



Ekofyziologie vodních a mokřadních rostlin

(reakce rostliny na vnější podmínky)

Světelné podmínky pro rostliny

- Na vodní hladinu v létě dopadá až 1000 W.m^{-2}
- Průměrně za letní den dopadne 6 kWh.m^{-2}
- Na vypaření 1 litru vody se spotřebuje $0,7 \text{ kWh}$
- V našich podmínkách vyroste za rok (sušina.m^{-2}):
 - $0,5 \text{ kg}$ submerzních (ponořených) rostlin
 - $1\text{-}2 \text{ kg}$ emerzních (vzpřímených nad vodou) rostlin
- Spotřeba sluneční energie fotosyntézou na růst rostlin cca 1%

Světelné podmínky pro rostliny

- Sluneční záření – tři radiační složky
 - - ultrafialové záření (300-380 nm) cca 1-5 %
 - - fotosynteticky aktivní záření (PhAR) (380-770 nm) cca 47 %
 - - infračervené záření (770-3000 nm) cca 48 %
- Kvalita světla se směrem ke dnu mění vlivem selektivní absorpce jednotlivých složek slunečního spektra
- EXTINKCE - zadržený podíl světla
- TRANSMISE (propustnost) – podíl pronikajícího světla

HODNOTY EXTINKCE A PROPUSTNOSTI ČISTÉ VODY

Barva	Vlnová délka v nm	Extinkční koeficient	Absorbované světlo v % . m ⁻¹
-	800	1,87	84,6
červená	720	1,05	65,0
oranžová	613	0,25	22,2
žlutá	565	0,043	4,2
zelená	504	0,010	0,9
modrá	473	0,005	0,46
fialová	408	0,010	0,9
-	365	0,036	3,6

- Extinkční koeficient se skládá z koeficientu absorpce a koeficientu rozptylu
- V čistých vodách je nejméně absorbována fialová a modrozelená složka světelného spektra.

Světelné podmínky pro rostliny

- Měření množství sluneční energie pomocí ponorných čidel:
 - - pyranometrická (rozdíl teplot mezi černým a bílým tělískem)
 - - fotovoltaická (napětí křemíkového článku)
- Vyjádření sluneční energie v energetických hodnotách:
 - Watt (J.s^{-1}), Einstein (mol fotonů), Lux (svítivost – není dostatečně definováno)
- Pro srovnání lze použít tyto přibližné převody:
 - 100 W fotosynteticky aktivního záření je 400 μE
 - 1 lux odpovídá přibližně 0,003-0,004 W.m^{-2}

FOTOSYNTÉZA U PONOŘENÝCH VODNÍCH ROSTLIN

- Kompenzační bod fotosyntézy – fotosyntéza a dýchání je v rovnováze
- Výdej O_2 fotosyntézou u ponořených rostlin převládne nad dýcháním při světelné intenzitě okolo 1 W.m^{-2} (u suchozemských rostlin 2,5 až 20 W.m^{-2})
- Světelná intenzita nad cca 100 W.m^{-2} už nevyvolá zvýšení fotosyntézy u stínomilných rostlin
- Rychlost fotosyntézy u ponořených rostlin je obvykle 5-10x nižší než u terestrických rostlin
- Sinice rodu *Microcystis* je schopna žít v rozmezí světelného toku 1-100 klx, limitace světlem nastává nad 50 klx, optimální podmínky pro fotosyntézu 6-20 klx.

FOTOSYNTÉZA U PONOŘENÝCH VODNÍCH ROSTLIN

- Volný CO_2 ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3$) přijímají všechny druhy vodních rostlin
- Příjem CO_2 do listů prostou difuzí (závislý na koncentračním spádu)
- Sinice, řasy a několik vyšších ponořených rostlin využívají i HCO_3^-
- Příjem HCO_3^- je aktivním transportem (i proti koncentračnímu spádu)
- Jedním ze způsobů využití HCO_3^- je tzv. fotosyntéza polárních listů
- Probíhá u přibližně poloviny druhů vyšších ponořených rostlin v ČR
- Podstatou je vylučování H^+ iontů enzymem ATPázou na spodní straně listů (pH 4-5) a výtok OH^- iontů na horní straně listů (pH 10-11)
- Přeměnu HCO_3^- na CO_2 urychluje v buněčných stěnách enzym karbonátdehydratáza
- K vyrovnání elektroneutality buněk dochází také k příjmu K^+ a jiných iontů na spodní straně a jejich vylučování na horní straně listů

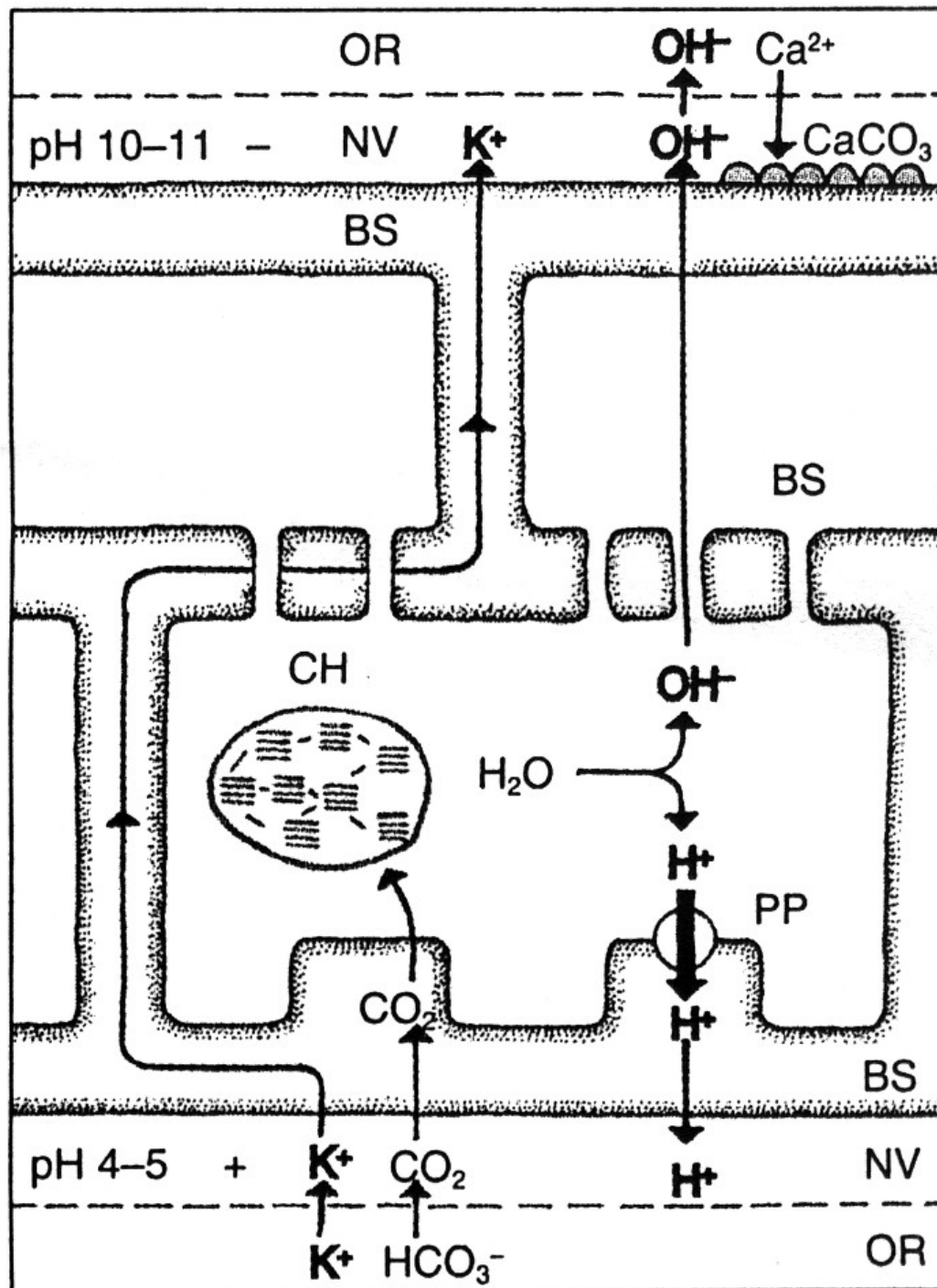


SCHÉMA FOTOSYNTÉZY POLÁRNÍHO LISTU

PP – protonová pumpa

BS – buněčné stěny

NV – nehybná vrstva roztoku

OR – okolní roztok

CH - chloroplasty

FOTOSYNTÉZA U PONOŘENÝCH VODNÍCH ROSTLIN

- Polární fotosyntéza neprobíhá při vysoké koncentraci CO_2 a HCO_3^- ve vodě (rostliny šetří energii, vylučování H^+ je energeticky náročné)
- Dochází k celkové alkalizaci okolního roztoku až k pH 11
- Na povrchu svrchní strany listů se vlivem vysokých hodnot pH sráží uhličitán vápenatý (CaCO_3), tzv. biologické odvápnění
- Parožnatky mají na jedné internodální buňce (dlouhá až 10 cm a široká až 1,2 mm) 2 druhy proužků širokých 2-3 mm
- V sytě zelených se výtokem H^+ udržuje pH 6,5-7
- V bělavých inkrustovaných CaCO_3 je vylučován OH^- (pH 10-10,5)
- Poloha proužků není stálá, mohou se posunovat
- Mnoho vyšších ponořených rostlin, řasy a sinice dokáží využívat HCO_3^- aniž by vytvářely gradienty pH

Konečné maximální hodnoty pH dosažené vyššími i nižšími rostlinami v roztoku 1 mM NaHCO₃ na světle.

Dolní tři druhy využívají pouze volný CO₂.

Druh	pH
<i>Anabaena cylindrica</i> (planktonní sinice)	11,11
<i>Spirogyra</i> sp. (šroubatka – vláknitá řasa)	11,09
<i>Chlorella emersonii</i> (planktonní zelená řasa)	11,04
<i>Myriophyllum spicatum</i> (stolístek klasnatý)	10,84
<i>Potamogeton pectinatus</i> (rdest hřebenitý)	10,66
<i>Elodea canadensis</i> (vodní mor)	10,51
<i>Hippuris vulgaris</i> (prustka obecná)	8,80
<i>Utricularia vulgaris</i> (bublinatka obecná)	8,50
<i>Fontinalis antipyretica</i> (zdrojovka – vodní mech)	8,45

FOTOSYNTÉZA U PONOŘENÝCH VODNÍCH ROSTLIN

- Využívání HCO_3^- jako zdroje uhlíku představuje značnou ekologickou výhodu především v eutrofních stojatých vodách
- Přivyknutí k efektivnímu využívání HCO_3^- trvá:
 - u planktonních sinic a řas cca jednu hodinu
 - u vyšších rostlin i několik týdnů

Biochemické a anatomické adaptace a výměna plynů

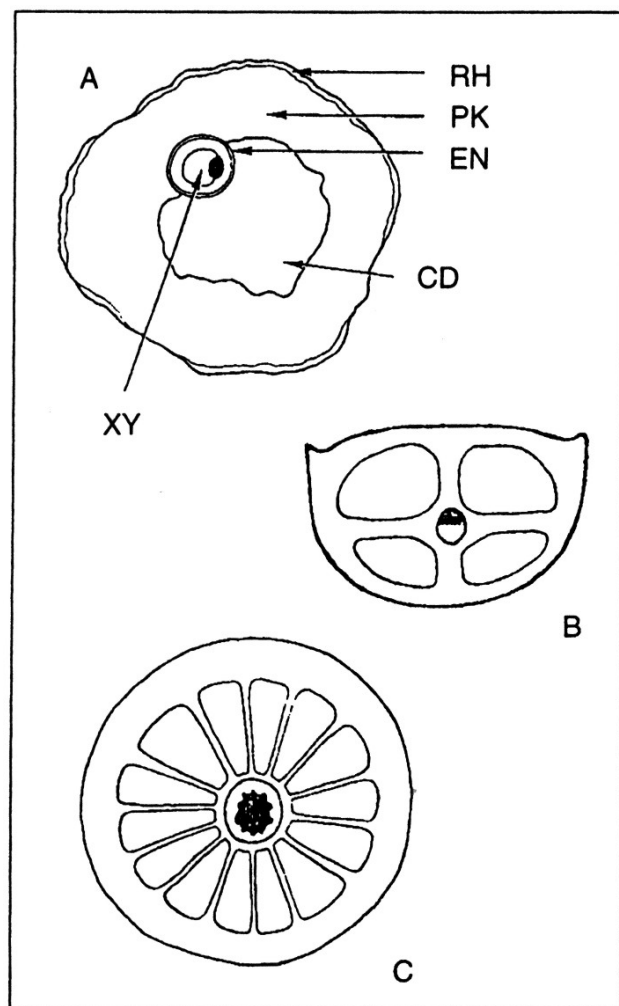
- Přijatý uhlík je u většiny ponořených rostlin fixován klasickou C3 cestou (vázán enzymem Rubisco na 3-fosfoglycerát)
- Jediná známá ponořená rostlina využívající mírně pozměněnou C4 cestu je vodňankovitá rostlina *Hydrilla verticillata* (subtropy)
- U šídlatek je dlouhodobým nedostatkem CO₂ ve vodě vyvolána CAM fotosyntéza (fixace CO₂ v noci a využití ve dne)
- Podíl kořenů z celkové biomasy cca 50 %, příjem CO₂ z kořenů 40-90 %
- Většina jiných ponořených rostlin přijímá kořeny méně než 2 % uhlíku

Biochemické a anatomické adaptace a výměna plynů

- Ponořené a emerzní kořenující v zaplavené půdě jsou přizpůsobeny celoročnímu nedostatku kyslíku – vnitřní pletivo **AERENCHYM**
- Význam pro transport kyslíku a odvádění CO₂ a dalších plynů např. metanu
- Tok plynů poháněn difuzí a hromadným tokem
- V listech je vyšší teplota nebo vlhkost oproti atmosféře
- Vzduch včetně O₂ difunduje do listu a zvyšuje tlak
- Transport plynů cestou nejmenšího odporu
- Rychlost transportu u rákosu až 80 cm za minutu
- Objem vzduchu transportovaného do podzemních orgánů jedním stéblem rákosu až 16 ml za minutu

Aerenchym u orobince širokolistého →

Příčné řezy orgány ponořených rostlin



A – kořen šídlatky jezerní

RH – rhizodermis

PK – primární kůra

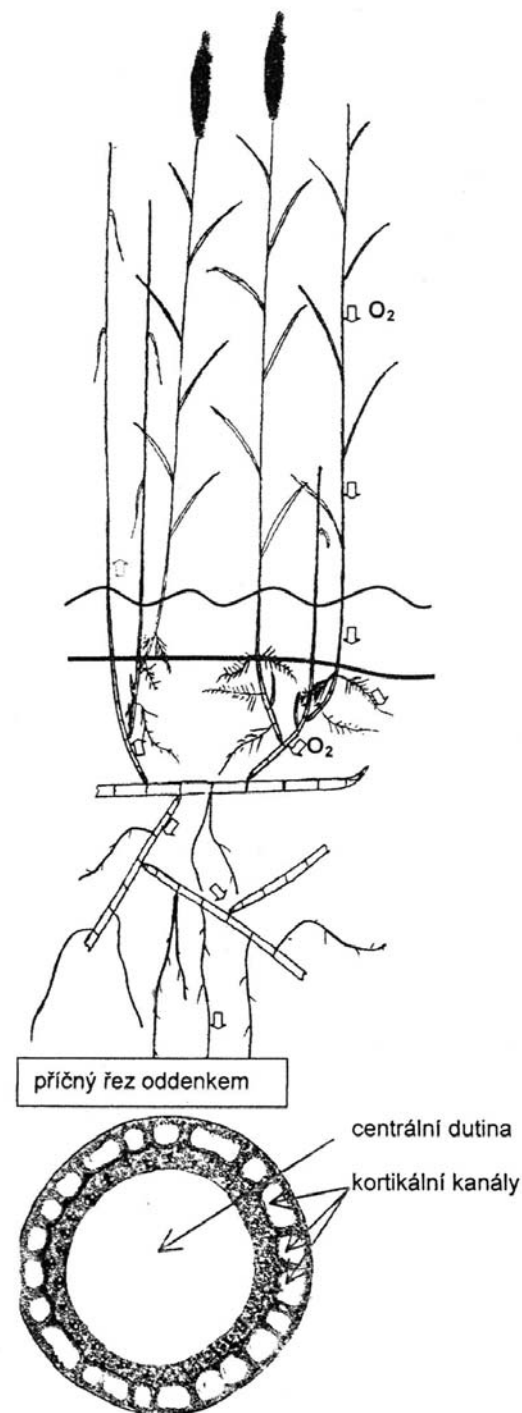
EN – endodermis

CD – centrální dutina

XY - xylém

B – list šídlatky jezerní se čtyřmi vzdušnými kanálky

C – stonek stolítku klasnatého s paprscitě uspořádanými vzdušnými kanálky

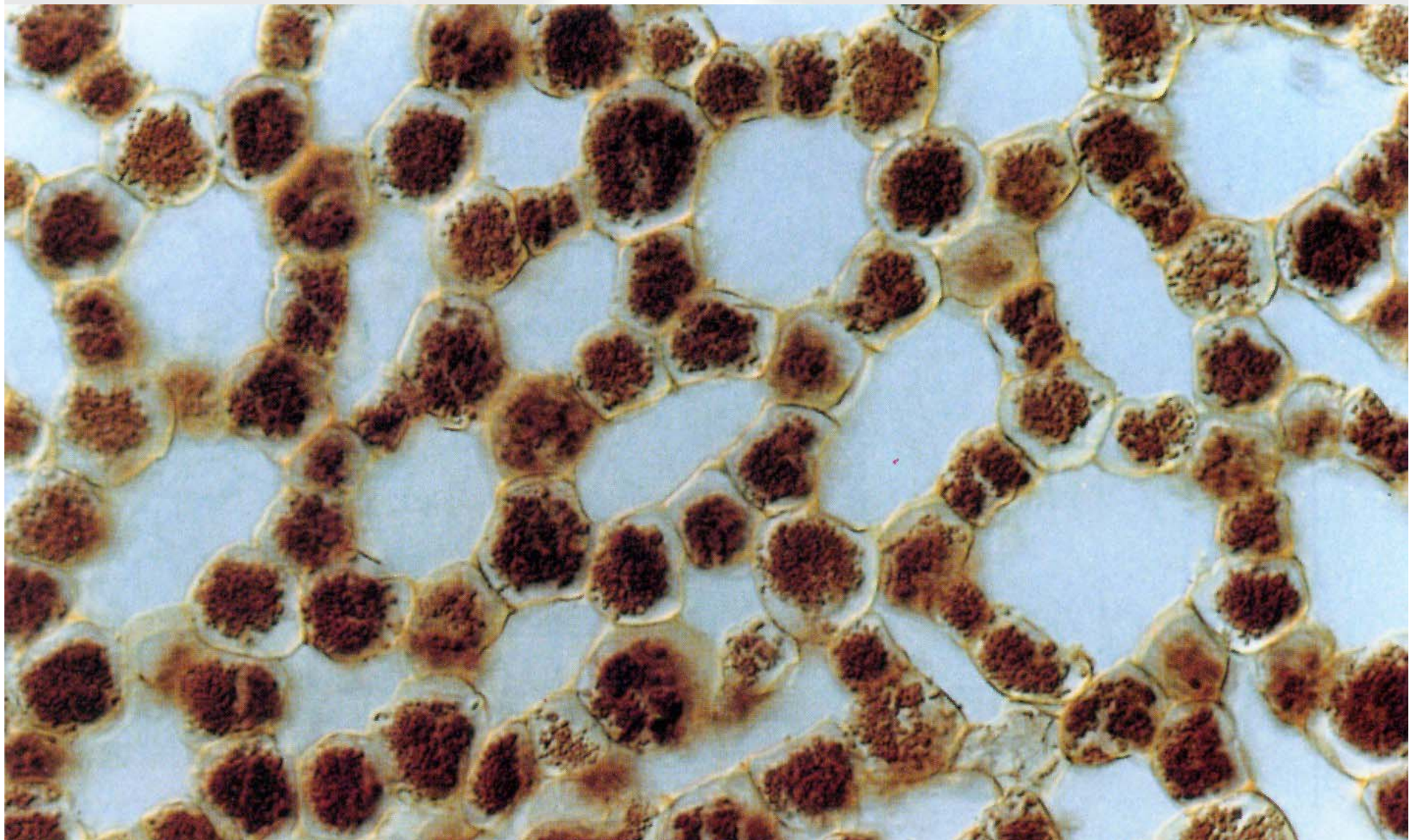


Biochemické a anatomické adaptace a výměna plynů

- I přes adaptační mechanismy je nedostatek kyslíku běžný v přezimujících oddencích především na počátku vegetace
- Oddenky značně odolné vůči anaerobióze
- Zisk energie anaerobními fermentačními procesy
- Anaerobní rozklad 1 molekulu glukózy – 2 molekuly ATP
- Aerobní rozklad 1 molekulu glukózy – 36 molekul ATP
- Nízký zisk – nutnost dostatku rezervních látek (škrob, cukry)
- V oddencích tvoří rezervní látky až 50% sušiny
- Konečný produkt fermentace nejčastěji etanol (škodlivý)
- Odstranění rozpuštěním ve vodě obklopující podzemní orgány nebo odvedení v plynné formě mezibuněčnými prostory

Příčný řez oddenkem puškvorce.

- značnou část tvoří mezibuněčné prostory vyplněné vzduchem
- v buňkách aerenchymu je velké množství škrobu



Biochemické a anatomické adaptace a výměna plynů

- Kyslík se dostává z kořenů a oxiduje okolí – růst aerobní mikroflóry
- K nadměrnému úniku O_2 a zabránění vniku škodlivých látek jsou buněčné stěny impregnovány ligninem, kutinem nebo suberinem
- Aerační systém rostlin je segmentován – zabránění zaplavení
- K průniku vody přepážkami (septy) je potřeba tlaku 25 až 40 kPa
- Ve dne výrazný tok O_2 do kořenů nezávisle na množství O_2 v okolní vodě
- V noci je přísun O_2 do kořenů závislý na O_2 v okolní vodě
- Vzdušné prostory neumožňují růst v hluboké vodě (tlak)
- Cévnaté ponořené rostliny (tj. se vzdušnými prostory) ve sladkých vodách rostou do hloubky cca 10 m
- Rostliny bez vzdušných prostor (parožnatky, vláknité řasy, mechy) až do 40 m

Příjem minerálních živin

- Schopnost přijímat minerální živiny ponořenými prýty přímo z vody
- Obsah dostupných živin je v substrátu o 1-3 řády vyšší než ve vodě
- Ponořené rostliny rostou 2-7x rychleji pokud kořenují v substrátu bohatém na živiny
- Většina ponořených kořenujících druhů přijímá více než 50% živin
- Dusíku (N), fosforu (P), železa (Fe) a manganu (Mn) ze substrátu kořeny
- Draslíku (K^+), vápníku (Ca^{2+}), hořčíku (Mg^{2+}) sodíku (Na^+) chloru (Cl^-) a síranů (SO_4^{2-}) prýty z vody
- Některé ponořené rostliny mají výraznou vazbu na příjem určité formy dusíku (NH_4^+ , NO_3^-)

Příjem minerálních živin

Relativní podíl příjmu dusíku z NH_4^+ a NO_3^- vodními rostlinami z roztoku $50 \mu\text{M NH}_4\text{NO}_3$ v % z příjmu celkového dusíku.

Uveden je průměr pro listy a kořeny.

Druh	NO_3^-	NH_4^+
<i>Sphagnum flexuosum</i> (rašeliník zakřivený)	0	100
<i>Juncus bulbosus</i> (sítina cibulkatá)	10	90
<i>Drepanocladus fluitans</i> (srpnatka vzplývavá–vodní mech)	14	86
<i>Agrostis canina</i> (psineček psí)	15	85
<i>Aldrovanda vesiculosa</i> (aldrovandka měchýřkatá)	17	83
<i>Lobelia dortmanna</i> (lobelka vodní)	64	36
<i>Echinodorus ranunculoides</i> (šípatkovec pryskyřníkovitý)	66	34
<i>Luronium natans</i> (žabníček vzplývavý)	72	28
<i>Littorella uniforma</i> (pobřežnice jednokvětá)	74	26