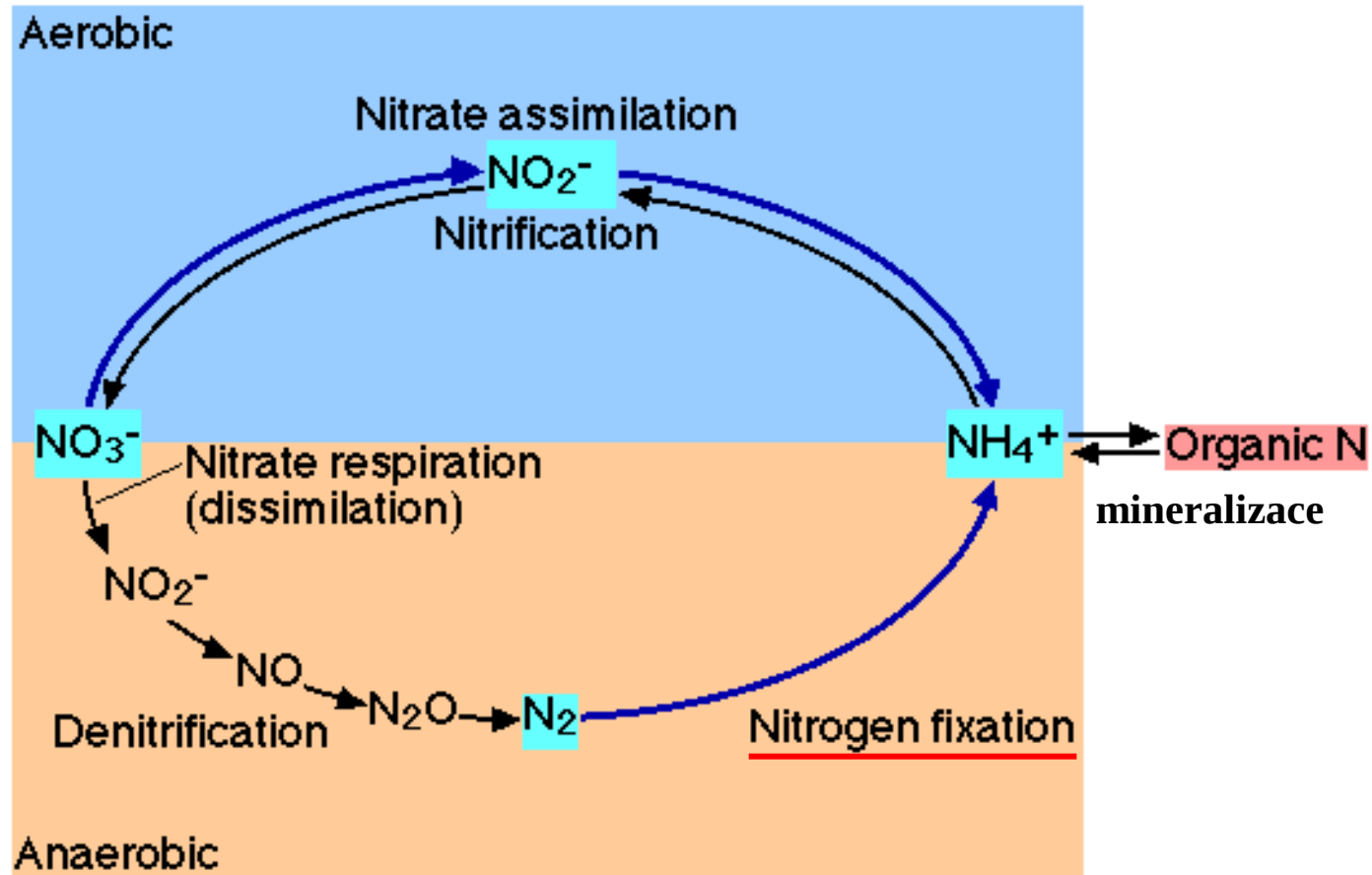


**Příjem, asimilace a fixace
dusíkatých látek, PHAs,
pysacharidy BS, zásobní
polysacharidy**

The Nitrogen Cycle:



N-fixace: $\text{N}_2 \rightarrow \text{NH}_3$

asimilace: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{org.N}$

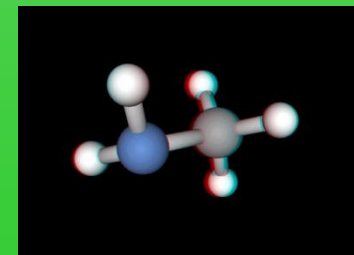
mineralizace: $\text{org.N} \rightarrow \text{NH}_4^+$

nitrifikace: $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$

denitrifikace: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{plynné formy N}$

Příjem amoniaku

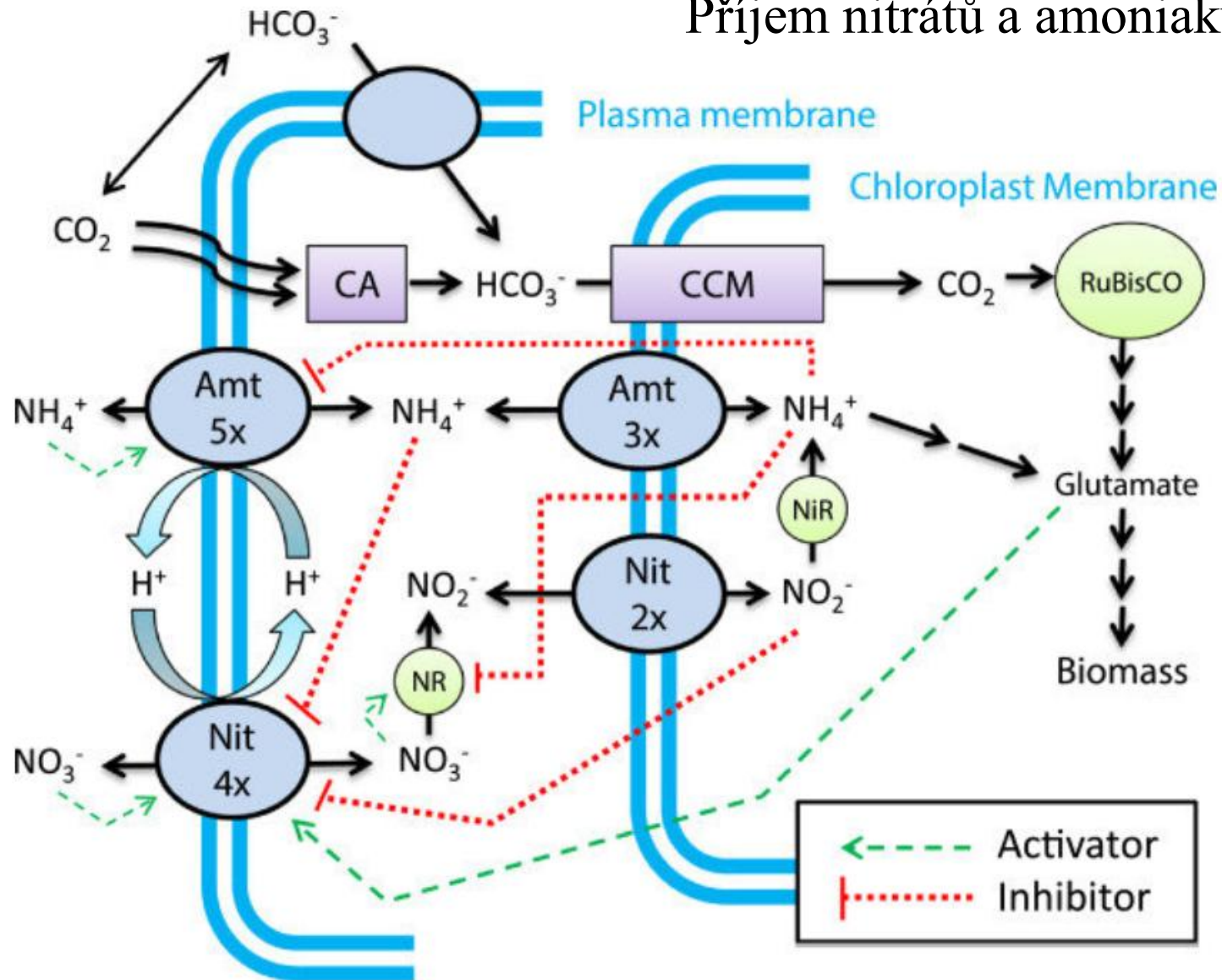
- amoniak je přijímán řasami a sinicemi preferenčně
- působí jako inhibitor příjmu a asimilace dusičnanů a represor nitrogenázové aktivity u sinic fixujících N_2
- při vysokém pH vnějšího prostředí amoniak hromaděn difúzí, při neutrálním pH vyžaduje přenos amoniaku přes PM dodání energie (amonium transportér), příjem amoniaku snižuje pH
- pro výzkum příjmu a transportu amoniaku se používá analog značený radioaktivním ^{14}C - $^{14}CH_3NH_3^+$ (methyamine) nebo stabilní izotop ^{15}N ($^{15}NH_4^+$). Je velmi obtížné oddělit sledování příjmu amoniaku od jeho následného metabolismu.



methyamine

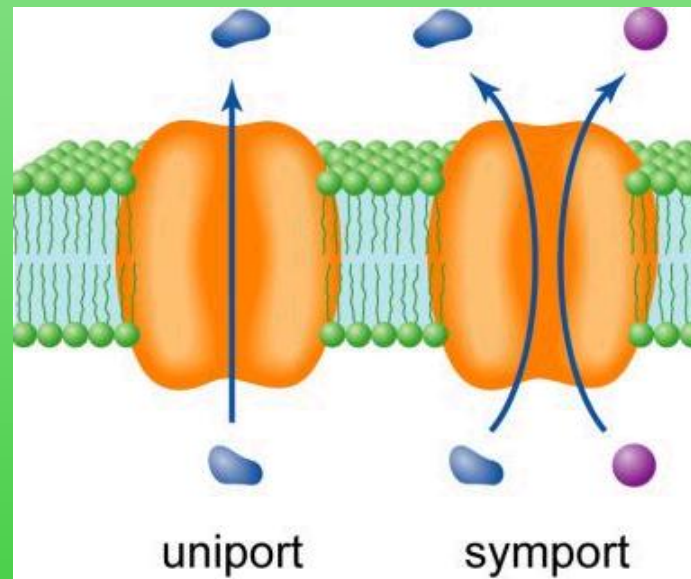
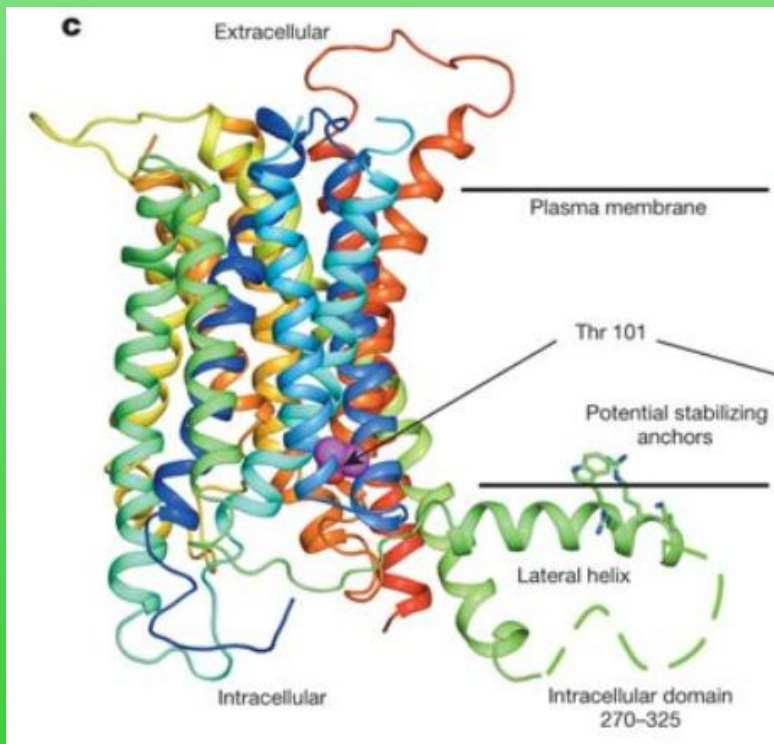
Schematic of cellular regulation of nitrogen assimilation in the algae *Chlamydomonas reinhardtii*.

Příjem nitrátů a amoniaku



Příjem nitrátů (NO_3^-)

- dusičnany jsou pravděpodobně pro řasy a sinice nejběžnější zdroj dusíku, který je přijímán z okolního prostředí
- přenašeč nitrátů je pravděpodobně typu symportu (2 H^+ or $2 \text{ Na}^+ : 1 \text{ NO}_3^-$),



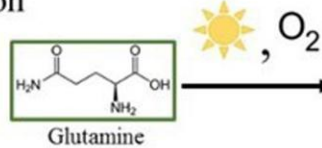
NRT transportér + nitrate assimilation-related protein

Příjem aminokyselin

- AK slouží řasám a sinicím jako zdroj dusíku
- některé AK představují vhodný zdroj N, jiné toxické, jiné nejsou buňkami využity
- popsáno několik transportních systémů pro AK, deaminace (LAAO)

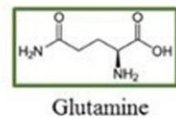
Pathways of Nitrogen Acquisition from Amino Acids

1. Abiotic Degradation

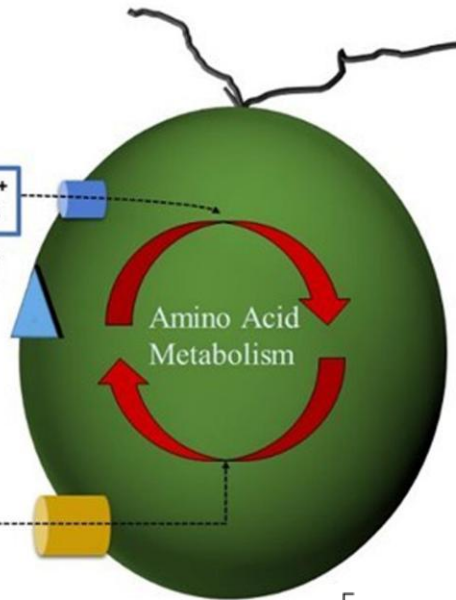
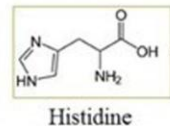


2. Enzymatic Degradation

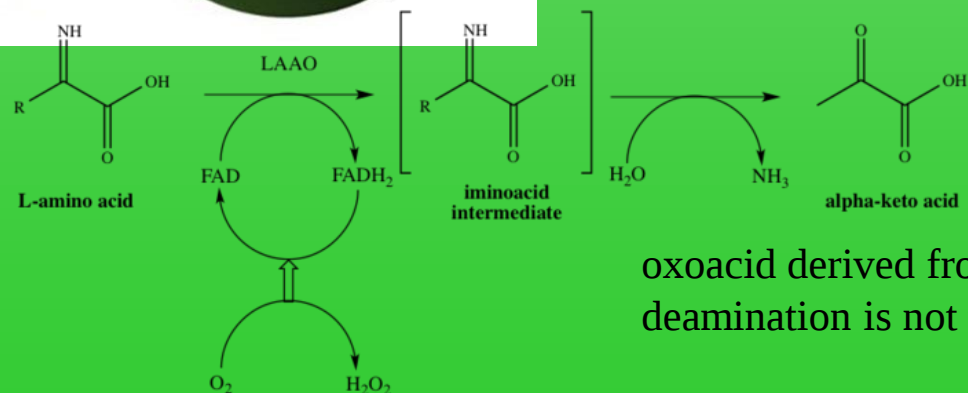
periplasmic amino acid oxidase



3. Transport



L-amino acids outside the cells



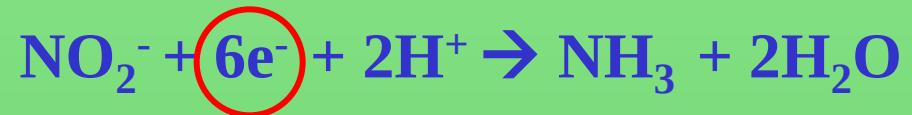
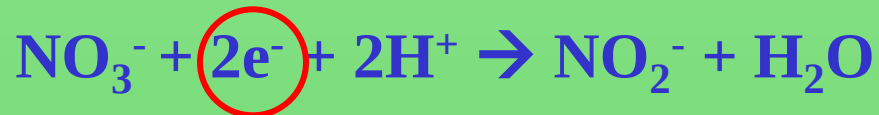
oxoacid derived from the deamination is not taken up

amino acid oxidase = LAAO

Redukce nitrátů

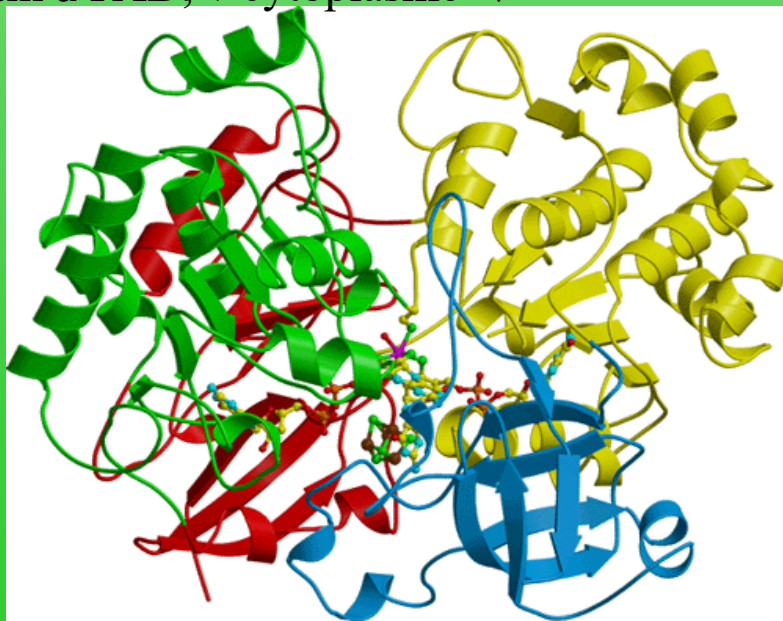
Redukce NO_3^- probíhá ve dvou stupních.

Nejprve je enzymem **nitrátreduktázou** NO_3^- redukován na NO_2^- , který je pak **nitritreduktázou** dále redukován na NH_3 .



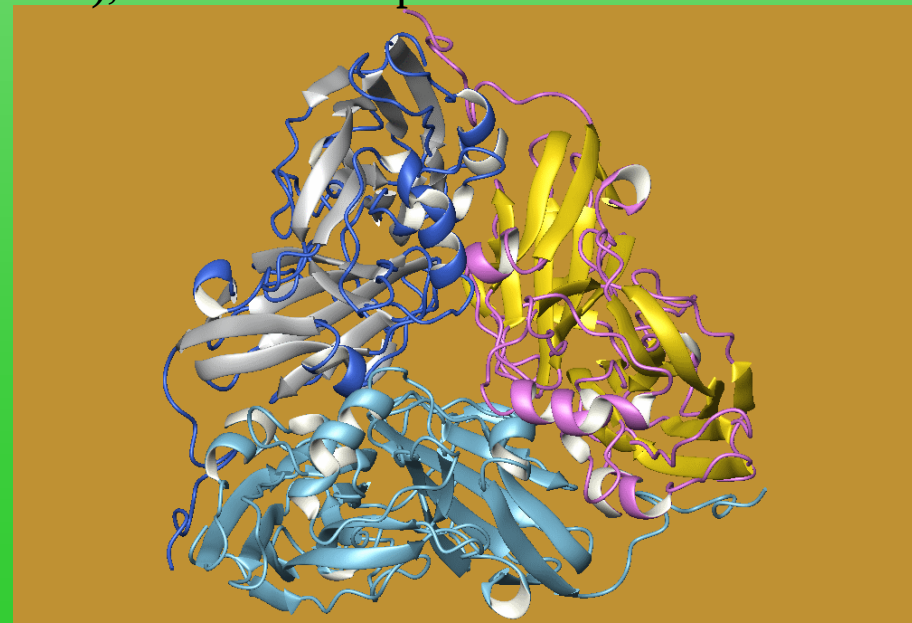
sinicová NR M_r 75 000, monomer, neobsahuje hem ani FAD

řasová NR (*Chlorella*) M_r 360 000, 4 identické podjednotky, obsahuje molybden, hem a FAD, v cytoplasmě ↓



sinicová NiR M_r 68 000 (50 000), monomer, v heterocytech i vegetativních buňkách

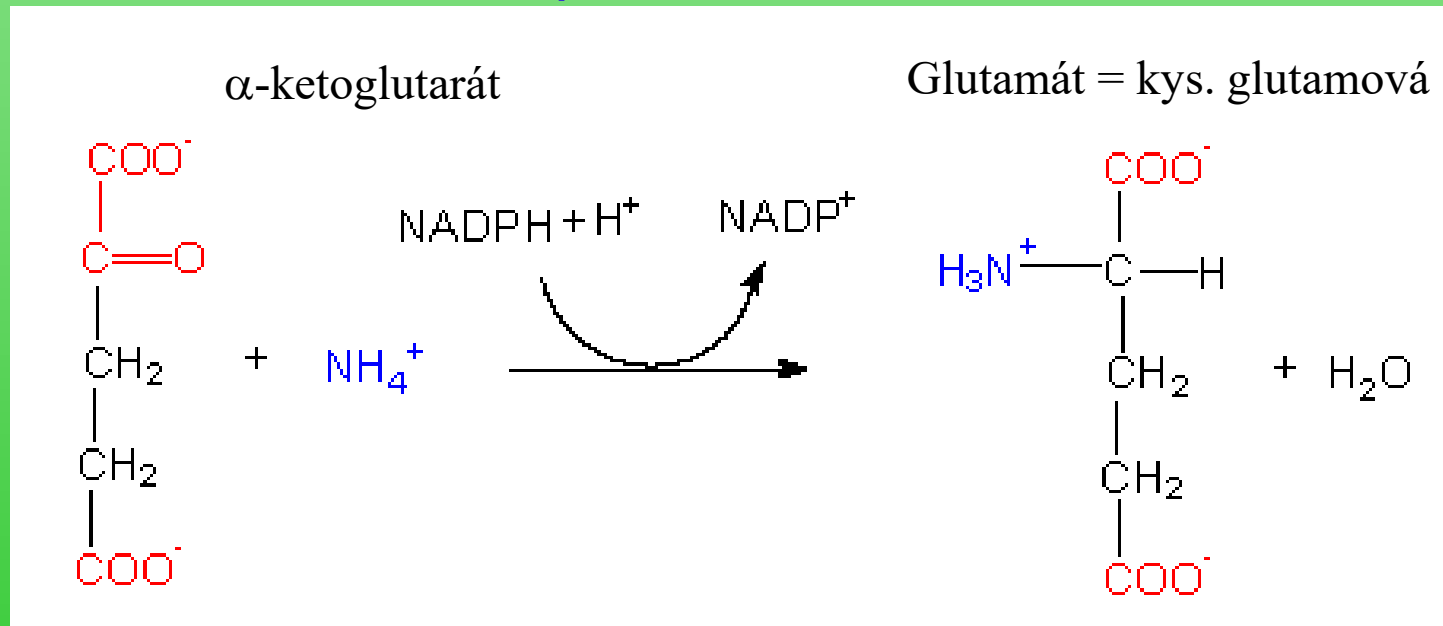
řasová NiR M_r 63 000, monomer, obsahuje klastr $[4\text{Fe-4S}]$ a sirohem (vazebné místo pro nitrite), stroma chloroplastu ↓



Zabudování amoniaku do aminokyselin

Glutamátdehydrogenáza (GDH)

GDH je poměrně rozšířena u řas, zatímco u sinic hraje při primární asimilaci dusíku jen okrajovou úlohu. GDH katalyzuje reakci:



Předpokládá se, že se glutamátdehydrogenáza účastní asimilace amoniaku při jeho vyšších koncentracích v prostředí.

(xGlutamine + α -ketoglutarát $\rightarrow$ 2x glutamat)

Zabudování amoniaku do aminokyselin

probíhá dvěma způsoby: systémem **GS/GOGAT** nebo pomocí GDH

sinice a řasy: především systém GS/GOGAT (GS=**glutaminsyntetáza**; GOGAT= **glutamátsyntáza**, zkratka odvozena od **glutamin****o****xoglutarát****a****mino****t****ransferáza**)

glutamát (kys. glutamová) + ATP + NH₄⁺ $\xrightarrow{\text{GS}}$ glutamin + ADP + Pi
glutamin + α-ketoglutarát $\xrightarrow{\text{GOGAT}}$ 2 glutamát

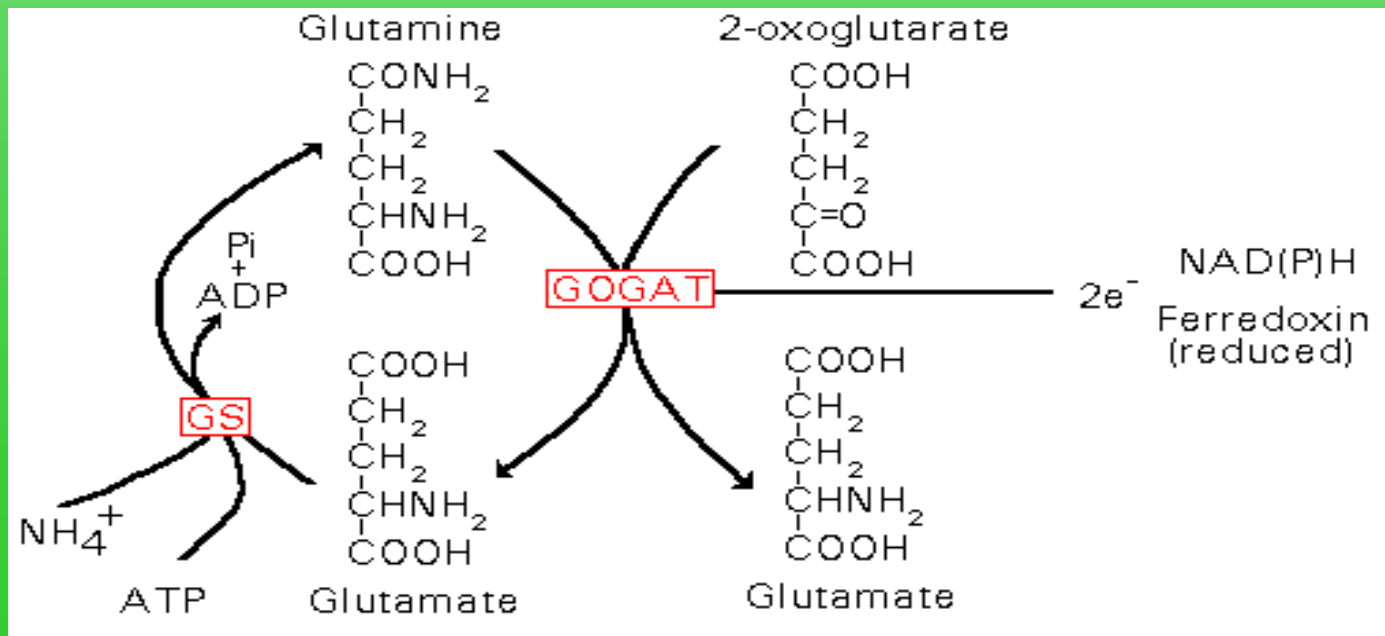
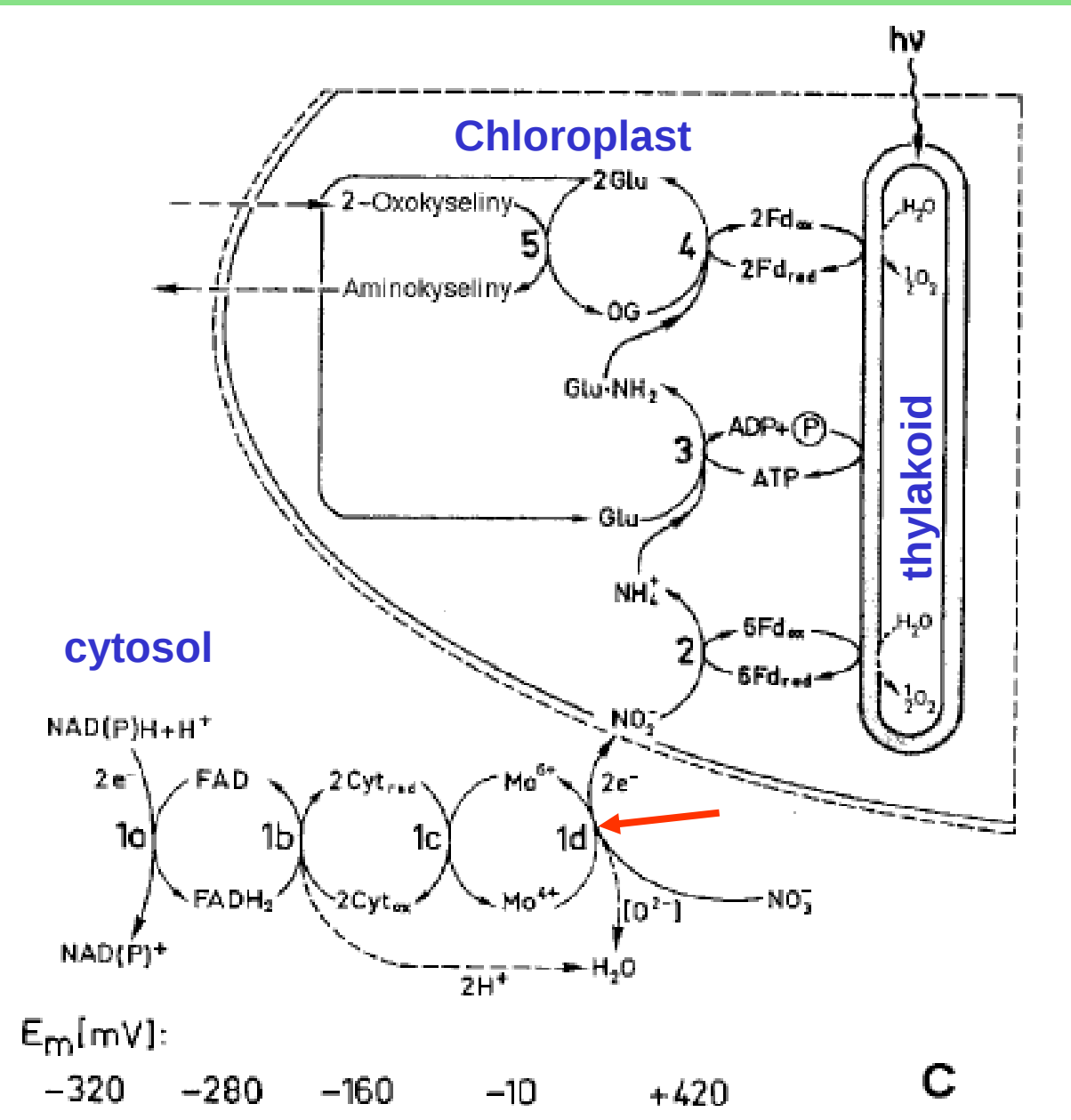
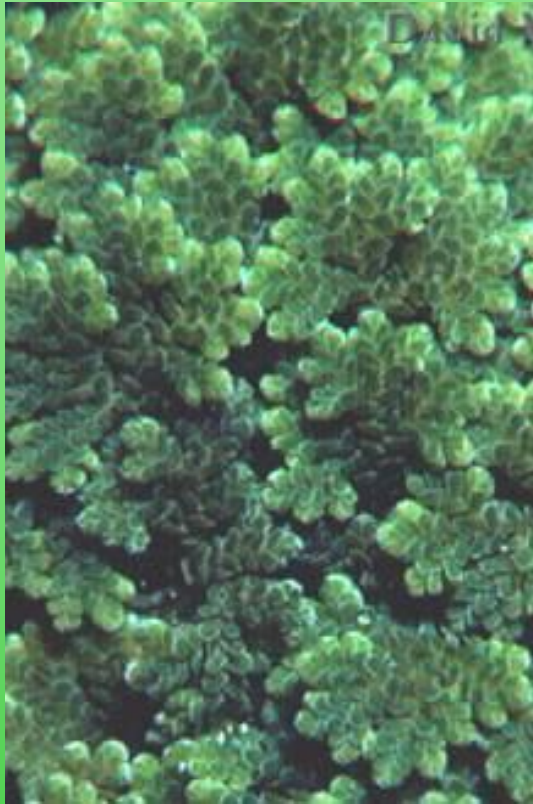


Schéma reakcí při fotosyntetické redukci dusičnanu



Nitrát se redukuje na nitrit **nitrátreduktázou** (1a-d) v cytoplasmě, nitrit na amoniak v chloroplastu **nitritreduktázou** (2), které dodává elektrony feredoxin redukovaný prvním fotosystémem. NH_4^+ se váže na glutamát pomocí **glutaminsyntetázy-GS** (3), ATP k tomu dodává thylakoid. Vzniklý glutamin vstupuje do transaminační reakce s kys. α -ketoglutarovou, kterou katalyzuje **glutamátsyntáza -GOGAT** (4). AK jsou transportovány z chloroplastu.

Fixace atmosférického dusíku u některých sinic



Azolla- kapradina
Nostoc spp.
(*Anabaena*)

kolonii symbionta nese ve
sporokarpu, během
pohlavního rozmn.



symbiotický
Nostoc

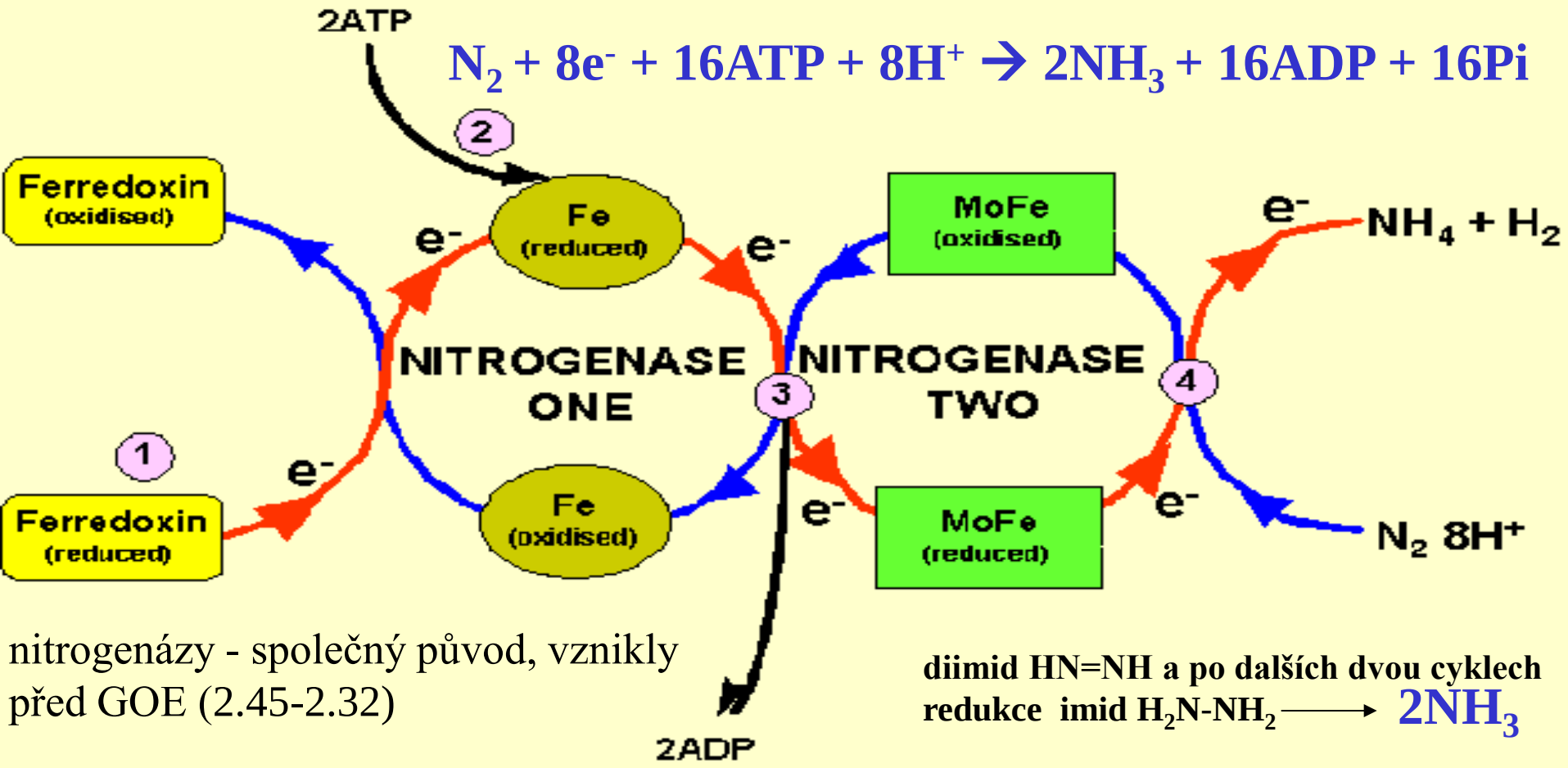
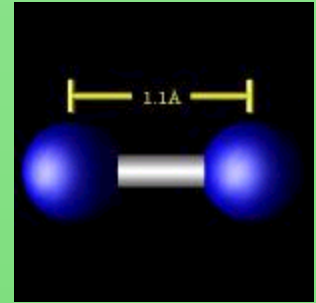
Cykas - kořeny



Gunnera chilensis (žlaznaté pletivo na řapících)

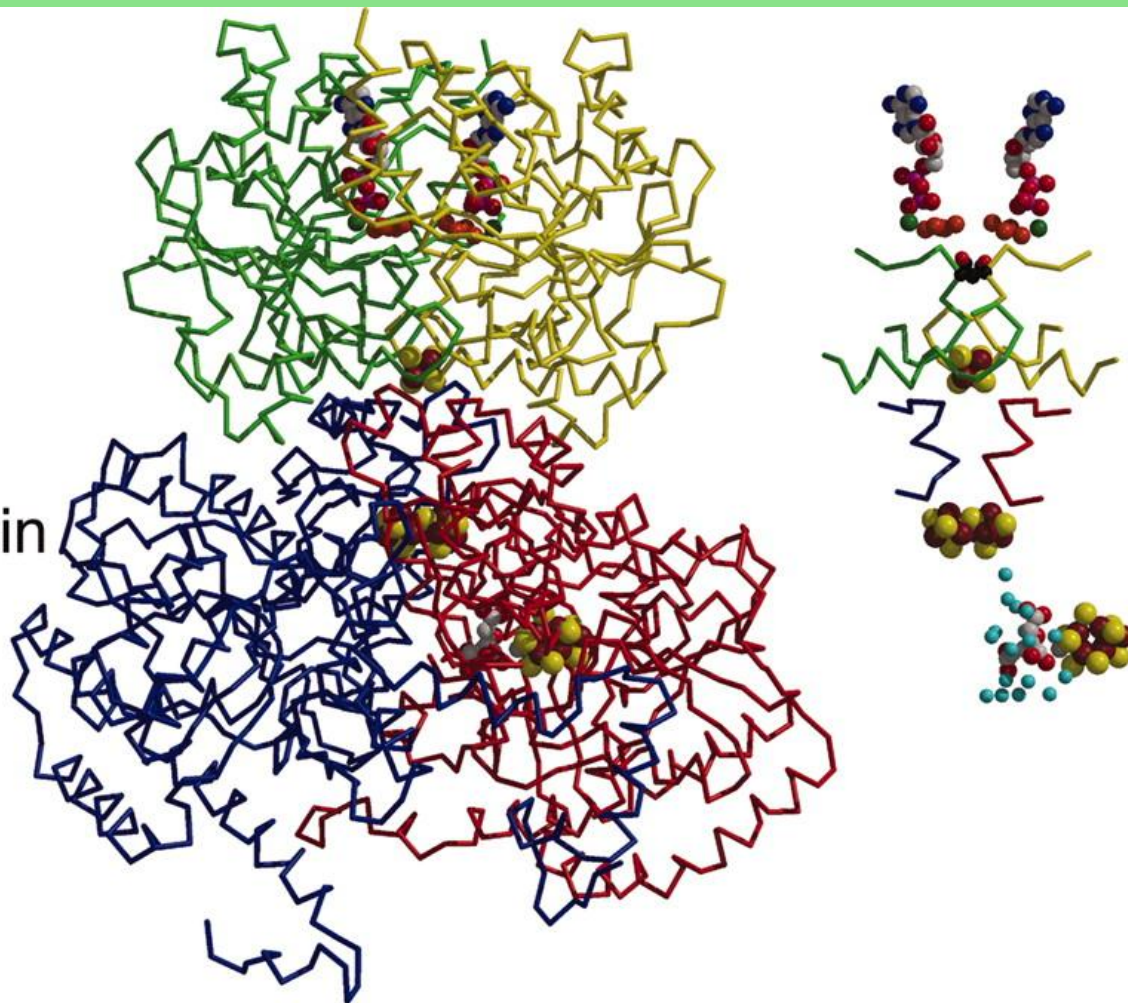
Fixace atmosférického dusíku u některých sinic

- vyžaduje porušení výjimečně stálé trojné vazby.
- biologickou fixaci dusíku provádějí sinice a bakterie za pomoci soustavy enzymů, které se nazývají **nitrogenáza**
- energeticky velmi náročné



Fe-protein

MoFe-protein

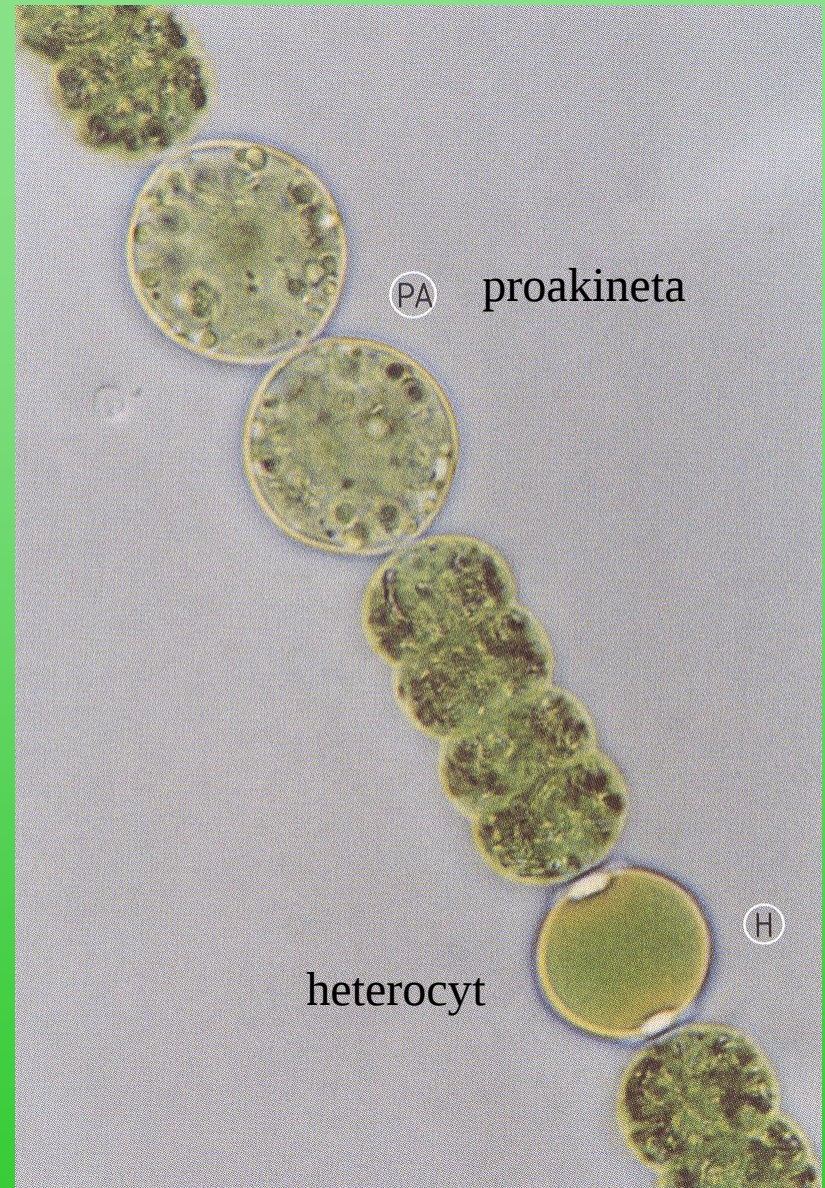
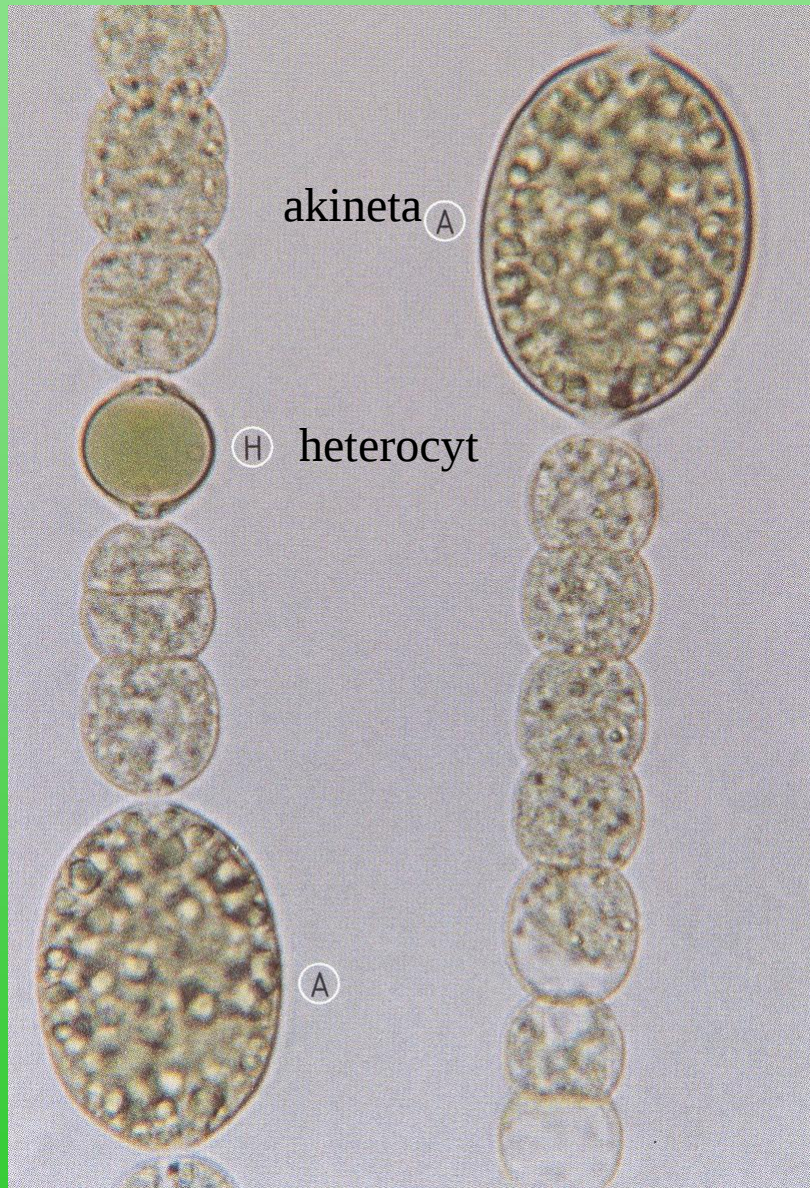


Fe protein (dinitrogenase reductase) – obsahuje [4Fe–4S] klastr; dodává elektrony.

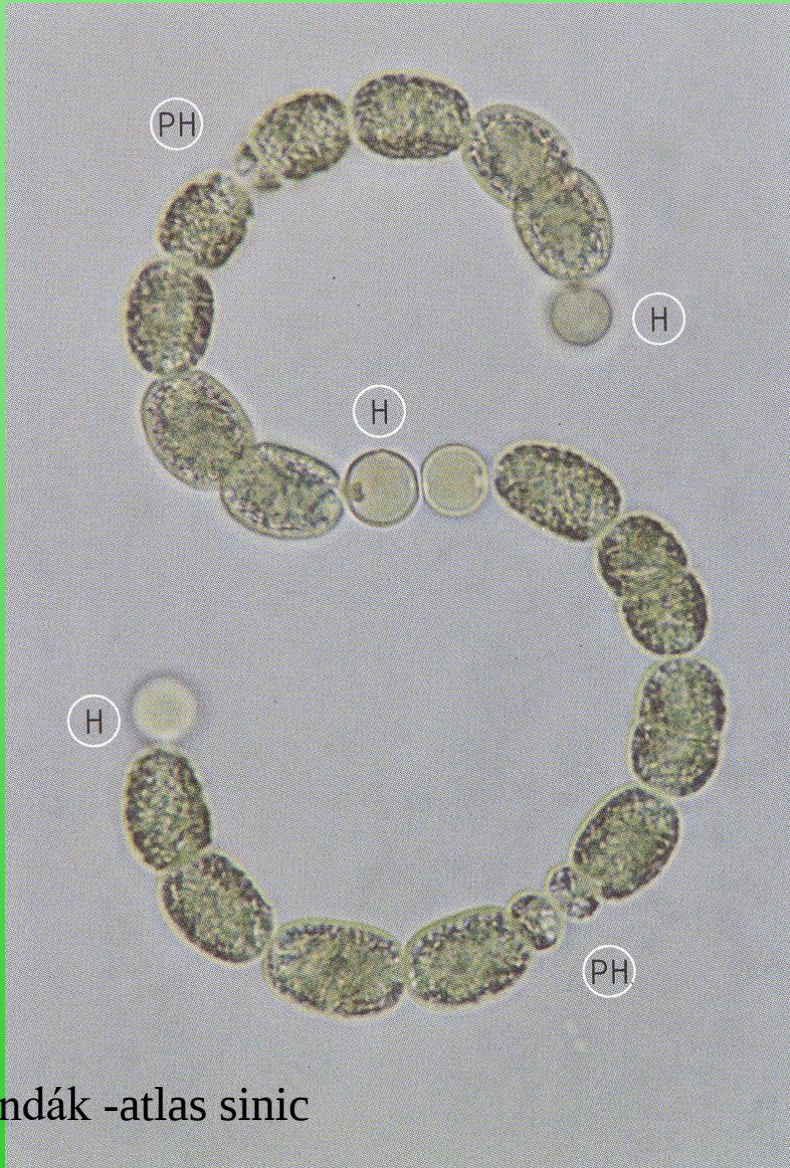
MoFe protein (dinitrogenase) – vlastní katalytická složka, obsahuje kovové komplexy FeMo-co a P-klastr.

Nitrogenáza pracuje s velmi nízkými oxidačními stavy kovů ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$, $\text{Mo}^{3+}/\text{Mo}^{4+}$) a sulfidickými můstky (S^{2-}). Tyto složky jsou snadno oxidovatelné – kyslík enzym rychle inaktivuje

Prostorová separace -heterocyty



Heterocyty



Hindák -atlas sinic

Anabaenopsis milleri
terminální a interkalární heterocyty



Cylandrospermum maius
terminální heterocyty a subapikální akineta

Heterocyty



Hindák -atlas sinic

Tolypothrix tenuis

boční vlákno s bazálním heterocytem



Pelatonema alatum

vlákno s inkrustovanou slizovou pochvou,
interkalární heterocyt

Fylogeneze sinic s heterocyty

Tomitani et al. 2006

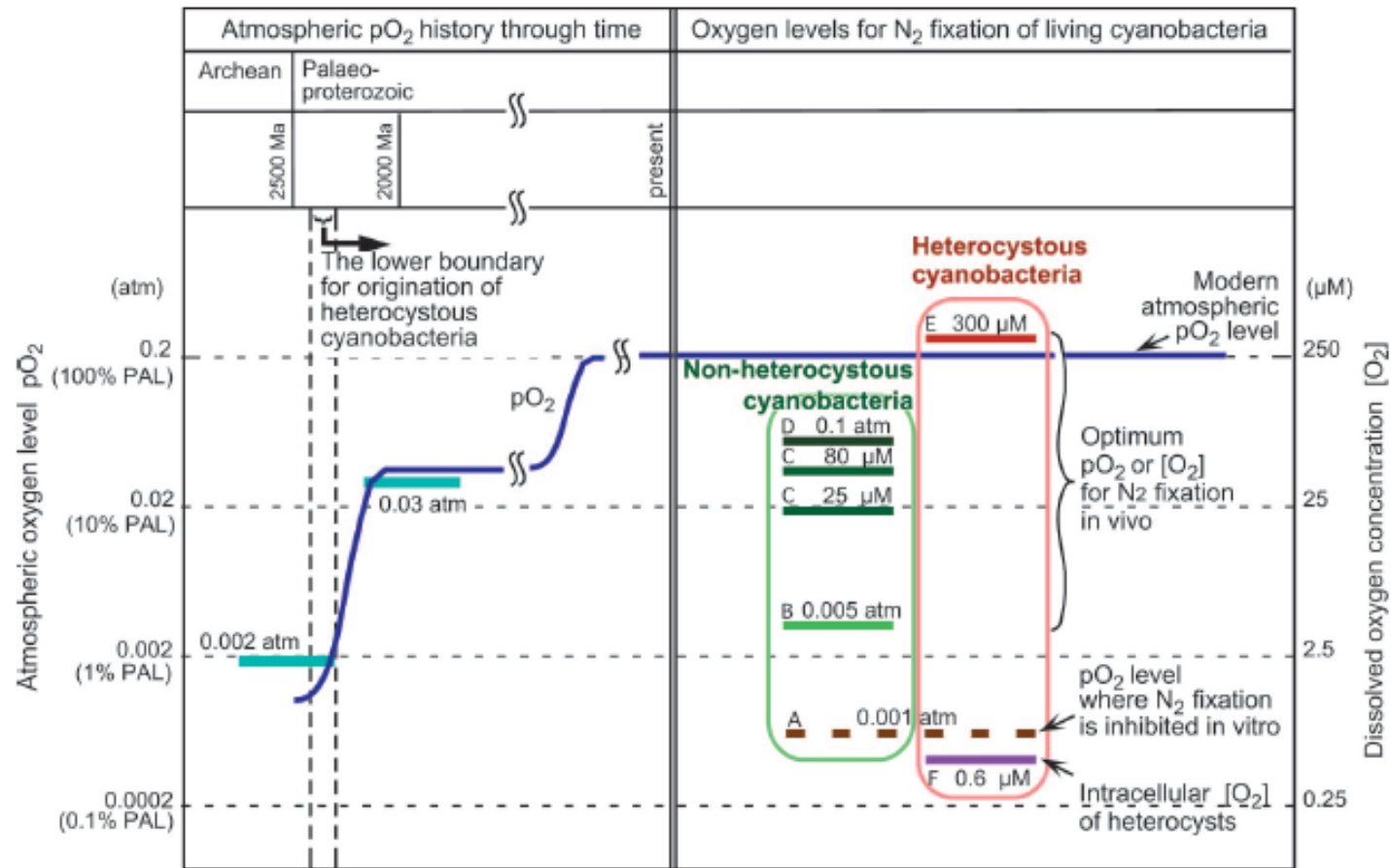
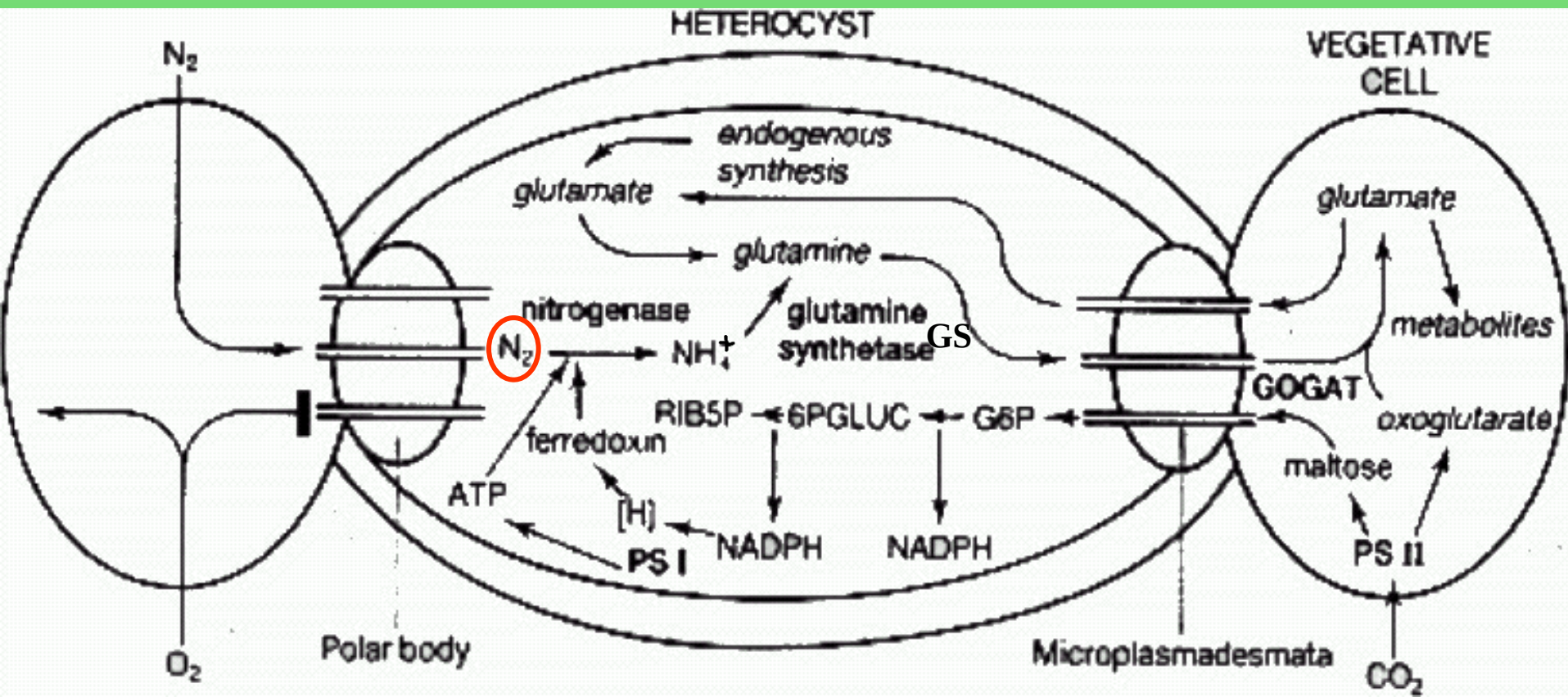


Fig. 3. The geochemical record of atmospheric oxygen as it relates to nitrogen fixation and the evolution of heterocystous cyanobacteria. The curve presents an estimate of atmospheric P_{O2} through time, as constrained by paleosol (42) and S isotopic (43, 44, 46) data. Numbers in *Right* indicate the P_{O2} level at which *in vitro* nitrogenase activity is inhibited in nonheterocystous *Plectonema* and heterocystous *Anabaena* (34) (A), and P_{O2} or [O₂] optima for *in vivo* nitrogenase activity of *Plectonema* (36) (B), nonheterocystous *Gloeotheca* (37) (C), *Trichodesmium* (38) (D), and *Anabaena* (39) (E). F indicates the intracellular [O₂] of *Anabaena* heterocysts. The [O₂] (the left vertical axis) corresponds to P_{O2} (right axis) when [O₂] is 250 μM in air-saturated water. PAL, present atmospheric level.

Výměna N a C mezi heterocytem a vegetativní buňkou

- v heterocytech chybí PSII → ochrana nitrogenázy před O_2
- nedochází zde také k fixaci C, ten musí být dodáván ve formě disacharidů v veget. buněk.
- přísun redukčních ekvivalentů (NADPH) zajišťuje pentózový cyklus
- amoniak vzniklý fixací vzdušného N_2 tvoří spolu s glutamátem glutamin (enzym GS)
- glutamát je importován z vegetat. buněk, naopak glutamin je exportován z heterocytu zpět do vegetat. buněk, kde spolu s α -ketoglutarátem tvoří 2 molekuly glutamátu (enzym GOGAT)



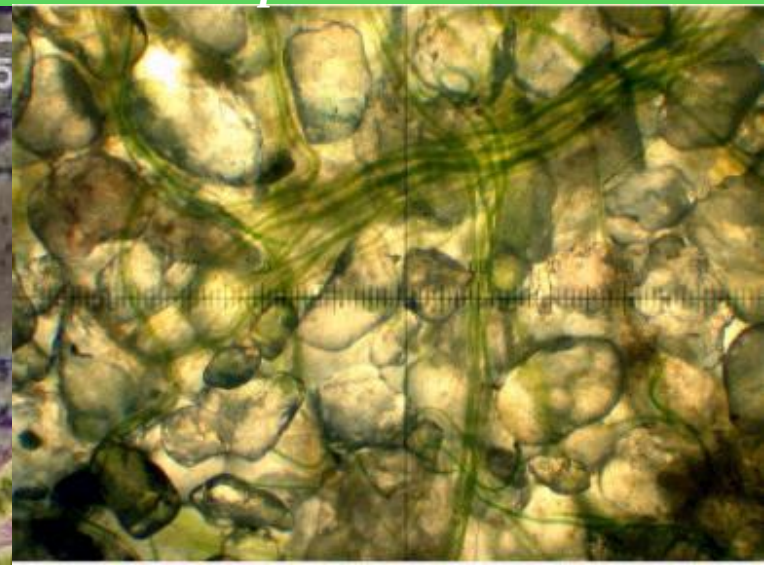
Prostorové oddělení

Tato schopnost byla zjištěna u vláknitých sinic, které tvoří rozsáhlé polštáře, pod nimiž se utváří anaerobní prostředí (např. *Microcoleus chthonoplastes* a *Lyngbya aestuarii*)



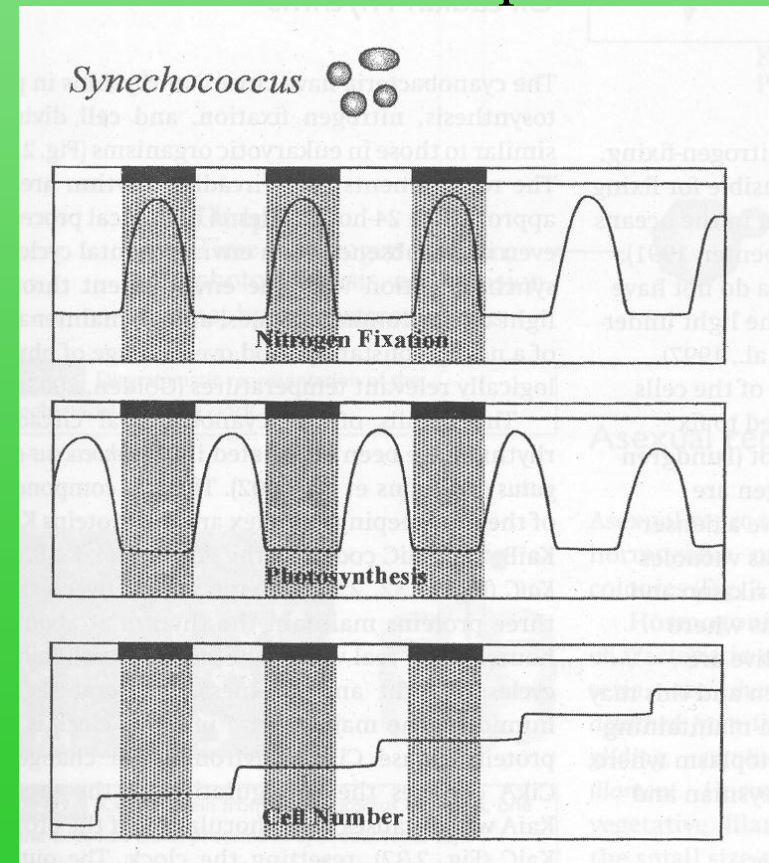
Lyngbya aestuarii

M. chthonoplastes - nárost



Časové oddělení

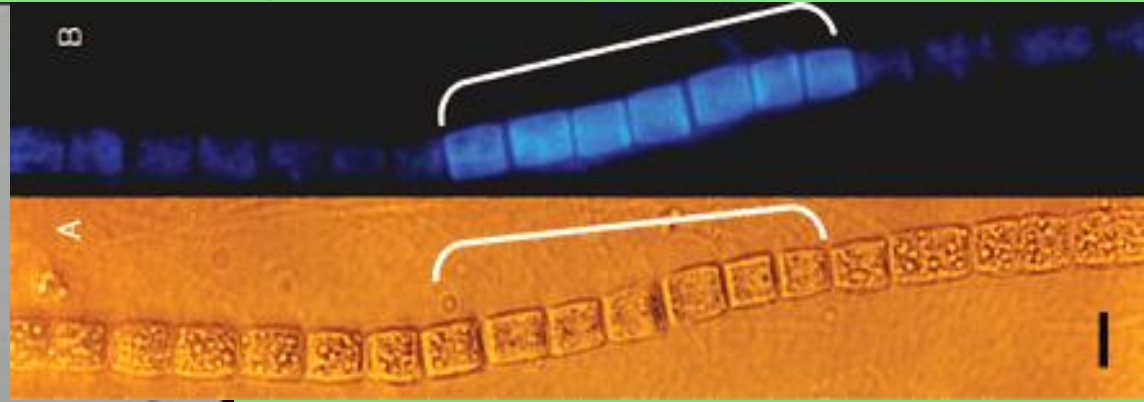
Večer → degradace fykobiliproteinů → PSII přestane fungovat → zastaví se produkce O_2 → rychlá syntéza nitrogenázy → fixace N_2 přes noc, ukládání ve formě cyanofycinu → syntéza nitrogenázy se zastaví, enzym je rozložen kyslíkem, který proniká do buněk → resyntéza fykobiliproteinů → funkční PSII → a ráno může opět začít fotosyntéza.



Kombinované časovo-prostorové oddělení



Katagnymene



Trichodesmium –fixace N za
aeobních podmínek za světla
– specializované buňky -
diazocyty

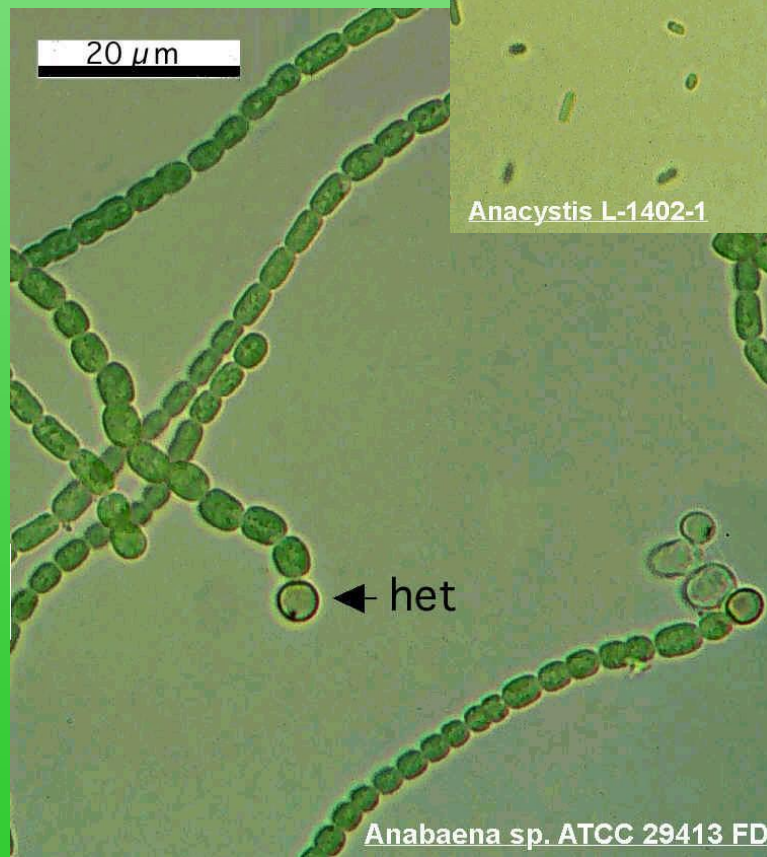
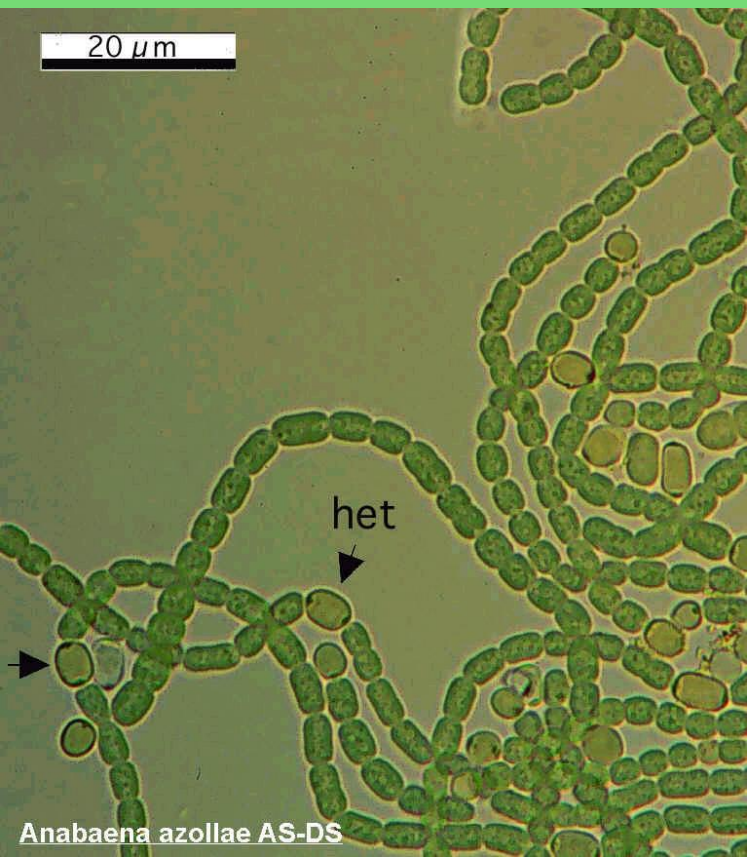
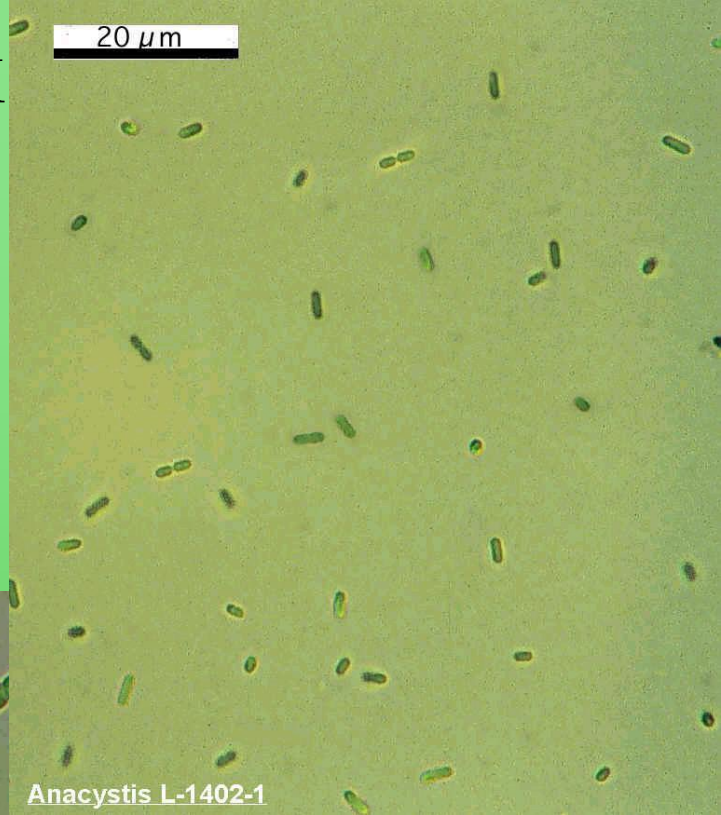
15-20% buněk obsahuje nitrogenázu (diazocyty); PSI, PSII, RuBisCO a karboxysomy ve všech buňkách

světlo → fotosyntéza (energie, redukční ekvivalenty, zásobní polysacharidy)
→ vysoká hladina poolu redukovaného plastochinonu „otvírá okénko“ pro N_2 fixaci – spotřeba O_2 překročí jeho produkci (Fentonova reakce) → když spotřebovány karbohydráty, tok e^- dýchacím řetězcem se zastaví → zvýší se vnitrobuněčná koncentrace O_2 → pool plastochinonu oxidován → ztráta nitrogenázové aktivity

Fotoprodukce dusíkatých látek

Některé druhy sinic fixujících N_2 mohou být využity jako biofertilizátory (*Anabaena/Nostoc azollae*, *A. variabilis*, *Anacystis nidulans*).

fixace vzduš. N_2 - odhad $1,7 \times 10^8$ tun amoniaku za rok



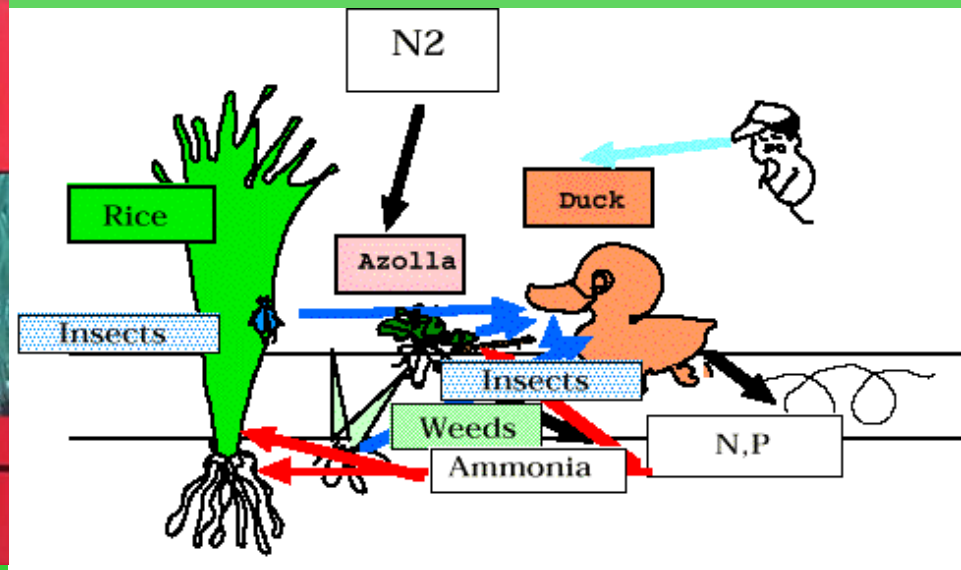
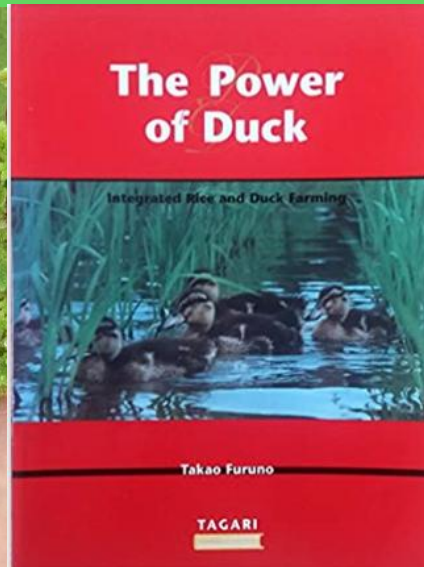
Mnoho druhů dominujících na bahnitých rýžových polích má zároveň schopnost fixovat dusík - pěstování rýže po staletí bez použití chemických hnojiv (Indie, Barma, Egypt, Čína, Vietnam)



Azolla – symbiotická sinice *Anabaena/Nostoc azollae* – schopná fixovat N_2
pěstována společně s rýží, produkce bio-rýže



Rýžová pole „hnojená“ kapradinou Azolla (nese symbiotickou sinici) – pěstování biorýže bez umělých hnojiv a pesticidů



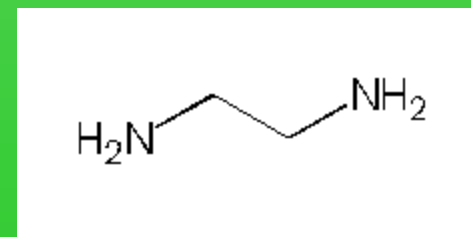
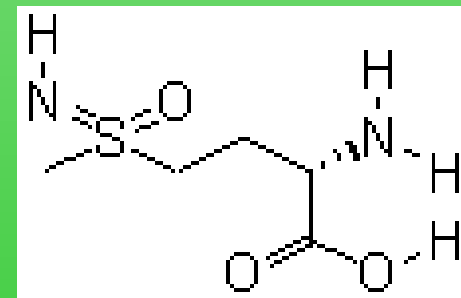
Uvolňování amoniaku

není normální fyziologickou funkcí, ale může být dosaženo:

- přidáním inhibitoru enzymu glutaminsyntetázy
- výběrem kmenů, které samovolně uvolňují amoniak do prostředí
- výběrem mutantních kmenů s potlačenou aktivitou GS na takovou míru, aby byl uvolňován amoniak, ale zároveň zachován metabolismus

Účinným inhibitorem GS je analog glutamátu MSX (methionin-sulfoximin).

Mutantní kmeny s omezenou asimilací amoniaku (uvolňující amoniak do prostředí) byly selektovány na základě rezistence k ethylendiaminu (EDA) a k MSX. Některé tyto kmeny jsou schopny fixovat vzdušný N_2 i v přítomnosti extracelulárního NO_3^- a NH_3 .



Nevýhody: nelze dlouhodobě, MSX toxický

Fotoprodukce aminokyselin

- Sinice a řasy uvolňují do média malé množství AK, polypeptidů a bílkovin.
- Množství závisí na životní fázi růstu (nejvyšší je během lag-fáze a stacionární fáze).
- Tato množství jsou většinou zanedbatelná.
- Produkce určitých AK je podstatně vyšší u mutantů, které byly získány na základě rezistence a analogům těchto AK.

ethionin-methionin

canavanin-proline

6-fluorotryptophan-tryptophan

4-aminophenylalanin-alanin

- Zvýšením obsahu specifických AK lze zvýšit nutriční hodnotu preparátů ze sinic a řas určených ke konzumaci.

Polysacharidy buněčných stěn

design of a matrix reinforced fibrillar composite

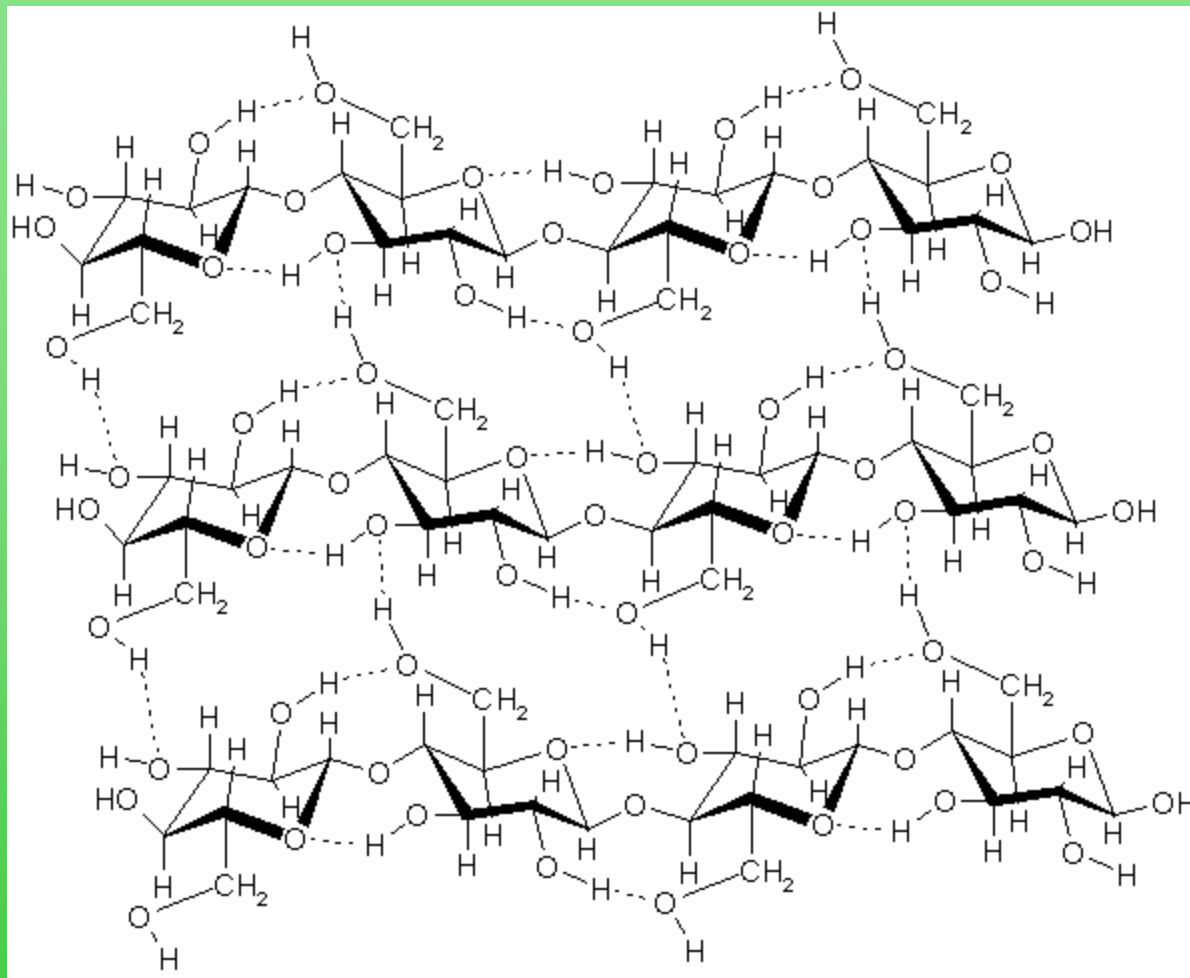
polysacharidy tvořící mikrofibrily

- 1) celulóza (β -1,4 glukán)
- 2) chitin (β -1,4 N-acetylglukosamin)
- 3) β -1,4 mannany
- 4) β -1,3 xylany

polysacharidy matrix

- vyskytují se v amorfní formě
- glukany (agar, karagen), xyloglukany, xylany, mannany, arabinany, galaktany, arabinogalaktany, polyuronové kyseliny (alginové kyseliny) aj.

1. Cellulóza



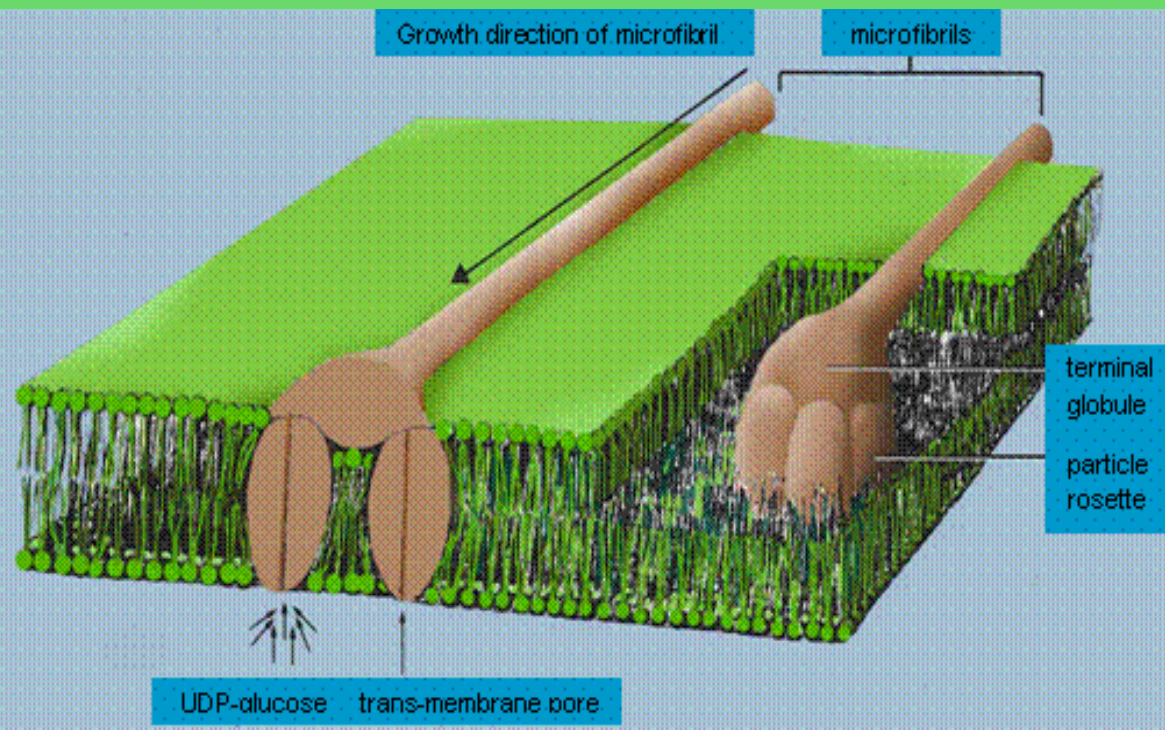
Molekula celulózy je tvořena nevětveným řetězcem glukozových podjednotek (D-glukopyranoza), které jsou spojeny β -1,4 glykosydickou vazbou. Paralelně ležící molekuly celulózy jsou provázány intramolekulárními vodíkovými můstky

Syntéza celulózy

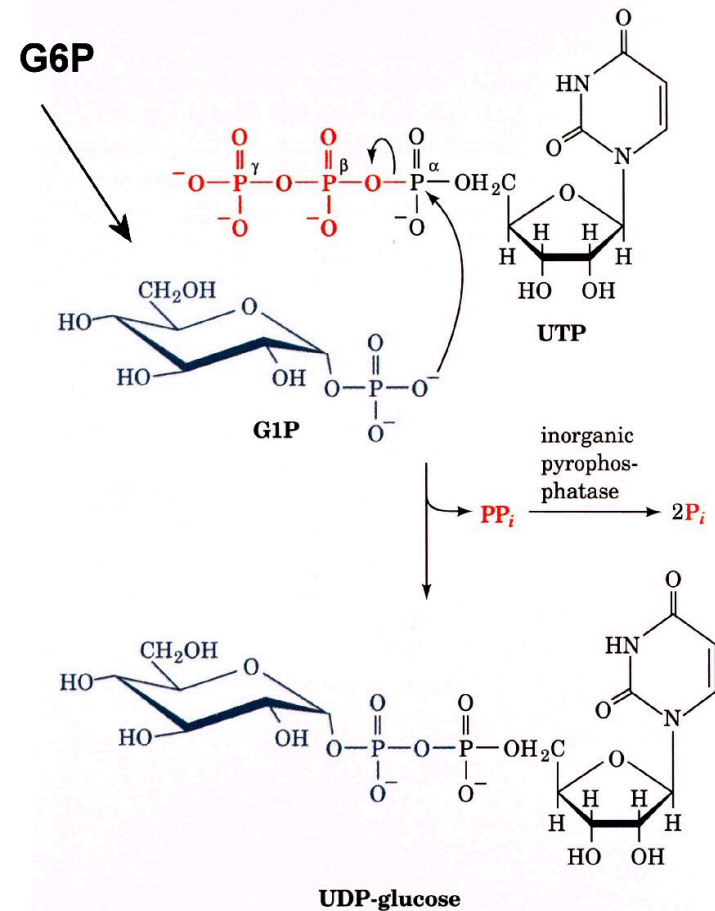
terminální komplexy

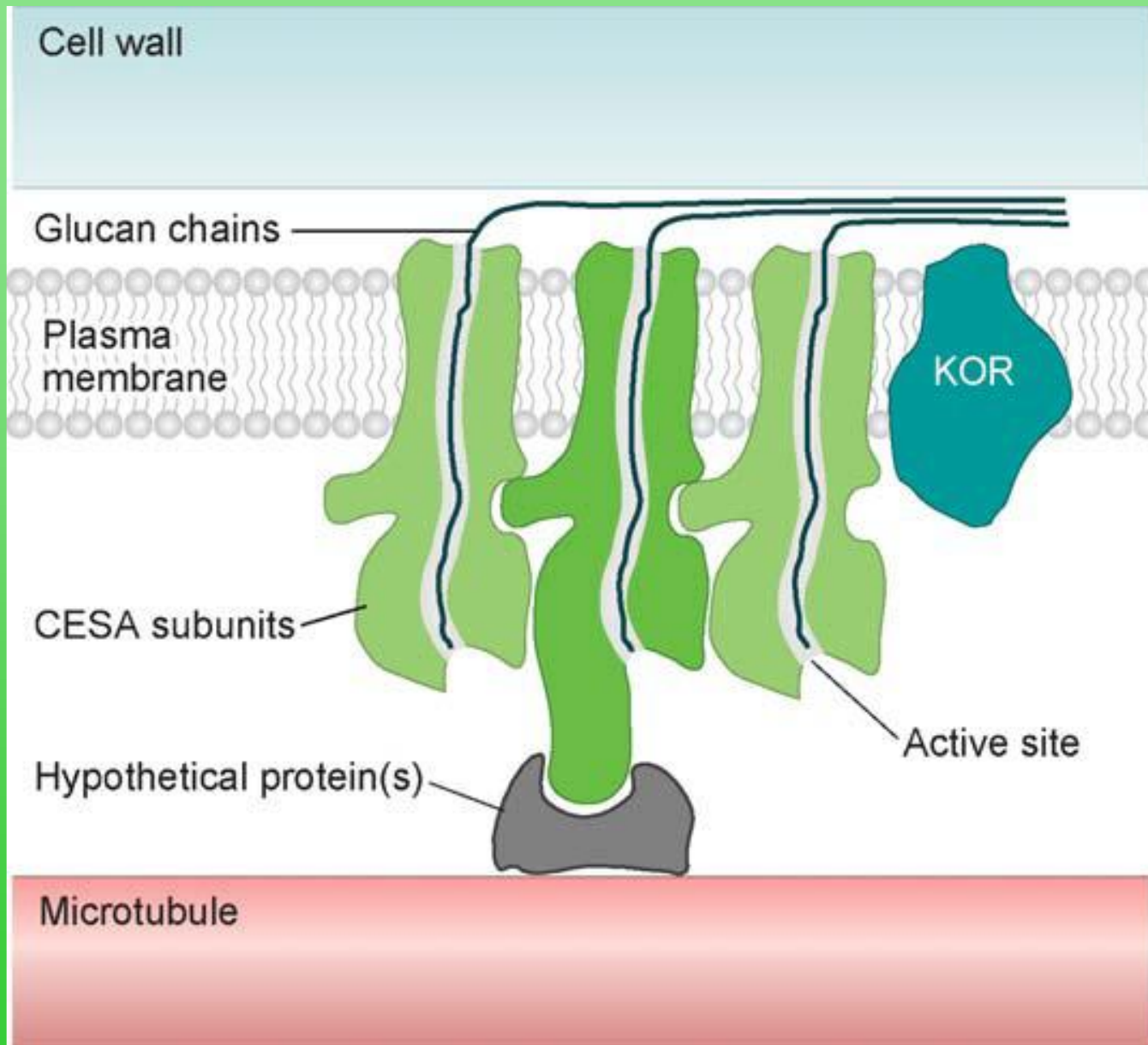
celulóza syntáza - enzym katalyzuje přenos glukózového zbytku z UDP-D-glukózy (uridindifosfát glukóza = fosforylovaný cukr) na konec

vznikající molekuly celulózy, není nutný žádný primer. UDP-D-glukóza je syntetizována pravděpodobně v GA a je transportována skrz PM k TC.

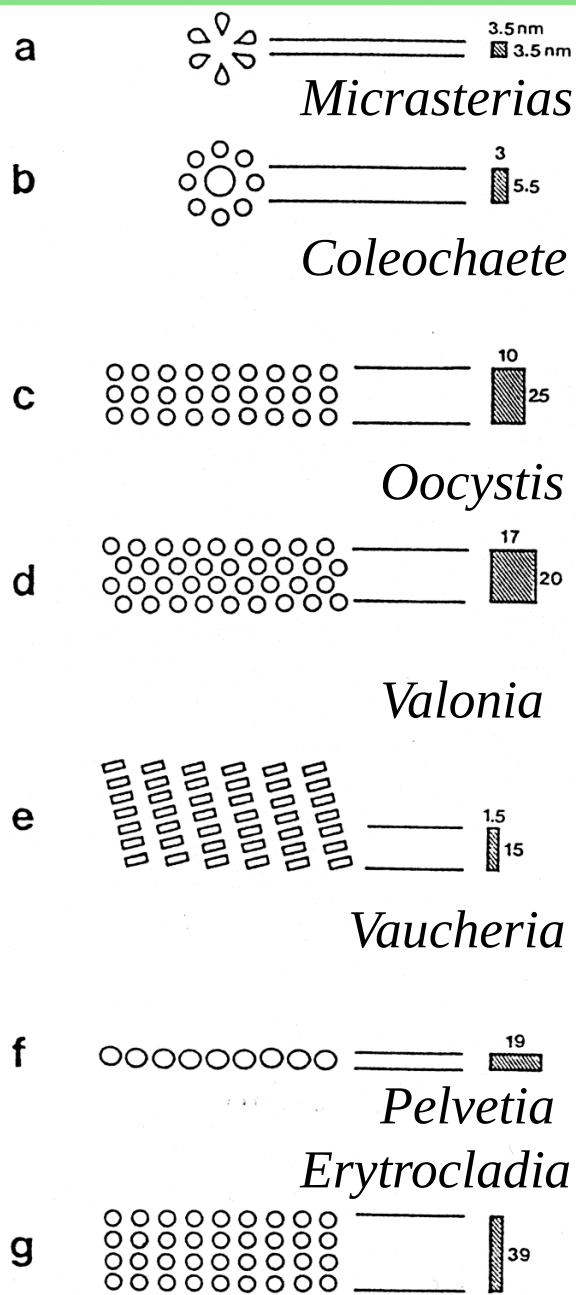


**Sugars must be activated for synthesis:
UDP-glucose pyrophosphorylase**



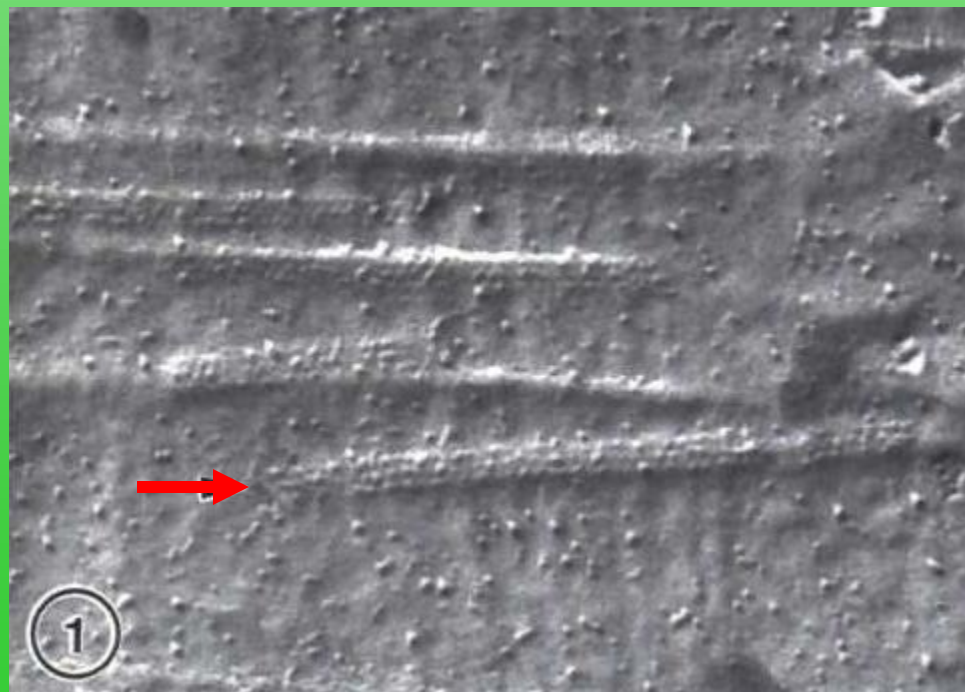


Terminální komplexy některých druhů řas



Rosety u Streptofyt – evoluce „plant-type“ cell walls

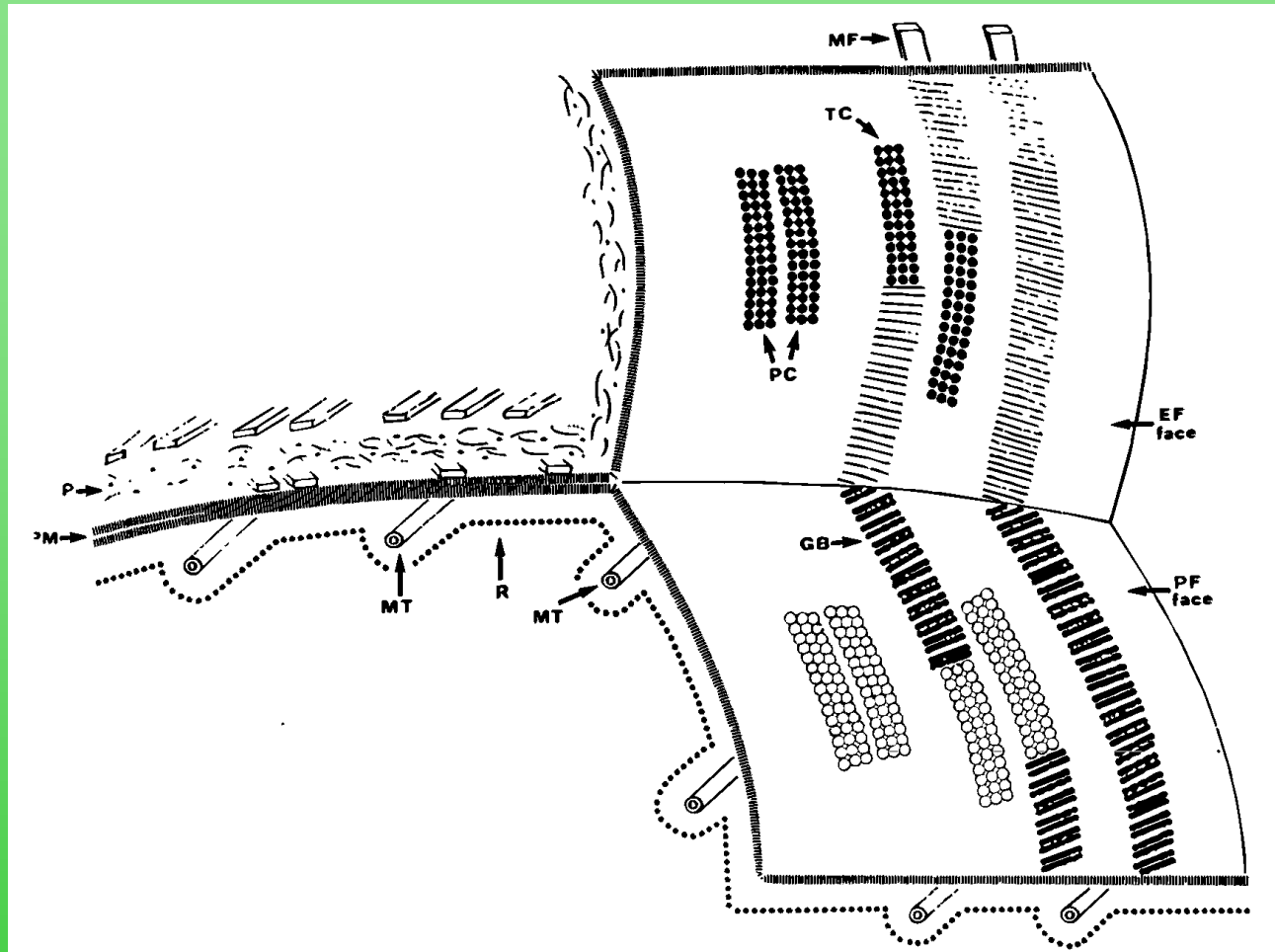
Vaucheria



Oocystis

typy terminálních komplexů

Hypotetický model biogeneze buněčné stěny u *Oocystis*.

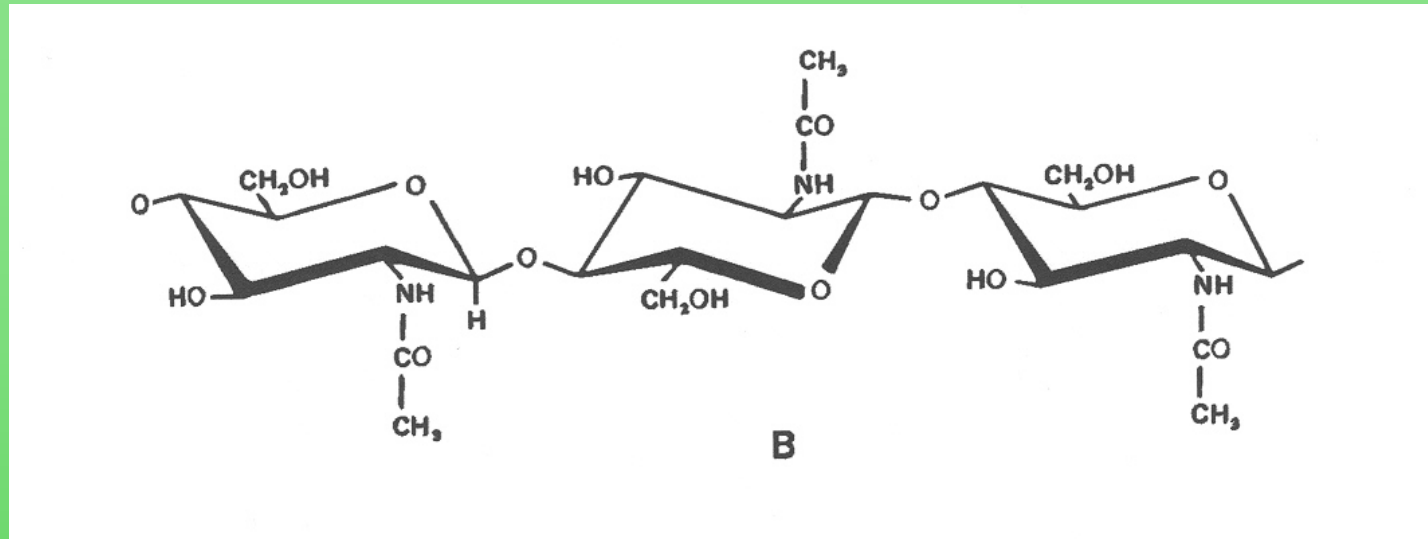


EF face

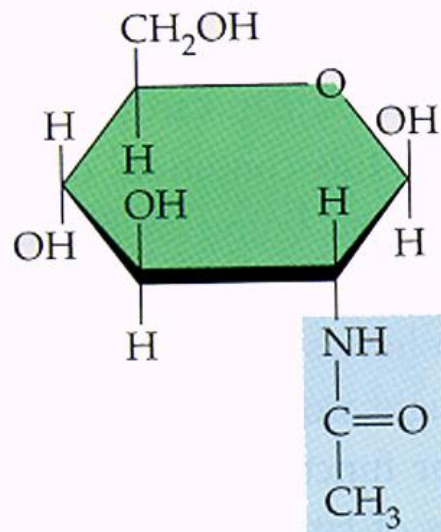
PF face

Plazmatická membrána (PM), terminální komplexy (TC) jsou spojeny s otisky mikrofibril (MF) nebo tvoří páry (PC) v lipidické monovrstvě plazmatické membrány, která přiléhá k buněčné stěně (EF face), otisky mikrofibril odpovídají proužkům granulí (granule bands, GB) v lipidické monovrstvě plazmatické membrány, která přiléhá k cytosolu (PF face), mikrotubuly (MT), R označuje oblast, která může mít vliv na řízení tvorby mikrofibril (Montezinos 1982).

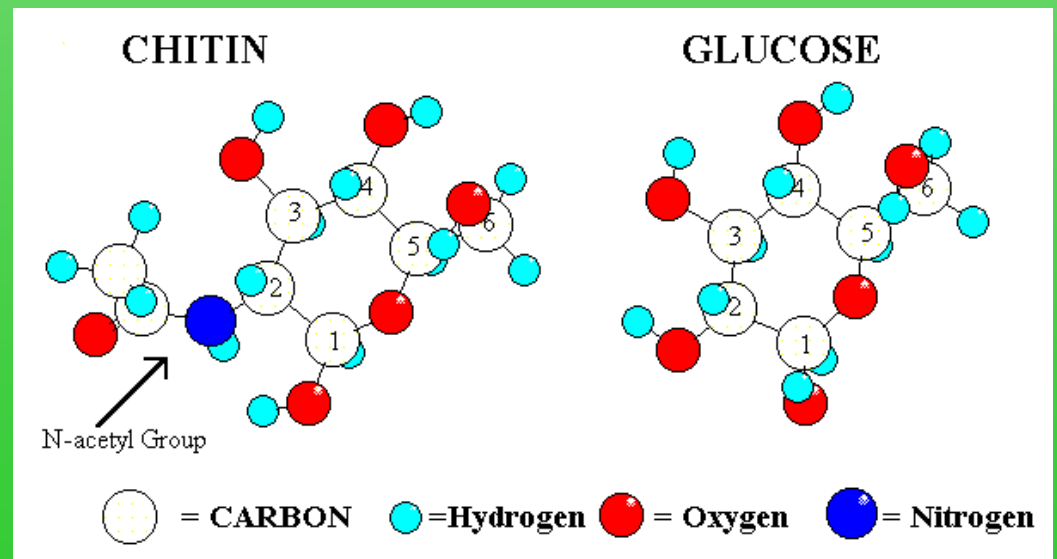
2. Chitin



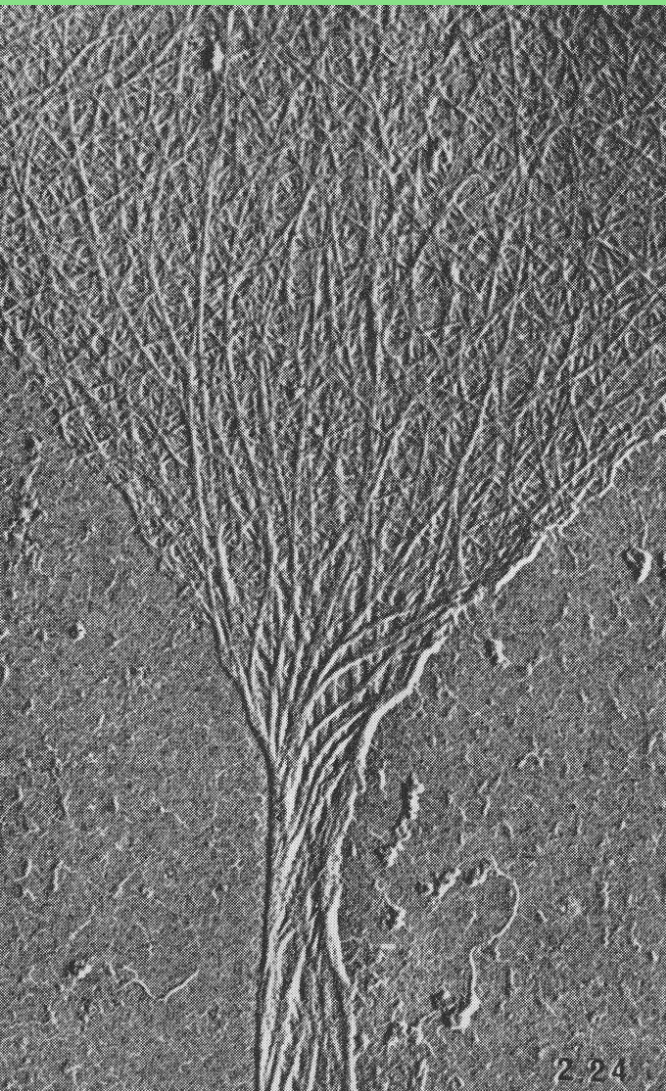
molekula chitinu, (β -1,4 N-acetylglukosamin)



monomer



Chitinózní loriky



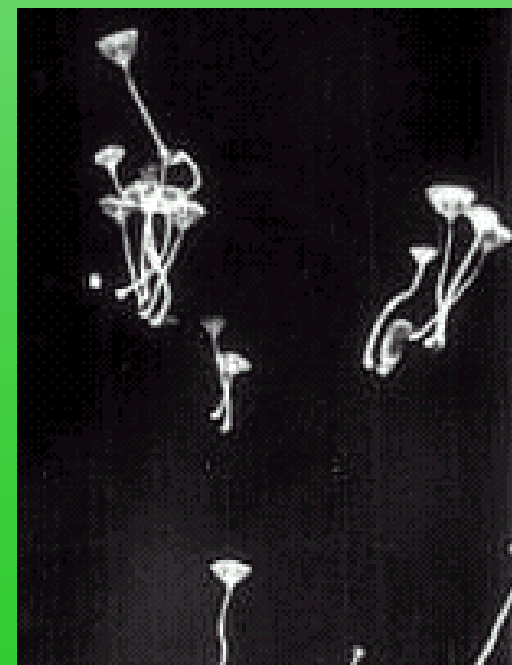
mikrofibrilární povaha loriky

Poterioochromonas

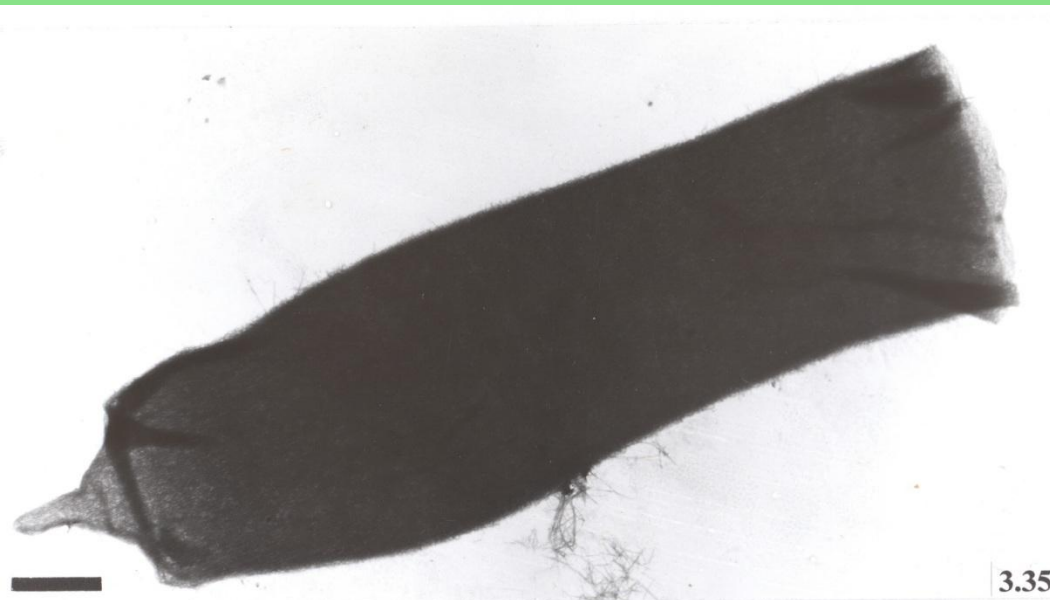


Poterioochromonas

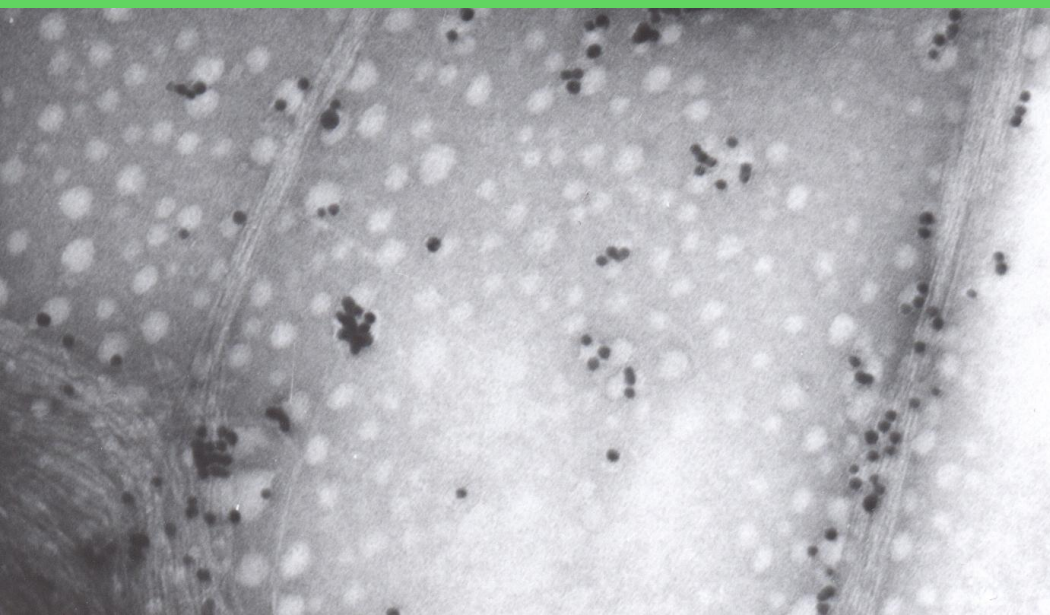
fluorescenční
barvení lorik
Calcofluor white



Chitinózní loriky



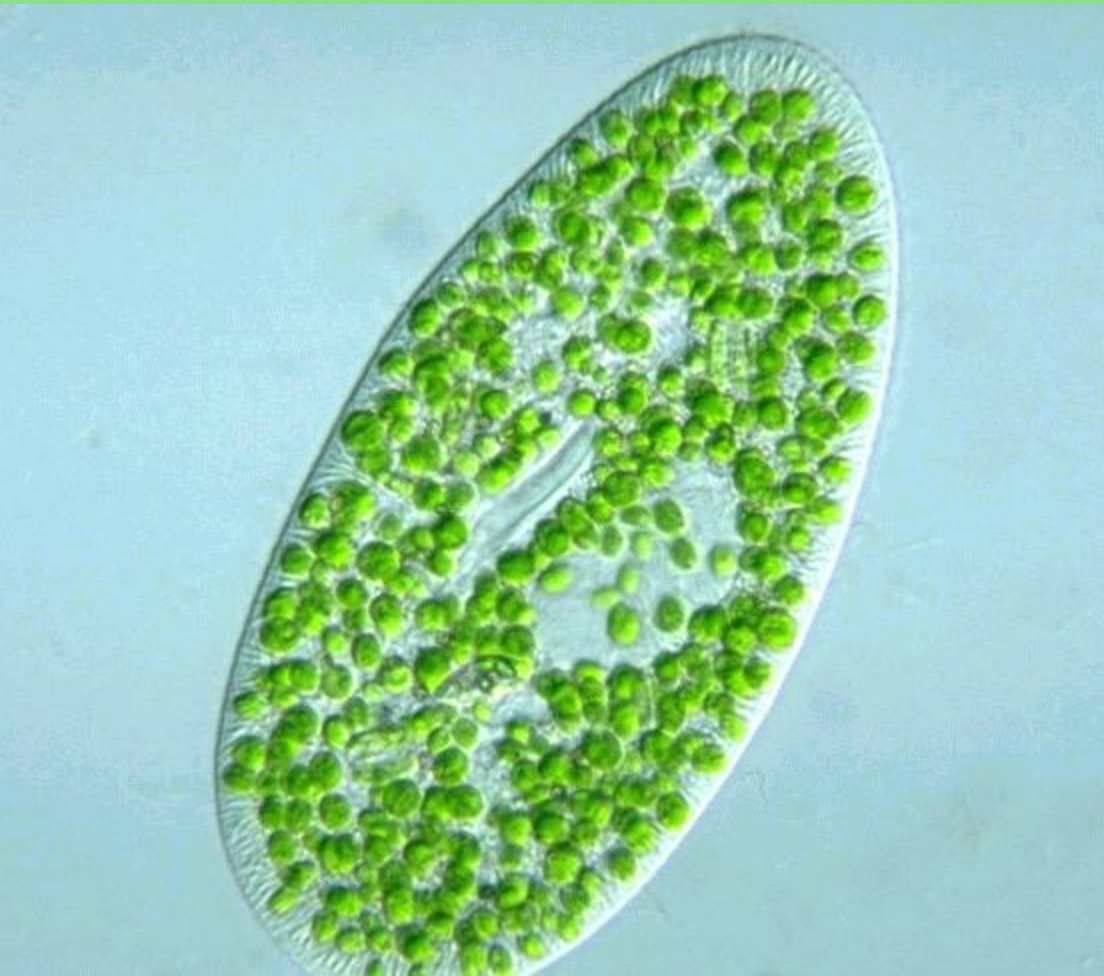
izolovaná lorika



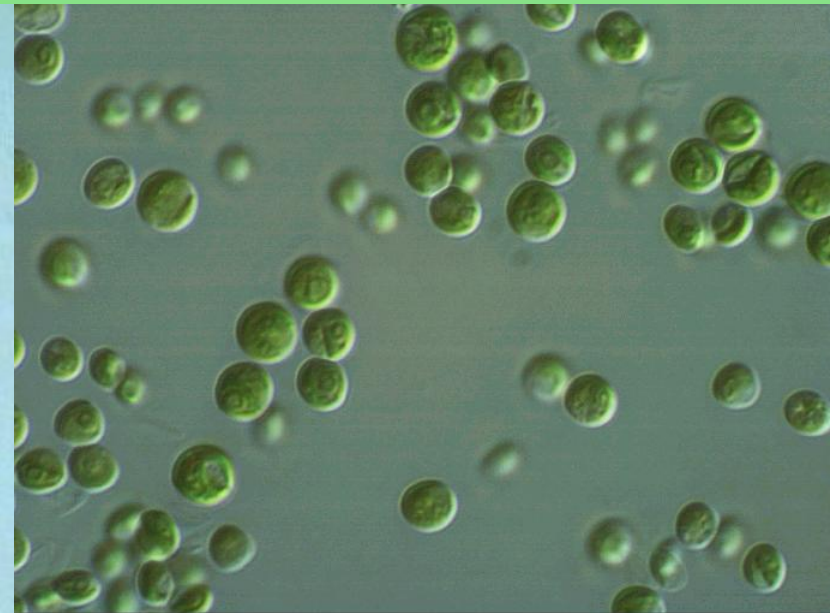
Dinobryon divergens

mikrofibrily značené
komplexem zlatosol-chitináza

Chlorely glukosaminové podskupiny



Paramecium se symbiotickou chlorelou



NIES-642 *Chlorella vulgaris* var. *vulgaris*

10 μ m

Chlorella Pbi

Ch. vulgaris var. *vulgaris*

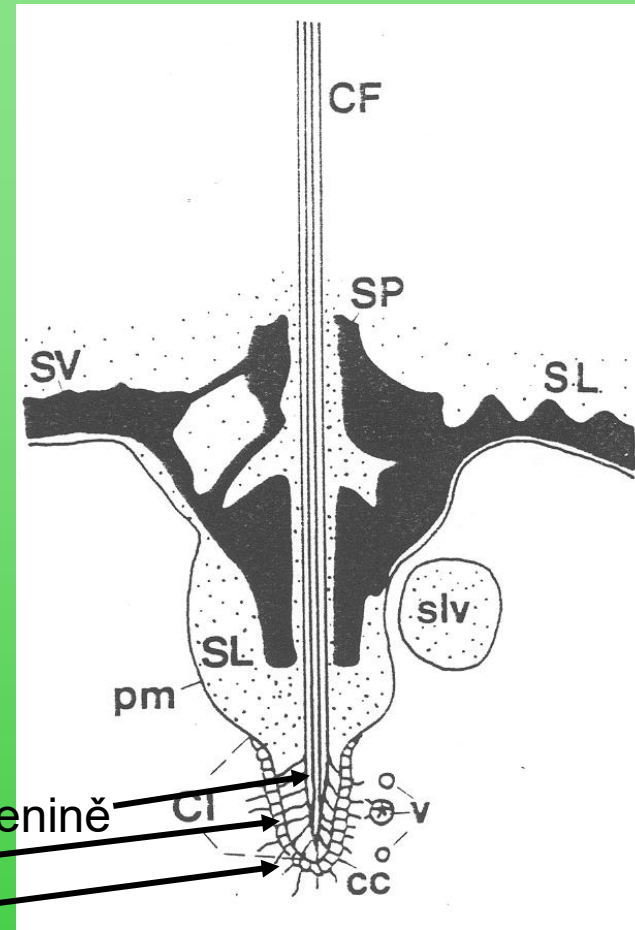
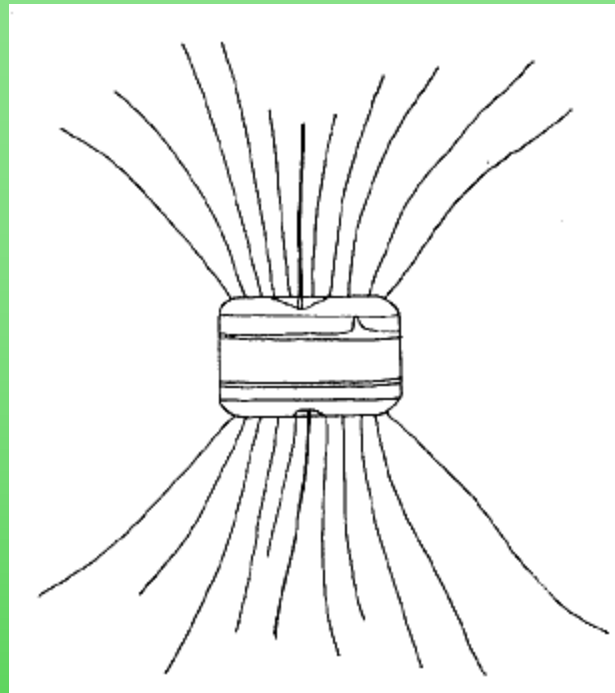
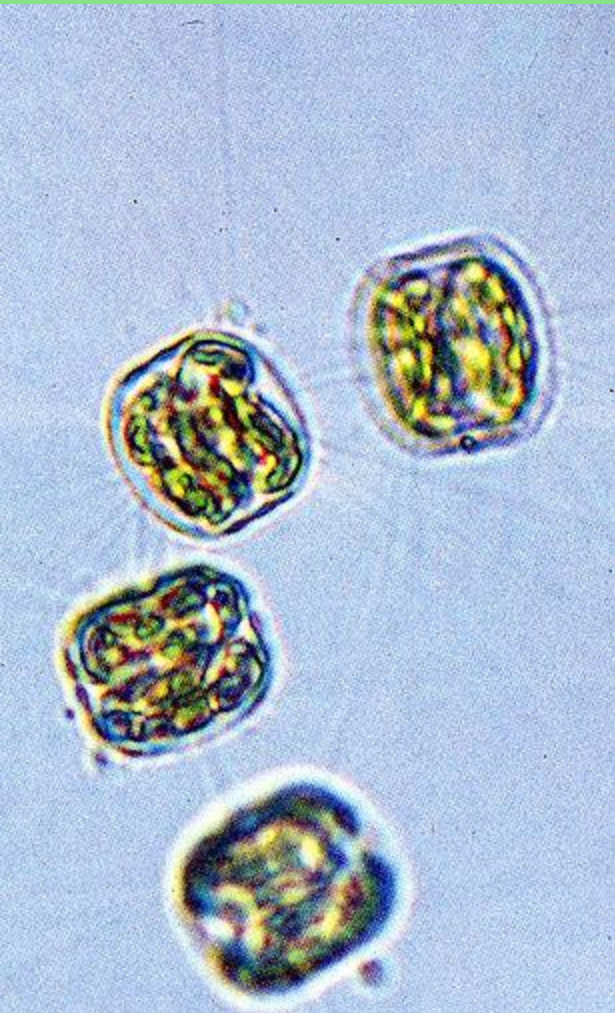
Lobosphaeropsis lobophora
(*Ch. lobophora*)

Ch. sorokiniana

Last but not least, the ability of *Chlorella* algae to synthesize chitin could have been inherited from a virus (itself endowed with chitinase activity (3)) having secured exclusive use of its host against other viruses incapable of piercing through its protective shell. This "monopoly" scenario illustrates a new mode of co-evolution between viruses and their hosts.

Chitin Synthesis in Chlorovirus CVK2-
Infected *Chlorella* Cells
Kawasaki et al. 2002

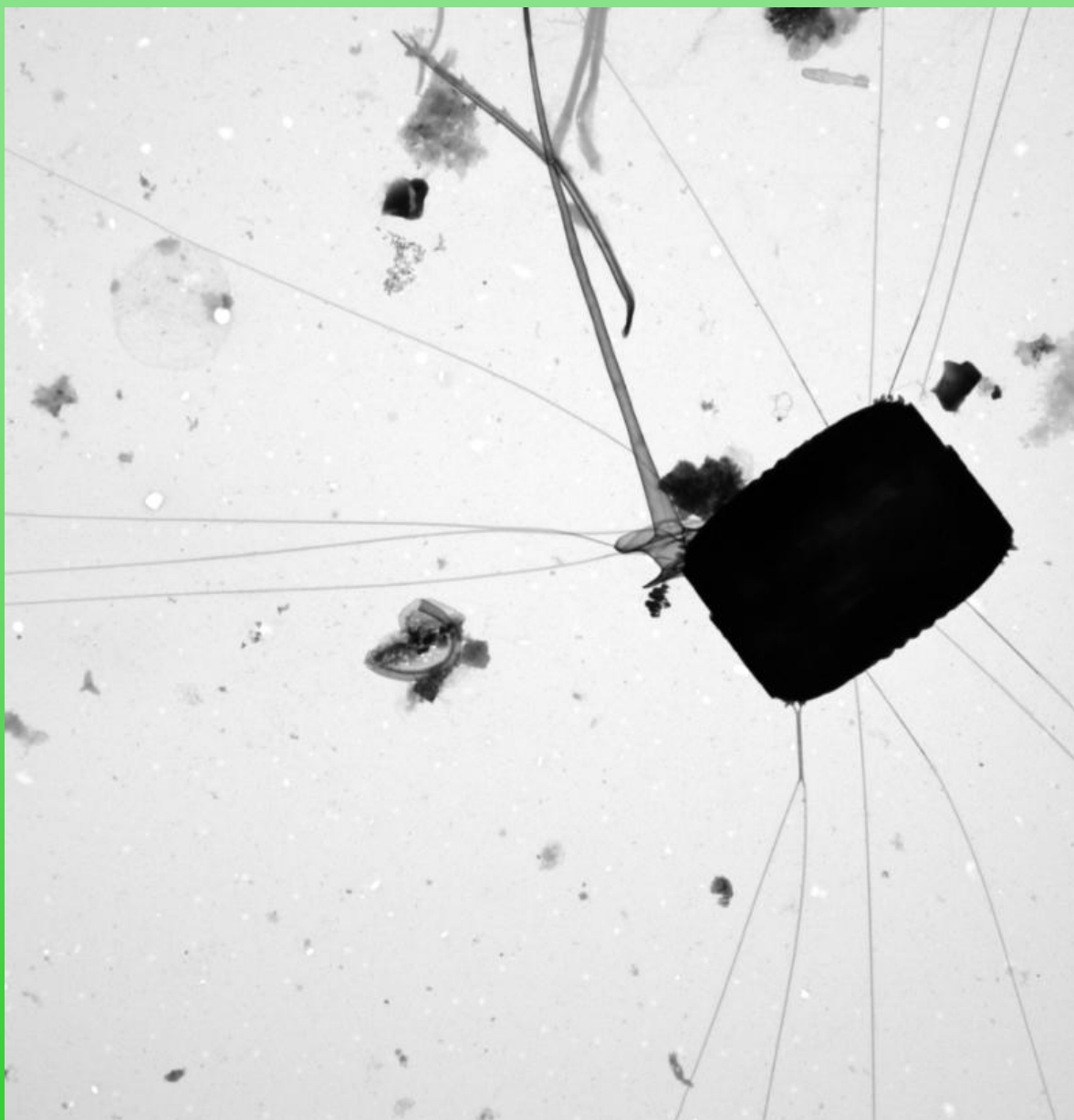
Chitinózní ostny rozsivek



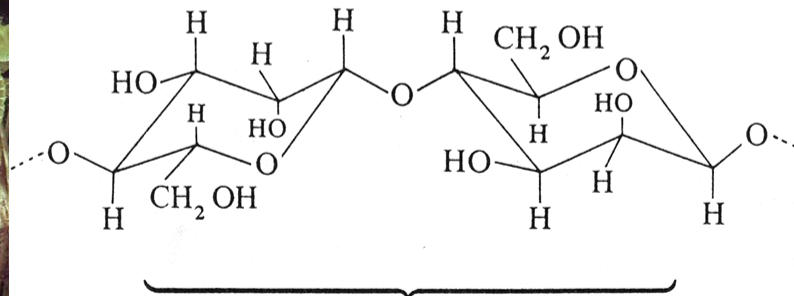
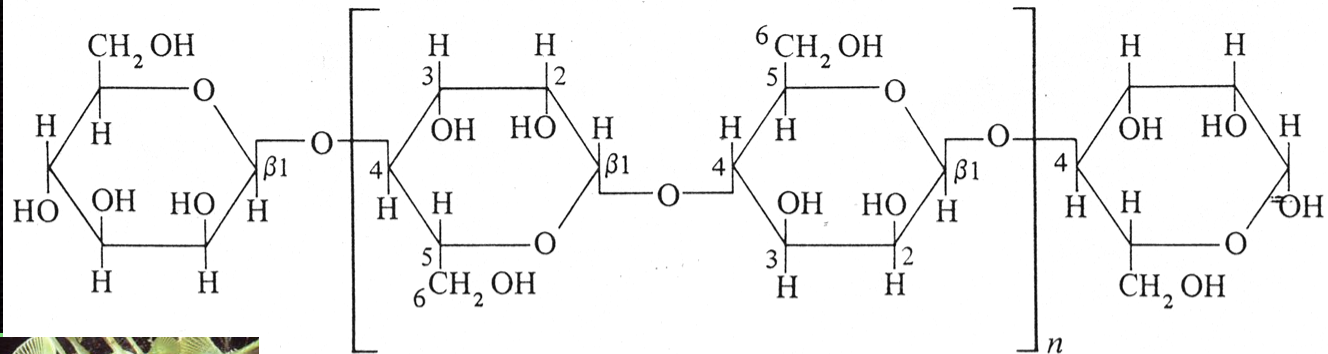
krystalizace v kónické vchlípenině
polymerace MF na PM
prekurzory pro tvorbu MF

syntetizační aparát: CF- chitin fibril, cc – cytoplasmic coat, CI – conical invagination, pm – plasmatic membrane, SL – slime, slv - slime vesicle, SP – pore apparatus, SV – silica valve, v – cytoplasmic vesicle

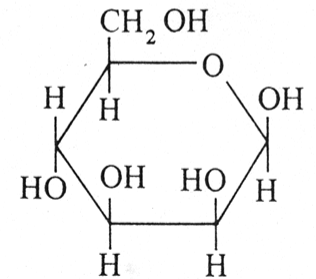
Thalassiosira



3. β -1,4 mannan



β -1,4-mannobiose repeating unit



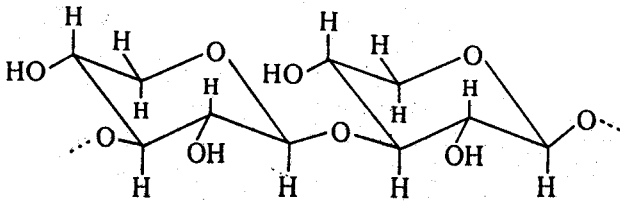
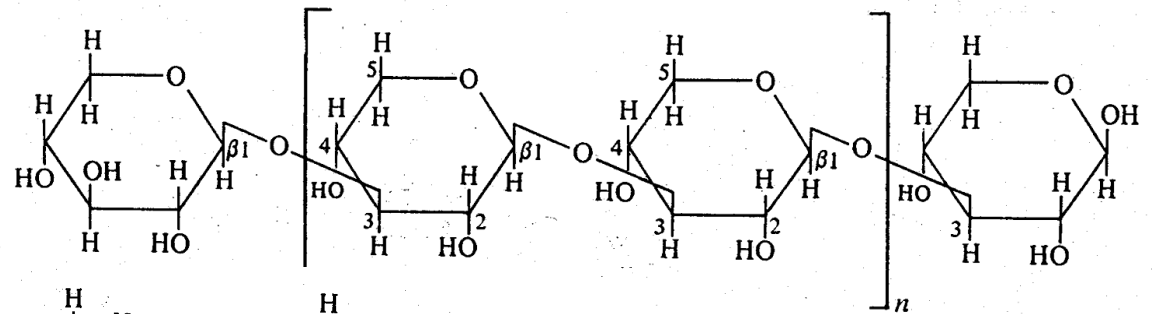
β -D-mannopyranose (VII)

g. 4.4. Structure and conformation of the β -1,4-mannan molecule.

zástupci Dasycladales (*Acetabularia*, *Batophora*, *Dasycladus*) a Bryopsidales (*Codium*, *Derbesia*), Ulvophyceae

molekuly vytváří MF, které jsou strukturálně analogické celulózním mikrofibrilám

4. β -1,3 xylan



β -1,3-xylobiose repeating unit



Caulerpa



Bryopsis

zástupci Bryopsidales (*Caulerpa*, *Udotea*, gametofyt *Bryopsis*), *Ulva* (Ulvophyceae) mají v BS jak xylany tak glukany. *Porphyra* a *Bangia* (Rhodophyta; Bangiophyceae) mají v BS xylany a mannany.

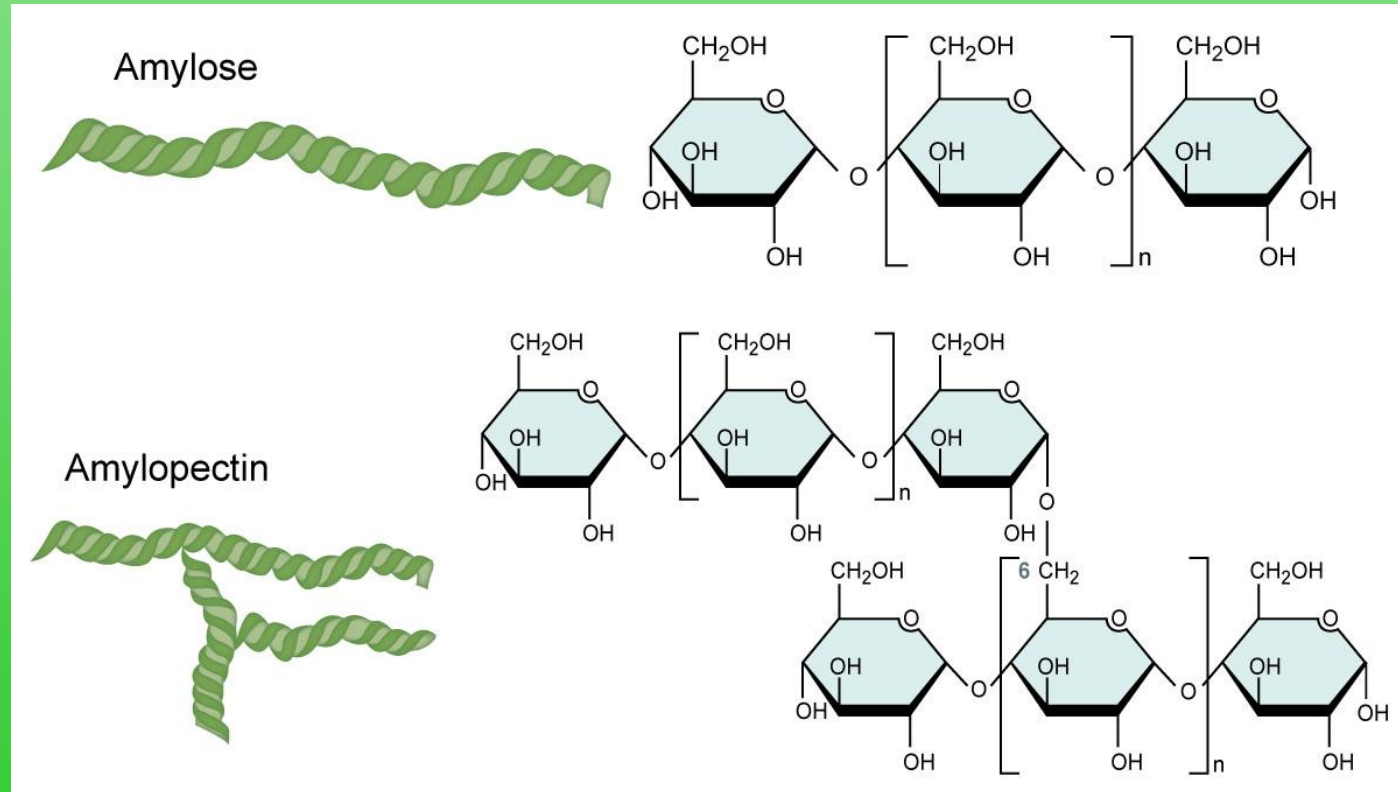
Molekula je tvořena nevětveným řetězcem D-xylozových podjednotek spojených β -1,3 glykosidickou vazbou. Struktura MF se liší: 3 molekuly vytváří pravotočivý helix, MF se skládá z urč. počtu těchto helixů.

Zásobní polysacharidy

α 1,4 glukany

škrob - komplexní karbohydrát, 2 typy molekul: **amylóza** tvoří 20-25 %, lineární molekula, řetězec spirálovitě stočený; **amylopektin** molekula rozvětvená, nese postranní řetězce

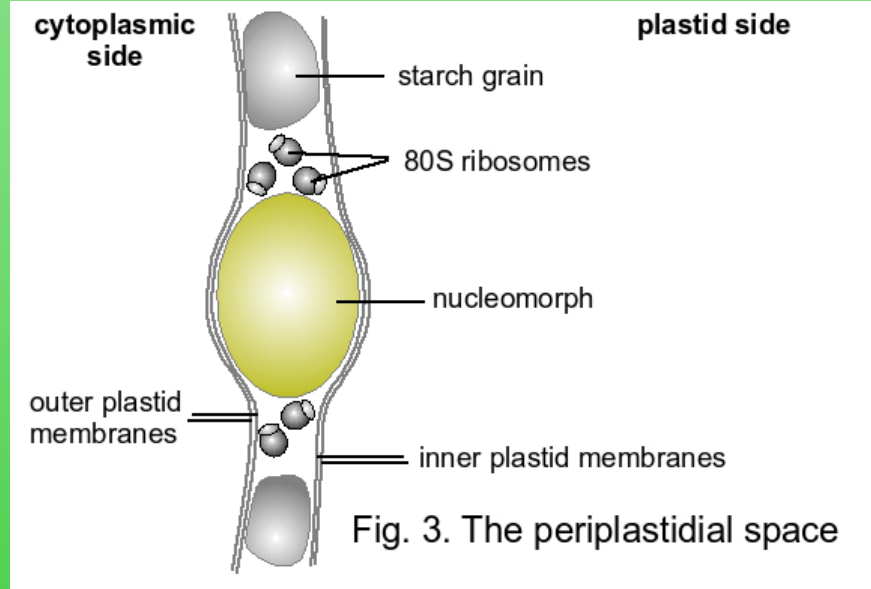
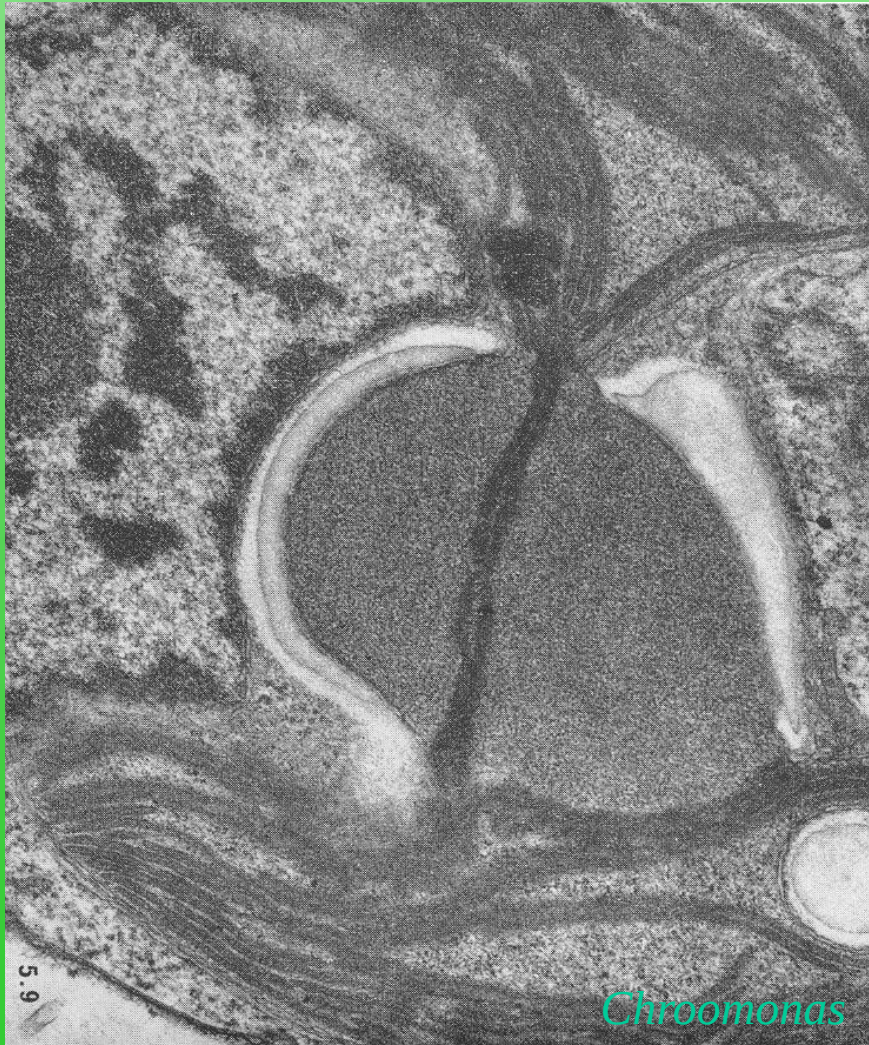
amylopektin,
postranní řetězce
připojeny α 1,6
glykosidickou
vazbou



Škrob

Glaucophyta - zrnka škrobu vznikají mimo chloroplast (cyanely)

Cryptophyta - zrnka škrobu lokalizována v periplastidiálním prostoru spolu s nukleomorfem



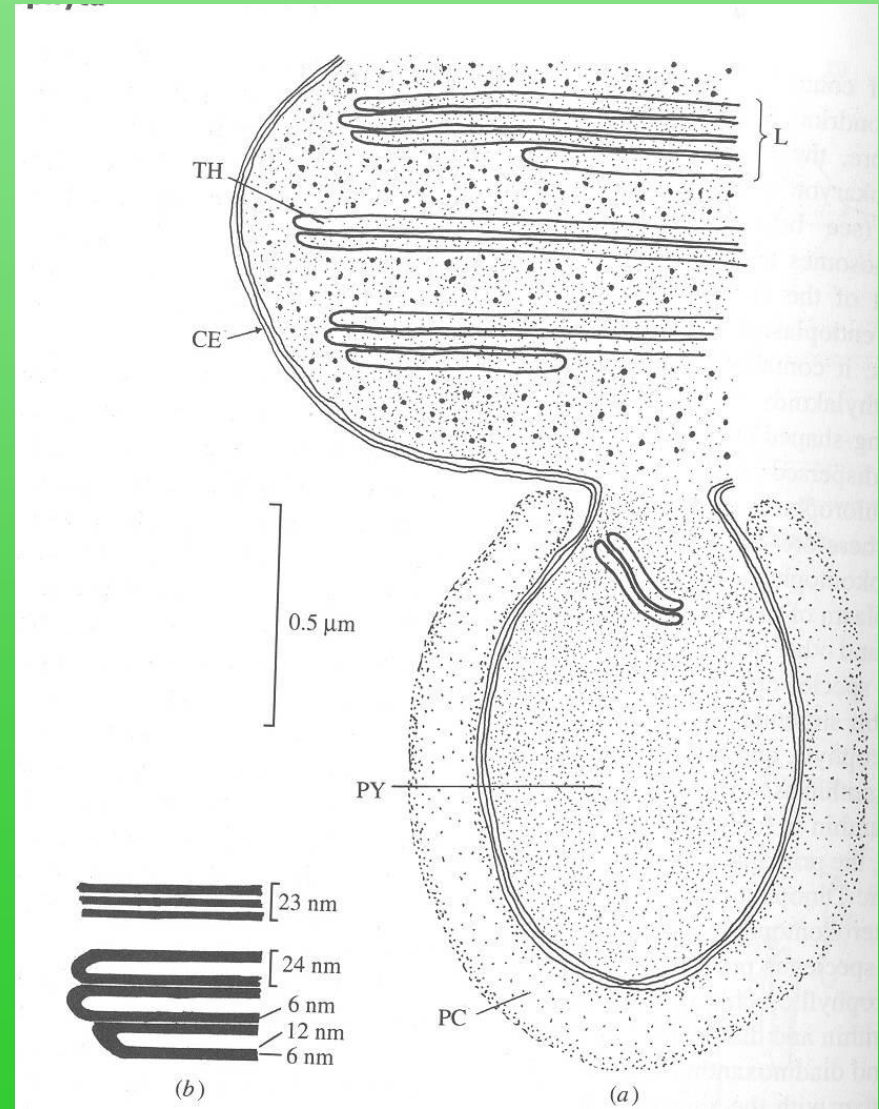
<http://www.uni-koeln.de/~aeb25/cryptophyceae.html>

Škrob

Dinophyta – vzniká vně chloroplastu (vně 3 obalných membrán), obaluje pyrenoid

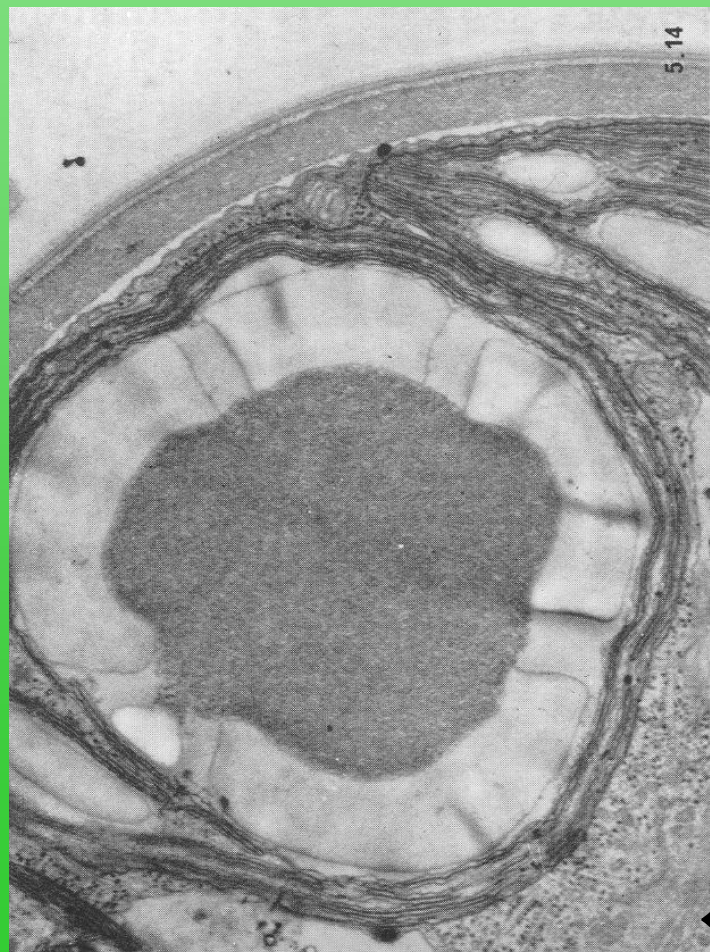


Amphidinium carterae



Škrob

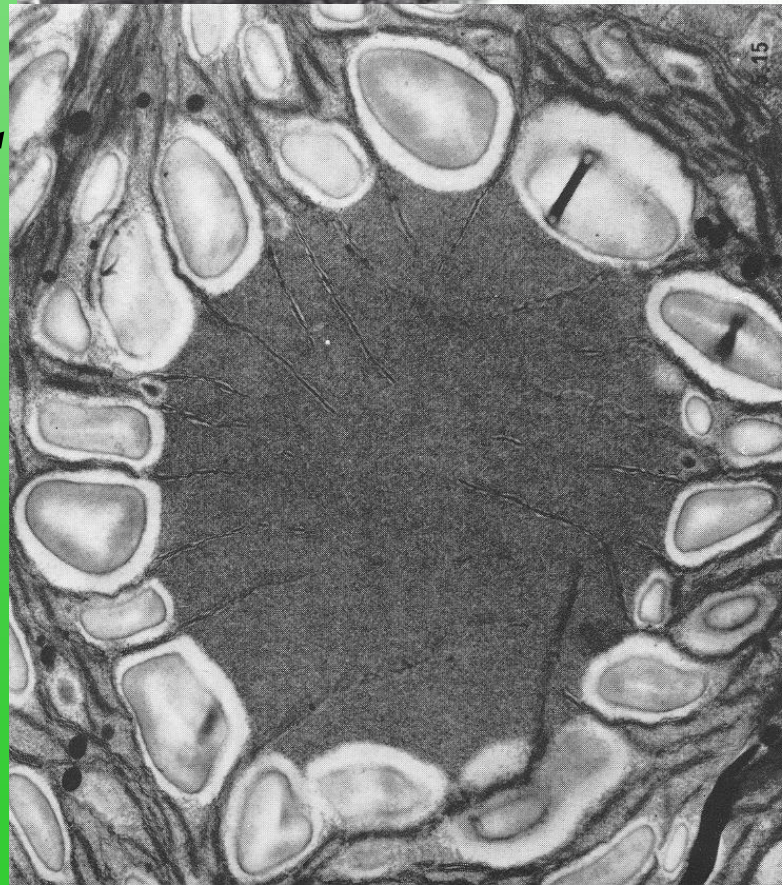
Chlorophyta- škrob se nachází uvnitř chloroplastu ve formě škrobových zrn, ty jsou buď volně ve stromatu chloroplastu nebo obklopují pyrenoid.



Chlamydomonas



← *Scenedesmus*

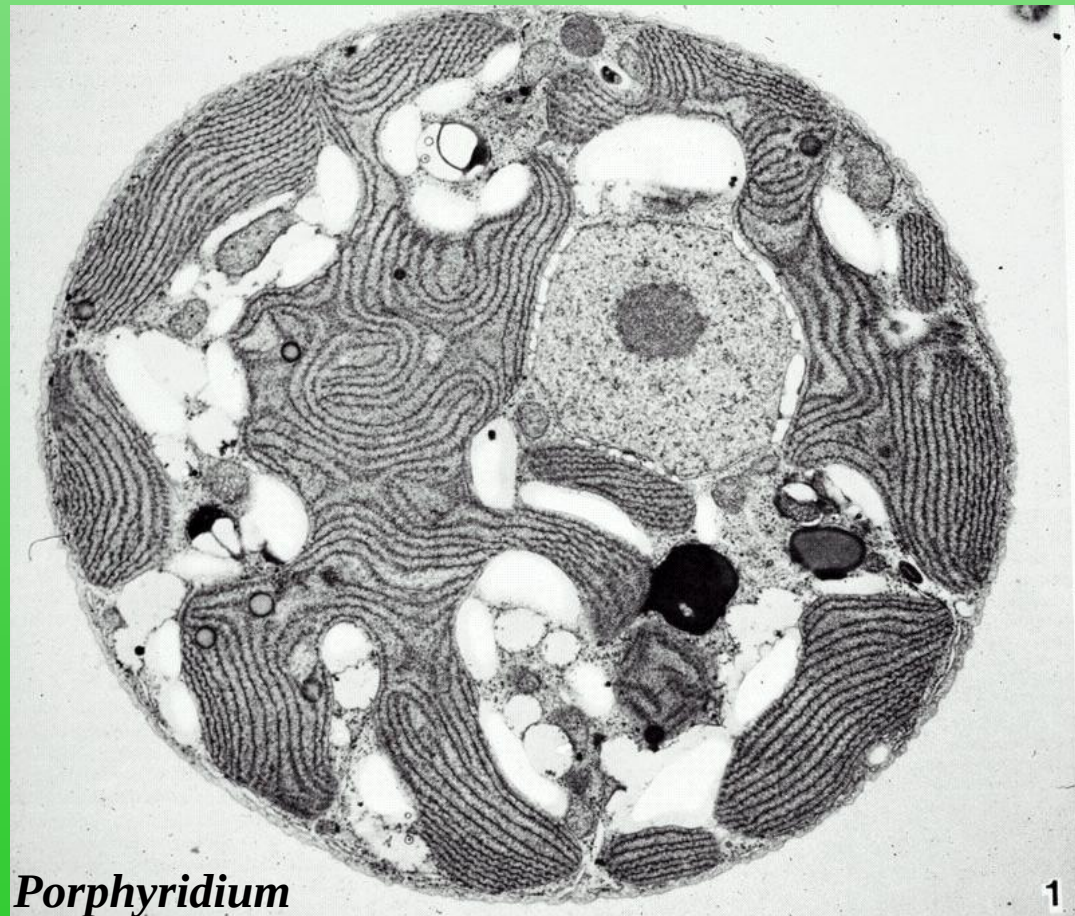
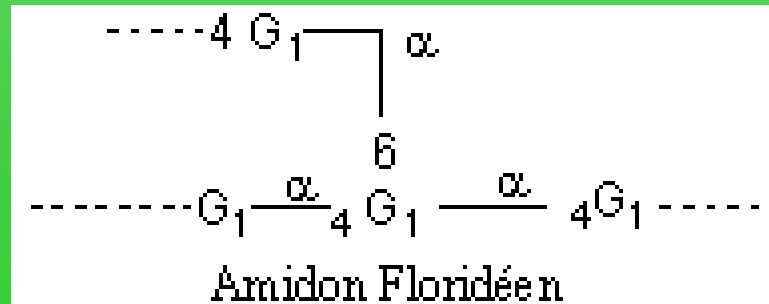


Sinicový a florideový škrob

α 1,4 glukany

sinicový škrob - podobný glykogenu a amylopektinové frakci škrobu zelených řas a cévnatých rostlin, nachází se v malých granulích (30 x 65 nm) viditelné pouze v EM mezi thylakoidy

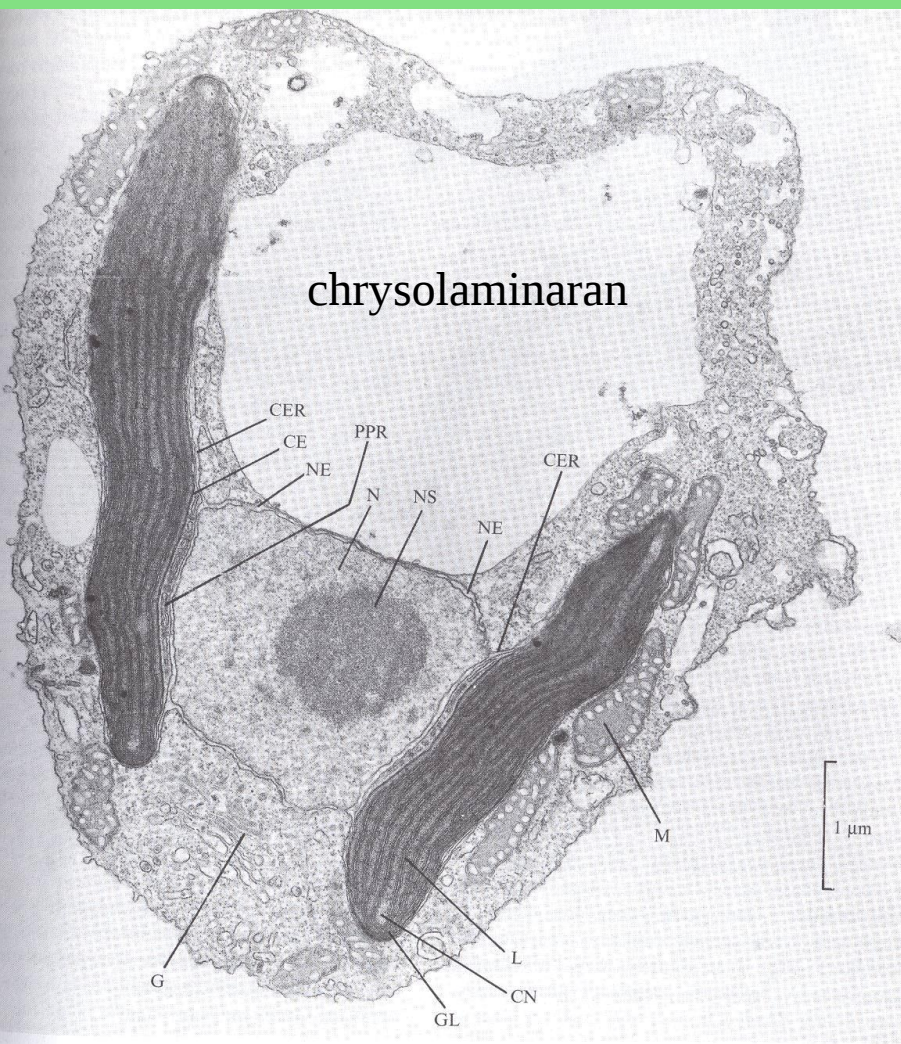
florideový škrob - podobný amylopektinové frakci škrobu zelených řas a cévnatých rostlin, vzniká v cytoplazmě (ne uvnitř chloroplastu)



Porphyridium

β 1,3 glukany

chrysolaminaran – **Stramenopila, Haptophyta** (Prymnesiophyta)
zásobní polysacharid uložen ve zvláštních vakuolách



Ochromonas danica - Chrysophyceae



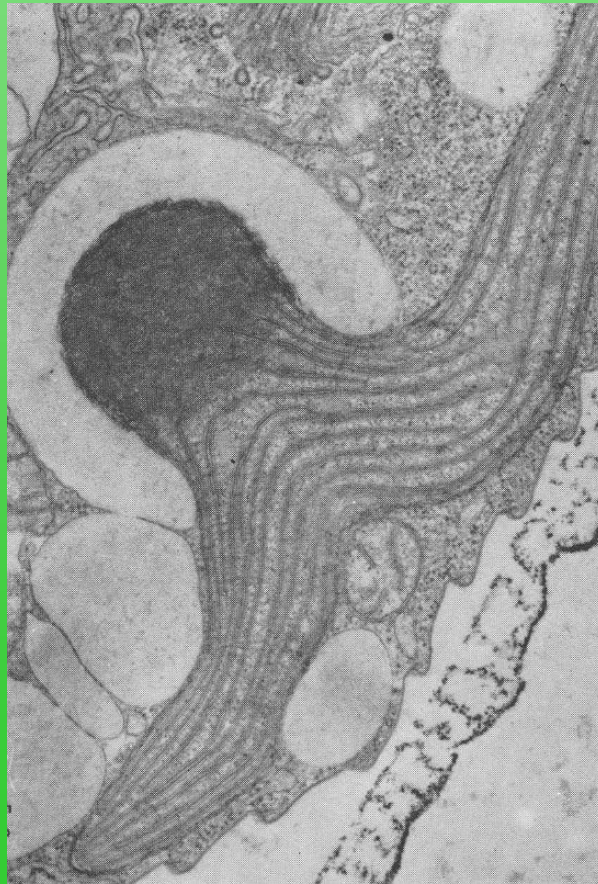
Mallomonas papillosa -Synurophyceae

β 1,3 glukany

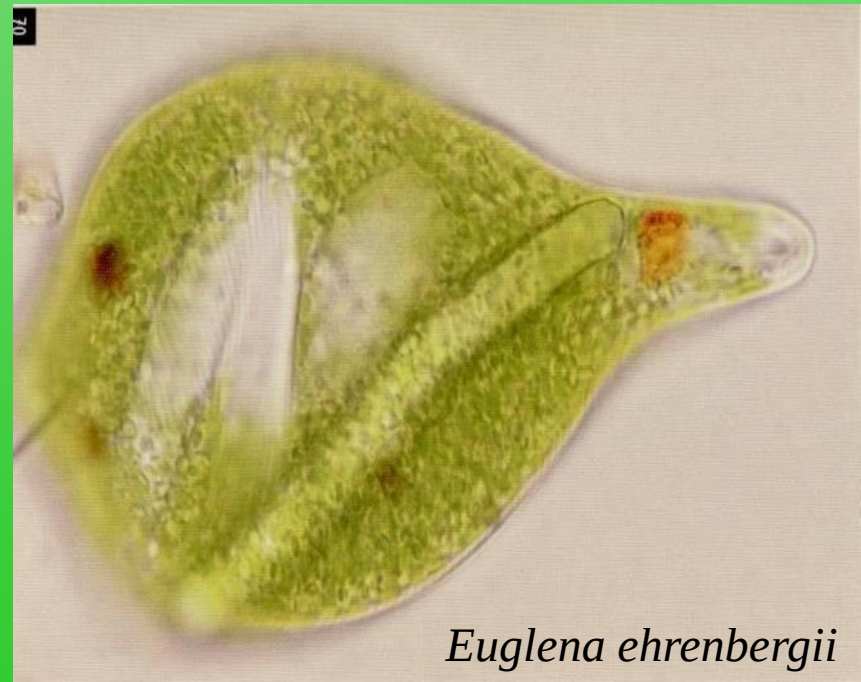
paramylon – **Haptophyta** (zjištěn u jednoho druhu, *Pavlova*)

Euglenophyta zásobní polysacharid uložen ve formě paramylonových zrn mají koncentrickou strukturu.

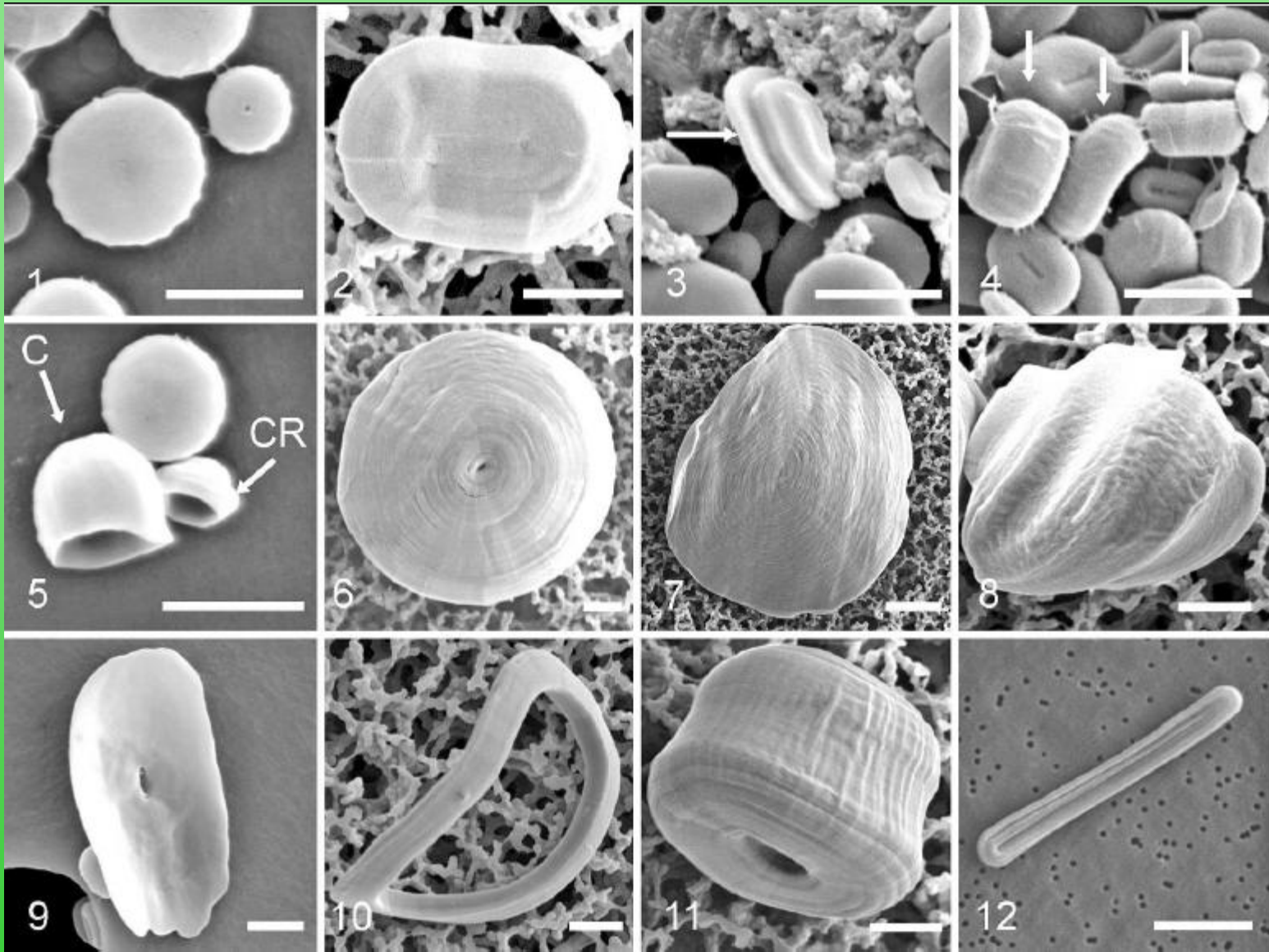
vznik
paramylonového
zrna na povrchu
pyrenoidu
Trachelomonas



Lepocinclis acus

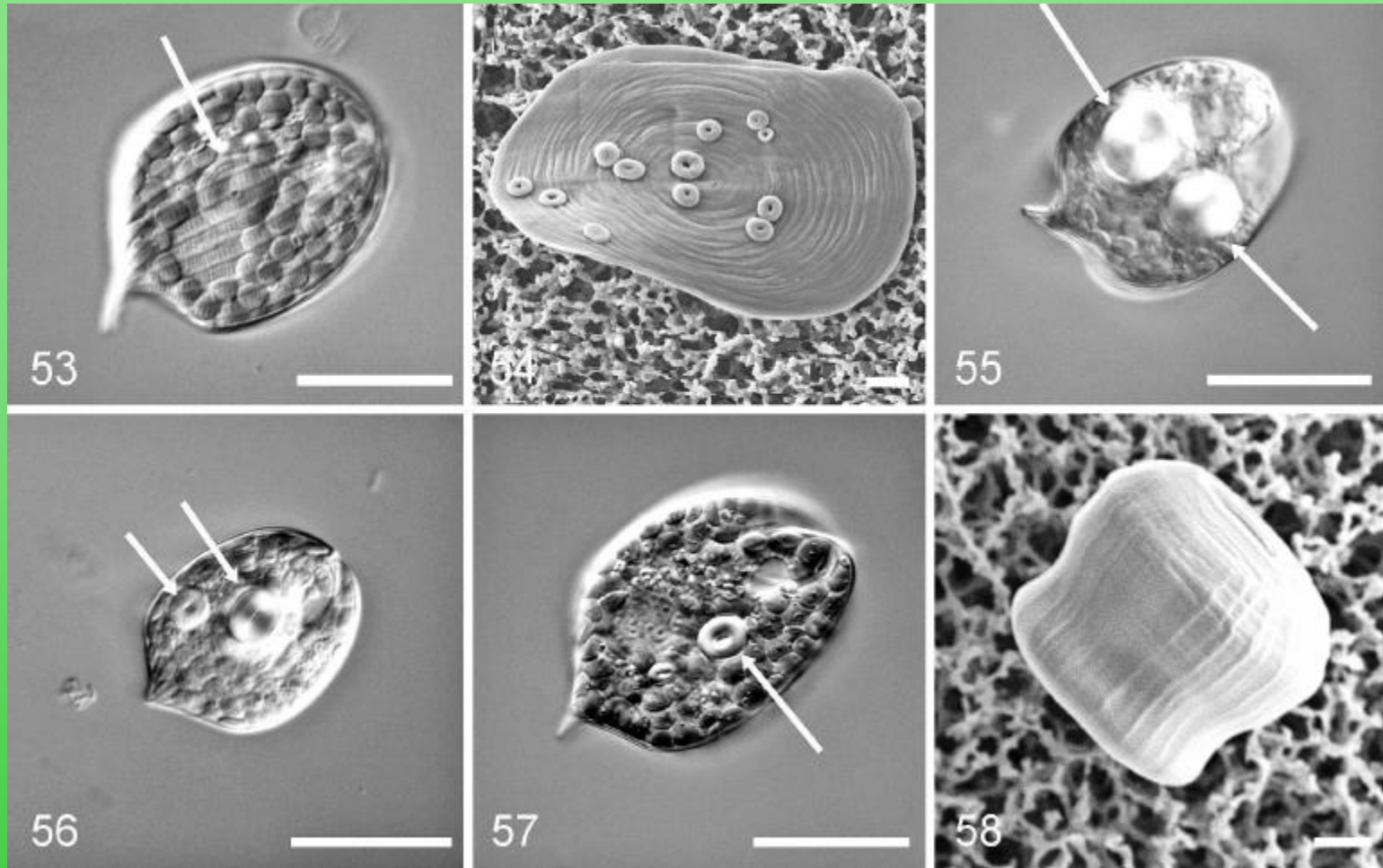


Euglena ehrenbergii



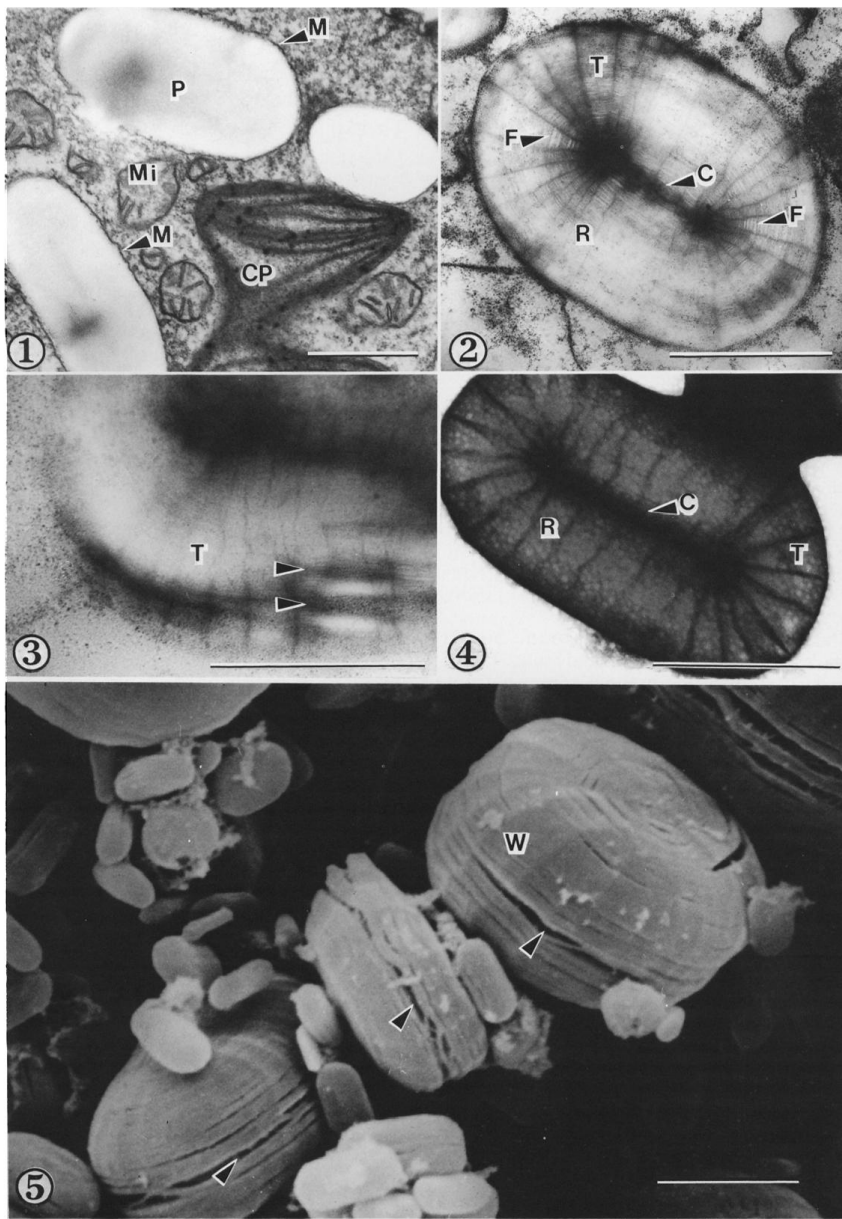
SEM micrographs of paramylon grain types in the Euglenales. Monfils et al. 2011, Phycologia

P. orbicularis



P. pleuronectes

Whole cell LM micrographs and paramylon SEM micrographs of euglenoid species in the genus *Phacus*. Monfils et al. 2011, *Phycologia*



KEY TO LABELING: C = central region, Cy = cytoplasm, CP = chloroplast, CS = crystal surface, F = fibers, M = membrane, Mi = mitochondria, P = paramylon, Pe = pellicle, R = rectangular segment, T = triangular segment, W = wedge.

Fig. 1–5. Fig. 1–3. High magnification view of paramylon in *Euglena gracilis* cells. Scale bars = 1 μm . 1. Cell fixed in glutaraldehyde-osmium and embedded in Epon. The membrane that surrounds the granule is evident. 2. Cell fixed in permanganate and embedded in Quetol (a transverse section through the granule). The substructure of paramylon is evident. 3. Same as Fig. 2, but an oblique section through the granule. Arrowheads indicate the layering in paramylon. 4. An isolated paramylon granule from *E. gracilis* stained with uranyl acetate. Scale bar = 0.5 μm . The two types of segments are visible. 5. Scanning electron microscopy of fractured *Eutreptia pertyi*. Scale bar = 2 μm . The layering (arrowheads) is apparent in the relatively large paramylon granules.

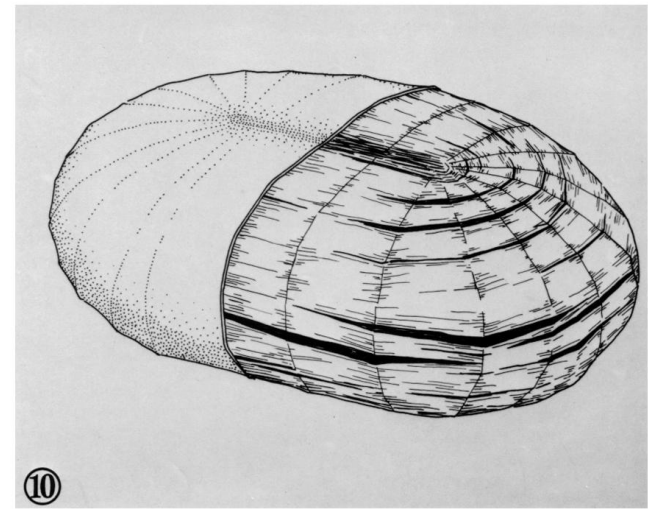
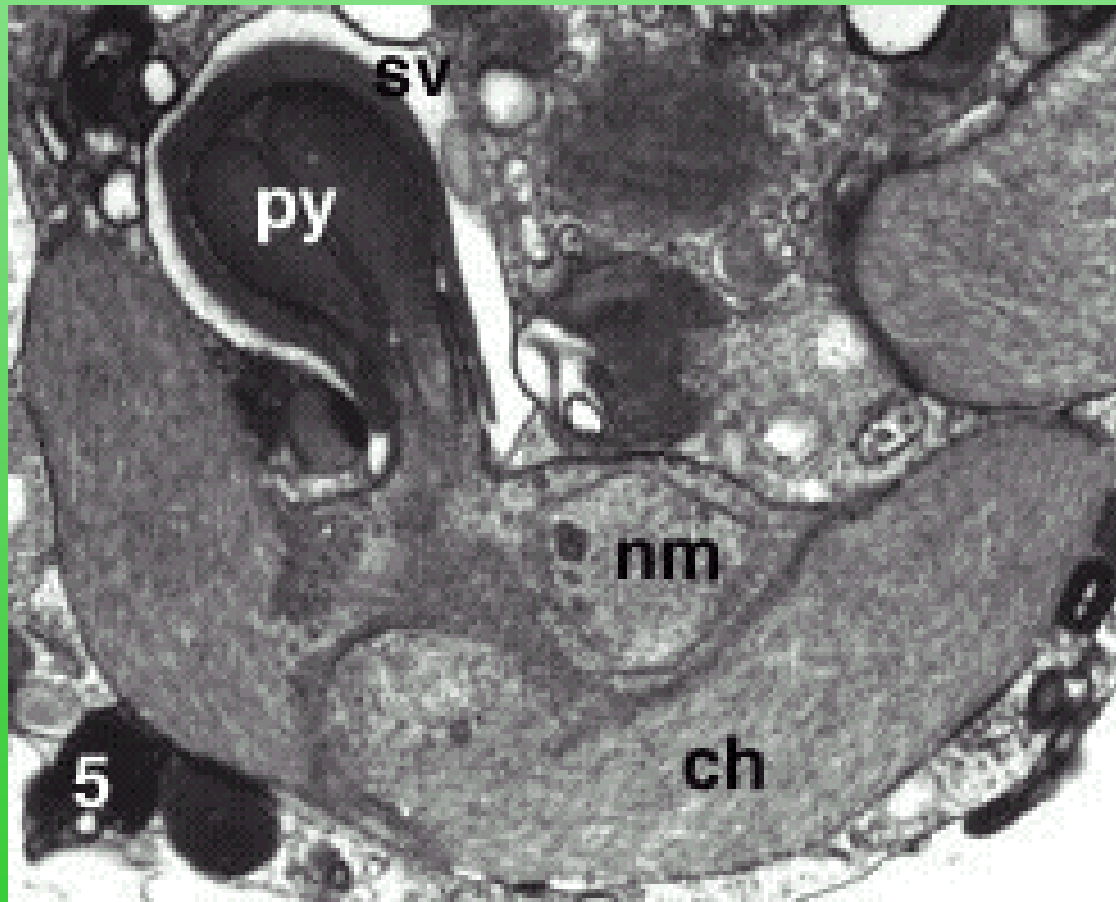


Fig. 10. Model of the paramylon granule. A portion of the surrounding membrane is removed. The granule is composed of two types of segments, wedges and rectangular solids. These segments meet at the central region. The granule is a layered structure with fibers that traverse it in an overall concentric pattern.

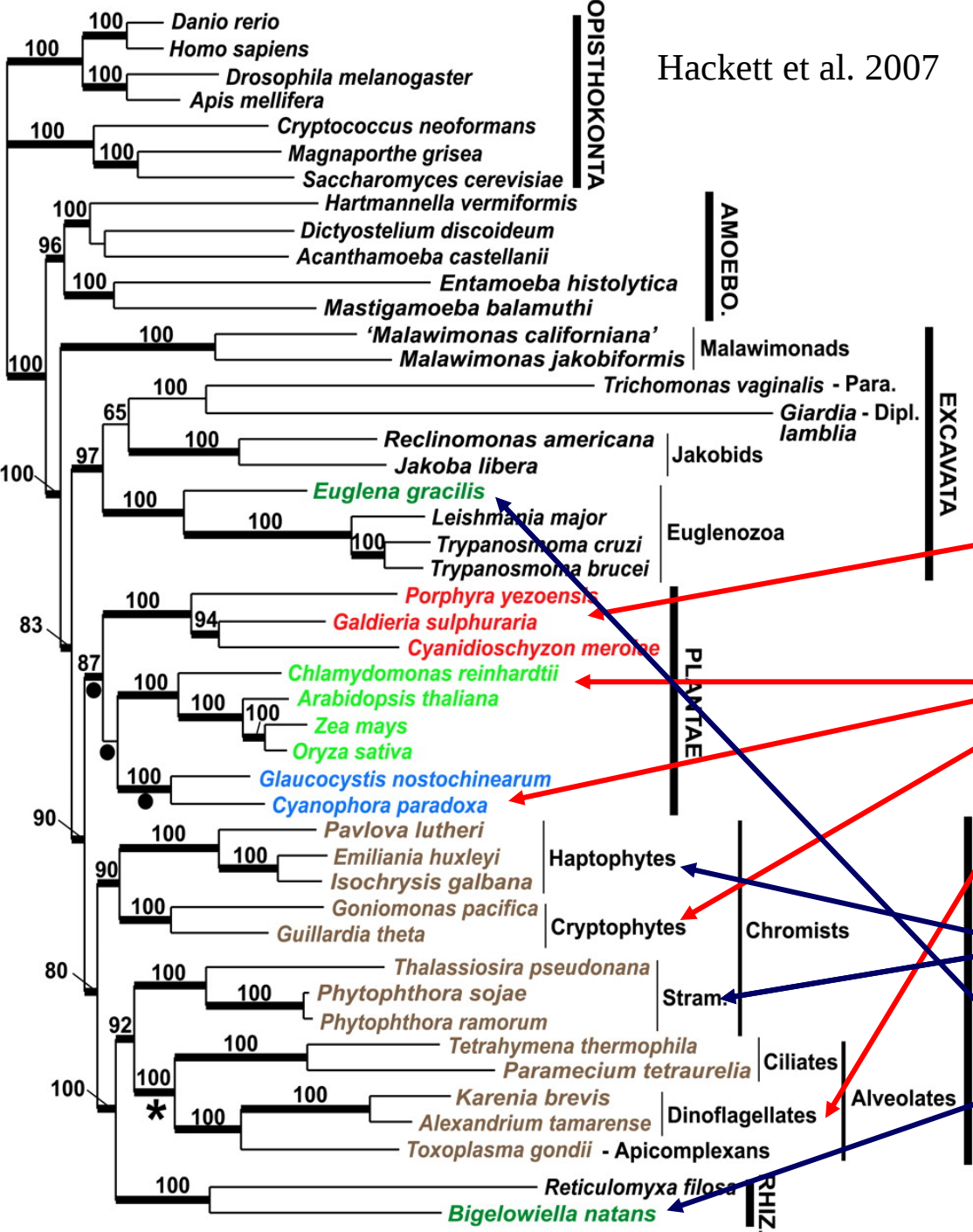
β 1,3 glukany

Chlorarachniophyta - pravděpodobně paramylon, nachází se na vnějším povrchu pyrenoidu, tvoří čepičku



Lotharella amoeboformis

Hackett et al. 2007



α 1,4 florideový škrob

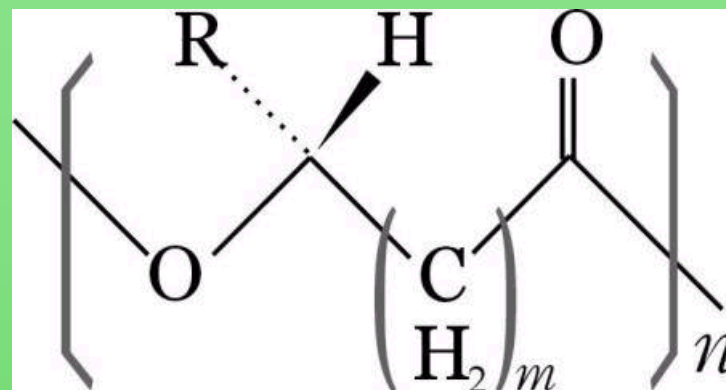
α 1,4 škrob

β 1,3 chrysolaminaran

β 1,3 paramylon

Polyhydroxyalkanoáty – degradovatelné plasty

Představují polyestery různých hydroxyalkanoátů, jsou akumulovány jako zásoba uhlíku a energie v různých mikroorganismech, většinou za podmínek, kdy limitovány živiny (N, P, S, O, Mg) a kdy je naopak nadbytek C.



Základní struktura monomeru:
n – může dosahovat hodnot až do 30 000, m – je většinou 1 (poly-3-hydroxyalkanoáty), ale může mít i hodnotu 2 (poly-4-hydroxyalkanoáty) nebo 3 (poly-5-hydroxyalkanoáty); skupina R zahrnuje atom H a různě dlouhý uhlíkatý řetězec.



Přestože schopnost sinic syntetizovat PHA byla zjištěna před 30 lety, není jim zatím věnována přílišná pozornost

Bakteriální PHAs mohou být klasifikovány do tří skupin:

- 1) SCL PHAs (short-chain-length) monomer má 3-5 C atomů
- 2) MCL PHAs (medium-chain-length) monomer má 6-14 C atomů
- 3) LCL PHAs (long-chain-length) monomer má více než 14 C atomů.

Poly(3-hydroxybutyrát) -P(3HB) homopolymer patří mezi nejstudovanější biopolyestery. Má podobné materiálové vlastnosti jako polypropylen; má teplotu tání 170 °C.

Copolymer **poly(3hydroxybutyrát-co-3-hydroxyvalerát) – P(3HB-co-3HV)** má nižší teplotu tání (160-100 °C).

MCL- PHAs: materiály s vyšší elasticitou - předpokládá se jejich využití jako degradovatelné gumy a potahový (coating) materiál.

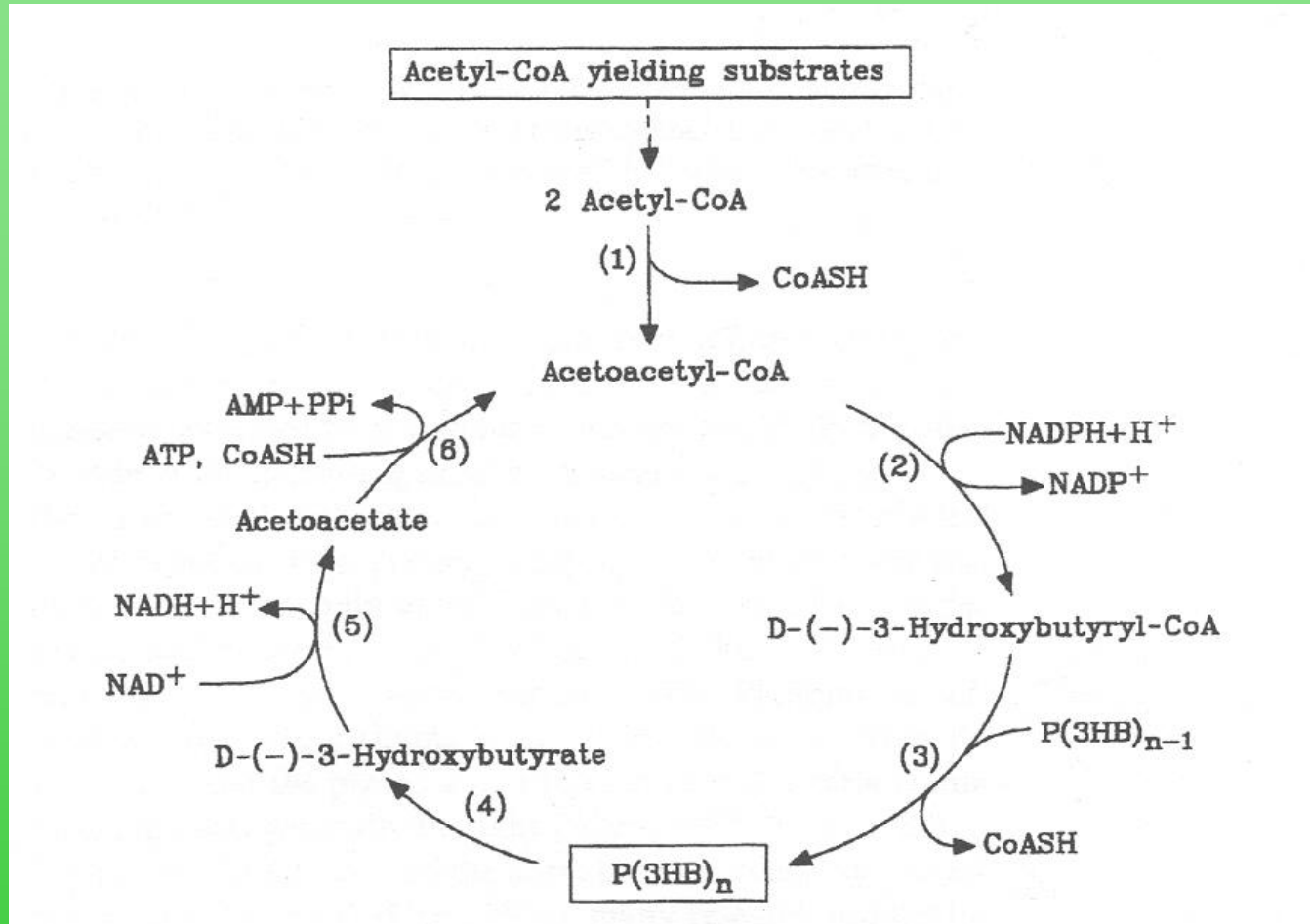
Potencionální využití polyhydroxyalkanoátů

Table 13.2 Actual and potential industrial applications of PHAs (from Uttley, 1986; Lafferty *et al.*, 1988; Doi, 1990; Brandl *et al.*, 1990, 1995; Lee, 1996).

Application field	Uses	Properties useful for specific uses	Current status
Agriculture	Controlled release of pesticides, plant growth regulators, herbicides, fertilizers	Biodegradability, retarding properties	Research
	Covering foils	Biodegradability	Field experiments
	Seed encapsulation	Biodegradability	Conceptual
Chiral chromatography	Stationary phase for columns	Chiral properties	Conceptual
Chiral synthesis/cosmetics	Sources of chiral precursors	Stereoregularity, chiral properties	Research
Disposables	Razors, trays for food, utensils, etc.	Biodegradability, good mechanical properties	Commercial (Japan)
Hygiene products	Diapers, feminine hygiene products	Moisture resistance, good water barrier, biodegradability	Conceptual
Medical	Absorbable sutures, surgical pins, staples	Biocompatibility, biodegradability	Research/commercial
	Bone plates, films around bone fracture	Biocompatibility, piezoelectric properties ^(a)	Conceptual
Miscellaneous	Autoseparative air filters	Biodegradability ^(b)	Research
	Fibre-reinforced, biodegradable goods	Biodegradability, good mechanical properties	Research
Packaging	Bottles	Biodegradability, good mechanical properties, good liquid barrier, moisture resistance	Commercial (Europe, Japan, USA)
	Films for food packaging	Biodegradability, good liquid barrier, good mechanical properties, low O ₂ permeability, moisture resistance	Research
	Paper coating	Biodegradability, moisture barrier	Conceptual
Pharmaceutical	Retarded drug release, drug carrier	Biocompatibility, biodegradability, retarding properties	Research

^aPiezoelectricity stimulates bone growth; ^bbiodegradation allows the autoseparation of particles from the filter.

Biosyntéza poly-3-hydroxybutyrátu P(3HB)



- (1) kondenzace 2 molekul acetyl-CoA na acetoacetyl-CoA enzymem 3-ketothiolase;
(2) redukce acetoacetyl-CoA na D-(-)-3-Hydroxybutyryl-CoA enzymem NADPH-dependentní reduktáza; (3) polymerace 3-hydroxybutyrátových monomerů - enzym PHA syntáza

Některé kmeny sinic, u nichž byla zjištěna přítomnost PHAs

Aphanothece sp.

Gloeotheca PCC 6909

Synechococcus sp. MA 19

Arthrospira platensis

Anabaena hallensis HN-15

Anabaena variabilis ATCC 29211

Anabaenopsis siamensis

Aphanizomenon gracile SAG B31.79

Chlorogloea fritschii



Aphanizomenon gracile



Chlorogloea



Anabaena variabilis

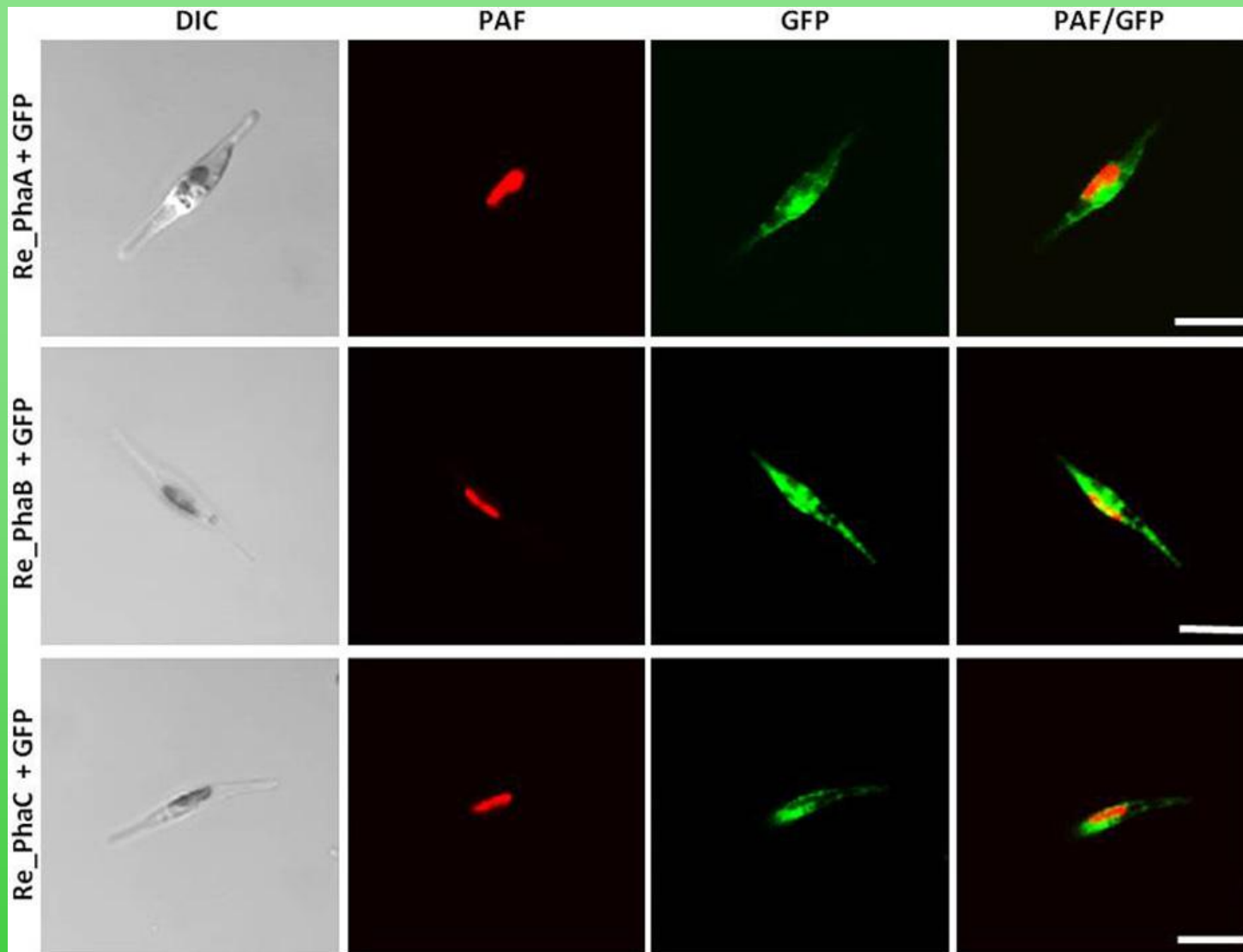
Microalgae as bioreactors for bioplastic production

Hempel et al. Microbial Cell Factories 2011, 10:81

<http://www.microbialcellfactories.com/content/10/1/81>

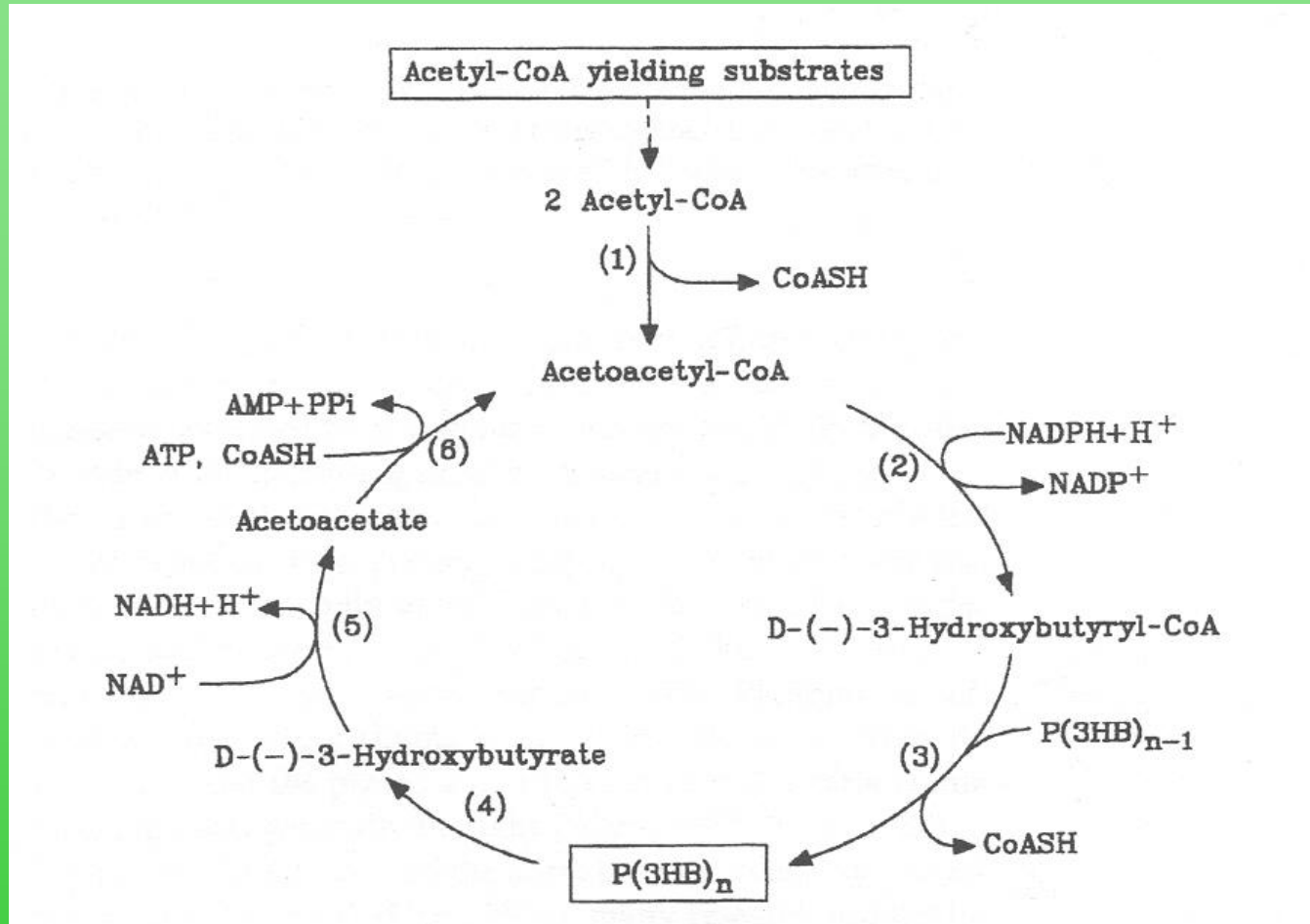
introducing the bacterial PHB pathway of *Ralstonia eutropha* into the diatom *Phaeodactylum tricornutum*, thereby demonstrating for the first time that PHB production is feasible in a microalgal system. Expression of the bacterial enzymes was sufficient to result in PHB levels of up to 10.6% of algal dry weight.



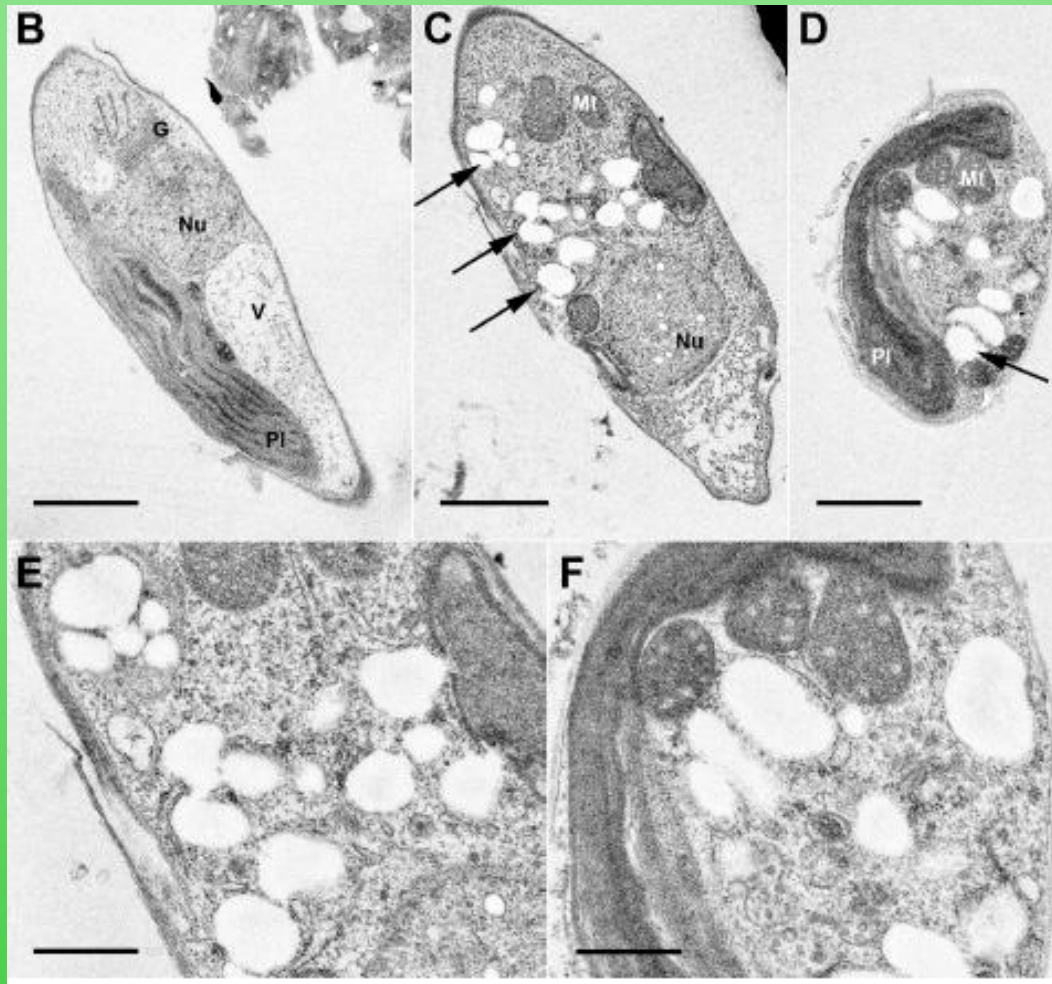


The enzymes PhaA (ketothiolase) -1, PhaB (acetoacetyl-CoA reductase) - 2 and PhaC (PHB synthase) - 3 of the Gramnegative bacterium *Ralstonia eutropha* H16 were expressed in the cytosol of the diatom

Biosyntéza poly-3-hydroxybutyrátu P(3HB)



- (1) kondenzace 2 molekul acetyl-CoA na acetoacetyl-CoA enzymem 3-ketothiolase;
(2) redukce acetoacetyl-CoA na D-(-)-3-Hydroxybutyryl-CoA enzymem NADPH-dependentní reduktáza; (3) polymerace 3-hydroxybutyrátových monomerů - enzym PHA syntáza



Electron microscopic analyses confirm cytosolic accumulation of electron-translucent granules in cell lines expressing bacterial enzymes of the PHB pathway (C-F). PHB granules are about 0.1-0.3 μm in size and were not observed under non-induced conditions

Synechocystis sp. PCC 6803	Overexpression of PHA synthase	Direct photosynthesis	14	[87]
Synechocystis sp. PCC 6803	Transconjugant cells harboring expression vectors carrying PHA genes	CO ₂	7.0	[88]
Synechocystis sp. PCC 6803	Introducing PHA biosynthetic genes from C. nectar	Acetate and nitrogen limitation	11	[73]
Synechocystis sp. PCC 6803	Increasing acetyl-CoA levels	CO ₂	12	[89]
Synechocystis sp. PCC 6803	Overexpression of native PHA genes	CO ₂ and nitrogen deprivation	26	[85]
Synechocystis sp.	Optimization of acetoacetyl-CoA reductase binding site	CO ₂	35	[86]
Synechococcus sp. PCC 7942	Defective in glycogen synthesis	CO ₂	1.0	[90]
Synechococcus sp. PCC 7942	Introducing PHA biosynthetic genes from C. nectar	Acetate and nitrogen limitation	26	[81]