Ze současné medicíny

O sinicích

JAN ŠMARDA

Současné lidstvo ví o sinicích jen málo; a pokud aspoň něco, pak si o nich vytvořilo hodně nepříznivý dojem. Ví totiž to, že sinice vytvářejí tzv. vodní květy – a ty lidem často velmi znepříjemňují letní koupání v rybnících, jezerech, přehradách a i v moři. Nepovšimnuty přitom zůstávají všechny daleko zajímavější, cennější a krásnější stránky jejich života, o nichž lidé nevědí. A těch není málo.

Jejich výčet je vhodné začít holdem přímo obdivným: sinice jsou pionýry života na Zemi. Jsou totiž prvními organismy, které životu přinesly fotosyntézu a tím i první molekulární kyslík do atmosféry naší planety. Právě sinicím tedy vděčíme za vznik a rozvoj všech dýchajících organismů – bakteriálních, rostlinných i živočišných až po člověka, prostě všech organismů aerobních. Až do jejich vstupu na scénu života bylo zemské ovzduší bezkyslíkaté, redukční.

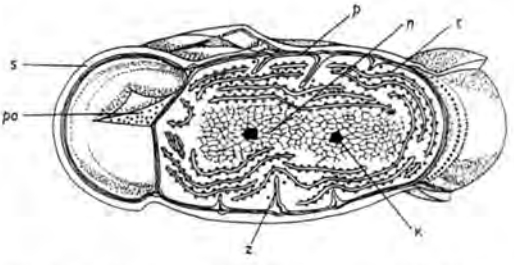
Už od svého vzniku – nejméně před 3,3 miliardami let, na úsvitu nejstaršího geologického období Země, archeozoika – sinice dokazují svou neuvěřitelnou přizpůsobivost podmínkám, které jim k jejich životu připravuje příroda, a to ekologickým podmínkám nejrůznějším. Jsou naprosto nenáročné a tudíž ubikvitární, lze je potkat i v prostředí k životu velmi málo vhodném. Sinice žijí v chladných hlubinách moří i oceánů v naprosté tmě, stejně jako v horkých vřídlech na intenzivním denním světle, ve vodách slaných i sladkých, na vlhkých kamenech zelených pobřeží rybníků, řek a potoků, ale i na smáčených stěnách holých skal, pod trvalým ledem i ve sněhu Arktidy a Antarktidy, ve značně vyprahlé půdě Afriky, na vnitřním povrchu moderního vodovodního potrubí i na stěnách římských katakomb.

Není proto divu, že se pohotově rozmnoží všude, kde se setkají s aspoň trochu pro sebe příznivými podmínkami: a těmi jsou stopy vody, něco málo fosforu a aspoň trochu dusíku. Světlo je potřebné pro jejich fotosyntézu, tedy autotrofní výživu, ale většinou vystačí i s heterotrofií, jež nepotřebuje světlo, ale zato organické molekuly. Není divu, že se do hustých vodních květů rozvinou všude, kde je voda organicky znečištěna a navíc na hladině umožňuje přístup světla. Uvědomme si tedy, že ony na začátku tohoto textu zmíněné nepříjemné letní vodní květy si lidstvo svým „civilizovaným" způsobem života samo přivolává!

Sinice jsou mikroskopické organismy, jako evolučně nesmírně staré jsou velmi primitivní. Ve své stavbě se za celé ty miliardy let podstatněji nezměnily: dnešní sinice se podobají těm nejstarším jako vejce vejci, jakkoliv se pestrost jejich druhů široce rozrostla; vzhled těch nejstarších, archeozoických, si ovšem můžeme představit jen v hlavních rysech. Sinice byly a jsou organismy

prokaryontní, s primitivním bunněčným jádrem.

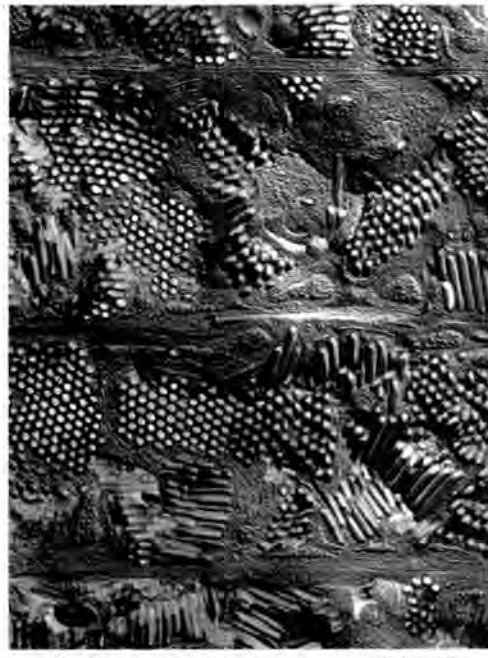
Připomeňme si, že veškeré organismy eukaryontní – tvořené buňkami s tzv. dokonalým jádrem, a to jsou organismy všech současných říší až po člověka – se během evoluce vyvinuly z prokaryontních. A vznik nejstarších a nejjednodušších eukaryontních buněk plauzibilně vysvětluje současná endosymbiotická teorie. Podle ní byla ancestrální sinice východiskem rostlinných chloroplastů, když v postupně se zahušťující „polévce", v teplém archeozoickém oceánu stále složitějších organických molekul pronikla do spontánně se diferencující prabuňky eukaryontní a trvale se v ní zabydlela jako její vnitřní symbiont. Založila tak buňku rostlinnou, schopnou právě fotosyntézy. Prototypem prokaryontních organismů jsou dnes bakterie. Ani ony se od zmíněného úsvitu života mnoho nezměnily; značné šíře ovšem dosáhla jejich variance molekulární – a funkční. A vedle bakterií tvoří prokaryontní organismy už jenom sinice. Tuto jejich základní příbuznost odráží i latinské pojmenování sinic – *Cyanobacteria*. Sinice jsou ovšem strukturovány mnohem dokonaleji a složitěji než bakterie. Podívejme se krátce na stavbu prokaryontní buňky sinice.



Obr. 1. Ultrastruktura vegetativní buňky bentické (na pevný podklad vázané) vláknité sinice (schéma). *s* – buněčná stěna, *p* – plazmatická membrána, *n* – nukleolus (DNA), *t* – thylakoid s fykobilisomy, *k* – karboxisom, *z* -začínající buněčné dělení, *po* – pór ve stěně (orig. Z. Urban a T. Kalina)

Každá sinice má na povrchu stěnu, která je kupodivu mnohem složitější než stěna eukaryontní buňky rostlinné: netvoří ji vrstva celulózy (buničiny), nýbrž několikavrstevná soustava molekul aminocukrů a lipoproteinů, tj. komplexů aminokyselin s cukry i s tuky. Z rutinního hlediska bakteriologického je stěna každé buňky sinice gramnegativní. Stěnu z vnější strany vždy obklopuje pouzdro – nápadná vrstva hlenovitého slizu. Stěna pokrývá obsah buňky – její protoplazmu, v jejíž centrální části trůní zmíněné prokaryontní jádro, někdy označované jako nukleoid (viz obr. 1). To je jediná vláknitá molekula DNA, bohatě a více méně nepravidelně svinutá, bez dalších atributů typických pro jádro eukaryontní, tj. typických pentlicovitých komplexů DNA s proteiny – eukaryontních chromozomů, kapének RNA – jadérek (nukleolů) i bez jakékoliv povrchové jaderné membrány. Takto vyhlížející nepravidelně tvarované jádro je obklopeno (jako v každé buňce) cytoplazmou, která nese ve značně variabilním počtu charakteristické organely a inkluze (obr. 2). Z organel to jsou zejména fotosyntetizující biomembrány – thylakoidy, na površích se zrnky fykobilizomů (viz níže), v planktonních sinicích svazky tubulárních plynových měchýřků – aerotopy, které sinici dodávají lehkost v jejím vodním prostředí a umožňují jí

vznášet se ve vodním sloupci vysoko, resp. na jeho hladině (bentické, na pevný podklad vázané sinice aerotopy nemají) a vakuoly různé velikosti i obsahu. Inkluze pak jsou rozmanité mikrokrystalky, hrudky či kapénky neživých produktů metabolismu – asimilátů (hlavně proteinového cyanofycinu a škrobu), enzymů (polyhedrální tělíska – karboxisomy) i zásobních látek (polyfosfátů). Ke složení cytoplazmy vždy patří charakteristické asimilační pigmenty; to jsou – v thylakoidech vedle zeleného chlorofylu a (chlorofyl b je spolu s ním přítomen jen v buňkách rostlinných) žlutý xantofyl a oranžové karotenoidy – a hlavně charakteristická barviva ve fykobilizomech: modrý fykocyanin a alofykocyanin (odtud výsledná charakteristická modrozelená, „sinalá", barva sinic, která jim dala jméno – viz níže) a červený fykoerytrin. Všechna tato barviva jsou v buňkách různých druhů sinic smísena v nejrůznějších vzájemných poměrech, takže jejich výsledná barva je velmi rozmanitá – od jemně žlutavě či modravě nazelenalé přes červenou či temně rudou po hnědou až téměř černou. Čistá kultura každé sinice v bezbarvém vodním kultivačním mediu je vždycky požitkem pro oči.

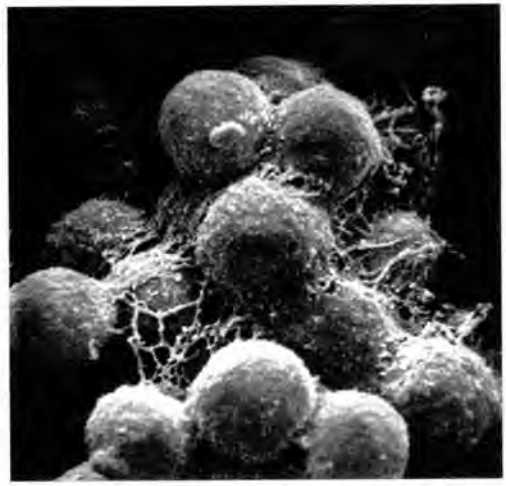


Obr. 2. Ultrastruktura vegetativních buněk planktonní vláknité sinice *Nodularia spumigena*. Preparace mrazovým lámáním. Transmisní elektronový mikroskop.

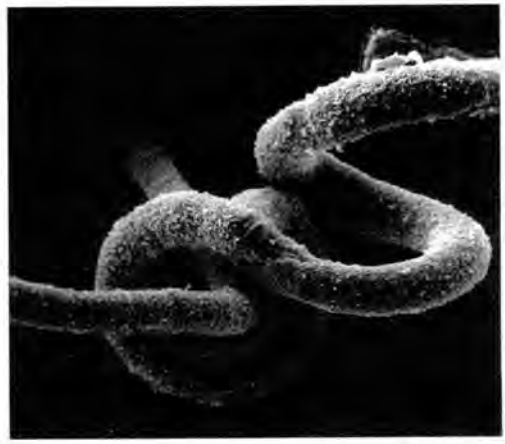
K morfologii buňky je třeba dodat také její rozměry. Buňky sinic jsou vždy mikroskopických rozměrů. Ty nejmenší, tvořící tzv. pikoplankton, mají okrouhlé, většinou mírně protáhlé buňky o průměru v desetinách mikrometru, počínaje už od 0,6 µm. Sinice jsou však v průměru obecně poněkud větší než sférické bakterie, jejichž průměr se většinou drží těsně pod 1 µm. Největší buňky sinic dosahují až 45 µm. Trichomy různých druhů jsou různě dlouhé a dosahují průměru od 0,4 až do 100 µm.

Tak asi tedy vypadá buňka sinice; její primární tvar je sférický. Ale pozor, jestliže bakterie je vždycky organismus jednobuněčný, sinice jsou jak jednobuněčné (obr. 3), tak vícebuněčné. Ty o více buňkách jsou vláknité jako řasy (obr. 4). Vlákno (trichom) sinice už jeví typický znak mnohobuněčného organismu: můžeme v něm rozlišit několikerý typ buněk, vzájemně se lišících co

do morfologie i co do funkce ve prospěch celku, tj. organismu. Základní typy jsou tři; většinu tvoří buňky zvané vegetativní. A mezi nimi jsou rozsety – v určitém uspořádání, typickém pro různé rody a druhy – tzv. heterocyty (větší buňky charakteristického tvaru, specificky enzymově vybavené pro fixaci atmosférického dusíku – což je mimochodem schopnost nedostižná pro rostliny, jež musí dusík získávat z půdy – obr. 5) a tzv. akinety (buňky největší, opět sférické, s výrazně tlustou stěnou, vzdorující zvýšenou měrou nepříznivým vlivům prostředí, a tudíž dlouhodoběji přežívající, zajišťující rozmnožování – stavbou i funkcí připomínají spory (výtrusy) bakterií a tajnosnubných rostlin (obr. 6).



Obr. 3. Kolonie planktonní jednobuněčné sinice *Microcystis aeruginosa*. Preparace mrazovým leptáním. Řádkovací elektronový mikroskop.

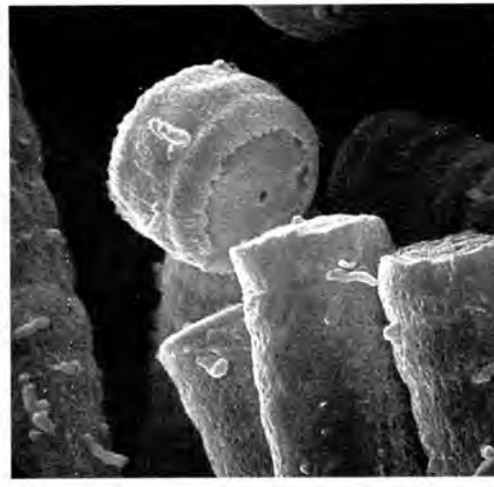


Obr. 4. Trichom planktonní vláknité sinice *Nodularia spumigena*. Preparace mrazovým leptáním. Řádkovací elektronový mikroskop.

Právě vláknitým habitem, zelenavou barvou a svou afinitou k vodě sinice připomínají řasy, což jsou ovšem už typické organismy eukaryontní, rostliny. Nicméně ve všech významných světových jazycích se sinice nazývají „modrozelené řasy": anglicky „blue-green algae", německy „blau-grüne Algen", francouzsky „bleu-verte algues", rusky „sinězelonyje vodorosli". (Autorem specifického českého názvu „sinice" – podle jejich „siné" barvy – je velký český rostlinný fyziolog 20. století Bohumil Němec.)

Sinice tedy jeví určitý primitivní náznak evolučního přechodu od organismů jednobuněčných k mnohobuněčným. Nejsou ovšem jediné: také řasy jsou jednobuněčné i vláknité – mnohobuněčné; ty jsou ovšem mezi jejich druhy da-

leko nejrozšířenější. A bylo by asi možno takových přechodných znaků najít i více. Např. buňky některých – a to právě vláknitých – sinic jeví charakteristické koncentrické uspořádání thylakoidů, jež jsou v cytoplazmě uloženy paralelně s cirkulárním tvarem povrchové plazmatické membrány: uspořádání takové, kde nejvnitřnější thylakoid těsně obkružuje jadernou DNA – nukleoid – a vytváří tak kolem něj jakousi pseudo-„jadernou membránu", typickou pro buňky eukaryontní.



Obr. 5. Z trichomu sinice *Nodularia spumigena* se odlamuje heterocysta. Preparace mrazovým leptáním. Řádkovací elektronový mikroskop.

A co říci tomu, že sinice jsou většinou schopny se vyživovat (resp. získávat energii) nejen autotrofně (fotosyntézou), nýbrž alternativně i heterotrofně (chemosyntézou). Právě život mnoha planktonních sinic paralelně ve dvou populacích, lišících se svou trofikou, jim umožňuje úspěšně přežívat ve dvojích diametrálně rozličných přírodních podmínkách (se značně rozdílnou morfologií buněk): jako vodní květ na hladině vodní nádrže, kde mají dostatek světla i tepla (obr. 7) – od pozdního jara do začátku podzimu (planktonní populace autotrofní) – a jako její sediment v bahně na dně, kde je tma a chladno (bentická populace heterotrofní – od poloviny podzimu do poloviny jara). A právě ta přezimující populace je každoročně na jaře zdrojem buněk pro nový vodní květ na hladině každého léta, v němž se sinice opět „do záso-

Obr. 6. Akineta je vsazena mezi vegetativní buňky sinice *Nodularia spumigena*. Preparace mrazovým leptáním. Řádkovací elektronový mikroskop.

by" masivně rozmnoží. Metabolismus autotrofní je výkonnější než heterotrofní. (A jsme u vysvětlení onoho nesympatického jevu, kterým jsme toto povídání začali: onoho nezdolného zezelenání povrchových vod každým létem.) Snadný přechod mezi autotrofním a heterotrofním získáváním energie podle podmínek životního prostředí trochu připomíná jiný jev na úrovni života eukaryontního: přechod mezi anaerobním a aerobním – byť vždy heterotrofním – odbouráváním cukrů kvasinkami: v prvním případě na alkohol, ve druhém na ocet.

A ještě něco: některé sinice (zařazené do řádu *Oscillatoriales* – viz níže) jsou aktivně, autonomně pohyblivé. Trichomy těchto tzv. pleurokapsálních sinic se dovedou na pevném, leč vlhkém podkladě pohybovat zvláštním klouzavým, resp. plazivým pohybem, tzv. drkáním. A přitom nemají na úrovni stavby buňky žádné viditelné pohybové organely! Jejich pohyb tedy nepatří do žádné obecné kategorie biologických pohybů (amoeboidní, bičíkový, řasinkový, svalový).

Obr. 7. Vodní květ z přehradního jezera řeky Svratky u Brna tvoří několik druhů sinic (snímek zachycuje zejména rody *Anabaena* a *Aphanizomenon)* a bakterií. Preparace mrazovým lámáním. Řádkovací elektronový mikroskop.

Obr. 8. Kolonie vláknité sinice *Aphanizomenon flos-aquae.* Světelný mikroskop (orig. F. Hindák)

Obr. 9. Kolonie vláknité sinice *Oscillatoria limosa.* Světelný mikroskop (orig. L. Kováčik)

Řada sinic produkuje toxické látky, tzv. cyanotoxiny. Již v 19. století byly poprvé popsány otravy domácích i lovných zvířat sinicemi vodního květu, ale až konec 20. století přinesl systematický a podrobný výzkum cyanotoxinů. Dnes je jich známo šest typů, lišících se mechanismem účinku. Svá jména odvozují od rodových jmen sinic – jejich producentů: aphanotoxin (*Aphanizomenon flos-aquae* – obr. 8), anatoxin (*Anabaena flos-aquae*), microcystin (*Microcystis aeruginosa*), nodularin (*Nodularia spumigena*) atd. Co do účinku

jde o hepatotoxiny (působí patologicky na buňky jaterní), neurotoxiny (působí na buňky nervové), imunotoxiny (působí na imunitní systém, včetně projevů alergických reakcí kožních: exantémů, ale i rýmy i záchvatů astmatických), genotoxiny (chemické mutageny), dermatotoxiny (dráždí přímo buňky kožní) a gastroenterotoxiny (vyvolávají reakce zažívací trubice).

Člověk v civilizované společnosti je ovšem ušetřen rizik těchto toxinů – s jedinou výjimkou: přímý kontakt jeho kůže se sinicemi při koupání za přítomnosti vodního květu umožňuje působení sinicových dermatotoxinů resp, imunotoxinů na ni, zvláště je-li vysoce citlivá.

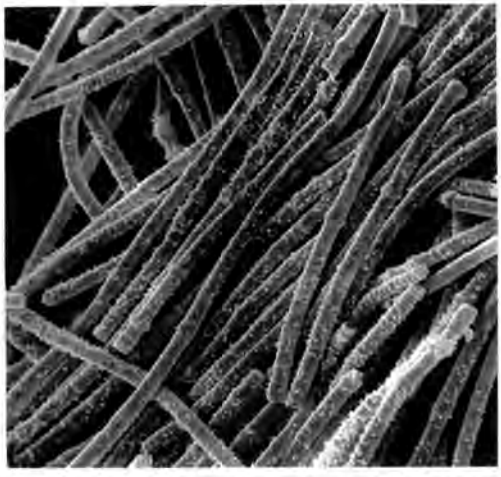
Obr. 10. Kolonie vláknité sinice *Scytonematopsis starmachii*. Světelný mikroskop (orig. L. Kováčik)

Systematikové rozdělují sinice do čtyř řádů, nazvaných opět podle rodů jejich typických zástupců: *Chroococcales* (jednobuněčné), *Oscillatoriales* (obr. 9), *Nostocales* (obr. 10, 11) a *Stigonematales* (vesměs vláknité).

Obr. 11. Trichom sinice *Petalonema alatum*. Světelný mikroskop (orig. F. Hindák)

Mnohotvárnost a široká variační šíře znaků sinic (a to zatím ještě zdaleka všechny neznáme, stále jsou popisovány další a další) je ovšem pro systematiky „soustem", a není tedy divu, že jejich systém je v ustavičném vývoji. A přitom jej zpravidla nemůžeme založit na principu izolovaných čistých kultur, jak je tomu v systému bakterií: obvykle proto, že čistou kulturu sinice izolovat nedokážeme. Sinice jsou ekologicky pevně vázány na život v obligátních společenstvech, hlavně s jinými sinicemi a bakteriemi (obr. 12) – vůbec už nemluvě o nižších živočiších i rostlinách. Víme, jak buňku či trichom sinice izolovat do umělého kultivačního media, ale ona (on) nám ve sterilní, abakteriální kultuře sama (sám) neporoste. A pokud přece, bude mít jiné morfologické, biochemické či funkční znaky než táž sinice v přírodní mikrobiocenóze.

A tak nás sinice staví před zásadní otázku nejen taxonomickou, nýbrž až filozofickou: je správné rozlišovat organismy na jednotlivé druhy – a ty seřazovat do systémových úrovní podle vzájemné příbuznosti, jak nás to naučil už Carl Linné? Jinak to ovšem nedovedeme. Ale metodické postupy, jež jsme v tomto směru ve šlépějích Linného během téměř tří set let vytvořili, nám zde vypovídají službu.



Obr. 12. Trichomy sinice *Nodularia spumigena* s epifytickými bakteriemi. Mrazové leptání. Řádkovací elektronový mikroskop.

Začalo to už v době, kdy ještě nebyl znám rozdíl mezi organismem prokaryontním a eukaryontním; podle tehdejších znalostí nebyly sinice odlišeny od řas, a tím byly zařazeny mezi rostliny. (Už jsme se zmínili o trvale platných názvech sinic v cizích jazycích.) Tak se sinice staly výzkumnou doménou botaniků, hydrobotaniků; a ti je nazvali *Cyanophyta*. Když se pak ukázalo, že jsou prokaryontní, byly z rostlin přeřazeny do bakterií a nazvány *Cyanobacteria*, s čímž se botanici dosud nesmířili. A tak jim říkají neutrálně *Cyanoprokaryota*. Jejich systém vypracovali na principech botanických, založených na parametrech morfologických, fyziologických a ekologických. Jenomže do toho přišla éra molekulární genetiky a jejích možností zkoumat primární strukturu DNA, specifickou pro každý biologický druh – genomika. Ta se do pracně sestaveného – a vlastně nikdy nedokončeného – moderního systému sinic přímo nabourala. Ukázalo se, že DNA sinic jednobuněčných je principiálně neodlišitelná od DNA sinic vláknitých, a že tedy bere za své i řada jiných diakritických znaků, např. ekologických. Ovšem zde je nutno mít na paměti, co už jsme ukázali: že kulturu téměř žádné sinice nelze známými prostředky oddělit od buněk mikroorganismů parabiotických, epifytických i perifytických, obvyklých v daném společenstvu.

Kultivace sinic je podstatně obtížnější než kultivace bakterií. Už jsme řekli, že v čisté kultuře (v kultuře axenické, tj. abakteriální) je lze vypěstovat jen obtížně. A rostou-li vůbec, pak velmi pomalu. Některé sinice žijí jen endosymbioticky (v řasách rozsivkách a houbách) či exosymbioticky (v lišejnících a jatrovkách). Není divu, že od sebe vždycky nelze odpovědně a spolehlivě od sebe oddělit ani jejich DNA.

Sinice jsou krásné a tajemné. Jejich zkoumáním se dotýkáme hlubších, už před miliardami let nastavených tajemství života. Zaslouží si proto naši úctu a obdiv.