

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“ disciplin. 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 disciplinami 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 disciplinami. 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. Rozrušení 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 fotoautotrofni i heterotrofni výživy (např. krásnoočka, Euglenophyta). Pokud jsou fotoautotrofni, 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,

Sargassum. Jejich plastidy obsahují chlorofyl *a* a *c*, dále xanthofyly (především fukoxanthin) a mají obvykle 4 povrchové membrány, neboť vznikly sekundární endosymbiózou, tedy pohlcením eukaryotní buňky (pravděpodobně příbuzné dnešním ruduchám), která sama už vznikla primární endosymbiózou.

ANATOMIE ROSTLIN – HISTORIE A ZÁKLADNÍ METODY STUDIA

Anatomie rostlin je botanickou disciplínou s velmi dlouhou historií; je součástí obecné botaniky, která se zabývá tím, co je rostlinám společného. Anatomie se zabývá vnitřní stavbou rostlinných těl. Je to především nauka o pletivech (histologie) a o jejich uspořádání v rostlinných orgánech, ale obvykle zahrnuje i základy cytologie, tedy nauky o struktuře buněk. Název pochází od řeckého *anatemno* (řežu, rozřezávám).

Vznik anatomie byl podmíněn objevem mikroskopu, neboli složeného drobnohledu. Jeho objev je datován do období kolem roku 1590 a za jeho objevitele jsou považováni Johannes a Zacharias Janssenové z Holandska. Světelný mikroskop představuje dodnes jeden ze základních nástrojů biologů a je nezbytný pro studia cytologická i anatomická.

Základ rostlinné anatomie v dnešním slova smyslu bývá kladen do 2. poloviny 17. století. První důležitou publikací tohoto oboru byla *Micrographia*, vydaná v Anglii v roce 1665. Jejím autorem byl anglický fyzik Robert Hooke, pracovník Královské společnosti v Londýně. Ten si sestavil vlastní mikroskop, s jehož pomocí pozoroval nejružnější objekty, včetně objektů botanických. Svá pozorování, především ve formě přesných kreseb, uveřejnil ve výše zmíněné publikaci. Je autorem jednoho z nejdůležitějších termínů biologie – termínu buňka. Ten vznikl na základě jeho pozorování řezu korkem, který mu připomínal komůrky – buňky včelího plástu. Hooke ve skutečnosti pozoroval pouze stěny mrtvých buněk; nikdo v té době neuvažoval o tom, že buňky by mohly být živé. Nicméně už Hooke si všiml, že v některých buňkách lze pozorovat cosi, co označil jako šťávu. Hooke byl samozřejmě limitován jak tehdejšími přístupy k poznání, tak i kvalitou tehdejších mikroskopů; jeho mikroskop zvětšoval pouze třicetkrát.

Další významnou postavou byl Marcello Malpighi – italský vědec a lékař, který svá mikroskopická pozorování rostlinných i živočišných objektů shrnul v díle *Opera omnia*, které vyšlo v letech 1671 a 1687. V letech 1675 až 1679 vydal samostatně část věnovanou rostlinám nazvanou *Anatome plantarum*. Bývá považován za zakladatele rostlinné anatomie.

Téměř současně vyšla podobná publikace, jejímž autorem byl Nehemiah Grew, anglický lékař a botanik. Kniha vyšla v roce 1682 pod názvem *Anatomy of Plants*. Grew je autorem termínu pletiva. Stejně jako jeho současníci považoval za důležité především buněčné stěny.

Velkou postavou tohoto období byl i Antonius van Leeuwenhoek, holandský obchodník, který svůj volný čas věnoval navrhování a zhotovování mikroskopů, které významně překonávaly obvyklou kvalitu tehdejších mikroskopů. Dosahoval jimi až třistanásobného zvětšení. Jak tvrdí historie, pozoroval jimi vše, co mu přišlo pod ruku. Veškerá svá pozorování přesně dokumentoval precizními kresbami a posílal do Londýna Královské společnosti. Byl první, kdo pozoroval jednotlivé živé buňky (krvinky, spermie), ale především různé jednobuněčné organismy; první v roce 1683 pozoroval bakterie.

Důležité pro další rozvoj anatomie rostlin bylo i objevení sexuality rostlin; objevil ji v roce 1694 Rudolph Jacob Camerarius.

Další rozvoj anatomie byl limitován jednak kvalitou mikroskopů, ale také převážně popisným charakterem tehdejší vědy. Uplynulo více než jedno století bez objevů natolik významných, aby bylo nutno se o nich zmínovat. Za zmínku však stojí rok 1753, kdy Linné vydává své dílo *Species Plantarum*, které dává základ třídění rostlinných organismů. Další významné období rozvoje nastalo počátkem 19. století. Podíl na tom mělo jednak vylepšení konstrukce mikroskopů s vyšší rozlišovací schopností, která dosáhla v té době rozlišení okolo 1 μm , ale i postupné prosazování experimentálních přístupů ve vědě.

Takto vybaven, publikoval anglický botanik Robert Brown ve 30. letech 19. století svá pozorování popisující buněčná jádra u orchidejí a později i u dalších objektů, především rostlinných; jádra pak byla prokázána jako pravidelná součást všech buněk – rostlinných i živočišných. A v roce 1835 Hugo von Mohl pozoroval dělení rostlinných buněk. Tentýž badatel pak o něco později vyslovil domněnku, že vlastní živá hmota je uvnitř

buněk a použil pro ni termínu protoplasma (1846), termínu, který jako první použil český fyziolog Jan Evangelista Purkyně pro živou hmotu živočišných zárodků. Světelná mikroskopie také odhalila plastidy a později i mitochondrie.

Ve 30. letech 19. století byly položeny základy buněčné teorie, o jejíž formulování se zasloužili botanik Matthias Schleiden a zoolog Theodor Schwann. Schleiden vyslovil roku 1838 názor, že rostliny jsou složeny z buněk a že rostlina vzniká z jediné buňky. Podobná pozorování pro živočišné organismy záhy uveřejnil Schwann. Tím byly odstraněny názory, že rostlinné a živočišné organismy se od sebe zcela zásadně liší. Na základě práce těchto dvou vědců byl položen základ buněčné teorie dvěma základními postuláty.

1. Všechny organismy se skládají z jedné nebo více buněk.
2. Buňka je základní strukturní jednotkou všech organismů.

V té době ještě převládal názor, že buňky vznikají nejen z buněk, ale i z mezibuněčné hmoty. K formulování správných představ pak přispěli vědci, kteří sledovali buněčné dělení (Unger, Nägeli), takže asi za dvacet let mohla být k buněčné teorii přidána třetí věta, formulovaná Rudolfem Virchowem

3. Všechny buňky vznikají pouze z preexistujících buněk (v původním latinském znění „Omnis cellula e cellula“)

Nicméně konečné potvrzení toho, že v současné době buňky nevznikají nově, ale pouze z buněk preexistujících, přísluší až 60. létům 19. století díky pokusům Louise Pasteura.

V roce 1879 Anton de Bary vyslovuje myšlenku, která se stává základem organismální teorie. Ta zdůrazňuje, že ačkoli jsou buňky nepochybně základní strukturní jednotkou rostlin, jsou podřízeny celému organismu. Původní de Baryho myšlenka ve volném překladu zní: „Je to rostlina, která tvoří buňky a ne buňky, které tvoří rostlinu“.

Další důležité objevy anatomie pocházejí z druhé poloviny 19. století. V roce 1858 Nägeli navrhl rozdělení pletiv na dělivá a trvalá a krátce poté Julius von Sachs (německý vědec, který pracoval určitou dobu v Praze) navrhl dodnes používané členění trvalých rostlinných pletiv na pletiva krycí, základní a vodivá.

V roce 1873 Eduard Strassburger objevuje a popisuje na rostlinných buňkách mitosu a asi o 10 let později popisuje splývání jader při oplození u semenných rostlin. Zhruba v téže době si Schwendener začíná systematicky všimnout vztahů mezi tvarem, rozložením a funkcí pletiva a připravuje tak půdu pro vznik fyziologické anatomie. V této oblasti pak vynikl zejména Gottlieb Haberlandt, který bývá považován za otce fyziologické anatomie, zabývající se především vztahy mezi strukturou a funkcí. V roce 1884 vyšla jeho známá kniha *Physiologische Pflanzenanatomie* (Fyziologická anatomie rostlin). V tomto období, tedy na přelomu 19. a 20. století, byla v hlavních rysech popsána stavba těl rostlin. Přelom 19. a 20. století je i obdobím, kdy do světa vědy vstupuje významný český cytolog a anatom Bohumil Němec, který je znám především jako experimentální cytolog a asi nejvíce se do rozvoje vědy zapsal formulováním statolitové teorie, která vysvětluje reakce rostlin na působení gravitace; publikoval ji na přelomu 19. a 20. století, takřka současně s Haberlandtem.

Koncem 19. století byla také poprvé pracemi Schimpera a Mereškovského formulována endosymbiotická teorie o původu plastidů.

Obecně ve druhé polovině devatenáctého století dochází k velkému pokroku rostlinné (a nejen rostlinné) cytologie a anatomie díky výrazným vylepšením konstrukce mikroskopů (např. výrobou objektivů s větším zvětšením a lepšími korekcemi optických vad). Toto období je spojeno zejména se jmény Abbé a Zeiss. Abbé studoval vlivy ohybu světla na vytváření obrazu v mikroskopu – jeho studie pak umožnily vylepšovat konstrukci mikroskopů. Na základě jeho prací pak Zeiss vyrobil série čoček, které umožnily dojít až k hraničním rozlišovací schopnosti světelného mikroskopu. Ta je polovinou vlnové délky světla, která se pohybuje mezi 400 až 700 nm; rozlišovací schopnost světelného mikroskopu je tedy 200 až 350 nm, což je 0,2 až 0,35 μm . Zeissovo jméno dodnes nese jedna z nejvýznamnějších továren na výrobu mikroskopů.

Dále byly vyvinuty techniky přípravy tenkých řezů objekty pomocí speciálních přístrojů – mikrotomů, došlo k rozvoji technik zalévání objektů do pevných medií (zpočátku hlavně do parafinu) pro lepší možnost jejich řezání a k rozvoji základních barvicích postupů v histologii a cytologii, z nichž mnohé se používají dodnes.

Konec 19. a zejména pak začátek 20. století jsou ve znamení rozvoje chemie, biochemie a fyziky. Začínají se rozvíjet histochemické metody, což vede ke zkoumání chemismu stavby organismů, začínají se využívat X paprsky a radioizotopy. Ve 30. letech byl položen základ konstrukci transmisního elektronového mikroskopu (E. Ruska, Německo) využívajícího proudu elektronů místo světelných paprsků. Obrovský rozvoj jeho využití v biologii však spadá až do počátku 50. let, kdy byly rozpracovány základní, dodnes používané techniky elektronové mikroskopie. Toto období je spojeno především se jmény Palade, Porter a Sjöstrand. Rozlišovací schopnost se tak významně posunula a postupně se přibližovala teoretické hranici rozlišení, která je o tři řády nižší než je tomu u světelného mikroskopu, tedy 0,2 nm, takže v elektronovém mikroskopu můžeme pozorovat i některé velké molekuly. Elektronová mikroskopie má však nevýhody v tom, že neumožňuje pozorovat živé buňky a vznikající obraz není barevný. Krom toho je nutno si uvědomit, že k pozorování je většinou nutné mít ultratenké řezy objektem, takže ani buňka, ani její jednotlivé větší součásti nemohou být viděny celé.

V rozvoji cytologie a anatomie se dále uplatňovaly i nové postupy světelné mikroskopie, jako polarizace, fázový kontrast apod., které umožňovaly lepší pozorování živých a nebarvených buněk. V oblasti rozvoje elektronové mikroskopie pak bylo významným krokem zavedení skenovacího (rastrovacího, řádkovacího) elektronového mikroskopu, který začal být komerčně vyráběn od poloviny šedesátých let minulého století. Tento typ mikroskopu je schopen vytvářet trojrozměrné obrazy s velkou hloubkou ostrosti.

Období počátku druhé poloviny minulého století bylo dále poznamenáno významným rozvojem biochemie, biofyziky, fyziologie. Spolu s rozvojem mikroskopických technik se objevy v těchto oblastech odrazily i v rozvoji buněčné biologie a anatomie. Rozvoj zejména buněčné biologie, ale do značné míry i anatomie, je podmíněn propojením různých přístupů studia. Vedle mikroskopických metod se do studia zapojily metody biochemicko – fyziologické. Jejich pomocí byly studovány děje jako fermentace, glykolýza atp. původně bez propojení se strukturou pletiv a buněk. Později však díky metodám jako je např. separace jednotlivých buněčných složek, využití radioizotopů k lokalizaci např. produktů enzymatických reakcí atp. došlo k propojení těchto původně nezávislých přístupů, které umožnily lokalizovat, kde v organismu a kde v buňce určité děje probíhají či kde se vyskytují určité typy látek. Objevily se další metodické možnosti, zejména obrovské spektrum fluorescenčních metod – nová fluorescenční barviva umožnila přesnou lokalizaci řady látek v pletivech i v buňkách, a to i látek přítomných ve velmi malých množstvích díky vysoké citlivosti těchto metod. Fluorescenční mikroskopie využívá toho, že některé látky mohou absorbovat světlo určité vlnové délky a vyzařovat světlo jiné, větší vlnové délky. Některé takové látky jsou přítomny přímo v buňkách (např. chlorofyl nebo fenolické látky). Jindy se používá látek, které se specificky vážou na určité molekuly v buňkách (např. DNA) a umožňují tak jejich lokalizaci. Spolu s rozvojem imunologie se začaly používat postupy, kdy fluorescenční barvivo lze navázat na molekuly protilátek. Těmito tzv. imunocytochemickými a imunohistochemickými postupy lze přímo na řezech velmi specificky lokalizovat určité látky (zejména bílkoviny či polysacharidy). Podobné metody pak začala používat i elektronová mikroskopie, kde se na molekuly protilátek místo fluorescenčních barviv vážou např. koloidní zrnka zlata, která se pak v preparátu jeví jako černé tečky. Dále se rozvinuly další metody světelné mikroskopie jako DIC (diferenciální interferenční mikroskopie) a konfokální laserová mikroskopie. Ta poslední umožňuje pomocí laserového paprsku přesně zacílit na jednu optickou rovinu a získat tak velmi jasné a ostré snímky jednotlivých optických rovin, které je navíc možno pomocí počítačových technik skládat a získat trojrozměrné obrazy struktur. Jedná se vlastně o jakousi tomografii v mikroskopických rozměrech. V poslední době je významné i používání digitální video mikroskopie. Rozvoj počítačové techniky dále umožnil ukládání velkého množství obrazů, které pak mohou být počítačově zpracovávány. Díky počítačové technice byly vyvinuty i různé metody analýzy obrazu, které významně posunuly možnosti zejména kvantitativních měření – zjišťování počtu struktur, měření délek, ploch a objemů atd., ale i rekonstrukce tvarů buněk a jejich uspořádání v pletivech. S dalším rozvojem technologií se objevují stále nové techniky, které umožňují nové objevy.

Další přístup, který znamenal obrovský rozvoj našich znalostí je přístup genetický. V 60. letech 19. století publikoval Gregor Mendel svoji stěžejní práci o zákonech dědičnosti, na niž pak v rychlém sledu navázalo objevení DNA Friedrichem Miescherem, objevení chromosomů (Walther Flemming, 1880) a později, kolem roku 1900 byla formulována chromosomální teorie dědičnosti. Feulgenem byla objevena první metoda barvení

DNA umožňující její specifickou detekci a postupně došlo k propojení s buněčnou biologií a s anatomií. Byla objevena struktura DNA (Watson a Crick, 1952), rozluštěn genetický kód a posléze i sekvenován genom dnes už několika organismů. Prvními byly organismy prokaryotní (např. bakterie *Haemophilus influenzae* či archebakterie *Metanococcus jannaschii*), u nichž bylo zjištění sekvence jednodušší díky výrazně menší velikosti genomu. Později byly zcela nebo z větší části sekvenovány i genomy organismů eukaryotních, jako např. kvasinky *Saccharomyces cerevisiae*, z rostlin pak huseníčku rolního, *Arabidopsis thaliana* (koncem roku 2000), a rýže seté (*Oryza sativa*). Pokroky byly udělány i v sekvenování lidského genomu. Sekvence genomů pokračuje a stále přibývají a budou přibývat další organismy, jejichž genom bude částečně nebo zcela osekvenován. Díky těmto znalostem pak mohly nastoupit metody různých cílených manipulací s genetickým kódem. Záhy se podařilo (zhruba v 70. letech minulého století) vypracovat metody rekombinace DNA. Tyto metody umožňují vystříhnout segment DNA a spojit s jiným úsekem DNA. To umožnilo izolovat a studovat geny prokaryotních i eukaryotních organismů. Začalo se rozvíjet genetické inženýrství. Vnesení cizích genů umožnilo v řadě případů vytvořit transgenní organismy s pozměněnými vlastnostmi. Tyto organismy mohou mít i praktické využití. Velmi známou transgenní rostlinou je tzv. zlatá rýže s vneseným genem pro syntézu β karotenu, prekursoru vitamínu A. Název zlatá rýže je pak odvozen od žluté barvy obilky. Do této rostliny se vkládají značné naděje v prevenci onemocnění dětí ve třetím světě, kde avitaminóza často vede k slepotě. Jinou prakticky využitelnou možností je vnesení genu z půdní bakterie *Bacillus thuringiensis*. Tento Bt gen kóduje protein, který je toxický pro mnohé druhy hmyzu a může tak chránit hospodářsky významné rostliny (např. kukuřici nebo bavlník) proti hmyzím škůdcům bez nadměrného používání chemických ochranných prostředků, pesticidů. Kromě těchto praktických možností využití jsou geneticky modifikované organismy a další techniky molekulární biologie mocným nástrojem poznání, umožňujícím např. pochopit, jak je regulován vývoj organismu, co způsobuje poruchy normálního vývoje atp. Na druhé straně však tyto metody vzbuzují obavy z následků, pokud by se vymkly kontrole.

Z českých vědců k rozvoji anatomie přispěl především prof. Bohumil Němec. Byl vynikající a světově uznávanou osobností rostlinné experimentální cytologie a anatomie. Pracoval v oboru zejména v první polovině minulého století; napsal řadu monografií a učebnic, ze kterých je možno čerpat dodnes. Ve světě je dodnes známý a citovaný především díky již zmíněnému objevu tzv. statolitového škrobu a jeho vztahu ke gravitropické odpovědi rostlin, zejména jejich kořenů. Jeho žákem byl prof. Silvestr Prát, který sice pracoval především v oblasti rostlinné fyziologie, nicméně zanechal po sobě velmi instruktivní příručku pro ty, kdo by chtěli začít s poznáváním stavby rostlin, knížku *Rostlina pod drobnohledem*. Dalším žákem prof. Němce byl prof. Jaroslav Pazourek. Ten přispěl k rozvoji české anatomie zejména zaváděním kvantitativních metod do rostlinné anatomie. Jeho významným přínosem byla i řada metodických publikací, např. příručka *Pracujeme s mikroskopem*. Během svého života nashromáždil množství krásných mikrofotografií, které se staly základem pro vydání knihy *Atlas of Plant Anatomy* a ke konci života napsal krásnou populárně vědeckou knížku *Vyprávění o rostlinách*. Na Slovensku byla žačkou prof. Němce významná představitelka rostlinné anatomie Dr. Mária Luxová, která napsala učebnici *Anatomie a morfologie rostlin*, která vyšla v roce 1965 a která byla ve své době velmi pokroková a je možné z ní mnohé čerpat dodnes.

Rozvoj poznání buňky byl zpočátku mnohem výraznější v oblasti rostlinné cytologie – viz např. první pozorování buněk či buněčných jader. Rostlinné buňky byly lépe pozorovatelné díky svému ohraničení buněčnými stěnami a asi i tím, že rostlinné buňky jsou větší než živočišné a že u rostlin se častěji vyskytují buňky přirozeně zbarvené. Později pak ale žezlo přejala živočišná buněčná biologie. Důvody byly asi zejména dva. V první řadě to byla stavba rostlinné buňky. Pevná buněčná stěna se ukázala být překážkou pro řadu postupů, ať už se jednalo o vnášení látek do buněk, rozbíjení buněk a získávání jejich jednotlivých částí atd. Rovněž vakuola, ve které jsou v rostlinných buňkách skladovány i různé toxické látky ovlivňovala negativně např. separaci neporušených a funkčních součástí buněk atp. Ovšem prioritní postavení nauky o živočišných buňkách bylo dáno i jasným zájmem především lékařského výzkumu. V posledních letech se nauka o rostlinné buňce opět velmi bouřlivě rozvíjí a díky novým metodám i přístupům v myšlení znalostí o rostlinných buňkách rychle přibývá.

Rovněž rostlinná anatomie měla svá období rozkvětu a útlumu. Po počátečním rozvoji, který s malými přestávkami trval do první poloviny minulého století, nastalo období útlumu anatomie. Ta byla dlouhou dobu