

Olga Votrubová

ANATOMIE ROSTLIN



UČEBNÍ TEXTY UNIVERZITY KARLOVY

Anatomie rostlin

Olga Votrubová

Recenzovaly:

doc. RNDr. Emilie Pecharová, CSc.

doc. RNDr. Marie Kummerová, CSc.

Vydala Univerzita Karlova

Nakladatelství Karolinum

jako učební text pro Přírodovědeckou fakultu UK

Grafická úprava Kateřina Řezáčová

Sazba DTP Nakladatelství Karolinum

První dotisk třetího, přepracovaného vydání

© Univerzita Karlova, 2010

© Olga Votrubová, 2010

Text neprošel jazykovou ani redakční úpravou nakladatelství

ISBN 978-80-246-1867-8

ISBN 978-80-246-3247-6 (online : pdf)



Univerzita Karlova

Nakladatelství Karolinum 2017

www.karolinum.cz

ebooks@karolinum.cz

OBSAH

PŘEDMLUVA	9
ÚVOD	11
Co je rostlina?	12
Základní charakteristiky fotoautotrofních organismů	13
Fotoautotrofní prokaryotní organismy	13
Fotoautotrofní eukaryotní organismy	13
Viridiplantae (Chlorobionta)	13
Zelené řasy (Chlorophyta)	14
Embryophyta	14
<i>Mechorosty (Bryophyta)</i>	14
<i>Rostliny cévnaté (Tracheophyta)</i>	14
Anatomie rostlin – historie a základní metody studia	16
ROSTLINNÁ BUŇKA	21
Úvod	21
Vývoj buněk a jejich stavby	22
Přehled uspořádání rostlinné buňky	24
Buněčné membrány a kompartmentace buňky	26
Buněčné membrány	26
Kompartimentace buňky	28
Endomembránový systém	29
Plasmalema	29
Endoplasmatické retikulum (ER)	29
Golgiho aparát (GA)	31
Váčky (vesikuly)	32
Vakuola	32
Cytoplasma	36
Cytoskelet	36
Ribosomy	38
Semiautonomní organely (plastidy a mitochondrie)	39
Plastidy	40
Chloroplasty	40
Chromoplasty	43
Leukoplasty	43
Mitochondrie	45
Peroxisomy (dříve též microbodies)	46
Buněčné jádro	47
Buněčná stěna	50
Primární stěna	51
Transportní funkce stěny	54
Apoplastický transport	54
Symplastický transport	54
Sekundární stěna	55

Impregnace buněčné stěny	57
Lignin	57
Suberin, kutin, vosky	59
Rostlinná buňka jako osmotický systém	60
Ontogenese rostlinné buňky	61
Dělení buněk	61
Růst buněk	65
Diferenciace buněk	67
ROSTLINNÁ PLETIVA	71
Úvod	71
Klasifikace rostlinných pletiv	71
Vznik pletiv	72
Meristémy	74
Klasifikace meristémů	74
Apikální meristémy	75
Apikální meristém prýtu	76
Apikální meristém kořene	77
Trvalá pletiva	79
Jednoduchá pletiva – parenchym, kolenchym a sklerenchym	79
Parenchym	79
Kolenchym	82
Sklerenchym	83
Krycí pletiva	85
Primární krycí pletiva	85
Vodivá pletiva	95
Xylém (dřevní část vodivých pletiv)	96
Vývin cévních elementů (obr. 93)	99
Evoluce cévních elementů	99
Floém (lýková část vodivých pletiv)	101
Vývin sítkových elementů (obr. 96)	103
Parenchymatické buňky floému	104
Svazky cévní	104
VEGETATIVNÍ ROSTLINNÉ ORGÁNY	109
Primární stavba rostlinných orgánů	109
Kořen	109
Typy kořenů	110
Stavba kořene	111
Kořenový vrchol	111
Kořenová čepička	112
Primární stavba kořene	113
Endodermis	115
Exodermis	116
Střední válec	116
Větvění kořene	118
Kořenové symbiózy	119
Specializované typy kořenů	121
List	122
Anatomická stavba listové čepele	124
Epidermis	124
Mesofyl	127
Vodivá pletiva listu – listová žilnatina	132
Stavba řapíku	134
Opad listů	135
Přízpůsobení stavby listu podmínkám prostředí a specializované typy listů	136

Stoněk	138
Ontogeneze stonku	139
Větvění stonku	139
Primární stavba stonku	140
Epidermis	140
Stavba internodií	140
Primární kůra	142
Stavba nodů	144
Přízpůsobení stavby stonku podmínkám prostředí a specializované typy stonků	145
Přízpůsobení podmínkám nedostatku vody	145
Stonky vodních a mokřadních rostlin	145
Stonky se zásobní funkcí	145
Brachyblasty a stonkové trny	146
Sekundární stavba rostlinných orgánů	146
Úvod	146
Kambium	147
Sekundární vodivá pletiva	149
Sekundární xylém (deuteroxylém)	149
Stavba sekundárního xylému nahosemenných rostlin	151
Stavba sekundárního xylému dvouděložných rostlin	152
Sekundární floém (deuterofloém)	155
Sekundární krycí pletiva	157
Periderm	157
Borka	159
Sekundární růst jednoděložných rostlin	159
REPRODUKČNÍ ORGÁNY	161
Úvod	161
Nepohlavní rozmnožování	161
Pohlavní rozmnožování	162
Přehled životních cyklů Embryophyt	164
Pohlavní orgány krytosemenných rostlin	167
Květ	167
Tyčinky	169
Vznik samčího gametofytu a samčích gamet	171
Pestík	173
Megaspороgenese a megagametogenese	174
Opylení a oplození	175
Embryogenese	177
Embryogenese kokošky pastuší tobolky (<i>Capsella bursa-pastoris</i>)	178
Embryogenese cibule kuchyňské, <i>Allium cepa</i>	179
Embryogenese trav	179
Semenó	180
Plod	184
Klíčení	184
LITERATURA	187
REJSTŘÍK	189

Ráda bych na tomto místě poděkovala všem, bez jejichž pomoci by tato skripta nevznikla. V první řadě bych chtěla poděkovat svým studentům. Diskuse s nimi při přednáškách, cvičeních a zkouškách pro mne byly tím nejlepším vodítkem. Jmenovitě bych chtěla poděkovat Barboře Gorčicové, Janovi Ponertovi a Evě Husákové za pečlivé přečtení a četné návrhy úprav. Dále bych ráda poděkovala svým kolegům za přečtení textů, připomínky a diskuse o nich; především bych chtěla poděkovat doc. Jaromíru Kutíkovi, Dr. Aleši Soukupovi a doc. Libuši Pavlové.

Skripta by také nemohla vzniknout bez technické pomoci. Tady patří můj velký dík Mgr. Drahomíře Bartákové za obětavou technickou pomoc zejména, ale nejenom, při přípravě obrázků a Mirkovi Bartákovi za pečlivé úpravy obrázků. Prof. Nátrovi děkuji za poskytnutí textu – úvahy o významu rostlin. A nakonec bych ráda poděkovala svému manželovi, jednak za přečtení textu a především za trpělivost.

Moje poděkování patří také oběma recenzentkám textu – doc. Marii Kummerové a doc. Emilii Pecharové. Jejich připomínky a návrhy úprav byly do textu zapracovány. Doc. Pecharové děkuji zároveň za kontrolu správnosti botanických názvů rostlin.

PŘEDMLUVA

V roce 1917 napsal náš přední rostlinný anatom a cytolog, profesor Bohumil Němec:

Rostliny byly člověku v životě od jeho objevení se na Zemi věrnými pomocnicemi. Bez nich nemohl být živ ani v nejpůvodnějším svém stavu, neboť byl omnivorem a používal jich tehda aspoň planě rostoucích. Jimi později také topil, a oheň jej učinil skutečným pánem přírody. Jimi se odíval, léčil, jich použil i k tomu, aby nadpřirozeným způsobem, ovšem marně, svých účelů dosáhl. Ony mu daly mnohé prvky pro tvorbu uměleckou a nadchly ho ke vznešeným básnickým myšlenkám. Ale nejvíce prospěly člověku rostliny zemědělsky pěstované.

Tolik slova profesora Němce. I když i dnes, po téměř sto letech, mnohá z těchto slov platí, je třeba k nim z dnešního pohledu rostlinného biologa, který si uvědomuje, že není pánem přírody, mnohé dodat. Myslím, že následující úvaha profesora Lubomíra Nátra dobře vystihuje, co ještě bychom si měli uvědomit. Profesor Nátr začíná svoji úvahu citátem, který napsal profesor P. R. Crane, ředitel botanické zahrady v Kew (Velká Británie) v úvodu ke knize „Rostliny. Obrazová encyklopedie rostlin celého světa“ (Marinelli, 2006)

Je vědecky podloženou zkušeností, kterou si bohužel dostatečně neuvědomujeme, že rozmanitost života na povrchu naší planety je závislá téměř výhradně na ekologickém základu vytvořeném rostlinami. Nejdůležitější úlohu pro zachování biosféry tedy hrají rostliny. Rozmanitost rostlinné říše vytváří předpoklady pro život mnoha savců, ptáků, obojživelníků a dalších živočichů, kteří obohacují náš život a podílejí se na ekologických procesech nezbytných i pro člověka.

A nyní už vlastní úvaha profesora Nátra.

Struktura tzv. potravní pyramidy je obecně dobře známá: Rostliny produkují biomasu, která je zdrojem potravy pro býložravce, jimiž se živí masožravci. Na vrcholu pyramidy stojí všežravci, jimž dominuje člověk. Tuto trivialitu dobře známe, ale vůbec nerespektujeme. Už jenom skutečnost, že rostliny doslova živí všechny ostatní organismy – od bakterií až po největší savce – by měla stačit k respektování nejzákladnější priority lidských společností: chránit rostliny.

Ale rostliny zajišťují mnohem víc:

- *Zpřístupňují energii slunečního záření pro udržení životaschopnosti všech organismů při tvorbě své biomasy využívané pak jako potrava.*
- *Původní atmosféru Země obohatily o kyslík, který stále znovu obnovují.*
- *Podílejí se na globálním cyklu uhlíku a v současnosti jsou jednou z mála nadějí, jak snížit další nárůst koncentrace CO₂ v atmosféře.*
- *Byly (fosilní paliva), jsou (palivové dříví, biomasa rostlin) a stále budou zdrojem energie pro průmyslovou, zemědělskou a jinou produkci, i pro pohodlí lidí.*
- *Ovlivňují koloběh vody: účinně omezují záplavy po vydatných deštích a „spotřebou“ energie při transpiraci vytvářejí mikroklima příznivější pro člověka.*
- *Jsou nezaměnitelnou složkou koloběhu minerálních živin: absorpcí živin z půdy je zprostředkovávají ostatním organismům včetně člověka.*
- *Nenahraditelně udržují úrodnost půdy: svými kořeny a odumřelou biomasou udržují půdní organickou hmotu nezbytnou pro půdní úrodnost.*
- *Vytvářejí podmínky pro život jiných organismů tím, že jim poskytují vhodné fyzikální a mikroklimatické podmínky (dřevo na stavby, prostory pro hnízdění aj.).*

- *Jsou nenahraditelným zdrojem látek pro farmaceutický, technický, kosmetický a jiný průmysl.*
- *Podporují významnou část turistického ruchu a umožňují stále více oceňovanou rekreaci.*
- *Na rozdíl od všech forem umění jsou nedostižné svou krásou, vnější i vnitřní, umocněnou prostorovou trojrozměrností, dynamikou v čase a proměnlivou pestrostí.*
- *Pro mnoho lidí jsou vzorem a příkladem moudrosti, trpělivosti i velkorysosti.*

Doufám, že tyto dvě úvahy jasně vystihují důležitost rostlin, že budou stimulovat zájem o studium života a funkcí rostlin. Uvědomme si, že v současném světě, kde přibývá lidí, zmenšuje se rozloha nedotčené přírody, ale i rozloha zemědělsky využitelné půdy a dochází ke globálním změnám, nemáme šanci těmto faktům čelit bez poznání rostlin a bez praktického využití těchto znalostí.

ÚVOD

Co se vůbec nechá sdělit, nechá se sdělit jasně.

Ludwig Josef Johann Wittgenstein

Rakousko-britský filosof 1. poloviny 20. století

Tento učební text je určen pro základní kurzy rostlinné anatomie studentů biologie a příbuzných oborů, tedy studentů, kteří mají jen omezený rozsah znalostí stavby rostlinných organismů a metod jejího studia. Proto je motto v záhlaví této předmluvy důležité a tento učební text se bude snažit tomuto mottu dostát.

Rostlinná anatomie je obor, zabývající se studiem vnitřní stavby rostlinných organismů. Je základní disciplinou obecné botaniky; její znalost je nezbytná pro jakékoliv další studium rostlin, ať už jde o fyziologii, vývojovou biologii, genetiku, taxonomii, ekologii a v poslední době též významně se rozvíjející molekulární biologii rostlin. Je proto vhodné absolvovat tuto přednášku na počátku studia biologie rostlin.

Text vychází ze skript Votrubová. O.: Anatomie rostlin, jejichž poslední vydání vyšlo v roce 2001. Od jejich napsání uplynula řada let, během nichž se nahromadilo množství nových poznatků. Ty byly získány jednak díky novým metodám studia, jako jsou konfokální mikroskopie, digitální video mikroskopie, nové fluorescenční metody, metody obrazové analýzy a mnohé další, ale i díky novým přístupům ke studiu rostlin. Ty jsou spojeny s nástupem výzkumu na úrovni molekulární biologie, molekulární genetiky aj. Některé z nových poznatků už dnes patří k učebnicovým faktům a byly do tohoto učebního textu přidány. Přesto se ale domnívám, že tento text by měl v první řadě seznámit studenty se základy stavby rostlinných organismů bez ohledu na to, zda byly objeveny nedávno nebo před mnoha lety a na tyto základy bude kladen důraz. A není snadné najít tu správnou rovnováhu mezi nezbytnými základními vědomostmi a moderními poznatky.

I když současná věda často směřuje k úzké specializaci, neměli bychom ztratit ze zřetele organismus jako celek. A znalost struktury je základem pro studium biologie rostliny, a to i v éře atraktivních výsledků získávaných pomocí nejmodernějších technik genových manipulací, molekulárně biologických technik aj. Ráda bych v této souvislosti použila myšlenky amerického vědce Barryho Commonera, která ve volném překladu říká: „Jestliže připustíme úpadek klasické biologie, veškerá moc moderní fyziologie a chemie nebude moci být využita ve studiu života!“ A totéž platí dnes o moci molekulární biologie. Ta nabízí úžasné možnosti, které ale mají pouze omezenou hodnotu, pokud nejsou propojeny s poznatky dalších oborů a studovány se zřetelem na děje, probíhající v celé rostlině. Je zcela přirozené, že nové možnosti skýtané moderními přístupy přitahují mladé adepty vědy, což vedlo v nedávné minulosti k potlačení významu anatomie a některých dalších „klasických“ disciplín. Toto je dnes snad minulostí a anatomie nabývá opět na významu; mnozí studenti a vědečtí pracovníci si uvědomují nejen nezbytnost znalostí anatomie, ale i to, že studium anatomické stavby může být fascinující, zejména pokud se vhodně propojí s ostatními disciplínami biologie rostlin, ať už je to molekulární biologie na straně jedné nebo ekologie a ekofyziologie na straně druhé.

Znalost anatomie vyžaduje znalosti faktů a terminologie. Znalost správné terminologie se mnohdy podceňuje, což vede k nepřesnému používání mnohých termínů. Výsledkem bývá často neporozumění mezi jednotlivými vědními disciplínami. Rovněž zavádění nových pojmenování tam, kde existují zcela vyhovující názvy stávající, patří k častým současným nešvarům, spolu se snahou přejímat, a to často zbytečně, nebo ne zcela vhodně, terminologii z biologie živočišné. Právě tak je mnohdy zbytečně přejímána často zkomolená terminologie z angličtiny. Při současném rychlém rozvoji vědeckých poznatků publikovaných obvykle v angličtině je téměř nemožné hledat pro všechny výrazy české ekvivalenty. Ale používejme je alespoň tam, kde je to možné. V tomto textu bude preferováno používání původní terminologie, pokud je vyhovující, budou však pro informaci uvedeny i nově používané názvy. Některé termíny dnes používané v anatomii rostlin, a nejen v ní, byly zavedeny velmi dávno a je

pochopitelné, že jejich význam se někdy více, někdy méně změnil. Výsledkem těchto změn je opět často nejednotné používání mnohých termínů. Vzhledem k tomu, že skriptum by mělo být základem pro další studium rostlinné biologie, pokusím se u těch nejdůležitějších termínů vysvětlit jejich vývoj a postupné změny jejich chápání, a ukázat na různost jejich používání. Na webových stránkách katedry (<http://kfrserver.natur.cuni.cz/studium/prednasky/anatomie>) je slovník základních pojmů, který je vhodné použít, pokud některý z termínů není jasný.

Získat znalosti o stavbě rostlin nelze v žádném případě jen z učebnic. Nezbytně nutná je osobní zkušenost s jejím pozorováním. Proto je součástí základního kurzu anatomie rostlin i praktické cvičení. Návodů k úlohám na praktická cvičení jsou umístěny na výše uvedených webových stránkách katedry. Součástí uvedených materiálů je i popis základů práce s mikroskopem a přípravy preparátů, protože ovládání techniky (zvládnutí „řemesla“) je nezbytné pro správné pozorování a interpretaci pozorovaného.

V tomto učebním textu je množství obrázků omezené a jedná se vesměs o schémata nebo kresby. Proto doporučuji, kromě obrázků prezentovaných na přednáškách a kromě vlastní zkušenosti získané v rámci cvičení, i studium obrazových publikací. Dostupnou publikací je Pazourek, J., Votrubová, O.: Atlas of Plant Anatomy. Na výše uvedených webových stránkách rovněž postupně vzniká obrazový atlas.

CO JE ROSTLINA?

Chceme-li se zabývat určitým oborem, měli bychom si ujasnit, co je jeho náplní a jakými objekty se zabývá. V tomto případě se budeme zabývat oborem anatomie a objektem našeho zájmu budou rostliny.

Definovat co je rostlina se může zdát na první pohled snadné. Jako s mnohými výrazy, které jsou běžně používány a které jsou na první pohled jasné, i s výrazem rostlina však nastane problém, má-li být definován přesně. Mnozí laikové si pod pojmem rostlina představí organismy s kořeny, stonky a listy – pro biologa ale situace není tak jednoduchá.

Podíváme-li se na různé systémy klasifikace organismů, které se vyvíjejí už od dob, kdy Carl von Linné v roce 1753 vytvořil základy prvního klasifikačního systému rostlin v díle *Species Plantarum* (Rostlinné druhy), uvidíme, že rozdíly mezi nimi a tudíž i rozdíly mezi tím, kam řadit rostliny, jsou značné. Na rozdíl od systémů, které jsou umělé, využívající především morfologické znaky, jako byl ten první Linnéův, se stále více prosazují systémy přirozené, které odrážejí evoluční vztahy mezi organismy. Přes veškeré pokroky, dané především molekulárně biologickými a biochemickými přístupy spolu se studiem struktury a ultrastruktury organismů a jejich buněk, dodnes existují nejasnosti a není zcela jednotný názor na zařazení některých organismů. Podívejme se alespoň ve stručnosti na některá možná zařazení rostlin do klasifikačních systémů.

Základní vlastností rostlin je bezesporu způsob jejich výživy. Rostliny jsou fotoautotrofní, to znamená, že jejich živinami jsou jednoduché anorganické látky (oxid uhličitý, voda, ionty solí jako dusičnany, fosforečnany a další), které rostliny přeměňují na organické látky a využívají k tomu světelnou energii. Nicméně jakmile začneme uvažovat, které organismy jsou fotoautotrofní, začnou se objevovat problémy. Fotoautotrofní jsou také např. sinice nebo některé jiné bakterie, které mají prokaryotní typ buňky, zatímco všechny ostatní fotosyntetizující, fotoautotrofní, organismy mají typ buňky eukaryotní. Rozdíl mezi prokaryotním a eukaryotním organismem je obrovský a je jasné, že prokaryotní fotosyntetizující organismy nelze zařadit mezi rostliny.

Ještě relativně nedávno se používalo členění na Prokaryota a Eukaryota, přičemž Eukaryota se dále členila na živočichy (Animalia), rostliny (Plantae) a houby (Fungi). Podle tohoto členění se pak jako rostliny daly označit všechny fotoautotrofní organismy s eukaryotním typem buňky.

Poněkud jiné členění bylo navrženo v tzv. systému 5 říší, který byl dlouhá léta populární a dodnes je v některých učebnicích používán. Podle tohoto členění existuje 5 říší: Monera, Protista, Plantae, Animalia a Fungi. Říše Monera zahrnuje všechny prokaryotní organismy. Říše Protista měla zahrnovat jednobuněčné organismy s eukaryotním typem buňky – tím se zdůrazňovalo, že jednobuněčnost je svým způsobem zvláštní typ organizace. Nicméně zde se ukázaly nedostatky tohoto systému. Mezi různými skupinami řas bylo totiž obtížné rozdělit jednobuněčné organismy a organismy s jednoduchou vícebuněčnou stélkou a někteří biologové začali i tyto jednoduché vícebuněčné organismy řadit mezi Protista.

Další výzkumy ukázaly, že ani skupina prokaryotních organismů není jednotná. Na základě především fylogenetických analýz konzervovaných sekvencí DNA se ukázalo, že ve skupině prokaryotních organismů lze odlišit dvě dosti vzdálené podskupiny. Ta první označovaná jako Bacteria nebo Eubacteria zahrnuje i fotoautotrofní prokaryotní organismy. Ta druhá, označovaná jako Archaea je sice také prokaryotní, ale od první skupiny se liší řadou morfologických i biochemických charakteristik. Patří sem především organismy adaptované na život v extrémních podmínkách jako jsou např. horké prameny nebo extrémně slané nádrže. Z fylogenetických studií vyplývá, že mají mnoho společného s eukaryotními organismy, které jsou označovány jako Eukarya. Podle těchto objevů bylo navrženo členění organismů do tří skupin – Bacteria, Archaea a Eukarya, k nimž patří i rostliny.

Rovněž pohled na eukaryotní organismy schopné fotosyntézy prodělal a stále prodělavá změny. Skupina označovaná jako řasy se ukázala být velmi heterogenní a je otázkou, zda všechny řasy můžeme řadit mezi rostliny. Užitečné je spojení tzv. zelených řas a rostlin suchozemských, které se z nich v průběhu evoluce vyvinuly, do skupiny označované jako Viridiplantae nebo též Chlorobionta. Této skupině snad nepochybně náleží zařazení mezi rostliny. Ostatní skupiny řas (např. ruduchy, hnědé řasy) se od této skupiny méně nebo více odlišují a jejich řazení mezi rostliny je diskutabilní. Rozbor dnešních představ o klasifikaci řas by přesáhl možnosti tohoto kurzu. Zájemci o podrobnější znalosti je mohou najít např. na webových stránkách Katedry botaniky PřFUK (<http://botany.natur.cuni.cz/algo>) a Jihočeské univerzity (<http://www.sinicearasy.cz>) .

Tento učební text se bude zabývat především organismy, které nesporně mezi rostliny patří, tj. rostlinami cévnatými. Nicméně tam, kde to bude potřebné, bude poukázáno i na některé charakteristiky jiných rostlin, především mechorostů a zelených řas.

ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY FOTOAUTOTROFNÍCH ORGANISMŮ

Fotoautotrofní prokaryotní organismy

Nejdůležitější v této skupině organismů jsou sinice (Cyanobacteria). Jsou to aerobní organismy, u nichž probíhá fotosyntéza způsobem obdobným jako u typických rostlin. Základním pigmentem důležitým pro fotosyntézu je chlorofyl *a*; zdrojem elektronů pro redukci oxidu uhličitého je voda; při fotosyntéze je tak uvolňován kyslík (oxygenní fotosyntéza). Kromě chlorofylu *a* obsahují sinice ještě karoteny a barviva skupiny fykobilinů (zejména modrozelené fykocyaniny a v menší míře červené fykoerythrin). Sinice jsou nejčastěji jednobuněčné organismy nebo organismy s jednoduchou vláknitou stélkou. Mnohé z nich mají, stejně jako některé další typy bakterií, schopnost fixovat vzdušný dusík.

Sinice žijí nejenom volně, ale poměrně často i v symbiózách, nejčastěji s houbami v některých lišejnících, ale i s některými mechorosty a občas i se semennými rostlinami (např. s cykasy).

Mezi prokaryotní organismy příbuzné sinicím, s oxygenní fotosyntézou, patří ještě malá skupina Prochlorophyta tvořená několika málo druhy. Jsou to prokaryotní jednobuněčné i vláknité organismy. Mají složení pigmentů podobné pravým rostlinám; obsahují chlorofyl *a* a *b*, neobsahují fykobiliny a jejich zásobní látka je škrob podobný škrobu zelených řas. Tyto organismy žijí volně v mořích, ale jsou známy i jako symbionti v zažívacím traktu mořských sumek.

Mezi prokaryotními organismy se vyskytují ještě fotoautotrofní zelené a purpurové sírné bakterie. Ty se ale výrazně od ostatních fotosyntetizujících organismů liší. V první řadě jsou to organismy anaerobní. Jejich hlavní fotosyntetické pigmenty (bakteriochlorofyly) se odlišují od pigmentů ostatních fotoautotrofů. Zdrojem elektronů pro redukci oxidu uhličitého není voda, ale většinou sulfan (H_2S), jehož oxidací často vzniká síra.

Fotoautotrofní eukaryotní organismy

Viridiplantae (Chlorobionta)

Tato skupina zahrnuje zelené řasy a suchozemské rostliny, které se ze zelených řas v průběhu evoluce vyvinuly. Zatímco zelené řasy jsou převážně vodní organismy, suchozemské rostliny opustily vodní prostředí a přizpůsobily se životu na suché zemi. Patří mezi ně mechorosty, kaprad'orosty a rostliny semenné. S přechodem na souš vznikaly složitější typy související s rozdělením funkcí mezi jednotlivé části organismu.

Společnými charakteristikami skupiny Viridiplantae je přítomnost chlorofylu *a*, chlorofylu *b* a karotenoidů v chloroplastech, které jsou ohraničené dvěma membránami a o kterých se předpokládá, že vznikly primární endosymbiózou z endosymbionta typu dnešní sinice. Jejich hlavní zásobní látkou je obvykle škrob a jejich stěna obsahuje celulosu.

Zelené řasy (*Chlorophyta*)

Jsou to jak jednobuněčné organismy (např. *Chlorella*), tak i organismy tvořící kolonie (např. řetízovka, *Scenedesmus*), jednoduchá vlákna (např. kadeřnatka, *Ulothrix*, šroubatka, *Spirogyra*, jařmatka, *Zygnema*), větvená vlákna (např. žabí vlas, *Cladophora*) nebo pletivné stélky (např. mořský salát, *Ulva lactuca*, lazucha, *Caulerpa*). Nejsložitější stélky jsou rozlišeny na části připomínající orgány cévnatých rostlin; jsou k podkladu přichyceny rhizoidy a mají větvenou osní část stélky. Tento typ organizace mají parožnatky, Characeae (např. *Chara*, *Nitella*), které jsou fylogeneticky nejbližší suchozemským rostlinám.

Embryophyta

U suchozemských rostlin se zygota po oplození vyvíjí na mateřské rostlině. Vznikající mnohobuněčný útvar je v této časně fázi vývoje označován jako embryo; to je vyživováno mateřskou rostlinou. Proto jsou tyto rostliny označovány souborně jako Embryophyta.

Mechorosty (*Bryophyta*)

Mechorosty jsou první skupinou rostlin s výraznou převahou suchozemských (terestrických) forem. Jsou to většinou drobné rostliny, jejichž výška jen zřídka přesahuje několik centimetrů. Žijí často ve vlhkém prostředí, neboť jejich životní cyklus je závislý na vodním prostředí. Pro pohyb spermatozoidů (pohyblivých samčích gamet) k vaječné buňce (samičí gametě) je zapotřebí voda. Po oplození vznikne jednoduché embryo, které se obvykle okamžitě vyvíjí v dospělý sporofyt. Mechorosty nejsou členěny na orgány (kořen, stonek a list). Jejich stélky mohou být relativně málo členěné, avšak stélky některých mechů jsou členěny na fyloidy, kauloidy a rhizoidy, které připomínají listy, stonky a kořeny. Fyloidy, kauloidy a rhizoidy jsou však součástí gametofytu a nikoliv sporofytu, jako je tomu u typických orgánů ostatních Embryophyt. U mechorostů nejsou typická vodivá pletiva, jaká známe u cévnatých rostlin. Někdy se však u mechů i u některých jatrovek vyskytují pletiva sloužící transportu látek. Někdy se jedná jen o provazce protáhlých buněk. Jindy však, např. u ploníků, se vyskytují pletiva připomínající vodivá pletiva cévnatých rostlin. Obsahují tzv. hydroidy, tenkostěnné, protáhlé, nelignifikované buňky specializované pro transport vody, které jsou považovány za útvary podobné tracheidám cévnatých rostlin. Dále obsahují tenkostěnné leptoidy, specializované na transport asimilátů. Mechorosty jsou rostliny poikilohydrické, které neudržují stálý obsah vody a mohou přežívat období sucha ve stavu anabiózy.

Rostliny cévnaté (*Tracheophyta*)

Představují suchozemskou skupinu rostlin (pomineme-li skutečnost, že některé druhy se zpětně vrátily do vodního prostředí), která je charakteristická dobře vyvinutými vodivými pletivy (odtud název cévnaté). Patří mezi ně cévnaté rostliny výtrusné (kaprad'orosty, Pteridophyta) a rostliny semenné (Spermatophyta). Ty se dále člení na nahosemenné (Gymnospermae) a krytosemenné (Magnoliophyta). Na rozdíl od mechorostů jsou jejich těla představována sporofytem. Gametofyt je podstatně méně vyvinut; může být samostatný (u cévnatých výtrusných) nebo se vyvíjet na sporofytu (u semenných rostlin). Vzhledem k tomu, že cévnaté rostliny jsou hlavními organismy, o nichž tento učební text pojednává, popíšeme je podrobněji.

Stavba jejich těla se postupně vyvíjela do dnešní podoby. Fotoautotrofie, díky níž jsou rostliny důležitými primárními producenty organické hmoty, byla nesporně tou stěžejní vlastností, která jejich vývoj ovlivňovala a od níž lze odvodit celou řadu dalších charakteristik rostlin. Vzhledem k tomu, že živiny přijímané rostlinami jsou v atmosféře a v půdě více méně všudypřítomné, vyvinuly se v nepohyblivé organismy, přesněji řečeno v organismy neschopné lokomočních pohybů, tedy pohybů z místa na místo.

Vzhledem k tomu, že rostlinné živiny jsou sice v prostředí rostlin všudypřítomné, na druhou stranu ale většínou ve velmi nízkých množstvích (např. 0,038 % oxidu uhličitého v atmosféře, obsah mnohých živin v půdě), vznikla rostlinná těla s velkým vnějším povrchem, který umožňuje přijímat dostatečná množství živin.

Dalším důležitým znakem, který se u rostlin postupně vyvinul, je charakteristický typ růstu, tzv. otevřený nebo též neukončený typ růstu. Ten je dán existencí dělivých pletiv (meristémů), která se nacházejí v určitých oblastech rostlin (např. na vrcholech kořenů či prýtů). Dělivá pletiva jsou schopna během celého života rostliny produkovat nejen nové buňky a nová pletiva, ale i celé nové orgány. Neukončený růst částečně nahrazuje nepohyblivost; růstem se rostliny dostávají svými kořeny do nových oblastí půdy, rostou směrem ke zdroji světla apod.

S existencí meristémů souvisí i vyšší vývojová plasticita rostlin; ta je následkem růstových odpovědí rostlin na změny faktorů prostředí. Výsledně lze říci, že konečný tvar rostlinného těla je podstatně více ovlivnitelný vnějšími podmínkami, než je tomu u živočichů. Rostlinné organismy mají také výrazně vyšší schopnost regenerace; to opět souvisí s jejich nepohyblivostí a s tím spojenou nutností vyrovnat se přímo na stanovišti se všemi vlivy, včetně vlivů nepříznivých.

Přechod z vodního prostředí na suchou zem byl v evoluci rostlin důležitým přelomem. Pokud se rostliny vyvíjely ve vodním prostředí, byly obklopené vodou a mohly přijímat jak vodu, tak v ní rozpuštěné minerální látky celým povrchem těla a zároveň byly vodou nadnášeny. Po přechodu na souš se rostliny musely vyrovnat se změnami prostředí. Jediným zdrojem vody a minerálních živin se stala půda a u rostlin se postupně vyvinuly kořeny coby podzemní orgány, které se specializovaly na příjem vody a minerálních látek z půdy a zároveň k ukotvení rostliny v půdě. Na druhém pólu rostliny se pak vyvinuly listy – tedy orgány, specializované na fotosyntézu a transpiraci. Třetím orgánem rostliny se stal stonek, jehož hlavní funkcí je spojení kořenů a listů, transport látek mezi nimi a vynášení listů do vhodné polohy pro fotosyntézu. Rostlinné organismy mají tedy pouze tři orgány: kořen, stonek a list. Ty zajišťují jak vegetativní funkce, tj. základní funkce nutné pro život a růst, tak i reprodukci, protože orgány spojené s reprodukcí (např. květy krytosemenných rostlin) vznikly v evoluci modifikací vegetativních orgánů, především listů.

Spolu s vnější diferenciací orgánů probíhala i jejich vnitřní diferenciaci; vznikala specializovaná pletiva. Pro přizpůsobení se životu na suché zemi měl v první řadě význam vznik pletiv krycích, která u kořenů umožňují příjem vody a živin z půdy, u nadzemních orgánů však zabraňují vysychání rostliny nekontrolovatelným výdejem vody do relativně suché atmosféry. Rozrůznění rostlin na orgány vedlo nezbytně i k vytvoření vodivých pletiv, která zajišťují transport dostatečného množství látek dostatečnou rychlostí mezi orgány.

Dalším důležitým předpokladem úspěšného osídlení souše byl vznik mechanických pletiv; ta jsou nutná pro existenci vzpřímených forem rostlin v prostředí, kde nejsou nadnášeny vodou.

Na rozdíl od mechorostů jsou cévnaté rostliny (až na několik málo výjimek) homoiohydričné, tj. udržují více méně stálý obsah vody. U cévnatých rostlin výtrusných (Pteridophyta) je ještě zřetelná vazba na vodní prostředí, protože pohyb bičíkatých spermatozoidů k vaječné buňce je, stejně jako u mechorostů, vázán na vodu. Tato závislost na vodě v kritickém období života omezuje rozšíření těchto rostlin. Nejdokonaleji jsou suchozemskému životu přizpůsobeny rostliny semenné (Spermatophyta). K obecným znakům cévnatých rostlin u nich přibýlo ještě oproštění od vodního prostředí během oplození; samčí pohlavní buňky nejsou pohyblivé a jsou přenášeny uvnitř pylové láčky. Dalším důležitým znakem semenných rostlin byl vznik semena jakožto mnohobuněčné rozmnožovací částice obsahující a chránící základ nové rostliny (zárodek neboli embryo). Semeno je schopno přežívat i nepříznivé období (zima, sucho aj.) a u krytosemenných rostlin je navíc chráněno uvnitř plodu.

Ostatní fotoautotrofní eukaryotní organismy

Dalšími fotoautotrofními organismy jsou různé skupiny řas, převážně vodních organismů (sladkovodních i mořských), které mohou být jednobuněčné nebo mohou mít vícebuněčnou stélku různého typu a složitosti. Jednotlivé skupiny řas se od sebe často velmi liší. V některých skupinách se vedle sebe nacházejí zástupci schopní fotoautotrofní i heterotrofní výživy (např. krásnoočka, Euglenophyta). Pokud jsou fotoautotrofní, mají obdobný typ fotosyntézy jako cévnaté rostliny a sinice, tj. využívají jako zdroje elektronů vodu a produkují kyslík.

Významnými skupinami jsou ruduchy (Rhodophyta) a hnědé řasy (Chromophyta). Ruduchy jsou převážně mořské řasy, nejčastěji vícebuněčné, zřídka jednobuněčné. Jejich plastidy vznikly, stejně jako u zelených řas, primární endosymbiózou a jsou tudíž také ohraničeny dvěma membránami. Kromě chlorofylu *a* obsahují chlorofyl *d* a stejně jako sinice barviva typu fykobilinů.

Hnědé řasy jsou vodní organismy od jednobuněčných až po organismy s obrovskými stélkami např. u mořských hnědých řas. Patří mezi ně např. jednobuněčné rozsivky nebo chaluhy s obrovskými stélkami, např. chaluha, *Fucus*, bobulák, *Macrocystis*, hroznovice,