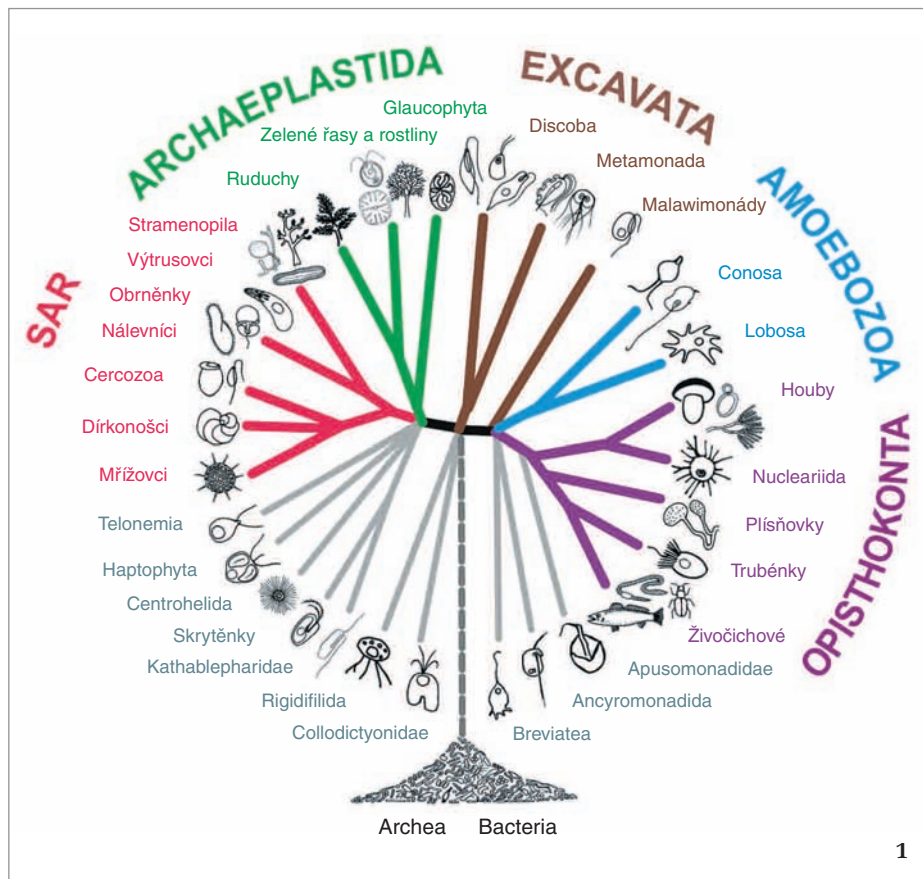


Proměny vyšší systematiky eukaryot a její odraz ve středoškolské biologii

Moderní biologie je dynamický obor, v němž ve světle nových poznatků často dochází ke změnám zavedených „učebnicových pravd“. Jedním z příkladů takového posunu v pohledu na určité téma je vyšší (na úrovni říší a vyšších jednotek) systematika eukaryot, která v nedávné době prošla výraznými změnami. Zavedený systém členění eukaryotické organismy do tradičních říší rostlin, hub a živočichů, tedy prakticky podle jejich způsobu výživy a organelové výbavy buněk, byl v posledních letech nahrazen klasifikací opírající se o ultrastrukturální studie a hlavně výsledky molekulárněfylogenetických analýz. Výrazné přehodnocení pohledu na vyšší systematiku eukaryot bylo vyvoláno především změnami ve fylogenetické pozici jejich jednobuněčných zástupců. Ti v rámci eukaryotického stromu vytvářejí několik samostatných seskupení, přinejmenším na úrovni tradičních říší. Zatímco vědeckou komunitou byl tento moderní koncept, zásadně měnící náš pohled na uspořádání eukaryotických organismů, v principu přijat, do středoškolské biologie proniká jen pozvolna.



Biologická systematika je jednotčí věda, která organizuje diverzitu organismů do skupin, se kterými můžeme dále pracovat. Je proto nezbytným předpokladem pro komunikaci mezi vědci i laiky. Nashromážděné informace o jednotlivých skupinách a možnost určovat jejich zástupce nám dovolují sledovat změny ve složení přírodních společenstev, jejich vývoj a vliv člověka na ně. Toho lze prakticky využít např. v ochraně přírody nebo v boji se škůdci či parazity. Na základě podobnosti mezi příslušníky jednoho taxonu jsou také biologové schopni odhadovat či předvídat vlastnosti nově objevených organismů, včetně nebezpečných virů a bakterií.

Základní jednotku systematiky tvoří taxon neboli seskupení organismů, které sdílejí určité znaky (morfologické, anatomické, fyziologické, molekulárněbiologické aj.) a liší se jimi od organismů jiných. Německý biolog Willi Hennig v r. 1965 rozlišil tři typy taxonů:

- monofyletické, zahrnující společného předka a všechny jeho potomky a definované přítomností určitých synapomorfii, tj. společných odvozených znaků – novinek;
- parafyletické, nezahrnující všechny potomky vzniklé ze společného předka a spojené s přítomností určitých sympleziomorfii, tj. sdílených primitivních znaků;
- polyfyletické, tvořené nepříbuznými organismy a zahrnující potomky předka, který není součástí daného taxonu, jenž je definovaný zpravidla na základě konvergentně vzniklých analogických znaků v důsledku působení podobných selekčních tlaků na různé skupiny.

Přístupy k pojetí systematiky a způsobu tvorby taxonů můžeme rozlišit v zásadě dva. Směr nazývaný evoluční taxonomie prosazuje myšlenku, že biologická klasifikace má v sobě nést co nejvíce evoluční informace. Tento přístup je v dnešní době spíše upozadován, jelikož pracuje s parafyletickými, nepřirozenými taxony a přikládá význam sympleziomorfii. Naproti tomu v současnosti převažující kladistika (nebo též fylogenetická systematika) zdůrazňuje, že třídění organismů má smysl jen tehdy, když odráží skutečné fylogenetické vztahy a příbuznost mezi nimi. Proto pracuje pouze s monofyletickými taxony, které považuje za přirozeně vzniklé evolučními procesy (podrobněji dále v textu).

Proměny klasifikace jsou vyvolány kromě zlepšování používaných metod a přístrojů především narůstajícím množstvím informací o diverzitě hlavně jednobuněčných eukaryot (protist). V současné době se uvádí, že jich je popsáno něco přes 200 tisíc druhů, což však představuje jen 10 až 15 % jejich odhadované celkové druhové

1 Schematický strom eukaryotických organismů ilustrující rozdělení eukaryot na superskupiny (odlišené barevně) podle nového systému. Postavení šedě označených linií (*incertae sedis*) zůstává dosud nejasné. Upravil V. Hampel podle: S. Adl a kol. (2012)

rozmanitosti. Je zřejmé, že protistní organismy reprezentují nezanedbatelnou část eukaryotické biodiverzity, ač jsou ve výuce biologie ve srovnání s živočichy, rostlinami a houbami skupinou spíše upozadovanou.

Tento článek si proto klade za cíl podat stručný přehled významných koncepcí, které se zabývají vyšší systematikou eukaryot, a poukázat na principy a odlišné přístupy, využívané při jejich sestavování. Dále představuje aktuální pohled na danou problematiku (s důrazem na význam protist) spolu s jeho možnou implementací do výuky středoškolské biologie.

Vývoj systematických koncepcí

● Od starověku do 60. let 20. století

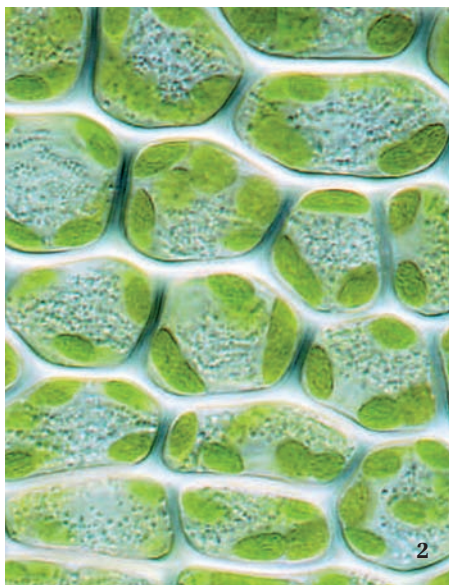
Za zakladatele vědeckého poznávání přírody bývá tradičně považován řecký filozof Aristoteles ze Stageiry (384–322). V kontextu biologických věd pokládal za klíčové poznávání živočichů, jimž věnoval asi čtvrtinu statí. Z pohledu systematiky je zásadní jeho dílo *Historia animalium* – první komplexní systematická zoologická studie, jež nebyla do 18. stol. překonána.

První ucelený pohled na systematiku všech organismů přinesl v polovině 18. stol. švédský biolog Carl Linné (1707–78). V desátém vydání svého díla *Systema naturae* člení přírodu na tři říše: „kameny“ (Lapides), rostliny (Vegetabile) a živočichy (Animalia). Do klasifikace se promítá jeho víra v Boha, kterého označuje za tvůrce všeho živého i neživého. Hlavní význam Linného práce lze spatřovat především v zavedení principu binomické nomenklatury, tedy jednotného způsobu nazývání organismů pomocí rodového a druhového jména, a dále základních nadrodových systematických kategorií (říše, kmen v zoologii, oddělení v botanice, třída, řád), pomocí nichž organismy třídíme.

Linného systém dvou říší živých organismů byl velmi stabilní a v obecném povědomí se udržel v podstatě až do 50. let 20. stol. Již v druhé polovině 19. stol. se však objevily první pokusy o úpravu této klasifikace navrhuující jiný koncept. Problematickou skupinou, která ne zcela zapadala do linnéovské hierarchie, byly mikroskopické jednobuněčné organismy (bakterie a protista) podobné buď rostlinám, nebo živočichům, avšak lišící se od nich přinejmenším velikostí. Je nasnadě, že pokroky v poznávání těchto organismů umožnil rozvoj mikroskopické techniky.

Jako první vyčlenil pro tyto organismy samostatnou říši Protozoa Richard Owen (1858), kterého záhy následoval John Hogg (1860), jenž ji pojmenoval Protoctista. O 6 let později definoval Ernst Haeckel (1866) říši Protista, kterou ve svém systému použil o 70 let později i Herbert Copeland (1938), avšak záhy (1947) ji přejmenoval na Protoctista. Je zřejmé, že se pojmenování (a konkrétní vymezení) skupiny v průběhu let sice mírně měnily, nicméně na faktu, že kromě dvou Linnéových říší existuje minimálně jedna další, to nic nezměnilo.

Vývoj klasifikace s sebou v první polovině 20. stol. přinesl dva významné milníky. Prvním bylo rozdělení organismů na Prokaryota a Eukaryota podle charakteru jádra (neobalené, nebo obalené plazmatickou membránou), které koncem 40. let provedl Edouard Chatton. Druhým přelomovou



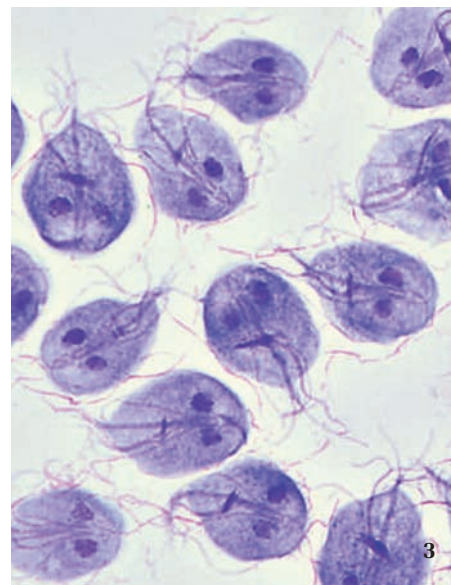
událostí bylo postupné vyčlenění hub z říše rostlin. Zmiňovaný H. Copeland nejprve vyjmul houby z rostlinné říše a přeřadil je mezi Protoctista (1956). Definitivně osamostatnění zavedl Robert Whittaker (1969), přiřkl jim status samostatné říše Fungi.

Přelomový Whittakerův Nový koncept říší organismů rozeznává jednu prokaryotickou (Monera) a čtyři eukaryotické říše (Protista, Plantae, Fungi, Animalia), jež definuje počtem buněk či jader v nich, a převažujícím způsobem výživy (fotosyntéza u autotrofů a absorpce živin z prostředí, případně příjem potravy a její zpracování pomocí trávicí soustavy u heterotrofů). Whittakeru přiznává, že si je vědom požadavku kladistů na monofylii vytvářených taxonů. Říká však, že tento požadavek nemůže být naplněn absolutně, a deklaruje, že jeho říše jsou polyfyletické. Vyzdvihuje ovšem jejich srozumitelnost přehledně popisující diverzitu organismů, i v kontextu školní výuky. To se projevilo i tím, že Whittakerův systém v obecném povědomí prakticky nahradil Linnéovo členění na rostliny a živočichy.

● Poslední třetina 20. století

Systematika tohoto období byla dramaticky ovlivněna vývojem a aplikací nových metodických přístupů, konkrétně elektronové mikroskopie v 70. letech a molekulární fylogenetiky v 80. a 90. letech. Velký vliv na rekonstrukci eukaryotické fylogeneze měla také myšlenka endosymbiotické teorie, oživená a rozpracovaná Lynn Margulisovou v 70. a 80. letech (blíže viz Živa 2009, 2: 50–52 nebo 5: 200–203; obr. 2). Takto získané poznatky změnily pohled biologů především na skupinu jednobuněčných eukaryot, jejich diverzitu a postavení v rámci eukaryotického stromu života.

Významnou osobností na tomto poli je britský evoluční biolog Thomas Cavalier-Smith (*1942), který publikoval více než 100 odborných prací týkajících se především klasifikace jednobuněčných eukaryot, vyšší systematiky eukaryot a vzniku eukaryotické buňky. V r. 1981 představil svůj koncept 7 eukaryotických říší (Fungi, Animalia, Biliophyta, Viridiplantae, Euglenozoa, Protista, Chromista), které vymezil vedle způsobu výživy především na základě buněčné ultrastruktury. Důležitý



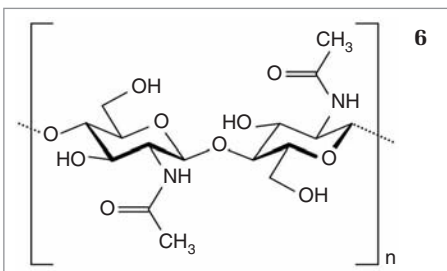
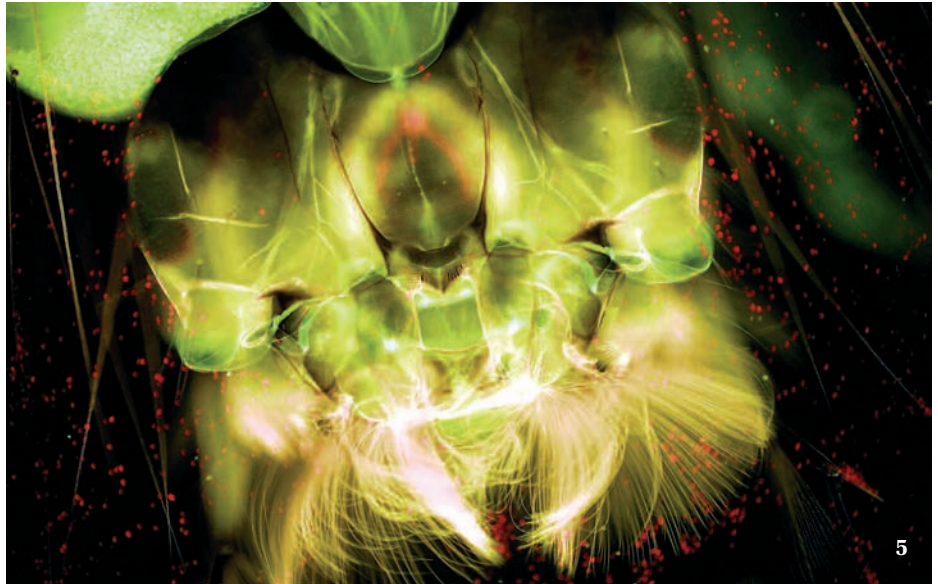
2 Zelené chloroplasty v buňkách lístku mechu měříku představují primární plastidy vzniklé ze sinice při primární endosymbióze. Jde o charakteristický znak superskupiny Archaeplastida, jeden z mála znaků superskupin, který je snadno představitelný i pro studenty na střední škole.

3 Giardie, na střední škole běžně zmiňovaní střevní paraziti obratlovců, mají zajímavou taxonomickou historii. Tradičně byly řazeny mezi prvoky (ve středoškolských učebnicích někdy uváděné jako „nižší živočichové“), posléze se přesunuly do Cavalier-Smithovy skupiny Archezoa a nyní jsou podle molekulárních fylogenetiků součástí superskupiny Excavata.

4 až 6 Superskupina Opisthokonta zahrnuje houby, živočichy a jejich jednobuněčné příbuzné. Kromě zadního tlačného bičíku je pro řadu zástupců charakteristická přítomnost chitin syntézy, enzymů zodpovědných za výrobu polysacharidu chitinu (obr. 6; převzato z Wikimedia Commons, v souladu s podmínkami použití). Tato molekula je např. stavební složkou buněčných stěn hub (obr. 4 – kuřátka) a exoskeletů členovců, jimž propůjčuje výraznou autofluorescenci (obr. 5 – hlavová část larvy komára).

pro něj byl např. vzhled mitochondriálních krist. Za zásadní lze v této klasifikaci (s ohledem na další vývoj systematiky) považovat vytyčení nové říše Chromista. Tu definoval dvěma znaky: jednak přítomností plastidu s chlorofylem *c* obaleného čtyřmi membránami, z nichž vnější je kontinuální s endoplazmatickým retikulem, a jednak přítomností mastigonemat (jemných „vlásků“) na bičíku.

V pozdějším Cavalier-Smithově konceptu z r. 1993, založeném na analýze sekvencí rRNA a studiu buněčné ultrastruktury, nacházíme 6 eukaryotických říší, přičemž u pěti z nich je zřejmá návaznost na systém z r. 1981 (vyznačeno): Protozoa (~ Protista + Euglenozoa), Plantae (~ Biliophyta + Viridiplantae), Animalia, Fungi, Chromista a Archezoa. Posledně jmenovanou říši vyhradil pro anaerobní (zdánlivě amitochondriální) eukaryota, která pokládal za primitivní relikty z doby před získáním



mitochondrie. Tato skupina obsahující např. mikrosporidie, giardie nebo trichomonády byla zpočátku podpořena i molekulárně-fylogenetickými studiemi, které ji kladly na bázi eukaryotického stromu. Dnes je však zřejmé, že říše Archezoa neexistuje a bazální postavení těchto skupin bylo způsobeno fenoménem přitahování dlouhých větví. Jde o metodický artefakt, v jehož důsledku dochází k nepřirozenému seskupování dlouhých větví fylogenetických stromů, i když si tyto linie nejsou příbuzné.

O pět let později (1998) Cavalier-Smith systematiku revidoval a tato práce se stala jeho nejcitovanější studií. Pro svou relativní srozumitelnost a aplikovatelnost v

výuce byla také převzata do řady středoškolských učebnic a kompendií (včetně Nového přehledu biologie, 2003). Podobně jako v předchozím konceptu rozděluje i zde Cavalier-Smith organismy na dvě „superříše“: Prokaryota a Eukaryota. (Zajímavé je, že neuznává členění organismů na tři domény – Archaea, Bacteria, Eucarya – navržené na základě srovnání sekvencí rRNA. Rozdíly na úrovni sekvence RNA pro něj nejsou dostatečným argumentem pro vyčlenění archeí jako samostatné říše, klasifikuje je pouze jako kmen v říši bakterií.) V rámci eukaryot vymezuje pět říší, čímž prakticky navázal na svůj systém z r. 1993. Hlavním rozdílem je, že původní říši Archezoa ponížil na úroveň podříše v rámci Protozoa. Dále dochází na základě výsledků fylogenetických analýz k přesunu několika taxonů: mikrosporidie přesouvá z Archezoa mezi houby, Myxozoa vyjímá z říše Protozoa a klade je mezi živočichy, Mesozoa již nepovažuje za přechodný článek mezi Protozoa a Animalia, ale řadí je mezi dvoustranně souměrné živočichy a skupinu Opalinata přerazuje z říše Protozoa ke Chromista. Hezkým pří-

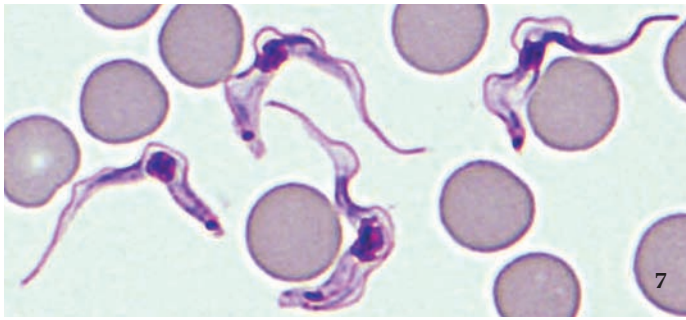
kladem, jak takové přesuny skupin v rámci eukaryotického stromu mění zařazení konkrétních zástupců, mohou být giardie, původci cestovatelských průjmů (obr. 3).

● Současnost od r. 2000

Cavalier-Smithův systém (autorem stále průběžně aktualizovaný) byl sice velmi přehledný, avšak nepracoval s monofyletickými taxony. Monofylie je přitom stále považována za jediné objektivní kritérium pro vytváření taxonů přirozeného systému, který respektuje příbuzenské vztahy. Hlavní výhodou monofyletického taxonu vytvořeného na základě správně zrekonstruovaných příbuzenských vztahů je totiž jeho trvalost. Takový taxon je z pohledu kladistů objektivně existující jednotkou v přírodě tak jako jedinec či druh. Jeho existence nezávisí na názoru nebo vůli vědců, kteří ho vlastně jen objevují, když se snaží přiblížit ve svých hypotézách jedinému skutečnému stromu života. Jiné taxony tuto vlastnost nemají a jde pouze o umělé „škatulky“. V systému Cavaliera-Smithe se jevila jako problematická především parafyletická říše Protozoa – „sběrný pytel“

Tab. 1 Klasifikace eukaryot založená na superskupinách podle S. Adla a kol. (2005)

Superskupina	Charakteristika zástupců	Příklady zástupců
Amoebozoa	<ul style="list-style-type: none"> amébovitý pohyb pomocí více či méně širokých panožek s proudící cytoplazmou (lobopodie) buňky se schránkami nebo bez nich, mitochondriální křisty tubulární (někdy sekundární ztráta), obvykle jednojaderné, tvoří cysty případná bičíkatá stadia obvykle s jedním mastigontem (základní jednotkou cytoskeletu sestávající z jednoho či více bazálních tělísek a dalších cytoskeletálních struktur) nesoucím typicky jeden nebo dva bičíky 	lobózní améby, hlenky
Opisthokonta	<ul style="list-style-type: none"> jeden zadní bičík bez mastigonemat („vlásků“) alespoň u jednoho životního stadia (výjimečně sekundární ztráta) dvě bazální tělíska nebo centrioly typicky ploché mitochondriální křisty 	živočichové, trubénky, plísňovky, houby, mikrosporidie
Rhizaria	<ul style="list-style-type: none"> panožky tenké jednoduché i větvené (filopodie) u některých skupin panožky propojené (retikulopodie) nebo vyztužené mikrotubuly (axopodie) 	mřížovci, dírkonošci
Archaeplastida	<ul style="list-style-type: none"> fotosyntetický plastid s chlorofylem a původem ze sinice (primární endosymbióza) obvykle buněčná stěna z celulózy ploché mitochondriální křisty zásobní látkou škrob 	glaukofyty, červené řasy, zelené řasy a rostliny
Chromalveolata	<ul style="list-style-type: none"> plastid původem z červené řasy (sekundární endosymbióza) u některých ztráta plastidu nebo naopak další (terciární) endosymbióza 	skrytěnky, stramenopila, výtrusovci, nálevníci, obrněnky
Excavata	<ul style="list-style-type: none"> mikrotubulárním cytoskeletem vyztužený ventrální žlábek s bičíkem pro příjem potravy (často ale sekundární ztráta) 	diplomonády, oxymonády, krásnoočka, trypanozomy



pro jednobuněčná eukaryota, která se nedají zařadit do žádné jiné říše.

Řešení této situace na sebe nenechalo dlouho čekat. Rostoucí počet genových sekvencí z různých organismů, které poskytují množství vstupních dat, použití sofistikovaných metod na jejich analýzu a zvýšená snaha o odlišování mezi původními a odvozenými znaky vzbudily zřejmě oprávněnou naději, že jsme schopni vyřešit tvar stromu života i v jeho nejhlubších partiích – tam, kde vznikaly dnešní velké eukaryotické skupiny. Vše vykristalizovalo v návrh systému klasifikujícího eukaryota do několika monofyletických „superskupin“ (tab. 1), které v uceleném konceptu představili v r. 2005 kanadský biolog Sina Adl a kolektiv (s účastí českých odborníků). Je třeba dodat, že tato souborná práce nepřichází z hlediska členění na superskupiny s novými myšlenkami, ale formalizuje členění eukaryot navržené v několika předchozích pracích. Záměrně se také vyhýbá používání systematických kategorií (typických např. pro Cavalier-Smithovy klasifikace). Tím odpadá spory, zda si daná skupina ještě/už (ne)zaslouží být klasifikována jako kmen, říše apod.

Koncept superskupin byl samozřejmě záhy podroben testování jinými vědeckými týmy. Monofylie byla dobře podpořena pro Opisthokonta, Rhizaria a Amoebozoa, jako potenciálně problematické se jevíly Chromalveolata, Archaeplastida a Excavata. Ve světle dalších poznatků získaných díky narůstajícímu počtu známých genových a proteinových sekvencí, podle nichž příbuznost organismů vědci analyzují, byla v r. 2012 zveřejněna aktualizovaná podoba tohoto konceptu (obr. 1). Stabilní pozici si udržely sesterská Opisthokonta a Amoebozoa a přibýlo důkazů o monofylii superskupiny Archaeplastida. Na druhou stranu se ovšem rozpadla superskupina Chromalveolata, čímž vzala za své Cavalier-Smithova chromalveolátní hypotéza. Ta předpokládala společný původ všech organismů nesoucích sekundární plastid vzniklý pohlcením ruduchy. Původní chromalveolátní taxony Stramenopila a Alveolata vytvořily spolu s dřívější superskupinou Rhizaria novou monofyletickou superskupinu SAR a skupiny Haptophyta a skrytěnky, původně také řazené mezi Chromalveolata, získaly status skupiny se zatím nejasnou systematickou pozicí (*incertae sedis*). Pomyslným „zátěžovým testem“ nyní prochází superskupina Excavata, jejíž monofylie byla zpochybněna v r. 2015 studií R. Derreleho a kol. (s výrazným přispěním českých odborníků). Tato fylogenetická studie ukázala, že uvnitř superskupiny Excavata pravděpodobně leží kořen eukaryotického stromu

(tj. počátek eukaryotické evoluce neboli napojení eukaryot na prokaryotické domény). V důsledku toho se Excavata nejví jako přírozená skupina, ale jako základní evoluční stupeň, ze kterého ostatní eukaryotické skupiny vyšly.

Výuka systematiky na gymnáziích

Východím dokumentem, který upravuje obsah vzdělávacího oboru biologie, je Rámcový vzdělávací program. V něm téma vyšší systematiky eukaryot explicitně uvedeno není, nicméně v rámci tematického celku Obecná biologie je definován výstup „žák odvodí hierarchii recentních organismů ze znalosti o jejich evoluci“, kam můžeme diskutovanou problematiku zařadit. Existenci klasifikace organismů implikují i názvy tematických celků (Biologie virů, bakterií, protist, hub, rostlin a živočichů), užití konkrétního klasifikačního schématu či systematické koncepce však určeno není.

V posledních letech lze sledovat určitý odklon části pedagogů od výkladu systematiky a naopak příklon k prezentaci biologie konkrétních zástupců vybraných skupin, aniž by bylo zdůrazňováno jejich systematické zařazení. Tento přístup, inspirovaný trendy anglosaského světa, se do českého školského systému zapracovává pozvolna. Důraz na jasné systematické třídění organismů a především jeho memorigování (oprávněně odsuzované) je patrně odkaz minulosti, kdy naše území spadalo do oblasti ovlivněné pedagogickým přístupem Johanna F. Herbart. Herbartismus je vytýkáno právě encyklopedismus založený na memorování faktů a pasivité žáků. Nemělo by však zůstat opomenuto, že aplikace principů systematiky alespoň v určité míře smysl má. Tvoří rámec, který zvyšuje přehlednost učiva a napomáhá orientovat se v něm. Systematika může sloužit jako nástroj pro organizaci práce s informacemi o probíraných organismech, avšak její memorigování by se nemělo stát předmětem hodnocení činnosti studentů.

Dobrym důvodem pro zařazení systematiky do výuky je i fakt, že jde o vhodné téma, na kterém lze ukázat, jak fungují základní principy vědecké metodologie: hodnocení argumentů, tvorba hypotéz, teorií a paradigmat a jejich ověřování a falzifikace. Příkladem může být rozdíl mezi systematikou Cavaliera-Smitha a konceptem superskupin – sice vychází ze stejných dat, ale zpracování a interpretace se liší s ohledem na to, za jakým účelem systematiku sestavují.

Přijmeme-li tedy, že zařazení systematiky do výuky biologie smysl má, vyvstává otázka, kterou systematickou koncepcí zvolit. Jak ukázalo naše dotazníkové šetření provedené ve školním roce 2014/2015 na vzorku 121 středoškolských učitelů biologie

7 a 8 Trypanozoma v krvi myši (7) a krásnoočko v kultuře (8; foto A. Karnkowska). Tito prvoci s výrazně odlišným způsobem života byli v klasickém systému řazeni do různých říší. Nyní na základě ultrastrukturálních znaků (podobné uspořádání cytoskeletu) a molekulárně-fylogenetických analýz víme, že jsou společně součástí skupiny Euglenozoa (superskupina Excavata). Snímky T. Macháčka, není-li uvedeno jinak

(Macháček 2015), je převažující klasifikací používanou ve výuce jak v běžných hodinách, tak na seminářích, systém pěti eukaryotických říší kopírující koncept Cavaliera-Smitha z r. 1998. Zřejmě proto, že si ho osvojila většina nejnovějších učebnic a biologických kompendií.

Naproti tomu informace o konceptu superskupin v český psané a dostupné literatuře (navíc ve vhodné didaktické úpravě) prakticky chybějí. To je patrně důvod, proč na středních školách zatím není příliš rozšířený. Do běžné výuky ho zařazuje pouze asi čtvrtina pedagogů, na seminářích pak zmiňuje 40 % respondentů. Učitelé uvádějí, že je tento koncept příliš složitý, neustálený. To znesnadňuje jeho prezentaci a využití jako stabilního rámce pro organizaci učiva. Významnou překážkou také znamená absence snadno představitelných determinacních znaků charakteristických pro superskupiny a skutečnost, že superskupiny nemají ustálená česká jména (užívají se počestěné formy – exkaváti atd.).

I přes výše uvedené se domníváme, že zařazení konceptu superskupin do výuky (především v předmětech seminárního typu) smysl má a je žádoucí. Předně jde o moderní, etablovaný koncept, který by měl být prezentován jako aktuální stav poznání. Kromě toho srovnání tradičních a recentních přístupů (právě na příkladu vyšší systematiky eukaryot) může ukázat, že systematika jako vědní disciplína stále žije a vyvíjí se v závislosti na dostupnosti nových metod a dat. Posun v pohledu na to, jakým způsobem se systémy organismů dnes tvoří, by měl být nedílnou součástí výstupu hodin věnovaných biologické systematice. Takový poznatek je minimálně stejně důležitý, možná dokonce ještě důležitější než konkrétní systém samotný.

Abychom usnadnili zařazení tématu do výuky, vytvořili jsme několik učebních materiálů, jež jsou k dispozici na webových stránkách Živy, kde je rovněž uvedena použitá literatura.

Kolektiv spoluautorů: Kateřina Mikešová, Libuše Turjanicová a Vladimír Hampel