovník českých zemí**

Edice Věda kolem nás | Výzvy a otázky
Aktivní látky mikrořas ve výživě | Jiří Kopecký, Richard Lhotský, Jindřiška Paichlová

Vydalo Středisko společných činností AV ČR, v. v. i. Grafická úprava dle osnovy Jakuba Krče a sazba WOW, spol. s r. o. Odpovědná redaktorka Petra Královcová. Vydání 1., 2017. Ediční číslo 12159. Tisk WOW, spol. s r. o., Washingtonova 1567/25, 110 00 Praha 1.

ISSN 2464-6245
Evidováno MK ČR pod e. č. E 22344

Další svazky získáte na:
www.vedakolemnas.cz | www.academiaknihy.cz | www.eknihy.academia.cz