

ÚSTŘEDNÍ KOMISE BIOLOGICKÉ OLYMPIÁDY
BIOLOGICKÁ OLYMPIÁDA
1995-1996
30. ročník

**ÚVOD DO BIOLOGIE
MIKROORGANISMŮ**

Přípravný text pro kategorie A,B

Michal BÍLÝ
Jan ČERNÝ
František KAPRÁLEK
Stanislav LHOTA
Ladislav MIKO
David NOVOTNÝ
Zuzana STORCHOVÁ



Institut dětí a mládeže
Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR
Praha 1995

Obsah

I. Úvod	1
II. Obecná část	2
<i>II.1. Co je to mikroorganismus a mikrobiologie?</i>	2
<i>II.2. Stručná historie mikrobiologie</i>	3
<i>II.3. Mikroskop a mikroskopování</i>	5
<i>II.4. Molekulární základy života</i>	10
<i>II.5. Metabolismus</i>	15
<i>II.6. Struktura a funkce buňky</i>	19
<i>II.7. Stručně o fylogenezi</i>	23
<i>II.8. Metody kultivace mikroorganismů</i>	25
III. Systematická část	26
<i>III.1. Viry, viroidy, transpozóny a priony</i>	26
<i>III.2. Prokaryota - bakterie</i>	33
<i>III.3. Houby</i>	38
<i>III.4. Rostliny - řasy</i>	44
<i>III.5. Protista - prvoci</i>	50
<i>III.6. Mikroskopické rostliny a živočichové</i>	60
IV. Ekologie mikroorganismů	65
<i>IV.1. Abiotické faktory</i>	65
<i>IV.2. Biotické faktory</i>	66
<i>IV.3. Role mikroorganismů v koloběhu prvků</i>	68
V. Závěr	70
VI. Doporučená literatura	71

I. Úvod

Tato brožurka pojednává o tvorech, kteří jsou tak malí, že k jejich pozorování potřebujeme mikroskop. Je jasné, že pokud objekt našeho zájmu definujeme pouze velikostí zkoumaných organismů, budeme se zabývat velice různorodou skupinou, do níž budou patřit viry, baktérie, sinice, mikroskopické houby, řasy, prvoci a zástupci mnoha skupin mikroskopických mnohobuněčných organismů. Tento text jsme proto pojmenovali "Úvod do biologie mikroorganismů" a ne "Úvod do mikrobiologie", podědž, jak osvětlí následující kapitolu, mikrobiologie je svébytnou vědní disciplínou se svými klasickými objekty a metodikou práce, které nás text svým obsahem přesahuje.

Jak již bylo řečeno, budeme se v tomto textu zabývat tvory značně rozmanitými. Ti vesměs patří do skupin vývojově velice starých, které se na Zemi vyvíjely dlouho před vznikem makroorganismů a získaly velké množství unikátních vlastností a přizpůsobení. Odrazem této dlouhé evoluční historie je i skutečnost, že mnohé mikroorganismy se navzájem liší mnohem více než jakékoli jiné skupiny makroorganismů. Mezi mikroorganismy patří tvorové jak extrémně jednoduší (např. viry) tak i velice složití, jejichž buňky - např. v případě některých prvoků - patří mezi nejsložitější buňky vůbec.

Objektem našeho zájmu jsou organismy sice malého rozměru, ale velkého významu - některé dokáží fotosyntetizovat, jiné jsou mistry v rozkládání nejrůznějších látek, velký počet patří mezi parazity a snad ještě větší mezi symbionty. Bez mikroorganismů by se všechny pozemské ekosystémy zhroutily, nedalo by se vařit pivo a peč chléb, přežývat by asi neměli bachor a spousta lékařů by byla bez práce. To poslední samozřejmě za předpokladu, že by existovali lidé, protože vznik života si bez mikroskopického stadiu stěží dokážeme představit.

Tato příručka si klade za cíl být o tom, jaké to je mít zpravidla jen jednu buňku a přitom přežít téměř v jakýchkoli podmínkách. Rádi bychom před vámi otevřeli svět složitý a zároveň jednoduchý, svět vypočítavých úskoků i úžasně provázané spolupráce, v němž platí trochu jiné zákony, než na jaké jsme zvyklí. Je nám jasné, že se v této brožurce můžeme mnoha velice zajímavých témat jen dotknout a jiná musíme zcela vypustit. Doufáme, že čtenáře neopradíme trochou biochemie, molekulární biologie a genetiky, bez nichž je moderní mikrobiologie nemyslitelná.

Dnes se mikrobiologii věnují desetitisice vědců. Proč je na tento obor upfena taková pozornost, je jasné. Mikroorganismy jsou velice důležité pro život planety, některé se využívají např. v kvasném průmyslu nebo při produkci antibiotik, mnohé způsobují onemocnění. Přitom jde často o tvory poměrně jednoduché a snadno kultivovatelné ve standardních podmínkách, což umožňuje nahlédnout hluboko do tajů jejich životních pochodů. Například baktérie *Escherichia coli* je dnes zcela jistě nejprozkoumanějším buněčným organismem. Poznatky mikrobiologie spolu s metodami genového inženýrství jdou dnes již tak daleko, že je možné cíleně ovlivňovat vlastnosti některých mikroorganismů a tyto tvory pak využívat pro nejrůznější účely v mnoha oblastech lidské činnosti. Je nepochybně, že mikrobiologii, ostatně jako celou biologii, čeká velká budoucnost.

II. Obecná část

II.1. Co je to mikroorganismus a mikrobiologie?

Jak praví Slovník spisovného jazyka českého, "mikroorganismus je nejmenší, jen mikroskopem viditelný organismus". Tuto definici nalezneme pod heslem mikrob, a můžeme tedy říci, že mikroorganismus je totéž co mikrob. Právem. Je to však definice dostatečná? Nehledě na to, že superlativ nej- může věnit jeden objekt a "jen mikroskopem viditelných organismů" je mnoho, je to snad definice přijatelná pro běžné hovorové používání, ale nikoliv dostatečně přesná. Podle ní by mezi mikroorganismy patřily nejen bakterie, ale i některé druhy červů nebo hmyzu. Velikost organismu je z dnešního hlediska biologie naprosto nepodstatnou vlastností, a termín mikroorganismus je vlastně živou fosilií, historickým reliktem z minulých století. Tehdy byla velikost organismu podstatnou součástí vnějšího popisu organismu, a vnější popis organismu jediný by výsledkem práce přírodopisce nevybaveného jinými metodickými možnostmi než svými vlastními smysly.

Zdálo by se tedy, že pojmy mikroorganismus, mikrob a mikrobiologie (nauka o mikroorganismech) by jako přezitek minulosti neměly být používány. Přesto jsou stále živé, potřebné a používané. Důvod je v tom, že mikroorganismy mají společnou nejen malou velikost, ale i, což s jejich malou velikostí souvisí, zvláštní metodu práce s nimi. Pro metody studia mikroorganismů je společné a charakteristické to, že se - na rozdíl od rostlin a živočichů - zpravidla nestudují vlastnosti jednoho jedince, ale vlastnosti celé populace daného druhu, nejčastěji klonu vzniklého z jedné buňky vegetativním množením. Aby to bylo možné, musí mikrobiolog ovládat zvláštní techniku dovolující pomnožit v jinak všech zárodků prostém živém prostředí jednu výchozí buňku mikroorganismu daného druhu v celou miliardovou populaci prakticky téměř identických buněk. Tak jsou životní projevy jedné mikrobiální buňky, samy o sobě sotva registrovatelné, zesíleny natolik, že je možno je dobře měřit a studovat, a to opět u všech mikroorganismů stejnými metodami. Není tedy hlavní metodickou zbraní mikrobiologa ani tak mikroskop, odhalující tvary a strukturu mikroorganismu, jako spíše zkumavky a baňky naphněné živným roztokem, ve kterých jsou miliardy neviditelných jedinců téhož druhu mikroba, a fyzikálními a chemickými metodami se měří projevy jejich životní činnosti nebo jejich reakce na chemické a fyzikální podněty.

Je tedy mikrobiologie, jako každá jiná vědní disciplina definovaná nejen předmětem studia, ale i metodou, a ta je zcela specifická a odlišná od metody zoologie a botaniky. Zbývá ještě naphnít starý a vágni, ale vžitý a používaný pojem mikroorganismus obsahem adekvátním současné biologii, a definovat tak předmět mikrobiologie. Očividně odpovídají pojmu "mikroorganismy" příslušníci třetí biologické říše podle Haeckela, protista, a můžeme uzavřít, že mikroorganismy jsou protista, a mikrobiologie jakožto věda o nich je třetí hlavní biologickou vědou vedle botaniky a zoologie.

Toto vymezení předmětu mikrobiologie je logické, ale nikoliv bez nedostatků a velmi široké. Vskutku jsou předmětem mikrobiologie nejen bakterie a sinice, ale i řasy, houby a prvoci, pokud jsou studovány metodami mikrobiologickými. Pokud jsou však studovány řasy či houby metodami botanickými, zůstávají předmětem botaniky, a podobně prvoci předmětem zoologie. Bez zbytku však jsou předmětem mikrobiologie bakterie (a jim příbuzné sinice). Nauka o bakteriích je bakteriologie.

Termín mikrobiologie tedy neznamená mikro-biologie a není to tedy "malá biologie" a mikrobiolog není "malý biolog" (viz obrázek na obálce). Jako je biologie nauka (*logos*) o "bios" (život), tak je mikrobiologie nauka o "mikrobios" (odtud "mikrob"), tedy mikrobio-logie.

II.2. Stručná historie mikrobiologie

Historie vědního oboru mikrobiologie začala pozorováním A. van Leeuwenhoeka, holandského badatele samouka, který zahájil svá mikroskopická pozorování v roce 1673 a jako první na světě spatřil 24. dubna 1676 bakterie. Dodnes se dochovaly písemné záznamy a nákresy z jeho pozorování mikroorganismů, které nazýval "animalcula", zvířátka, v mikroskopu vlastní výroby zvětšujícím až 273x. Své záznamy zasílal Královské společnosti v Londýně (více než 200 ilustrovaných dopisů), takže dnes víme, že v různých nálezech, které důkladně prohližel, našel jak prvky, tak některé bakterie. Kromě toho pozoroval a popsal též svalová vlákná, jádra v rybích červených krvinkách nebo myelinový obal nervových vláken.

V následujících asi 2 stoletích se veškerý rozvoj mikrobiologie soustředěval na občasná znovupotvrzení existence organismů tak malých, že je nelze pozorovat bez složitých optických přístrojů. V roce 1838 je nicméně vydan spis o taxonomii bakterii, v němž se již objevují některé dodnes používané názvy bakterií.

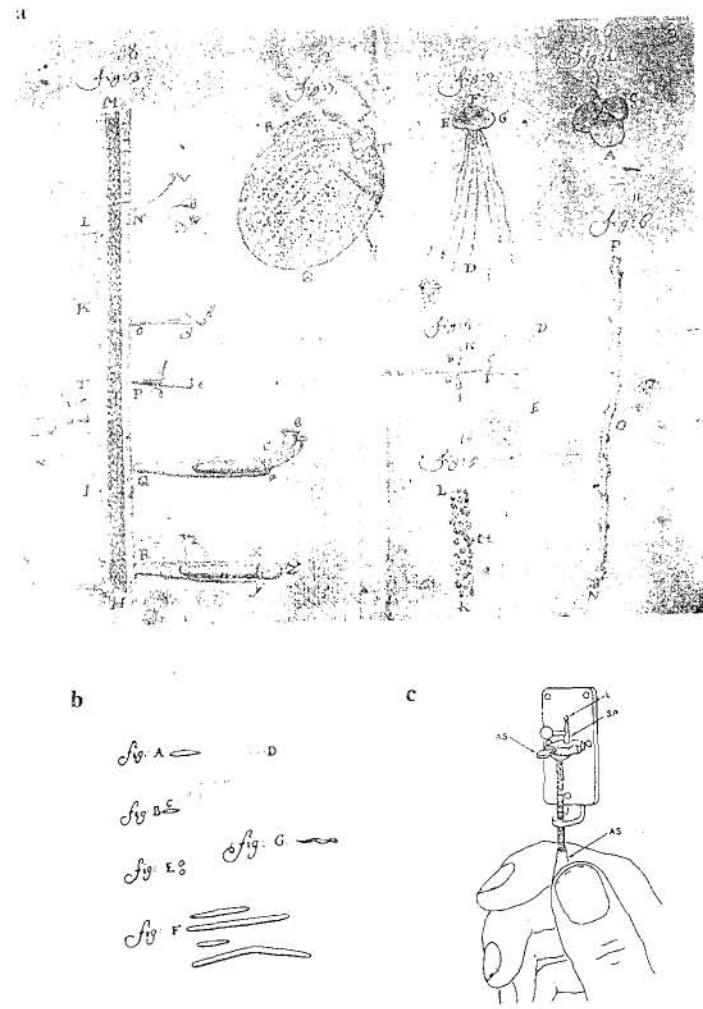
Na počátku přeměny podivinské záliby v prohlížení nálevů či slin pod mikroskopem na moderní vědecký obor stojí dvě zajímavé osobnosti: Louis Pasteur (1822-1895) a Robert Koch (1843-1910). Energický a temperamentní Pasteur prokázal, že příčinou etanolového, mléčného a máselného kvašení jsou mikroorganismy. Prinesl experimentální důkazy, že mikroorganismy jsou přítomny například i ve vzduchu, začal s jejich kultivací na živných půdách a naučil se je i odstraňovat sterilací (pasteurizaci) či filtrováním. Prokázal, že ani nejmenší organismy, baktérie, nemohou vznikat nové z neživé hmoty. Navíc odhalil původce slezinné sněti, cholery drůbeže, červenky a vyvinul živou vakcínu proti původci slezinné sněti. Je tedy i autorem principu ochranného očkování zeslabenými kulturami mikroorganismů (vakcínami). Dokázal též přenos vzklekliny a i zde odhalil způsob ochranného očkování.

Systematický a precizní Robert Koch, povahou zcela odlišný od Louise Pasteura, je druhým velikánem mikrobiologie. Zabýval se především lékařskou mikrobiologií. Zavedl kultivaci baktérií na pevných půdách a naučil se řadu baktérií spolehlivě kultivovat. V roce 1882 odhalil původce tuberkulózy *Mycobacterium tuberculosis* a původce cholery *Vibrio cholerae*. Formuloval takzvané Kochovy postuláty, které se dodnes používají při odlišování infekčních chorob od neinfekčních.

Kochova škola odhalila a kultivovala řadu původců nakažlivých chorob. Koncem minulého století se mikrobiologie stala nesmírně populárním oborem. Lovci mikrobů nasazovali své životy, aby zjistili původce tak nebezpečných nemocí jako je malárie, tyfus, spává nemoc, a aby objevili možnosti jejich léčby, mnichy za cenu nakažení sebe sama. Ale vědci se nezabývali pouze původci chorob člověka či zvířat. S. Vinogradskij, zakladatel ruční biologie, objevil daří mimořádné vlastnosti mikroorganismů, jako je schopnost autotrofie, existence sírových, nitrifikačních či železitých bakterií, nebo schopnost bakterií vázat vzdušný dusík.

Z bouřlivě se rozvíjející mikrobiologie se na počátku 20. století s dalšími objevy odštěpují nové vědní obory. Po objevu virů a bakteriofágů (1915 F.W. Twort, 1917 F. d'Herelle) vzniká virologie, při studiu obranné reakce nemocného organismu po infekci mikroby vzniká imunologie (I. Mečníkovič). Významným činem je objev penicilinu (1929 A. Fleming). Začíná éra antibiotik, na jejímž konci viděli smířci vymýcení všech nemoci.

Z mikrobiologie se v 50. letech vydělil ještě jeden vědní obor, který dnes významně ovlivňuje všechny biologické vědy. Je to molekulární biologie a genetika, která začala studiem dědičnosti právě u baktérií. Mikrobiologie současnosti je moderní vědou využívající potenciál všech věd příbuzných. Významné jsou její aplikace v medicíně, kde svými metodickými přístupy pomáhá vyvinout úspěšnou terapii mikrobiálních onemocnění. Nezastupitelnou roli hraje bouřlivě se rozvíjející oblast biotechnologií, které využívají unikátních vlastností mikroorganismů pro produkci a zpracování nejrůznějších látek.



Obr.1. Pozorování, která Antonie van Leeuwenhoek pravidelně zasílal Anglické královské učené společnosti, jsou prvními záznamy pozorování mikrosvěta lidským okem. a) Ilustrace k pojednání o nálezech. b) První obrázky bakterií. c) Jednoduchý mikroskop, který Leeuwenhoek používal při svých pozorováních. AS - srouby k posuvování pozorovaného objektu v zorném poli, SP - hodec, na který se pozorovaný objekt upevňoval, l. - čočka.

H.3. Mikroskop a mikroskopování

První optická zvětšovací zařízení - vlněná či skleněná čočky, byla známa již ve starověku a poznála téměř nejednou, když si mohli takovou významnost dovolit, poslat svému králi. Rozvoj optické techniky v 15. století, kdy do Evropy přinesli nové znalosti o výrobu čoček a byly uvedeny kupci. V roce 1590 se v Holandsku podařilo Zachariasu Janssenovi a jeho synu Janovi sestrojit první monokulární mikroskop. Výrazu mikroskop užil poprvé flanderský lékař Faber Prvním, kdo prokázal existenci drobnotělých rostlin a živočichů byl holandský obchodník v Delftu Anthony van Leeuwenhoek (1632-1733), který v 17. století zdokonalil jednoduchý mikroskop tak, že zasídlil vlněnou čočku a dvoučetné čočky do plotny a před ně ramenovou tyčinku s ježkou, na jejž krov upínal pozorovaný objekt. Tímto jednoduchým zařízením objevil a pozoroval v procházejícím světle bakterie, nálevníky, fasy, spermie, krvinky atd. Prosté mikroskopické pozorování povyšily na vědecký základ objevy Roberta Hooka (1635-1703). Bylo to vlastně on, kdo roku 1667 objevil rostlinnou buňku při studiu řeřichy. Když pak Nehemiah Grew (1628-1711) a Marcello Malpighi (1628-1694), položili základy mikroskopické anatomie rostlinného a živočišného těla, sice se mikroskop definitivně nezbytnou součástí přírodovědeckých laboratoří. V dalších letech docházelo k významným zdokonalením, na němž se výrazně podílela firma Zeiss v Jeně círající se o práci matematika a fyzika Ernsta Abbé (1820-1905). V roce 1850 G.B. Amici zavedl vodní imerzi. Profesor Abbé počítanou propočítal všechny fyzikální hodnoty uplatňující se při zvětšování mikroskopu a roku 1878 vytvořil první olejovou imerzi. Dnešní moderní mikroskopy dosahují několikasetinásobného zvětšení a jsou již i v tom na vrcholu optické dokonalosti. Mají však jedno velké ohnisko - jejich zvětšovací schopnost je omezena vlnovou délkou viditelného světla, s kterým pracují. To znamená, že některé bakterie a viry jsou témito přístroji nenechte. Mnohař zdejšího této oblasti přinesl objev elektronového mikroskopu (okolo roku 1930), který umožňuje několikasetinásobné zvětšení při výborné rozlišovací schopnosti. V poslední době dochází s rozvojem počítačového zpracování obrazu k novému kvalitařskému pokroku mikroskopie, o některých nových metodách, např. unikovací elektronové mikroskopii nebo o konfokální světelné mikroskopii, se ještě zmínilo.

Strukturní mikroskopie

Základem každého mikroskopu jsou čočky. Za optickou čočku považujeme čiré optické stěnuhodné těleso, v němž se světlo lámne jinak než v okolním prostředí a které je obvykle omezeno dvěma kuličkovými plochami, nebo jednou plochou kulovou a rovinou. Obrusnice se čočky dříve nazývaly (srovnávat světelné paprsky) a na rozdíl od (srovnávat světelné paprsky rozptylovat). Existuje složitá teorie a názvosloví jevu souvisejících s opačnými čočkami, v dalším textu se zmínime jen o těch nejdůležitějších. Přímka spojující sířecí křivostí omezuje ploch u čoček je tzv. hlavní optická osa čočky. Každá čočka má na hlavní optické ose dvě hlavní ohniska, jedno na každé straně, kde se protinají světelné paprsky po průchodu čočkou. Čočky využívající svého čoček čočky vyduté (rozptyly) neskončená. Ohnisková vzdálenost je čočka spojující ohnisko se středem čočky. Ta se používá ve své původní hodnotě (v metech) pro srovnávání výkonnosti čoček. Za jednotku optické možnosti se počítává čočka, u okulárové vzdálenosti 1 metr - říkáme o ni, že má optickou možnost jednu dioptrie (půlmetrová 2 dioptrie ...). Jde-li o čočky spojené označujeme např. značkou +, u čoček rozptylných značkou -.

Nejdůležitějšími optickými pozorovacími přístroji složenými z čoček jsou lupa a mikroskop. Lupa je nejjednodušším optickým zařízením složeným z jedné nebo i více spojnych čoček o kratší ohniskové vzdálenosti než je tzv. konvenční vzdálenost zraková (25cm). Vzniká zvětšený obraz, který je tím větší, čím je předmět blíže ohnisku. Mikroskop má oproti lupě řadu výhod. Především dosahuje větší rozlišovací schopnosti a mnohem většího zvětšení, díky čemuž je možné pohodlněji pozorování vzhledem k větší vzdálenosti oka od pozorovaného objektu. Toho je dosaženo užitím dvou centrovanych optických soustav objektivu a okuláru - vzdálených od sebe o určitý interval. Úkolem objektivu je vytvořit zvětšený a skutečný obraz předmětu, zatímco úkolem okuláru je pozorovaný obraz ještě zvětšit. Každý mikroskop se skládá ze souboru částí mechanických a optických. Moderní mikroskopy jsou navíc vybaveny nejrůznějšími přídavnými zařízeními (např. pro zvláštní druhy osvětlení, mikrofotografií, pozorování při konstantní teplotě, pro mikromanipulaci...). Mezi mechanické části patří stativ (zajišťující stabilitu a připojení částí, slevčený z těžké nohy, stolku mikroskopu a nosiče tubusu), tubus (složený ze dvou do sebe zasunutých kovových trubic - zevní nese objektiv, do vnitřní posuvné se shora vkládá okulár), posun tubusu (mající za úkol zaostrovat pozorovaný objekt v mikroskopu, což se děje hrubým a jemným posunem pomocí šroubů makrometrického a mikrometrického) a revolverový měnič objektivů. Dalšími částmi mikroskopu jsou zrcátko případně jiný zdroj světla a kondenzor. Pro správnou funkci mikroskopu má klíčovou úlohu kvalita optických součástí - okuláru a objektivu.

Objektiv představuje nejdůležitější systém v mikroskopu. Vytváří skutečný, půvražený a zvětšený obraz pozorovaného předmětu. Tento obraz musí být co nejkvalitnejší, protože okularem už je pouze dalek zvětšován. Méně zvětšující objektivy jsou kratší, kdežto silnější jsou naopak delší. Pracovní vzdálenost objektivu je vzdálenost pozorovaného předmětu od přední čočky v okamžiku, kdy v okuláru pozorujeme jasný a ostrý obraz předmětu. Pohybuje se mezi 3cm (u slabých objektivů) a 1-2mm (i. méně) u velmi silných při použití imerze. Velikost zorného pole mikroskopu je tím větší, čím větší je ohnisková vzdálenost objektivu. Proto, čím je silnější objektiv, tím je velikost zorného pole menší. Velmi důležitou vlastností objektivu je jeho světelnost - schopnost zachytit co nejvíce množství světla podlejícího se na vytvoření obrazu. Ta je závislá na velikosti vstupního nebo otvorového úhlu alfa (tzv. angulární apertura), který je tvořen dýma krajními paprsky, ohraňujícimi světelný kužel paprsků, přicházejících z určitého bodu objektu do objektivu. O tom, kolik paprsků projde z předmětu do objektivu rozhoduje do značné míry i lomivost prostředí mezi nimi. Čím je tato hodnota bližší hodnotě skla (1,53), tím více paprsků do objektivu vstupuje. Proto se využívá imerza (kapička tekutiny spojující krycí skličko, příp. objektiv s objektivem), kdy v případě oleje můžeme využít jeho indexu lomu 1,515 (oproti vzduchu s hodnotou 1). Rozlišovací schopnost objektivu závisí na angulární apertuře, indexu lomu prostředí a na vlnové délce světla použitého pro pozorování. Hloubka ostrosti představuje možnost zobrazit současně ostře určitý počet roviných vrstev předmětu. Silné objektivy mají houbovou ostrosti malou, slabší naopak velkou.

Okulár zastává v mikroskopu funkci lupy - zvětšuje reálný obraz vytvořený objektivem. Neukáže tedy proto nikdy víc, než jen to, co zobrazil objektiv. Čím silnější je okulár, tím je kratší. Obraz pozorovaného objektu v mikroskopu je neskutečný (na rozdíl od obrazu vytvořeného pouze objektivem), půvražený a zvětšený. Výsledné zvětšení mikroskopu se rovná součinu vlastního zvětšení objektivu a vlastního zvětšení okuláru. Pro praxi je důležité rozepisovat hodnoty zvětšení objektivu a okuláru zvlášť, neboť téhož výsledného zvětšení lze dosáhnout při různých kombinacích zvětšení obou

soustav - tedy objektivu a okuláru. Víme, že rozhodující z hlediska zachycení "bohatosti" struktury daného objektu je právě objektiv.

Pro vznik kvalitního mikroskopického obrazu je důležité osvětlovací zařízení. Předměty je možné pozorovat buď ve světle dopadajícím nebo procházejícím. Ve světle dopadajícím se prohlížejí hlavně objekty neprůhledné a užívá se málo zvětšujících objektivů. Pro nás nejdůležitější je osvětlení ve světle procházejícím, kde nejednodušším osvětlovacím zařízením je zrcátko (ploché pro malá zvětšení a duté pro zvětšení větší). Dnes se převážně používá různých typů lamp. Pro dokonale prosvícení objektů pozorovaných při velkém zvětšení je třeba použít kondenzor. Jedná se vlastně o systém čoček podobný objektivu osvětlujičich objekt. Podle způsobu vedení paprsků je možno rozlišit buď osvětlení se světlým nebo tmavým pozadím. Světlé pozadí je normální situace, kdy se od zdroje vycházejíci paprsky dostanou pravidelným lomem nebo odrazem do oka pozorovatele. Osvětlení v tmavém poli (zástinu) se užívá tehdy, nejsou-li objekty dostatečně kontrastní. Tohoto osvětlení se dosahuje použitím centrální terčové clony v kondenzoru, která zastíní jeho střed, takže do objektu se dostanou pouze paprsky okrajové. Ty se v něm lámou a mohou se dostat do zorného pole. Takový objekt pak intenzivně září na tmavém pozadí.

Velká kouzla je možné provádět se zvětšeným obrazem ze světelného mikroskopu po připojení na počítač. Dnes je velice populární tzv. konfokální mikroskopie, která umožňuje za pomocí poměrně složitého optického zařízení zaostřit velice přesně do nejrůznějších rovin pozorovaného objektu. Je tak např. možné nahlednout velice hluboko do nitra živé tkáně nebo výorek "rozřezat" na velké množství optických "řezů", z nichž připojený počítač může složit velice názorný trojrozměrný obraz.

Praktické používání světelného mikroskopu

Při manipulaci držíme mikroskop za nosic tubusu. Osvětlení zorného pole se provede postupným natáčením zrcátka ke světelnému zdroji až do optimálního osvětlení. Pro první pozorování a optimální nasvěcování se používá málo zvětšujícího objektivu. Obraz vyhledávame a hrubě zaostřujeme pomocí makrošroubu a teprve potom doostříme mikrošroubem. Prakticky se to provádí tak, že se diváme ze strany mikroskopu a tubus spouštíme pomocí makrošroubu tak dlouho dolu k preparátu, až se objektiv téměř dotýká krycího sklička preparátu. Pak teprve přiložíme oko k okuláru a za soustředěného pozorování pomalu zvedáme tubus nahoru. Jakmile kmitne v zorném poli obraz, vrátíme se poněkud dolu, zvedáme ještě pečlivěji a teprve po opětém objevení se obrazu přehmátneme na mikrošroub a doostříme. Každý preparát se prohlíží nejdříve při malém zvětšení (50-100x) a teprve, když se v něm zorientujeme, nastavíme větší zvětšení. Určité místo v preparátu, které hodláme studovat podrobněji, musíme před změnou silnější zvětšujícího objektivu nastavit do středu zorného pole. Vyvarujeme se tím téměř jisté ztrátě obrazu při nastavení silnějšího zvětšení. Výměna objektivů je velmi snadná, neboť jsou obvykle zašroubovány v revolverovém měniči, kterým otáčíme tak dlouho, dokud nezapadne zoubek spojený s pružným párem do příslušné růhy. Chceme-li pro velká zvětšení použít i merzní objektiv, nejdříve musíme hledaný objekt nastavit přesně do středu zorného pole. Překontrolujeme optimální osvětlení, trochu zvedneme tubus, natočíme i merzní objektiv do optické osy a na preparát kápeme kapku vody nebo cedrového oleje do místa, které hodláme pozorovat. Za současného pozorování snížujeme makrošroubem tubus k i merzi tak dlouho, dokud se objektiv nespoji s merzní tekutinou. Jakmile se tak stane, tubus mírně zvedneme - objektiv však nesmí ztratit kontakt s merzní tekutinou - obraz zachytíme do zorného pole a doostříme. Po mikroskopování čerstvý olej snadno setřeme, zaschlý olej je nejprve třeba zvlhčit kapkou tekutého oleje. Hadík nebo papír

na čočky je možné mírně zvlhčit benzinem nebo eterem - nikdy nepoužíváme alkohol nebo acetón, které nejenom že nerozpouštějí cedrový olej, ale navíc mohou poškodit tmel čoček objektivu.

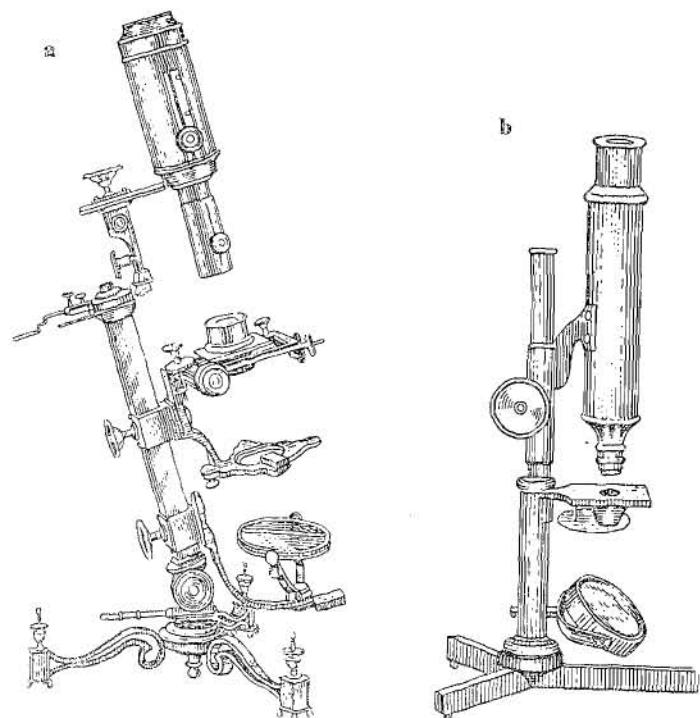
Mikroskopický preparát

Dalším předpokladem úspěšného mikroskopování je správná příprava mikroskopického preparátu. Ten se skládá z podložního skla, objektu, prostředí a z krycího sklička. Kladě se na stolek mikroskopu vždy krycím skličkem nahoru. Preparát může být v některých případech (např. krevní roztoky) tvořen pouze podložním sklem a objektem. Čerstvý (nativní) preparát je tvořen živým objektem, který není fixován ani jinak upraven (výjimkou je vitální barvení). Výhodné je, že po skončení mikroskopování může být objekt dále kultivován a po určité době opět studován. Některé mikroskopické objekty připravujeme pro mikroskopování jednoduše tak, že je klademe na podložní sklo do kapky vody nebo jiného prostředí a pak je přikryváme krycím skličkem. Jiné objekty musíme nejprve upravit - např. řezaním nebo rozdrcením. Větší objekty - např. malé vodní organismy - je třeba chránit před tlakem krycího sklička a proto je podkládáme - např. malými úlomky krycího sklička. Rychlému pohybu drobných organismů lze zamezit mírným tlakem na krycí skličko, vložením vláken vaty nebo použitím želatiny nebo glycerolu ke zvolnění pohybu. Pro pozorování živých drobnolehčených organismů je možné použít i tzv. visuté kapky nebo podložních skel s vybroušeným důlkem. Chceme-li preparát pozorovat delší dobu nebo použít metod zvětšujících struktury na nativních preparatech neviditelné, musíme vytvořit tzv. trvalý preparát. Ten je vytvořen z mrtvého fixovaného materiálu a je uzavřen v neměnném prostředí, které zaručuje jeho trvanlivost. Zhotovování trvalých preparátů je dosti pracné a zahrnuje často celou řadu úkonů - rychlé usmrcení, fixaci objektu, odstranění fixační tekutiny, odvodňování, zalevání odvodněného materiálu např. do parafinu, řezání tkáně v parafinu, lepení řezů na podložní sklo a jejich další zpracování až po barvení a uzavírání preparátu do kanadského balzamu či jiného média.

Elektronová mikroskopie

Jak již bylo zmiňeno na začátku, objevem elektronové mikroskopie se posunula rozlišovací schopnost mikroskopů o několik řádů až na úroveň větších molekul. S její pomocí byla odhalena ultrastruktura buňky, výrazně se podílela na odhalování funkce nukleových kyselin a v neposlední řadě pomohla vytvořit dokonalé trojrozměrné obrazy mikroskopických objektů. Elektronová mikroskopie využívá na místo světla svazek elektronů, které jsou stejně jako fotony schopné reagovat na přítomnost hmoty při průchodu objektem. proud elektronů je, podobně jako v případě fotonů (kde se tak děje pomocí čoček), usměrňován a zaostřován pomocí elektromagnetů. Pozorovaný objekt je dnes nejčastěji zobrazován na obrazovce. Rozlišujeme dva typy elektronové mikroskopie - tzv. transmisní a rastrovací (skanovací). Princip transmisní elektronové mikroskopie je velice podobný jako u světelného mikroskopu při pozorování v procházejícím světle. Svazek elektronů při ni prochází velice tenkým řezem nebo jiným miniaturním objektem upevněným ve vakuu na velice jemnou zlatou mřížku. Kde se nalézá hmota schopná ovlivnit svým působením dráhu elektronů, tam získáme na obrazovce pozitivní signál. Rastrovací elektronová mikroskopie je založena na jiném principu. Při ni jsou pozorované objekty pokovené tenkou vrstvičkou zlata, pozorování se opět děje ve vakuu. Pokovený objekt je přejížděn (rastrován) úzkým svazkem elektronů, které se od pokoveného povrchu odrážejí, jsou analyzovány a jako výsledek dostáváme plastický trojrozměrný obraz objektu. Velkou nevýhodou elektronové mikroskopie je, že musíme pracovat s neživým materiálem, který je navíc podrobén mnoha procedurám, při nichž mohou snadno vzniknout artefakty - struktury,

které nejsou původnímu biologickému objektu vlastní, ale vznikly až při přípravě preparátu. Proto je dnes velká pozornost věnována vývoji metod, které by umožnily pozorovat objekty s rozlišením srovnatelným s elektronovou mikroskopii, avšak za nativnějších (bližších biologické skutečnosti) podmínek. Příkladem takové metody je rastrovací tunelovací mikroskop nebo mikroskop atomárních sil, které jsou založeny na pohybu velmi jemné sondy v těsné blízkosti povrchu vzorku (pomoci piezoelektrických posuvů). Sonda zde vlastně svým pohybem "obkresluje" povrch vzorku. Tyto mikroskopy dnes umožňují pozorovat jednotlivé atomy, detegovat jejich vlastnosti, popřípadě s nimi i manipulovat.



Obr.2. Během staletí prošly mikroskopy mnoha změnami. a) Velký univerzální mikroskop z roku 1776. b) Mikroskop z první poloviny XIX. století.

H. 4. Molekulární výzkum života

Atomy a molekuly

Celý svět kolem nás se skládá asi ze sta různých materiálů. Každý z nich je trochu jiný ale všechny se skládají z protonů, elektronů a neutronů. Počet a uspořádání těchto tzv. elementárních částic určuje vlastnosti atomů - takže např. schopnost vytvářet dlouhé řetězce a navíc tvořit dvojné a trojné vazby. Tyto vlastnosti ho předurčily stat se nejdůležitějším atomem živých bytostí. K němu se přidružily další, tzv. biogenetické prvky (opět díky své schopnosti vytvářet s uhlíkem a mezi sebou navzájem stabilitní složeniny) - hlavně kyslík, vodík, dusík, fosfor, síra, chlor, sodík, drasík, vánad a v menším množství (což však nesnímá jejich význam) např. železo, hořčík, manganes, jód, břidlo, vanad...

Organismy se skládají z poměrně malého počtu různých atomů. Ty se však mohou kombinovat, - samozřejmě ne náhodně, ale podle přísných fyzikálně-chemických zákonů, ve struktury složitější - molekuly. Molekula může obsahovat v nejednodušším případě dva stejné atomy - např. v molekule kyslíku O₂ nebo tisíce až miliony různých (C, O, H, N, P, S), jak je tomu u nejvíce buněčných makromolekul - nukleových kyselin, bílkovin a polysacharidů. Vše živé se skládá z ohromného množství různých molekul. Některé jsou poměrně jednoduché jako např. molekula vody H₂O, oxid uhličitý CO₂ či chlorid sodný NaCl a můžeme je nalézt i v neživé přírodě.

Základní makromolekuly živých organismů

Pro živé organismy jsou unikátní složky molekuly schopné vykonávat různé funkce. Mezi ně patří *tuky* obsahující velké množství využitelné energie a ve formě fosfolipidů schopné za přispění fyzikálních zákonů vytvářit biologickou membránu. *Cukry* jsou přítomny téměř všude, kam se v buňce podíváte a ve formě polymeru slouží jako zásobárna energie nebo výborný stavbní materiál. *Bílkoviny* jsou buněčnými katalyzátory a současními nejrůznějších buněčných struktur (např. cytoskeletu). *Nukleové kyseliny* mají na starosti vše, co se týká přenosu a uchovávání informace. Veškeré důležité jsou molekuly schopné ve svých vazbách uchovávat velké množství využitelné chemické energie. Nejdůležitější z těchto molekul je *adenosintrifosfát - ATP*.

Jako je dům postaven z cihel, tak i tyto složité molekuly se skládají ze stavebních bloků - *tuky* z výšších mastných kyselin a glycerolu, k nimž se mohou ještě připojit další sloučeniny - např. cukry v glykolipidech nebo kyselina fosforečná ve fosfolipidech; - *polysacharidy* (jako je např. škrob nebo celulosa) z jednoduchých cukrů (monosacharidů), kterých je několik desítek různých typů; - *bílkoviny* z 20 různých aminokyselin a - *nukleové kyseliny* jsou řetězky navzájem pospojovaných zbytků kyseliny fosforečné a cukru, na které jsou navázány zvláštní dusíkaté sloučeniny zvané purinové a pyrimidinové báze. Stejně jako je možné postavit klokovalné inimizi v různých domů při použití několika malo stavebních dílů, tak i buňka dokáže využít z několika různých monosacharidů, aminokyselin, mastných kyselin a dusíkatých bázi za asistence anorganických sloučenin nepřeberné množství různých molekul. Většinu důležité je, že se chová jako výborný architekt - sestavená molekula je vždy vytvořena podle přesného plánu, ve správný čas a v optimálním množství. Jak to vše buňka dokáže? Kde se nalezá informace pro všechny tyto děje?

Nukleové kyseliny

Abychom mohli správně odpovědět na tyto otázky, musíme se nejdříve seznámit s *nukleovými kyselinami*. Jak název napovídá, všejí tyto sloučeniny útoku sestaveného s buněčným jádrem (lat. nucleus), o němž je docela známo, že obsahuje praktickou informaci. Zarovně ukazuje na jejich kyselu povahu, za kterou je tento název dán.

kyseliny fosforečné. Ten spolu s cukrem ribózou (v ribonukleové kyselině - zkráceně RNA) nebo deoxyribózou (v deoxyribonukleové kyselině - DNA) tvoří dlouhé vlákno. Na něj jsou připojeny již dříve zmíněné dusikaté báze - v DNA jsou to adenin, guanin, tymin a cytosin, v RNA je tymin nahrazen uracilem. Podle složení můžeme tedy nukleové kyseliny rozdělit do dvou skupin. DNA je složena ze dvou vláken stočených do tvaru šroubovice a je součástí chromozómů, na nichž se nalézají geny nesoucí genetickou informaci děděnou z generace na generaci. RNA je jednovláknová a vykonává řadu funkcí při zpracování genetické informace. Můžeme ji rozdělit do čtyř skupin - na mRNA, která je vlastně kopír určitého genu a slouží jako plán pro syntézu proteinů na ribozómu, rRNA tvořící velkou část ribozómu, tRNA podílející se na překladu (tzv. translaci - viz dále) a snRNA hrájící velice důležitou a ne zcela známou úlohu při úpravách ostatních typů RNA. Všechny nukleové kyseliny v sobě nesou informaci, která je zakódována v pořadí dusikatých bází. Vlákno nukleové kyseliny si můžeme představit jako nit (kterou tvoří vlákno z navzájem pospojovaných zbytků kyseliny fosforečné a ribózy nebo deoxyribózy), na kterou jsou navléčeny korálky čtyř barev (cytisin, adenin, guanin a thymin - případně uracil). Každý ze čtyř korálků můžeme považovat za jedno písmenko, trojici korálků za jedno slovo. Kolik lze vytvořit slov o třech písmenech ze čtyř různých písmen, když se stejná písmena mohou v jenom slově opakovat? Snadno zjistíme, že 64. To je dostatečný počet pro pojmenování všech dvaceti aminokyselin tvořících bílkoviny. Pro kódování buňka využívá všechn 64 kombinaci - čtyři se používají pro označení začátku a konce překládané informace (jedná se vlastně o interpunkční znaménka) a zbývajících 60 kóduje jednotlivé aminokyseliny. Trojicím bazi v nukleové kyselině kódujících určitou aminokyselinu se říká triplet a pořadí těchto tripletů určuje pořadí aminokyselin v bílkovině. Známe-li správný kód, můžeme k určitému pořadí bázi v nukleové kyselině přiřadit odpovídající pořadí aminokyselin v bílkovině. Tím správným kódem je kód **genetický**, který je téměř shodný jak u eukaryot tak prokaryot, což je jedním z nejsilnějších důkazů pro společného předka všeho živého. Jak je zřejmé z obrázku, některé aminokyseliny jsou kódovány několika (až šesti) různými triplety, jiné třeba jen jedním. Zpravidla platí, že čím častěji se určitá aminokyselina vyskytuje v bílkovinách, tím více tzv. synonymickými triplety je kódována.

Nukleové kyseliny jako informační molekuly

Chceme-li s informací pracovat, musíme ji umět kopirovat a přepsat. Stejně tak buňka musí umět zdvojit svoji genetickou informaci před buněčným dělením (tzv. replikace DNA) a přepsat určitý gen na potřebný protein. Schopnost přepsat a zdvojit genetickou informaci je umožněna specifickým párováním dusikatých bází: adenin páruje s tyminem (v DNA) a uracilem (v RNA), cytosin s guaninem. Toto párování je založeno na slabých chemických interakcích, tzv. vodíkových můstcích, a umožňuje, aby se příslušný úsek DNA v jádře přepsal do mRNA (m před RNA je odvozeno od anglického messenger - posel). Tento proces se nazývá **transkripcí** (anglicky přepis) a provádí jej pod přísnou kontrolou dalších proteinů, zvaných transkripční faktory, enzym RNA polymeráza. Vzniklá mRNA je přepravena z jádra do cytoplasmy, kde je využita jako informace pro syntézu proteinu. Stejným způsobem, tedy přepisem z DNA, vznikají i ostatní typy RNA - ribozomální rRNA, transferové tRNA, malé jaderná (small nuclear) snRNA a malé jadérkové (small nucleolar) snoRNA.

Ne vždy je možné mRNA rovnou odeslat do cytoplasmy. U eukaryot a archebakterií přepsaná RNA často obsahuje úseky, které nekódují pořadí aminokyselin a které je třeba nejdříve vystříhnout. Tato přesně regulovaná úprava se nazývá **sestřih** (anglicky splicing) a z RNA jsou z ní vyštěpovány tzv. introny, které zůstavají v jádře, zatímco zbytek (exony) jsou spojeny do jednoho vlákna mRNA, které je transportováno

do cytoplasmy. Zde se na ribozómu účastní procesu zvaného **translace** (z anglického translation - překlad). Podstatou translace je přeložení informace, zapsané jazykem nukleové kyseliny, do jazyka bílkovin. K syntéze bílkovin, a tedy i k překladu, dochází na ribozómu, organele složené z rRNA a několika desítek proteinů, která je schopná zajistit ideální prostředí pro další aktéry překladu - text (zapsaný v mRNA) a slovník (molekuly tRNA). Ribozóm při translaci pracuje jako překladatel, který přiřazuje slovům z jednoho jazyka významy v jazyce druhém. Je schopen přiřadit odpovídajícímu tripletu v mRNA správnou tRNA. Molekuly tRNA při translaci hrají roli jednotlivých slovníkových hesel - na jednom svém konci nesou navázánou určitou aminokyselinu a na druhém triplet, který páruje s tripletem na mRNA. Na ribozómu dochází k párování tripletu mRNA s příslušnými tRNA nesoucími navázáné aminokyseliny. Ribozóm je schopen tyto aminokyseliny navzájem spojovat peptidickou vazbou a odstěpovat je od tRNA. Přitom se po tripletových krocích posouvá po mRNA a umožňuje párování dalších a dalších tRNA a následně narůstání bílkovinného řetězce. Translace končí tzv. STOP kodonem, pro který neexistuje odpovídající tRNA. Ribosom vytvoří poslední peptidickou vazbu, uvolní vzniklý bílkovinný řetězec z poslední tRNA a oddělí se od přeložené mRNA. Poté je připraven pro překlad další molekuly mRNA.

Vzniklý bílkovinný řetězec se sbaluje do tvaru, který je určen pořadem aminokyselin, a na kterém později závisí vlastnosti dané bílkoviny. Vzhledem k tomu, že se toto **sbalování** děje v prostření bohatém na různé molekuly schopné tento děj narušit, je třeba čerstvě přeložený protein ochránit před nežádoucími vazbami. Tomu pomáhají tzv. chaperony, unikátní bílkoviny, které obklopují bílkovinný řetězec, oddělí jej od okolí a nechají v klidu sbalovat. Po určité době se od proteínu oddělí a ten je pak buď schopen přímo se zařadit do buněčného pracovního procesu, nebo je ještě dále upravován. Může být rozštěpen, mohou na něj být navázány různé postranní skupiny - např. cukry nebo mastné kyseliny, často se spojuje s jinými proteiny a vytváří velké komplexy. Abychom pochopili funkci proteinů, musíme se, podobně jako u nukleových kyselin, alespoň letoň dotknout jejich složení a struktury.

Bílkoviny

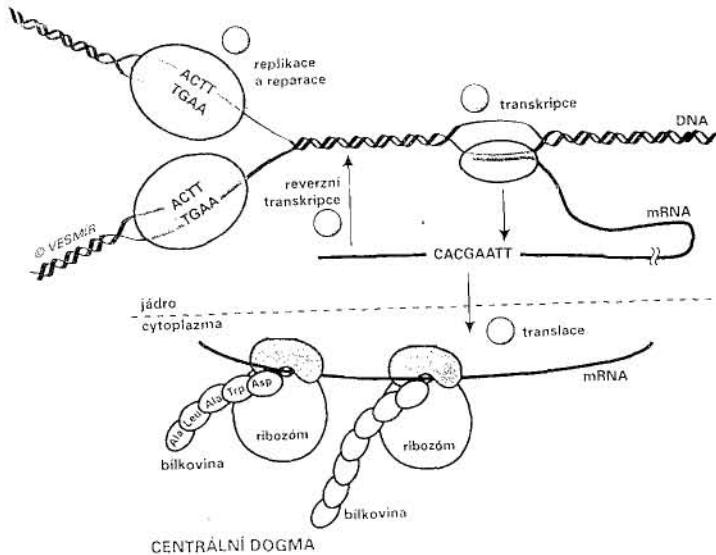
Bílkoviny jsou složeny z 20 různých aminokyselin spojených tzv. peptidickou vazbou. Jednotlivé **aminokyseliny** se liší postranním řetězcem, který může obsahovat jeden atom vodíku (glycin), alifatický řetězec (alanin, valin, leucin a izoleucin), zásaditou skupinu (lysin, arginin a histidin), kyselou skupinu (kyseliny asparagová a glutamová), amidovou skupinu (glutamin a asparagin), hydroxylovou skupinu (serin a threonin) aromatický řetězec (tryptofan, tyrosin a fenylalanin), atom síry (cystein a methionin), jedna aminokyselina je dokonce sama uzavřena do kruhu (prolin). Tyto různé postranní řetězce mají odlišné chemické vlastnosti - např. některé jsou nabité, jiné hydrofobní, -SH skupina cysteiny je schopná kovalentní vazby s jinou -SH skupinou. Postranní skupiny aminokyselin určují, jakým způsobem se bílkovinný řetězec sbalí - zda vytvoří šroubovicovou strukturu (tzv. α -helix) nebo rovinou útvar podobný poskládanému listu papíru (tzv. β -list). Bílkoviny hrají v buňce několik rolí. Předně jsou specifickými katalyzátory schopnými neuvěřitelně zvyšovat rychlosť biochemických reakcí. Tyto bílkoviny se nazývají **enzymy**, jsou buď rozpustné (např. enzymy glykolyzy) nebo pomocí úseku hydrofobních aminokyselin vázané v membráně (enzymy dýchacího řetězce). Jiné slouží jako **receptory** v mebráně, další **zajišťují přenos informace** mezi buněčnými organelami, jiné **regulují** transkripci, translaci, replikaci... Důležitými bílkovinami jsou **bílkoviny strukturní**. Mezi ně patří například aktin a tubulin - stavební bloky cytoskeletu, nebo kolagen a keratin - složky mezibuněčné hmoty.

Regulace syntézy bílkovin

Je jasné, že syntéza proteinů musí být přesně regulována - nadbytek či nedostatek některé bílkoviny může narušit velice složitou síť metabolických drah či dokonce vést k smrti buňky. Jak buňka zajistí, aby byly bílkoviny produkovány ve správný čas, na správném místě, v přiměřeném množství? Tento komplikovaný úkol je řešen pomocí celé **kaskády regulací** na různých úrovních. Některé geny jsou přepisovány stále, protože jimi kódovaná bílkovina je součástí některé nezbytné metabolické dráhy - například glykolyzy. Nahrazují poškozené "kolegy" a samy jsou po svém opotřebení (a následném odbourání) nahrazeny nově syntetizovanými molekulami. Tomuto biologickému ději se říká **metabolický obrat**. Žádná molekula v živých organismech totiž není "nesmrtelná" (jen snad s určitou výjimkou v případě DNA) - některé jsou jako substráty součástí metabolických drah a jsou tedy neustále přetvářeny, volná RNA je neustále štěpena četou enzymů zvaných RNÁzy, bílkoviny jsou velice důkladně kontrolovány zdaleka se nerobaly nebo nejsou nějak poškozeny. Jestliže k něčemu takovému dojde, jsou buď pomocí chaperonů "přebalený" nebo dostávají značku pro destrukci proteázami.

Jiné geny jsou třeba jen za určitých okolností - například v určité fázi mitózy, v přítomnosti vzácného živného substrátu, v jistém stadiu diferenciace. U mnohobuněčných organismů jsou geny aktivovány v různých buněčných typech odlišným způsobem. Právě pomocí této regulace může dojít k diferenciaci buněk embrya a správné ontogenezi.

Velice důležitá je **regulace na úrovni transkripce**. Každá buňka dokáže pomocí zvláštních proteinů (tzv. transkriptičních faktorů a jejich regulátorů) určit RNA polymeráze, který gen je třeba přepsat. Tyto transkriptiční faktory se mohou vyskytovat jen v určité tkáni, případně může být jejich přítomnost v buňce vyvolána určitým podnětem (např. teplotním šokem nebo poškozením DNA). V neposlední řadě se jejich aktivita může měnit v přítomnosti či nepřítomnosti nějaké klíčové látky (např. steroidního hormonu nebo produktu informační kaskády po aktivaci některého z receptorů). Geny jsou tak zapínány a vypínány podle potřeby organismu. Trochu jinak probíhá regulace na úrovni transkripce v naší buňce a v buňce baktérie. V buňkách eukaryot jsou obecně geny regulovány nezávisle a jedna mRNA zpravidla obsahuje informaci pro syntézu jen jednoho proteinu. U bakterií se některé geny s podobnou funkcí sdružují na chromozómu za sebe do "zájmových skupin", tzv. operonů, jsou regulovány společně a vzniklá mRNA obsahuje informaci pro syntézu více proteinů, což je výhodné, pokud se jedná o enzymy jedné metabolické dráhy, které jsou všechny potřeba ve stejný čas. Téma regulaci genových projevů je téma velice zajímavé. Dnes je k němu upřena ohromná pozornost a překvapivé a významné výsledky jsou na denním pořádku. Bohužel zde nemáme dostatek místa pro zevrubnější informace, spokojme se tedy jen s krátkou zminkou o jedné (i když asi nejdůležitější) možnosti kontroly produkce proteinů. Molekulárně biologických témat se budou často dotýkat kapitoly věnované jednotlivým skupinám mikroskopických organismů, zde budou vysvětleny některé speciální otázky. Je jasné, že se v této kapitole nepodařilo vyčerpat nadepsané téma, ale to ani nebylo úmyslem. Tato příručka je jen stručným úvodem a snad inspiraci pro další studium literatury, doporučen v jejím závěru.

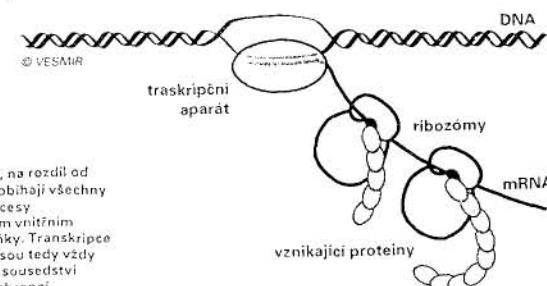


1. Dvojtěžcový "žebřík" DNA je během replikace rozvinut do samostatných řetězců, k nimž je po částech přiřazováno nové vlákno. Přiřazování probíhá na principu komplementarity: 4 stavební kameny DNA (báze, jejichž prostřednictvím jsou komplementární vlákna spojena) tvoří pouze 2 typy páru – adenin (A) se páruje jen s tyminem (T) a cytosin (C) jen s guaninem (G).

2. DNA slouží jako vzor k vytvoření mRNA při transkripci. Molekula mRNA, která vzniká také na principu komplementarity, zprostředkuje převod dědičné informace z DNA na bílkoviny.

3. U několika skupin virů slouží jako nositelka dědičné informace molekula RNA. Retroviry ji využívají s malou oklikou – RNA je přepsána reverzní transkriptázou na dvojtěžcovou DNA a včleněna do hostitelského genomu. Tato cizorodá DNA je normálně transkribována a translatována hostitelskými enzymy.

4. Během translace je informace překódována z abecedy bází do abecedy aminokyselin, které tvoří bílkoviny. Každé "slovo", sestavené ze tří bází (např. CCG), je přeloženo jednou aminokyselinou (v tomto případě prolín). Pořadí bází je tedy zcela klíčové.



II.5. Metabolismus

Na každém místě, kde existuje alespoň malá naděje přežít a kde je něco málo živin, nalezneme zcela jistě život. Většinou jej zastupují právě mikroorganismy, které na naší planetě zabydlely snad všechny kouty a naučily se využívat i ty nejneuvěřitelnější zdroje energie. Jejich obrovská přizpůsobivost se odráží zejména ve velkém počtu metabolických druhů, které mikroorganismy vyuvinuly. V následujícím výčtu se alespoň stručně seznámíme nejenom se základními typy získávání živin a energie k životu, ale i s některými zvláštnostmi.

Základní typy metabolismu

Metabolismus, čili výměna látková, zahrnuje dva odlišné, ale součinné a neoddělitelné děje, jejichž úkolem je získávat základní stavební materiál a energii pro život buňky. Je to **katabolismus - rozklad složitých látok na jednoduché za současného uvolnění energie a vzniku šépých produktů - a anabolismus - vznik složitých sloučenin z jednodušších stavebních kamenů za spotřebu energie**.

Ani mikroorganismy se nemohou zpronevěřovat zákonu zachování hmoty a energie, takže v prostředí, v němž žijí, musí být nezbytně přítomen:

1. zdroj uhlíku
2. zdroj energie
3. zdroj dusíku
4. zdroj dalších minerálních prvků (P, S atd.)
5. zdroj růstových faktorů (pokud je bakterie není schopna syntetizovat)

Jednotlivé organismy rozdělujeme do skupin na základě jejich vztahu ke zdrojům. Podle vztahu ke zdroji uhlíku rozlišujeme **heterotrofní** a **autotrofní** organismy. Zatímco primárním zdrojem uhlíku pro autotrofní organismy je CO_2 , heterotrofní organismy získávají uhlík z celé řady organických látok: organických kyselin, sacharidů, aminokyselin, bílkovin a lipidů.

Podle vztahů ke zdroji energie rozlišujeme organismy:

chemotrofní - energii získávají oxidací anorganických a organických látok

- zdroj uhlíku je CO_2 - **chemolitotrofní**
- zdroj uhlíku jsou organické sloučeniny - **chemoorganotrofní**

fototrofní - energii získávají ze slunečního záření

- zdroj uhlíku je CO_2 - **fotolitotrofní**
- zdroj uhlíku jsou organické sloučeniny - **fotoorganotrofní**

I nezbytný dusík si mikroorganismy mohou opatřovat z nejrůznějších zdrojů. Těmi jsou nejčastěji atmosférický dusík, amonné soli a amoniak, dusičnan, močovina, aminokyseliny a bílkoviny.

Jak již bylo na několika místech zmíněno, mikroorganismy dokáží využívat pro svou potřebu neuvěřitelné množství různých chemických látok. Tomu odpovídá i nesmírná bohatost jejich metabolismu. Stručně popsat toto obrovské množství enzymatických reakcí na několika stránkách je nemožné. Proto se na tomto místě omezíme na odkaz na příslušnou literaturu na konci této příručky.

Ukládání energie

Živé organismy jsou vysoce uspořádané a tuto uspořádanost během svého individuálního života udržují nebo ještě zvyšují. Tato skutečnost je zcela v rozporu s naší zkušeností z neživého světa, kde zjednodušeně řečeno, vše spěje k neuspřádanosti. Na první pohled by se mohlo zdát, že organismy tak porušují fyzikální zákony našeho světa. Skutečnost je taková, že organismy v tom určitém místě, které je omezeno půvrcem jejich těl, dokáží udržovat, případně ještě zvyšovat svou vlastní uspořádanost, ale na úkor velkých energetických výdajů. Během evoluce se totiž naučily dokonalým způsobem pracovat s energií (vznikl velice složitý a úsporný energetický metabolismus) a informací (pro její uchovávání využívají velice stabilní molekulu DNA, kterou si pečlivě chrání a velice přesnými enzymy replikují a opravují). Navíc jsou schopny rozpoznat, které jejich části jsou poškozeny a je třeba je nahradit nebo opravit. Toto vše však vyžaduje velké množství energie.

Buňkou použitelná energie musí být uložena v nějaké snadno dostupné formě. V průběhu evoluce byla k tomuto účelu jako nejvhodnější vybrána kyselina trifosforečná s vazbami obsahujícími velké množství energie - s vazbami makroergickými. Ukázalo se být výhodné, navázat ji na adenosin - bazickou cyklickou sloučeninou (viz báze v DNA!). Celek se dohromady nazývá adenosintrifosfát - ATP - a je v celém živém světě univerzálním energetickým platičlem. Energia je v buňce ukládána pomocí specifických enzymů, které navází volný zbytek kyseliny fosforečné na molekulu ADP - adenosindifosfátu, energeticky chudšího přibuzného takto vzniklého ATP. Důležité je, že energie je v buňce přítomná v kvantech ATP a nemůže být uvolněno více energie, než obsahuje jeho makroergická vazba, stejně jako nemůže být do této vazby vloženo energie méně. Je to stejná situace, jako kdyby existovala jen jedna univerzální mince, s kterou bychom museli zaplatit všechny platby. Někdy bychom tak museli zaplatit více než určitá věc skutečně stojí a jindy bychom si nemohli nic koupit, protože nám naše mince nestačí - ledaže bychom si kupili jednotlivě dostatečně levné součástky a ty pak složili. V živých buňkách je vše přizpůsobeno "hodnotě" ATP a pokud některý děj svou energetickou náročností přesahuje možnosti ATP, je třeba jej uskutečnit po částečech. ATP tak představuje pohotovou zásobu energie, která je snadno a bleskurychle dostupná. Dlouhodobější zásoby jsou ukládány ve formě sacharidů (např. škrob) nebo tuků, které mohou být v případě nouze využity k uvolnění žádaného množství energie.

Fotosyntéza

Předchozí oddíl nás seznámil s tím, jak je energie v buňce ukládána. Jenže kde se tato energie vůbec bere? Její zdroje jsou vždy vnější a organismy se liší tím, jak a které zdroje využívají. Velice výhodné je využívat výsudýpřítomné sluneční záření a oxid uhličitý a z nich komplexním procesem zvaným fotosyntéza vytvářet organické látky.

Fotosyntéza je v podstatě redukce CO_2 (nejoxidovanější formy uhlíku) za využití energie fotonů. CO_2 je velmi stabilní molekula, a proto je nezbytné redukovat ji elektronem o vysoké energii. Ve skutečnosti se celý proces děje tak, že CO_2 je enzymaticky připojen k pětiuhlíkovému cukru ribulóze za současnou redukci, při níž vzniká šestiuhlíková glukóza - molekula, kterou buňka může využít v mnoha metabolických dějích.

K zachycení fotonů potřebných k energizaci elektronu se používají speciální buněčné antény - barviva. Ta zřejmě původně vznikla na ochranu před škodlivým zářením, teprve později se prabuňky naučily jejich schopnost lapat fotony využívat. Foton může být "uloven" téměř jakýmkoli barvivem, ale pouze chlorofyl, díky své specifické struktuře, může použít energii fotonu k uvolnění jednoho elektronu. Tento elektron je pak systémem přenašečů - cytochromů a chinonů, které snadno přijímají i uvolňují elektrony - přenesen na konečný přenašeč NADP (nikotinamidadenindinukleotidfosfát). V tomto okamžiku má elektron právě tolik energie, aby mohl být z NADP předán enzymu, který má na sobě zároveň navázanou

aktivovanou formu cukru ribulózy a CO_2 - a glukóza je hotova. K úplnému vyrovnání všech mů dát - dal je ještě nezbytné doplnit chybějící elektron v chlorofylu. Buňka jej získá při takzvané fotolýze vody - rozštěpení vody opět s využitím energie slunečního záření. Odpadním produktem tohoto typu fotosyntézy je molekula O_2 .

Výše popsané schéma fotosyntézy platí jen pro eukaryotické fotosyntetizující buňky a sinice - ten ty redukuje CQ_2 za vzniku kyslíku. Využití slunečního světla jako zdroje energie se však uplatnilo i v jiných metabolických dráhách. Například fototrofní bakterie využívají energie fotonu při anaerobní fotosyntéze, takže nevzniká molekulový kyslík, ale většinou síra (donor elektronů není H_2O , ale H_2S). Zdrojem uhlíku je jen zřídka CO_2 , obvykle využívají jednoduché organické látky. Obsahují specifické barvivo bakteriochlorofyl a některé druhy karotenoidů.

Velmi zajímavý a zcela odlišný způsob využití energie slunečního záření najdeme u archebakterii. Extrémně halofilní druhy obsahují barvivo bakteriorodopsin (je příbuzné rodopsinu obsaženému v komorovém oku savců), který funguje jako protonová pumpa poháněná světlem. Díky energii světla přerozděluje bakteriorodopsin na jednu stranu membrány protony a na druhou stranu elektrony. Energie takto vzniklého membránového potenciálu ("tlaku" protonů na membránu) je využita k syntéze ATP.

Oxidace

Ty organismy, které nedovedou využívat energii slunečního záření, jsou odkázány na oxidaci organických nebo anorganických látek. Obecně je oxidace každá reakce, ve které je atomu nebo sloučenině odebrán elektron. Velmi často, zejména v živých organismech, je současně odebrán i proton, takže oxidovaná molekula přijde o celý atom vodíku (proton+elektron) a její oxidační číslo se nezmění. Proto je velmi často pro oxidaci používán termín dehydrogenace a oxidující enzymy označujeme jako dehydrogenázy. Uvolněné protony a elektrony samozřejmě nemohou volně plavat po buňce. Obvykle se ihned naváží na některý ze speciálních přenašečů, například NAD (nikotinadenindinukleotid), který se tím redukuje na NADH.

Pro oxidaci není nezbytně potřeba kyslík. Prvni heterotrofní organismy na Zemi žily v atmosféře bez kyslíku a přitom byla oxidace jejich jediným zdrojem energie. I dnes se setkáme s anaerobní oxidací velmi běžně - označujeme ji jako kvašení.

Oxidace je zdrojem velkého množství energie. Kdyby byla tato energie uvolněna najednou, buňce by spíše uskodila než prospěla. Také proto (viz řádky věnované ATP na předcházející stránce) každý oxidační proces probíhá v postupných jednoduchých reakcích, při nichž jsou uvolňována právě taková kvanta energie, která buňka umí ihned zachytit a postupně uskladnit. Meziprodukty oxidace se od sebe odlišují svou oxidační respektive redukční schopnosti - elektron postupuje vždy od molekuly, která jej "chce méně k molekule, která jej chce více". Vyjádřením rozdílu v tomto "chání" je právě uvolněná energie. Oxidace končí tehdy, když už žádná další molekula elektron nechce.

Jedna z nejrozšířenějších oxidací je glykolýza - oxidační rozklad glukózy. V anaerobních podmínkách může být glukóza rozložena na dvě tříuhlíkaté molekuly, které jsou oxidovány (dehydrogenovány). Tímto procesem získá buňka 2 molekuly ATP. Pokud probíhá glykolýza v podmínkách aerobních, postupují její produkty do dalšího kola - do Krebsova cyklu (cyklu kyselin citrónové). V tomto metabolickém procesu jsou molekuly dále oxidovány. Výsledkem této postupné oxidace jsou redukované molekuly přenašeče NADH. Ty nakonec vstupují do dýchacího řetězce.

V tomto bodě aerobní oxidace vstupuje do hry další veleďležitý činitel - membrána. Všechny enzymy a přenašeče dýchacího řetězce jsou na ní umístěny a mimo to je obratně využívána skutečnost, že membrány vytvářejí dva dokonale oddělené a relativně nezávislé prostory. Z NADH (přenašeče postupně redukovaných během dosavadního průběhu oxidace)

je elektron i proton předán dál na další molekuly přenašeče (opět cytochromy a chlomy, viz fotosyntézu). Při každém přenosu je elektron posouván směrem k čekajícímu kyslíku - konečnému akceptoru elektronu, zatímco všechny protony jsou nekompromisně posílány na jednu stranu membrány. Proces končí poslední redukcí, kdy molekulový kyslík příjem elektron a dalším splýnutím s protonem vznikne voda.

Protony nahromaděné na jedné straně membrány musí nutně chybět na straně druhé - vytváří se membránový potenciál, jakýsi "tlak" protonů na membránu. Energie tohoto "tlaku" je využita k syntéze ATP - speciální enzym ATPáza je pouští přes membránu za drobnou "úplatu" - dodání energie potřebné ke vzniku makroergické vazby v ATP. Zatímco při anaerobní glykolýze vzniknou z jedné molekuly glukózy 2 molekuly ATP, výšež uvedený aerobní glykolýzy je 19x větší - 38 molekul ATP.

Oxidované může být nejen glukóza (která však dává největší výtěžek ATP z jedné oxidované molekuly), ale i celá řada dalších látek - další cukry a sacharaidy, aminokyseliny nebo lipidy. U mnohých organismů je konečným článkem oxidace dýchací řetězec, do něhož vstupují redukované přenašeče, aby své elektrony postupně předaly konečnému akceptoru.

Bakterie a mikroorganismy vůbec se se svou jednobuněčností vyrovnaly mimo jiné tomu, že vyuvinuly ohromující škálu metabolismu - naučily se využívat nejrůznější zdroje protonu a elektronu, stejně jako nejrůznější typy konečných příjemců tétoho částice. Díky tomu mohou přežít snad všechny na Zemi.

Oxidovaná látka a tedy zdroj protonů je u nitrifikacích baktérií amoniak, u síných baktérií síran a sířičitan. K biologickému louzení rud se využívají bakterie, které odnímají elektron z železnatých iontů a oxidují je tak na ionty železitý. Některé bakterie jsou schopné oxidovat oxid uhelnatý, jiné využívají jako zdroj elektronů pro oxidační řetězec metan.

Podobně různorodý může být i konečný příjemce elektronů. U aerobních organismů je jím kyslík. Denitrifikační bakterie přenašeji elektrony postupně na dusičnan, dusitan, oxid dusnatý i dusný. Výsledkem tohoto procesu je molekulový dusík. Poměrně běžným příjemcem elektronů je strovodík nebo jiné sloučeniny sity. Konečným příjemcem mohou být i organické látky.

Jak je vidět, škála mikrobiálních metabolismů je velmi pestrá. Nejvíce "zajímavostí" můžeme najít u organismů žijících v extrémních podmínkách (archebakterie) nebo u patogenických mikroorganismů. O každém parazitickém prvku by se dala napsat tlustá a velmi zajímavá učebnice biochemie - metabolismus je většinou podřízen nutnosti přelstit hostiteli a zároveň vystačit s tím, co jeho tělo poskytuje. A například při diagnostikování patogenických bakterií se právě tato pestrost využívá - každá studovaná populace bakterii je testována, zda je nebo není schopna růst na určitém médiu - tato schopnost bývá poměrně stálá a druhově charakteristická. Pokud otestujeme dostatečné množství odlišných médií (většinou 12 nebo 20), získáme značně spolehlivý výsledek.

II.6. Struktura a funkce buňky

Fakt, že vše živé se skládá z buněk patří k prvním moudrům, která jsou na hodinách biologie vštěpována do studentských hlav. Poté se dodá, že něco podobného řekli pánové Schwann a Schleiden spolu s našim Purkyněm již na sklonku minulého století, že první buňku viděl již Hook v 17. století v korku dubu a nazval ji cellula (lat. komůrka) a že existují ještě viry, které buňkami nejsou, ale za určitých okolností se dokází chovat velice živě. Následuje výčet spousty vlastnosti jednotlivých buněčných částí, tak obšírný, že se tato kapitola zdá být nošením dříví do lesa.

Přesto tu kapitolu nevynecháme a budeme doufat, že se z ní (aniž bychom vás chtěli podceňovat) dozvítě něco nového. Začneme tradičně - vše, co dnes samozřejmě označujeme jako živé, se skládá z buněk. Jako buňky se totiž označují unikátní útvary obklopené membránou (schopnou spolehlivě odělit vnitřní živé a uspořádané od vnějšího směrujícího k neuspořádanosti) a zároveň nadané schopnosti pamatovat si informaci a používat ji k přetváření z vnějšku přicházející energie (např. sluneční) a hmoty (CO_2 , H_2O , glukóza) z sebe sama. Buňky mohou být různě velké (menší než 1 μm nebo až několik milimetrů - některí prvoci, centimetru - jednobuněčná mořská řasa *Acetabularia*, i metrů - nervové buňky kytovců), mohou žít samostatně a to trvale nebo dočasně, mohou po celý život zachovávat stejný tvar nebo se mohou diferencovat v plejádu tkání mnohobuněčného organismu, mohou se dělit každých dvacet minut a nebo strávit celý svůj život jako dalšího dělení neschopná savčí svalová nebo nervová buňka, případně jako bakteriální spora přežít v klidovém stavu téměř libovolně dlouho. Je zřejmé, že je třeba vytvořit určitý systém, který by umožňoval probrat jednotlivé vlastnosti buněk logicky a popořádku.

Jíž dlouho existuje dělení na organismy jednobuněčné a mnohobuněčné. Hlubší strukturu buňky odraží dělení organismů na **prokaryota** a **eukaryota**. Mimo systém buněčných organismů leží takzvaní **akaryota** - tedy bezjaderní, kam patří priony, viry, viroidy a virusoidy (pozor - nepatří sem druhotně bezjaderné buňky - např. červené krvinky savců, ale jen "nebuněčné organismy"), kterým bude věnována zvláštní kapitola.

V našem výčtu začneme jednoduššimi - tedy prokaryoty, kteří se dále dělí na tzv. archebakterie (žijící obvykle v extrémních fyzikálních a chemických podmínkách) a eukarukterie, mezi něž patří grampozitivní a gramnegativní bakterie a cyanobakterie (sinice). Blíže bude systému prokaryot věnována zvláštní kapitola.

Prokaryotická buňka

Tento typ buňky je velice jednoduchý. Skládá se z často velice silné buněčné stěny, cytoplazmatické membrány a cytoplazmy. **Buněčná stěna** je tvořena polymery sacharidové povahy (např. peptidoglykanem a lipopolysacharidem), proteiny a u gramnegativních bakterií obsahuje ještě jednu, velkými pory opatřenou cytoplazmatickou membránou. Velice silná je u klidových stadií - tzv. spor, které jsou schopny přežít extrémně nepříznivé podmínky. Naopak ji postrádá jeden z nejjednodušších zástupců prokaryot mykoplasma, která je ale chráněna unikátní trojvrstevnou membránou. Podobně jako u rostlinných buněk, buněčná stěna určuje tvar prokaryotů. Ten může být sférický u koků, tyčinkovitý u bacilů, spirálně stočený u spirochet, případně velice složitý u myxobakterií.

Cytoplazmatická membrána se skládá ze dvou vrstev fosfolipidů a bílkovin. Velice důležitou vlastností cytoplazmatické membrány je míra její "tekutosti", která ovlivňuje chování membránových proteinů a která je závislá na fosfolipidovém složení a na teplotě. Pro prokaryotní buňku je velice důležité, aby si zachovala tekutost své

membrány v různých teplotách relativně konstantní. Toho dosahuje aktivním obměňováním membránových složek (využívá např. různě dlouhé a různě nasycené mastné kyseliny).

Cytoplazma prokaryot neobsahuje při pohledu elektronovým mikroskopem žádné výraznější membránové struktury. Ani existence cytoskeletu (až na několik speciálních pozorování) nebyla prokázána. Zřetelnou cytoplasmatickou součástí je jeden do kruhu uzavřený **chromozóm**, občas doprovázený menšími kruhovými molekulami DNA zvanými **plasmidy**. V chromozómu a v plasmidech je uložena genetická informace (v chromozómu nepostradatelná, v plasmidech ta potřebná jen za určitých okolností - např. bakteriální rezistence k antibiotikům, nebo schopnost metabolicky využít určitou vzácnou živinu). To, že DNA je umístěna přímo v cytoplasmě umožňuje, aby translace mohla probíhat na ještě ne zcela dokončených molekulách mRNA.

Samořejmou součástí všech buněk, a tedy i prokaryotních je tzv. **proteosyntetický aparát** - tedy ribozomy (složeno ze dvou nestejných podjednotek), tRNA, tzv. aminoacyl-RNA syntetázy (enzymy schopné navázat na správnou tRNA správnou aminokyselinu) a aminokyseliny. V cytoplasmě jsou též obsaženy všechny enzymy a meziprodukty metabolismických reakcí - těch si zde nebudeme všimat, o metabolismu prokaryot pojednává zvláštní kapitola.

Buňka

Eukaryotická buňka

Mnohem složitější je uspořádání buňky eukaryotické. Ta, na rozdíl od buňky prokaryotické, obsahuje velice složitou síť cytoplazmatických membránových struktur (tzv. organely) a cytoskelet. Mezi membránové organely patří jádro, mitochondrie, plastidy, endoplazmatické retikulum, Golgiho aparát, peroxizomy, lysozomy a vakuoly. Eukaryotická buňka je tak rozdělena do několika izolovaných prostor - tzv. kompartmentů, což umožňuje v rámci jedné buňky od sebe oddělit různé metabolismické dráhy a zajistit koordinovanou souhrnu skladních procesů (anabolismu) a procesů rozkladních (katabolismu).

Organelou obklopenou dvojitou membránou, která je součástí bez výjimky všech eukaryotických buněk, je **jádro**. Jaderá membrána je proděravěna poměrně velkými otvory - tzv. jadernými pory. Uvnitř jádra je na chromozómech uložena genetická informace buňky. Zde probíhá transkripcie jednotlivých genů, sestřih mRNA a replikace DNA. DNA je v jádré velice složitě uspořádána v tzv. chromatin (převážně pomocí proteinů zásaditého charakteru - histonů), který je během interfáze rozvolněn. Během mitózy a buněčného dělení je chromatin uspořádán do velmi kompaktního pentlicovitého útvaru - chromozómu. Při buněčném dělení též dochází k velké přestavbě jádra. Rozpouští se jaderná membrána a na zdvojené chromozómy se upíná dělící vřeténko odtahující příslušné chromatidy (nově nasyntetizované verze chromozomů) na opačné konec buňky. Zde se opět vytváří jaderná membrána a chromozómy se rozvolní.

Mitochondrie jsou obklopeny dvěma membránami (z nichž ta vnitřní je svým složením podobná membráně bakteriální a je záhybů zvaných krysty), obsahují vlastní kruhovou DNA a proteosyntetický aparát (viz prokaryota). Jsou jakýmsi energetickým centrem buňky, v němž je tzv. aerobní fosforylace syntetizován hlavní buněčný zdroj energie - ATP. Vnitřní mitochondriální membrána obsahuje velice složitý systém oxido-redukčních enzymů (bílkovin schopných přenášet protony a elektrony z jedné látky na druhou) tvůrcích tzv. dýchací řetězec, který je schopen za přispění energie získané v Krebsově cyklu (jehož enzymy jsou rozpuštěny uvnitř mitochondrie) a tzv. oxido-redukčního potenciálu jeho meziproduktů vytvořit na membráně protonový gradient. Ten vzniká přečerpáváním protonů (jedná se vlastně o jádra vodíku H^+) zvnitřku mitochondrie do prostoru mezi vnější a vnitřní mitochondriální membránou.

Vpouštěny zpět protony konají práci, která se spotřebovává na syntézu ATP. Nové mitochondrie, podobně jako plastidy a jádra, mohou vzniknout pouze rozdelením mitochondrie již existující.

Plastidy se na rozdíl od mitochondrií vyskytují jen v rostlinných buňkách. Je možné je rozdělit na amyloplasty (sloužící jako zásobárna škrobu), chromoplasty (zodpovědné za různé odstíny červené ve zbarvení rostlin) a chloroplasty, obsahující enzymy, které jsou schopny v přítomnosti slunečního záření katalyzovat unikátní sled chemických reakcí, jehož výsledkem je vznik látek organických z látek anorganických. Tento děj se nazývá fotosyntéza a jeho unikátnost spočívá v tom, že zdrojem energie pro vznik nových chemických vazeb je sluneční energie zachycovaná zvláštními barvivy (xantofily, karotenoidy a chlorofily), které jsou schopny tuto energii ve své molekulární struktuře pozdržet dostatečně dlouho, aby vykonaly práci. Tato práce je podobně jako u mitochondrií spotřebována na vytvoření protonového gradientu a syntézu ATP. Kromě toho jsou enzymy chloroplastu schopny využít sluneční energii k odejmutí kyslíku z CO₂ (tedy k redukci této sloučeniny) a zabudování ziskaného atomu uhlíku do molekuly cukru. To je podstatou tzv. primární produkce a organismy schopné tohoto procesu se nazývají autotrofové (na rozdíl od heterotrofů - např. hub a živočichů vyžadujících pro svůj život jako potravu organické látky a energii uloženou v jejich chemických vazbách). Fotosyntetické enzymy jsou spolu s chlorofylem a ostatními barvivy uloženy v membráně tylakoidů (membránových váčků uspořádaných do sloupů - tzv. gran) a stromatu (cytoplasmě chloroplastů). Celý chloroplast je podobně jako mitochondrie obklopen dvěma membránami a obsahuje vlastní DNA a proteosyntetický aparát.

Vzhledem k vlastní nukleové kyselině a dvojitěmu membránovému obalu jádra, plastidů a mitochondrií (v případě posledních dvou i vlastnímu proteosyntetickému aparatu) je dnes velice rozšířena tzv. endosymbiotická teorie vzniku těchto organel. Ty měly být původně samostatnými tvory, které byly fagocytovány, přežily uvnitř konzumenta a protože uměli něco co jejich "hostitel" neuměl, postupem času se zjednodušily a staly se specializovanými organelami. Vice se o této teorii zmíníme v kapitole věnované fylogenezi.

S jadernou membránou je spojeno **endoplazmatické retikulum** (dále ER), které je tvořeno váčky, trubičkami a cisternami. ER se podílí na syntéze a transportu proteinů a lipidů. Rozlišujeme tzv. drsné a hladké ER. Drsné ER má na svém povrchu navázání ribozómy syntetizující membránové proteiny a proteiny určené na export ven z buňky. Uvnitř ER pak dochází k tzv. postranslačním úpravám proteinů spočívajících např. v navazování zvláštních sacharidových zbytků - tzv. glykosylaci. Hladké ER se uplatňuje hlavně v syntéze lipidů.

Membránovou organelou, která s ER přímo funkčně souvisí, je **Golgiho aparát**. Váčky odštěpené z ER totiž splývají s Golgiho aparátem (který je podobně jako ER tvořen soustavou membránových váčků) a molekuly, jejichž úprava počala v ER, jsou zde dále upravovány, tříděny a odesílány ven z buňky nebo do jiných organel. V okoli Golgiho aparátu se nalézá velké množství malých váčků přenášejících molekuly mezi touto organelou a různými buněčnými oddíly - kompartmenty.

Lysozómy jsou membránové váčky naplněné hydrolytickými enzymy, které se podílejí na vnitrobuněčném trávení. **Peroxizómy** jsou opět membránové váčky obsahující oxidační enzymy schopné vytvořit a odbourat peroxid vodíku. **Vakuoly** jsou organely vyskytující se hlavně u rostlin, které často zaplňují objem buňky i z 90%. Obsahují různé organické kyseliny, cukry, ve vodě rozpustná barviva (např. antokyany) a spolupodílejí se s buněčnou stěnou na udržování tvaru buňky.

Důležitou součástí eukaryotické buňky je **cytoskelet**, vytvářející v cytoplasmě velice složitou síť vláken. Tato vlákna určují tvar buňky, jsou zodpovědná za buněčný

pohyb, podílejí se na transportu organel a membránových váčků, jsou součástí membránových struktur a některých organel. Je možno je rozdělit do třech skupin - na mikrotubuly (mikroskopické trubičky složené z tubulinu tvorící základ bičíků, brv a dělicího vřeténka; vytvářejí síť připojenou k centriole), mikrofilamenta (tvořená hlavně aktinem a zodpovědná spolu s dalšími molekulami - např. myosinem za pohyb buňky a jednotlivých organel) a tzv. intermediální filamenta složená z několika desítek různých proteinů, jejichž funkce není dnes přesně známa.

Samozřejmou součástí eukaryotické buňky je **cytoplazma** obsahující rozpustěné enzymy (např. glykolytické), substráty enzymatických reakcí, ATP a v neposlední řadě proteosyntetický aparát - ribozómy, tRNA a aminoacyl-tRNAsyntetázy. Jak již bylo zmiňeno, část syntézy proteinů probíhá na drsném endoplazmatickém retikulu, kde jsou produkované bílkoviny určené na export ven z buňky a bílkoviny umístěné v membráně. V cytoplazmě je lokalizována produkce rozpustných proteinů, složek cytoskeletu, regulačních proteinů a histonů. Nejnovější výzkumy ukazují, že si cytoplazmu nelze představit jako roztok, v němž volně plavou jednotlivé složky, ale jako velice složité provázanou strukturu, kde vše je přesně řízeno a organizováno. Substráty mnoha chemických reakcí nejsou rozpusteny volně v cytoplazmě, ale jsou enzymy navzájem "podávány". To je umožněno existencí obrovských enzymových komplexů katalyzujících celou nebo podstatnou část určité metabolické dráhy - např. syntézu mastných kyselin, odbourávání proteinů a pravděpodobně i glykolyzu. Řízený transport organel a molekul v buňce je zajištěn pomocí zvláštních proteinů kinezinů (tzv. buněčných motorů) připojených na cytoskelet.

Buněčná stěna udržující tvar buňky a chránící buňku před poškozením je typická pro rostliny a houby. U rostlin je tvořena polymerem glukózy celulózou, u hub chitinem - polymerem N-acetylglukosaminu (cukru obsahujícího ve své molekule dusík).

II.7. Stručně o fylogenezi

Jednou z nejzajímavějších a nejdůležitějších otázek biologie je původ života a jeho evoluce. Zřejmě nikdy přesně nejistíme, jak život vznikl, protože jeho nejprvovodnější formy patrně nejsou schopny fosilizace. Přesto však v buněčné anatomii, fyziologii a biochemii můžeme vysledovat náznaky události, které stály u vzniku života. K objasnění této události výrazným podílem přispívá organická chemie a biochemie, kterým se daří vytvářet podobné prostředí, které panovalo na Zemi asi před 3 miliardami let. Průkopníky tohoto přístupu jsou Stanley Miller a Harold Urey, jimž se podařilo v roce 1953 v baňce naplněné několika jednoduchými anorganickými a organickými sloučeninami (H_2 , NH_3 , CH_4 , H_2O) vneredukujícím prostředí a za působení elektrických výbojů připravit základní stavební bloky dnešních organismů - aminokyseliny, dusíkaté báze, cukry a mastné kyseliny. Vývoj v této oblasti šel samozřejmě mnohem dál a dnes je možné v laboratoři připravit z původně velice jednoduché směsi látek (působením fyzikálně chemických podmínek podobných těm, které panovaly na Zemi v kritické době) roztok, který se zřejmě velice podobá prvnímu 'hypotetickému' roztku složenému z makromolekul bilkovinné povahy, krátkých úseků RNA, lipidických látek, a který pravděpodobně umožnil vznik měchyřků obalených primitivní polopropustnou membránou (tzv. koacervátum) schopným koncentrovat složité látky z okolního prostředí (A.I.Oparin, 1936). Největší záhadou je, jak tyto zcela jistě ještě nevízé útvary získaly schopnost nést a uchovávat genetickou informaci a s tím spojený regulovaný metabolismus. Ten byl původně přípůsoben nepřítomnosti kyslíku. Se vznikem fotosyntézy se v zemské atmosféře objevil kyslík (nejprve pro anaerobní organismy velice jedovatý), který umožnil vznik energeticky účinnějších katabolických druh (původně zřejmě vzniklých pro zneškodnění kyslíku v anaerobních organismech) a v neposlední řadě také své formě O_2 (ozon) zamezil destrukci makromolekul ultrafiltrativním zářením. Život tak mohl vystoupit z vodního prostředí na souš a do horních vrstev vody a vytvořit neuvěřitelné množství životních forem.

Fylogenetické, vývojové vztahy mezi jednotlivými skupinami organismů bylo a stále je poměrně obtížné určovat. Carl Linné sice organismy rozřídil, ale bez jakéhokoliv ohledu na jejich možnou vzájemnou příbuznost, což je u člověka, který odmítal evoluci a věřil ve vytvoření vcelku pochopitelné. Všechny moderní, podarwinovské systémy třídění organismů se však snaží vzájemnou příbuznost organismů respektovat. Vycházejí hlavně z poznatků srovnávací anatomie, fyziologie a vývojové biologie. Stále více se dnes prosazují přístupy molekulárně biologické, pomocí kterých jsou organismy srovnávány podle podobnosti svých stavebních a informačních molekul - hlavně bílkovin a nukleových kyselin. Snahu je vytvořit přirozený systém organismů co nejpresněji odražející evoluční historii. Tohoto cíle samozřejmě ještě nebylo dosaženo (a zřejmě v určitých směrech ani nikdy dosaženo nebude), tudíž je možné se v odborné literatuře setkat s několika různými systémy. Ve většině moderních učebnic biologie se objevuje systém třídění na pět velkých samostatných říší, samostatně jsou vyčleněny organismy neubuňčené - viry:

Prokaryota (archebakterie, pravé bakterie)

Protista (prvoci, řasy a některé obtížně zařaditelné houby)

Fungi (houby)

Plantae (zelené rostliny)

Animalia (živočichové)

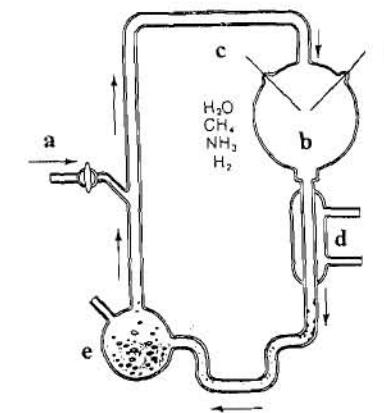
Kromě říše Prokaryota mají všechny další říše buňky eukaryotického typu. Na základě tohoto zjištění a na základě objevení dalších velkých rozdílů v rámci říše prokaryot se dnes většina moderních evolučních biologů přikláňá k tridění organismů na tři velké nadříše:

Archaeobacteria

Eubacteriace

Eukaryotae

Organismy těchto nadřídi se liší především typem buňky a svými molekulárně biologickými vlastnostmi. Podle takzvané endosymbiotické hypotézy vznikly eukaryotické buňky díky symbioze několika různých prokaryotických (bakteriálních) organismů. Jakási prabuňka pohtila sinici, nestrávila ji a naopak začala využívat její schopnosti fotosyntézy - tak vznikly chloroplasty. Podobně zřejmě vznikly i mitochondrie. Miliony let soužití se vzájemná spolupráce stalo tak úzká, že tito symbionti již nejsou schopni samostatného života. Podporou této představy je mimořádná podobnost mitochondrií a chloroplastů s některými bakteriemi a také existence některých mezistupňů endosymbiózy zejména mezi prvoky. O specifickém postavení virů se zmínime v následující kapitole.



Obr.3. Aparatura, v níž se Stanley Millerovi a Haroldu Ureovi podařilo vytvořit, za podmínek jež mohly panovat na naší planetě v období vznikání života, z jednoduchých anorganických látek některé základní stavební molekuly dnešních organismů. Ventilem (a) byla do aparatury napuštěna směs plynů - viz obr. a ta byla v komoře (b) vystavena účinku elektrických výbojů z elektrody (c). V chladiči (d) byla celá směs ochlazena, následně čehož některé látky zkondenzovaly. Takto vzniklý vodný roztok byl poté ohříván (e) a vzniklé páry putovaly opět do komory b. Celý koloběh odpaření, vystavení elektrickým výbojům a ochlazení bylo možné libovolně opakovat.

II.8. Metody kultivace mikroorganismů

Chceme-li bakterie nebo jiné mikroorganismy studovat, musíme mít k dispozici dostatečné množství jedinců jednoho druhu. U mikroorganismů totiž téměř nikdy nestudujeme jednotlivce, ale vždy se zabýváme celou populací. K tomu, aby jich bylo získáno dostatečné množství, slouží speciální metody kultivace.

Přestože se mikroorganismy obecně vyskytují téměř všude, kde lze přežít, jejich konkrétní nároky na prostředí a zdroje jsou mnohdy značně vysoké. Mnohé bakterie jsou například *auxotrofní*, to znamená, že si nedovedou vytvořit všechny látky, které nutně potřebují k životu. Proto musí být kultivovány v takovém médiu, kde jsou všechny pro ně nezbytné látky přítomny. Přes intenzivní snahy vědců se dodnes nepodařilo mnohým druhům mikroorganismům v laboratoři kultivovat.

Kultivace probíhá buď v tekutém nebo na pevném médiu. V tekutém médiu jsou mikroorganismy rozptýleny, většinou je také baňka s médiem a s mikroorganismy protřepávána (aerobní kultivace). Po celou dobu kultivace je v baňce udržována konstantní teplota - baňka je při protřepávání ponořena do vyhříváné vodní lázně.

Při studiu růstu kultury v tekutém médiu byla učiněna řada zásadních zjištění. Ihned po přidání buněk do média nastává tzv. lag fáze - buňky se nedělají, ale "zvykají" si na nové prostředí a připravují se k rozmnožování. Poté následuje fáze exponenciální, při níž se buňky v konstantních časových intervalech dělí - jejich počet se zdvojnásobuje. Po vyčerpání živin média nebo po nahromadění toxicických produktů (je-li kultura příliš hustá) nastává fáze stacionární - růst se zpomaluje a nakonec zcela zastavuje. Tato pozorování byla učiněna především při studiu bakterii, ale s některými omezeními platí i pro ostatní mikroorganismy.

Pro kultivaci na pevném médiu se dnes používají především Petriho misky a polysacharid agar-agar (nebo zkárcený agar), který se připravuje z ruduchy žijící u pobřeží jižního Čínu, Asie a jihovýchodní Ameriky. O zavedení této substance do mikrobiologické praxe se nejvíce zasloužila paní Hesselová, manželka Kochova spolupracovníka Waltera Hesse, která naslouchala stížnostem svého manžela na problémy s želatinou tající již při teplotě 28°C a požíranou celou plejádou mikrobů, vzpomněla si na látku, pomocí níž její babička uchovávala v tropech své džemy a marmelády v ztuhlém stavu. Agar je totiž tekutý za teplot okolo 95°C a tuhne při teplotě asi 45°C a má další velkou výhodu v tom, že jej téměř žádný mikroorganismus není schopen štěpit. K agaru se přidávají další chemické látky, buď pouze anorganické (u tzv. minerálního média, které obsahuje pouze minimální látky nezbytné k růstu) nebo i různé složité komplexní sloučeniny (např. silný hovězí vývar pro bakterie).

Až přemrštěné požadavky na kultivaci mají některé patogenní bakterie nebo houby. Například pro kultivaci původce tuberkulózy *Mycobacterium tuberculosis* musí být v jednom litru média 10 čerstvých vajec. Některé vláknité houby se kultivují na mrkvovém nebo cibulovém médiu. Kultivace acidofilních archebakterii je už skutečnou láhůdkou: např. druh *Sulfolobus* sp. roste pouze při teplotě 86°C, v 7% kyselině sírové při pH = 1,5. Samostatnou kapitolou by byla kultivace anaerobních mikroorganismů. Rostou pouze ve speciálních přístrojích, kde je stálý a poměrně vysoký tlak CO₂. V každé zemi je jen několik málo vhodně vybavených laboratoří, kde se soustředuje celý výzkum anaerobních mikroorganismů. Centrem výzkumu mikroorganismů u nás je Mikrobiologický ústav AV ČR v Praze.

Velice důležitým předpokladem mikrobiologické práce je sterilní prostředí. Toho se dosahuje použitím vysoké teploty (např. 120°C 30min), agresivních chemických látek (např. chloraminu, metoxanu nebo ethanolu) nebo ozářením (ultrafialovým zářením nebo radioaktivitou). Živná média je možné přefiltrovat na velice jemných filtrech nepropouštějících nic živého, navíc je možné do nich přidat určité antibiotikum. Běžně se s mikroorganismy pracuje ve sterilních boxech zamezujujících kontaktu mikroorganismu jak s jinými mikrobami, tak s pracovníkem, který je kultivuje.

III. Systematická část

III.1. Viry, viroidy, transpozóny a priony

Tento kapitolou zahajujeme část brožurky věnovanou jednotlivým systematickým skupinám mikroskopických organismů. Jako prvních si všimneme organismů nebu-něčených a začneme úvahou, zda do jednoho souvisejí můžeme spojit slova organismus a nebuněčný z minulé věty, když o několika kapitolách dříve jsme definovali, že všechno živé se skládá z buněk. Má-li poslední tvrzení pravdu, pak bychom museli viry a jiné podobné považovat za neživou hmotu a nemohli bychom je nazývat organismy. Jsou tedy viry živé? Než se pokusíme na tuto otázku odpovědět, seznámíme se s několika fakty.

Každý virus obsahuje genetickou informaci zapsanou v molekule nukleové kyseliny. Touto nukleovou kyselinou může být DNA nebo RNA (v obou případech se může jednat buď o molekulu jednovláknovou nebo dvouvláknovou, lineární nebo uzavřenou do kruhu). Nukleová kyselina je zpravidla chráněna proteinovým obalem různé složitosti a architektury - kapsidou (v některých případech je součástí kapsidy i buněčná membrána ziskaná při opouštění hostitelské buňky). Tvar kapsidy podléhá téměř vždy geometrickým a krystalografickým zákonům. Dokonce celé viry mohou za určitých okolností vytvářet krystaly - a to i v živých buňkách (mluvíme-li o kapsidě obalující virovou nukleovou kyselinu, máme nejčastěji na mysli tzv. **virion** - konkrétního virového jedince schopného infikovat hostitelskou buňku). Kromě nukleové kyseliny obsahují některé viry uvnitř kapsidy ještě některé enzymy nezbytné pro zahájení životního cyklu - např. reverzní transkriptázu u retrovirů. A to je vše - uvnitř virionu se nenalézají žádné membránové struktury (ani by se neměly), žádné ATP, žádný aktivní metabolismus. Virion je možné izolovat, vyčistit, často krystalizovat - prostě je možno se k němu chovat jako k něčemu neživému aniž bychom je zničili (samozřejmě nesmíme použít látky poškozující nukleové kyseliny, proteiny a lipidy). Ve stadiu virionu je možné viry připodobnit k disketu obsahující zapsanou informaci chráněnou proti poškození dobrým obalem.

Tak jako disketa potřebuje počítač, tak i virus potřebuje buňku. A to ne buňku ledajíkou, ale takovou, která dokáže jeho program přečíst a rozumět mu. Jakmile se virus dostane do buňky, ožívá a začíná využívat buněčného enzymatického vybavení s konečným cílem co nejvíce se namnožit. Všechna informace k tomu potřebná je uložena v jeho nukleové kyselině. Pokud je to DNA (DNA viry), dochází k traskripcím a translaciim virových genů - podobně jako z buněčného chromosomu. Je-li virová genetická informace uložena v jednovláknové RNA (RNA viry), může tato nukleová kyselina přímo sloužit jako mRNA pro syntézu proteinů (pozitivní RNA viry), nebo je třeba ji replikovat a vytvořit tzv. komplementární vlákno (negativní RNA viry) - mRNA (enzymy schopnými přepsat informaci z jednovláknové RNA do komplementární - mRNA). V případě, že je informace kódována dvouvláknovou RNA, dochází k transkripci (opět zvláštními virovými enzymy) z této dvouvláknové RNA do mRNA. Kromě těchto DNA a RNA virů existují ještě tzv. retroviry, u nichž je genetická informace uložena střídavě v DNA a RNA. Pro tuto zvláštní skupinu virů je charakteristický enzym reverzní transkriptáza schopný katalyzovat tzv. reverzní transkripci - přepis informace z RNA do DNA.

Na počátku této kapitoly jsme si položili otázku, zda viry můžeme považovat za živé organismy. Ukázali jsme si příklady, kdy se viry chovají velice rozdílně - dokáží získat z napadené buňky energii a stavební bloky pro své viriony (těla jednotlivých infekčních částic), dokáží ovlivnit chování buněk ke svému užitku (jsou například

virus HIV (způsobující syndrom AIDS) dokonce cíleně ovlivňuje chování tak složitého systému jakým je lidská imunita. Na druhou stranu, viry v izolované formě je možné kryštalizovat nebo rozložit na stavební části a zase složit bez toho, aby utrpěla jejich "životaschopnost". Kde je tedy odpověď na naši otázku? Asi někde uprostřed. Z typických znaků živých organismů mají viry schopnost rozmnožovat se, vyvijet se (někdy neuvěřitelně rychle), do určité míry měnit své chování podle vlivů okolního prostředí - tedy být dráždivými a uchovávat informaci o své struktuře. Ke všem těmto aktivitám však vždy více nebo méně potřebují živou buňku, která díky své schopnosti metabolizovat přetváří jednoduché látky a energii z vnějšího prostředí v látky složitější a připravuje tak virům prostředí, v němž se může uplatnit jejich informace uložená v nukleové kyselině. Na tomto místě se vtírá otázka, co bylo dřív - buňka nebo virus? Na tuto otázku neznáme přesnou odpověď. Je možné, že některé skupiny virů jsou velice staré a ve svých životních cyklech skrývají informaci o životě prvních živých tvorů. O tom by mohla např. svědčit přítomnost RNA jako molekuly uchovávající genetickou informaci u RNA virů, o níž se soudí, že je původnější než DNA. Jiným příkladem jsou retroviry, v jejichž životním cyklu se střídá jako informační molekula RNA a DNA., což může být spojující článek mezi tvory tzv. "RNA" a "DNA světa". Jiné skupiny virů se mohly vyvinout docela nedávno, např. z plazmidů (poměrně malých do kruhu uzavřených molekul DNA, které jsou běžné u bakterií), které získaly schopnost kódovat obalový protein.

Jisté je to, že viry tvoří velice různorodou skupinu s velice rozmanitými způsoby uchovávání a zpracovávání informace. Pro všechny je však společné, že ve velké míře využívají buňku jako zdroj energie, stavebních bloků (nukleotidů, aminokyselin sachridů a lipidů) a enzymů pro vlastní životní cyklus. Některé viry mohou svou infekci buňku zničit - např. bakteriofág λ , jiné ji jenom poškodi, některé zabudují svou DNA do buněčného chromozómu (vytvoří tzv. provirus) a nepozorovaně mohou v buňce přežít i několik let. Různorodé jsou viry i co do velikosti - a to několikařádově. Nejmenší viry mohou obsahovat informaci jen pro dva geny a příslušnou miniaturní kapsidu. Naopak největší viry (např. herpetické viry) mohou obsahovat genů stovky.

Mezi nejjednodušší viry (někdy vyčleňované do zvláštní skupiny) patří tzv. **viroidy**. Tvoří je pouze do kruhu uzavřená RNA bez jakéhokoli proteinového obalu. Tato RNA má unikátní vlastnost, že je schopna párovat sama se sebou. Výsledkem tohoto párování je RNA dvojšroubovice, která je pro RNA polymerázu (enzym provádějící transkripcí) nerozpoznatelná od DNA. Tento enzym tedy viroidovou dvousroubovicí RNA přepisuje a protože tato RNA je kruhová, pokračuje v přepisu stále dokolečka. Vznikne tak velice dlouhý transkript, který se sám rozstříhá (některé RNA mají schopnost, podobně jako enzymy, katalyzovat chemické reakce - v tomto případě štěpení a opětne spojení RNA - a nazývají se **ribozymy**) a sváže do kruhových viroidových molekul. Celý proces se může opakovat. Viroidy tedy dokonce nemusí kódovat žádný protein.

V záhlaví této kapitoly jsou kromě virů a viroidů nadepsány ještě transposony a priony. U posledních dvou jmenovaných se dá o životě mluvit již velice těžko. **Transpozóny** (pohyblivé genetické elementy) jsou kousky chromosomu, které jsou schopny se ze svého místa uvolnit (přitom se případně zdvojit) a vstoupit (náhodně nebo cíleně) do jiného místa na chromosomu. Toto vše se odehrává uvnitř jedné buňky. Transpozóny se podobají virům (nejvíce retrovirům), které ztratily schopnost opustit hostitelskou buňku a nekodují žádné obalové proteiny.

Priony jsou "tvorové" ještě z jiného soudku. Jejich "tělo" totiž tvoří jen protein a žádná nukleová kyselina. Přesto jsou schopny infikovat organismus, způsobit v něm onemocnění, rozmnožit se a nakazit další jedince. Je to možné proto, že prionový

protein je ve své "zdravé" formě kódován hostitelem - např. člověkem. S určitou pravděpodobností (velice nízkou) se může tvar tohoto proteinu změnit a nová "infekční" forma získává schopnost aktivně měnit tvar (katalyzovat prostorové přeupořádání) "zdravého" proteinu. Po určitém čase se infekční forma namnoží tak, že začne způsobovat příznaky neurodegenerativního onemocnění - u člověka se tato nemoc nazývá **Creutzfeldt - Jacobova choroba**. Jak však "infekční" forma prionového proteinu může nakazit jiný organismus? Jednu z cest umožňuje současná medicína se svými transplantacemi, dárcovtvům krve a mozkovými elektrodami (prionový protein se velice těžko sterilizuje). Další možnosti je infekce potravou obsahující "infekční" formu prionového proteinu. Pravděpodobnost mezdruhového přenosu je velice malá, ale jak ukazuje nemoc kuru spojená s rituálním lidožroutstvím na Nové Guinei, v případě vnitrodruhového přenosu může být pravděpodobnost "nákazy" velmi vysoká.

To, že viry a jiné podobní "tvorové" jsou velice důležití pro život ostatních organismů, je zřejmé. Výrazně to platí v negativním smyslu, protože jejich obecnou vlastností je infekčnost - tedy schopnost proniknout do buňky a využít ji pro své pomnožení. Viry je tak možné považovat za vnitrobuněčné parazity. Známe velké množství lidských nemocí způsobených viry (několik jich bude dálé popsáno), které jsou velice těžko léčitelné pomocí nějakého léku, protože viry využívají metabolický aparát buňky a léčiva tak nemají pro svůj účinek vhodný cíl, při jehož napadení by zároveň nepoškodily lidskou buňku. Kromě toho jsou některé viry zodpovědné za některé typy rakoviny. Tyto viry (např. virus Rousova sarkomu sllepic) jsou schopny změnit buňku normální (podřízenou regulací organismu) v buňku rakovinnou schopnou neregulovaného a nekonečného dělení. To se děje vnesením určitých klíčových regulačních genů spolu s geny viru do buňky, kde dojde k jejich aktivaci a následnému tzv. malignímu zvrhnutí buňky (změně normální buňky v buňku rakovinnou). Samozřejmě virová onemocnění nejsou omezena jen na člověka, ale v různé míře ovlivňují život všech organismů - jak prokaryotických tak eukaryotických.

Všechny organismy se snaží virové infekci bránit. Bakterie vytvářejí složité systémy schopné rozpoznat a zničit cizorodou genetickou informaci. V našem těle pořádá virové infekce imunitní systém. Vytváří specifické protilátky a aktivuje bílé krvinky schopné zabít nakažené buňky spolu s ukrytým virem - tzv. cytotoxicke T-lymfocyty. Setká-li se organismus s určitou infekcí podruhé, je jeho odpověď rychlejší a přesnější. Toho se využívá při tzv. vakcinaci (očkování), kdy je podáván oslabený živý nebo usmrcený (myšleno neschopný pomnožení) virus nebo bakterie - tzv. **vakcina**. Dokonalejší ochranu se dosáhne použitím tzv. živé vakciny, protože dojde jak k produkci specifických protilátek, tak k aktivaci cytotoxicických T-lymfocytů. Použije-li se "usmrcený virus" (zničený teplem nebo některými chemickými látkami), získáme pouze tzv. protilátkovou imunitní odpověď, která je založena na aktivaci B-lymfocytů.

Některé viry (např. bakteriofág, viry herpetické nebo retroviry) jsou schopny se zabudovat do chromozómu napadené buňky a v tomto stavu přečkat velice dlouhá časová období (roky, desetiletí), případně se germinální linii (pohybujícími buňkami) přenášet z generace na generaci. S touto vlastností souvisí unikátní schopnost virů přenášet genetickou informaci přes mezdruhové bariéry. Mnoho virů totiž není omezeno jen na jednoho hostitele, ale jsou schopny infikovat velké množství různých organismů - třeba i z různých říší. Přitom zabudování se a opětne vyštěpení virové genetické informace není stoprocentně přesné a tak si virus může ve své kapsidě odnést část genu nebo i celý gen hostitele a vnést jej do jiné buňky (stejněho, nebo jiného druhu). Tomuto ději se říká transdukce a může mit velký význam pro evoluci organismů. Dovoluje totiž unikátním způsobem kombinovat vlastnosti různých druhů organismů (podobně jako na

vnitrodruhové úrovni pohlavní rozmnožování) a tak zvyšovat genetickou diverzitu a urychlovat evoluci.

Systém virů

Jak již bylo zdůrazněno, viry tvoří po mnoha stránkách velice různorodou skupinu (navíc zřejmě některé skupiny vznikly na sobě nezávisle), což výrazně komplikuje možnost vytvoření jejich přirozeného systému. Jedno z možných dělení (občas ještě používané) je podle hostitele (viry rostlinné, živočišné, bakteriální...). To příliš neodráží příbuznost jednotlivých skupin, ale může být výhodné z praktického hlediska - např. bakteriologa zajímají jen viry bakterií (tzv. bakteriofágy). Jiný možný systém si všimá tvaru kapsidy. Dnes v učebnicích nejpoužívanější systém se snaží kombinovat poznatky genetiky a biochemie se strukturou a životními cykly virů. Tohoto systému se přidržíme - samozřejmě jen ve velice zjednodušené formě.

Do nejvyšších systematických kategorií můžeme viry rozdělit podle toho, kterou nukleovou kyselinu využívají pro uchování genetické informace. Viry tak dělíme na RNA viry, DNA viry a retroviry, u kterých se v průběhu životního cyklu DNA a RNA střídají. Důležité je též, v jaké formě se nukleová kyselina u toho kterého víru vyskytuje - zda se jedná o molekuly jednovláknové, dvouvláknové, uzavřené do kruhu či rozdělené do několika segmentů (jakýsi miniaturní virových chromosomů). V neposlední řadě záleží na geometrii kapsidy nebo na tom, které vlákno (v případě jednovláknových virů) nese děděnou informaci. Celý systém je značně komplikovaný - my se spokojíme s rozdělením virů na tři základní skupiny a u každé z nich si uvedeme několik typických zástupců.

RNA viry

Do této skupiny se řadí viry využívající jako nosič genetické informace pouze RNA. Mohou být jednovláknové nebo dvouvláknové, v případě jednovláknových je důležité, zda ve své kapsidě uchovávají vlákno RNA schopné přímého překladu v protein (tedy vlastně mRNA) nebo vlákno opačné - komplementární. Do této skupiny patří velké množství velice různorodých skupin, z nichž mnohé jsou velice důležité jako původci onemocnění.

Virus chřipky - patří mezi tzv. obalené viry mající na povrchu cytoplazmatickou membránu uloupenou hostitelské buňce. Genom je rozdělen do 7-8 samostatných molekul, na rozdíl od souvisejícího řetězce typického pro většinu virů. Jedná se o velice proměnlivý virus, o čemž svědčí každoroční epidemie nových kmenů rychle se šířících z oblasti východní Asie, kde se kombinují lidské chřipkové viry s kachními ve společném hostiteli praseti.

Virus spalniček - patří opět mezi obalené viry s jednořetězcovým RNA genomem. Způsobuje akutní výrůžku v děství, někdy spojenou s vážnými komplikacemi. Infekci těhotných žen může doprovázet poškození plodu. Virus kóduje celkem šest proteinů, z toho tři obalové. Dnes existuje proti tomuto víru velice účinná vakcína obsahující živé oslabené viriony.

Virus vztekliny - je obalený dvouvláknový RNA virus. Je rozšířený u mnoha divokých zvířat včetně lišek, tchořů a netopýrů. Pro člověka je nákaza bez včasného očkování smrtelná. Po pokousání se virus replikuje ve svalech a nervech a dny až měsíce putuje podél periferních nervů, až dosáhne míchy a centrální nervové soustavy.

Virus poliomielitidy - obrny je malý neobalený virus příbuzný víru hepatitidy A - žloutenky. Způsobuje paralyzu a svalovou atrofii. Virus je vylučován stolicí a nákaze dochází požitím potravy nebo vody kontaminovaných výkaly. Nebezpečí této nemoci bylo zažehnáno pomocí velice účinných vakcín - živé oslabené (tzv. Sabinovy) a mrtvé (tzv. Salkovy).

Virus tabákové mozaiky - příklad rostlinného víru napadající listy tabáku. Jeho kapsida má na rozdíl od většiny ostatních virů (majících tvar mnichostěnu) tvar spirály.

DNA viry

Jsou opět velice různorodou skupinou obsahující miniaturní parvoviry i zřejmě největší viry vůbec - viry herpetické. Mohou být opět jednovláknové nebo dvouvláknové s molekulou uzavřenou nebo neuzařenou do kruhu. Patří sem např.

Bakteriofág λ - příklad víru využívajícího bakterii jako svého hostitele. Jedná se o dvouvláknového DNA fága, který sehrál v dějinách virologie a molekulární biologie velkou úlohu. Byl použit pro mnoho experimentů jako modelový organismus a dnes je bohatě využíván v genovém inženýrství. Jeho životní cyklus může mít dvojí podobu. Bud' se virová DNA integruje do bakteriálního chromozomu a bakterie nezpůsobí žádnou újmu (tzv. lyzogenie), nebo se rychle pomnoží a bakterie zabije (lytická fáze). Pokud je virus integrovan, bedlivě sleduje pomocí svých receptorů, zda je s bakterií vše v pořádku. Pokud tomu tak není a hrozí mu "smrt" společně s hostitelskou buňkou, okamžitě se aktivuje a zahajuje lytickou fázi, která končí smrtí bakterie a zrozením stovek bakteriofágů.

Virus hepatitidy B - sérové žloutenky, který je hlavní příčinou akutní i chronické žloutenky. V případě chronické infekce se vírus zabudovává do lidského genomu a výrazně zvyšuje riziko karcinomu jater. Chronický nosič zůstává infekčním po celý život. Odhaduje se, že na celém světě je více než 100 milionů nosičů chronické hepatitidy B.

Virus pravých neštovic - poměrně veliký vírus jehož genom se skládá z několika desítek genů. Pomocí vakcinace se podařilo u tohoto víru poprvé celosvětově zlikvidovat (tzv. eradikovat) infekční nemoc. Dnes jsou poslední viriony pravých neštovic bezpečně uloženy v několika málo světových laboratořích a slouží jen pro výzkumné účely.

Virus Epsteina a Barrové - (EBV) patří mezi herpetické viry, které jsou mezi viry asi největší (počet jejich vlastních genů se může pohybovat až kolem sta). Napadá B lymfocyty imunitního systému. Nejčastějším onemocněním vyvolaným EBV je infekční mononukleóza. Při tomto onemocnění vírus EBV aktivuje velké množství B lymfocytů, které se rychle pomnoží a objevují se ve velkém množství v krvi. Chronicke onemocnění vírem EBV výrazně zvyšuje pravděpodobnost vzniku některých nádorů.

Virus Herpes simplex - (HSV) je dalším herpetickým virem. Způsobuje nám všem známé opary. K infekci dochází v mistě dotyku s nakaženým předmětem nebo osobou, vírus proniká do pokožky, kde se pomnoží a dále pokračuje k nervu inervujícímu danou oblast. Tinto nervem proniká do těla příslušného neuronu, kde se integruje do chromozomu a vyčkává na signál k aktivaci. Tinto signálem může být nejprůzřejší podráždění oblasti, kterou neuron nakažený HSV inervuje, případně výraznější zhoršení zdravotního stavu organismu - např. horečka nebo psychický stres. Po aktivaci se vírus neuritem vraci do pokožky, kde se pomnoží a vytvoří opar.

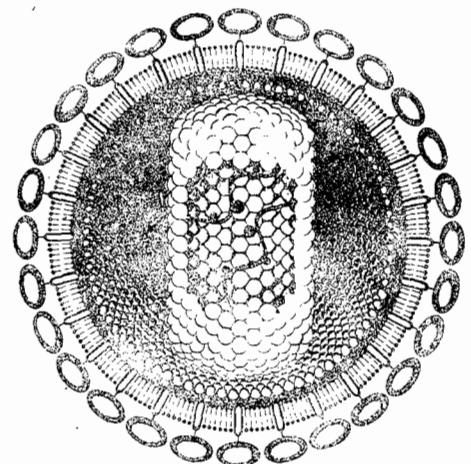
Retroviry

Retroviry jsou viry kombinující ve svém životním cyklu DNA a RNA jako nosič genetické informace. K tomuto způsobu života je nezbytně nutný enzym schopný přepisat RNA v DNA a jít tak "proti proudu" toku informace nukleovými kyselinami u ostatních organismů, kde se DNA bud' replikuje opět na DNA, nebo se přepisuje do RNA. Tento unikátní enzym se nazývá **reverzní** (neboli zpětná) **transkriptáza**. Typickou vlastností retrovirů je to, že se jako tzv. provirus ve své DNA formě začleňují do hostitelského chromozomu, kde jsou schopny v klidové formě přečkat velice dlouhé období. Některé retroviry obsahují ve svém genomu gen, jenž je schopný po vnesení do hostitelské buňky

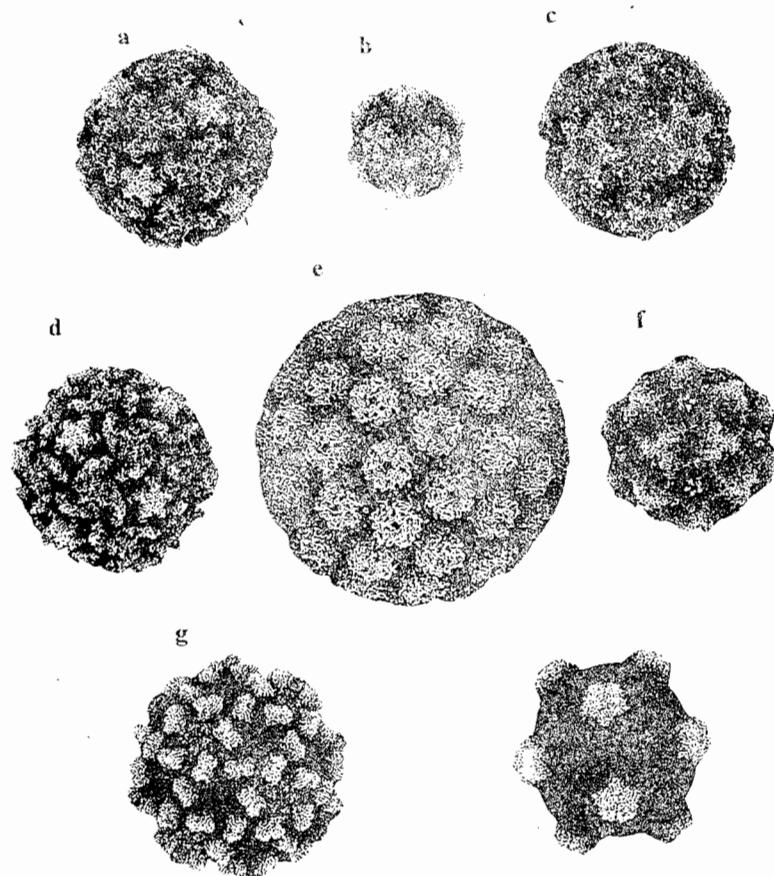
a aktivaci tuto buňku změnit v buňku nádorovou. Tento gen se nazývá **onkogen** a původně se jedná o vlastní gen hostitelského organismu kódující regulační protein. Pokud se tento gen aktivuje v nesprávný okamžik, je schopen způsobit nekontrolované dělení příslušné buňky, čehož využívají některé retroviry ve svém životním cyklu.

Nejprozkoumanějším retrovirem nesoucím onkogen a schopným způsobit vznik rakovinné buňky je virus **Kleušova sarkomu** slepic. Jeho onkogen kóduje proteinkinázou (enzym schopný fosforylovat - navázat fosfát z ATP na některé proteiny), která se jmenuje *Src*. Tato proteinkináza je mutovanou formou enzymu z normálních buněk (podílejícího se na regulaci buněčného dělení), která má mnohem vyšší aktivitu než enzym nemutovaný. Kromě kinázy *Src* je známo několik desítek různých jiných onkogenů, jejichž služeb viry využívají.

Virus **HIV** (z anglického *human immunodeficiency virus*) způsobující syndrom AIDS je dnes vírem, o němž se celá jistě nejvíce mluví a piše. Rozlišujeme dva různé viry - HIV1 a HIV2, které se liší konkrétním průběhem onemocnění. V obou případech se jedná o syndrom ziskané imunodeficienze - o ztrátu imunitní odpovědi. Oba viry napadají kličkové buňky imunitního systému - převážně tzv. T lymfocyty, které imunitní odpověď řídí. Napadený organismus ztrácí schopnost se bránit v jiných případech neškodným patogenům a po několika letech umírá často na běžnou neškodnou infekci. Dosud nebyla vyvinuta účinná očkovací látka, protože, podobně jako v případě chřipky, virus HIV je velice proměnlivý, což je dánou velkou nepřesnosti reverzní transkripcí. Vytváření velkého množství chyb, které by bylo za normálních okolností nevýhodné se stává úspěšnou strategií jak uniknout imunitní odpovědi hostitele. Podobné viry jsou známy i u jiných živočišných druhů - např. u opic SIV nebo u koček FIV.



Obr. 4. Struktura virionu viru HIV. Tento virus je obalen membránou, v níž je ukořen protein GP120, kterým se virus váže na povrch napadeného lymfocytu. Uvnitř se nacházejí dva proteinové obaly - vnější kulového a vnitřní válcového tvaru (proteinové jsou na obrázku zobrazeny jako kuličky). Válcovitý obal v sobě ukryvá dvě molekuly RNA (černé spirály) a enzymy integrázu a reverzní transkriptázu - černé kuličky.



Obr. 5. Srovnání velikosti a struktury kapsid několika virů vytvářejících kulovité viriony, jejichž tvar podléhá přísným geometrickým zákonitostem. Jedná se o aj rhinovirus (způsobující rýnu), b) virus provázející virus nekrózy tabáku (tzv. satelitní virus), c) Theilerův virus, d) poliovirus - původce obrny, e) opici virus SV40 patřící mezi adenoviry schopné změnit hostitelskou buňku v buňku rakovinnou, f) psí parvovirus, g) virus způsobující zakrnělost stonku u rajčat a h) bakteriofág $\phi X-174$. Jsou zachovány poměrně velikosti jednotlivých virů. Pro srovnání - průměr polioviru je ve skutečnosti 33 nanometrů.

III.2. Prokaryota - Bakterie

Bakterie, mikroorganismy se specifickou stavbou buňky, jsou nejjednoduššími buněčnými organismy na naší planetě. Jsou řazeny (v tradičním systému 5 říší) do říše *Prokaryotae*. Dnes, na základě detailních molekulárně biologických studií rozdělujeme všechny živé organismy na 3 základní nadříše - *Archaeabacteria*, *Eubacteria* a *Eukaryota*. Tato kapitola se bude zabývat archebakteriemi i eubakteriemi, nicméně vždy v oddělených kapitolách.

Archebakterie

Archebakterie jsou pravými pionýry života - žijí i v těch nejextrémnějších podmínkách jako jsou horké sůrné prameny nebo solná jezera, ale najdeme je poměrně běžně například i v moři. Žádná z dosud známých archebakterií není patogenem člověka ani jiných organismů. Mají poměrně jednoduchou buňku, na první pohled spíše prokaryotického typu. Jejich buněčná stěna se však značně liší od buněčné stěny pravých bakterií - neobsahuje pravý peptidoglykan typický pro eubakterie, naopak je složena z glukozaminu a proteinů nebo zcela chybí. Také membrána má odlišný charakter - není to klasická fosfolipidová dvouvrstva, ale trojvrstevní membrána, ve které se vyskytují neobvyklé esterové vazby přispívající k termostabilitě membránových struktur. Jejich 16S ribozomální RNA (jedna z molekul RNA, které spolu s několika desítkami proteinů vytváří ribozom) je zcela odlišná jak od eukaryot tak od eubakterií. Z molekulárněbiologického hlediska vykazují archebakterie více podobnosti s eukaryoty - např. archebakteriální geny mají introny. Rozdělujeme je do 4 skupin:

Metanové - anaerobní, produkují metan redukcí CO_2 , žijí v odpadních vodách, usazeniích a zažívacím traktu živočichů. Využívají se při výrobě bioplynu.

Extrémně halofilní - aerobní, obsahují plynnové vakuoly s CO_2 , požadují vysoké koncentrace NaCl, obsahují bakteriorodopsin - přeměňují slunečního záření na chemickou energii jinou cestou než fotosynteticky.

Haloalkalifilní - aerobní, žijí ve vysokých koncentracích NaCl, mají vysoké optimum pH (8 - 9)

Termoacidofilní - aerobní i anaerobní, vyžadují S a H_2S , mají extrémně nízké optimum pH (1.5 - 5), žijí v teplotech od 65° do 100°C

Eubakterie

Eubakterie, neboli pravé bakterie, jsou jednobuněčné mikroorganismy s buňkou prokaryotického typu - tedy nemají ohrazené jádro, nemají organely, ribozomy jsou volně rozptýleny v cytoplazmě a buněčná stěna je tvořena peptidoglykánem. Protože buněčnou stěnu mají všechny bakterie (kromě mykoplazmat), mají také všechny bakterie stálý tvar. Podle tvaru je také rozdělujeme na kulovité koky, tyčkovité bacily nebo kokobacily, diplokoky, streptokoky, stafylokoky, spirochetы a další. Podle typu buněčné stěny rozdělujeme bakterie do dvou skupin. Grampozitivní bakterie (při Gramovém barvení se barví modrofialově) mají kolem cytoplazmatické mebrány jen buněčnou stěnu z peptidoglykanu. Gramnegativní (po barvení červené) mají nad peptidoglykanovou buněčnou stěnou další membránovou vrstvu. Grampozitivní a gramnegativní bakterie se odlišují i celou řadou dalších vlastností - například gramnegativní bakterie netvoří nikdy endospory.

Rozmnožování

Bakterie se rozmnožují většinou příčným dělením, některé pučením. Po rozdělení mohou zůstat spojeny, takže dávají vzniknout charakteristickým uskupením. Buňky některých bakterií se mohou větvit, jiné druhy zase vytvářejí endospory (spory uložené uvnitř buňky, rod

Bacillus), artrosropy (spory vzniklé fragmentací hyf u větviček se buněk) nebo mikrocysty (klidové formy). V minulosti se předpokládalo, že u bakterií neexistuje pohlavní rozmnožování ani nic tomu podobného. Ve 40. letech však byla pozorována konjugace, předávání DNA mezi dvěma bakteriálními jedinci. Bylo zjištěno, že u některých druhů bakterií existují buňky tří různých "pohlaví" - buňky schopné přijmat DNA, buňky schopné předávat pouze plazmidovou DNA a buňky schopné předávat i DNA chromozomální. Tato pohlavnost je u *E. coli* zajišťována tzv. F plazmidem, který umožňuje právě přenos DNA mezi buňkami. Kromě tohoto procesu existuje zřejmě mezi bakteriemi poměrně často i náhodný přenos DNA, někdy i mezi zcela nepříbuznými druhy.

Vztah k prostředí

Bakterie obývají skutečně nejrůznější prostředí. Nalezneme je v moři, plovoucí i při dně, obývají jezera, rybníky, poletují ve vzduchu. Každá rostlina či živočich jsou domovem nespočetného množství různých bakterií - zcela ihodstojných, prospěšných i velmi škodlivých. Každopádně by se při náhlém zmizení bakterií celý světový ekosystém zhroutil během několika dní. Tito rozhlaďci i tvářci důležitých látek (například vitamínů v našem tlustém střevě) jsou prosté pro život zcela nezbytní.

Smíce fungují stejně jako zelené rostliny. Díky své schopnosti fotosyntetizovat jsou zdrojem kyslíku pro živočišné obyvatelstvo Země. Symbionti obývají trávicí trakt mnohých živočichů - býložravci by bez jejich pomoci nebyli schopni trávit celulózu. Bakterie jsou nezbytné pro koloběh dusíku v ekosystému - fixují vzdušný dusík a uvolňují jej do půdy (některé druhy rodu *Clostridium* a blízkovitě bakterie - *Rhizobium*), oxidují amonné soli na dusitan (*Nitrosomonas*), dusitan na dusičnan (*Nitrobacter*), a nakonec redukují dusičnan na vzdušný dusík (*Paracoccus denitrificans*). Také v koloběhu sýry hrají velmi důležitou roli síně bakterie.

Mezi bakteriemi je i celá řada významných patogenů. Těmito se budeme zabývat v rámci jednotlivých taxonomických skupin. Z ekologického hlediska je velmi zajímavé, že mnohé patogenní bakterie jsou na člověka přenášeny z rezervoáru (stáleho zdroje), jako jsou například drobní hlodavci nebo jiní živočichové. Přenášeči jsou obvykle klišťata nebo roztoči (meningitidy, boreliózy, blechy (mor) a další).

Taxonomie bakterií

Bakterie je nesmírně obtížné klasifikovat a roztrídit do nějakého uceleného systému. Jsou totiž poměrně proměnlivé, jejich vlastnosti jsou do značné míry ovlivňovány okolním prostředím a obtížné se u nich určují hranice mezi druhy. Po několika rozpačitých pokusech klasifikovat bakterie na základě jejich morfologie, jak se to většinou dělá u ostatních organismů, byla pro klasifikaci bakterií používána řada let numerická taxonomie. Princip této metody spočívá v tom, že určujeme velké množství různých biochemických, morfologických i ekologických znaků, které všechny považujeme za stejně důležité. Při statistické analýze výsledků získáme shluhy bakterií s větším počtem shodných znaků. "Nejpříbuznější" jsou si tedy ty bakterie, které mají největší počet znaků společný.

Tato metoda zcela zanedbává jakékoli vývojové vztahy mezi bakteriemi, navíc takto vytvořené taxonomické skupiny jsou na první pohled značně nejednotné. V posledních letech je velmi přísnou metodou klasifikace na základě 16S rRNA, která je součástí bakteriálních ribozómů. Množství a povaha odchylek v pořadí "písmen" (bazi) adeninu, guaninu, cytosinu a uracilu nám do značné míry dovolí odhadnout míru evoluční příbuznosti porovnávaných bakterií. Eubakterie se nejčastěji dělí do 19 skupin, z nichž si všimneme jen těch nejdůležitějších. Zvláště pojednáme o sinicích, které jsou díky své ekologické využitelnosti často popisovány v algologické literatuře spolu s řasami. Ve skutečnosti se však nejedná o žádnou výjimečnou skupinu bakterií.

Cyanobacteria (Sinice)

Sinice jsou s tzv. prochlorofytami jediná prokaryota, která má fotosyntézu na stejném principu jako eukaryota a uvolňuje při ní molekulový kyslík. Často jsou proto chybně přiřazovány k řasám. Jejich buňky nemají jádro, vakuoly ani další membránové organely. Tylakoidy s fotosyntetickými barvivami jsou umístěny přímo v cytoplazmě. Nikdy nemají bičíky nebo bryvy. Obsahují unikátní organely - tzv. plynové měchýrky, které jim umožňují vznášet se bez aktivního pohybu a dokonce ovlivňovat hladouku vody, ve které žijí. Pohybují se klouzavým pohybem. Díky svým vlastnostem v mnoha směrech úspěšně konkuruji ve vodních ekosystémech řasám. Například jsou schopné tzv. chromatické adaptace - průběžné změny uspořádání fotosyntetických barviv podle toho, která vlnová délka v dopadajícím světle právě převládá. Jsou známy též produkci různých jedovatých látek, díky nimž mají mnohem méně konzumentů než řasy. Některé jsou schopny fixovat molekulární dusík (podobně jako nitrogenerující bakterie).

A jak poznáme v mikroskopu sinici od řasy? Především podle nepřítomnosti jakýchkoliv nápadných vnitřních struktur a menší velikosti, což však nemusí být pravidlem. Sinice též nemají živě zelenou barvu zelených řas, jsou spíše brálové či modrozelené. Pokud pozorujeme aktivně se pohybující vlákno zelených buněk, není to nikdy řasa, ale máme tu čest se sinicí ze skupiny drakalek (řád *Oscillatoriace*), které popolzájí za pomocí slizové pochvy obalující vlákno.

Sinice mohou být jak jednobuněčné, tak koloniální a vláknité. Ve vláknech některých druhů můžeme pozorovat větší buňky odlišného tvaru a velikosti - heterocysty a akinety - sloužící v první případě k fixaci dusíku, v druhém k rozmnožování.

Některé druhy, zvláště vláknité, mohou být pozorovatelné pouhým okem. Např. temně zelené mazlavé závoje při hladině vody bývají kolonie sinic. Při náhlém přemnožení některých sinic dochází ke vzniku vodních květů na rybnících a přehradách. Podobně jako řasy, i sinice žijí nejen ve vodě, ale i na vlhkých místech, v půdě i na skalách. Řada z nich je symbiotických (ve formě lišejníků).

Bacteria (Bakterie)

Fototrofní bakterie

Rozmanitá skupina gramnegativních bakterií, které fotosyntetizují za anaerobních podmínek bez produkce molekulového kyslíku. Obsahují různá barviva, například bakteriochlorofyl. Řadíme k nim purpurové nejsíré, purpurové sírné a zelené sírné bakterie.

Klouzavé bakterie

Gramnegativní tyčky se složitým životním cyklem, během něhož vzniká několik různých typů buněk i buněčných uskupení. Řadíme sem např. myxobakterie schopné vytvořit makroskopické plodničky často různých barev a tvarů. Mnohé z nich jsou celulolytické nebo bakteriolytické. Jsou to převážně půdní bakterie.

Pochvaté bakterie

Gramnegativní tyčky tvořící dlouhá vlákna obalená přiléhající pochvou, která se snadno přichycuje k pevným substrátům, takže mohou obývat i rychle tekoucí vody.

Spirochéty

Gramnegativní tenké buňky šroubovitého tvaru, které se pohybují otáčením kolem vlastní osy. Patří mezi ně řada patogenů způsobujících tzv. systémová onemocnění - napadají kterýkoliv orgán organismu, způsobují změny v nervové soustavě i v dalších orgánových soustavách. K nejznámějším patogenům patří *Treponema pallidum* - původce syfilidy nebo *Borrelia burgdorferi* - původce lymské boreliózy.

Gramnegativní aerobní tyčky a koky

Velmi početná skupina bakterií fyziologicky poměrně jednotných. Některé jsou příležitostně patogenní (*Pseudomonas*). Většinou obývají půdu, mnohé druhy fixují vzdušný dusík (*Rhizobium*). Pozoruhodné je bohatství organických látek, které mohou oxidovat - některé jich jsou schopny využít až 100 různých.

Gramnegativní fakultativní anaerobní tyčky

Nejrozšířenější a nejprastudovanější skupina bakterii. Dělíme je na:

- enterobakterie - rostlinní patogeni, komensálové ve střevech zvířat a člověka (*Escherichia coli* - nejprastudovanější buněčný organismus na světě) i nebezpeční patogeni - *Yersinia pestis*, původce metly středověku moru, *Salmonella typhi*, původce brůšního tyfu, *S. paratyphi* je původce paratyfu a *S. typhimurium* je původce v poslední době stále častějších salmonelóz - nepřijemných průjmových onemocnění, která mohou u dětí a starých lidí končit smrtí

- vibria - zakřivené pohyblivé tyčky, mezi něž patří i nebezpečné *Vibrio cholerae*, původce tzv. "bílého moru", smrtelně nebezpečné cholery.

Gramnegativní koky a kokobacily

Tyto kulovité bakterie se vyskytují většinou ve dvojicích. Do této skupiny patří nebezpeční patogeni *Neisseria gonorrhoeae*, původce pohlavního onemocnění kapavky a *Neisseria meningitis*, přenášena klišťaty a způsobující zánět mozkových plen.

Gramnegativní chemolitotrofní bakterie

Velká a rozmanitá skupina většinou půdních nebo vodních bakterií. Patří mezi ně rody schopné oxidovat amonné soli na dusitaný a dusitaný na dusičnaný, dále rody, které ukládají hydroxidy železa nebo mangani, které jsou využívány k biologickému loužení rud (získávání kovů z chudých rud). Některé bakterie této skupiny metabolizují síru a sírné sloučeniny.

Bakterie produkující metan

Tyčinky nebo koky. Některé zástupci jsou Gram-pozitivní, jiní Gram-negativní. Všechny jsou anaerobní a produkují metan.

Grampozitivní koky

Rozmanité skupiny kulovitých grampozitivních baktérií. Patří sem patogenní rody *Staphylococcus* (*S. aureus* je původcem hnisavých onemocnění i celkových sepsí) a *Streptococcus*.

Tyčky a koky tvořící endospory

Pohyblivé buňky které vytvářejí velmi odolné endospory. Vyskytují se ve vodě, půdě i v vzduchu, a také v zažívací trubici mnoha živočichů. Nebezpečními patogeny jsou *Clostridium tetani* způsobující tetanus a *Clostridium botulinum* zodpovědné za případy botulismu.

Grampozitivní nesporogenní tyčky

Do této skupiny patří velmi důležitý rod *Lactobacillus*. Druhy *L. bulgaricus*, *L. lactis* a *L. helveticus* jsou nezbytné při výrobě jogurtů a sýrů, *L. acidophilus* je součástí přirozené poševní mikroflóry. Hlavním konečným produktem jejich fermentace (kvašení) je kyselina mléčná.

Aktinomycty a příbuzné bakterie

Tato skupina je počtem rodů největší ze všech. Zahrnuje asi polovinu dosud známých druhů eubakterií (kromě sinic). Mají protáhlé lehce zakřivené buňky často vytvářející vlákna, která je možné označit jako mycelium. Vesměs se jedná o aerobní bakterie obzvláště hojně v půdě, méně často se vyskytují ve vodách. Mnohé z nich jsou využívány při produkci

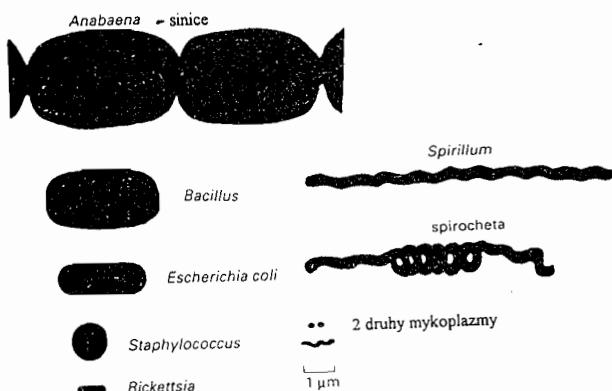
antibiotik. Mezi aktinomycty patří např. korynebakterie, které jsou patogenní pro člověka, zvířata i rostliny. Např. *Corynebacterium diphtheriae* je původcem obávané dětské nemoci záškrty. Nepatogenní korynebakterie se vyskytují v půdě, vodě i vzdachu. Dále mezi aktinomycty řadíme mykobakterie. *Mycobacterium tuberculosis* je původcem tuberkulózy, která se v posledních letech znovu začíná rozširovat, i když nikoliv ve formě tuberkulózy plicní, ale častěji jako tuberkulóza kostí nebo pohlavních orgánů. *Mycobacterium leprae* je 17. století z Evropy vymizelo, ale v tropických a subtropických zemích žije stále ještě velké množství nakažených. Význačným rodem je rod *Streptomyces* (s počtem druhů okolo 500 zdaleka největší rod bakterií), jehož zástupci produkují nepřeberné množství různých tzv. sekundárních metabolitů - např. barviva nebo různá antibiotika potlačující růst bakterií, hub, řas i nádorových buněk.

Rickettsie

Tyto velmi malé bakterie parazitují většinou v cytoplazmě buněk živočichů. Některé druhy patogenní pro člověka jsou přenášeny klíšťaty, vešmi nebo blechami. *Rickettsia prowazekii* způsobuje nemoc zvanou skvrnitý tyfus, další patogenní bakterie tohoto rodu způsobují těžká endemická onemocnění (v Kanadě, na Sibiři, v Austrálii atp.).

Mykoplasmy

Velmi malé prokaryotické organismy bez buněčné stěny ohraničené jen trojvrstevnou cytoplazmatickou membránou. Jsou to nejjednodušší organismy schopné samostatného růstu. Mají zřejmě nejmenší genom ze všech buněčných organismů - obsahují asi jen 500 genů. Některé druhy jsou patogenní.



Obr. 6. Srovnání tvarů a velikosti některých prokaryotických organismů.

III.3. Houby

Houby (Fungi), dlouhou dobu řazené mezi tzv. nižší rostliny, jsou další říše organismů, která je rovnocená s řísemí rostlin a živočichů. Vyčlenění hub do zvláštní říše je dobře zdůvodnitelné zvláštnostmi ve struktuře jejich buněk. Mimořádou odlišná je jejich buněčná stěna obsahující polymery sacharidové povahy nevyskytující se v jiných buněčných stěnách - např. chitin nebo polymery kyseliny muramové. Odlišné od ostatních organismů jsou často i velice složité životní cykly. Krátce je houby možné charakterizovat jako heterotrofní eukaryotické organismy žijící všude, kde je dostatek organického materiálu k jejich výživě. Jsou často mistry v rozkládání nejrůznějších látek a hrájí jako dekompozitoři (rozkladáči) nezastupitelnou roli v pozemských ekosystémech. Vyznačují se velkou bohatostí životních forem od zřejmě největších žijících organismů (jeden jedinec houby václavky může vážit mnoho tun a prorůstat svými hyfy - vlákny podhoubí - třeba plochu několika set metrů čtverečních) až po jedny z nejmenších eukaryotických organismů - kvasinky. Mnoho hub je parazitických a způsobuje onemocnění jak rostlin, tak živočichů. Obecně známé jsou rzi a sněti nebo tzv. grafióza jilmů. Lidé jsou v dnešní hygienu preferující době často napadání plísňovými nebo kvasinkovými onemocněními (příliš úzkostlivá hygiena jednak ruší přirozené ochranné mechanismy sliznic a pokožky - např. nízké pH, a navíc mění složení obyvatel našich povrchů tak, že v nich může převládat určitý druh jinak neškodný, např. kvasinka, a způsobit onemocnění), která jsou velice těžko léčitelná, protože jak my, tak houba jsme eukaryoti - tudíž tvorové velice podobní a léčiva nemají vhodný cíl, který by spolehlivě zničily a neohrozily přitom čteného hostitele.

Mikroskopické houby je možné rozdělit do dvou základních skupin - na vláknité houby vytvářející mycelium složené z hyf - plísň a na jednobuněčné **kvasinky**. O těchto skupinách pojednáme zvlášť. Přestože je zřejmé, že rozdělení hub podle velikosti je nepřesné, ještě dnes v povědomí mnoha mykologů existuje rozdělení hub na tzv. makromycety (makroskopické houby) a mikromycety (mikroskopické houby). Do první skupiny patří především zástupci z oddělení Eumycota podřídky Holobasidiomycetidae reprezentovaní druhy z řádu Agaricales, Aphyllophorales aj., a některí zástupci z třídy Ascomycetes z řádu Pezizales např. rod Peziza. Do mikromycetů řadíme zástupce z oddělení Eumycota z řádu Zygomycetes, Endomycetes, většinu z třídy Ascomycetes a některé zástupce z třídy Basidiomycetes, zejména z podřídky Heterobasidiomycetidae (např. zástupci z řádu Ustilaginales a Uredinales). Dále k mikromycetům řadíme druhy z oddělení Oomycota, Chytridiomycota, Myxomycota a z dalších menších oddělení. Hranice mezi mikromycetů a makromycetů není ostrá, protože metody studia makromycetů jsou dosti podobné jako u mikromycetů. Následující odstavce budou věnovány ukázkám z jednotlivých skupin mikromycetů. Zmínime se i o rodech hub, které se sice nedají přestavovat v umělých podmínkách, protože jsou parazité a my jim nedokážeme vytvořit optimální podmínky pro život, ale jinak odpovídají kritériím pro zařazení k mikromycetům. Je třeba předeslat, že u hub je velice náročné určit, který zástupce splňuje podmínky pro zařazení mezi mikrobiologické objekty. Důvodem jsou jejich velice složité životní cykly, které nejsou mnohdy dokonale poznány, a poměrná nenápadnost hub jako takových.

Do zvláštní kapitoly jsme zařadili jednobuněčné houby - kvasinky. Jedná se totiž o klasické mikrobiologické objekty, které i dnes, když víme, že se jedná o velice různorodou skupinu organismů, jsou z praktických důvodů vydělovány do zvláštní skupiny. Této praxe se přidržíme i v tomto textu, přestože jsme si vědomi umělosti a historičnosti tohoto rozdělení.

Mnoho druhů hub má dvě životní formy, které nazýváme **teleomorfa** a **anamorfa**. Teleomorfa je stadium, ve kterém se houba množí pohlavně a anamorfa je stadium, ve kterém

se houba množí nepohlavně. Dohromady obě formy tvoří tzv. **holomorfu**. V systématicce hub se staví hlavně na znacích, které se vyskytují u teleomorfů.

III.3.1. Vláknité houby

Askomycety

Nejvíce druhů hub je zastoupeno v třídě *Ascomycetes*. V ní je také soustředěno nejvíce druhů, o které se člověk zajímá, a kterým budou věnovány následující odstavce. Mezi nejvýznamnější patří houby z rodu *Penicillium* (je to anamorfni rod a teleomorfni rody k nimž patří, jsou rody *Eupenicillium* a *Talaromyces*). Druhy rodu *Penicillium* je dnes několik desítek a nejsou to jen producenti známého antibiotika penicilinu, který produkuje druh *Penicillium chrysogenum*, méně známého antibiotika griseofulvinu, který produkuje *Penicillium canescens* a *Penicillium coprophilum*, ale též producenti mykotoxinů např. patulinu - *P. expansum* a *P. vulpinum*, ochratoxinu A - *P. viridicatum*, citrininu *P. verrucosum* aj.. Některé druhy jsou používány při výrobě potravin např. sýrů - sýr camembert - *P. camembertii*, sýr niva - *P. roquefortii*. S houbami rodu *Penicillium* se můžete setkat téměř všude: jsou v ovzduší, půdě i vodě.

Dalším význačným rodem je rod *Aspergillus*, který je, stejně jako rod *Penicillium*, také rodem anamorfni. (Teleomorfni rody k němu jsou rody *Eurotium*, *Emmericella* aj.) Tyto houby jsou známy především jako saprofyty na potravinách, ale vyskytují se též v půdě, vodě a ovzduší. Mnohé druhy z tohoto rodu produkují nebezpečné mykotoxiny. Nejznámější z nich jsou aflatoxiny. (V organismu blokují syntézu bílkovin vazbu na RNA, vážou se též na DNA.) Produkují je hlavně druhy *Aspergillus flavus*, *A. fumigatus*, *A. glaucus* a *A. parasiticus*. Některé druhy z rodu *Aspergillus* jsou využívány pro průmyslovou výrobu organických kyselin, antibiotik i přípravu potravin.

Anamorfni rodem, který se hojně vyskytuje ve dřevě nebo v půdě, je rod *Trichoderma*. (Teleomorfni rodem je rod *Hypocreales*). Produkují též mykotoxiny (např. *trichodermín*, *trichodermol*). Velkým anamorfni rodem, který se hojně vyskytuje na dřevě, v půdě, na potravinách, v obilí je rod *Fusarium* (teleomorfni jsou rody *Gibberella*, *Nectria*). Opět produkují několik mykotoxinů (např. T-2 toxin, vomitoxin aj.). Dnes se onemocnění pelagra, dříve považované za avitaminózu, považuje za onemocnění způsobené mykotoxinem hub právě z rodu *Fusarium*.

Tmavě zbarvené vláknité houby patří do rodů *Alternaria*, *Ulocladium*, *Cladosporium*, *Doratomyces* aj. Jsou to především saprofyty na rostlinách, kde často působí hnily. Některé houby jsou specificky vázány na určitou živinu, kterou jsou schopny využívat. Mezi nejtypičtější patří houby z teleomorfniho řádu *Onygenales*, které jsou schopné rozkládat *keratin* a způsobují např. *dermatomykózy*.

Mnohé druhy hub jsou patogeny na rostlinách. Dnes jednou, mezi veřejností nejznámější chorobou způsobenou houbou, je grafióza jilmů, patřící mezi tracheomykózy. Toto onemocnění způsobuje houba druhu *Ophiostoma ulmi* (toto je teleomorfa) a její anamorfa *Graphium ulmi*. Houby z tohoto rodu se nevyskytují jen na jilmech, ale postihují i jiné dřeviny. U nás dnes jsou příbuznými druhy napadeny duby, onemocnění se objevuje na bucích, smrcích a jinde. V tropických oblastech napadají mnoho plodin. Houby z rodu *Ophiostoma* mají ve své buněčné stěně jako jednu ze stavebních složek celulózu. Tato skutečnost zpochybňuje jeden ze základních znaků, jímž jsou charakterizovány houby z oddělení *Eumycota* (toto oddělení prý postrádá v buněčné stěně celulózu, jež přítomnost je typická pro rostliny) a zároveň nám ukazuje, jak málo toho o houbách víme. Dalšími houbami, které parazitují na rostlinách, jsou houby z řádu *Erysiphales* tvořící bílé povlaky na listech rostlin. Rod *Blumeria* (dříve *Erysiphe*) se vyskytuje často na obilovinách a travinách, rod *Microsphaera* na dřevinách, *Podosphaera* a *Sphaerotheca* na ovočných keřích a dřevinách.

Endomycety

Třídou, která je často spojována s třídou *Ascomycetes* z důvodu podobného pohlavního rozmnožování, je třída *Endomycetes*. Zde jsou nejznámější dva řády, *Endomycetales* - zvané též často kvasinky, kterým je věnována celá samostatná kapitola, a řád *Taphrinales*, jehož zástupci jsou parazitičtí. Nejznámějším je rod *Taphrina* jenž parazituje na broskvovních, břízách, olších i jinde.

Zygomycety

Další třídou hub, jejíž zástupci jsou vláknití, velmi rychle rostoucí a vyskytují se na potravinách, obilovinách i v půdě, je třída *Zygomycetes*. Patří sem rody *Mucor*, *Absidia*, *Rhizopus* aj., z nichž některé mohou být patogenní. V této třídě jsou ale i druhy, které jsou schopny parazitovat na hmyzu, např. *Entomophthora* nebo druhy, které se podílejí na mykorhize (zvláštěm typu soužití rostliny a houby, při kterém houba ziskává z rostliny organické látky a přitom zprostředkovává rostlině příjem vody a anorganických iontů), kterou nalezneme asi u 80% všech druhů cévnatých rostlin (např. druhy z rodu *Glomus*, *Endogone* aj.).

Basidiomycety

Z třídy *Basidiomycetes* je nutno vzpomenout na rody, které působí jako parazité na rostlinách. Nejvýznamnější z nich jsou houby z řádu *Uredinales* (rizi). Do tohoto řádu patří rod *Puccinia*, jehož zástupci jsou zčasti parazité na obilních. K nejvýznamnějším z nich patří *Puccinia graminis*, *P. hordei*, *P. striiformis* aj. Příbuzným řádem je řád *Ustilaginales* (sněti) jehož zástupci často parazitují na obilovinách. Nejnápadnějším je druh *Ustilago maydis*, který napadá kukuřici. Dalším rodem je rod *Tilletia*, který parazituje na obilních.

Oomycety

Zvláštní skupinou hub jsou houby z oddělení *Oomycota*, u nichž v buněčné stěně jako stavební látky převažuje celulóza. Je to jeden z důvodů, proč jsou tyto houby často řazené mezi řasy. V tomto oddělení je mnoho druhů parazitujících na rostlinách, např. : *Bremia lactucae* na salátu, *Phytophthora infestans* na bramborách a rajčatech, *Perenospora*, *Plasmopara* aj. Některé rody např. *Aphanomyces* jsou parazité vodních organismů.

Myxomycety

Skupinou hub, se kterou můžeme také u nás běžně setkat, jsou hlenky, oddělení *Myxomycota*. Jsou to organismy na rozhraní hub a živočichů. Tyto organismy se totiž živí pohlcováním bakterií, to jest podobně, jako to dělají živočichové, a zcela netypický pro houby. Tyto sice jednobuněčné organismy, se v pozdější fázi svého vývoje shlukují do mnohobuněčných útvarek. Mezi ně patří mimo jiné rody *Lycogala* a *Stemonitis*, s kterými se můžeme běžně setkat v našich lesích. Rod *Dictyostelium*, který sem též patří, je dnes jedním z modelových organismů pro studium exprese genů. Dříve se do oddělení *Myxomycota* řadily i další organismy s podobnou stavbou a funkcí, ale parazitické. Ty však dnes tvoří samostatné oddělení *Plasmodiophoromycota*, z nichž nejznámější je *Plasmodiophora brassicae* - parazit na brukvovitých.

III.3.2. Kvasinky

Kvasinky jsou mikroskopické jednoduché houby. Jejich jméno, a to nejenom v češtině, ale i v mnohých jiných jazycích, upomíná na jejich velmi důležitou vlastnost - schopnost kvasit. Kvasinky jsou pro tuto svoji schopnost od pradávna využívány člověkem na celém světě. Proces kvašení cukerných roztoků, získaných nejčastěji lisováním pšenice nebo hroznového vína, je znám už téměř 6 000 let. Jejich původce - kvasinka *Saccharomyces cerevisiae*, však byla pozorována až po objevu mikroskopu.

Od té doby bylo identifikováno obrovské množství kvasinek nejrůznějších tvarů. Obykle jsou kvasinky kulaté nebo oválné, ale vyskytují se i druhy, které mají buňky charakteristického citronovitého, vajíčkovitého, lahvovitého či vláknitého tvaru. Stejně jako tvar, mění se u pučivých kvasinek i místo tvorby pupene - kvasinky mohou pučet buď pouze na jednom polu, nebo bipolárně, nebo dokonce zcela náhodně. Na buněčné stěně v místě oddělení pupene od mateřské buňky zůstávají jizvy. Jizva na dceřiné buňce se nazývá jizva zrodu a protože je tvořena odlišným buněčným materiélem, může být snadno odlišitelná od jizev na místech, kde se oddělily nové pupeny. Z každé buňky může vypučet jen omezený počet nových buněk.

Mnohé kvasinky jsou schopné za určitých okolností omezit rozmnožování buněk a začít buňky prodlužovat. Tímto způsobem vznikají vláknitá pseudomycelia, jejichž tvar je pro jednotlivé druhy charakteristický.

Kvasinky je obtížné jednotně definovat a charakterizovat. Dnes převládá názor, že to jsou redukované formy jiných hub, přičemž tato redukce zasáhla převážně pohlavní procesy. Buňka kvasinky je eukaryotického typu, jádrem, endoplazmatickým retikulem, mitochondriemi a redukovaným Golgiho aparátem. Často najdeme v kvasinkových buňkách vakuoly, mnohé buňky tvoří různé pigmenty. Charakteristická je trojvrstevná buněčná stěna tvořená polysacharidy (nejčastěji manany, glukany a chitinem), proteiny a lipidy. Na rozdíl od většiny eukaryotických buněk mají kvasinky tzv. endomitózu, takže dělení jádra probíhá bez rozrušení jaderné membrány. To je hlavní důvod, proč je u kvasinek mimořádně obtížné udělat dobrý karyotyp a zjistit tak přesný počet a stavbu chromozómů.

Kvasinky se množí jednak nepohlavně a to většinou pučením, kromě několika málo druhů tzv. poltivých kvasinek. Kromě toho však jsou mnohé druhy schopné pohlavního rozmnožování. To probíhá tak, že spolu splynou (konjugují) dvě buňky a posléze se spojí i jejich jádra - dojde ke karyogamii. Někdy dojde ke splynutí jádra později a mezitím existuje dikaryotní fáze, při níž se buňky se dvěma jádry dělí a dávají vznik dikaryotickému myceliu. To můžeme pozorovat hlavně u skupiny tzv. bazidiomycet. Konjugaci dvou kvasinkových buněk vzniká zygota, která později sporuleje za vzniku asku nebo bazidia, v nichž jsou uloženy spory. Ke sporulaci je nezbytné meiotické dělení, během nějž vzniknou čtyři spory, které se však mohou dále dělit, takže někdy je v asku 8, 16 i více spor. Protože u kvasinek ale pozorujeme silný sklon k redukci pohlavního rozmnožování, u mnohých druhů spolu splývají dvě somatické (diploidní) buňky, nebo k žádné konjugaci vůbec nedochází (tzv. imperfektní kvasinky).

Endomycety

Během konjugace dvou buněk vzniká zygota, která dá po meiotickém dělení vznik endosporám ve vřecku (pouzdro spor). Po meiotickém dělení vznikají 4 spory, které se však mohou ještě dále mitoticky dělit, takže ve vřecku můžeme nalézt 8, 16 nebo i více spor. Počet spor ve vřecku je druhově specifický. Mycelia endomycet netvoří prezky (basidia). Dělí se na:

-kvasinky s přehrádečním dělením (poltivé)

Yarrowia lipolytica je schopna metabolizovat ropné produkty, používá se k výrobě kyseliny citrónové. Kvasinka *Trichosporon cutaneum* je kožní patogen žijící na vousech a vlasech.

-- kvasinky pučící

Saccharomyces cerevisiae je všeobecně využívaná kvasinka. Je nezbytná při vaření piva, výrobě vína, pečení chleba a vůbec mnohých kvasných procesech. Průmyslově využívané kmeny jsou většinou staletí šlechtěné a polyploidní. Mimořádně je tato kvasinka jako jednoduchý eukaryotický organismus také zajímavým modelem molekulární biologie.

Bazidiomycety

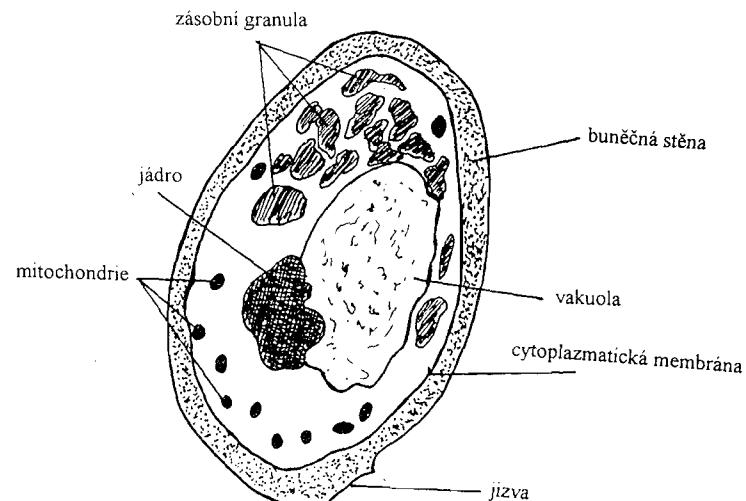
Do této skupiny patří kromě vláknitých hub i mnoho hub kvasinkového typu. Konjugaci vznikají dikaryotní buňky, které jsou schopné po určitou dobu dělení a samostatného života - kvasinka prochází dikaryotickou fází. Po meiotickém dělení vznikají exospory. Jejich mycelium má charakteristické prezky.

Phaffia je kvasinka produkující značné množství karotenů. Používá se jako krmivo pro slepice, jejichž vajíčka mají potom zdravé žluté žloutky. *Cryptococcus neoformans* je nebezpečný patogen napadající nervovou soustavu. Hlavními přenášeči jsou holubi.

Deuteromycety (i imperfektní kvasinky)

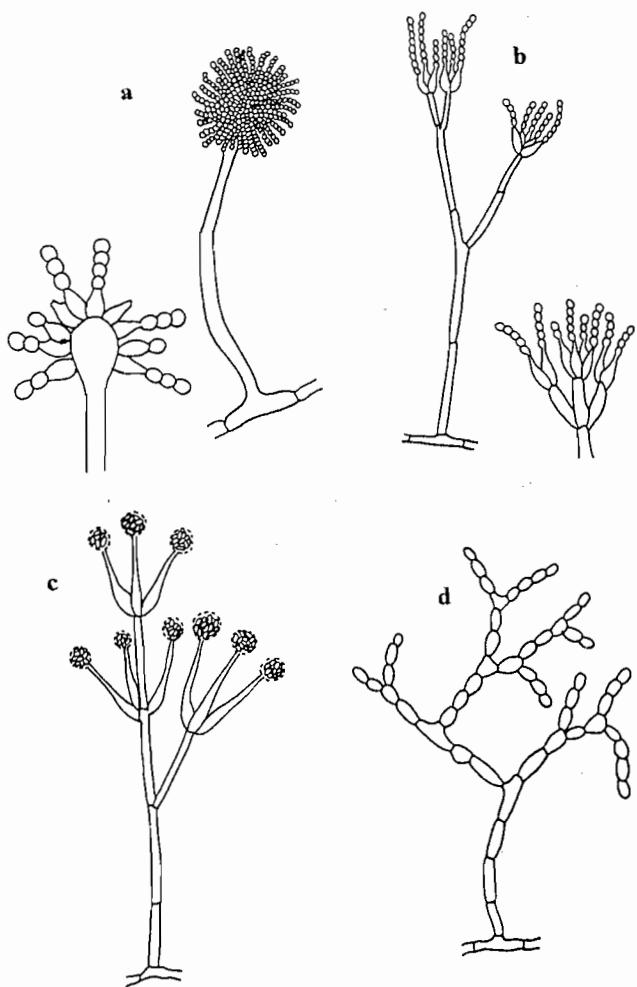
Pomocná skupina hub, které nemají (nebo u nich dosud nebylo zjištěno) pohlavní rozmnožování.

Candida albicans je patogen urogenitálního traktu. Zde žije zcela běžně, ale je-li potlačena přirozená poševní mikroflóra (například po požívání antibiotik), může se začít rychle množit a působí značné nesnáze.



Obr. 7. Vnitřní uspořádání kvasinkové buňky *Saccharomyces cerevisiae*. Kresleno dle elektronoptického snímku.

III.4. Rostliny - Řasy



Obr.8. Nepohlavní rozmnožování plisní je zajištěno produkci spor: a) *Aspergillus* sp. - část hyfy s konidioforem nesoucím spory - konidie, b) *Penicillium* sp. - konidiofor s konidiemi, c) *Verticillium* sp. - konidiofor s nahloučenými konidiemi, d) *Monilia sitophila* - konidiofor s rozvětvenými konidiemi.

Řekne-li se řasa, mnohý z nás si představí jakýsi zelený vláknitý chuchvalec plovoucí ve vodě. Avšak to je jen jedna z tisíců možností, jak může řasa vypadat. Ve skutečnosti řasami nazýváme obrovské množství organismů, označovaných někdy jako nižší rostliny. Jsou to organismy náležející do mnoha vývojových skupin, mnohdy navzájem velmi odlišných například stavbou buňky a jejich jednotlivých organel, složením fotosyntetických barviv, zásobními látkami či svým metabolismem. Mezi dvěma řasami může být daleko větší rozdíl než mezi jakýmkoli dvěma vyššími rostlinami, například mezi lekninem a lípou. Naproti tomu organismy ze skupiny "zelených řas" mají fyziologii a morfologii své buňky k vyšším rostlinám daleko blíže, než k řasám jiných skupin. **Řasy (Algae)** nejsou tedy ve skutečnosti žádnou systematickou jednotkou. Je to tradiční název označující více skupin organismů a můžeme si ho definovat takto: řasa je eukaryotický fotoautotrofní organismus, který není vyšší rostlinou, to znamená ani mechanorem ani rostlinou cévnatou. Jeho tělo není tedy členěno v pletiva a orgány a je označováno jako stélka. Ani tato charakteristika však není zcela přesná, neboť i mezi řasami jsou mnohé druhotně heterotrofní druhy. Ty jsou v některých systémech řazeny mezi prvoky. Zdá se tedy, že na úrovni svých nejjednodušších zástupců není hranice mezi jednotlivými řasami zcela ostrá. Příkladem mohou být krásnoočka schopná heterotrofní existence a tudíž na základě svých vlastností zařaditelná mezi živočišné bičkovce nebo hlenky, které, ač řazeny mezi houby, mají některé vlastnosti typické pro živočichy.

O významu řas v pozemských ekosystémech není spor. Jsou totiž jako součást planktonu hlavními producenty kyslíku a biomasy, která slouží za potravu nepřeberněmu množství vodních živočichů. Spolu se sinicemi tak stojí na počátku vodních potravních řetězců, jejichž další články tak rádi konzumujeme. Některé řasy opatřené schránkami jsou důležitým horninotvorným faktorem. Spolu s dírkovci a mřížovci (kteří patří mezi prvoky) se totiž na vzniku usazených hornin podílejí i rozsivky.

Jak může řasa vypadat.

Nejvíce druhů řas má mikroskopické rozměry a to je také důvod, proč se jimi v této příručce zabýváme. I řasy velkých rozměrů je však vhodné sledovat mikroskopem, neboť jen tak můžeme pozorovat strukturu jejich těla či jejich rozmnožování. Z hlediska morfologie můžeme u řas rozlišit několik vývojově různě pokročilých typů, a to bez ohledu na systematickou příbuznost. Tyto tzv. vývojové stupně stélky se mohou vyskytovat několikrát, nezávisle na sobě, u různých skupin řas. Někdy jsou si dokonce dva druhy různých skupin natolik podobné, že je i všímavý biolog může snadno zaměnit. Hovoříme zde o tzv. vývojovém paralelismu.

Nejjednodušší a také nejběžnější jsou řasy, jejichž stélka je tvorena jedinou buňkou. Nemá-li tato buňka ani bičinky, ani slizový obal, hovoříme o kokálním typu stélky. Jednobuněčné řasy opatřené jedním nebo více bičíky představují typ bičíkatý, jednobuněčné řasy se slizovým obalem typ kapsální. Jednobuněčné řasy všech uvedených typů často tvoří menší či větší kolonie, tvarově charakteristické pro daný druh. Buňky v kolonii mohou být všechny stejné, avšak mnohdy bývají tvarově odlišné (např. buňky na povrchu kolonie mají bičíky, buňky hlouběji uložené ne). Takováto diferenciace je určitým, byť drobným stupněm k mnohobuněčným organismům. I mezi jednobuněčnými řasami jsou takové, které jsou pozorovatelné pouhým okem. Např. planktonní *Hydrodictyon* může mít buňky dlouhé až 1 cm. Navíc tvoří kolonie podobně jemným zeleným sitkům plujícím ve vodě. Pravým obrem mezi jednobuněčnými organismy je mořská řasa *Caulerpa*, která může dosáhnout délky až jednoho metru. Přitom její jediná buňka s mnoha jádry je schopná se diferencovat ve stonky, listy a úchytné kořínky. Jiným příkladem obrovského jednobuněčného organismu s tvarově složitě diferencovanou buňkou (tentokrát jen s jedním jádrem) je často zmínovaná řasa *Acetabularia*. Na druhé straně mezi řasy patří nejméně eukaryotický organismus - méně než

lum velký *Ostreococcus tauri* objevený v roce 1994. Ke vzniku tak miniaturní řasy zřejmě vedl silný selekční tlak určený vlastnostmi filtračního aparátu některých mlžů, kteří nejsou schopni zachytit částice menší než 2 µm.

Pokud se buňky množí a kolonie rozrůstají pouze v jednom směru, vznikne vlákno tvořené dlouhou řadou buněk. To je tzv. typ vláknitý (trichální), který již může být pozorován pouhým okem. Jsou-li vlákna dostatečně dlouhá a ve velkém množství, tvoří ony známé chomáče, o nichž již byla řeč v úvodu kapitoly o fasách. Vlákna mohou být i větvená, s funkčně i morfologicky rozlišenými větvěkami - tehdy mluvíme o heterotrichálním typu stélky (např. řasy rodu *Draparnaldia*). Sifonální typ stélky je tvořen velkou vakovitou mnohofajernou buňkou, jako je tomu např. u řas rodu *Vaucheria*. Sifonokladální typ představují řasy s mnohobuněčnou stélkou tvořenou mnohofajernými buňkami (příkladem je *Cladophora* čili žabí vlás). Jiné řasy se rozrůstají do plochy a mají lupenitý tvar. Řasa rodu *Chaetophora* má vlákna radiajně uložená ve slizových kuličkách. Některé řasy pokročily ještě dále a mají tzv. pletivný typ stélky. Ač ve skutečnosti žádná pletiva nemají, jejich tělo je rozčleněno na jakési pseudoorgány napodobující části těla vyšších rostlin. Takové řasy mohou být značně velké, až několik m. Mezi největší patří mořské chalupy. Vůbec nejsložitější stélku má zelená řasa parožnatka (*Chara*), rostoucí i v našich vodách. Je podobná přesličce a na vrcholu má jednu stálou se dělící buňku s obdobnými vlastnostmi, jaké má vzrostný vrchol vyšších rostlin. Při jejím odstranění přestává řasa růst.

Kde všude řasy žijí.

Na první pohled by se zdalo, že setkat se s řasou není tak zcela běžné. Opak je pravdou - svět je plný řas, pouze jsou našemu zraku skryty pro své nepatrné rozměry. Především jsou řasy přítomny téměř v každé vodě, pokud není mimořádně znečištěná, nebo naopak uměle znečištěná či destilovaná. V přirozených vodních ekosystémech bývají řasy nejhojnějšími fotoautotrofními organismy, a proto zde představují hlavní součást primárních producentů (co se týče fotosyntézy, hrají vyšší rostliny v rybnících, jezerech a řekách až druhořadou roli). Drobné, jednobuněčné řasy plovoucí volně ve vodě tvoří rostlinou součást planktonu zvanou fitoplankton. Na rozdíl od zooplanktonu nejsou fitoplanktonní organismy takřka nikdy pozorovatelné pouhým okem, jejich velikost se měří na mikrometry. Jsou-li planktonní řasy ve vodě přítomny ve velké koncentraci, projeví se to na barvě vody. Všichni jistě známe živě zelenou barvu některých návesních rybníčků. Řasy nemusí vodu barvit vždy do zelená, záleží na tom, která skupina převládá. Např. rozsivky mohou barvit vodu do žlutohněda. Někdy, zvláště v mělkých nádržích, tvoří řasy výrazný povlak na hladině. Některé řasy, např. krásnoočka se často ohromně namnoží v téměř vysychajících tuňkách či loužích, kde jsou patrný jako zelený škrálop na mokrému bahnu.

Kromě fitoplanktonu, volně se vznášejícího či aktivně plovoucího, existuje ve vodě mnoho řas žijících přisedle na nejakém podkladě. Tím mohou být kameny na dně, ponorené kusy dřeva, někdy i samotně písčité či bahnité dno. Mnoho řas roste epifyticky nebo epizoicky, tedy na jiných rostlinách nebo na živočišném. Tyto nárostové řasy, rostou-li ve větším množství, bývají velmi dobře viditelné i pouhým okem jako povlaky a koberce na oněch podkladech. Mohou to být opět jednobuněčné organismy, ale častěji než mezi fitoplanktonem se zde setkáváme s řasami koloniálními a vláknitými. Každý jistě zná dlouhá vlákna zelené řasy žabího vlasu. Mnohé vláknité řasy, původně nárostové, se mohou uvolnit od podkladu a plout ve formě chuchvalce ve volné vodě. Také mimo vodní prostředí se můžeme s řasami setkat. Jistě jste již mnohemkrát viděli porosty zelené řasy zrněnky na kmenech stromů nebo na zdech. Řasami jsou často obrostlé zastíněné, ale přesto osvětlené partie skal a kamenů. Jedinečnými stanovišti některých druhů řas jsou místa, kam se voda dostane jen občas - například okolí vyústění okapů nebo dostříkové zóny vodopádů a jezů. Mnoho zajímavých řas může vyrůst i na stěnách květináčů či na talířích pod nimi. I v půdě rostou řasy. Jejich výskyt je diky světelným podmírkám omezen jen na nejsvrchnější vrstvu půdy, ale i zde nacházíme druhově bohatá společenstva. Řasy mohou žít i v symbioze s jinými organismy. Nejznámějším

příkladem jsou lišeňíky, podvojné organismy tvořené řasou a houbou, někdy houbou a sinicí. Symbiozu řasy s živočichem lze demonstrovat pro nás poněkud exotickým příkladem řasy žijící v srsti jihoamerických lenochodů nebo příkladem z našich vod - symbiózou řasy a láčkovce (nezmar zelený).

Není řasa jako řasa aneb malý průvodce systémem řas

V této kapitole si velmi stručně probereme nejvýznamnější skupiny řas a jejich běžné zástupce. Nutno podotknout, že systém řas je dosud velice nejednotný a takřka průběžně v něm dochází ke změnám na základě nových poznatků. My se budeme držet nejnovější u nás vyšlé publikace (Kalina, 94). Velkou komplikaci při systematickém třídění jsou rozmožňovací cykly řas. Řada druhů prochází mnoha vývojovými stadii, vzhledově si navzájem zcela nepodobných. Mnohdy také vznikají klidová stadia tvaru zcela odlišného od vegetativní stélky. Častá je i rodozměna (střídání pohlavních a nepohlavních generací). Jedním z kritérií povážovaných za dobrý znak příbuznosti je složení fotosyntetických barviv a zásobních látek, charakteristické pro jednotlivé oddělení řas. Podle barviv jsou někdy řasy rozdělovány, ne zcela přesně, na červenou, hnědou a zelenou vývojovou větev.

Oddělení: Ruduchy (*Rhodophyta*)

Díky kombinaci fotosyntetických barviv, mezi nimiž jsou mimo jiné přítomny fykocyanin a fykoerytrin, mají tyto řasy často (ale ne vždy) červenavé zbarvení. Jedná se hlavně o mořské formy, ve sladkých vodách je toto skupina zastoupena jen několika málo rodů. Z velkých, makroskopických ruduch u nás vzácně roste žabí sémě (*Batrachospermum sp.*), z mikroskopických je místy rozšířen druh *Hildebrandia rivularis*. Je to jediná naše ruducha, která je opravdu červená a jejíž porosty můžeme pozorovat jako velké karmínové skvrny na kamenech v některých čistých potocích a říčkách.

Oddělení: Obrněnky (*Dinophyta*)

Jsou to jednobuněční bičíkovci. Jsou převážně mořští, menší část druhů žije ve sladkých vodách. Obrněnky jsou v mnoha ohledech jedinečná stvoření, mají např. mezi organismy unikátní stavbu buněčného jádra. V mikroskopu na sebe upozorní především svojí schránkou. Ta je sestavena z většího množství destiček a tvoří jakýsi pancíř, v němž je skryta vlastní buňka. Toto brnění může mít někdy velice komplikovanou stavbu s dlouhými rohy (rod *Ceratium*), jindy má soudečkovitý či kulovitý tvar (*Gymnodinium*, *Peridinium*).

Oddělení: Skrytěnky (*Cryptophyta*)

Jsou to opět jednobuněčné bičíkaté organismy. Na počet druhů jsou poměrně malou skupinou, vyskytují se však někdy v ohromném množství. Zvláště na jaře mohou v našich podmírkách převládat ve fitoplanktonu rybníků, tůní i přehrad. Jejich buňka, na které lze rozlišit hřbetní a břišní stranu je opatřena dvěma bičíky. Ty nevyrůstají zcela v podélné ose buňky, ale jsou posunuty poněkud na spodní stranu. Díky tomu skrytěnky plavou mírně šroubovitým pohybem. Nikdy nejsou jasné zelené, bývají zbarveny do modra, do žluta, či do rezava. Některé druhy jsou bezbarvé.

Oddělení : Hnědě řasy (*Chromophyta*)

Je to obrovská skupina zahrnující mnoho forem, od jednobuněčných rozsivek po obrovské mořské chalupy. Zmíňme se jen o třech skupinách, které se běžně vyskytují v naší přírodě.

Třída: Zlativky (*Chrysophyceae*)

Bývají jednobuněčné, mnohdy koloniální, často bičikaté. Někdy jsou však i krátce vláknité nebo dokonce větvené. Vyznačují se jedním nebo několika velkými chloroplasty žlutohnědě barvy. Typickými zástupci jsou rody *Symura* a *Dinobryon*.

Třída : Rozsivky (*Bacillariophyceae*)

Rozsivky jsou podivuhodné jednobuněčné organismy, vyznačující se mimo jiné

dvoudílnou křemitou schránkou. Ta je bud' kruhová, radiálně souměrná (tvaru Petriho misky), nebo podlouhlá (jako krabička na mýdlo). Může být nejrozmanitější tvarovaná a strukturovaná. Mnohé druhy tvoří tvarově charakteristické kolonie. Jsou takřka všudypřítomné, najdeme je ve fytoplanktonu, v nárostech i v půdě. Některé vykonávají svůj vlastní aktivní pohyb za pomocí štěrbiny ve schránce. Prázdné schránky rozsivek mohou v místech své sedimentace dát vznik rozsivkové zemině, tzv. křemelině.

Třída : Různobrvky (Xanthophyceae)

Je to vzhledově snad nejrozmanitější třída řas. Setkáváme se zde téměř se všemi typy stélek. Tvarově jsou tyto řasy dost často podobné různým skupinám zelených řas (*Chlorophyta*) a dají se s nimi proto lehce zaměnit. Jejich barva nemusí být zdaleka vždy jen hnědá, proto se často dají odlišit jen zkouškou Lugolovým roztokem. Protože neobsahují škrob, žádná část jejich buněk se nezbarví do modročerná (na rozdíl od zelených řas).

Oddělení: Krásnoočka (Euglenophyta)

Do této skupiny patří výhradně jednobuněční bičíkovci, v některých případech schránkatí (rod *Trachelomonas*). Krásnoočka mají buňku pokrytu zvláštním pružným obalem, který jim často dovoluje měnit tvar. Mají světločivou skvrnu zvanou stigma, jehož uložení mimo plastid je pro tuto skupinu typické. Krásnoočka se pohybují za pomoci tažného bičku. Běžně v učebnicích uváděné krásnoočko zelené (*Euglena viridis*) je poměrně vzácné, mnohem běžnější jsou jiné druhy jako např. *Euglena acus*, *Euglena gracilis* a další. Ve fytoplanktonu jsou běžné druhy rodu *Phacus*. Krásnoočka mohou někdy, zvláště v mělkých, živinami bohatých nádržích, zcela převládnout nad jinými druhy řas. V prostředí s nadbytkem organické hmoty jsou někteří zástupci schopni heterotrofní výživy a v této fázi se velice podobají živočišným bičíkovcům - viz dále.

Oddělení: Zelené řasy (Chlorophyta)

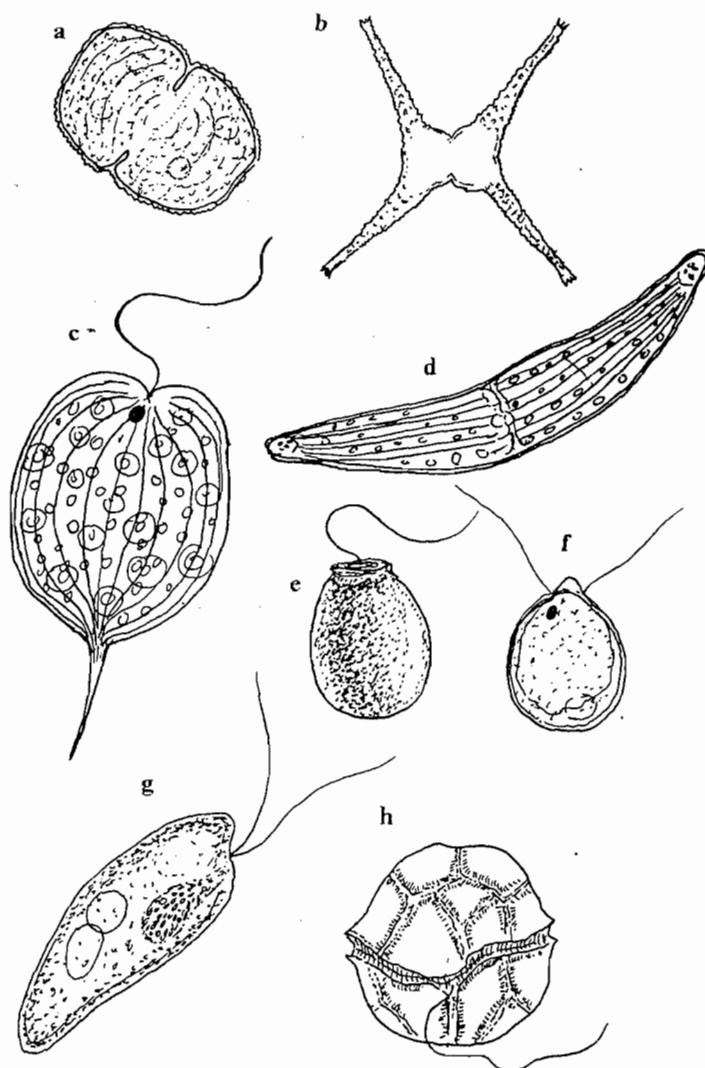
Tato velká skupina zahrnuje obrovské množství druhů, jejichž systematika je velmi komplikovaná a nebude se s ní zde zabývat. Zmínime se o základních typech:

Bičíkaté zelené řasy. Jsou to jednobuněčné organismy, které žijí po většinu životního cyklu jako bičíkovci (tzv. monády). Příkladem je pláštěnka (*Chlamydomonas*) nebo válec (*Volvox*), který žije v kulovitých koloniích (cenobiích) s částečně již diferenciovánými buňkami. Oba uvedené rody mají, jak tomu u bičíkatých řas často bývá, světločivou skvrnu.

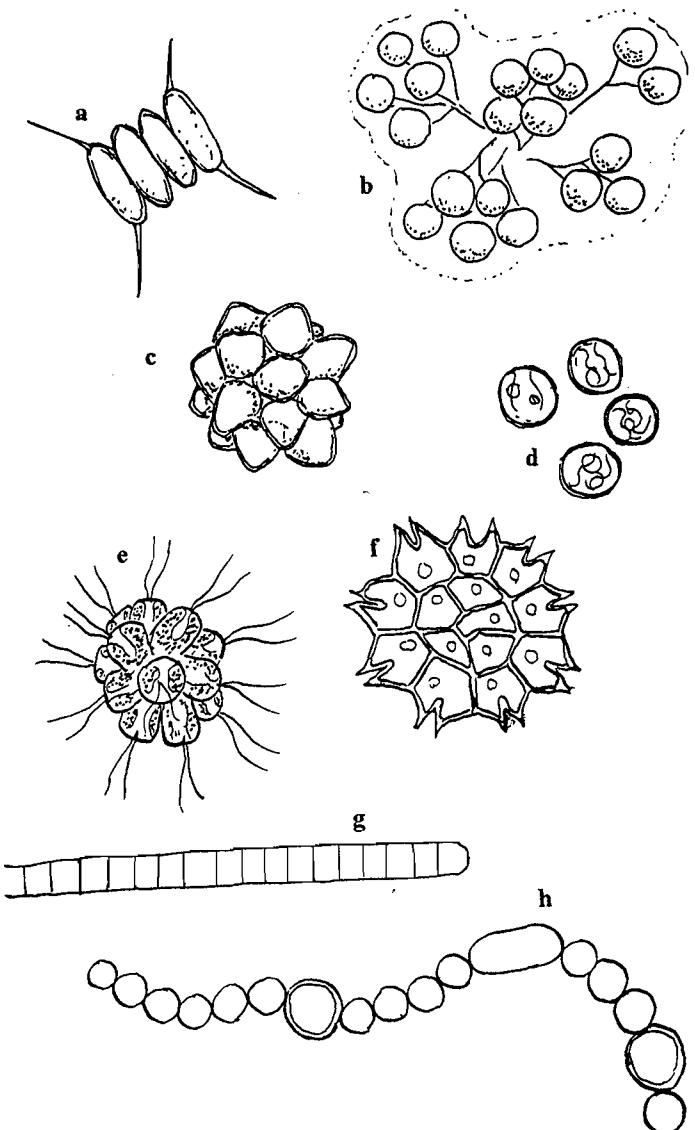
Chlorokokální řasy. Tyto jednobuněčné řasy často tvoří nejpodstatnější součást fytoplanktonu sladkých vod. Nemají vlastní aktivní pohyb. Jejich buňky mívají druhově charakteristický tvar, někdy se sdružují do tvarově typických kolonii. Jmenujme např. řetizovku (*Scenedesmus*), *Dictyosphaerium*, *Tetraedron*, *Coelastrum*, *Pediastrum* či známou a běžnou řasu zelenivku (*Chlorella*).

Jednobuněčné zelené řasy tvořící větší, makroskopické kolonie. Typem takovéto řasy je *Hydrodictyon*, rostoucí v eutrofních, živinami bohatých tůnících.

Vláknité zelené řasy. Tvoří nejčastěji nároty na pevném podkladě, i když známe i planktonní druhy. Vlákná mohou být jednoduchá (kadeřnatka - *Ulothrix*), nebo větvená (žabí vlas - *Cladophora*). O jedné systematické skupině zelených řas se však přeci jen podrobněji zmínime. Jsou to spájivé řasy (*Conjugatophyceae*). Jejich stélek je bud' jednobuněčná, nebo vláknitá. Vyznačují se zvláštním způsobem rozmnožování, konjugací. Ve vegetativním stavu jsou tyto řasy haploidní, při konjugaci spolu splývají přímo dva jedinci (u jednobuněčných), nebo dvě buňky (u vláknitých) za vzniku diploidní, tlustostěnné, vytrvalé zygoty. Zástupcem vláknitých spájivek je šroubatka (*Spirogyra*), z jednobuněčných jsou to krásivky (*Desmidiales*), nazývané též řasy dvojčatkovité. Mívají velice ozdobnou buňku, která často na pohled budí dojem, že jde o buňky dvě.



Obr. 9. Některé tvarově typické jednobuněčné řasy: a) *Cosmarium*, b) *Staurastrum*, c) *Phacus*, d) *Closterium*, e) *Trachelomonas*, f) *Chlamydomonas*, g) *Cryptomonas*, h) *Peridinium*.



Obr. 10. Některé tvarově typické koloniální řasy a sinice: a) *Scenedesmus*, b) *Dictyosphaerium*, c) *Coelastrum*, d) *Chlorella*, e) *Synura*, f) *Pediastrum*, g) *Oscillatoria* (sinice), h) *Anabaena* (sinice).

III.5. Protista - Prvoci

V současné době se stále více prosazuje názor, podle kterého se spojují všechny jednobuněčné eukaryotické organismy do společné říše *Protista*. Nicméně i tak se u nás většinou setkáváme spíše s klasickým rozdělením těchto organismů mezi říše živočichů (*Animalia*), rostlin (*Plantae*) a hub (*Fungi*). Rostlinně jednobuněčné eukaryotické organismy se přiřazují k řasám (*Algae*), které jsou však dnes chápány jako umělá skupina a v botanickém systému jsou rozděleny do několika oddělení. Živočišné jednobuněčné organismy se označují jako prvoci (*Protozoa*).

U mnohých bičíkovců je však obtížné rozhodnout, zda je zařadit mezi prvoky nebo spíše mezi řasy. Jako základní dělitko mezi živočišnými a rostlinnými organismy se zde bere přítomnost plastidů a schopnost autotrofní výživy. Za rostlinné bičíkovce jsou považovány autotrofni, popř. mixotrofni druhý, ale také ti heterotrofni zástupci, kteří ztratili plastidy poměrně nedávno a lze je tedy bezprostředně odvodit od určitých autotrofních předků. Například nezeleného bičíkovce rodu *Astasia* lze velmi snadno odvodit pouhou ztrátou plastidů od autotrofního rodu *Euglena*. Vzhledem k určitém nejasnostem v definici rostlinného a živočišného organisma bývají zelení autotrofni bičíkovci často zařazeni jak do botanického systému, tak i do systému živočišného mezi prvoky. Podobné nejasnosti v systematici lze nalézt i u některých hub, které bývají někdy zařazovány mezi prvoky (hlenuky, *Myxomycota*, pahlenky, *Labyrinthomycota*) nebo mezi řasy (fasovky, *Oomycota*), což podporuje myšlenku o spojení všech jednobuněčných eukaryot do společné říše *Protista*.

Stavba buňky a fyziologie prvoků

Buňka prvoků je typickou eukaryotní buňkou. Vzhledem k tomu, že žije samostatně a je nucena vykonávat sama všechny životní funkce organismu, je její stavba oproti buňkám mnohobuněčných živočichů komplikovanější. Rovněž obvykle dosahuje větších rozměrů než běžná živočišná buňka. Obzvláště to platí o nálevnicích (*Infusoria*), kteří dosáhli nejsložitější organizace mezi všemi jednobuněčnými organismy.

Povrchové struktury

Povrch buňky prvoků je jako povrch každé buňky kryt cytoplasmatickou membránou. U některých kořenonožců, jako je například měňavka velká (*Amoeba proteus*), se vytváří jen minimum dalších povrchových zpevnovacích struktur. Tito prvoci se vyznačují dobrě vyvinutou schopností amoeboidního pohybu a fagocytózy na kterémkoli místě těla. U většiny prvoků se však vzhledem ke zvýšeným požadavkům na ochranu poměrně velké a samostatně existující buňky vytvářejí různé dosti výrazné povrchové zpevnovací struktury. Jejich nejjednodušším a běžně rozšířeným typem je pelikula. Pelikulu tvoří hustě zvrásněná povrchová cytoplasmatická membrána, do jejíž záhybů proniká cytoplasma s vláknem cytoskeletálního systému. Tato struktura omezuje plasticitu povrchu buňky, takže prvek obvykle ztrácí schopnost amoeboidního pohybu a také možnost fagocytózy je značně omezena, což většina druhů řeší vznikem různě složitého aparátu buněčných úst. Ve skupině krytenek (*Testacea*) lze sledovat různé stupně vývoje schránky. Sítovka (*Arcella*) vytváří průsvitnou štítkovitou schránku z organické chitinózní hmoty. Rozlitka (*Diffugia*) do této organické schránky (kulovité, oválné nebo hruškovité) zabudovává různé anorganické úlomky, které sbírá panožkami ve svém okolí a před vestavením do schránky shromažďuje v cytoplazmě. Konečně křeménka (*Luglyphfa*) do své organické schránky vestavuje destičky z oxidu křemičitého, které si v cytoplazmě sama vytváří. Masivními a tvarově velmi rozmanitými schránkami se vyznačují morští bentičtí kořenonožci dírkovci (*Foraminifera*). Základem jejich schránky je opět organická hmota, která je však inkrustována uhličitanem vápenatým. Vedle vápenatých schránek se ale u dírkovců vzácně objevují i schránky křemičité. Asi nejkrásnější schránky se vyskytují u planktonních mořských kořenonožců mřížovců (*Radiolaria*). Jsou

tvořeny většinou jehlicemi z oxidu křemičitého, uspořádanými často do složitých mřížek. Mořští kořenonožci strontnatci (*Acantharea*) mají kostru tvořenou síranem strontnatým.

Pohyb

Dvěma základními způsoby pohybu prvoků jsou amoeboidní pohyb a polyporistický pohyb bičíků či řasinek. Krom toho se např. parazitické hromadinky (*Gregarinida*) mohou pohybovat tzv. klouzavým pohybem, kdy nelze navenek pozorovat žádné pohybové organely. Především u parazitických prvoků se objevují i nepohyblivé formy. Amoeboidní pohyb je typický hlavně pro kmennou skupinu *Sarcostomiphora*, konkrétně pro kořenonožce (*Rhizopoda*), i když se vyskytuje i u některých bičíkovců. Organelami tohoto pohybu jsou panožky čili pseudopodia, která se vytvářejí na kterýchkoliv nebo jen na určitých místech buňky a buněčný obsah se jejich prostřednictvím jakoby přelévá z místa na místo. Pomoci bičíku se pohybují především zástupci bičíkovců (*Flagellata*), ale i vývojová stadia (gamety) některých kořenonožců nebo jiných prvoků. Bičíkovci mívají obvykle jeden nebo několik malo bičíků, které vyrůstají na předním pólů bunky a při pohybu vlečou tělo za sebou. Záběrová plocha bičíku je u některých bičíkovců (např. *Trypanosoma*, *Trichomonas*) zvětšená undulující membránou, což je záhyb cytoplasmatické membrány, napnutý mezi bičíkem a tělem prvoka. Mezi bičíky a řasinkami není zásadní rozdíl. Řasinky (ciliie) jsou kratší než bičíky a buňka jich mívá velké množství. Evolučně jsou odvozenější. Pod povrchem pelikuly jsou bazální tělíska řasinek pospojována soustavou vláken, tvořících tzv. neuromotorický aparát, zajišťující jejich koordinovanou činnost. Řasinky jsou typické především pro nálevníky (*Infusoria*), ale vyskytují se také u mladších vývojových stadií rournatků (*Suctoria*) a u opalinek (*Protociliata*).

Jaderný aparát

Jádra buněk zelených bičíkovců jsou obvykle haploidní. Jediné diploidní stadium v jejich životním cyklu je zygota, jejíž první dělení je redukční. Haploidní jsou také jádra buněk výtrusovců. Zástupci vývojově odvozenějších skupin prvoků mívají jádra diploidní. Mnoho prvoků se vyznačuje poměrně velkými rozměry buňky, což však klade zvýšené nároky na jaderný aparát. Proto je u prvoků nápadná snaha o zmnožení genetické výbavy. Jejím výsledkem může být mnohjadernost nebo polyploidie. Mnohjadernost, kdy zmnožená jádra jsou geneticky identická, se vyskytuje u nejrůznějších zástupců prakticky všech skupin prvoků (měňavka bahenní, *Pelomyxa palustris*, opalinky, *Protociliata* aj.). Pro nálevníky (*Infusoria*) a rounatky (*Suctoriae*) je charakteristická existence dvou morfologicky i funkčně rozdílných typů jader, makronuklea a mikronuklea, v jediné buňce (jaderný dimorfismus). Makronukleus obsahuje některé geny mnohanásobně zmnožené, jiné v něm však úplně chybí. Probíhá v něm intenzivní transkripcce, takže je ho možno označit za řídící centrum buňky. Není však schopen mitotického dělení, kdy by docházelo k přesnému rozdělení genetické informace mezi dceřinná jádra. Dělí se viceméně přímo, amitoticky, což však znamená, že po určitém počtu buněčných dělení degeneruje. Potom zaniká a je nahrazen novým makronukleem, vzniklým rozdělením druhého jádra, mikronuklea (v typickém případě k tomu dochází při pohlavním rozmnožování, konjugaci). Funkci mikronuklea, který je diploidní a za běžných podmínek metabolicky prakticky neaktivní, je tedy zachovávat genetickou informaci, při buněčném dělení předávat její identické kopie dceřinným buňkám a v případě opotřebování makronuklea dát vznik makronukleu novému.

Potrava

Potrava
Heterotrofní prvci mohou získávat potravu v podstatě dvojím způsobem, osmotrofně a fagotrofně. Osmotrofní výživa nevyžaduje žádné speciální morfologické struktury a může se ji účastnit celý povrch těla. Objevuje se u mnohých volně žijících bičíkovců (např. *Euglena*, *Staselia*, *Monas*), ale zvláště typická je pro komensály a parazity v tělech živočichů (např. opalkinky, *Protociliata* nebo výtrusovci, *Sporozoa*). Fagotrofní výživa znamená příjem potravy procesem fagocytózy. V typické podobě se fagocytóza objevuje u kořenonožců

(*Rhizopoda*), kde k ní může docházet na kterémkoliv místě těla (nekryje-li ho schránka), neboť tomu obvykle nebrání tuhá pelikula. Tam, kde je pelikula vytvořena, tedy u bičíkovců (*Flagellata*) a u nálevníků (*Ciliata*) se musejí vyvinout na určitém místě těla buněčná ústa, místo, kde je pelikula ztenčelá a kde tudíž fagocytóza může probíhat. Zvláště u nálevníků má ústní aparát velmi složitou stavbu a kromě vlastních úst ho tvoří ještě buněčný jicen a hltan a přípravné pole s brvami a membranellami (útvary, vzniklé splaynutím sousedních buněk), specializovanými k přivádění proudu vody s potravou k ústnímu aparátu. Obdobně jako vznikají u prvoků s pelikulou buněčná ústa, vytváří se na jiném místě jejich těla také buněčná říť, která slouží k vyvrhování nestrávených zbytků potravy. Jako potrava slouží fagotrofně se živícím prvokům různé bakterie, řasy a zbytky rozkládajících se těl různých organismů, u parazitů např. červené krvinky nebo části různých tkání. Některí prvoci jsou draví a požírají jiné prvoky. Například vpíjenka (*Didinium nasutum*) loví trepky, které zabije zvláštním tyčinkovitým útvarem, vymříštěným z buněčného hltanu, a pak jejich obsah postupně vysává. Zajímavými dravými prvoky jsou rournatky (*Suctorria*), které v dospělosti ztrácejí obrovské a žízlivé přisedle. Z jejich těla ční zvláštní, často rozvětvené lepivé rourky, které mají na konci otvor. Dotkně-li se těchto tyčinek volně plovoucí prvok, je zachycen a rournatka ho postupně vysává.

Osmoregulation

Sladkovodní prvci obývají hypotonické prostředí, tedy prostředí s nižší koncentrací osmoticky aktivních látek, než je v jejich cytoplasmě. Na rozdíl např. od kokálních řas nemají vytvořenou mohutnou buněčnou stěnu, která by vyrovňala rozdíl osmotických tlaků na obou stranách cytoplasmatické membrány, a proto buňka z prostředí neustále nasavá vodu, kterou musí nějakým způsobem odstraňovat. Za tímto účelem má vytvořeny tzv. pulsující vakuoly. Obzvláště složitě jsou tyto organely vyvinuty u nálevníků, kde je tvoří centrální měchýřek, spojený s povrchem buňky kanálkem, a několik paprscíte uspořádaných přívodních kanálků. Mořským a parazitickým druhům prvoků, kteří obývají viceméně izotonické prostředí, pulsující vakuoly chybí.

Endosymbionti

V buňce mnohých druhů prvoků je možno nalézt různé jiné prokaryotické i eukaryotické organismy, které se svým hostitelem žijí ve vzájemně prospěšném vztahu, který lze označit jako endosymbiosis. Proces, jakým pravděpodobně endosymbiosis vznikla, můžeme dnes sledovat u některých měňavek, které se živí bakteriemi. Někdy se stává, že provok pozřenou bakterii nestráví a ta pak uvnitř jeho buňky přežívá. Odsud se pak během evoluce mohla odvinout situace, kterou dnes můžeme vidět například u měňavky bahenní (*Pelomyxa palustris*). U této až 5 mm velké mnohojaderné měňavky nejsou vytvořeny mitochondrie a jejich funkci zastupují endosymbiotické bakterie, které prvok ve své buňce využívá. Tento vztah je již tak úzký, že měňavka není schopna bez svých endosymbiontů existovat. V případě nedostatku potravy však prvok může část těchto bakterií strávit. Jiný případem endosymbiosy je soužití některých prvoků, například mrskavek zelených (*Stentor viridis*), se zelenými řasami zvanými zoochlorelly (nejčastěji rodu *Chlorella*). Tyto řasy díky své schopnosti fotosyntézy zásobují svého hostitele organickými látkami. Vedle zelených řas se u některých prvoků do podobné symbiosy mohou zapojit také hnědé řasy nebo sinice.

Rozmnožování

Prvoci se mohou rozmnожovat nepohlavně nebo pohlavně, přičemž však u některých druhů (někteří bičíkovci, měňavky aj.) byl zatím popsán jen nepohlavní způsob. Nepohlavnímu rozmnожování předchází rozdělení jádra, které je snad s jedinou vyjímkou (makronukleus nálevníku a rournatek) vždy neprímé, mitotické. Avšak na rozdíl od buněk mnohobuněčných živočichů a rostlin, při jaderném prvotním většinou nedochází k zániku jaderné membrány, takže nelze pozorovat chromozomy nebo dělici vrtečenko. Vlastní rozdělení buňky, tedy cytokineze, může probíhat buďto jako binární dělení (rozdělení ve dvě dceřiné buňky)

nebo jako polytomie (rozpad ve velké množství dceřiných buněk). Polytomie se objevuje například při dělení některých stadií životního cyklu výtrusovců (*Sporozoa*) nebo dírkovec (*Foraminifera*). Binární dělení může být podélné (bičíkovci) nebo přičné (nálevníci). Pohlavní rozmnožování probíhá nejčastěji jako kopulace dvou haploidních buněk (gamet) za vzniku diploidní zygoty. V této podobě se vyskytuje u většiny prvků. Zejména vlastním typem pohlavního procesu je tzv. konjugace nálevníků (*Infusoria*) a rourmetek (*Suctoria*). Konjugující jedinci navzájem nesplývají, pouze si vyměňují jedno ze dvou jader, vzniklých meiotickým rozdělením mikronukleá. V buňce každého konjuganta pak obě haploidní jádra, vlastní a partnerovo, splývají v diploidní synkaryon. Vedle kombinace genetické informace konjugujících jedinců je význam tohoto procesu v tom, že při něm dochází k zániku starého makronuklea (který opakovaným amitotickým dělením degeneruje) a k vzniku nového makronuklea rozdělením synkaryonu.

Tvorba kolonii

Tvorba kolonii je mezi prvky běžně rozšířeným jevem. Pro buněčné kolonie na rozdíl od mnohobuněčných organismů obecně platí, že každá buňka je schopna žít sama o sobě, i mimo kolonii (tato hranice ale není zcela ostrá). U nálevníků ze skupiny kruhovrvých (*Peritrichia*) jsou běžné přisedlé, keřičkovité rozvětvené kolonie, v nichž jsou prvci spojeni společnými stopkami, kterými může probíhat kontraktilní vlátko, takže se celá kolonie může při podráždění stahovat (pakeřenka, *Zoothamnium*, keřenka, *Carchesium*). Mezi bičíkovci vytváří keřičkovité rozvětvené kolonie rod *Dinobryon*, patřící mezi zlativky. Mnozí zelení bičíkovci tvorí pravidelně uspořádané kulovité kolonie (např. *Symura*, *Eudorina*, *Volvox*). Nejsložitější jsou kolonie rodu váleč (*Volvox*), kde existuje i výrazná diferenciace jednotlivých buněk (například k rozmnожování).

Tvorba cyst

Nepříznivé podmínky mohou prvci přežívat v podobě cyst. Buňka zmenší svůj objem snížením obsahu vody v cytoplasmě, zatahne bičíky, brvy a panožky a vytvoří kolem sebe pevný obal. Intenzita metabolismu encystované buňky se sníží na minimum. V podobě cyst mohou prvci přežívat vyschnutí, zimní období nebo období nedostatku potravy. Parazitické druhy jsou často přenášeny v podobě cyst z jednoho hostitele do druhého. Jako cysty mohou být prvci šířeni vzdušnými proudy na velké vzdálenosti, což má vliv na kosmopolitní rozšíření většiny druhů. U bičíkovců tvorba cyst často doprovází pohlavní rozmnožování. Některé druhy, např. krásnoočko (*Euglena*), se uvnitř cyst dělí.

Ekologie prvků

Prvoci jsou prakticky všudypřítomni. Vyskytuje se ve sladkých vodách i v mořích, v půdě i v tělech jiných organismů. Vždy jsou však vázání na vodní nebo alespoň vlhké prostředí. V suchém prostředí mohou přežívat jen ve formě cyst.

Volně žijící prvoci

Do této skupiny patří druhy, které lze nalézt v mořích, v řekách i ve sladkovodních nádržích, kde se mohou volně vznášet ve vodním sloupci (planktonní druhy), nebo žijí při dně (bentické druhy), na povrchu vodních rostlin nebo jiných ponořených předmětů či na povrchové blance vody (neuston). Dále se sem dají zařadit prvoci, obývající nejrůznější vlhká a prostředí, jako je půda, mech, vlhký povrch kamenů a kmene stromů nebo třeba sníh a ledovce. Blíže se tu budeme zabývat pouze některými z nich.

Planktonní prvoci

Planktonní druhy prvků se volně vznášejí ve vodním sloupci, přičemž buďto pouze využívají své nízké specifické váhy (dýrkovci, mřížovci), nebo se mohou ve vodě pohybovat i aktivně pomocí řasinek či bičíků (nálevníci, bičíkovci). Mřížovci (*Radiolaria*), kterým řasinky i bičíky chybí, takže se ve vodě mohou vznášet pouze pasivně, jsou typičtí nejrůznějšími, často

velmi bizarními výběžky svých schránek, jejichž funkci je snižovat specifickou váhu těla prvoka. Totéž platí i pro nemnoho planktonních zástupců dírkovců, jako je např. rod *Globigerina*. Zajímavou adaptaci pro vzplývání ve vodním sloupci se vyznačují kořenonožci strontnatci (*Acantharea*). Z jejich buňky symetricky ční dlouhé jehlice (tvořené siranem strontnatým), na jejichž konec se upínají vlákna cytoskeletálního systému. Při stážení těchto vláken se mezi jehlicemi napne závoj cytoplasmy, čímž se opět sníží specifická váha těla a prvok se tak může dostat do vyšších vrstev vody. U aktivně se pohybujících bičíkovců a nálevníků se projevuje negativní geotaxie. Tito prvoci se orientují v gravitačním poli a pohybují se proti směru působení gravitační síly, tedy opět do horních vrstev vody.

Prvoci žijící na dně a na ponořených předmětech

Mezi prvky, kteří volně lezou po dně vodních nádrží nebo po povrchu ponořených předmětů, patří měňavky (*Amoebina*), krytenky (*Testacea*), dírkovci (*Foraminifera*) a některí nálevníci jako například slávinka (*Oxytricha*). Měňavky, krytenky a dírkovci se po podkladu pohybují pomocí panožek. Pohybovými organelami slávinky jsou cirry, útvary vzniklé splynutím několika brv na břišní straně prvka. Krytenky a zvláště pak dírkovci jsou opatřeni mohutnými schránkami, jejichž funkcí je mimo jiné zvyšovat hmotnost prvka a udržovat ho tak při dně a chránit jeho tělo před mechanickým poškozením, které při bentickém způsobu života hrozí mnohem více než u planktonických druhů. Mnoho druhů prvoků k podkladu dočasně nebo i víceméně trvale přisedá. K dočasně přisedajícím prvokům patří například různobrý nálevník mrskavka (*Stentor*), která ještě tráví podstatnou část svého života planktonicky. Naproti tomu dlouhodobě přisedle žijí kruhobrví nálevníci vířenka (*Vorticella*), keřenka (*Archesium*), pakeřenka (*Zoothamnium*) a plisenka (*Epistylis*). Tito prvoci přisedají k podkladu pomocí stopky, přičemž keřenky, pakeřenky a plisenky vytvázejí keříkovité rozvětvené kolonie. I tyto druhy však někdy podklad opouštějí a pohybují se planktonicky. Dochází k tomu například při zhoršení životních podmínek, kdy prvoci opouštějí kolonii, aby vyhledají vhodnější místo, nebo při pohlavním rozmnožování konjugací. Kromě doposud jmenovaných nálevníků žijí přisedle také rournatky (*Suctoria*), některé slunivky (*Heliozoa*) a některé bičíkovci.

Prvoci žijící v těle jiných organismů

Velké množství různých prvků lze nalézt v tělech mnohobuněčných živočichů. Tito prvoci se mohou objevovat na povrchu těla hostitele, v jeho trávici trubici, v odvodných cestách močových i pohlavních, v krvi, lymfě a coelomové tekutině, v mezibuněčné hmotě nejrůznějších tkání i uvnitř buněk. Podle vztahu s jejich hostitelem lze tyto prvky rozdělit zhruba do tří skupin. Komenzálové využívají svého hostitele aniž by mu tam nějak prospívali nebo naopak škodili. Symbionti svému hostiteli přinášejí určitý prospěch, jejich vztah je tedy oboustranně výhodný. Naproti tomu paraziti svému hostiteli více či méně škodi. Mezi těmito skupinami však nelze vést ostrou hranici a mnohdy je těžké rozhodnout, do které skupiny ten či onen prvek patří.

Symbionti

Asi nejlepším příkladem symbiotických prvků jsou bičíkovci ze skupiny brvitek (*Hypermastigina*), kteří žijí v trávici trubici některých zástupců hmyzu, především termítů. Termiti se živí rostlinnou potravou jejíž hlavní složkou je celulóza. Jako převážná většina mnohobuněčných živočichů však nemají enzym, který by jim dovoloval celulózu štěpit. A právě to jim umožňují symbiotičtí bičíkovci. Tento vztah je tak těsný, že termít zbavený svých bičíkovců hyne. Méně těsný vztah symbiosy bychom našli u všech přezvýkavců, kteří shromažďují potravu před dalším mechanickým zpracováním v bachoru. Zde se vyskytuje bohatá mikroflóra bakterii a také velké množství prvků, především nálevníků ze skupiny bachořů (*Entodinomorpha*). Význam bachořů pro jejich hostitele však zatím není zcela jasny. Nejspíš pomáhají trávení celulózy hlavně tím, že mechanicky rozrušují částečky potravy.

Krom toho jsou schopni syntetizovat některé nezbytné aminokyseliny. Každopádně však zásadní význam pro trávení potravy v bachoru přežívají kavců mají bakterie.

Paraziti

Parazitští prvoci si pro svůj způsob života vyvinuli nejrůznější adaptace. Přitom obvykle nejméně pozměnění zůstávají ektoparaziti. Třeba kruhobrví nálevníci brousilky (*Trichodina*) žijící na povrchu těl např. ryb (*T. domerguei*) nebo nezmarů (*T. pediculus*) mají zcela zachované pohybové organely (brvny), buněčná ústa, mitochondrie i pulsující vakuoly, stejně jako je tomu u volně žijících druhů. Vytváří se však u nich také speciální přichycovací aparát, kterým se přidržují na těle hostitele. U jiných ektoparazitů, např. u celobrvého nálevníka kožovce rybího (*Ichthyophthirus multifiliis*), vytvářejíco na kůži ryb bílé vločky, známé jako "krupička", zanikají buněčná ústa a potrava je přijímána osmotrofně.

U endoparazitů šly různé adaptace mnohem dál. Prakticky vždy u nich zanikají pulsující vakuoly, neboť prostředí uvnitř těla hostitele je pro ně přibližně izotonické, takže osmoregulující organely ztrácejí význam. Zánik buněčných úst a osmotrofní výživa je u endoparazitů běžným jevem. Obzvláště pozměnění bývají vnitrobuněční paraziti, jako třeba kokcidie (*Coccidia*), u kterých dochází i ke ztrátě pohybových organel. Pro mnoho druhů endoparazitických pravoků je typický anaerobní metabolismus. Důvod může být v zásadě dvojí. Střevní paraziti, např. měňavka úplavice (*Entamoeba histolytica*), obývají prostředí prakticky zcela bez kyslíku, takže jinak než anaerobní glykolýzou energii získávat nemohou. Je u nich častá úplná ztráta mitochondrií. Jinou skupinou anaerobně se živících pravoků jsou některí paraziti, žijící v krvi, např. trypanozoma spavičná (*Trypanosoma gambiense*). V krvi je sice kyslíku dostatek, ale pravok zde má zároveň k dispozici takové množství živin, že mu postačuje zpracovávat je pouze glykolýzou (příslušné enzymy nemá volně rozpuštěné v cytoplasmě, jako je tomu u jiných buněk, neboť jsou soustředěny do zvláštních váčků, glykozómů). Anaerobně se však trypanozoma žíví pouze v krvi teplokrevních obratlovčí. V těle hmyzu, který ji přenáší, přechází na výživu aerobní. Proto také u trypanozom nedochází k zániku mitochondrií.

Zásadním problémem, který musí parazitští prvoci řešit, je přenos z jednoho hostitele do druhého. Může k němu docházet přímým kontaktem nebo prostřednictvím vodního prostředí (u ektoparazitů), výkaly znečištěnou vodou a potravou (*Entamoeba histolytica*, *Giardia intestinalis*) nebo pozřením nakaženého mezihostitele (kokcidie *Toxoplasma gondii* takto přechází z hlodavce na šelmou), dále prostřednictvím krev sajícího hmyzu (*Trypanosoma*, *Leishmania*) nebo pohlavním stykem (*Trichomonas vaginalis*). Mnoha druhů pravoků se z jednoho hostitele na druhého šíří v podobě cyst nebo spor, značně odolných vůči nepříznivým vlivům vnějšího prostředí (*Entamoeba histolytica*, kokcidie). Některí parazitští prvoci mají složité životní cykly, během nichž dochází i k pravidelnému střídání různých hostitelů (*Plasmodium malariae*, *Leishmania donovani*, *Toxoplasma gondii*). Paraziti obecně, ale zvláště pak druhy se složitými životními cykly, se vyznačují často jen malou úspěšností při přenosu z jednoho hostitele do druhého, což bývá vyvažováno velkou rozmnožovací schopnosti, tvorbou ohromného množství spor apod..

Onemocnění, způsobovaných pravoků, je známo velké množství, my se zde zmíníme jen o nejvýznamnějších z těch, která postihují člověka.

Měňavková úplavice (amoebová dyzenterie) - Původcem tohoto onemocnění je nejčastěji měňavka úplavice (*Entamoeba histolytica*). Žije v tlustém střevě, může pronikat i do střevní stěny případně dále do těla a způsobovat tak vředová onemocnění, provázená průjmy a bolestmi břicha. Měňavky vytvářejí cysty, které odcházejí z těla se stolicí a šíří se pak znečištěnou vodou a potravinami. Měňavková úplavice je rozšířena v teplých oblastech celého světa a místy je velice hojná. Její léčba je dnes již rychlá a úspěšná.

Spavá nemoc - Toto onemocnění je rozšířené v tropické Africe. Jejím původcem je bičíkovec trypanozoma spavičná (*Trypanosoma gambiense*), která žije v krvi člověka. Nemoc se projevuje bolestmi, horečkami a stupňující se ospalostí. Ve vrcholné fázi nemocný většinu času prospí a není-li léčen, umírá. Přenašečem trypanosomy je bodalka tse-tse (*Glossina palpalis*).

Leishmanióza - Jejím původcem je bičíkovec ničivka útrobní (*Leishmania donovani*), který napadá bílé krvinky v nejrůznějších tkáních. Onemocnění se projevuje horečkami, smrtelné. Přenašeči jsou komáři rodu *Phlebotomus*, onemocnění je rozšířeno v teplých oblastech Starého světa. Přibuzným druhem je ničivka kožní (*Leishmania tropica*), přenášená rovněž komáři rodu *Phlebotomus*. Způsobuje hnědavé vředy na kůži, po jejichž vyléčení zůstávají trvalé jizvy.

Vaginální trichomoniáza - Původcem je bičíkovec bičenka poševní (*Trichomonas vaginalis*), cizopasící v pochvě žen. Nemoc se přenáší pohlavním stykem.

Malárie - Původcem tohoto onemocnění, široce rozšířeného v tropech a subtropech celého světa jsou výtrusovci z rodu zimnička (*Plasmodium*). Nákaza se vyskytuje převážně ve vlhkých a bažinatých oblastech, neboť právě zde jsou vhodná lihniště pro její přenašeče, komáry rodu *Anopheles*. V těle člověka se parazit vyvije zprvu v endotelových buňkách cév, zvláště v játrech, později napadá červené krvinky. V lidském těle dochází pouze k nepohlavnímu rozmnožování schizogomii, tj. rozpadem ve větší množství dceřinných jedinců, což je provázeno prasknutím napadené krvinky a uvolněním některých jedovatých látek do krve. Noví dceřini jedinci pak napadají další červené krvinky. Rozpad krvinek je provázen vysokými horečkami a typickými záhvaty zimnice. Tyto záhvaty se opakují v pravidelných intervalech, podle druhu malárie každé čtyři dny (malárie čtvrtodenní, původcem je *Plasmodium malariae*), každé tři dny (malárie třetidenní, *Plasmodium vivax*), nebo denně (malárie tropická, *Plasmodium falciparum*). K pohlavnímu rozmnožování plasmodia může dojít jedině v těle komára, který nemoc přenáší. V něm nakonec vznikají oozoity, kteří se usazují ve slinivých žlázách a při sání se odsud dostávají opět do lidské krve. Malárie patřila v tropech k nejobávanějším smrtelným nákazám. Ještě v první polovině našeho století byl způsobem boje s nemocí bylo hubení jejich přenašečů - komářů. Dnes již lze malárii léčit rychle a úspěšně, přesto však zůstává nákazou běžnou a široce rozšířenou.

Systém prvaků

Názory některých autorů na soustavu prvaků se mnohdy značně různí a tak systém ještě zdaleka není ustálen. Zde uvádíme takový systém, který neobsahuje příliš mnoho novějších změn a umožňuje tak čtenáři snadno se orientovat v běžně dostupné české literatuře. Uvádime zde zařazení těch druhů prvaků, o nichž byla zmínka v předchozím textu.

PODRÍŠE : PRVOCI - Protozoa

kmen: praprvoci - Sarcomastigophora - Pohybovými organelami bičík, panožky nebo oboji.

podkmen: bičíkovci - Mastigophora, Flagellata - Pohybovými organelami bičíky. Bývají sem řazeni i zelení autotrofni bičíkovci (*Phytomastigophora*, *Phytophagellata*), např. *Euglena* (a z ní odvozená *Astasia*), *Dinobryon*, *Synura*, *Eudorina*, *Volvox*. Z heterotrofních bičíkovců zde byli uvedeni zástupci téhoto řádu:

-bičívky - *Kinetoplastida*, např. *Trypanosoma*, *Leishmania*

-lamblie - *Diplomonadida*, např. *Giardia*

-bičenky - *Trichomonadina*, např. *Trichomonas*

-brvítky - *Hypermastigida*

podkmen: opalinky - *Opalinata*, *Protociliata* - Pohybovými organelami velké množství zkrácených bičíků, v podstatě již brv. Komenzálové a paraziti.

podkmen: kořenonožci - *Sarcodina*, *Rhizopoda* - Pohybovými organelami panožky, bičíky mohou být u gamet. Uvedeni byli zástupci téhoto řádu:

-měňavky - *Amoebina*, např. *Amoeba*, *Pelomyxa*, *Entamoeba*

-krytenky - *Testacea*, např. *Difflugia*, *Arcella*, *Euglypha*

-slunivky - *Heliozoa*

-dirkovci - *Foraminifera*, např. *Globigerina*

-mřížovci - *Radiolaria*

-stronatnaci - *Acantharea*

kmen: výtrusovci - *Apicomplexa*, *Sporozoa* - Výhradně paraziti. Uvedeni byli zástupci tří skupin:

-hromadimky - *Gregarinida*

-kokcidie - *Coccidia*, např. *Toxoplasma*

-krvinkovky - *Haemosporidia*, např. *Plasmodium*

kmen: hmyzomorky - *Microspora* - Vnitrobuněční paraziti. Do buněk pronikají pomocí vystřelovacího dutého vlákna. Spory jednobuněčné.

kmen: výtrusenky - *Myxozoa* - Paraziti, nikoli však vnitrobuněčni. Vystřelovací aparát. Spory mnohobuněčného původu.

kmen: obrvenky - *Ciliata* - Pohybovými organelami brvy. Jaderný dimorfismus, konjugace. Dvě skupiny:

-rournatky - *Suctoria* - Bry pouze u nejmladších stadií, v dospělosti mizí. Žije přisedle, potravu loví pomocí speciálních rourek. Nepohlavní rozmnožování pučením.

-nálevníci - *Infusoria* - Brvy v různém rozsahu zachované po celý život. Nepohlavní rozmnožování podélným dělením. Uvedeni jsou zástupci téhoto řádu:

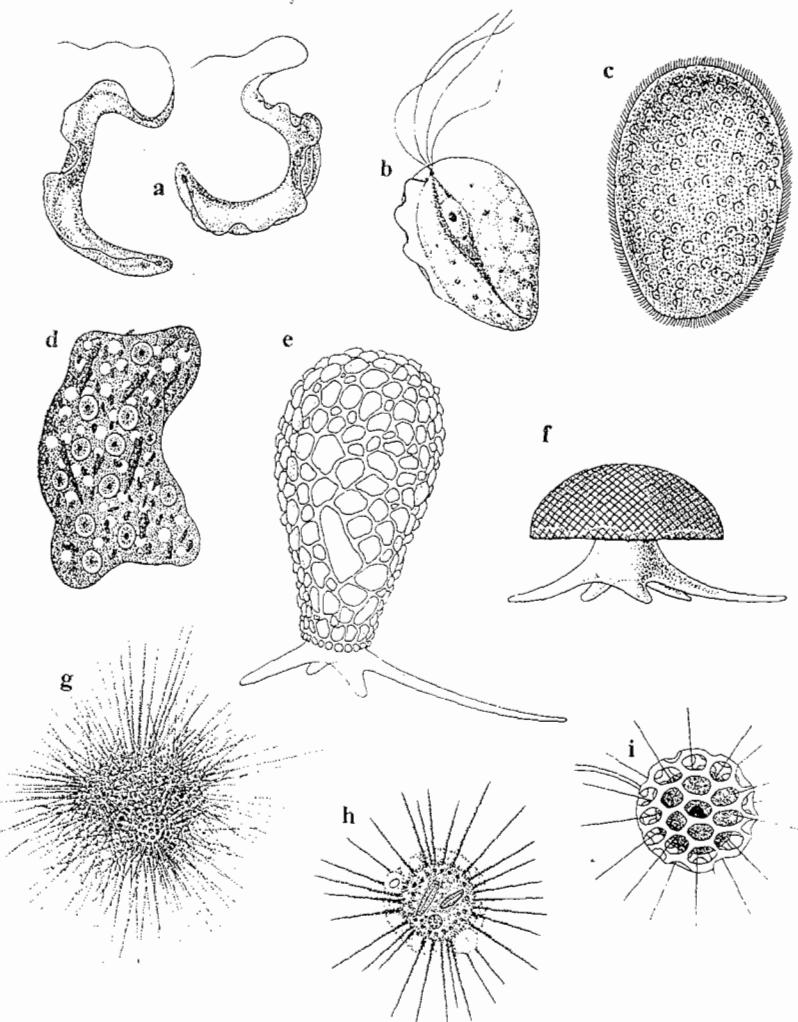
-stejnobrvi - *Holotricha*, např. *Paramecium*, *Didinium*, *Balantidium*

-pásmobrvi - *Heterotricha*, např. *Stentor*

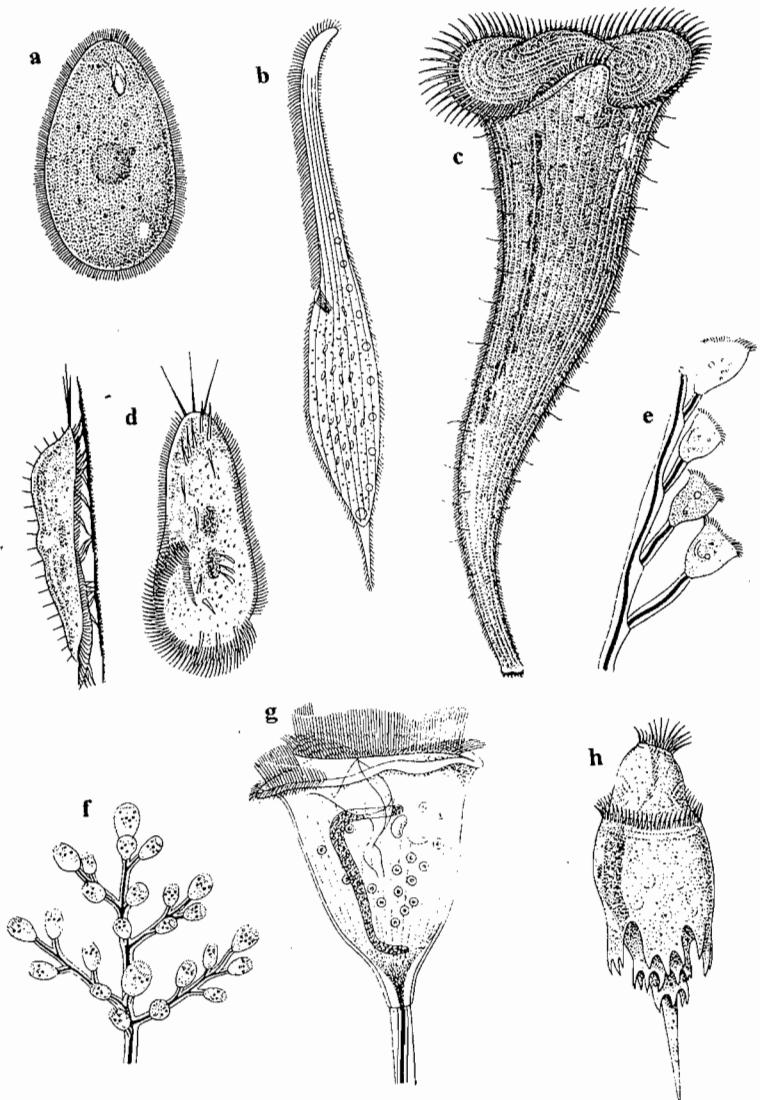
-spodobrvi - *Hypotricha*, např. *Oxytricha*

-kruhobrvi - *Peritricha*, např. *Vorticella*, *Carchesium*, *Zoothamnium*, *Epistylis*

-bachořci - *Entodinomorpha*



Obr. 11. Živočišní bičíkovci (Zooflagellata): a) trypanozoma spavičná (*Trypanosoma gambiense*), b) bičenka poševní (*Trichomonas vaginalis*), c) opalinka žabi (*Opalina ranarum*), d) měňavka bahenní (*Pelomyxa* (*Amoebina*)), e) rozlítka hrušková (*Difflugia oblonga*), f) štírovka obecná (*Arcella vulgaris*), g) dirkonožec (*Globigerina bulloides*), h) slunivka obecná (*Actinosphaerium eichhornii*), i) slunivka ozdobná (*Clathrulina elegans*). (Lang, 1971)



Obr. 12. Nálevníci stejnobrvi (*Holotrichia*): a) vejcovka obecná (*Glaucina scintillans*), b) chobotenka husí (*Dileptus anser*), nálevníci pásmobrvi (*Heterotrichia*); c) mrškavka modří (*Stentor coeruleus*), d) slávinka obecná (*Stylochria mytilus*) - pohled zespodu a z boku (lezoucí), nálevníci kruhobrvi (*Peritrichia*); e) keřenka (*Carchesium sp.*), f) pakeřenka (*Zoothamnium arbuscula*), g) vřenka (*Vorticella nebulifera*), bachořci (*Entodinomorpha*); h) bachořec (*Ophryoscolex caudatum*). (Lang, 1971)

III.6. Mikroskopické rostliny a živočichové

V rámci této kapitoly se přidržíme probírání mikroskopických organismů podle systematických skupin, i když toto rozdělení v podstatě není přirozené a neodpovídá reálné situaci. Smyslem této kapitoly je poukázat na skutečnost, že velké množství mikroskopických organismů se vyskytuje i v těch skupinách organismů, které obvykle nejsou zmínovány v mikrobiologických příručkách. Přesto do tohoto textu díky své velikosti a úloze, kterou hraje v ekosystémech logicky patří.

Uvodem se jen krátce zastavíme u rostlinné říše. Kromě bohatství druhů řas, probíraných na jiném místě, obsahují mikroskopické preparáty často ve velkém počtu mikroskopická semena a pylová zrna vyšších rostlin. Jak semena, tak i pyl mohou být tvarově velice zajímavá, přičemž struktury jsou druhově specifické. Proto je možné je využívat pro determinaci příslušných druhů nebo alespoň rodů rostlin. Díky nánosům pylových zrn ve fosilních a subfosilních usazeninách (např. v rašelinách) je možná rekonstrukce vegetačního krytu daného území v minulosti, z níž lze zpětně usuzovat i na klimatické poměry a další ekologické souvislosti. Studium pylových zrn se díky tomuto významu postupně vyvinulo v samostatnou vědní disciplínu, palinologii.

Daleko rozmanitější spektrum mikroskopických forem lze nalézt mezi živočichy. Mnohobuněčné organismy přitom mohou v preparátu, pozorovaném světelným mikroskopem, početně dokonce převážit nad "klasickými" mikroorganismy, jako jsou prvci. Za nejbohatší zdroj tvarově i taxonomicky velice rozmanitých skupin živočichů lze považovat zejména lesní hrabanku a půdu a na druhé straně různé vodní společenstva (např. plankton, bentos atd.). Organismy, obývající půdní i vodní prostředí byli podrobněji rozebráni v brožurkách k předchozím ročníkům Biologické olympiády (ročníky 28. a 29), zde pouze zminíme nejpočetnější nebo jinak zajímavé skupiny.

Z kmene žahavců (*Cnidaria*) je nutno zmínit častý objekt mikroskopického pozorování, kterými jsou různé druhy nezmarů (rod *Hydra*) ze stojatých nebo pomalu tekoucích vod. I když vzrostlé jedince lze pozorovat i volným okem, častěji jsou nezmarů objeveni při pozorování nárostů pod mikroskopem.

Významnou složkou zejména vodních, ale i půdních ekosystémů jsou vřenici (*Rotatoria*). Tito drobní živočichové mohou někdy připomínat některé nálevníky, jejich tělo je však vícebuněčné, s konstantním počtem buněk (eutetie). V preparátech možno obvykle sledovat kolem 1 mm dlouhé samičky, trpasličí samci jsou vzácní a vyvijí se z haploidních vajíček např. při nedostatku potravy, nebo úplně chybí. Pokud jsou známi, objevují se většinou po několika partenogenetických generacích samiček, které se vyvijí z vajíček diploidních. Typickým znakem vřeníků jsou 2 věnce brv kolem úst a čile pracující žvýkadlo (mastax) v přední části trávici trubice. Dalšími určovacími znaky jsou tvar těla, utváření kutikuly, přítomnost a tvar nohy s prsty k přichycení atd.

K nejpočetnějším mikroskopickým mnohobuněčným živočichům patří hlistice (*Nematoda*). Jsou spolu s prvky součástí půdního mikroedafonu, hojně se vyskytují i ve vodách. Tvarově se hlistice vzájemně hodně podobají, vzhledem k tělesné stavbě je jejich determinace velmi složitá. Důležité znaky lze nalézt především v ústní dutině, opatřené kutikulární výstelkou, často tvořící lišty a zuby. Hlistice patří ke skupinám živočichů s velmi širokým spektrem potravní specializace, od predátorů a parazitů až po bakteriofágyni, houbožravé a detritozravé druhy.

Měkkýši ani kroužkovci nepatří mezi mikroskopické organismy, přesto se však v preparátech lze setkat jednak s drobným schránkami některých plžů, jednak s drobnými kroužkovci ze skupiny roupic (*Enchytraeidae*), které v dospělosti dorůstají maximálně do velikosti kolem 10 mm.

Typickými mikroskopickými živočichy jsou želvušky (*Tardigrada*), které nejčastěji objevíme v preparátech z mechových nárošů na skalách a stromech. Kicí typický tvar těla se 4 nečlánkovánými panožkami opatřenými drápkou (mohou být zataženy!). Některé druhy mají kutikulu zdobenou výrůstky a lištami, podle kterých je možná poměrně přesná determinace. Hltan je vyztužen kutikulou a ústní otvor ozařen bodacím zúšlechem k získávání potravy. U želvušek je známá tzv. anabioza, t.j. tvorba klidového stadia, schopného přežítav i extrémní nepřízeň podmínek.

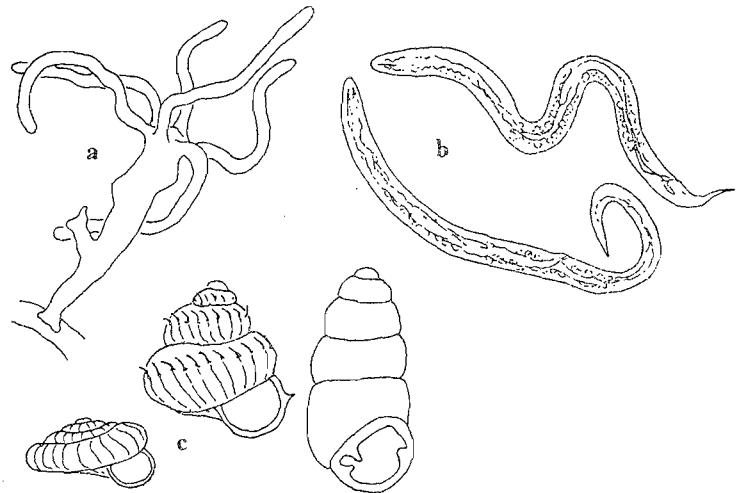
Velké množství mikroskopických a submikroskopických forem je mezi členovci (*Arthropoda*). Z pavoukocvů (*Acarina*) jsou nejpočetnější složkou mikrofauny roztoči (*Acarina*), dosahující většinou rozsahu do 1 mm. Systematika roztočů je komplikovaná a vyžaduje podrobnější studium. Důležitými determinačními znaky je především tvar a rozdělení těla, umístění dýchacích orgánů (stigmat), sklerotizace těla a vytvořené povrchové struktury a konečně tzv. chaetotaxe, t.j. umístění, počet, typ a tvar jednotlivých chlupů nebo jejich skupin. V přírodě lze roztoče nalézt prakticky všude. Mezi významné predátory v půdě a hrabance patří mnozí čmelíkovci (*Gamasida*) a sametkovci (*Actinedida*). V rámci těchto skupin je i celá řada parazitických a foreckých druhů, velmi významných z hygienického hlediska. Bývají zastoupeni často v preparátech z nor drobných savců i hnizd ptáků a pochopitelně v jejich srsti či peří. Známí jsou také mikroskopické alergie vyvolávající roztoči z lidských sídel a početní roztoči žijící ve skladecích potravin, patřící do skupiny *Acarina*. Mezi nejpočetnější půdní živočichy patří sice sklerotizovaná a obvykle tmavě nebo žlutohnědě zbarvení pancířníci (*Oribatida*), žívící se půdní mikroflórou (hlavně houbami) a detritem, kteří mají velký význam v detritových potravních řetězcích zejména jako regulátory rozkladu organické hmoty. Detritofagii a mikrobivori druhů jsou rovněž mezi čmelíkovci (skupina *Uropodina*) a sametkovci (*Actinedida*). Počty roztočů v lesní hrabance se mohou pohybovat až v milionech na metr čtvereční. Další významná skupina sameťkovců osídila vodní prostředí (vodule - *Hydrachnellae*). Jejich tělo je výrazně adaptované na rychlé plavání ve vodě (kalaté tělo, dlouhé nohy s plovacími brvami) a často pestře zbarvené. Z ostatních mikroskopických pavoukocvů se v preparátech z půdy, hrabanku a organického detritu občas objevují drobné druhy pavouků (*Araneida*) a štírci (*Pseudoscorpionida*).

Zatímco pavoukoci až na výjimky osídlijí terestrické ekosystémy, pro koryše je hlavním prostředím voda. K mikroskopickým formám patří především perloočky (*Cladocera*), lasturnatky (*Ostracoda*) a klanonožci (*Copepoda*). Patří většinou k planktonním organismům, které se živí filtrací řas a bakterií, případně organickým detritem. Tvar těla jednotlivých skupin je natolik charakteristický, že je obvykle lze bez problémů zařadit. Blížší determinace však bývá pro lajky obtížná. Důležité určovací znaky jsou kromě tvaru těla především v utváření tykadel, ústních orgánů, noh a zadečku s koncovou vidlicí (furkou). Perloočky mají tělo kromě hlavy kryto dvouchlopňovým karapaxem a pohybují se pomocí rozvětveného druhého páru tykadel. Jsou známé střídáním pohlavních a nepohlavních generací a pohlavním dimorfismem (samci jsou výrazně menší, možou se vyskytovat jen v určitých obdobích sezóny). U některých druhů je typické střídání tvarově odlišných forem v průběhu roku (cyklotomofóza). Lasturnatky poněkud připomínají drobné mlže, protože celé jejich tělo je ukryto v často poměrně tmavé skořápkce. Na rozdíl od ostatních zmíněných skupin často obývají dno nebo lezou po předmětech ponořených ve vodě a v jejich potravě dominuje organický detrit. Klanonožci nemají skořápkou (karapax), pohyb zajišťují mohutně vyvinutá tykadla prvního páru. Mezi klanonožci jsou kromě obecně známých planktonních druhů (buchlinky, vznásivky) i druhy parazitické, jejichž stavba těla je značně poznamenána. Ve srovnání s ostatními mají složitější vývoj se dvěma typy larv. Vzorky z vodních biotopů mohou kromě dospělých koryšů obsahovat i jejich larvalní stadia. Nejčastější jsou tzv. naupliové larvy s nižším počtem článků a končetin a nepárovým naupliovým okem. Přímý vývoj mají ze

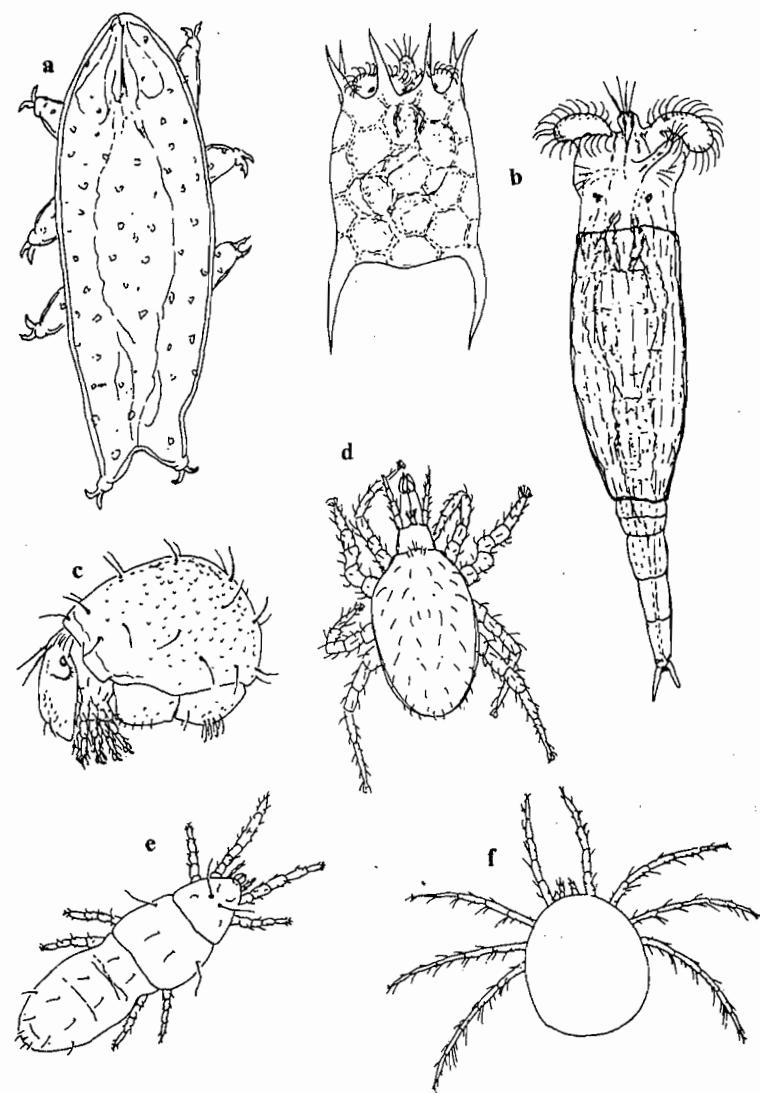
zmíněných skupin jen perloočky.

Z podkmene vzdušnicovců patří k mikroskopickým formám drobnušky (*Pauroopoda*), stonoženky (*Sympyla*) a zástupci hmyzu v širším slova smyslu, zejména hmyzenky (*Protura*), chrostoskoci (*Collembola*), z křídlatého hmyzu pak nejčastěji některé ploštice (*Heteroptera*), trásněnky (*Thysanoptera*), brouci (*Coleoptera*), blanokřídli (*Hymenoptera*) a dveukřídli (*Diptera*). Nejbohatší spektrum druhů najdeme ve svrchní vrstvě půdy a hrabance, případně v mechových či lísejníkových nárošech na skalách a stromech. Mikroskopický hmyz lze najít i ve vodních biotopech. Vzhledem k rozsáhlosti a druhovému bohatství by podrobnější výčet mikroskopického hmyzu přesáhl rámec této příručky, zájemce proto odkazujeme na dostupnou literaturu.

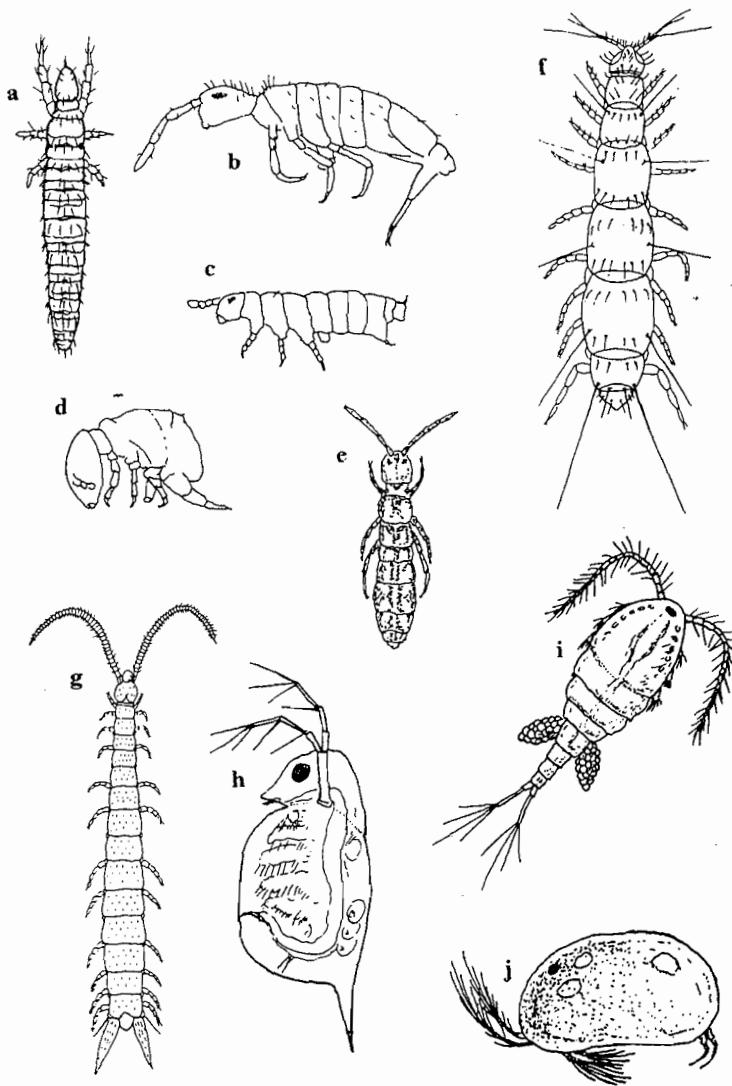
Vcelku bezproblémové je rozpoznaní méně známých řádů myriapodních (mnohonohých) členovců: drobnušky jsou charakteristické 2x rozvětvenými tykadly a obvykle 9 páry noh, stonoženky mají 12 páru noh a typické dva zlustié přívěsky na konci těla se snovací žlázou. Hmyzenky nemají tykadla, jejich funkci zčásti přebírá dopředu namířený, mohutnější 1. pár nohou. Chrostoskoci jsou vedle roztočů pancířníků nejpočetnějšími členovci v půdě a hrabance. Díky charakteristické stavbě těla (skákatí vidlice a tubus, pouze 6 článkový zadeček, typický tvar těla) není složité je rozpoznat. Zatímco drobnušky, stonoženky a hmyzenky většinou patří k typickým půdním (euedafickým) formám s nepigmentovaným tělem, absencí očí a vyvinutými hmatovými chlupy, mezi chrostoskoky najdeme i formy přizpůsobené životu ve svrchní vrstvě hrabanky a půdy (hemiedafické), nebo na povrchu (epiedafické), s výraznou pigmentací, dobré vyvinutými zrakovými orgány a delšími končetinami (výrazná skákatí vidlice). Hlavní složkou potravy zmíněných půdních skupin je organický detrit a půdní mikroflóra (bakterie, houby). Podobně jako pancířníci, podílejí se i tyto skupiny na regulaci rozkladních procesů v půdě a tvorbě humusu.



Obr. 13. Mikroskopické živočichové: polypovci (*Hydrozoa*): a) rod nezmar (*Hydra sp.*), b) hlistice (*Nematoda*), mikroskopickí plži (*Gastropoda*): c) zleva: rody *Punctum*, *Acanthimula* a *Vertigo*.



Obr. 14. Mikroskopickí živočichové: želvišky (*Tardigrada*): a) rod medvidáko (*Macrobiotus*), výřniči (*Rotatoria*): b) zleva rody hrotenka (*Keratella*) a pijaventka (*Philodina*), roztoči (*Acarina*): c) pancířníci (*Oribatida*) - rod *Steganacarus*, d) čmelíkovci (*Gamasida*) - rod *Parasitus*, e) sametkovci (*Actinedida*) - rod *Paratydeus*, f) sametkovci (*Actinedida*) - vodule (*Hydracarina*)



Obr. 15. Mikroskopickí živočichové: hmyzenky (*Protura*): a) rod hmyzenka (*Eosentomon*), chvostoskoci (*Collembola*): b) rod Entomobrya, c) rod Hypogastrura, d) rod Neelus, e) rod Isotomurus, drobnušky (*Pauropoda*): f) rod Pauropus, stonoženky (*Sympyla*): g) rod stonoženka (*Scutigerella*), korýši (*Crustacea*): h) rod hrotnatka (*Daphnia sp.*), i) buchankovci (*Copepoda*), j) lasturnatky (*Ostracoda*)

IV. Ekologie mikroorganismů

Slovo ekologie vytvořil v roce 1869 Ernst Haeckel, když napsal: "Ekologii myslím vědní disciplínu, která se zabývá ekonomií přírody a zajímá se proto o všechny vztahy organismů k organickému i anorganickému prostředí." Slovo se ujalo a dnes patří mezi velice často užívané i v kruzích ne příliš vědecky založených. My se v této kapitole zaměříme na roli, kterou mikroorganismy hrají v pozemských ekosystémech a všimneme si unikátních schopností těchto nepatrných tvorů, které umožňují, že biosféra je skutečně živá a daleko rozsáhlější, než by se nám na první pohled zdálo.

Každý živý organismus je ovlivňován tzv. abiotickými (neživými) a biotickými (živými) faktory. Biotické faktory zahrnují vše živé, co nějakým způsobem ovlivňuje určitý organismus. Příkladem abiotického faktoru je např. teplota, pH, osmotický tlak určitých organismů. Mikroorganismy jsou nebo koncentrace nejrůznějších organických a anorganických látek. Mikroorganismy jsou často schopny žít za extrémních podmínek, které jsou pro složitější organismy zcela nedosažitelné.

IV.1. Abiotické faktory

Teplo

Mikroorganismy jsou schopny žít ve svých přirozených prostředích za normálního tlaku v rozmezí teplot od -10°C do té mér sta stupňů. Psychrofilní (chladomilné) kvasinky byly např. nalezeny v antarktické půdě. Chladomilná je i řada bakterií s optimální teplotou nižší než 4°C. Důležitou roli hrají tyto organismy ve studených hlubokomořských vodách, kde se podílí na rozkladu organické hmoty.

Termofili (teplomilné) organismy žijí ve zřídlech horké vody, v sopečných půdách nebo např. v kompostu - uvnitř rozkládající se organické hmoty může totiž teplota dosáhnout až 80°C. Z kompostu byly izolovány bakterie *Thermoactinomyces* optimálně rostoucí při 67°C. Šimice izolované z horkých sírových pramenů žijí v teplotách přesahujících 90°C. Rekordman v přizpůsobivosti se extrémním teplotám jsou Archebaktérie žijící v hlubokomořských vývěrech horkých vod, jejichž teplota často výrazně přesahuje 100°C (voda je zde tekutá díky vysokému tlaku vodního sloupce).

pH

Vodní a pozemské ekosystémy mohou mít velice rozmanité hodnoty pH. Ty jsou ovlivněny typem a množstvím rozpuštěných minerálů a v neposlední řadě také samotnou činností organismů. Např. některé bakterie oxidují síru až na kyselinu sírovou a vytvářejí tak vodní ekosystém s extrémně kyselým pH 0 až 2. Jiné bakterie rozkládají močovinu a bílkoviny za vzniku velkého množství čpavku. Ten reaguje s vodou za vzniku hydroxidu amonného a pH tedy může dosáhnout velice zásadité hodnoty 12.

Mezi acidofilní (kyselomilné) mikroorganismy patří např. *Thiobacillus thiooxidans* schopný žít při pH 0 (jeho pH optimum je od 2,0 do 3,5). Podobné vlastnosti má i *Thiobacillus ferrooxidans*, oxidující železo. Houby obecně dávají přednost mírně kyselému prostředí s pH 5 - 5,5.

Mezi alkaličtí (zásadomilné) mikroorganismy patří např. bakterie *Bacillus pasteurii*, který roste v pH okolo 8,5, *Vibrio cholerae* v pH 9 a *Agrobacterium* v pH 12.

Osmotický tlak

Většina mikroorganismů není schopna žít v prostředí s příliš vysokým osmotickým tlakem. Toho se využívá při konzervaci potravin, které můžeme důkladně prosolit (např. uzeniny nebo ryby) nebo prosolit přidáním 40 až 60 procent sacharózy. Tak vytvoříme prostředí s velice vysokým osmotickým tlakem, které citlivé organismy "vysuší".

Přesto existují organismy žijící v extrémních osmotických podmínkách. I v Matvém moři, kde je koncentrace soli 27%, nelze najít bakterie. Označujeme je jako halofilní (slanomilné) mikroorganismy - např. Archebaktérie *Halobacterium salinarum* může žít až při 36 % a koncentraci soli. Naopak přestává růst, klesne-li koncentrace soli pod 12-15%. Jindy, organismy vyžadujícími vysoké koncentrace rozpuštěných látek jsou tzv. sacharofilní (cukrymlné) organismy, které je možné nalézt např. v medu a které převážně patří mezi kvasinky a pišně.

Na druhém extrému osmotického tlaku stanoviště můžeme nalézt bakterii *Pseudomonas cepacia* schopnou růst v destilované vodě. Organismy schopné přežít za podobných podmínek jsou zpravidla velmi malé a rostou velmi pomalu (spokojí se se stopovým množstvím organických látek a soli přítomných v každé destilované vodě).

Hydrostatický tlak

Organismy žijící v hloubinách oceánu se nazývají barofilní (tlakmilující). Každých 10 metrů hloubky se tlak zvyšuje o jednu atmosféru. V desetikilometrové hloubce tedy musejí organismy snášet tlak 1000 atmosfér. Překvapivě v těchto hloubkách nežijí jen mikroorganismy, ale např. některými místech (hlavně u vývěrů horkých minerálních pramenů) je možné nalézt velice složitý ekosystém nezávislý na energii slunečního záření. Žijí zde dokonce tak složité organismy, jakými jsou měkkýši, korýši a ryby. Producenty jsou v těchto ekosystémech hlavně archebaktérie schopné získávat energii oxidací anorganických látek.

Jak je z výše uvedených příkladů zřejmé, mikroorganismy jsou na naši planetě téměř všude - osidlují zřejmě úplně hydrosféru (vodní zemské ekosystémy), velkou část litosféry (pevná část Země) a je možné je nalézt i vysoko v atmosféře. O odolnosti některých bakterií svědčí i to, že se jim podařilo přežít v kosmické sondě několik let na povrchu Měsíce, kam byly nechány zavlečeny a poté, co byly umístěny do optimálních podmínek, znova normálně rostly. V přírodě mikroorganismy v nepříznivých podmíncích zpravidla přestavují nejdříve růst a poté, je-li překročena určitá meze, vytvářejí zvláštní klidové formy schopné odolat po velice dlouhou dobu extrémním chemickým a fyzikálním podmínkám. Buňky v tomto stavu výrazně sníží počet a rychlosť metabolických druh a poznamenají své uspořádání. Typické jsou silné obaly a sužení obsahu vody. Tato klidová stadia se nazývají endospory, cysty nebo konidie u bakterií, heterocysty a akinety u řimic a cysty u protist.

IV.2. Biotické faktory

Kromě abiotických faktorů ovlivňují život všech organismů ostatní živí tvorové. Mohou spolu soutěžit (konkurenčovat), navzájem se požírat (predace) nebo různými způsoby soužít a spolupracovat (symbioza).

V přírodě organismy běžně soutěží - o potravu, autotrofové o místo na slunci nebo vy o vítězství v biologické olympiádě. Některé mikroorganismy proto např. vylučují do svého okolí jedovaté látky aby omezily růst soupeřů. Příkladem jsou plísňe jako je *Penicillium* vylučující antibiotika omezující růst citlivých bakterií. Proti této "chemické obraně" se bakterie brání pomocí zvláštních bílkovin schopných určitě antibioticum pozměnit na neúčinnou formu nebo tím, že změní citlivé místo, na něž antibiotikum působí - např. mutaci (náhodnou změnou v genetické informaci), která změní tvar klíčové bílkoviny. Tímto způsobem vznikají rezistentní (odolné) kmeny bakterií. Tato obranná strategie je o to dokonalejší, že si bakteriální buňky mohou získanou rezistence navzájem předávat (informace pro ni je obvykle uložena na zvláštních krátkých kruhových úsecích DNA mimo bakteriální chromozom - tzv. plazmidy). Podobné zabijecí látky jako plísňe vytvářejí i bakterie a kvasinky.

Některé mikroorganismy jsou schopné pozíti jiné mikroorganismy. Tato potravní strategie (tzv. predace) běžná pro komensality, je charakteristická pro prvky. Obět bývá zpravidla menší než predátor, ale výjimky potvrzují pravidlo. Za potravu slouží pravokům bakterie, některé kvasinky, řasy nebo jiní prvoci. Za zvláštní typ predace můžeme považovat parazitismus, kdy parazit je zpravidla mnohem menší než hostitel. Parazit se může nalézat uvnitř (endoparazitismus) nebo vně hostitele (ektoparazitismus). Příkladem mikrobiálních parazitismů je velké množství nemocí makroorganismů - viz speciální kapitoly.

Symbioza může mít několik různých forem. Může být dlouhodobá nebo krátkodobá, vždy však vyžaduje blízkost obou symbiontů. Rozlišujeme tzv. endosymbiozu, kdy se jeden symbiotický partner nalézá uvnitř druhého a ekotosymbiozu. Příkladem symbiozy houby z řasou nebo sinic jsou lišejníky. Bakterie rodu *Rhizobium* jsou schopny fixovat plynný dusík ve zvláštních hlízkách na kořenech vikvovitých rostlin. V hlízkách je rostlinou zajištěna ochrana a stálé prostředí, za což se bakterie odvíděje stálým přísnem využitelných dusíkatých látek. Pro řadu rostlin je velice důležité soužití s houbou - tzv. mykorhiza. Rostlina zde dodává houbě organické sloučeniny a na oplatku od ní získává schopnost účinně ze svého okolí vstřebávat vodu a anorganické látky. Běžné jsou různé formy soužití mezi mikroorganismy a živočichy. Např. termíti ve svém střevě hostí prvky schopné rozkládat celulózu. Za podobným účelem pěstují mravenci *Atta sexdens* v podzemních záhrádkách na namáhavě přinesených a pečlivě rozžíváných listech houby. Ta rozkládá pre ně těžko stravitelnou rostlinnou hmotu a zabudovává ji do svého těla, které mravenci požírají. Kromě toho houba zajišťuje konstantní vlhkost v mravenčí kolonii. Výhodou pro ni je neustálý přísun potravy a zajištěné šíření na téle mladé královny do každé nově vzniklé kolonie. Dalším zajímavým příkladem symbiozy živočicha a bakterie je vztah mezi světlíkující bakterií *Photobacterium Fischeri* a některými mořskými rybami. Ryba využívá bakteriálního světla k lákání potravy a pro meziřidovou komunikaci. Za to bakterii poskytuje vhodné prostředí a organické látky využívané ve zvláštních světelných orgánech.

Velice zajímavým typem symbiozy je spolupráce přežívavců a celé řady anaerobních bakterií a prvoků, kteří žijí v jejich bachtou a rozkládajících zde celulózu na disacharid cellobiozu a monosacharid glukózu. Tyto cukry jsou dále kvašeny na různé organické kyseliny, které přežívavci slouží jako hlavní zdroj energie. Mikroorganismy též syntetizují aminokyseliny a vitaminy a po svém natravění jsou pro přežívavce hlavním zdrojem těchto látek. Mikroorganismy jsou běžně též např. v lidském tlustém střevě. Bakterie *Escherichia coli* nebo ménava *Entamoeba coli* tvoří běžnou součást druhově bohaté střevní mikroflóry. V případě téhoto organismu se zřejmě jedná o tzv. komensalismus (soustolovnictví), kdy jeden organismus se přizívá na potravě získané jiným organismem aniž mu škodí. Střevní mikroorganismy navíc produkuji nezanedbatelné množství vitamínu K. Jindy jsou však schopny se přemnožit a chovat se jako typičtí parazité. K tomu dochází získáním nové vlastnosti (např. schopnosti produkovat toxin u bakterie *E. coli*) nebo narušením druhového složení složitého střevního ekosystému - např. při užívání antibiotiku zabijejícího bakterie, kdy uvolněný prostor je často zabydlen jen jedním z původních komensálů, který se přemnoží a může začít škodit. Podobně jako tlusté střevo je velice složitým ekosystémem s podobnými pravidly hry i naše pokožka.

IV.3. Role mikroorganismů v koloběhu prvků

Mnoho různých mikroorganismů i makroorganismů se od vzniku života na Zemi (tedy asi 3,5 miliardy let) podílí na přeměnách a koloběžích anorganických látek. Do jejich těl jsou neustále zabudovávány tzv. biogenní prvky, které se zde účastní mnoha různých chemických reakcí. Je využívána energie uložená v organických a anorganických sloučeninách. Některé látky z koloběhu hmoty vypadávají v neropustné formě, jiné jsou naopak neustále rozpouštěny. Vytvářejí se složité tzv. biogeochémické cykly, jimiž neustále protéká hmota a energie. Výsledný vzhled planety je z velké míry dán právě aktivitou organismů, které tak působí jako jeden z důležitých geologických faktorů.

Koloběh uhlíku

Uhlík patří mezi základní stavební složky organismů. Jeho koloběh je obzvláště důležitý proto, že se během něj ukládá energie slunečního záření zachycená pomocí fotosyntézy. Při ní je oxid uhličitý jako první anorganická látka zabudován do organických sloučenin. Z těch je poté uvolňován opět ve formě CO_2 při dýchání. Dílem se CO_2 rozpouští ve vodě, kde může reagovat s vápenatými ionty na neropustný uhličitan vápenatý, dílem je využit pro výstavbu uhličitanových schránek různých organismů a po jejich odumření a sedimentaci může vytvořit i mohutné vápencové usazeniny. Tak se část uhlíku po stovky milionů let ztrácí z koloběhu ve formě neropustných uhličitanů. Další ztrátou jsou nerozložená těla organismů, která dala základ dnešním zásobám uhlí a ropy. Existence vápenců a fosilních paliv ukazuje na fakt, že koncentrace CO_2 v atmosféře byla v minulosti Země mnohonásobně vyšší. V cyklu uhlíku mikroorganismy fungují jako významní producenti schopní zabudovat CO_2 do organických látek a jako zcela dominantní rozkladači mrtvé organické hmoty.

Koloběh dusíku

Organismy potřebují dusík pro syntézu bílkovin nebo nukleových kyselin. Rostliny jej získávají z půdy ve formě nitrátů nebo amonných iontů. Živočichové využívají dusíkaté látky vytvořené rostlinami. Klíčovými v koloběhu dusíku jsou mikroorganismy schopné fixovat N_2 ze vzduchu. Během energeticky náročné reakce je N_2 redukován až na amoniak. Ten je zabudován do těla organismů schopných fixovat vzdružný dusík - bakterii, sinici a některých kvasinek. Fixace dusíku může probíhat jak ve volně žijících organismech (z bakterii je této reakce schopen např. *Azotobacter* nebo *Azotomonas*, ze sinic *Anabaena* nebo *Nostoc*, kvasinky *Pullularia* nebo *Rhodotorula*) nebo symbioticky s rostlinou (bakterie *Rhizobium* u bobovitých rostlin, některé sinice - např. *Anabaena* nebo *Nostoc*) nebo živočichem (bakterie *Klebsiella* v termitech). Dusík takto zabudovaný do organických látek je později využíván převážně ve formě amoniaku, močoviny nebo kyseliny močové (zaleží na té které systematické skupině). Amoniak vytváří též reducenti při rozkladu odumřelých těl (tzv. amonifikace). Část amoniaku přímo využívají rostliny, většina je ve dvou krocích převedena na nitraty. Nejdříve jsou bakterie z rodu *Nitrosomonas* schopny oxidovat NH_3 na nitrity NO_2^- . Ty jsou dále oxidovány na nitraty NO_3^- bakteriemu rodu *Nitrobacter*. Některé bakterie, např. *Pseudomonas* a některé houby využívají nitrat jako zdroj kyslíku v málo proksylisovaném půdě. Tento děj se nazývá denitrifikace, uvolňuje se při něm plynný dusík N_2 a koloběh dusíku se uzavírá.

Koloběh fosforu

Na koloběhu tohoto prvku se mikroorganismy podílejí jako reducenti uvolňující PO_4^{3-} z organických molekul - např. z RNA a DNA.

Koloběh síry

Síra je součásti bílkovin a je nezbytná pro všechny organismy. V anaerobních podmínkách se síra z bílkovin uvolňuje redukované formě jako jedovatý sirovodík. K tomu dochází hlavně ve vodních ekosystémech, bažinách a bachoru přezvykavců. Organismus schopné katalyzovat tuto přeměnu patří mezi bakterie rodů *Desulfovibrio*, *Salmonella* a *Proteus*. Rostliny dokáží využít síru jen ve formě siranu SO_4^{2-} . Ty jsou schopny produkovat autotrofní bakterie - např. *Thiobacillus* a *Thiobacterium*.

Koloběh kyslíku

Do tohoto koloběhu přispívají autotrofní mikroorganismy spolu s rostlinami jako producenti O_2 . Aerobní mikroorganismy O_2 při dýchání spotřebují. Některé bakterie využívají namísto O_2 k biologickým oxidacím kyslík obsažený v některých anorganických molekulách - např. v nitrátu NO_3^- (*E. coli*) nebo siranech SO_4^{2-} (*Desulfovibrio*).

Metabolismus všech organismů žijících na Zemi vytváří velice složitou navzájem propojenou síť drah. V nich dochází k neustálé využávání přeměně látek a toku prvků v jednotlivých kolobězích. Celá biosféra pracuje koordinovaně s téměř stoprocentním využitím hmoty a s velmi vysokou energetickou účinností. S trochou nadšázký je možné si představit naši planetu jako jeden obrovský organismus, v němž vše má svou smysluplnou roli. Jak jsme zmínilí v předcházejících odstavcích, mikroorganismy v tomto hypotetickém superorganismu zajišťují vstřebávání a zpracovávání anorganických molekul a téměř bezodpadové zpracovávání vyprodukované organické hmoty v rozkladních procesech na látky opět využitelné. Některé jsou producenty organické hmoty na začátku potravních řetězců.

Nezanedbatelná je zřejmě i regulační úloha mikroorganismů. Mikrobiální infekce je možno považovat za pojistku proti přemnožení některých jiných organismů. Jak bylo zmíněno v kapitole věnované virům, právě tyto záhadné "organismy" mohou za určitých okolností překonávat mezidruhové genetické bariéry a unikátním způsobem kombinovat vlastnosti nepříbuzných tvorů a tak pravděpodobně urychlovat evoluci. Výměny genetické informace v mikrosvětě zřejmě nejsou ničím výjimečným, což snad umožňuje velice rychle reagovat na změny prostředí. Mikrosvět (nebo alespoň jeho velká část) tak zřejmě funguje jako jeden smysluplný celek schopný překvapivě úspěšné komunikace a seberegulace.

V. Závěr

Tuto brožurku sepsal pro potřeby biologické olympiády kolektiv autorů, což se odrazilo v určité formální a obsahové odlišnosti jednotlivých kapitol. Bylo na editorovi, kterou ze dvou možností zvolí - bud' zachová osobitý styl každého autora s nebezpečím nepřehlednosti a roztráštěnosti textu nebo sváže text podle přísných pravidel exaktní učebnice. Snažili jsme se najít kompromis mezi těmito dvěma extrémy a ponechali poměrně velkou volnost jednotlivým autorům. Každý z nich pojál svou část příběhu o tom, jaké je to být částí mikrosvěta trochu jinak, všichni se však snažili ukázat, že svět, který normálně nevidíme je zajímavý a vzrušující - a v neposlední řadě také velice důležitý. Doufáme dále, že jsme tímto textem příliš nepohoršili klasické mikrobiologie. Jejich vědu jsme totiž pojali poměrně netradičně - jako nauku o všem malém, co je prostým okem neviditelné. Suad nás omluví zkušenosť, že začínající biolog při svých prvních mikroskopických pozorováních zkoumá preparáty nejrůznějšího původu a zdaleka se nesetkává jen s klasickými objekty mikrobiologie - viry, bakteriemi a kvásinkami, ale právě naopak - nejčastějšími pozorovanými organismy jsou totiž nejrůznější prvoci, řasy a malí živočichové.

Pro pozorování a zkoumání tvorů menších totiž často nestačí zvětšení použitého mikroskopu a navíc, pokud se o nich chceme dozvědět něco více, musíme vyměnit prostý pohled zvnějšku za metodu umožňující pochopit, co se děje uvnitř. Velká část dnešní biologie je vzrušujícím příběhem právě o tom vnitřním, obecném pro všechno živé. Tento příběh dnes vypráví desetitisíce vědců a není proto divu, že se velice často dozvídáme rozuzlení nejsložitějších zápletek a to často velice nečekaným způsobem. Vědomosti narůstají velice rychlým tempem a je stále těžší se v lavičce nových poznatků orientovat. Dnes již není nikdo schopen obsáhnout úplné biologické poznání, ani mikrobiologické ne. S narůstajícím množstvím vědomostí jsou vědci nuteni se čím dál tím více specializovat, aby na svém úseku pronikli co nejbližše k odpovědi na otázku, která je zajímá a se zdokonalováním metod výzkumu jsou jejich otázky stále odvážnější. Dnes to jsou právě vědní obory zrozené z původní mikrobiologie, které se odváží řešit nejzákladnější a nejobecnější biologické problémy. Jedná se hlavně o molekulární biologii a molekulární genetiku, vědní obory relativně velice mladé, ale dnes neuvěřitelně rychle se rozvíjející. Téměř každý týden jsou publikovány významné objevy v oblasti buněčných regulací, molekulární podstaty dědičnosti nebo struktury a funkce nejrůznějších biomolekul. Mnoho výsledků je dnes již možné využít při cíleném ovlivňování chování buněk i celých mnohobuněčných organismů, při produkci nejrůznějších látek - a, co je velmi důležité, pochopení podstaty molekulárních dějů se začíná uplatňovat i v medicíně. Není daleko budoucnosti (a některé úspěšné experimenty již byly provedeny), kdy bude možné léčit genetické poruchy cíleným nahrazením poškozeného genu - tzv. genovou terapií. Velkého pokroku doznalo i čtení genetické informace. Je zcela čerstvou událostí přečtení úplné genetické informace dvou bakteriálních druhů. Známe tak většinu informace nutné pro fungování živé buňky. Není daleko okamžík, kdy se dozvím úplnou genetickou informaci prvního eukaryotického organismu - kvásinky *Saccharomyces cerevisiae* a dokonce i nás samých - vzhledem k pozornosti, která je věnována projektu HUGO - projektu úplného sekvenování (přečtení) lidského genomu. Nevíme, jakým způsobem biologie v budoucnu ovlivní naše životy, jisté však je, že se dočkáme mnoha velkých překvapení a určitě za mnohé z nich bude zodpovědná moderní mikrobiologie se svými dynamickými dírkami.

VI. Doporučená literatura

- Bílý, M. a kol., 1995. Úvod do hydrobiologie. (Biologická olympiáda 1994-1995, připravný text pro kategorie A, B). Institut dětí a mládeže MŠMT ČR. Praha.
- Buchar, J., 1990. Stručný přehled zoologie bezobratlých. Karolinum, Praha.
- Buchar, J. a kol., 1994. Klíč k určování bezobratlých. Scientia, Praha.
- Cejp, K., 1957-8. Houby I, II. Academia, Praha.
- Cudlín, J., 1981. Vybrané kapitoly v mikrobiologii. Academia, Praha.
- Fott, B., Sinice a řasy. Academia, Praha.
- Kalina, T. 1994. Systém a vývoj sinic a řas. Skriptum PřF UK, Praha.
- Kaprálek, F., 1986. Fyziologie bakterií. SPN, Praha.
- Kocková - Kratochvílová, J. a kol., 1987. Kvasinky a kvasinkovité organismy. NSTL.
- Lang, J. a kol., 1971. Zoologie I. SPN, Praha.
- Miko, L., 1993. Úvod do půdní biologie. (Biologická olympiáda 1993-1994, připravný text pro kategorie A, B). Institut dětí a mládeže MŠMT ČR. Praha.
- Rosypal, S. a kol., 1981. Obecná bakteriologie. SPN, Praha.
- Svrček, M. a kol., 1976. Klíč k určování bezčévných rostlin. SPN, Praha.
- Urban, Z. a Kalina, T. Systém a evoluce nižších rostlin. SPN, Praha.
- Watson, J.D. a kol., 1987. Rekombinantní DNA. Academia, Praha.

Mnoho podnětných a zcela čerstvých informací je možné získat pravidelnou četbou přírodovědných časopisů **Živa** a **Vesmír**.

Úvod do biologie mikroorganismů

Biologická olympiáda 1995 - 1996

30. ročník

přípravný text pro kategorie A, B

Autori: Mgr. Michal Bílý - kapitola III.4.

Mgr. Jan Černý - kapitoly I., II.3., II.4., II.6., III.1., IV., V.

doc. RNDr. František Kaprálek, CSc. - kapitola II.1.

Stanislav Lhota - kapitola III.5.

RNDr. Stanislav Mikó, CSc. - kapitola III.6.

Bc. David Novotný - kapitola III.3.

Mgr. Zuzana Storchová - kapitoly II.2., II.5., II.7., II.8., III.2., III.3.

Spolupráce a průběžná recenze : Mgr. Marek Cebecauer a Bc. Naděžda Petráňová

Recenze: Doc. RNDr. Jaroslava Svobodová, CSc. - katedra genetiky a mikrobiologie,

Přírodovědecká fakulta UK - kapitoly I., II., III.1., III.2., IV. a

RNDr. Jaroslav Flegr, CSc. - katedra parazitologie, Přírodovědecká fakulta UK

- kapitoly III.5., III.6.

RNDr. Josef Chalupský, CSc. - katedra parazitologie, Přírodovědecká fakulta

UK, kapitoly III.5., III.6.

RNDr. Bohdan Škoda - katedra botaniky, Přírodovědecká fakulta UK -

kapitoly III.3., III.4.

Redakce: Mgr. Jan Černý

Vydal: Institut dětí a mládeže MŠMT ČR v Praze 1995

1500 výtisků

Vytiskl: MISTRAL, tiskárna skript a brožur, Praha 1, Borská 17

Bez jazykové úpravy.

Pro potřeby biologické olympiády