

Protistologie – syllabus

Ivan Čepička, Jiří Neustupa, Vladimír Hampl

1 Prvoci a protistologie (IČ)

Protista x Protoctista x Protozoa x Fungi x Eukaryota. Vymezení protistologie a její vztah k protozoologii, algologii a mykologii. Historie výzkumu prvoků, vývoj systému prvoků a eukaryot. Charakter taxonomických znaků, metody zkoumání (světelná mikroskopie, elektronová mikroskopie, molekulární fylogenetika, molekulární biologie, biochemie, genomika...). Rozmanitost forem, velikost buněk a počet druhů prvoků.

2 Vznik eukaryotické buňky (VH)

Definice eukaryot a struktura eukaryotické buňky. Vznik a původ eukaryotického jádra (archebakteriální původ, hypotézy chimerického vzniku, vznik z DNA viru), vznik a původ mitochondrie (endosymbiotická teorie, α -proteobakteriální původ mitochondrie, Ox-tox hypotéza, vodíková hypotéza, kdy vznikla mitochondrie), vznik a původ Golgiho komplexu, vznik a původ endoplazmatického retikula. Vznik a původ eukaryotického bičíku. Jak asi vypadal první eukaryot. Existovali nebo dokonce existují amitochondriální eukaryota? Časování významných událostí v evoluci eukaryot.

3 Plastidy, Plantae (JN)

Původ plastidů (fototrofní bakterie – anoxygenní (sulfurogenní) fotosyntéza – bakteriochlorofyl, PS I; oxyfototrofní bakterie – sinice - diverzifikace fotosyntetických pigmentů, PS I, PS II, tři typy fotosyntetického aparátu (typ *Gloeobacter*, typ *Prochlorococcus*, typ *Synechococcus*). Vznik plastidů u eukaryot – endosymbiotické události. Primární endosymbióza (charakter primárních plastidů u rostlinných skupin, uspořádání chloroplastové DNA, fotosyntetické pigmenty, uspořádání thylakoidů, rostlinný xanthofylový cyklus). Sekundární plastidy (typy sekundárních plastidů – plastidy chromist, zelené plastidy euglen a chlorarachniofyt – a jejich původy z odlišných typů endosymbióz, uspořádání thylakoidů, pigmenty, xanthofylový cyklus chromist). Terciární plastidy – příklady u obrněnek. Kleptoplastidy - příklady *Elysia viridis*, *Mesodinium rubrum*. Ekologický a evoluční význam kleptoplastidů.

Plantae. Společný původ. Společné vlastnosti všech rostlinných skupin. Glaucophyta (cyanely a jejich vlastnosti – koncentrické thylakoidy, peptidoglykanová buněčná stěna; zástupci – *Glaucocystis*, *Cyanophora*, *Gloeochaete*). Příklad cercozooidního druhu *Paulinella chromatophora* a její nezávislé endosymbiózy. Ruduchy (Cyanidiophyta, Rhodophyta) – ztráta bičíkatých stádií, polygalaktany buněčné stěny, ruduchové fykobiliny). *Cyanidium*, *Porphyridium*, sladkovodní ruduchy (*Batrachospermum*, *Lemanea* aj. a jejich bioindikační význam), mořský litorál jako primární centrum evoluce ruduch, příklady mořských ruduch. Zelené rostliny (společné vlastnosti – stavba chloroplastu, pigmenty, buněčná stěna, zásobní látky). Dvě vývojové linie – chlorofytní a streptofytní; typy mitóz, vznik buněčné stěny – fykoplast x fragmoplast (případ trentepohlie s jejich netypickým fragmoplastem), struktura bičíkových kořenů). Příklady zelených řas. Evoluce cévnatých rostlin – coleochaetová hypotéza, Klebsormidiophyceae, *Chaetosphaeridium*, parožnatky).

4 Excavata (Louksozoa, Metamonada, Percolozoa a Euglenozoa) (VH)

Exkavátní hypotéza – předek exkavát měl ventrální rýhu s procházejícím bičíkem. Skupina založená na podobnostech cytoskeletu v kombinaci s molekulárními daty. Podpora celé skupiny v molekulárně fylogenetických analýzách nízká. Louksozoa – malý kmen volně žijících bičíkovců s ventrální rýhou, schránky. Metamonada – převážně endobiontičtí

bičíkovci, většinou anaerobní nebo mikroaerofilní s mitochondrií velmi redukovanou (diplomonády), dosud nenalezenou (retortamonády, oxymonády) nebo přeměněnou na hydrogenosom (parabasala), u některých skupin ventrální rýha velmi (oxymonády) nebo úplně (parabasala) redukována, významní parazité (např. *Giardia*, *Trichomonas*) a endosymbionti hmyzu (Hypermastigida). Percolozoa (syn. Heterolobosea) – bičíkovci, améboflageláti, améby a hlenky (*Acrasis*), ventrální rýha zachována jen výjimečně (*Percolomonas*), améby s eruptivními panožkami (lobopodie). Významný lidský patogen *Naegleria*. Euglenozoa – pouze bičíkovci (1-2 bičíky vycházejí z flagelární kapsy), ventrální rýha zcela redukována, velká skupina, Eugleny – volně žijící bičíkovci převážně ve sladkých vodách, většinou autotrofní (sekundární zelený plastid, chlorofyl a, b), rody *Euglena*, *Astasia*, *Peranema* a další. Diplonemidi – volně žijící i parazitující heterotrofní bičíkovci v sladkých i slaných vodách (*Diplonema*). Kinetoplastidi – volně žijící (např. *Bodo*), ale většinou parazitující bičíkovci (jednohostitelské a dvouhostitelské cykly), mitochondriální DNA uspořádána do struktury kinetoplast, parazité rostlin (*Phytomonas*), bezobratlých (např. *Crithidia*), obratlovců i člověka (*Trypanosoma*, *Leishmania*) – lidská a zvířecí spavá nemoc, Chagasova choroba, leishmanióza. Skupiny Percolozoa a Euglenozoa se podle diskovitých mitochondriálních krist společně označují jako Discicristata.

5 Amoebozoa (Lobosa, Pelobiontida, Entamoebidae, Mycetozoa) (IČ)

Amoebozoa – amébovitě organismy tvořící lobopodie, s rozvětvenými tubulárními kristami mitochondrií. Ancestrálně zřejmě jednobíčíkaté, odtud také název Unikonta. Pokud vyvinut bičík (skupina Conosa), asociován s mikrotubuly tvořícími koš kolem jádra. Sekvence genu pro RNA malé ribosomální podjednotky často tvoří dlouhé větve, na fylogenetických stromech se Amoebozoa často jevila jako polyfyletická. Analýza více genů (až 123) ukázala monofylii amoebozoí. Lobosa – nejsou vyvinuty bičíky. Zástupci např. *Amoeba*, *Chaos*, *Arcella*, *Mayorella*, *Vanella*, *Acanthamoeba* (lidský patogen). Conosa – Pelobiontida + Entamoebidae + Mycetozoa. Pelobiontida – volně žijící anaerobní améboflageláti, dosud neobjevena mitochondrie, viz Archezoa (přednáška 2). Zástupci – *Mastigamoeba*, *Pelomyxa*. Entamoebidae – bez bičíků, ale příbuzní pelobiontům a hlenkám (analýza 123 genů). Anaerobní, nedávno identifikována zbytková mitochondrie (krypton, mitosom). Většinou parazitující. Zástupci – *Entamoeba* (významný lidský patogen), *Endolimax*. Mycetozoa (pravé hlenky) – skupiny Protostelida, Myxogastriida, Dictyostelida. Složité vývojové cykly, améby i améboflageláti. Veliká monofyletická skupina, studována mykologicky.

6 Rhizaria (JN)

Molekulárně fylogeneticky definovaná skupina protist; fenotypicky poměrně variabilní. Vývoj pohledu na Rhizaria ve fylogenetických studiích (SSU rRNA kladogramy poloviny 90. let – příbuznost rodů *Chlorarachnion* a *Euglypha*. Definice cercozoí a příbuznost s druhem *Gromia oviformis*; multigenové analýzy – blízký vztah k cercozoí k dírkonošcům; Radiolaria jako sesterská skupina. Panožky rhizarií – retikulopodia, filopodia, axopodia. Tři hlavní evoluční větve – Cercozoa, Foraminifera, Radiolaria + několik menších skupin. Cercozoa (volně žijící améby – př. *Diffugia*, *Euglypha* – fosilní schránky a jejich význam v paleoekologii; *Chlorarachnion* – zelený sekundární plastid, nukleomorf; *Paulinella chromatophora*; Phaeodarea a jejich unikátní silná proteinová kapsula). Foraminifera (retikulopodia, endosymbionti, typy schránek – organické schránky evolučně bazálních forem, stavba a struktura vápnitých schránek, ekologický význam dírkonošců, paleoekologické rekonstrukce, metody studia struktury a evoluce schránek - teoretická morfologie a modelování). Radiolaria (struktura buňky – proteinová kapsula, axopodia; amorfni křemitá schránka u Polycystinea, ekologický a biostratigrafický význam radiolarií).

Phytomyxea (*Plasmodiophora* jako hospodářsky významný parazit čeledi Brassicaceae, životní cyklus).

7 Chromalveolata (Chromista + Alveolata), Alveolata I (Ciliophora, Apicomplexa) (IČ)

Chromalveolární hypotéza – červená větev sekundárních plastidů, dodnes nebyla přesvědčivě ukázána monofylie chromalveolát, problém se skupinou Chromista. Alveolata – fylogeneticky dobře podpořená skupina charakterizovaná různě modifikovanými subpelikulárními alveoly. Ciliophora (Ciliata, nálevníci) – charakteristický cytoskelet, obrvení, jaderný dualismus, pohlavní rozmnožování. Zvláštnosti jejich biologie. Vývoj systému – dnes už se neuznávají Kinetophragminophorea, Polyhymenophorea a Oligohymenophorea, systém je postavený na kombinaci různých znaků na ultrastruktuře, podpořen i molekulární fylogenetikou. Obvykle 2 nadtřídy (Postciliodesmatophora a Intramacronucleata) s 10 třídami. Charakteristiky nejvýznamnějších skupin a jejich zástupců. Suctorina (rounatky) – modifikovaní nálevníci. Apicomplexa (výtrusovci) – Apikální komplex, obligátní vnitrobuněční parazité – komplexní vývojové cykly, adaptace na život v jiných buňkách, modifikace hostitelských buněk. Apikoplast – plastid bez fotosyntézy, funkce, spory o jeho původu.

8 Alveolata II – (Apicomplexa, Dinozoa, Perkinsida, Colpodellidae) (IČ)

Apicomplexa (výtrusovci) – Gregarina – epicelulární parazitismus, modifikace přední části buňky. Paraziti bezobratlých. *Cryptosporidium* – dříve považováno za typickou kokcidii, příbuzný spíše gregarinám? Mitochondrie kryptosporidia. Významný patogen obratlovců včetně člověka. Coccidea (kokcidie) – charakteristika a životní cykly. Význam ve veterinárním lékařství. Zástupci – *Haemogregarina*, *Eimeria*, *Toxoplasma*, *Sarcocystis*. Hematozoa – plasmodia a piroplasmy, modifikace apikálního komplexu. Malarická plasmodia – nejvíce prozkoumaná Apicomplexa, osekvenován celý genom. Životní cyklus a význam pro člověka – malárie. Piroplasmida (*Babesia* a *Theileria*) – paraziti zvířat i člověka. Modifikace hostitelských buněk theileriemi. Dinozoa (Dinoflagellata, Dinophyceae, obrněnky) – specifické uspořádání bičíků (dinokont), nezvyklé uspořádání jádra (dinokaryon), velká morfologická diverzita, schránky, plastidy obrněnek – více typů než u ostatních eukaryot dohromady. *Pfiesteria* – nejkomplexnější životní cyklus nebo stará chyba? Fosilní obrněnky. Parazitické obrněnky. Ekologický význam obrněnek. Problémy spojené se studiem obrněnek. Perkinsida (Perkinsozoa) – bičíkovci parazitující v mlžích, příbuzní s obrněnkami. *Colpodella* – volně žijící bičíkovec příbuzný výtrusovcům.

9 Chromista (JN)

Chromista - pleuronematické bičíky, struktura tubulárních mastigonemat, extraplastidiální zásobní látky. Heterotrofní skupiny – zřejmě evolučně původnější; Labyrinthulida (charakteristické zvláštnosti – ektoplazmatické výběžky, botrozómy); Oomycota (ekologické zvláštnosti, typy stélek, strukturní znaky společné s autotrofními skupinami – pleurokontní zoidy, chrysolaminaran; specifická oogamie. Slopalinida (mnohojadernost, zmnožování bičíků, výskyt - většina jako komensálové poikilotermních obratlovců). Autotrofní skupiny – sekundární červené plastidy, struktura a typy pigmentů (rozdíly mezi jednotlivými skupinami). Produkce polymerních křemitých struktur (typy – šupiny zlativek, rozsivkové schránky; syntéza křemitých struktur – SDV, vnitrobuněčný transport, morfogeneze rozsivkové schránky.) Bacillariophyceae – životní cyklus, mitóza rozsivek, typy pohlavního procesu; změny pohledu na druhový koncept u rozsivek (Jsou rozsivky nejdiferenzovanější skupinou organismů na Zemi?). Phaeophyceae – raritní polysacharidy buněčné stěny, makroskopické stélky, příklady ekologicky významných zástupců mořského litorálu. Ostatní skupiny chromist – charakteristika rozdílů ve složení pigmentů, struktuře thylakoidů, bičíkových mastigonemat či stavbě stélek. Cryptophyta (zvláštnosti skrytinek - nukleomorf,

fykobiliny skrytének, ejektozomy a trichocysty, Maupasova tělíska). Haptophyta (struktura haptonematu, specifické vlášení bičíků, vápenaté kokolity). Ekologický význam vápenatých bičíkovců (*Emiliania huxleyi*) – regulace koncentrace oxidu uhličitého, produkce dimethylsulfidu a jeho význam při tvorbě kondenzačních jader oblaků.

10 Opisthokonta (Metazoa, Fungi a několik prvočích linií) (VH)

Eukaryota se „zadním bičíkem“ tlačícím buňku. Bičík velmi často redukován (u hub pouze u spor chytridiomycet, u metazoí spermie, řasinky epitelů). Skupina dobře podpořená molekulárními daty. Doména mnohobuněčných skupin (Metazoa, Fungi), i ty však obsahují jednobuněčné skupiny (mikrosporidie, Myxozoa). Čistě prvočí skupiny: Choanoflagellata – sladkovodní i mořští bičíkovci, volně plovoucí i přisedlí. Jeden bičík s límcem na filtrování potravy. Některé druhy mají křemičitou schránku (loriku) a vytvářejí kolonie. Příbuzní metazoím. Nápadná podobnost s choanocyty živočišných hub. Nuclearia – rod volně žijících sladkovodních améb. Capsaspora owczarzaki – améboidní symbiot plžů. Ichthyosporea (také DRIPs nebo Mesomycetozoa) – parazitičtí prvoci s nejasným životním cyklem, některé rody hospodářsky a ekologicky významné (*Dermocystidium*, *Ichthyophonus*, *Amoebidium*).

11. Eukaryota *incertae sedis*, nejvyšší vztahy mezi eukaryoty a kořen eukaryotického stromu (VH)

Eukaryota *inc. sed.* – eukaryota s nejasným postavením - slunivky, Hemimastigophorea, Pseudociliata, Apusozoa, Paramyxea, *Mastigamoeba invertens*, nové eukaryotické linie získané sekvenací genů ze vzorků odebraných z různých biotopů.

Velký systém eukaryot neexistuje, nejsmysluplnější je dělení eukaryot do 6ti „megagroups“. Dělení na opisthokonta/anterokonta, unikonta/bikonta. Evoluce mastigontu. Kde leží kořen eukaryot lze těžko určit, existuje několik pravděpodobných hypotéz – na větvi k opisthokontům, na větvi k bikontům, v exkavátech. Eukaryota mají sklony k mnohobuněčnosti. Objevila se nezávisle u mnoha skupin (Metazoa, Fungi (několikrát), Plantae (několikrát), Stramenopila, náběh u Mycetozoa, *Acrasis*). Proč mají eukaryota, na rozdíl od prokaryot, sklony k mnohobuněčnosti?

12 (JN)

Význam eukaryot. Symbiózy (příklady protistních symbióz, stupně obligátnosti symbiotických vztahů, symbiogenetické aspekty evoluční teorie – symbiózy jako speciální činitel). Vliv na globální ekosystém (geobiologický význam některých skupin protist – vápenatí bičíkovci a regulace atmosférické koncentrace oxidu uhličitého, vznik křídových sedimentů; rozsivky a globální cyklu křemíku; diatomitové horniny; ruduchy a evoluce korálových útesů, litorální mořské zelené řasy a jejich význam při vzniku písečných zrn). Eukaryotické mikroorganismy a původ ropných ložisek (vápenatí bičíkovci, mořské obrněnky, monitoring ložisek ropy pomocí analýzy mikrofosilních sedimentů). Přehled protist jako parazitů a patogenů člověka. Význam protist jako zdroje potravy pro člověka (mořské akvakultury, hromadné kultivace mikrobiálních protist). Farmaceutický význam eukaryotických mikroorganismů a eukaryot vůbec.