

Mikrořasy – solární továrna v jedné buňce



Akademie věd
České republiky

věda 45

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 m²) 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 či 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.

Řasové biotechnologie – cesta k produkci vysoce kvalitní a cenné rostlinné biomasy

První rozmach řasových biotechnologií nastal v padesátých letech minulého století. Tehdejší poznatky byly shrnuty do „bible“ řasových biotechnologií *Algal culture: from laboratory to pilot plant*, kterou editoval John S. Burlew v r. 1953. V šedesátých letech bylo hlavním cílem vyvinout technologie, které by zajistily produkci biomasy mikrořas jako náhradu jiných zdrojů bílkovin v obavě z možné potravinové krize. Druhá vlna zvýšeného zájmu o mikrořasy nastala v sedmdesátých až osmdesátých letech minulého století, kdy se začaly rozvíjet velkoobjemové produkce různých kmenů mikrořas, většinou v otevřených nádržích, pro přípravu potravních doplňků a krmiv (kultivace mikrořasy *Chlorella* v Japonsku nebo mikrořasy *Spirulina* v Mexiku, USA, Thajsku, Jihoafrické republice a Číně) a dalších cenných produktů (např. kultivace *Haematococcus* pro astaxantin na Havaji nebo mikrořasy *Dunaliella* pro β -karoten v Austrálii).

Mikrořasy rostou ve vodním prostředí, které se dá dobře kontrolovat a upravovat. Husté produkční kultury mikrořas (obvykle > 0,5 g biomasy na litr) jsou řízeně připravené, dobře míchané suspenze buněk, pěstované za vhodných růstových podmínek s dostatečnou výživou a výměnou plynů. Představují proto, z hlediska biotechnologie, ideální, vysoce produkční solárně-biologickou „továrnu“. Přestože

Co jsou mikrořasy?

Označení „mikrořasy“ se obvykle používá v biotechnologiích v nejširším smyslu slova pro prokaryotní sinice i eukaryotní řasy – jednobuněčné i vláknité kmeny, jejichž velikost je v řádu mikrometrů. V tom se liší od makrořas (česky se obvykle nazývají chaluhy) rostoucích především v mořích, jejichž stélky dosahují délky až několika metrů. Nejmenší známou mikrořasou je jednobuněčná mořská sinice *Prochlorococcus*, která má v průměru méně než 1 mikrometr.

Mikrořasy reprezentují nejstarší mikroorganismy, které – před více než 2,5 miliardami let – začaly tvořit kyslíkatou atmosféru Země. Vyvinuly se v rozmanitou skupinu vodních i půdních druhů s nezpochybnitelnou ekologickou důležitostí, jejichž rozšíření je neuvěřitelné: vyskytují se ve všech hlavních ekosystémech od chladných polárních oblastí přes extrémně kyselé, alkalické nebo salinní prostředí až po horké prameny a pouště. Mikrořasy provozují fotosyntézu a metabolické pochody podobně jako vyšší rostliny, ale mají podstatně vyšší rychlost růstu díky větší účinnosti fotosyntézy, velmi krátkým reprodukčním cyklům, jednoduché buněčné struktuře s malými nároky na vedlejší metabolické funkce a konkurenční fyziologické procesy (např. vývoj podpůrného aparátu, kvetení, vývoj plodů, atd.).

Přírodní mikrořasy, fytoplankton, tvoří základ potravního řetězce. Rostou ve sladkovodních nádržích, tekoucích vodách a především mořích, kde jsou odpovědné za téměř polovinu globální primární fotosyntetické produkce. Výsledkem široké fyziologické různosti druhů mikrořas je produkce biomasy s obsahem nejrůznějších cenných látek (tabulka 1). Mikrořasy jsou jejich jedinečným zdrojem – od surové biomasy bohaté na bílkoviny, oleje, polysacharidy a antioxidanty až po cenné sekundární metabolity s potenciálním využitím v medicíně.

se v masových algakulturách pěstuje řada druhů pro nejrůznější účely, většina světové produkce biomasy mikrořas (více než 35 000 tun) pochází jen z několika rodů (*Arthrospira*, *Chlorella*, *Dunaliella*, *Nannochloropsis* a *Haematococcus*).

Za posledních 60 let přinesly řasové biotechnologie řadu aplikací – od tradiční produkce biomasy pro lidskou a zvířecí výživu přes půdní aplikace v zemědělství, technologie pro čištění odpadních vod, produkty pro kosmetiku a farmacii až nejnověji po zdroje biopaliv „třetí“ generace. Od prvního desetiletí tohoto století přebírá svou roli genetické inženýrství: nadprodukce určitých látek lze dosáhnout buď vnesením určitého genu (DNA) do jiného, produkčního mikroorganismu nebo jsou cíleně „vylepšovány“ již známé kmeny.

Oxygenní fotosyntéza

Fotosyntéza představuje jedinečný proces, ve kterém fototrofní organismy (rostliny a mikrořasy) přeměňují světelnou energii na jinou formu energie (chemickou), uloženou v biomase; zároveň se uvolňuje kyslík.

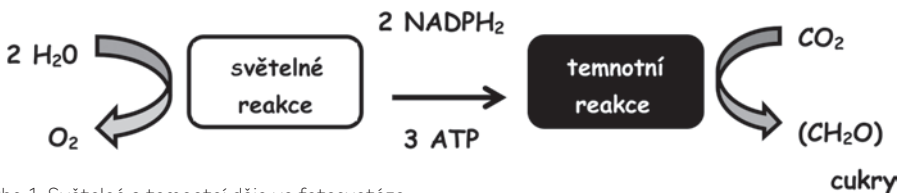
$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{živiny} + \text{světelná energie} \rightarrow \text{biomasa} + \text{O}_2 + \text{přebytečné teplo}$ [1]

Prakticky všechny formy života na Zemi závisí přímo či nepřímo na fotosyntéze jako zdroji biomasy, kyslíku a energie pro metabolismus a růst. Také fosilní paliva jsou produktem dávné fotosyntézy. Vedlejším, ale zároveň navýsost důležitým produktem fotosyntézy je molekulární kyslík, který podmínil vznik kyslíkaté atmosféry a následně existenci většiny současných forem života na Zemi. Nezanedbatelná část energie se také vyzáří jako teplo.

Oxygenní fotosyntéza je anabolický proces, který lze vyjádřit jako redoxní reakci, poháněnou světelnou energií (fotony), v němž jsou oxid uhličitý a voda přeměněny na jednoduché cukry a kyslík. Zjednodušená rovnice fotosyntézy se dá sumárně vyjádřit jako:

$6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} + \text{světlo} \rightarrow 6 \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{O}_2$ [2]

Proces fotosyntézy má dvě fáze – světelnou a temnotní (obr. 1) – a dohromady se skládá z několika desítek jednotlivých reakcí. Ve světelné fázi je světelná energie zachycena fotosyntetickými membránami a přeměněna na chemickou energii, která je vázána ve vysokoenergetické sloučenině adenosin trifosfátu (ATP) a vzniká biochemický reduktant, nikotinamid adenin dinukleotid fosfát (NADPH_2). Obě látky jsou ihned použity v těsně navazující tzv. temnotní reakci, která probíhá mimo thylakoidy, ve stromatu, a NADPH_2 a ATP jsou využity v biochemické redukcí CO_2 na jednoduché tříuhlíkaté sloučeniny a následně na cukry.



Obr. 1. Světelné a temnotní děje ve fotosyntéze

Substráty této multienzymové reakce jsou voda a oxid uhličitý, meziprodukty jsou reduktant NADPH_2 a vysokoenergetická sloučenina ATP. Primárními produkty fotosyntézy jsou kyslík a jednoduché cukry. Zdrojem energie je sluneční záření, které je uchováno jako chemická energie

Mikrořasy v dobrém i ve zlém

Přírodní populace mikrořas byly v různých civilizacích odedávna využívány jako potravní doplňěk i léčebný prostředek. Po staletí byly sklizeny vodní květy sinice *Spirulina* (nyní označované jako *Arthrospira*) v prostředí alkalických jezer v zemích, jako je Mexiko, a používány jako potravní doplňěk. Vysušená biomasa sinice sbíraná z povrchu jezera Texcoco byla pod jménem *tecuitlatl* prodávána na aztéckých trzích v Mexiku, jak popsali v 16. století španělští conquistadoři. „Koláčky“ sušené biomasy jsou dodnes známé od afrických jezer v Čadu pod jménem *dihé*. Tisíce tun přirozeně rostoucí populace *Spiruliny* jsou sklizeny z alkalických jezer v Barmě, stejně jako populace *Aphanizomenon flos-aquae* z jezera Klamath v Oregonu, a jsou využívány ke komerční produkci biomasy.

Po mnoho staletí, snad i tisíciletí, je v některých středoasijských a východoasijských zemích konzumována vláknitá sinice rodu *Nostoc* jako dietní doplňěk. Biomasa obsahuje nejen bílkoviny a jiné výživné látky, ale i řadu sloučenin, které mají antibakteriální, antivirové a protinádorové aktivity.

Eutrofizace (přebytek živin) povrchových vod je však příčinou nepříjemného jevu, jakým je rozvoj tzv. „vodních květů“ mikrořas. Dochází k němu důsledkem lidské činnosti při znečištění povrchových nádrží průmyslovými nebo komunálními odpadními vodami, splachy ze zemědělské půdy nebo hnojením rybníků. Masivní rozvoj vodních květů představuje ekologický problém, protože snižují kvalitu vody a zhoršují životní prostředí. Pokud pomíneme nepříjemný vzhled a zápach při rozkladu mrtvé biomasy, vzniká v mnoha případech i riziko pro lidské zdraví v důsledku toxických vodních květů. Přemnožené vodní květy mohou způsobit různé alergické reakce, nevolnost či bolesti hlavy. Např. běžná sinice našich vod tvořící vodní květy, *Microcystis*, je zároveň jednou z nejnebezpečnějších, protože produkuje toxin mikrocystin, poškozující játra teplokrevných živočichů.

Řasové biotechnologie

Biologické principy a technologie pěstování mikrořas

Ze vztahu [1] vyplývá, že fotosyntetická produktivita řasových kultur je ovlivněna především světelným režimem. Množství fotonů zachycené jednou buňkou je kombinací několika faktorů: intenzity světla, hustoty buněk, tloušťky vrstvy kultury a intenzity míchání. Maximální možná intenzita viditelného světla na povrchu Země je zhruba pětkrát až desetkrát vyšší (asi 2000 μmol [fotonů]. $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, odpovídá asi 400 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) než je potřebné pro nasycení fotosyntézy. Proto může být až 90 % zachyceného viditelného světla disipováno (nevratně ztraceno) jako teplo, aby nedošlo k přehlcení/poškození fotosyntetického aparátu. Byly navrženy různé způsoby, jak světelnou energii při řízených kultivacích mikrořas co nejúčinněji využít, např. nastavením ideální hustoty buněk a intenzity míchání, konstrukcí vhodných kultivačních zařízení a výběrem kmenů s účinnější fotosyntézou. Jde o to nastavit celý systém tak, aby bylo co nejvíce využito vhodné osvětlení, protože účinnost fotosyntézy je maximální při nižších ozářenínostech pod saturačním bodem (200–400 μmol [fotonů]. $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Krátká dráha světla v kombinaci s vysokou hustotou buněk a intenzivní turbulencí vyvolává intermitentní světelný režim,

tzň., že v husté kultuře dochází vlivem intenzivního míchání buněk k rychlému střídání režimu světlo/tma v cyklech desítek až stovek milisekund (frekvence 10–100 Hz). Experimentálně bylo dokázáno, že takové intermitentní osvětlení zvyšuje účinnost fotosyntézy (a produkci biomasy), protože tyto frekvence odpovídají rychlostem obratu enzymů fotosyntetického aparátu.

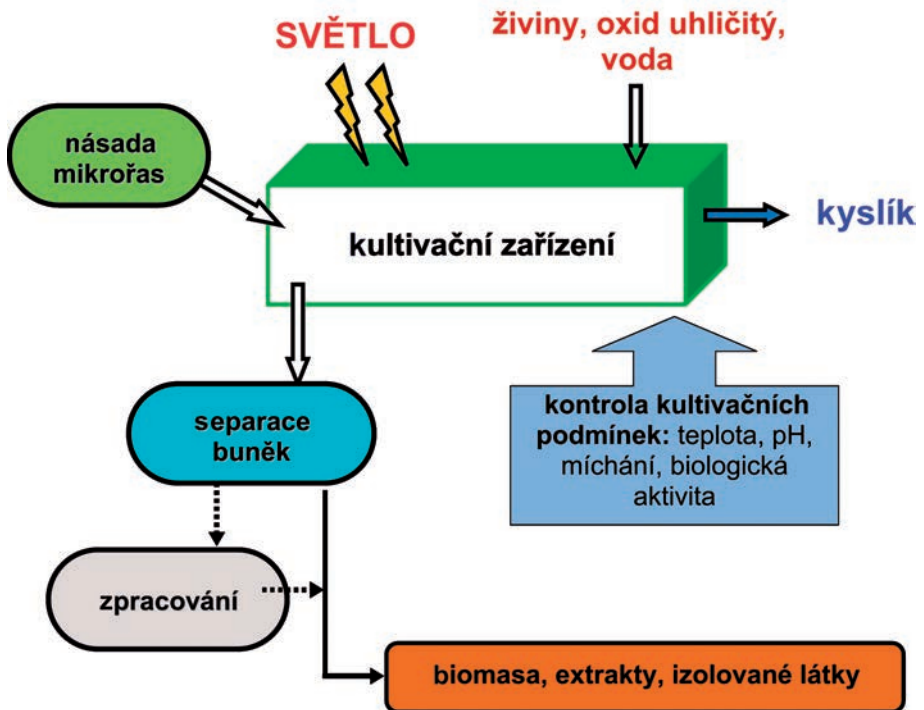
Husté, dobře míchané kultury mikrořas (algakultury) představují umělý systém, který se využívá pro produkci biomasy. Je zcela odlišný od řídké populace fytoplanktonu v přírodě. Husté umělé algakultury mají obvykle dostatečnou ozáření buněk, optimální výživu a výměnu plynů (O_2/CO_2), suspenze jsou homogenní, dobře míchané, s hustotou buněk o několik řádů vyšší než mají populace fytoplanktonu v přírodních podmínkách. Kultury mikrořas mají proto větší toleranci k vysoké ozáření a dosahují vysoké účinnosti přeměny sluneční energie na biomasu.

Ve srovnání s vyššími rostlinami mají mikrořasy několik předností: rychlý a kontrolovatelný růst (životní cyklus je obvykle jeden den), možnost kultivace v mořské nebo brakické vodě, která je nepoužitelná pro normální zemědělství, a kontinuální produkci s možností sklizně a zpracování v pravidelných intervalech. Pro produkční kultivace je možné využít i některé komunální a průmyslové plynné nebo kapalné odpady, které mohou být zdrojem oxidu uhličitého, dusíku, fosforu nebo tepla. Takto napěstovaná biomasa není pochopitelně určena ke konzumaci, ale je možné ji využít průmyslově (např. při produkci paliv). Mikrořasy poskytují také možnost kultivace na zemědělsky nevyužitelných územích nebo v průmyslových a městských areálech, kde nebudou konkurovat potravním plodinám.

Kultivační postupy

Při fototrofní kultivaci mikrořas je možné využít přirozené (sluneční) nebo umělé světlo. Sluneční energie je zdarma, ale závisí na denním cyklu, povětrnostních podmínkách, ročním období a volbě lokality. Kromě světla se při vlastní kultivaci mikrořas uplatňuje také celá řada dalších, vzájemně provázaných proměnných, ovlivňujících celkovou produktivitu systému. Obecně jsou všechny systémy používané pro kultivaci mikrořas založeny na dostatečné cirkulaci (míchání) kultur, aby nedocházelo k jejich usazování. Buňky jsou tak dostatečně vystaveny světlu a nestíní si navzájem. Intenzivním mícháním je zajištěn také dostatečný přísun živin (především dusíku a fosforu, stejně jako dalších prvků), regulace kultivační teploty (obvykle 25–35 °C) a výměna plynů (dodávka CO_2 jako zdroje uhlíku a odvětrání O_2 vzniklého fotosyntézou, obr. 2). Při pěstování hustých produkčních kultur je klíčovou podmínkou dodatečný přísun CO_2 , protože jeho přirozená koncentrace ve vzduchu (< 0,04 ppm) je o řád nižší, než je třeba.

Pro kultivaci mikrořas se používají dva základní kultivační režimy: vsádkový a kontinuální. Ve vsádkovém režimu se kultura nasadí a po určitém období růstu je v jednom okamžiku celá sklizena a zpracována. V kontinuálním režimu se kultura sklízí průběžně podle rychlosti růstu a čerstvé živinové médium nahrazuje spotřebované živiny. V praxi se obvykle používá kombinace obou přístupů, semikontinuální režim, což znamená, že jen část kultury je v určitých intervalech odebrána a zpracována.



Obr 2. Schéma pěstování mikrořas a zpracování biomasy

Algakultura mikrořas je pěstována v osvětlené kultivační jednotce v živném médiu s dodávkou CO_2 . Během kultivace je nutné odstranit kyslík vznikající při fotosyntéze. Při sklizni jsou buňky odděleny od média a zpracovány. Biomasu lze použít jako doplněk stravy nebo krmivo, případně pro biorafinaci, kdy z biomasy získáváme komplexním zpracováním především cenné látky s vysokou přidanou hodnotou a zbytek se následně využívá jako biopalivo, potravinu, krmivo, hnojivo nebo zdroj chemických látek

Světlo jako nejdůležitější substrát

Využití přirozeného slunečního záření snižuje investice do zdrojů světla a náklady provozu v řadě velkých venkovních i skleníkových kultivací mikrořas. Nicméně pro některé komerční kultivace ve velkoobjemových skleníkových fotobioreaktorech se využívají také umělé zdroje světla, buď jako dodatečné osvětlení (firma Salata GmbH, Thüringen, Ritschenhausen, SRN), nebo dokonce jako výlučný zdroj světla v uzavřených fotobioreaktorech v biotechnologických halách, např. při kultivaci zelené mikrořasy *Haematococcus* pro získávání karotenoidu astaxantinu (firma AstaReal AB, Gustavsberg, Švédsko). Vyšší náklady jsou ovšem také vyváženy vyšší cenou konečného výrobku.

Z hlediska osvětlení kultur je důležitý poměr ozářeného povrchu k celkovému objemu suspenze. Čím vyšší je tento poměr, tím lepší je předpoklad dosažení vysoké produktivity. Je logické, že vyšší produktivity je dosaženo v dobře míchaných zařízeních pracujících při menší tloušťce vrstvy suspenze, protože ta podmiňuje krátké cykly světlo/tma, kterým jsou buňky vystaveny při růstu. Pro dané zařízení je nutné nastavit optimální hustotu buněk, aby bylo dosaženo nejvyšší fotosyntetické účinnosti.

Úspěšná kultivace vyžaduje také sledování kultivačních podmínek, především světla, teploty, pH, koncentrace rozpuštěného CO_2 a kyslíku a množství živin. Důležitá je i mikroskopická kontrola stavu kultury. Výskyt bakteriálních i jiných kontaminací může znamenat, že kultura není zdravá, a představuje jedno z hlavních omezení pro produkční kultivace mikrořas.

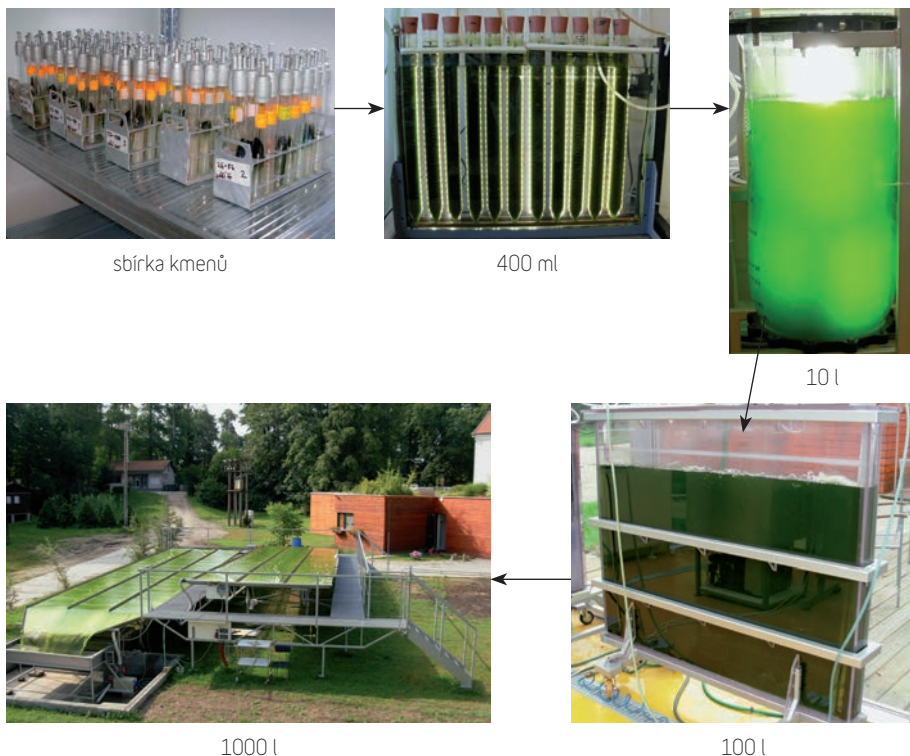
Fotosyntetické monitorovací metody slouží k nastavení optimálních podmínek pro růst mikrořas (a produkci biomasy), nebo naopak k nastavení stresových podmínek pro indukci syntézy cenných sekundárních metabolitů (karotenoidů, škrobu, olejů). Koncentrace rozpuštěného kyslíku je považována za spolehlivý a citlivý ukazatel fotosyntetické aktivity kultur mikrořas. Od devadesátých let se stala fluorescence chlorofylu jednou z nejpoužívanějších metod pro sledování fyziologického stavu kultur mikrořas díky citlivosti a snadnosti měření, stejně jako rychlosti získání výsledků.

Obr. 3. Laboratorní kultivace mikrořas v různých objemech od 0,5 do 2 litrů
Kultivační nádoby jsou osvětleny, temperovány a míchány bubláním směsí vzduchu s 1-2 % CO_2



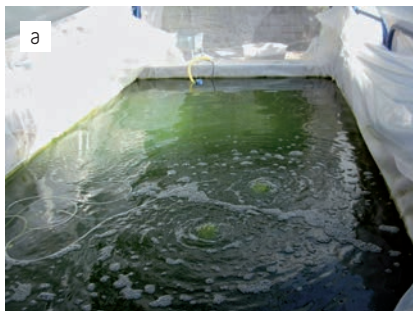
Kultivační zařízení

Startovní kultura, tzv. *násada* nebo *inokulum*, se obvykle připravuje v laboratoři. Nejjednodušším zařízením pro její přípravu jsou osvětlené skleněné láhve nebo válce umístěné ve vodní lázni a bublané směsí vzduchu s CO_2 , o objemech 0,5–10 litrů (obr. 3). Teprve pak se kultura přenesení do venkovních zařízení. Rozpěstování inokula z malého objemu až do venkovní velkoplošné kultivace je několikastupňový proces a trvá několik týdnů (obr. 4). Jednotlivé kroky kultivace znamenají vždy naředění kultury asi o jeden řád, aby nedošlo ke světelnému šoku, který by mohl vést ke ztrátě kultury. Minimální koncentrace biomasy ve venkovní kultivaci, aby nedocházelo k fotoinhibici, odpovídá asi $5\text{--}10\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ($\sim 100\text{--}200\text{ mg}$ chlorofylu na m^2).



Obr. 4. Postup rozpěstování startovní kultury (inokula) mikrořas od monokultury buněk udržovaných ve sbírce na agaru přes laboratorní válcové a panelové fotobioreaktory až k venkovní kultivaci na kaskádě s plochou 90 m^2 o objemu 600–1000 litrů

Pro pěstování produkčních kultur mikrořas byla navržena řada kultivačních systémů a technologií s využitím přirozeného i umělého osvětlení. Pro každé kultivační zařízení je nutné zvážit několik základních parametrů, kterými jsou: osvětlení, teplota, míchání/cirkulace, výměna plynů (dodávka CO_2 / odstraňování O_2), použitý materiál a čištění. Volba vhodného systému a režimu pěstování pak musí



Obr. 5. Příklady otevřených venkovních systémů pro kultivaci mikrořas, které mohou být rozšířeny do velkých produkčních závodů

- (a) Mělká zděná nádrž vyložená plastovou fólií (osvětlená plocha 10 m², hloubka 10 cm), která je míchána bubláním směsí vzduchu a CO₂; Centre for Aquaculture, University of Naples Federico II, Portici, Itálie (foto J. Masojídek)
- (b) Kulatá nádrž míchaná rotujícím ramenem s bubláním směsí vzduchu (+CO₂) (osvětlená plocha 1 m², hloubka 10 cm, objem 100 l); Institute for Ecosystem Study of the CNR, Sesto Fiorentino, Itálie (foto J. Masojídek)
- (c) Oběžný náhon míchaný lopatkovým kolem (osvětlená plocha 60 m², hloubka 30 cm, objem 1800 l); National Mariculture Center, Oceanographic & Limnological Research v Eilat, Izrael (foto J. Masojídek)
- (d) Kaskády nakloněných ploch s tenkou vrstvou suspenze (< 1 cm), která cirkuluje pomocí čerpadla (osvětlená plocha 650 m², celkový objem 6500 l), Mikrobiologický ústav AV ČR, v. v. i., v Třeboni (foto archiv MBÚ)

Fotobioreaktor

Výraz „fotobioreaktor“ se dnes v řasových biotechnologiích obvykle používá především pro uzavřené nebo polouzavřené systémy, kde není přímý kontakt mezi kulturou mikrořas a atmosférou. Na rozdíl od otevřených systémů – míchaných nádrží, oběžných náhonů nebo kaskád – je kultura mikrořas ve fotobioreaktorech chráněna před povětrnostními vlivy, a tak je možno lépe kontrolovat kultivační podmínky a kontaminaci a lze dosáhnout podstatně vyšší sklizňové hustoty i produktivity biomasy než v otevřených nádržích. Zdrojem světla pro fotosyntetický růst je buď slunce, nebo umělé zdroje světla (žárovky, zářivky, výbojky a v současnosti převážně světlo emitující diody). Osvětlenou část fotobioreaktoru tvoří např. horizontálně či vertikálně umístěné trubice nebo panely, v nichž obíhá kultura mikrořas. Fotobioreaktory jsou vyrobeny z průhledných plastů nebo skla. Z důvodů údržby a obsluhy jsou fotobioreaktory pro komerční produkci obvykle navrženy jako moduly.

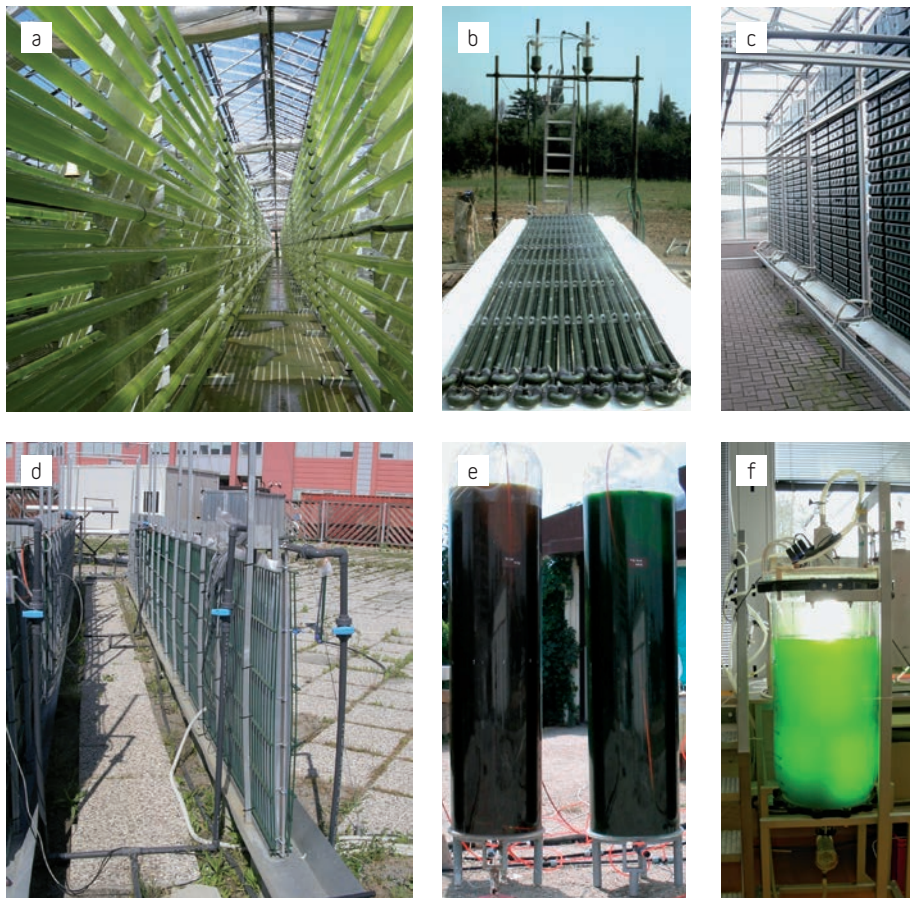
být vypracována speciálně pro každý produkční kmen, protože univerzální kulti-vační systém neexistuje.

Existují dva základní biotechnologické postupy, které se používají pro kultivaci mikrořas: prvním je pěstování v otevřených nádržích, které mají plochy až v řádu stovek hektarů; druhý způsob představují uzavřené systémy – fotobioreaktory nebo fermentory.

Otevřené kulti-vační systémy

V otevřených systémech – což jsou přírodní či umělé nádrže, oběžné náhony nebo kaskády nakloněných ploch – mají kultury mikrořas přímý kontakt s okolním prostředím. Tyto systémy jsou konstrukčně jednodušší i provozně levnější než fotobioreaktory a slouží k produkci velkých množství biomasy. Podle místních požadavků a klimatických podmínek se používají různé varianty těchto zařízení vyrobených z různých inertních materiálů (beton, PVC, laminát, nerezová ocel). Míchání je zajištěno oběžnými čerpadly, rotujícími rameny, lopatkovými koly nebo bubláním vzduchem. Velká hloubka suspenze (10–30 cm; poměr ozářeného povrchu k celkovému objemu je obvykle < 10) způsobuje nízkou průměrnou ozářenost buněk a nedostatečné míchání. Kultury v otevřených systémech jsou většinou pěstovány při nízké koncentraci biomasy v rozmezí 0,5–1 g biomasy na litr a produktivita biomasy je zpravidla nízká ($\sim 1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$) vzhledem k omezenému míchání a nedostatku světla v hlubších vrstvách suspenze. Výhodou je, že tyto systémy vykazují především nízké náklady na produkci biomasy, téměř se nepřehřívají, umožňují snadný odvod vznikajícího kyslíku a jejich obsluha je relativně jednoduchá. Otevřené systémy jsou vhodné pro rychle rostoucí kmeny nebo ty, které se kultivují za velmi specifických podmínek (např. vysoká alkalita nebo salinita živného roztoku). Pro velkoobjemové produkce biomasy se obvykle využívají mikrořasy *Arthrospira*, *Chlorella*, *Dunaliella* a *Nannochloropsis*. Velké mělké nádrže o velikosti několika km^2 se používají například pro komerčně úspěšné pěstování halofilní (slanomilné) mikrořasy *Dunaliella salina* v západní Austrálii k produkci β -karotenu. Produktivita nádrží je velmi nízká ($\sim 1 \text{ g}$ [sušiny] $\cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$). Otevřené nádrže se také používají pro pěstování *Spiruliny* a *Chlorelly* v Japonsku, Thajsku, Kalifornii, na Havaji, Taiwanu, v Indii a Číně.

Jinou variantou jsou tenkovrstevné systémy, které se konstruují tak, aby tloušťka vrstvy kultury byla pouze několik centimetrů a mohlo tak dojít k dobrému osvětlení buněk mikrořas suspenze v celém objemu. Turbulence je zajištěna cirkulací kultury pomocí čerpadla. Příkladem jsou tzv. kaskády „třeboňského typu“, které se využívají již od r. 1960 pro kultivaci rychle rostoucích kmenů zelených mikrořas (Chlorophyta). Kultura mikrořas roste v tenké vrstvě ($< 1 \text{ cm}$), poměr ozářeného povrchu k celkovému objemu je obvykle > 100 , a tak je možné dosáhnout vysokých hustot biomasy ($15\text{--}35 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$), což je výhodné z hlediska sklizně i zpracování. V těchto systémech je možné dosáhnout velkých výnosů biomasy na plochu i objem (až 40 g [sušiny] $\cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) i v mírném klimatickém pásu. Kaskády založené na kultivaci mikrořas v tenké vrstvě suspenze kombinují výhody otevřených systémů (přímé sluneční ozáření, snadný odvod tepla a kyslíku, jednoduché čištění a údržba, nižší náklady na produkci) s některými výhodami uzavřených systémů (dostatečná turbulence kultury, velká hustota kultury a dosažení vysoké produktivity).



Obr. 6. Příklady uzavřených nebo polouzavřených systémů – fotobioreaktorů, které se využívají pro velkoobjemovou produkci biomasy mikrořas

- (a) Fotobioreaktor tvořený souběžnými řadami vodorovných skleněných trubic umístěných ve skleníku s pomocným umělým osvětlením; firma Salata GmbH, SRN (foto C. Grewe)
- (b) Dvouúrovňový trubicový fotobioreaktor tvořený smyčkou plastových trubic; Centro di Studio dei Microrganismi Autotrofi del CNR, Scandicci, Itálie (foto G. Torzillo)
- (c) Série alveolárních plochých panelů postavených vertikálně (výrobce firma Subitec GmbH), umístěných ve skleníku v areálu tepelné elektrárny firmy Vattenfall v Senftenbergu, SRN (foto J. Masojídek)
- (d) Venkovní fotobioreaktor „Green Wall Panel“ je uspořádán ze souběžných plochých panelů z PE fólie (výrobce Fotosintetica & Microbiologica Srl, Itálie); umístěný v Istituto per lo Studio degli Ecosistemi del CNR, Sesto Fiorentino, Itálie (foto J. Masojídek)
- (e) Anulární fotobioreaktory tvořené dvěma polyakrylátovými válci umístěnými jeden uvnitř druhého tak, aby tvořily kultivační prostor osvětlený zvenčí (výrobce Fotosintetica & Microbiologica Srl, Itálie); umístěno v Istituto per lo Studio degli Ecosistemi del CNR, Sesto Fiorentino, Itálie (foto G. Chini Zittelli)
- (f) Anulární skleněný fotobioreaktor o objemu 100 litrů s vnitřním LED osvětlením; navrženo a umístěno v Mikrobiologickém ústavu AV ČR, v. v. i., v Třeboni (foto J. Masojídek)

Uzavřené systémy – fotobioreaktory

Termín *fotobioreaktor* se používá pro uzavřené nebo polouzavřené míchané kultivační systémy, které jsou osvětlovány buď přirozeným, nebo umělým světlem. Celosvětově se používá mnoho nejrozličnějších typů fotobioreaktorů, jejichž výběr se řídí především použitým kmenem, účelem kultivace a lokalitou (několik příkladů je na obr. 6). Ve srovnání s otevřenými systémy se ve fotobioreaktorech obvykle dosahuje daleko vyšší hustoty biomasy, protože vhodné podmínky kultivace jsou lépe nastavitelné a kultura mikrořas je dobře míchána.

Nejjednodušším fotobioreaktorem je osvětlený vak obsahující kulturu mikrořas, která je míchána pomocí proudu vzduchu obohaceného CO_2 . Nejběžnější fotobioreaktory jsou tvořeny systémem průhledných trubíc, válců nebo plochých panelů, které tvoří kultivační smyčku. Jsou vyrobeny ze skla nebo průhledných plastů odolných k vnějším vlivům, uspořádány vodorovně nebo svisle, a to do smyčky nebo do série vedle sebe. Kultura mikrořas ve fotobioreaktorech cirkuluje pomocí čerpadel nebo proudu stlačeného vzduchu. Peristaltická a membránová čerpadla jsou pro kulturu „hydrodynamicky“ méně stresující než čerpadla odstředivá. Fotobioreaktory se obvykle musí ochlazovat, aby byla dodržena fyziologická teplota. Buď se chladí pomocí tepelných výměníků nebo stříkáním vody na povrch fotobioreaktoru, případně je možné ponořit kultivační smyčku systému do temperačního rezervoáru.

Ve srovnání s otevřenými systémy mají fotobioreaktory řadu výhod: reprodukovatelné kultivační podmínky s ohledem na vlivy prostředí, snížené riziko kontaminace (čímž se rozšiřuje výběr použitelných kmenů), nízké ztráty CO_2 a menší požadavky na prostor. Naopak uzavřené systémy se obtížně čistí, materiál osvětlené části může stárnout, snižuje se průnik slunečního záření a systém musí být chlazen a zbavován kyslíku, aby nedocházelo k inhibici fotosyntézy. Ve srovnání s otevřenými systémy jsou náklady na produkci biomasy nevyhnutelně vyšší. Konstrukční cena a náklady na obsluhu a údržbu jsou asi o řád vyšší než u otevřených nádrží (~100 USD m^{-2}).

Heterotrofní kultivace mikrořas ve fermentorech

Mikrořasy obvykle rostou fototrofně (energií získávají ze světla), nicméně některé kmeny, např. *Chlorella*, *Chlamydomonas*, *Phaeodactylum*, *Haematococcus*, aj., mohou růst i heterotrofně (podobně jako bakterie) bez osvětlení, v médiu obsahujícím anorganické soli a také organický substrát jako hlavní zdroj energie pro růst. Heterotrofní fermentory pro produkční kultivaci mikrořas byly testovány v sedmdesátých letech a jsou široce využívány od devadesátých let, především v Japonsku. Komerční fermentory se využívají v široké škále objemů až do statisíců litrů. Fermentory a fotobioreaktory mají mnoho společných kultivačních zásad: kontrolu pH a teploty kultivace, sklizeň, míchání, odplynování atd. Významné rozdíly jsou v tom, že kultury ve fermentorech rostou v dobře definovaných podmínkách, bez světla, ale potřebují organické sloučeniny jako zdroj uhlíku a energie (cukry, acetát, aj.), vyžadují intenzivní míchání a dostatečnou dodávku stlačeného vzduchu jako zdroj kyslíku pro katabolické procesy. Je také nezbytné pracovat sterilně s axenickou kulturou, jinak hrozí nebezpečí bakteriální kontaminace. Heterotrofní kultury mohou růst až o řád rychleji než fototrofní, ale obsah fotosyntetických

pigmentů v biomase je nižší. Hustota biomasy může dosáhnout více než 100 g na litr s produktivitou vyšší než 10 g na litr objemu za den. Fermentory se s úspěchem využívají např. při komerční průmyslové kultivaci mikrořasy *Cryptocodinium cohnii* k produkci kyseliny dokosaheksaenové (DHA; C22:6, n3). Obvykle se využívá dvoustupňový proces: fáze růstu buněk v kompletním růstovém médiu, následně se nadprodukce lipidů indukuje limitací dusíkem.

Biotechnologicky důležité kmeny mikrořas

Mikrořasy mají ohromnou ekologickou, genotypovou a metabolickou rozmanitost. Více než 100 000 kmenů mikrořas bylo izolováno z přírodních stanovišť a jsou udržovány ve sbírkách kultur po celém světě (např. UTEX, Austin, USA; IAM, University of Tokyo, Japonsko; SAG, Göttingen; CCALA, BÚ AV ČR, Třeboň, Česká republika; ISE-CNR, Itálie). Bioprospekce i sbírky jsou využívány k výběru kmenů, které by splňovaly požadované vlastnosti.

Některé sladkovodní i mořské kmeny se dají pěstovat v řízené algakultuře v kultivačních systémech, kde lze podmínkami ovlivnit metabolické procesy, a tedy i růst a složení biomasy. Jeden z nejdůležitějších faktorů rozvoje řasových biotechnologií je využití robustních kmenů, které rostou rychle, jsou adaptabilní k podmínkám používaných kultivačních systémů a především produkují vysoké obsahy požadovaných látek. Do dnešní doby je jen několik kmenů – *Chlorella*, *Arthrospira*, *Dunaliella*, *Cryptocodinium*, *Haematococcus* a *Nannochloropsis*, které mají komerční uplatnění ve velkoobjemových kultivacích v měřítku stovek či tisíců litrů. Na druhé straně se některé kmeny pěstují za vyšších nákladů ve fotobioreaktorech, pokud se zaměříme na velmi cenné látky. Příklady nejčastěji využívaných produkčních kmenů mikrořas a jejich biotechnologické využití jsou uvedeny v tabulce 1.

Arthrospira (Spirulina)

Planktonní sinice (vlákna o délce 50–500 μm a průměru 3–4 μm) pochází z alkalických subtropických jezer v Mexiku, Čadu nebo Barmě. Při kultivaci vyžaduje teplotu kolem 35 °C a pH mezi 9–10 s obsahem hydrogenuhličitanu. Nejčastěji se pěstuje v oběžných náhonech nebo míchaných nádržích. Roční celosvětová produkce je cca 12–15 tisíc tun sušené biomasy. Výhodou je snadná stravitelnost, protože buňky nemají celulózovou stěnu. Složení biomasy je velice bohaté na bílkoviny (55–70 %), které obsahují esenciální aminokyseliny. Dále jsou v biomase obsaženy lipidy (5–6 %) včetně polynenasycených mastných kyselin (α - a γ -linolenová kyselina) a polysacharidy (19 %). Biomasa se obecně využívá jako zdroj zdravé výživy, doplněk krmiv pro domácí zvířata a ryby nebo ve farmaceutickém a kosmetickém průmyslu.

Chlorella

Zelené mikrořasy rodu *Chlorella* (Chlorophyta) tvoří malé kulovité buňky (2–10 μm). Jsou to velmi rychle rostoucí mikrořasy, které zahrnují kmeny s vysokou teplotní tolerancí mezi 15 a 40 °C. Velká rychlost růstu potlačuje kontaminaci jinými mikrořasami. *Chlorella* roste dobře fototrofně v anorganickém

médiu, stejně jako heterotrofně (ve fermentoru např. s přidavkem glukózy). Fototrofní kultivace se provádí v míchaných nádržích, oběžných náhonech, kaskádách nebo fotobioreaktorech. Celková roční produkce je asi 5 tisíc tun. Biomasa se využívá jako zdravá výživa a doplněk krmiva pro domácí zvířata a ryby, stejně tak jako ve farmaceutickém a kosmetickém průmyslu. Obsahuje proteiny (až 50–55 % sušiny), polysacharidy (10–15 %), lipidy (10–15 %), esenciální aminokyseliny, nenasycené mastné kyseliny a karotenoidy (převážně lutein a violaxantin), stejně jako některé vitamíny a minerály. V biomase je obsažena také nespecifická směs bioaktivních látek, označovaná jako *chlorella růstový faktor* (Chlorella Growth Factor, CGF), která má imunostimulační vlastnosti. Za nepříznivých fyziologických podmínek (např. nedostatek živin) produkují některé kmeny *Chlorelly* zvýšená množství polysacharidů a lipidů, které mohou být zdroji pro výrobu biopaliv.

Tabulka 1: Biotechnologicky nejčastěji využívané produkční kmeny mikrořas

Produkt a využití	Technologie	Kmen mikrořas
zdravá výživa, potravní a krmné doplňky	zavedená	<i>Arthrospira (Spirulina)</i> , <i>Chlorella</i>
β-karoten	zavedená	<i>Dunaliella</i>
astaxantin	zavedená	<i>Haematococcus</i>
živá potrava a krmné doplňky pro akvakultury	zavedená	<i>Nannochloropsis</i> , <i>Isochrysis</i> , <i>Chaetoceros</i> , <i>Paulova</i> , <i>Tetraselmis</i> , <i>Phaeodactylum</i> , <i>Skeletonema</i> , <i>Thalassiosira</i> , aj.
polynenasycené mastné kyseliny (PUFA)	zavedená	<i>Cryptocodinium</i> , <i>Schizochytrium</i> , <i>Phaeodactylum</i> , <i>Nannochloropsis</i>
xantofyly (lutein, violaxantin, zeaxantin)	ve vývoji	<i>Scenedesmus</i> , <i>Chlorella</i>
polysacharidy	ve vývoji	<i>Porphyridium</i>
tuky, oleje, biopaliva	ve vývoji	<i>Botryococcus</i> , <i>Nannochloropsis</i> , <i>Phaeodactylum</i> , <i>Thalassiosira</i> , mutanty <i>Chlamydomonas</i>
biofarmaka	ve vývoji	<i>Nostoc</i> , <i>Cylindropermum</i> , <i>Anabaena</i> , aj.

Dunaliella

Zelené salinní mikrořasy rodu *Dunaliella* (skupina Chlorophyta) mají bíčkaté buňky o velikosti asi 10 μm s velmi tenkou plazmatickou membránou. *Dunaliella* obsahuje β-karoten (oranžový pigment, může tvořit více než 10 % sušiny) a je tak přirozeným zdrojem karotenoidů pro potravní aditiva i krmení pro akvakultury ryb a korýšů. V buňkách obvykle doprovází β-karoten i další karotenoidy (především

lutein, neoxantin, zeaxantin, violaxantin), které se akumulují v olejových kapénkách. Přírodní β -karoten je uváděn na trh v různých formách: extrakty nebo prášková biomasa se využívají jako antioxidant nebo barvivo pro humánní použití a krmiva. Z biotechnologického hlediska je *Dunaliella* velmi výhodným kmenem, protože se pěstuje za vysoké salinity (1–4 M NaCl) v pasivním i biotechnologickém režimu ve venkovních, mělkých otevřených lagunách nebo nádržích při vysoké ozáření a teplotě kolem 30 °C (Austrálie, Izrael, USA a Čína).

Haematococcus

Tato sladkovodní jednobuněčná mikrořasa patří mezi jedinečné přírodní producenty karotenoidu astaxantinu (cihlově červený pigment). Biosyntéza je obvykle doprovázena transformací zelených vegetativních buněk na červené cysty ve stresových podmínkách, kterou provází akumulace astaxantinu (1–4 % biomasy). Roste pomalu při 25–28 °C, což způsobuje náchylnost ke kontaminaci jinými mikrořasami. Kultivace proto nejčastěji probíhá dvoustupňově – v uzavřeném systému se při nízké ozáření pěstuje zelená forma, která je následně vystavena stresu (nedostatek živin v kombinaci s vysokou ozářeností), aby se transformovala na červenou formu obsahující astaxantin. Podobně jako β -karoten slouží i astaxantin v různých formách (biomasa nebo čistý pigment) jako účinný antioxidant (lapač reaktivních kyslíkových radikálů) pro zdravou výživu člověka a jako přírodní barvivo pro krmení v akvakulturách ryb a korýšů. Produkce biomasy je ve stovkách tun, nicméně se jedná o produkt s vysokou přidanou hodnotou.

Cryptocodinium

Tento kmen patří do skupiny obrněnek (Dinoflagellata), které rostou ve vodách jak sladkých, tak i brakických a mořských. *Cryptocodinium* se pěstuje heterotrofně ve fermentorech. Z hlediska biotechnologického je důležité jako producent PUFA, dokosahexaenové kyseliny (C22:6, ω -3).

Nannochloropsis

Rod *Nannochloropsis* (skupina Eustigmatophyceae) jsou drobné, převážně mořské jednobuněčné mikrořasy o velikosti jen 2–3 μ m, což je nevýhodou pro separaci buněk. Mikrořasy rodu *Nannochloropsis* obsahují velké množství karotenoidů (violaxantin, zeaxantin a další). Z biotechnologického hlediska jsou velmi cenné, protože dokáží akumulovat velké množství olejů (60–70 % biomasy), včetně polyneenasycených mastných kyselin (eikosapentaenová kyselina, C20:5, ω -3). V současné době se používají kultury především jako energeticky bohaté živé krmivo pro akvakultury juvenilních stadií ryb a korýšů. Tato mikrořasa se pokládá také za jeden z potenciálních zdrojů biopaliv z mikrořas. Navíc se ukazuje jako slibný kmen pro genetické manipulace zaměřené na zvýšení produkce cenných látek.

Mikrořasy pro akvakultury

Kultivace mikrořas je součástí provozu komerčních akvakultur, protože se ke krmení larválních stadií ryb, měkkýšů a korýšů používá řada kmenů, např. *Nannochloropsis* (Eustigmatophyceae); *Isochrysis* a *Pavlova* (Haptophyta); *Tetraselmis*

(Prasinophyceae), *Chlorella*, *Dunaliella* a *Haematococcus* (Chlorophyceae); *Phaeodactylum*, *Skeletoma* a *Navicula* (Bacteriophyceae). Mikrořasy jsou využívány buď přímo jako náhrada přirozené planktonní potravy (živé krmivo), nebo v podobě zpracované biomasy jako přísada do krmiv. Význam mikrořas spočívá ve zvýšení nutričního obsahu (proteiny, lipidy, polysacharidy, karotenoidy, mastné kyseliny, atd.). Živé kultury mikrořas navíc pozitivně ovlivňují i zdraví a fyzickou kondici ryb, protože zlepšují prostředí v akvakultuře produkcí kyslíku, spotřebou CO₂ a odpadních živin (biofiltrace) a potlačením růstu bakterií (tzv. *green-water technique*), což se projevuje zejména lepším přežíváním a růstem juvenilních stadií ryb a koryšů. V Izraeli byla vypracována uzavřená technologie pro udržitelné akvakultury jako integrované systémy kultur mikrořas (nebo makrořas), algivorů (mlžů) a ryb, většinou v oddělených nádržích. Takové uzavřené systémy jsou často nezbytné, protože komerční mořské akvakultury provozované ve velkém měřítku (hlavně klece nebo nádrže s rybami či krevetami) znečišťují pobřežní vody tak, že činí další růst tohoto odvětví v mnoha částech světa neudržitelným.

Zpracování biomasy mikrořas

Mikrořasy jsou vhodnými producenty biomasy, protože některé kmeny mají ve srovnání s běžnými plodinami o řád vyšší účinnost přeměny solární energie a fixace CO₂ na biomasu. Napěstování řasové biomasy je ale jen část cesty ke konečným produktům. Po sklizni se řasová suspenze nejprve zahustí odstředěním nebo filtrací, dle potřeby se tento proces doplní o promytí, které odstraní nežádoucí metabolity, přebytečné živiny a bakterie. Zahuštěná suspenze mikrořas je následně zchlazena a vzniklá „řasová polévka“ se poté usuší. Schéma celkového kultivačního procesu je znázorněno na obr. 2. Jedná se o několikastupňový proces, v němž je vedle vlastní produkce biomasy mikrořas velmi podstatný a energeticky značně náročný zejména proces získání zahuštěné biomasy (oddělení buněk od živného média). To vyžaduje jeden nebo více kroků oddělovacích pevnou fází od kapalné, protože nízká hustota buněk (obvykle v rozmezí 0,3–5 g/l) a malá velikost některých mikrořas (v rozmezí 2–40 μm) způsobují značnou náročnost celého procesu. Volba způsobu zpracování zahuštěné biomasy (down-stream processing) pro určitý kmen je zásadní pro ekonomickou produkci. Může představovat asi 25 % celkových nákladů na produkci biomasy.

Podle velikosti a tvaru buněk se pro sklizeň (zahuštění) kultury mikrořas používají různé metody – pasivní sedimentace v kónických nádobách, odstředění, filtrace, flotace nebo flokulace. Zatím nejpoužívanější technikou sklizně kultur mikrořas je odstředění v průtokových centrifugách, u řídkých kultur se předřazuje membránová filtrace. Při dobré separaci (tzn. odvodnění) je možné dosáhnout 20–30% obsahu biomasy ve vodné suspenzi.

Konvenční filtrace je vhodnou metodou jen pro relativně velké buňky nebo vlákna (~70 μm, např. *Arthrospira* nebo *Coelastrum*), které lze oddělit pomocí husté tkaniny na vibračních sítích. Pro využití této techniky u menších buněk (< 20 μm, např. *Chlorella* nebo *Scenedesmus*) je nutno použít modifikovaných způsobů, jakými jsou membránová filtrace, ultrafiltrace nebo tzv. cross-flow filtrace.

Při flokulaci se využívá přítomnosti specifické látky, flokulantu (polyvalentní, často polymerní kationty), který sníží negativní náboj řasových buněk a vytvoří agregáty. V praxi se nejčastěji přidávají soli jako FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ nebo $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Tato metoda se často využívá k odstranění přírodních vodních květů. Dalšími možnostmi jsou bioflokulace pomocí chitosanu (netoxický polymer acetylglucosaminu), autoflokulace změnou hodnoty pH nebo ko-flokulace ve směsích určitých kmenů mikrořas.

Flotace je způsob separace buněk založený na zachycení buněk mikrořas s pomocí dispergovaných bublinek vzduchu. Její hlavní předností je nepřítomnost jakýchkoli chemikálií. Testují se také metody sklizně buněk magnetickou separací, kdy se mikrořasy zachytávají na magnetické částice (např. Fe_3O_4). Praktické uplatnění této techniky je omezeno na řídké kultury, podobně jako flokulace nebo membránové filtrace.

Rozbití (dezintegrace) buněk je důležitý krok před sušením, pokud mají mikrořasy (např. *Chlorella*, *Haematococcus*) pevnou celulóзовou stěnu, kterou člověk není schopen strávit. Dezintegrace buněk tak umožní, aby se jejich cenný obsah stal pro člověka dostupným. Provádí se např. abrazí s balotinou, ultrazvukem, vysokým tlakem nebo působením enzymů.

Zahuštěnou a dezintegrovanou biomasu mikrořas lze využít přímo např. pro krmení zvířat. Ve většině potravních a dalších aplikací je nutné suspenzi mikrořas dehydratovat, aby obsah vody v biomase byl pod 5 %. Lze využít vysušení na slunci, sprejové sušení nebo lyofilizaci. Posledně zmíněná metoda je nejšetrnější, ale velmi nákladná, zatímco sušení na slunci je levné, ale může dojít k degradaci biomasy. Nejpoužívanější metodou v průmyslovém měřítku je sprejové sušení, při němž se suspenze buněk rozstříkne do proudu horkého vzduchu v komoře sprejové sušárny a prášek sušené biomasy sedimentuje ve sběrači. Při tomto procesu se obvykle naruší i buněčné stěny a není potřeba dezintegrační krok.

Po usušení mohou následovat další technologické kroky v podobě extrakcí účinných látek, například barviv, olejů, vitamínů a podobně. Extrakční činidlo – polární nebo nepolární – se liší podle povahy extrahovaných látek. Sofistikovaným a velmi šetrným způsobem získání účinných látek je tzv. superkritická extrakce, kdy za určitých teplot a tlaku mají extrakční činidla zároveň vlastnosti plynu i kapaliny (např. oxid uhličitý). Při vhodně nastaveném poměru teplota : tlak se plyn začne chovat jako kapalina a je možné s ním extrahovat.

Využití mikrořas

Mikrořasy se jako fylogeneticky velmi staré organismy přizpůsobily široké škále proměnlivých podmínek a extrémních stanovišť. To mělo za následek, že si vyvinuly řadu ochranných systémů proti různým stresorům – extrémním teplotám, salinitě, nutriční limitaci, desikaci (extrémnímu vysušení), obvykle ještě v synergii s vysokou ozářeností. Proto ve svých buňkách produkují různé sekundární metabolity, ochranné nebo zásobní látky, jako jsou pigmenty, lipidy, polynenasycené mastné kyseliny (PUFA), antioxidanty, cytostatické, antifungální nebo antibakteriální látky (tabulka 2).

Za posledních asi 60 let přinesly řasové biotechnologie řadu aplikací – od tradiční produkce biomasy pro lidskou a zvířecí výživu přes uplatnění v technologiích

čištění odpadních vod až po použití biomasy pro kosmetiku a farmacii a nejnověji jako zdroje biopaliv. Kultury mikrořas jsou také aplikovány k vylepšení struktury a kvality půdy jako biostimulanty či biopesticidy nebo se využívají jako potrava v akvakulturách vodních živočichů (ryby, koryši, měkkýši), případně při bioremediacích. Od prvního desetiletí tohoto století přebírá svou roli genetické inženýrství – cílené nadprodukce určitých látek lze dosáhnout buď vnesením určitého genu (DNA) do jiného, produkčního mikroorganismu nebo jsou cíleně „vylepšovány“ již známé kmeny. Evropská legislativa je zatím ke genetickým manipulacím mikroorganismů spíše odmítavá.

Při využití biomasy mikrořas se často hovoří o biorafinaci. Je to postup obdobný klasické rafinaci ropy, kdy z biomasy získáváme komplexním zpracováním především cenné látky s vysokou přidanou hodnotou a následně se využívá zbytek – proteiny, lipidy i polysacharidy – jako biopaliva, potraviny, krmiva a zdroje chemických látek, případně hnojiva nebo jiné produkty.

Ve větším komerčním měřítku jsou zatím mikrořasy využívány v potravinářství, krmivářství, kosmetice a farmacii.

Mikrořasy ve výživě

V přírodě stojí mikrořasy jako producenti na počátku potravního řetězce. Obsahují široké spektrum nutričně důležitých látek: proteinů, aminokyselin, polysacharidů, lipidů, pigmentů, nukleových kyselin (tabulka 2).

Tabulka 2: Nutričně důležité látky obsažené v biomase mikrořas, kromě proteinů, polysacharidů a lipidů

barviva a antioxidanty	chlorofyl, fykocyanin, fukoxantin, β -karoten, astaxantin, lutein, zeaxantin, kantaxantin
polynenasycené mastné kyseliny (ω -3, ω -6)	linolenová, arachidonová, eikosapentaenová a dokosaheptaenová
vitamíny	A, B1, B2, B3, B6, B12, C, E, H, kyselina listová, kyselina pantotenová
esenciální aminokyseliny (> 5 g/100 g proteinů)	leucin, valin, arginin, lysin, izoleucin, fenylnalanin, thyrosin
ostatní	antibakteriální, antivirové a fungicidní látky, toxiny, proteiny, steroly, vitamíny, minerály, vláknina a další

Primárním produktem je biomasa, nejčastěji ve formě doplňků stravy nebo tzv. funkčních potravin (které mimo základní nutriční funkci podporují zdraví a prevenci nemocí). Výživové doplňky přicházejí na trh většinou jako tablety, kapsle nebo jako prášek řasové biomasy, který je možné přidávat do potravin (jogurty, nápoje, pečivo). Někteří producenti nabízejí i extrakty z vybraných druhů mikrořas. Stejně se biomasa mikrořas využívá jako nutriční doplněk krmiv, v nichž je zdrojem proteinů, lipidů, vitamínů, minerálů a důležitých bioaktivních látek.

Jen mikrořasy (a některé vyšší rostliny) syntetizují polynenasycené mastné kyseliny (PUFA), které jsou důležité pro kardiovaskulární systém a fyzickou kondici. V současnosti mají PUFA (např. kyselina linolová, linolenová, arachidonová, eikosapentaenová a dokosahexaenová), podobně jako karotenoidy, velmi rozsáhlý trh pro využití v potravinářství a krmivářství.

Biomasa mikrořas obsahuje prakticky všechny esenciální aminokyseliny, majoritně jsou zastoupeny leucin, valin, arginin, lysin, izoleucin, fenylalanin, thyrosin (> 5 g/100 g proteinů). V menším množství je zastoupen např. i tryptofan, který chybí v mase či mléce.

Podobnou důležitost jako PUFA i esenciální aminokyseliny mají i karotenoidy (β -karoten, astaxantin nebo lutein) jako koloranty pro vybarvení kůže okrasných ryb či korýšů nebo peří ptáků. Největší uplatnění nachází astaxantin především v chovech lososů nebo pstruhů, kde je nezbytný pro vybarvení masa. Syntetický produkt sice kryje 95 % spotřeby, ale ve stále více zemích (Japonsko, USA, Kanada) se dává přednost přírodnímu astaxantinu, který se získává z krunýřů mořských korýšů nebo z mikrořasy *Haematococcus*. Ačkoliv se do krmiv lososovitých ryb přidává pouze malé množství astaxantinu, podílí se tento pigment až na 20 % ceny krmiva. V poslední době stále populárnější pstruh „lososový“ je vlastně běžný pstruh krmený potravou bohatou na astaxantin, která dodá masu požadovanou lososovou barvu.

Mikrořasy jsou vzhledem ke své schopnosti akumulovat kovy i nekovy velmi vhodné pro inkorporaci některých biogenních prvků do biomasy, např. chromu, železa, jódu, selenu, zinku a dalších. Organicky vázané prvky jsou pak vhodnými doplňky stravy nebo krmení, pokud je diagnostikována jejich deficeience v organismu.

Doplňky výživy z mikrořas musí splňovat všechny příslušné požadavky na kvalitu a zdravotní standardy potravin, tzn. povolený obsah škodlivých nebo toxických látek z hlediska rizik, jako jsou těžké kovy (olovo, kadmium, rtuť a arzén), přírodní toxiny, bakteriální kontaminace, pesticidy, dioxiny, polychlorované bifenylly, polycyklické aromatické uhlovodíky, perzistentní organické polutanty a další. Provozy pro produkci mikrořas a jejich následné zpracování musí mít pochopitelně zavedený a schválený systém analýzy rizika a stanovení kritických kontrolních bodů (HACCP).

Cenné a bioaktivní látky pro farmacii a kosmetiku

Další důležitou oblastí je uplatnění mikrořas jako zdroje určitých bioaktivních látek využitelných pro farmaceutický průmysl. Kultury mikrořas jsou ideální platformou pro produkci látek s vysokou přidanou hodnotou, protože představují řízené, velmi flexibilní „biotovárny“ poháněné sluncem, s nízkými požadavky na provoz.

Vzhledem k fototrofnímu růstu jsou mikrořasy vystaveny přítomnosti reaktivních kyslíkových radikálů a vyvinuly si proto mechanismy ochrany. Jsou to např. lipofilní lapače (scavenger) reaktivních radikálů (karotenoidy, zejména β -karoten, α -tokoferol, lutein a astaxantin). Polysacharidy obsažené v mikrořasách představují další významné bioaktivní látky. Příkladem je unikátní bioaktivní látka *Chlorella růstový faktor* CGF (Chlorella Growth Factor), který se izoluje jako vodný extrakt biomasy. Je směsí různých složek – nukleopeptidů se sírou a polysacharidů,

z nichž nejdůležitější je β -1,3-glukan. Jako imunostimulant podporuje CGF regeneraci tkání a ochranu buněk proti některým toxickým látkám, odolnost k různým chorobám a také zpomaluje proces stárnutí.

V rámci celé skupiny mikrořas jsou z hlediska produkce bioaktivních látek (sekundárních metabolitů) nejzajímavější sinice. Obsahové látky sinic je možno třdit podle různých kritérií, nejčastěji to však bývá podle biologického účinku nebo na základě chemické struktury studované látky. Můžeme proto rámcově rozlišit biotoxiny a cytotoxiny. Ty první jsou schopny usmrtit vícebuněčné organismy, ty druhé indukují smrt jednotlivých buněk či jednobuněčných organismů. Pokud se týče chemických struktur bioaktivních látek, sinice obsahují především cyklické a lineární peptidy, depsi-peptidy, polyketidy, makrolidy, cyklické étery, alkaloidy (heterocyklické sloučeniny), terpenoidy, makrolaktony, deriváty nukleosidů a lipopolysacharidy.

Velmi důležitou skupinou bioaktivních látek jsou cyanotoxiny, které produkují především sinice tvořící vodní květy (např. *Microcystis*, *Anabaena* a *Aphanizomenon*). Tyto látky mohou být kategorizovány jako neurotoxiny, hepatotoxiny, genotoxiny, imunotoxiny a embryotoxiny, podle afinity k buňkám specifické tkáně. Nicméně většina těchto látek vykazuje biologickou aktivitu smíšenou. Cyanotoxiny jsou sice toxické pro zvířata i člověka, ale mohou být i potenciálním základem léčivých přípravků. Rozsáhlé testování nových kmenů v řadě světových laboratoří se proto zaměřuje na sekundární metabolity jako potenciální biofarmaka. Tyto látky produkují některé sinice (např. rodu *Nostoc*, *Cylindrospermum*, *Anabaena*) v různých fázích růstu. Charakter bioaktivních látek (např. puwainafycinu, tolytoxinu, nostotrebinu, aeruginosinu, anabaenopeptinu), které byly izolovány z těchto kmenů v laboratořích MBÚ v Třeboni, je velmi rozdílný – od oxadiazinů přes neribozomální lineární peptidy a cyklické lipopeptidy až po polyfenoly. Mají antivirové, antibakteriální a antifungální účinky, jsou to také cytotoxické látky, stejně jako inhibitory proteáz. Jejich studium je významné pro hledání nových protinádorových přípravků, antibiotik a jiných léků.

Vzhledem k tomu, že mikrořasy rostou fototrofně za kontrolovaných podmínek, mohou inkorporovat také některé stabilní izotopy z anorganických sloučenin (např. ^{13}C , ^{15}N , ^2D) do svých produktů, např. polysacharidů nebo proteinů. Různé biologické produkty označené stabilními izotopy se používají jednak pro vědecké účely (zjišťování struktury molekul nebo fyziologické pokusy), ale především pro klinické účely (diagnostické testy).

Kosmetický průmysl využívá nejen řadu látek z mořských makroskopických řas, ale vyhledávanou surovinou pro kosmetické přípravky jsou i mikrořasy. Aminokyseliny a nukleové kyseliny vyživují a hydratují pokožku, vitamín E a karotenoidy působí jako antioxidanty, ostatní vitamíny a lipidy působí proti stárnutí pokožky, podporují regeneraci tkání a podobně. Přípravky na pomezí kosmetiky a dermatálních léčiv byly používány například ve veterinární medicíně k podpoře kvality srsti u psů a koček nebo se ve formě suspenzních masťů užívaly k urychlení hojení ran.

Biopaliva z mikrořas

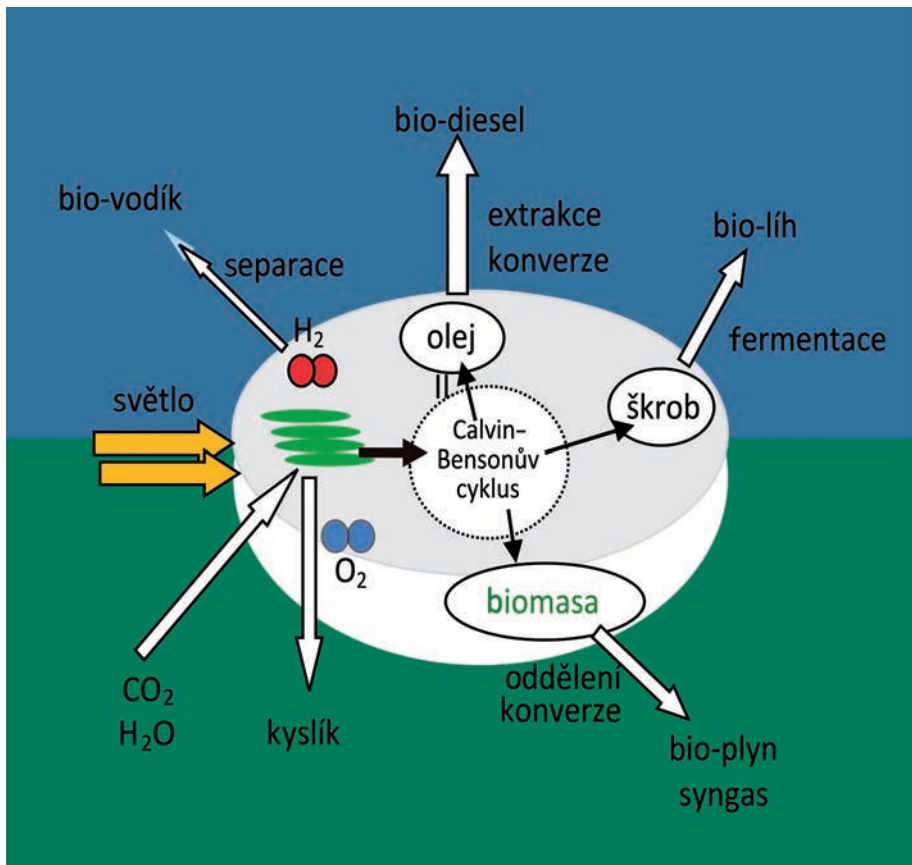
Růst zájmu o biopaliva vyráběná z rostlinné biomasy byl vyvolán především snahou nahradit drahá a ubývající fosilní paliva obnovitelnými, uhlík-neutrálními

zdroji. Tím by se zvýšila udržitelnost životního prostředí, protože by se využívaly i civilizační „odpady“. Oleje nebo škrob obsažené v biomase je možné konvertovat na bio-diesel, bio-olej, nebo bio-ethanol (obrázek 7). Biomasu lze také fermentovat na bioplyn nebo ji přímo spálit a vyrobit elektřinu nebo teplo. Je též možné ji zpracovat termochemickými metodami na olej nebo syngas (směs plynů, především CO a H₂), který je zcela zásadní surovinou pro následné využití v rafinériích. Za určitých podmínek mohou mikrořasy produkovat i bio-vodík.

V posledních desetiletích je problematika biopaliv z mikrořas intenzivně studována na řadě výzkumných pracovištích, protože je celosvětovou snahou snížit spotřebu fosilních paliv a nahradit je biopalivy.

Obr. 7. Buňka mikrořasy jako fotosyntetická „buněčná továrna“ pro produkci biopaliv

Zdrojem biopaliv (bio-diesel, bio-olej, bio-ethanol) z biomasy jsou především oleje nebo škrob. Biomasu je možné též fermentovat na bioplyn nebo ji přímo spálit a vyrobit elektřinu nebo teplo. Je též možné ji zpracovat všemi termochemickými metodami na kapalná biopaliva (bio-olej, bio-nafta) a především pak na syngas (směs plynů, především CO a H₂), který je zcela zásadní surovinou pro následné využití v rafinériích. Za určitých podmínek mohou mikrořasy produkovat i bio-vodík



Hlavním problémem jsou dosud vysoké produkční náklady na biomasu, které způsobují především nízká produktivita, nedostatečná technická vyspělost kulturních zařízení, vysoké provozní náklady (energie na provoz – elektrina, teplo) a cena vstupních surovin (voda, CO₂ jako zdroj uhlíku, živiny – fosfáty, dusičnany, železnaté soli a další). Získávání energie z konvenčních zdrojů je tak stále řádově levnější. Snížení nákladů na produkci biomasy by bylo možné dosáhnout u rychle rostoucích kmenů mikrořas využitím „odpadní“ energie některých průmyslových zařízení (elektrárny, spalovny, bioplynové stanice, akvakultury), které mohou být i zdrojem „levného“ odpadního CO₂, případně i nutrientů (dusičnany, fosfáty aj.).

Mikrořasy mají z hlediska paliv výrazně vyšší potenciál ve srovnání s ostatními zdroji biomasy. Některé druhy, například *Nannochloropsis* nebo *Chlorella*, mohou akumulovat až 60 % zásobních látek (lipidů nebo polysacharidů), pokud rostou za určitých podmínek. Problémem je, že všechny kmeny produkující zvýšené množství olejí nebo škrobu rostou pomalu, protože velkou část energie získané fotosyntézou investují právě do syntézy zásobních látek, a nikoliv do růstu. Navíc je obvykle nutné provést zásah do kulturního procesu („zhoršení“ kulturních podmínek, např. nutričním stresem), aby došlo k hromadění energeticky bohatých látek, což ještě výrazněji zpomalí růst.

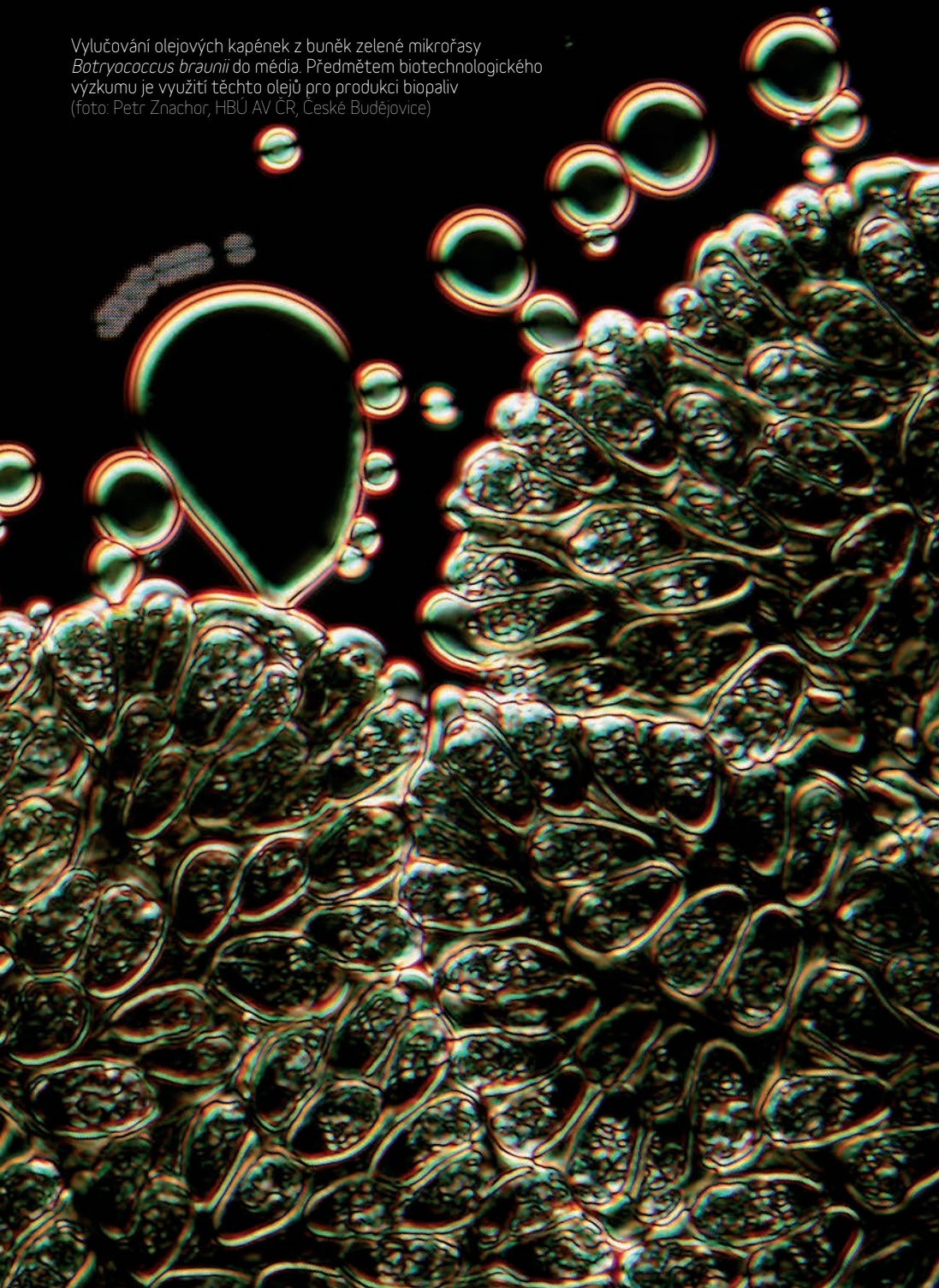
Rada společností a státních agentur po celém světě nyní masivně investuje do výzkumu mikrořas a vývoje velkoplošných kulturních systémů, aby se snížily produkční náklady na biopaliva (Exxon Mobil, Solix, GreenFuel Technologies, BioFuel Systems, Solazyme, AlgaeLink, aj.). Současné technologie produkují tunu biomasy mikrořas za tisíce dolarů, což je o jeden až dva řády více, než by bylo profitabilní pro produkci biopaliv. Nicméně tento záměr výrazně zrychluje výzkum v řasových biotechnologiích. Podstatný pokrok ve využitelnosti těchto technologií lze očekávat v horizontu 10 až 15 let.

V podmínkách České republiky se nabízí řešení umístit kulturní zařízení v blízkosti průmyslových nebo chemických areálů, které mají přebytek odpadního tepla, CO₂ a zdroje odpadních dusičnanů a fosfátů. V jednoduché skleníkové konstrukci by bylo možné rozšířit sezónu pro provoz kulturních zařízení, která by kombinovala výhody otevřených i uzavřených systémů. Využití výše zmíněných „odpadů“ z průmyslu nebo energetiky by pak kompenzovalo umístění kultivací do oblasti mírného pásu s menší intenzitou slunečního svitu. Biomasa by se na místě zpracovala na biopaliva nebo chemické suroviny dostupnými technologiemi, a tak by odpadla složitá logistika dopravy surovin a produktů. Zpětné využití průmyslových odpadů by zároveň snížilo ekologickou zátěž prostředí, především emise CO₂ do ovzduší a dusičnanů a fosfátů do povrchových vod.

Další možností, jak využít biomasu, je termochemická konverze (tepelný anaerobní proces), tj. zpracování na různé produkty – olej, uhlík a plyn. Termochemické zkapalňování nevyžaduje sušení biomasy, je možné využít biomasu s obsahem vody nad 60 %, a proto má tato metoda jasnou výhodu ve srovnání s pyrolýzou. Výsledná kapalná bezvodá frakce obsahuje bio-olej (a dehet), který vzniká ze všech organických látek v buňce (lipidů, proteinů, vlákniny, sacharidů), a proto dává vyšší energetický výtěžek než pouze samotné lipidy.

Mikrořasy jako např. *Chlamydomonas* jsou za určitých podmínek schopné produkovat také vodík. Již po řadu desetiletí se o této cestě uvažuje jako o velmi

Vylučování olejových kapének z buněk zelené mikrořasy *Botryococcus braunii* do média. Předmětem biotechnologického výzkumu je využití těchto olejů pro produkci biopaliv
(foto: Petr Znachor, HBÚ AV ČR, České Budějovice)



elegantním řešením. Bohužel biologická produkce vodíku představuje poměrně složitý proces, který spočívá v tom, že buňky mikrořas jsou schopné fotosynteticky štěpit vodu na kyslík a protony. Při nedostatku síry a za anaerobních podmínek mikrořasy přepnou z produkce kyslíku na vývoj vodíku, protože se částečně potlačí citlivost enzymů hydrogenáz ke kyslíku. Bohužel ani tento proces se v brzké budoucnosti (pokud vůbec) zřejmě nestane schůdnou a rentabilní cestou k obnovitelným zdrojům biopaliv.

Přes svůj nesporný potenciál v oblasti alternativních zdrojů paliv stále existuje mnoho problémů, které brání masovému rozvoji řasové biotechnologie pro komerční využití. Mezi úkoly výzkumu a vývoje patří především: (1) výběr vhodných kmenů s vyšším obsahem výchozích látek; (2) dosažení vyšší fotosyntetické účinnosti zdokonalováním produkčních systémů; (3) propracování pěstebních postupů pro vybrané kmeny mikrořas a (4) snížení výrobních nákladů, tj. spotřeby energií, živin a vody.

Environmentální biotechnologie

Environmentální aplikace jsou velmi žádanou oblastí biotechnologie, která se věnuje výzkumu a uplatnění biologických procesů pro sanaci kontaminovaného prostředí, tedy vody, půdy i vzduchu. Od minulého století jsou mikrořasy používány pro bioremediace, protože pokud jsou klimatické podmínky příznivé, mikrořasy rychle rostou a mají vysokou toleranci k řadě toxických látek. Kultury mikrořas, někdy v kombinaci s jinými mikroorganismy, jsou využívány k čištění komunálních a zemědělských odpadních vod, stejně jako průsaků z komunálních skládek, odpadních vod z potravinářské a průmyslové výroby nebo rybích akvakultur. S pomocí mikrořas je tak možné snižovat živinové zatížení (eutrofizaci) povrchových vod.

Mikrořasy mohou být využity i k odstranění těžkých kovů, protože mají schopnost tyto kovy akumulovat (např. kadmium, olovo, rtuť, zinek, arzén, chrom, nikl, aj.). Často se také uvažuje o pohlcování (sekvestraci) odpadního CO_2 ze spalinových plynů v produkčních kultivacích mikrořas, ale vzhledem k obrovskému množství oxidu uhličitého vznikajícího pálením fosilních paliv je řasová biotechnologie jen kapkou v moři. V roce 1990 byl proveden úspěšný pokus v Elbingerode (SRN) s využitím CO_2 z komínových plynů, vznikajících při výrobě vápna z aragonitu, pro pěstování mikrořas ve fotobioreaktoru o objemu 10 tisíc litrů. Problémem v tomto případě je, že odpadní CO_2 nebo živiny mohou obsahovat nežádoucí přísady, které znehodnocují využití biomasy pro nutriční účely.

Uvažuje se i o využití kultur mikrořas pro odstraňování dalších škodlivých mikropolutantů, jako jsou polychlorované bifenylly, polycyklické aromatické uhlovodíky, chlorované perzistentní organické látky, léčiva, hormony, aj., které jsou obsaženy v odpadních vodách.

Vyhlídky řasových biotechnologií

Z pohledu biosyntézy nabízejí mikrořasy možnosti alternativních metabolických cest pro produkci nových bioaktivních látek. První přístup k budoucímu rozvoji nemusí zahrnovat genetické modifikace produkčních kmenů, ale spočívá: (1) v prohlubování našich biologických znalostí o stávajících kmenech mikrořas

a jejich metabolitech; (2) v bioprospekci nových kmenů a potenciálních produktů; (3) v nastavení určitých růstových podmínek a (4) ve vylepšení výrobních procesů a technologií. Výběr kmenů může zahrnovat i využití metabolomických databází, stejně jako bioprospekci, které mohou najít nové kmeny, případně definovat nové bioaktivní látky. Fáze optimalizace spočívá v intenzivním výzkumu založeném na znalostech biologie mikrořas, navázaném na bioinženýrství.

Genetické inženýrství představuje úplně odlišný přístup. Molekulární biotechnologie je problematika často diskutovaná z hlediska etického a environmentálního, protože přírodní genetický materiál je pozměněn a vzniká v podstatě jiný organismus. Pro biotechnologické využití se jedná buď o konstrukci geneticky modifikovaných kmenů mikrořas, které by prokázaly zvýšenou syntézu některých cenných látek, cestou modifikace určitých genů produkčního kmene, nebo o přenos určitých genů a vložení do jiného (transgenního) mikroorganismu, např. rychle rostoucích bakterií. Znamenalo by to například konstrukci geneticky modifikovaných kmenů mikrořas, které by produkovaly vysoké procento „energetických“ substrátů v buňce, např. olejů. U eukaryotních kmenů mikrořas jsou, na rozdíl od prokaryotních sinic, podobné genetické manipulace výrazně obtížnější. Sinice jsou nepoměrně přístupnější ke genovým manipulacím vzhledem k menší bariéře různých obalových membrán, které brání inkorporaci exogenní DNA do genomu příjemce.

Mikrořasy jsou také slibnou platformou pro zvýšenou produkci cenných látek, protože mohou být pěstovány v masovém měřítku. Rekombinantní proteiny, jako např. vakcíny, terapeutické protilátky a průmyslové enzymy, mohou být produkovány za relativně nízkých nákladů. Některé cenné rekombinantní proteiny byly vyrobeny v chloroplastech mikrořasy *Chlamydomonas*, u které bylo poprvé využito mnoho z transformačních technik, a poté použity na jiné skupiny mikrořas.

Poslední dvě desetiletí přinesla výrazné pokroky genetického inženýrství, ale přesto bylo většího úspěchu dosaženo jen u několika modelových kmenů mikrořas. Zatím nejsme schopni standardizovat genetické a metabolické manipulace pro komerčně důležité kmeny. Je potřeba získat mnohem více zkušeností a znalostí mechanismů, které řídí regulaci genové exprese u mikrořas.

Autoři děkují všem spolupracovníkům, jmenovitě Ing. Karolíně Ranglové z Centra Algatech, za jejich náměty, připomínky a diskuse při psaní textu.

Odkazy na další literaturu:

Burlew J. S. *Algal culture: from laboratory to pilot plant*. Washington, D.C.: The Kirby Lithographic Company Inc. 1953; Masojídek J., Kopecký J. *Mikrořasy pro produkci biopaliv (analýza současného stavu a možností)*. Studie vypracovaná pro Českou technologickou platformu pro užití biosložek v dopravě a chemickém průmyslu. 2010; Richmond A., Hu Q. (eds.). *Handbook of microalgal mass culture: applied phycology and biotechnology*. Blackwell Science 2013.

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 potravních a krmných doplňků 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 AV 21**. 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 AV 21 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 lepků 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.

Cílem této publikace je seznámit zájemce s oborem řasových biotechnologií, tzn. řízeným pěstováním mikrořas v „algakulturách“ a jejich využitím. Naleznete zde také obecný přehled druhů a kmenů mikrořas a základní postupy a zařízení pro jejich pěstování, používané v masových kultivacích mikrořas pro produkci biomasy a cenných produktů. Studium mikrořas umožnilo mnoho významných objevů ve fotosyntéze (Otto Heinrich Warburg – respirace; Melvin Calvin – asimilace CO₂).

V EDICI VĚDA KOLEM NÁS PŘIPRAVUJEME:

Vladimír Vavřínek: **František Dvorník**

Magdalena Bendová: **Energie, entropie a několik vět, které nelze zakázat**

Jan Vít: **Jan Patočka**

DOSUD VYŠLO:

Julie Jančárková: **Nikolaj Lvovič Okuněv**

Z. Vondráková, K. Eliášová, L. Fischerová a M. Vágner: **Somatická embryogeneze jehličnanů**

Václav Cílek: **O popularizaci vědy**

Edice Věda kolem nás | Výzvy a otázky

Mikrořasy – solární továrna v jedné buňce | Jiří Masojídek, Richard Lhotský,
Jiří Kopecký a Ondřej Prášil

Vydalo Středisko společných činností AV ČR, v. v. i.

Grafická úprava dle osnovy Jakuba Krče a sazba Serifa.

Odpovědná redaktorka Petra Královcová.

Vydání 1., 2016. Ediční číslo 11987.

Tisk **SERIFA**®, s. r. o., Jinonická 80, 158 00 Praha 5.

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