

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Magisterská práce

**ZJIŠTĚNÍ EKOLOGICKÝCH NÁROKŮ
VYBRANÝCH PLANKTONNÍCH ŘAS A SINIC
Z ŘÁDU NOSTOCALES. SVĚTELNÁ A TEPLTNÍ
OPTIMA PRO DOMINANTNÍ DRUHY
VODNÍCH KVĚTŮ RYBNÍKŮ A PŘEHRAD
V ČESKÉ REPUBLICĚ.**

Vypracovala: Bc. Hana Kohelová

Vedoucí práce: RNDr. Klára Řeháková, PhD

Konzultant: RNDr. Hana Čížková, CSc.

Ve Veselí nad Lužnicí, 2008

PODĚKOVÁNÍ:

Chtěla bych poděkovat všem lidem, kteří při mě po celé roky studia stáli: má rodina, přátelé, spolužáci a pracovníci Akademie věd v Českých Budějovicích.

Jmenovitě děkuji své konzultantce Haně Čížkové. Vedoucí práce Kláře Řehákové za odborné vedení. Dále Elišce, Marušce, Kátě, Jitce, Martinám a Petrovi za pomoc, podporu a cenné rady při práci na pokusu i mimo něj.

Můj dík patří také Jiřímu Bohdalovi za pomoc při zpracování fotografií.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto magisterskou práci vypracovala samostatně na základě vlastních zjištění, s pomocí osob uvedených v poděkování a s použitím řádně ocitované literatury.

Ve veselí nad Lužnicí 2008

.....

OBSAH

1. ÚVOD	3
2. LITERÁRNÍ REŠERŠE	6
2.1. Vysvětlení pojmů	6
2.2. Druhové složení vodních květů v ČR	7
2.3. Podmínky pro vznik vodních květů	8
2.4. Co zvýhodňuje sinice vůči jiným organismům v planktonu?	11
2.4.1. Co zvýhodňuje jeden druh sinic vůči ostatním sinicím?	12
2.5. Důsledky života a zániku vodních květů	13
2.6. Opatření k omezení výskytu vodních květů	14
2.7. Obecný popis rybníků a vodárenských nádrží	16
2.7.1. Rybníky	16
2.7.2. Vodárenské nádrže	17
3. MATERIÁL A METODY	19
3.1. Charakteristika odběrových lokalit	19
3.1.1. VD Římov	19
3.1.2. Rybník Svět	19
3.1.3. Rybník Rod	20
3.2. Charakteristiky pokusných kmenů	20
3.3. Práce na pokusu	25
3.3.1. Plnění destiček	25
3.3.2. Zkřížené gradienty teploty a světla	26
3.3.3. Práce u gradientového stolu	28
3.3.4. Sklizení narostlé biomasy	28
3.3.5. Vyhodnocení dat	29

4. VÝSLEDKY	31
4.1. Obecný popis reakcí testovaných kmenů	31
4.2. Charakteristika reakcí jednotlivých testovaných kmenů na různé kombinace teplot a světla	31
4.3. Srovnání reakcí testovaných kmenů	33
5. DISKUZE	37
5.1. Komentář k výsledkům	37
5.2. Porovnání výsledků s literaturou	38
6. ZÁVĚR	42
7. SUMMARY	44
České	44
English	45
8. POUŽITÁ LITERATURA	47
9. PŘÍLOHA	51

1. ÚVOD

Nejdůležitějšími prvky na Zemi jsou uhlík C, kyslík O₂, vodík H₂ a dusík N₂. Látkami důležitými pro život je vzduch a voda H₂O. A právě čistoty vody, se zaměřením na sinicové vodní květy, se tato práce týká, neboť člověk znečišťoval vodu od dávné historie. Vodní toky sloužily jako transportní médium pro odpady už tlupám prvních předků člověka. To byl jeden z důvodů proč většinou putovali proti proudu toků - aby unikli znečištění, které způsobili odhazováním odpadu do vody.

V Druhé knize Mojžíšově se píše o egyptských ranách. Jedna z nich byla, že se zkazily vody v Egyptě. Potoky, řeky i jezera se „proměnily v krev“ a lidé marně hledali pitnou vodu.

S jedním z možných vysvětlení přichází oceánograf Daniel Stanley. Ten je přesvědčen, že většina popisovaných zázračných událostí souvisí s gigantickou erupcí sopky na ostrově Santorin či Théra, k níž došlo v šestnáctém století před naším letopočtem. Sopečný popel mohl způsobit tmu, i vyvolat blesky a krupobití. Drastické snížení srážek pak vedlo ke katastrofálnímu suchu a znečištění řasami mohlo změnit barvu Nilu na červenou (www.rozhlas.cz). To, že se mohly v Nilu tak masově přemnožit červené řasy, nejspíše souviselo nejen se suchem, ale také se znečištěním vody pocházejícím z měst. Protože neexistovalo čištění odpadních vod, veškeré splašky tekly do řeky.

Ani dlouhá staletí poté splašková kanalizace nebyla. Po ulicích vedly otevřené strouhy. Tento primitivní způsob likvidace odpadů byl původcem nesnesitelného zápachu, ale i zárodkem častých epidemií např. moru a cholery (www.bvk.cz). Čištění probíhalo většinou jenom přírodní cestou, takže dále od lidských sídel už byla voda opět čistší. Potřeba odvést splašky efektivně od sídel a zabránit zápachu a šíření nemocí, vedla k stavění uzavřené kanalizace. Zpočátku byla mělká, později hlubší, budovaná z cihel či kamene. Tato kanalizace obvykle končila v blízkých vodotečích nebo rybnících (www.bvk.cz). Zřejmě první kanalizace vznikla před více než 2000 lety ve starověkém Římě. Záchody byly napojeny na kanalizaci, kterou se odváděly splašky, odpadky a voda z domů a ulic. Asi před 400 lety byl sestrojen splachovací záchod (Váňová, 1992).

Ještě v poměrně nedávné době veškeré splaškové vody tekly přímo do recipientu. Problém se znečištěním fosforem pocházejícím z odpadů rozrůstající se lidské populace na mnoha místech dostatečně vyřešil vynález čistíren odpadních vod. Avšak s příchodem

fosforečných hnojiv a především pracích prášků obsahujících fosfáty, však ve vodách přibyl zásadní zdroj fosforu, který bude zatěžovat přírodu ještě dlouhá léta. Čistírny odpadních vod se proto přizpůsobují, vyvíjejí se nové typy a upravují se podle nových poznatků, zdrojů znečištění a požadavků na čistotu vod.

Sinice se běžně vyskytují ve všech typech nejen vodního prostředí. Až vydatné zdroje živin dostávající se do vod způsobily, že v posledních dvaceti letech se začaly masově přemnožovat, nejvíce ve stojatých vodách údolních nádrží a mělkých rybníků a vytvářet takzvaný vodní květ. Jejich masový výskyt snižuje množství rozpuštěného kyslíku ve vodě, činí problémy při rekreaci, vyvolává kožní alergie u citlivých jedinců a znesnadňuje i úpravu vody na pitnou. Některé druhy sinic jsou potenciálními producenty karcinogenních a teratogenních toxinů, které mohou úpravnou projít a dostat se až ke spotřebiteli. Tyto toxiny jsou nebezpečné pro lidi i pro zvířata.

Jisté problémy s nalezením a udržením kvalitní pitné vody tedy lidstvo provázejí už po staletí. Problematice masového rozvoje vodních květů je věnována značná pozornost. Přes všechno vynaložené úsilí stále ještě není známa jednoznačná odpověď, co je spouštěcím mechanismem masového rozvoje vodního květu. Proto je nutné zkoumat ekologické nároky jednotlivých druhů vodního květu a faktory, které mohou ovlivňovat výskyt dominant.

Ještě je nutné zmínit, že různé řasy mohou svou životní činností záměrům člověku také prospívat. Je možné využít je při samočisticích procesech v tocích i v umělých čistírnách vod, či využívat jejich biomasu jako potravinu, průmyslovou surovinu, léčiva ap. Biomasa může pocházet i z masové kultivace (HINDÁK a kol. 1978).

Získané nové poznatky lze uplatnit ve vodohospodářské praxi k cílenému posunu druhového složení, vedoucí k nahrazení sinicových květů zdravotně méně závadnými řasami.

Cíl práce:

Cílem práce bylo nalézt teplotní a světelná optima pro růst vybraných druhů sinic a řasy z fytoplanktonu nádrží a rybníků. Laboratorní experimenty byly prováděny metodou zkřížených gradientů (teplota x světlo) u monokultur vybraných druhů dominantních sinic vodního květu a zelené řasy z lokalit Svět, Rod a Římov.

Pracovala jsem v Biologickém Centru v.v.i., Hydrobiologickém ústavu AVČR v Českých Budějovicích od října 2007 do července 2008.

Práce proběhla za podpory grantu GAČR č. 206/06/0462 Kompetiční vztahy mezi dominantními druhy fytoplanktonu v přehradách (Competition relationships among dominant species of phytoplankton in the reservoirs).

2. LITERÁRNÍ REŠERŠE

2.1. Vysvětlení pojmů:

Sinice = Cyanophyta jsou fototrofní gram negativní bakterie. Jejich výživa je autotrofní, dokáží přejít i k mixotrofní a heterotrofní výživě dle podmínek prostředí a životní fáze (ADÁMEK, 2006; ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004). Nemají jádro s jadernou membránou, jen tzv. centroplastu s volně uloženou DNA a s plasmidy. K fotosyntéze slouží volné thylakoidy, které obsahují fotosyntetické pigmenty (ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004) chlorofyl *a*, fykoerytrin a fykocyanin. Díky nim dokáží asimilovat v rozmezí vlnových délek asi 380 – 740 nm a při různých světelných intenzitách (MARŠÁLEK a kol., 1996; HINDÁK a kol., 1978).

Buňky se nepohlavně rozmnožují dělením na 2 části. U sinic řádu Nostocales a Stigonematales se tvoří specializované tlustostěnné buňky tzv. akinety, které jsou schopné přežívat nepříznivé období (přezimování, vyschnutí), nebo mohou klíčit v nová vlákna i během sezóny. Obsahují proto velké množství zásobních látek, jako jsou tukové kapénky a další (HERDMAN, 1987 in ZAPOMĚLOVÁ, 2006). U koloniálních sinic se dělí kolonie na malé balíčky, které dorůstají do velikosti mateřské kolonie. U rodu *Microcystis* z řádu Chroococcales přezimování probíhá ve stádiích „fyziologických cyst“, které si zachovávají minimální schopnost metabolismu (ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004).

Specialitou některých druhů (např. *Anabaena*, *Nostoc*) je schopnost asimilovat vzdušný dusík (HINDÁK a kol., 1978) pomocí specializovaných buněk zvaných heterocyty. Další zvláštností planktonních druhů jsou aerotopy – plynové měchýřky, jejichž pomocí dokáží sinice dle potřeby vyplouvat na hladinu, či klesat ke dnu.

Sinice se běžně vyskytují ve všech typech vodního prostředí, ale dokáží žít i uvnitř kamenů v krajích, jakými jsou např. Sahara nebo Antarktida. Mohou žít i v symbióze s rostlinami či živočichy (ZNACHOR, 2005).

Jev známý jako **vodní květ** sinic (řidčeji i řas) vzniká přemnožením koloniálních či vláknitých druhů sinic, jako důsledek různých událostí (viz níže). Tvoří jej ty druhy, které mají schopnost shromažďovat se při hladině a zde vytvářet okem patrné shluky, které pokrývají část či celou vodní hladinu. Květy koloniálních sinic (rodu *Microcystis*, méně častý rod *Woronchinia*) mají charakter práškovitý až vločkovitý, u vláknitých sinic (nejčastěji rod

Anabaena, *Aphanizomenon*) vidíme vlákna, či jehličky a snopečky vláken. Masivní rozvoj zelených řas a rozsivek (např. rod *Staurastrum*, *Scenedesmus*; rod *Asterionella*, *Fragilaria*, centrické rozsivky) se nazývá **vegetační zákal**, kde nelze vidět jednotlivé organismy (ADÁMEK, 2006) a který je rozptýlen v celém vodním sloupci rovnoměrně (RAJCHARD, 2005).

Životní cyklus sinic vodního květu má několik fází: podzimní klesání ke dnu, přezimování v sedimentu, jarní reinvaze do vodního sloupce a fáze pelagická (ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004). K jejich hromadnému rozvoji dochází v letním období (MARŠÁLEK a kol., 1996) (květen – srpen), druhá vlna však může přijít při teplém počasí na podzim (září). Zdá se však, že nejde o skutečný podzimní růst, ale o mechanický transport sinic ze zátok (JAVORNICKÝ, 1966a in HINDÁK a kol., 1978). Podzimní klesání části populace ke dnu a odumírání zbytku populace vodního květu probíhá v září až listopadu.

Už během svého života mohou působit povlaky sinic na hladině vod řadu problémů. Neméně jich potom vzniká také při masovém úhynu (viz níže).

2.2. Druhové složení vodních květů v ČR

Na začátku vegetačního období vodní společenstva obsahují směs různých druhů sinic, rozsivek a zelených řas. Jako první na jaře ovládnou vodní sloupec řasy ze skupin zlativky (*Chrysophyceae*) a skrytěnky (*Cryptophyceae*), postupně se přidávají další skupiny. Ty se stávají potravou zooplanktonu během následného období čisté vody („clear water“). Postupně převládnu sinice, pokud mají příhodné podmínky (viz níže). Není pro ně překážkou, že v horních částech vodního sloupce je v tuto dobu málo živin (MARŠÁLEK a kol., 1996).

Typickými společenstvy tvořícími vodní květy v našich přehradách a rybnících jsou zástupci z řádů *Nostocales* (nejčastěji *Anabaena*, *Aphanizomenon*), *Chroococales* (*Microcystis*) a zelených řas (například *Staurastrum*) (do nichž se řadí i zástupci kmenů, které jsem testovala).

Vodní květy tvořené sinicemi rodu *Anabaena* bývají obvykle smíšené, tzn. obsahují několik různých druhů tohoto a někdy i dalších rodů (CMIECH a kol., 1984 in ZAPOMĚLOVÁ, 2006). Vyskytují se během celého léta až do podzimu. Květy rodu *Microcystis* mohou dominovat od počátku sezóny, nebo během ní nahradit rod *Anabaena* (ZNACHOR a kol.,

2006). Například *Microcystis aeruginosa* je dominantním druhem na Brněnské přehradě už několik let (MARŠÁLEK a kol., 1996).

Složení fytoplanktonu na Třeboňsku je věnována kapitola například v práci autorů Jiřího JANDY a Libora PECHARA (1996). Zjistili, že v rybnících se v jarním období v menší míře vyskytuje planktonní sinice *Limnothrix redekei*. V letním období se často vyskytují drobné druhy sinic *Aphanizomenon*, *Anabaena* a drobné formy rodu *Microcystis*. Kromě těchto druhů se v současnosti vyskytují drobné sinice *Limnothrix redekei* a *Planktothrix agardhii*. Tyto duhy mají rozhodující podíl v biomase fytoplanktonu v srpnu. Až monospecifická společenstva tvoří v rybnících některé zelené řasy například *Pediastrum duplex* (POTUŽÁK, 2004).

Celkové složení planktonu na nádrži Římov zkoumají pracovníci Biologického Centra v.v.i., Hydrobiologického ústavu AVČR v Českých Budějovicích od roku 1981. S jejich pomocí vznikla již řada diplomových prací. Druhového složení fytoplanktonu je věnována například magisterská práce Petra ILLKA (2006). Z planktonních sinic jako nejdůležitější uvádí *Aphanizomenon flos-aquae*, *Woronichinia naegeliana*, *Microcystis aeruginosa* a *M. ichtyoblabe* mající své maximum na přelomu srpna a září. Další zastoupené skupiny tvořili například: skrytěnky – *Rhodomonas minuta*, nejčastěji přítomná řasa v nádrži, nejvyšší biomasu tvoří před obdobím „clear water“; zelené řasy - například *Staurastrum planctonicum*, tvořící obrovské biomasy od července do listopadu; rozsivky – například *Fragilaria crotonensis*, výrazně letní druh, který tvoří vysoké biomasy v srpnu až září.

2.3. Podmínky pro vznik vodních květů

Je mnoho důvodů, proč takzvané vodní květy sinic vznikají. Vědci na celém světě je intenzivně zkoumají v přírodě i laboratorně už téměř tři desetiletí. Také v ČR vznikla v roce 1993 Pracovní skupina vodní květy sinic a spolu s ní nadace Nadatio flos-aquae se sídlem v Brně (MARŠÁLEK a kol., 1996), které se tímto výzkumem zabývají.

I přes intenzivní výzkum autekologie životního cyklu vodních květů ještě nejsou známy všechny příčiny vzniku, provázanost mezi nimi a důsledky rozvoje a následného masového úhynu sinic. Zkoumá se také, jak se vodní květy vyvíjejí od více-druhových společenstev až k masivnímu rozvoji jednoho, maximálně dvou druhů a příčiny převládnutí druhu. Poznání

souvislostí a autekologie pomůže lidstvu omezovat, či lépe předcházet vzniku těchto jevů tak, aby byl daný zákrok účinný a nezpůsobil nepředvídatelné následky, a to hlavně v nádržích na pitnou vodu (ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004; HINDÁK a kol., 1978).

1. Jako základní podmínka pro vznik vodních květů se uvádí celková **eutrofizace** krajiny (ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004) a následně i vody. Eutrofní vody jsou takové, které mají nadměru živin pro primární produkci. Živinami důležitými pro sinice a zelené řasy jsou **dusík, fosfor a uhlík**. Eutrofizace sama nestačí k tomu, aby došlo k neúnosně zvýšené produkci makro- či mikro- flóry. Podmínky pro to, aby se zvýšený trofický potenciál realizoval, často vzniknou teprve ex post, např. zadržením vody, jejím oteplením, změnou výšky vodního sloupce, změnou biocenotických vztahů atp.

Podle povahy vodního ekosystému a dané konfigurace vnějších podmínek mohou dosáhnout dominantního postavení: (1) drobné planktonní řasy tvořící tzv. vegetační zákal, (2) větší koloniální sinice (řidčeji i řasy) tvořící vodní květ, (3) bentické sinice a rozsivky, (4) litorální vláknité řasy, nebo (5) vyšší vodní vegetace (MARŠÁLEK a kol., 1996).

Výzkumy bylo zjištěno, že fosfor je důležitý limitující prvek pro masový rozvoj sinic. Základním zdrojem P pro sinice jsou jednoduché fosfáty, dokáží však využívat i organické formy (ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004). Přijatelnost dusíku také záleží na jeho formě. Ve vodě jsou tři základní formy NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ . Tyto formy mají vliv na růst, morfologii a produkci bioaktivních látek (SAKER and NEILAN, 2001). Zjištěním optimálního poměru N/P se zabývalo mnoho vědců, ale došli k různým závěrům. V publikaci ŠEJNOHOVÁ a kol., (2004) jsou zmíněny výsledky těchto vědců HYENSTRAND a kol. (1998) uvádějí optimální poměr méně než 29:1, NALEWAJKO a MURPHY (2001) zjistili poměr N/P přibližně 100:1. XIE a kol. (2003) došli k závěru, že limitující je dostupné množství těchto prvků, nikoli poměr. SMITH (1983) in MARŠÁLEK a kol. (1996) došel také k závěru, že kde je poměr $N_T : P_T$ nízký biomasa sinic tvořila významnější část společenstva.

Uhlík mohou sinice nejlépe přijímat autotrofně jako rozpuštěný CO_2 a některé druhy i heterotrofně ve formě organických látek (ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004; ADÁMEK, 2006). HOEK a kol. (1995) in ŠEJNOHOVÁ a kol. (2004) uvádějí, že při snížení obsahu CO_2 ve vodním sloupci dochází k podpoře tvorby aerotopů a vyplouvání blíže k hladině.

2. Teplota vody výrazně ovlivňuje výskyt vodního květu. K změnám teploty vody dochází při jejím zadržení v nádržích. Podzimní sestup sinic pro přezimování probíhá

většinou během října a listopadu při poklesu teploty vody pod 10 °C. Úspěšné přezimování probíhá při teplotě 4 °C u dna. Pro jarní reinvazi do vodního sloupce je podmínkou teplota u dna 6 - 10 °C. Pro pelagický život sinic je optimální teplota druhově specifická zhruba mezi 15 – 35 °C. Po překročení optimálních teplot dochází k prudkému poklesu fotosyntetické aktivity (ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004).

3. Osvětlení je důležité pro pelagickou i bentickou fázi života sinic. Pro úspěšné přezimování je nutná tma – světelné záření přezimující buňky poškozuje. Pro pelagický život a fotosyntézu je optimální osvětlení druhově specifické. U všech druhů ale platí, že když ozáření během odpoledne překročí určitou hranici, fotosyntetická aktivita klesá se zvyšující se intenzitou ozáření (YAGI a kol., 1994 in ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004) a masa sinic klesá z eufotické vrstvy níže. K masovému rozvoji sinic nedochází v nádržích s vysokým zákalem vody v důsledku nedostatečného osvětlení.

4. Optimální pH pro rozvoj většiny druhů sinic se nachází v rozmezí 7,5 – 9,5 (SIRENKO, 1972 in ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004).

5. Jak zjistil SIRENKO (1972) in ŠEJNOHOVÁ a kol. (2004), k masovému nárůstu dochází především v málo prokysličených vodách (v nádržích s pomalou výměnou vody). Nasycení sedimentu **kyslíkem** způsobuje rapidní snížení množství přezimujících buněk. Autor také zjistil, že masový rozvoj rodu *Microcystis* probíhá v nádržích bohatých na organické látky. Exogenní organické látky totiž mohou sloužit jako doplňkový zdroj energie.

6. Úspěšné přezimování velkého počtu životaschopných buněk je další z faktorů, který podporuje vznik vodních květů. Jak již bylo řečeno výše, ovlivňuje ho nasycení sedimentu kyslíkem. Dále také složení sedimentu – zda jde o jílové bahno, kde např. *Microcystis* přezimuje nejlépe, či písčité dno, kde se jí daří nejhůře. Nejvhodnější hloubka pro přezimování *Microcystis* je zhruba 16 – 20 m, u vláknitých sinic je to méně (ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004).

7. Teplotní stratifikace u hlubokých nádrží a jejich **morfologie**. Viz též následující kapitola odstavec 5. Např. (SCHREURS, 1992 in ZAPOMĚLOVÁ, (2006) uvádí, že vláknité druhy sinic mají tendenci dominovat v mělkých jezerech, koloniální druhy dominují spíše v hlubších vodách. Dále bylo zjištěno, že zelené řasy jsou schopné dobře růst při ustanovování teplotní stratifikace, oproti tomu sinicím vodního květu více vyhovuje již teplotně stratifikovaná nádrž GANF a OLIVER (1982) in MARŠÁLEK a kol. (1996).

8. Mikroelementy: železo a molybden se jeví jako další stimulatory růstu (RESSOM a kol. (1994), 1994 in MARŠÁLEK a kol., 1996).

2.4. Co zvýhodňuje sinice vůči jiným organismům v planktonu?

U sinic se během evoluce vyvinula řada vlastností, které jim za vhodných okolností umožňují snadněji přežít v planktonu než jiným druhům řas. Tímto tématem se komplexně zabýval například Dokulil a Teubner (2000).

1. Fixace vzdušného dusíku u nostokálních sinic umožňuje překonávat jeho nedostatek ve vodě, který nastává zejména v letním období (PECHAR, 1996). **2. Ukládání fosforu** do vnitřních zásob buňky (HINDÁK a kol., 1978; ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004; ZAPOMĚLOVÁ, 2006)

3. Schopnost rozvoje při nižších poměrech $N_T:P_T$, nízkých koncentracích CO_2 (snižovaný při fotosyntéze), **vyšším pH, vyšší koncentrací Ca** (MARŠÁLEK a kol., 1996).

4. Schopnost rychle regulovat polohu ve vodním sloupci – klesání ke dnu a vyplouvání k hladině – umožňuje sinicím setrvat v hloubce, která je pro jejich růst nejpříznivější a využít živiny na dně (ZAPOMĚLOVÁ, 2006; ADÁMEK, 2006).

5. Vyčerpají živiny ve svrchní vrstvě, takže organismy neschopné fixovat dusík jsou nuceny přesunout se do větších hloubek, kde jsou ovšem limitovány nízkými intenzitami světla (GANF a OLIVER, 1982 in ZAPOMĚLOVÁ, 2006) a jen stěží se mohou vrátit k hladině. Například u rozsivek dochází díky jejich buněčné hustotě k jejich odsedimentování do hypolimnia, protože zde nejsou turbulence, které by je vynesly zpět (MAIER a kol., 2001 in ZAPOMĚLOVÁ, 2006)

6. Jejich velikost a nepoddajnost snižují konzumovatelnost živočichy – zooplanktonem i rybami. Některé druhy sinic jsou také těžko stravitelné a málo výživné.

7. Produkce toxinů a biologicky aktivních látek působících jak na jiné řasy, ostatní společenstva ve vodě, tak na vodní makrofyta i na vyšší organizmy (ZAPOMĚLOVÁ, 2006). Tyto látky však mohou ovlivnit i fyzikální a chemické vlastnosti vody (MARŠÁLEK a kol., 1996).

8. Schopnost nostokálních sinic **zvyšovat** v buňce **množství pigmentů** chránících ji před fotooxidací. Také časové **oddělení fixace CO₂** a N₂, které umožňuje sinicím optimalizovat využití denního přísunu energie.

9. Načasování **reinvaze** biomasy sinic do vodního sloupce na období „**clear water**“. K návratu do vodního sloupce pomáhá sinicím řada abio- a biotických faktorů, například: tvorba aerotopů, míchání vody, metanové bubliny unikající ze sedimentu, ryby svým pohybem při dně (ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004).

10. Mnohé sinice vykazují **rezistenci** vůči mnohým těžkým kovům a některým organickým polutantům (WHITTON, SHEHATA, 1982 in MARŠÁLEK a kol., 1996).

2.4.1. Co zvýhodňuje jeden druh sinic vůči ostatním sinicím?

Koloniální sinice (nejčastěji rod *Microcystis*) mají výhodu oproti vláknitým ve způsobu přezimování a jarním obnovování populace. U koloniálních sinic přezimují celé kolonie, čímž je zajištěno velké množství inokula, zatímco u vláknitých přezimují pouze generativní buňky, které musí vyklíčit. K dosažení vysoké abundance stačí koloniálním sinicím menší počet buněčných dělení. Také přechod metabolismu k plné aktivitě je u koloniálních sinic mnohem rychlejší než u vláknitých. Obecně koloniální sinice převládají v hlubších nádržích a přezimují v hlubokých místech. Vlákňité sinice převládají v mělkých nádržích a přezimují v mělkých sedimentech (MARŠÁLEK a kol., 1996; ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004).

Masový rozvoj jedné z našich nejhojnějších sinic *Microcystis aeruginosa* může u nás nastat již při teplotách vody okolo 17 °C (MARŠÁLEK a kol., 1996), což je méně než u jiných druhů. Někteří autoři uvádějí, že v mělkých nestratifikovaných nádržích se častěji vyskytuje *Planktotrix agardhii*, ve stratifikovaných se setkáme s rody *Microcystis* a *Anabaena*. Toto pravděpodobně nemá obecnou platnost (MARŠÁLEK a kol., 1996).

Rozvoj jednotlivých druhů sinic je také ovlivňován přítomností zooplanktonu, takzvaná „Top-Down“ kontrola. Např. *Aphanizomenon flos-aquae* s.s. se vyskytuje ve fázi masového rozvoje velkých perlooček, které vyžraly drobný fytoplankton. Při současném výskytu nanoplanktonu je nahrazen populací *Aphanizomenon klebahnii*.

2.5. Důsledky života a zániku vodních květů

Během noci masa sinic dýchá jako ostatní organismy. Od setmění do rozednění pH vody klesá ke kyselému. Vzniká H_2CO_3 , která může způsobit poleptání žáber. Dále dochází k vyčerpání kyslíku, které je nejvyšší v ranních hodinách a způsobuje přidušení ryb i eliminaci ostatních vodních organismů. Přes den stoupá množství kyslíku, intenzivní fotosyntézou klesá množství rozpuštěného CO_2 a roste pH (k 9 i 11). Při slunných dnech, při velkém množství fytoplanktonu může v odpoledních hodinách dojít k přesycení vody kyslíkem až na 200 %. Kyslík se stává atakujícím agens na již poleptaná žábra. Neposledním důsledkem jsou otravy ryb autointoxikací amoniakem, který nemůže odcházet z žáber. Při vyšším pH se totiž zvyšuje obsah toxické formy NH_3 ve vodě. Nejvyšší koncentrace je ho v podvečer (HINDÁK a kol., 1978; ADÁMEK, 2006; RAJCHARD, 2005; GERGEL, 2007; www.vurh.jcu.cz).

Vznik hustého povlaku sinic na hladině zabraňuje průchodu světelného a tepelného záření do vodního sloupce a také brání výměně plynů mezi vodou a atmosférou. Kyslík, který sinice produkují uniká přímo do vzduchu. Zároveň dokáží lépe využít i nižší intenzity světla (MARŠÁLEK a kol., 1996).

Dalším následkem masového výskytu sinic je blokování živin, neboť jsou potravou jiných živočichů jen v omezeném množství. Tak v nich obsažené živiny vypadávají z koloběhu a s uhynulou biomasou sinic jsou ukládány v sedimentech.

Při hromadném úhynu biomasy sinic dochází k uvolnění buněčného obsahu do vody, včetně cyanotoxinů. Ty negativně působí na zooplankton, ryby, vodní živočichy i teplokrevné organismy včetně člověka. Při rozkladu biomasy dochází také ke kyslíkovému deficitu, který je příčinou úhynu ryb a dalších živočichů.

Cyanotoxiny bývají do vody vylučovány i za života sinic, takže koupání ve vodě s vodním květem sinic může způsobit alergické reakce kůže. Při požití, podle citlivosti jedince, mohou cyanotoxiny vyvolat nevolnost, zvracení, alergie, onemocnění jater až smrt. Některé cyanotoxiny působí i rakovinotvorně, hepatotoxicky, embryotoxicky atd. (MARŠÁLEK a kol., 1996).

Pokud je vodní zdroj zamořen sinicemi, ty se mohou dostat do úpravny vody. Při úpravě je narušena integrita buněk a jejich obsah se dostane do upravované vody. Cyanotoxiny se tak mohou dostat potrubím až ke konečnému spotřebiteli. Odstranitelnost toxinů v úpravně je možná několika známými postupy uvedenými například v publikaci MARŠÁLEK a kol. (1996).

2.6. Opatření k omezení výskytu vodních květů

Abychom mohli omezovat výskyt vodních květů, musíme dokonale poznat jaké podmínky podporují jejich masový rozvoj. V úvahu přicházejí postupy aplikované v době výskytu sinic v aktivním stavu i v době klidových stádií (MARŠÁLEK a kol., 1996).

1. Ve většině nádrží mírného pásma je růst fytoplanktonu limitován fosforem (VÍT, 1998). Množství dusíku zde nebývá pro sinice limitující. Jako možnost omezení výskytu sinic se tedy nabízí manipulace s množstvím fosforu. Aby bylo možné efektivně tento zásah provést, je nutné znát zdroj fosforu – zda je antropogenní, či z přirozeného pozadí.

Pro cirkulaci P ve vodním prostředí platí, že pokud jsou sedimenty na dně dobře prokysličený, zůstane fosfor vázán v rozložených buňkách organismů. Pokud je sediment nedostatečně prokysličen, vyplaví se z něj P a slouží znovu jako zdroj energie. Proto je důležité **odbahňování rybníků**, aby sedimenty neměly přílišnou mocnost a nebyly anaerobní (GERGEL, 2007). Ještě důležitějším krokem je omezení fosfátových pracích prášků, odpadů z průmyslové výroby a zamezení vymývání fosforečných hnojiv z polí **správnou agrotechnikou**. Omezit je nutné také množství dusíku, které je zvyšováno průmyslovou a zemědělskou produkcí – taktéž **správnou agrotechnikou**. K dokonalejšímu odstranění N a P z odpadních vod je nutné **vylepšovat mechanismy čištění v ČOV**. To je možné například tzv. *třetím stupněm čištění*: splašky se po mechanickém a biologickém stupni čištění ještě chemicky zbavují živin (HINDÁK a kol., 1978).

Odbahňovat by se měly také vodní nádrže a to zhruba do hloubky 20 m. Vlákňité sinice totiž přezimovávají v mělčích sedimentech spíše na jejich povrchu, koloniální sinice naopak v hlubších sedimentech – 2 až 10 cm hluboko (ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004)

2. Použití biomanipulace. V tomto případě se využívá velkého množství planktonních filtrátorů, koryšů a vírníků, jako konzumentů fytoplanktonu. Aby jich byl dostatek, musí se zvýšit počet dravých ryb, které predují planktonofágní ryby. Jednou z překážek pro uskutečnění této biomanipulace je, že může vést k postupnému zvýšení abundance druhů fytoplanktonu, které pro jeho velikost již není schopen zooplankton konzumovat (SOMMER a kol., 1986; KOMÁRKOVÁ, 1983 in MARŠÁLEK a kol., 1996).

3. Použití tolstolobika bílého a tolstolobce pestrého je ve stádiu pokusů. Výsledky se různí v závislosti na faktorech prostředí. V některých nádržích např. ke konzumaci sinic sice

dochází, ale v zažívacím traktu ryby nedochází ke stravení (MARŠÁLEK a kol., 1996), hlavně generativních buněk, a ty po vyloučení rychle klíčí v nová vlákna.

4. Použití bakterií, virů, plísní či mikromycet je zatím finančně a technicky náročné. Neopomenutelný je také problém biologický, neboť biotechnologicky upravený mikroorganismus bývá vytlačen či omezen nativními populacemi. Příkladem z přírody je parazitace houbami na sinici *Microcystis aeruginosa* je pozorování z řeky Dyje (MARŠÁLEK a kol., 1996). U sinice rodu *Anabaena* z jezera v Michiganu byly popsány případy výrazné redukce vodního květu houbou *Rhizosiphon anabaenae* (PATERSON, 1960). O bakteriálních patogenech sladkovodních sinic pojednává práce vědců DRAFT, STEWART (1971).

Využití ve velkém uměle napěstovaných drobných **cyanofágů** má také již zmíněná úskalí. Příklad z přírody je nálevník *Nassula aurea* z Lake District v Anglii, který „spásá“ sinice s drobnými buňkami například *Anabaena lemmermannii*, *Aphanizomenon gracile* či *Planktothrix isothrix* a *P. rubescens* (CANTER, 1990). U *Anabaena planctonica* z jezera Lake Sidney z Georgie, byla pozorována konzumace měňavkami (COOK, 1974). Například klanonožec *Diaptomus birgei* při konzumaci sinic silně upřednostňoval některé druhy, což autory vede k obavě z namnožení druhů, které unikají jeho pozornosti (DEMOTT, 1991).

5. Vyplavení části vodního květu z nádrží vhodnou technikou (násoskový odběr speciálními bagry) je účelné pro menší nádrže.

6. Mechanické odstraňování dočasně nashromážděné biomasy pomocí sítí. Sušení této biomasy je ovšem problematické z hlediska náročnosti na prostor a šíření zápachu.

7. Asanační opatření na dně nádrže jsou účinná pouze při odstranění vnějších zdrojů živin. Je nutné předem vyřešit otázku, kam s vytěženým sedimentem.

8. Je možné také použít **chemické prostředky** patřící do skupiny koagulantů, flokulantů a algicidů. Nejčastěji používané jsou např. síran měďnatý, sloučeniny hliníku, hydroxid vápenatý, manganistan draselný, sloučeniny chloru (MARŠÁLEK a kol., 1996).

9. Řízená manipulace průtoků v nádržích, která by porušila teplotní stratifikaci, tím by došlo k míchání vody a jiné řasy by měly šanci konkurovat sinicím. Takový pokus byl proveden na říční zdrži v Austrálii. Sinice rodu *Anabaena* po promíchání vody ustoupila rozsívce (GANF a OLIVER, 1982; MAIER a kol., 2001; SHERMAN a kol., 1998 in ZAPOMĚLOVÁ, 2006).

10. Existují studie zabývající se návržením vhodného managementu pro manipulaci podmínek vodního prostředí tak, aby došlo k potlačení klíčení akinet (ZAPOMĚLOVÁ, 2006).

2.7. Obecný popis rybníků a vodárenských nádrží

2.7.1. Rybníky

Budování mělkých nádrží na vodu má prastarou historii. Původně sloužily jako zásobárny hlavně vody pitné dále pro závlahy, k rýžování a plavení. I staří Řekové a Římané zřizovali takové nádrže a ti bohatší je budovali i pro přechovávání ryb přímo u svých vil.

Rybníky jak je známe – mírná prohlubeň v ploché krajině s hrází - jsou českým unikátem, který se šířil dále do Evropy. O to se zasloužily hlavně různé klášterní řády. Do rybníků se nejdříve dávaly přebytky ryb, či se zde uskladňovaly pro pozdější využití. K cílenému chovu se začaly používat a stavět až později (mezi dvanáctým a třináctým stoletím) (HULE, 2000).

Voda v rybnících bývala dříve většinou oligotrofní a k příkrmování ryb rybníkáři nedocházelo, šlo o tzv. extenzivní hospodaření. Rozumnou výživou a příkrmem obsádky kapra se zabýval až Josef Šusta (1835 – 1914). Jeho poznatky však upadly v zapomnění během první světové války. Po druhé světové válce byly použity jako základ pro intenzifikaci, která přerostla až v přehnané vyhnojování organickými hnojivy, eutrofizaci, rozkolísání chemizmu vody a zabahňování rybníků (HULE, 2000). Kvalita vody je ovlivněna také tím, co přinese napájecí voda, či zda je rybník nebeský a jaká zemědělská činnost probíhá v jejich povodí (POTUŽÁK, 2004)

Intenzivní chov ryb v 80. letech už přináší řadu negativních jevů z hlediska kvality vody. Na Třeboňsku přichází řešení s vyhlášením CHKO a BR ve formě kategorizace rybníků (s intenzivním, polointenzivním, extenzivním chovem ryb a ostatní nádrže). Roku 1995 zaniká tzv. kaprokachní systém chovu, zůstává jen odchov divokých kachen. Rybníky se opět stávají atraktivními rekreačně, řada jich je k tomuto účelu vyhrazena (HULE, 2000). Většina rybníků má, ale stále velmi hojný fytoplankton během celého roku, který vytváří intenzivní vegetační zákal, a to i v zimě a v prvních jarních měsících (JANDA, PECHAR a kol., 1996). Rozsivky a zelené řasy jsou rozvrstveny rovnoměrně v celém vodním sloupci, zatím co sinice

tvořící vodní květ se vyskytují hromadně v různých hloubkách v relativně tenké vrstvě, podle jejich aktuální potřeby.

Pro rybníky je charakteristické, že se mohou pomocí stavidla vypustit a opětným uzavřením napustit. Protože se zanášejí splachy, musejí se čas od času odbahňovat. Dříve se také provádělo letnění a zimování rybníků s osetím polními kulturami. Dnes se místo toho provádí hnojení chlévskou mrvou, která slouží za potravu zooplanktonu, přikrmuje se také zrním a pH je upravováno vápněním. V zimním období se do ledu vysekávaly otvory, dnes se používají aerátory (HULE, 2000). Hlavním objektem chovu ryb je kapr obecný, z vedlejších druhů zejména lín, štika, candát, sumec. Ve dvacátém století se rozšířil i chov amura, tolstolobika a tolstolobce (www.trebonsko.cz).

Funkce rybníků jsou tedy rybochovná, mikroklimatická, retenční pro vodu (retardace povodní, udržení vody v krajině) i splachy, krajinářsko-estetická (HULE, 2000).

2.7.2. Vodárenské nádrže

Jejich historie začala stejně jako u rybníků drobnými přehradami na tocích. Čím více bylo potřeba vody a čím více využití pro ni člověk nacházel, tím větší přehrady se stavěly. Nádrže mohou plnit jednu či více vodohospodářských potřeb. V naší zemi nemáme příliš vodnaté řeky, takže musíme spojovat více potřeb dohromady (KRATOCHVIL, 1961).

Provoz vodárenských nádrží je podřízen hlavnímu účelu – využití pro úpravu vody na pitnou (www.pvl.cz). Hydroenergetika, ochrana před povodněmi, závlahy bývají přidružené funkce. Rekreace a rybolov bývají často zakázány na celé vodní ploše, či na části u hráze.

Údolní nádrže začínají hrází stejně jako rybníky, ale ta bývá vyšší. V podélném profilu řeky končí nádrž v místě, kde hydraulické vzduť protíná nevzdutou hladinu v řece (KRATOCHVIL, 1961). Nádrž lze v podélném profilu dělit na tři části – říční, přechodnou a jezerní. Říční část nemívá vyvinutou stratifikaci díky neustálému proudění a malé hloubce. V přechodné části dochází díky velkému přísunu živin k rozvoji fytoplanktonu a k jeho sedimentaci. Jezerní část je stratifikovaná, s mírným prouděním (KALFF, 2002 in ILLEK, 2003). Nedaleko hráze se nachází odběrová věž s několika okny v různých hloubkách pro oděr nejvhodnější vody pro úpravu vody na pitnou. Hráz musí být dostatečně vysoká, aby hloubka vody umožňovala teplotní stratifikaci a výběr hloubek pro odběry.

Přehradu není možné celou vypustit jako rybníky. Nebývá zvykem manipulování s hladinou vody, aby nedošlo ke změně ustavených podmínek ve vodním sloupci, které by mohly znesnadnit následnou úpravu vody. U těchto vodních děl dochází také k tvorbě silné vrstvy sedimentu jako u rybníků, ovšem není obvyklé ji odstraňovat.

Kvalita vody je ovlivněna splachy z polí a kvalitou odpadní vody čištěné i nečištěné na toku nad hrází, ale také emisemi. Některé úpravní vod se potýkají s problémem zhoršující se jakosti surové vody, jež je mnohdy na hranici upravitelnosti použitými vodárenskými technologiemi (www.povodiohře.cz). Od 1. října 2007 vstoupila v účinnost Novela č. 229/2007 k prováděcímu předpisu č. 61/2003 zákona č. 254/2001 Sb. o vodách. Tento zákon stanovuje emisní limity pro zdroje povrchových vod, které jsou využívány jako zdroje pitné vody, stanovuje limity pro hospodaření v povodí vodárenské nádrže, vymezuje ochranná pásma vodního zdroje (www.eko-net.cir.cz).

Fytoplankton je charakteristický významným střídáním druhů a populací během vegetační sezóny, to se nazývá sezónní dynamika fytoplanktonu. V nádrži je rozdělen nerovnoměrně horizontálně i vertikálně. To je způsobeno například návátím větrem, splavením při jarní povodni, potřebami druhu. (HINDÁK a kol., 1978)

MATERIÁL A METODY

3.1. Charakteristika odběrových lokalit

3.1.1. VD Římov

Bylo vybudováno v letech 1971 – 1978. Nachází se na řece Malši v říčním kilometru 21,9 jižně od Českých Budějovic. Délka vzdutí je 13 km. Zatopená plocha činí 210 ha při kótě 471,40 m.n.m. Celkový objem nádrže je 33,8 mil m³. Délka koruny hráze je 290,0 m. Nadmořská výška na začátku vzdutí 422 m. n. m., dno u hráze je ve výšce 432 m. n. m. Doba zdržení vody v nádrži činí 80 – 180 dní dle průtoku. Přítoky jsou méně významné potoky a výtoky z čistíren odpadních vod.

Ochrana vodárenské nádrže je zabezpečena stanovenými zásadami hygienické ochrany a hospodaření v ochranných pásmech nádrže. Ochranná pásma byla vyhlášena již při výstavbě vodního díla. V největších obcích v povodí nádrže (Velešín, Kaplice, Benešov nad Černou) byly vybudovány čistírny odpadních vod. Nádrž se svým charakterem řadí mezi eutrofní, v některých letech však byla spíše mezotrofní (KOMÁRKOVÁ a kol., 2003 in ILLEK, 2006).

Je ve správě závodu Horní Vltava. Vodní dílo se využívá jako vodárenská nádrž, pro nadlepšování průtoku a pro hydroenergetiku (www.pvl.cz).

V nádrži bylo nalezeno přes dvě stě fytoplanktonních druhů. Mezi ně patří i sinice tvořící každoročně vodní květy, nejvýznamnějšími je *Aphanizomenon flos-aquae* a *Microcystis aeruginosa*. Ze zelených řas tvoří obrovské biomasy společenstva *Staurastum planctonicum* (ILLEK, 2006).

3.1.2. Rybník Svět

Byl vybudován v letech 1571 – 74. Je dílem Jakuba Krčina z Jelčan a Jana Černého z Vnoře. Rozkládá se na jižním okraji města Třeboň. Běžná zatopená plocha je 212 ha. Běžný objem rybníka činí 3325 tisíc m³. Celková délka hráze je 1525 m. Nadmořská výška 436 m. Napájen je vodou ze Spolského potoka. Voda odtéká do Zlaté stoky. Rybník je slovován ve dvouletých cyklech. Násadu tvoří kapři a dravé ryby.

Je majetkem a.s. Rybářství Třeboň, které přistoupilo na dohodu s městem, že účelovou rybní obsádkou zlepší kvalitu vody. Úživnost vodních lokalit v povodí r. Svět je průměrná (LUKAVSKÝ a kol. 2003).

V současnosti je rybník hojně využíván k rekreačním účelům jako koupaliště, pro výlety na lodích, vodní sporty, sportovní rybolov a chov ryb.

3.1.3. Rybník Rod

Vybudován na přelomu 19. a 20. století za éry Josefa Šusty. Nachází se 0,5 km východně od obce Frahelž v Nadějské soustavě rybníků. Ta byla založena Jakubem Krčínem a doplněna za Šustovy éry o další rybochovné nádrže. Kóta normální hladiny rybníka je ve výšce 415,39 m. n. m. Zatopená plocha rybníka při normální hladině je 21,8 ha. Objem vody je 115 tis. m³. Délka hráze 1130 m. Napájen je vodou z rybníku Naděje, stoky Svodnice a lesního potoka. Voda odtéká do Pražského potoka. Rybník má omezenou obsádku ryb, je loven každoročně jedenkrát. Hnojení hnojem se neprovádí, pouze se vápní. Je majetkem a.s. Rybářství Třeboň.

Přítokem živinami bohaté rybníční vody dochází k problémům typickým pro intenzivní rybníky. Vysoký obsah živin a vysoké pH negativně ovlivňují i přilehlé rašeliniště.

Přírodní rezervací byl vyhlášen r. 1990 díky své jedinečnosti. Slouží jako krajinný prvek, pro chov ryb, plovoucí ostrůvky slouží jako hnízdiště vodních ptáků, ve východní části přechází rozsáhlý litorál v rašeliniště. (www.trebonsko.cz; Hule, 2005; MěÚ Soběslav ústní sdělení, 2008)

3.2. Charakteristiky pokusných kmenů

Bylo vybráno sedm kmenů sinic různých druhů a jeden druh zelené řasy (Tab. 1). Výběr kmenů byl proveden na základě čtyř požadavků: (1) kultury stejného roku odběru s co nejkratší dobou kultivace; (2) vybrat zástupce z řádů Nostocales (*Anabaena*, *Aphanizomenon*), Chroococales (*Microcystis*) a zelených řas (*Staurastrum*); (3) častý výskyt druhu ve vodním květu našich vodních nádrží a rybníků; (4) aby kmeny tvořily dominantu vodního květu.

Vybrané kmeny byly izolovány pracovníky Akademie věd ČR kapilárovou metodou z živých síťových vzorků odebraných v terénu pracovníky Akademie. Kultury jsou tedy klonální, tj. vypěstované z jednoho vlákna či kolonie.

Kultivace nejdříve probíhala v Petriho miskách (průměr 6 cm). Po získání čisté jednodruhové kultury o větší hustotě byly kmeny přeočkovány do Erlenmayerových baněk s prodyšným buničínovým uzávěrem v cca 200 ml kultivačního média. Bylo použito kultivační médium typu WC (GUILLARD & LORENZEN, 1932). Přesné složení média je uvedeno v Tab. 2 v Příloze. Do nového média byly kultury přeočkovány přibližně jednou za tři týdny.

Kultury byly uchovávány za stálých kultivačních podmínek (teplota 20 – 23 °C, osvětlení o intenzitě 30 – 45 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, světelný režim 16 hodin světla, 8 hodin tma).

Každý z kmenů byl také vyfotografován mikroskopem Olympus BX51, kamerou DP 70, programem DP Soft (viz Příloha – Tabule mikrofotografií). Autor fotografie. 7A Eliška Zapomělová, autor ostatních mikrofotografií Hana Kohelová. Na všech mikrofotografiích je zobrazeno měřítko ve velikosti 10,0 μm .

Tab. 1. Kmeny sinic a zelené řasy použité při pokusech na zkřížených gradientech teploty a světla.

název kmene	lokalita původu	čísla kmenů
<i>Anabaena</i> cf. <i>mendotae</i>	Svět	06-01
<i>Anabaena planctonica</i> Brunnth. 1903	Rod	06-02
<i>Aphanizomenon</i> cf. <i>yezoense</i>	Svět	06-03
<i>Aphanizomenon flos-aque</i> (L.) Ralfs 1888	Rod	06-04
<i>Microcystis ichthyoblabe</i> Kütz. 1843	Rod	06-05
<i>Microcystis wesenbergii</i> (Kom) Kom. in Kondr. 1968	Svět	06-06
<i>Microcystis wesenbergii</i> (Kom) Kom. in Kondr. 1968	Svět	06-07
<i>Staurastrum planctonicum</i> Teil.	Římov	06-08

Ne všechny studované kmeny bylo možno určit až do druhové úrovně, protože některé taxonomické znaky neodpovídaly původnímu popisu druhu.

Rod *Anabaena* patří mezi jedny z nejčastějších zástupců vodních květů u nás i ve světě.

***Anabaena cf. mendotae* (06-01)**

Vlákná jednotlivá, nepravidelně zkroucená, po celé délce stejně široká. Buňky dlouze soudečkovité až cylindrické, až 4x delší než široké, 2,5 – 11 μm dlouhé a 2,5 – 4,5 μm široké, s hnědými aerotopy. Heterocyty elipsoidní, dlouhé 5,5 – 11 μm a široké 4 – 7 μm , oddálené od akinet. Akinety dlouze cylindrické, dlouhé 16 – 30 μm a 5,5 – 7 μm široké.

Vyskytuje se v jezerech a větších čistších nádržích v celém mírném pásmu, kde tvoří ne příliš husté vodní květy. U nás roztroušeně ve velkých rybnících a přehradních nádržích (MARŠÁLEK a kol., 1996).

Studovaný kmen 06-01 se v některých morfologických znacích překrývá s *Anabaena sigmoidea*, proto nebylo možno jej přesně určit. Průměrná délka buněk tohoto kmene byla 7,5 μm , průměrná šířka 4,4 μm . Průměrná délka akinety byla 41,8 μm , šířka 10,2 μm . Heterocyty byly v průměru 6,2 μm dlouhé a 5,5 μm široké.

Anabaena planctonica

Vlákná vždy jednotlivá, přímá či mírně prohnutá, po celé délce stejně široká, s nezřetelným, bezbarvým slizovým obalem. Buňky soudečkovité, kratší než širší, dlouhé 9 - 12 μm a široké 8 – 15 μm , s četnými tmavými aerotopy. Heterocyty \pm kulovité, stejně široké nebo mírně užší než vegetativní buňky, 9,4 – 15 μm v průměru, oddálené od akinet. Akinety oválné až dlouze oválné, s bezbarvým exosporem, dlouhé 20 – 37 μm a široké 12 – 21 μm .

Poměrně hojná, vytváří vodní květy v jezerech i menších nádržích v celém mírném pásmu (MARŠÁLEK a kol., 1996).

Studovaný kmen 06-02 svými morfologickými znaky odpovídal druhu *Anabaena planctonica*.

***Aphanizomenon cf. yezoense* (06-03)**

Vlákná jednotlivá nebo sdružená do svazečků, 180 – 330 μm dlouhých. Trichomy přímé či slabě prohnuté, nezaškrcované, izopolární, bez slizových obalů. Koncové buňky dlouhé, cylindrické, hyalinní, s oblými konci. Vegetativní buňky 3,1 – 7,8 μm dlouhé a široké

2,7 – 4 μm , s drobnými aerotopy. Koncové buňky dlouhé 10,9 – 28,8 μm a 2,8 – 4 μm široké. Heterocyty cylindrické, dlouhé 5,4 – 11,4 μm a široké 3,8 – 5,1 μm , oddálené od akinet. Akinety se tvoří zřídka, dlouhé, cylindrické, vždy jednotlivé, dlouhé 31,2 – 48,9 μm a 4,7 – 7,3 μm široké.

Tvoří slabé vodní květy. Vyskytuje se ve větších mezotrofních až eutrofních vodních nádržích, roztroušeně po mírném pásmu Euroasie (MARŠÁLEK a kol., 1996).

Použitý kmen 06-03 nebylo možno spolehlivě určit do druhu, protože nejsou zachovány svazky vláken typické pro *Aphanizomenon yezoense*, kmen vykazuje také některé morfologické znaky druhu *Aphanizomenon klehaniai*. Průměrná délka buněk studovaného kmene 06-03 byla 6 μm , průměrná šířka buněk 5,1 μm . Průměrná délka koncových buněk byla 14,4 μm , šířka 5,7 μm . Heterocyty byly v průměru 7,8 μm dlouhé a 5,7 μm široké.

Aphanizomenon flos-aquae

Vlákná sdružená do podlouhlých kolonií, 5 – 15 mm dlouhých. Trichomy cylindrické, slabě zaškrcované. Koncové buňky protažené, vakuolizované, široce zaoblené, dlouhé 10,7 – 18,6 μm a 4,3 – 5 μm široké. Vegetativní buňky cylindrické až soudečkovité, s četnými aerotopy, dlouhé 5,7 – 12,1 μm a 4,4 – 6,5 μm široké. Heterocyty cylindrické, 10 – 18 μm dlouhé a široké 5,5 – 6,4 μm , většinou oddálené od akinet. Akinety jsou dlouze cylindrické, na koncích zaoblené, 54 – 90 μm dlouhé a 7 – 10,8 μm široké.

Roste v planktonu menších eutrofních nádrží, u nás v rybnících, řidčeji v přehradách. Zde může při intenzivnějším slunečním ozáření vyvolat husté vodní květy. Výskyt během celého roku. Obvykle začíná narůstat již ke konci června, ale nejvyšších biomas dosahuje až na přelomu srpna a září. Všeobecně rozšířen v temperátních zónách (MARŠÁLEK a kol., 1996; ILLEK, 2006). Rod *Aphanizomenon* konkrétně druh *A. flos-aquae* a jeho variety patří mezi jedny z nejčastějších zástupců vodních květů u nás i ve světě.

Studovaný kmen 06-04 svými morfologickými znaky odpovídal druhu *Aphanizomenon flos-aquae*.

Zástupci rodu *Microcystis* vykazují trend zvyšující se kvantitativně ve vodních nádržích v České republice (ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004; ZNACHOR a kol., 2006). Během roku se vyskytují

ve dvou subpopulacích - v letní a zimní. Mají jiné ekologické nároky, rozdílnou výživu i morfologii kolonií (ŠEJNOHOVÁ a kol., 2004).

Microcystis ichthyoblabe

Druh s variabilní morfologií během životního cyklu. Kolonie tvoří zprvu malé shluky zhuštěných buněk, obklopené masou rozptýlenějších buněk. Později větší kolonie s nepravidelným obrysem, rovnoměrně uložené buňky, bezbarvý, řídký sliz na okrajích rozplývavý. V pozdějších stádiích se kolonie rozpadají. Buňky kulovité, 2 – 3,2 μm v průměru. Silně toxické kmeny (MARŠÁLEK a kol., 1996).

Sladkovodní druh mezotrofních až eutrofních vodních nádrží, bez znečištění. Někdy vytváří silné vodní květy, často s jinými druhy. Období jejího výskytu je od druhé poloviny června do září. Od sedmdesátých let běžný i u nás (MARŠÁLEK a kol., 1996; ILLEK, 2006). Rozšířen po celém světě s výjimkou cirkumpolárních oblastí.

Studovaný kmen 06-05 svými morfologickými znaky odpovídal druhu *Microcystis ichthyoblabe*.

***Microcystis wesenbergii* forma „Viridis“ (06-06)**

Kolonie zprvu kulovité, později protáhlé, nepravidelné, někdy složené z dílčích kolonií, dosahující až makroskopických rozměrů (do délky 6 mm). Buňky náhodně, ne příliš hustě rozmístěné, většinou nejhustěji na okrajích kolonie. Bezbarvý sliz, s hladkým světlolomným okrajem. Buňky kulovité, 4 – 8 μm v průměru, se zřetelnými aerotopy.

Běžný v eutrofních nádržích téměř po celém světě. Hlavně ve smíšených populacích s jinými druhy (MARŠÁLEK a kol., 1996).

Studovaný kmen 06-06 tvořil balíčkovité kolonie kompaktnější než je typické.

***Microcystis wesenbergii* forma „Coelosphaerium“ (06-07)**

Studovaný kmen 06-07 je jiný kmen stejného druhu jako předchozí, který se vyznačoval pravidelně kulovitými, zpočátku makroskopickými koloniemi (až 3 cm v průměru). Odtud název formy *Coelosphaerium*. Velikost těchto kolonií se během kultivace zmenšovala, až

postupně zcela vymizely. Nyní již kmen tvoří jen běžné shluky buněk. Tento kmen pochází ze stejného odběru z téže lokality a je izolovaný stejně jako předchozí kmen.

Staurastrum planctonicum

Buňky bez výběžků 40 – 50 μm dlouhé, s výběžky je délka buněk 78 – 85 μm a šířka 80 – 86 μm . Uprostřed jsou buňky výrazně zúžené. Poloviny buňky jsou trojboké. Apikální okraj rovný, či mírně konvexní na jeho okrajích jsou tři dlouhé výběžky s krátkými trny, na koncích jsou tři krátké ostny.

V planktonu oligotrofních až eutrofních rybníků a jezer (HINDÁK a kol., 1978). Druh tvoří příležitostně dominanty v planktonu zejména přehradních nádrží, ojediněle i rybníků.

Studovaný kmen 06-08 svými morfologickými znaky odpovídal druhu *Staurastrum planctonicum*.

3.3. Práce na pokusu

Pro stanovení tepelného a světelného optima vybraných kmenů sinic a zelené řasy jsem prováděla pokusy na zkřížených gradientech.

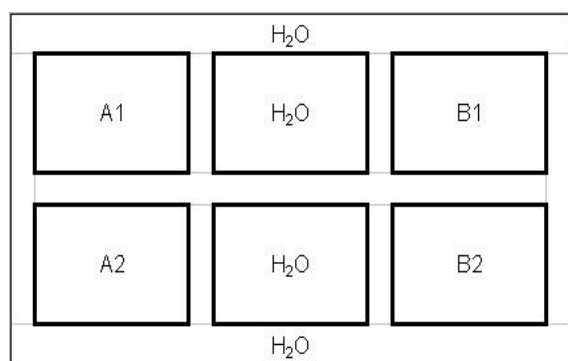
Nejdříve jsem si naplnila 25 destiček inokulem jednoho kmene, umístila je na gradientový stůl a nechala šest až deset dní růst. Poté jsem pokus sklidila a nechala stanovit množství chlorofylu *a*. Spektrofotometrické stanovení chlorofylu *a* prováděla pracovnice AV Martina Vožechová. Hodnoty korigovaného chlorofylu jsem vložila do grafu, který v ploše zobrazil závislost chlorofylu *a* na intenzitě světla a teplotě.

3.3.1. Plnění destiček

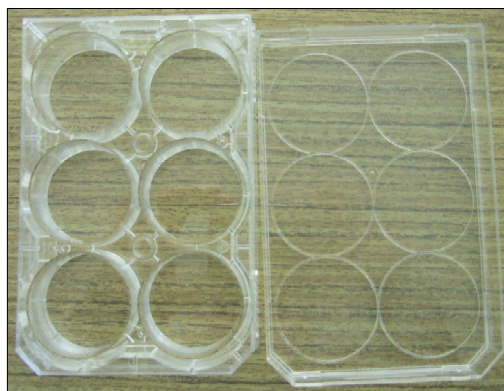
Při každém pokusu jsem plnila 25 destiček inokulem téhož kmene. Umyté a UV zářením vysterilizované šestijamkové destičky jsem plnila nejdříve 10 ml destilované vody, která snižovala odpar. Dále 10 ml WC média (GUILLARD & LORENZEN, 1972) s vitamíny a nakonec 0,5 - 1 ml inokula (dle jeho koncentrace) vybraného kmene. Přesné složení WC média je uvedeno v Tab. 2 v Příloze.

Destilovanou vodou jsem plnila dvě prostřední jamky a meziprostor destičky, WC médiem a inokulem čtyři krajní jamky (A1, A2, B1, B2) (Obr. 1, 2).

Naplněné destičky jsem zalepila parafilmem, aby se médium neodpařovalo, a narovнала na gradientový stůl.



Obr. 1: Schéma kultivační destičky



Obr. 2: Kultivační destička

3.3.2. Zkřížené gradienty teploty a světla

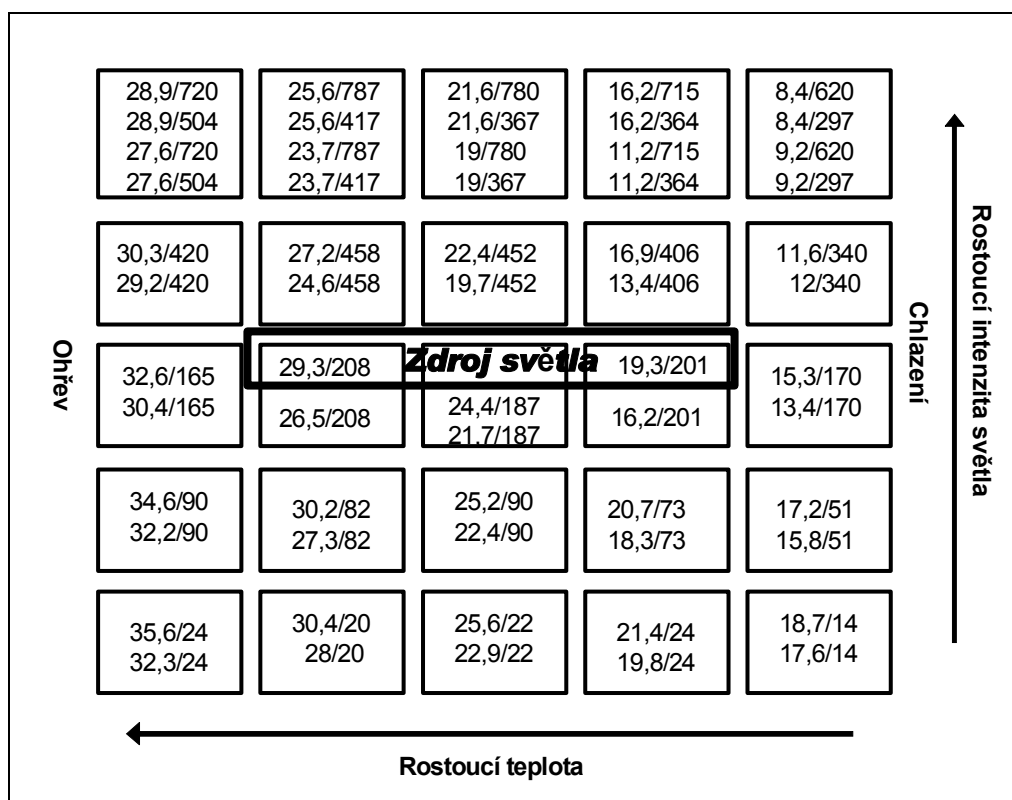
Princip metody

Metoda kultivace sinic a řas ve zkřížených gradientech teploty a světla je snadná a efektivní pro testování růstových konstant, obsahu metabolitů, přežívání, morfologické variability, fyziologie atp. Pro účely kultivace se mohou používat různé kultivační nádoby (KVÍDEROVÁ a LUKAVSKÝ, 2001).

Aparatura gradientového stolu se skládá z temperované hliníkové desky, zdroje světla, digitálních teploměrů pro nastavení maximální a minimální teploty, motoru a elektrického spínače (pro regulaci režimu světlo/tma).



Obr. 3: Ilustrační foto gradientového stolu. Na této fotografii je světelný zdroj umístěn na boční straně stolu, pro svůj pokus jsem používala zdroj umístěný nad stolem, který se nevešel do záběru.



Obr.4: Intenzity světla a teploty (příklad, měřeno u kmene *Microcystis wesenbergii* forma „Coelospherium“ (Kom. Kom. in Kondr. 1968).

První dvojčíslí je hodnota pro jamky A1 + A2, druhé dvojčíslí je pro jamky B1 + B2. Číslo před lomítkem je teplota ve °C, za lomítkem je intenzita ozáření v $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Stínítko druhé řady destiček vrhalo stín na spodní polovinu destiček první řady, proto byla naměřena různá intenzita ozáření. První dvojčíslí je teplota a ozáření v A1, druhé dvojčíslí v A2, třetí je B1, čtvrté B2.

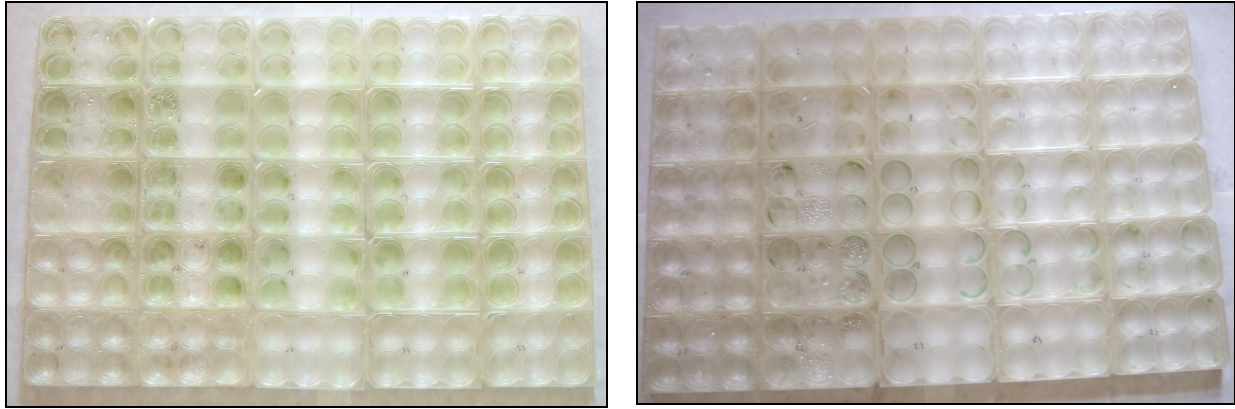
3.3.3. Práce u gradientového stolu

Základní nastavení gradientového stolu (Obr. 3) bylo: teplota od 8,4 °C do 37,6 °C, světelný režim 16/8 hodin (světlo/tma), intenzita ozáření se pohybovala od 14 po 787 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Pro mé pokusy jsem používala zdroj světla umístěný nad stolem ve středu. Výška osvětlení je regulovatelná dle potřebné intenzity záření. Použity byly 2 sodíkové výbojky typu OSRAM VIOLOX NAV-TS 400W (SON-TS). Pokud bylo zjištěno, že optimum teploty studovaného kmene je nižší nebo vyšší, než byla první nastavená kombinace teplot, byl pokus zopakován v jiném rozpětí teplot. Gáza na kultivačním stole byla zalévána destilovanou vodou 1x denně. Pro své pokusy jsem používala stínítka z ocelových prutů, potažená filtračním papírem.

Na gradientový stůl jsem dala gázu ve 3 vrstvách a zalila destilovanou vodou, která zajišťovala rovnoměrný přenos tepla na celém stole. Destičky jsem umísťovala po pěti, do pěti řad a očíslovala. První řada byla bez stínění – plně ozářená dvěma sodíkovými výbojkami. Druhá řada byla stíněna jednou vrstvou filtračního papíru, druhá řada třemi vrstvami, třetí řada pěti vrstvami filtračního papíru. Pátá řada byla stíněna černou fólií s gázou. Gáza zabraňovala přehřívání černého povrchu a tím zvyšování teploty.

3.3.4. Sklizení narostlé biomasy

Po zhruba 5 dnech jsem kontrolovala růst, abych zachytila optimální nárůst biomasy a nedošlo k jejímu žloutnutí a odumírání. Podle intenzity nárůstu biomasy jsem pokus sklízela po šesti až deseti dnech. Nejdříve jsem odnesla destičky z gradientového stolu do laboratoře, rozložila na bílý papír a vyfotografovala (viz Obr. 5) fotoaparátem FinePix F11, 6,3 megapixels.



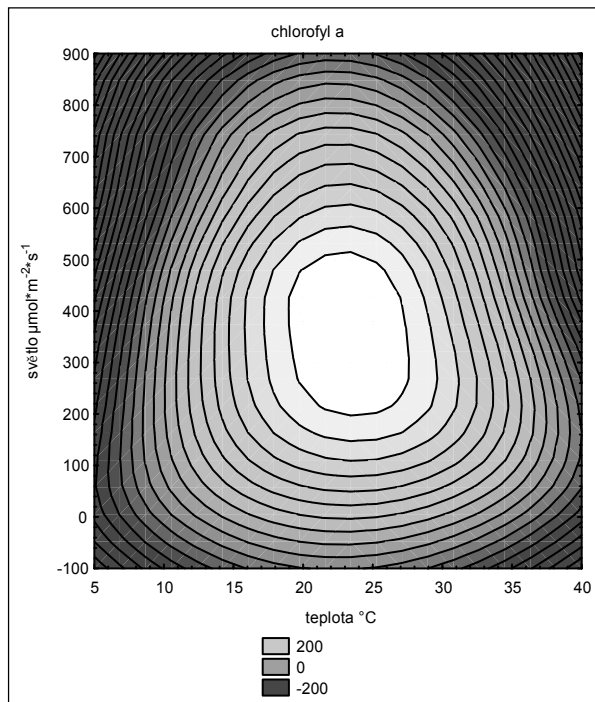
Obr. 5: Kultivační destičky s nárůstem biomasy před sklizením. Názorně je vidět různá intenzita nárůstu biomasy v různých kombinacích teploty a světla.

Pipetou jsem zhomogenizovala obsah jamky, nasála veškerou tekutinu a vypustila do malé kádinky. V kádince jsem smíchala objem z dvou pod sebou ležících jamek a odpipetovala 10 ml tekutiny, kterou jsem zfiltrovala pomocí vodní vývěvy. Zbytek vzorku jsem nalila do malé PET lahvičky a fixovala Lugolovým roztokem, pro možnost kontroly v případě nejasností ve výsledcích pokusu.

Používala jsem filtry Glas microfibre filters GF/C firmy Watman. Použitý filtr jsem každý jednotlivě přehnula na půl – stranou s filtrátem dovnitř – a osušila filtračním papírem. Vysušený filtr jsem zabalila do připraveného kousku filtračního papíru a uložila do sklenice se silikagelem. Sklenice se vzorky jsem skladovala v mrazicím boxu při $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vzorky jsem předala M. Vožechové ke spektrofotometrickému stanovení chlorofylu *a*. Byl používán spektrofotometr typu Beckman DU650, metoda stanovení dle LORENZEN (1967).

3.3.5. Vyhodnocení dat

Získaná data o růstu jednotlivých kmenů v různých kombinacích teploty a intenzity světla byla vyhodnocena v programu Statistika - „vrstevnicové grafy“ (viz Obr. 6 a 7 v Příloze). Grafy zobrazující valence kmenů pro teplotu a světlo (viz Graf 2 a 3 ve Výsledcích) byly vytvořeny v programu Microsoft Excel. Podobnosti mezi teplotními a světelnými nároky jednotlivých kmenů byly testovány PCA metodou v programu Canoco 4.5 a CanoDraw (TER BRAAK AND ŠMILAUER, 1998) a výsledky byly zobrazeny v Grafu 4 ve Výsledcích.



Graf 1: Příklad „vrstevnicového grafu“ u *Aphanizomenon flos-aquae* (vločky velké)

Pro statistické vyhodnocení se zadává do programu kombinace hodnot teploty, intenzity světla a chlorofylu *a*. Vyhodnocuje se v programu Statistika (ANON., 1996). Stínování ukazuje množství chlorofylu *a* v $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Graf je namodelován programem automaticky. Na obrázku jsou tmavou barvou znázorněny záporné hodnoty, od nulového množství chlorofylu *a* se barvy zesvětlují do středu, který znázorňuje největší množství chlorofylu *a*.

4. VÝSLEDKY

4.1. Obecný popis reakcí testovaných kmenů

Laboratorním experimentem metodou zkřížených gradientů teploty a světla byly zjištěny minimální, optimální a maximální hodnoty teploty a ozáření pro růst testovaných kmenů. Minimální teploty a světlo znamenají, že pokud jsou hodnoty nižší, druh ještě nemá podmínky pro svůj růst a zůstává většinou v klidových formách u dna. Hodnoty vyšší než maximální jsou příliš vysoké a mohou způsobovat poškození buněk. Planktonní druhy tvořící vodní květ mají možnost uniknout nepříznivým podmínkám potopením se do větší hloubky pomocí aerotopů. Optimální hodnoty jsou nejlepší pro život kmene. Umožňují jeho růst a množení.

Při pokusu tvořily všechny kmeny většinou slabý, nebo žádný nárůst biomasy na chladné a také na zastíněné části gradientového stolu. Silnější nárůst biomasy a brzké odumírání buněk nastávalo na plně ozářené části gradientového stolu. A nejvyšší nárůst biomasy byl ve středně ozářených částech stolu s dřívějším žloutnutím buněk v méně tepelně příznivých místech. V místě s optimálními podmínkami zůstala narostlá biomasa zelená.

4.2. Charakteristika reakcí jednotlivých testovaných kmenů na různé kombinace teplot a světla

Růstová reakce kmenů na gradient teploty a světla pro každý studovaný kmen je znázorněna v podobě „vrstevnicových grafů“ viz Obr. 6 a 7 v Příloze.

Anabaena cf. mendotae

Minimální teplota pro růst kmene byla 18 °C, maximální 27, optimum teploty bylo zjištěno ve 22,5 °C.

Minimální světlo bylo 40 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, maximální 280, optimum světla bylo zjištěno ve 160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Gradientový stůl byl vyhřátý na 8,4 - 35,6 °C, ozáření bylo od 14 – 787 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Anabaena planctonica

Minimální teplota pro růst kmene byla 21 °C, maximální 28, optimum teploty bylo zjištěno ve 24,5 °C.

Minimální světlo bylo 180 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, maximální více než 900, optimum světla bylo zjištěno v 540 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Gradientový stůl byl vyhřátý na 10,5 - 37,6 °C, ozáření bylo od 14 – 787 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

V tomto optimu se nacházely ještě dvě oddělené oblasti s optimálnějšími podmínkami. Jedna měla minimální teplotu 24,5 °C, maximální 26, optimum bylo v 25,3 °C. Světlo bylo minimální 240 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, maximální 320, optimum 280 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Druhá oblast měla minimální teplotu 22,5 °C, maximální 24,5, optimum 23,5 °C. Minimální světlo bylo 600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, maximální 770, optimální 685 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Aphanizomenon cf. yezoense

Minimální teplota pro růst kmene byla 21 °C, maximální 25, optimum teploty bylo zjištěno ve 23 °C.

Minimální světlo bylo 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, maximální 300, optimum světla bylo zjištěno v 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Gradientový stůl byl vyhřátý na 10,5 - 37,6 °C, ozáření bylo od 14 – 787 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Aphanizomenon flos-aque

Minimální teplota pro růst kmene byla 19 °C, maximální 28, optimum teploty bylo zjištěno ve 23,5 °C.

Minimální světlo bylo 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, maximální 500, optimum světla bylo zjištěno ve 350 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Gradientový stůl byl vyhřátý na 10,5 - 37,6 °C, ozáření bylo od 14 – 787 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Microcystis ichthyoblabe

Minimální teplota pro růst kmene byla 24 °C, maximální 35, optimum teploty bylo zjištěno ve 29,5 °C.

Minimální světlo bylo $130 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, maximální 380, optimum světla bylo zjištěno ve $255 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Gradientový stůl byl vyhřátý na $8,4 - 35,1 \text{ }^\circ\text{C}$, ozáření bylo od $14 - 787 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Microcystis wesenbergii forma „Viridis“

Minimální teplota pro růst kmene byla $25 \text{ }^\circ\text{C}$, maximální 31, optimum teploty bylo zjištěno ve $28 \text{ }^\circ\text{C}$.

Minimální světlo bylo $140 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, maximální 260, optimum světla bylo zjištěno ve $250 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Gradientový stůl byl vyhřátý na $8,4 - 35,6 \text{ }^\circ\text{C}$, ozáření bylo od $14 - 787 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Microcystis wesenbergii forma „Coelospherium“

Minimální teplota pro růst kmene byla $26,5 \text{ }^\circ\text{C}$, maximální více než 40, optimum teploty bylo zjištěno ve $33,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Minimální světlo bylo $260 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, maximální 500, optimum světla bylo zjištěno ve $380 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Gradientový stůl byl vyhřátý na $8,4 - 35,6 \text{ }^\circ\text{C}$, ozáření bylo od $14 - 787 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Staurastrum planctonicum

Minimální teplota pro růst kmene byla $21 \text{ }^\circ\text{C}$, maximální 34, optimum teploty bylo zjištěno ve $27,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

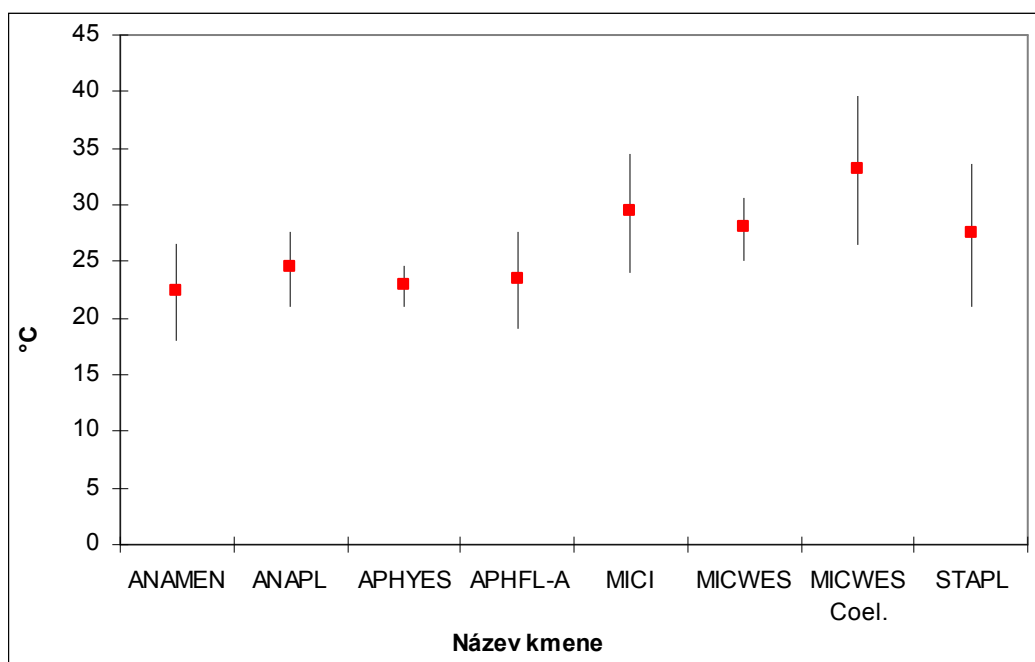
Minimální světlo bylo $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, maximální 520, optimum světla bylo zjištěno ve $310 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Gradientový stůl byl vyhřátý na $10,5 - 37,6 \text{ }^\circ\text{C}$, ozáření bylo od $14 - 787 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

4.3. Srovnání reakcí testovaných kmenů

Růstová reakce na gradient teploty a ozáření pro každý studovaný kmen je znázorněna v podobě „vrstevnicového grafu“ na Obr. 6 a 7 v Příloze. Grafy zobrazují množství

chlorofylu *a*, které bylo naměřeno v příslušném osvětlení a teplotě. Graf je namodelován programem automaticky, proto zobrazuje i záporné hodnoty. Reálná čísla jsou od nula $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Záporné hodnoty jsou v grafu nejtmavší barvou. Od nulového množství chlorofylu se barva zesvětluje až po bílou, která představuje nejvyšší množství naměřeného chlorofylu *a*, tedy největší nárůst biomasy buněk daného vzorku. Tato oblast představuje optimální podmínky pro růst zkoumaného kmene.

Grafy 2 a 3 zobrazují úsečkou rozpětí maximum–minimum hodnot testovaného vlivu na růst pokusných kmenů. Červeným čtverečkem je vyznačeno optimum teploty nebo světla pro růst daného kmene.

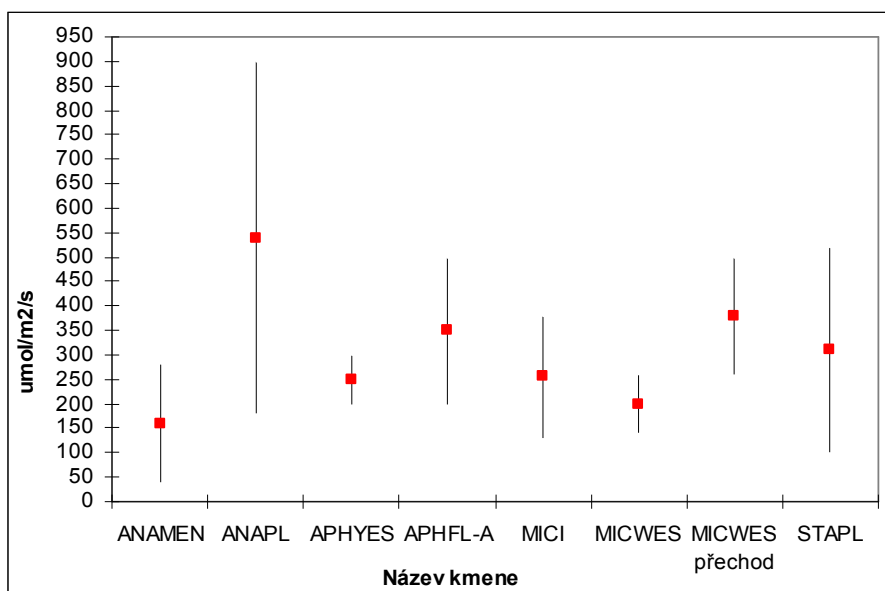


Graf 2: Zobrazuje amplitudy teplot s vyznačením optima

Vysvětlivky zkratk: ANAMEN – *Anabaena cf. mendotae*, ANAPL - *Anabaena planctonica*, APHYES - *Aphanizomenon cf. yezoense*, APHFL-A - *Aphanizomenon flos-aque*, MICI - *Microcystis ichthyoblabe*, MICWES - *Microcystis wesenbergii* forma „*Viridis*“, MICWES-COEL - *Microcystis wesenbergii* forma „*Coelosphaerium*“, STAPL - *Staurastrum planctonicum*

Nejvyšší optimální teplotu ze studovaných kmenů, a to 33,2 °C, měl kmen *Microcystis wesenbergii* forma „*Coelosphaerium*“. Nejnižší optimální teplota byla zjištěna u kmene *Anabaena cf. mendotae*, a to 22,5 °C.

Nejširší amplitudu, tedy i největší přizpůsobivost pro teplotu měla *Microcystis wesenbergii* forma „*Coelosphaerium*“, a to 13,5 °C. Druhou největší valenci měla jediná v tomto pokusu použitá zelená řasa *Staurastrum planctonicum* – tolerovala rozpětí 13 °C. Nejužší valenci pro teplo měl kmen *Aphanizomenon cf. yezoense* a to 4 °C.

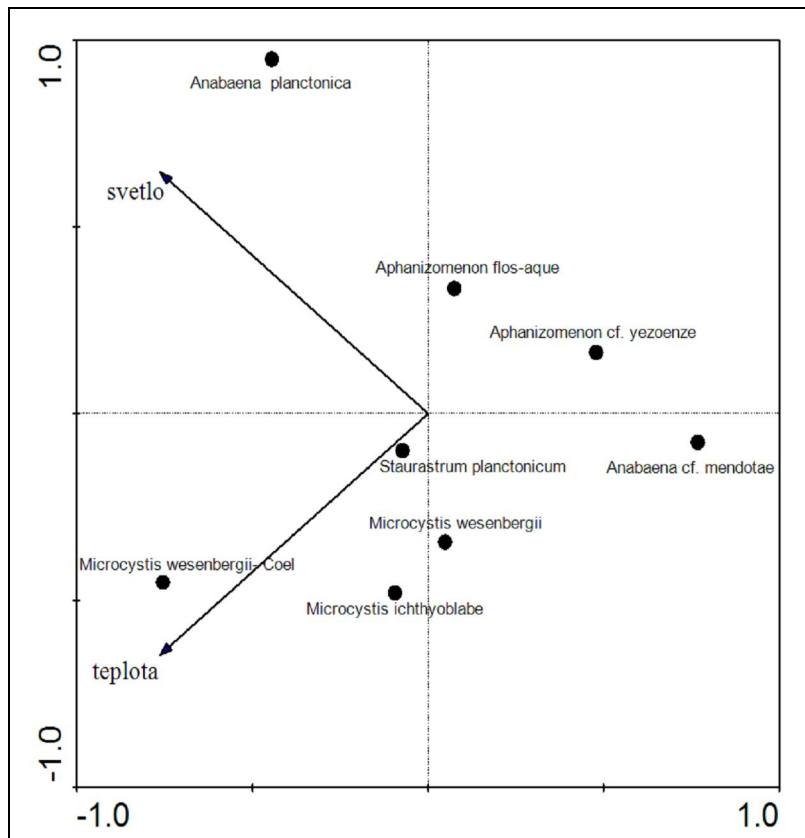


Graf 3: Zobrazuje amplitudy světla s vyznačením optima.

Vysvětlivky zkratk: ANAMEN – *Anabaena cf. mendotae*, ANAPL - *Anabaena planctonica*, APHYES - *Aphanizomenon cf. yezoense*, APHFL-A - *Aphanizomenon flos-aque*, MICI - *Microcystis ichthyoblabe*, MICWES - *Microcystis wesenbergii* forma „*Viridis*“, MICWES-COEL - *Microcystis wesenbergii* forma „*Coelosphaerium*“, STAPL - *Staurastrum planctonicum*

Nejvyšší optimum světla ze studovaných kmenů, a to 540 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, měl kmen *Anabaena planctonica*. Nejnižší – 160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ měl kmen *Anabaena cf. mendotae*.

Nejširší ekologickou valenci pro světlo měl kmen *Anabaena planctonica* – toleruje rozpětí více než 720 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejužší rozpětí pro světlo měl kmen *Aphanizomenon cf. yezoense* a to 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.



Graf 4: Ordinační diagram CanoDraw for Windows (ŠMILAUER, 1992)

PCA ordinační diagram (Graf 4) zobrazuje závislost růstu testovaných kmenů na teplotě a světelné intenzitě. První osa (čerchovaná čára) modelu vysvětluje 56,7% celkové variability dat, druhá osa vysvětluje 43,3 % variability. Testované kmeny jsou rozděleny do tří klastrů, které odpovídají nárokům na teplotní a světelné podmínky. První klastr tvoří kmen *Anabaena planctonica*, která vyžaduje pro svůj optimální růst vyšší světelné intenzity. Druhý klastr je tvořen kmeny *Microcystis* a *Staurastrum planktonicum*, které preferují vyšší teploty vody k svému optimálnímu růstu. Třetí klastr tvoří kmeny *Aphanizomenon* a *Anabaena cf. mendotae* které preferují chladnější vodu k svému růstu.

Šipky virtuálně začínají na pravé straně grafu, program je ovšem zobrazuje jen na jedné straně aby byl graf přehledný, když je více zkoumaných veličin. Ve směru šipky teplota a světlo stoupají. Pro odečtení míry závislosti na veličině se vynese kolmice od bodu k příslušné šipce.

5. DISKUSE

5.1. Komentář k výsledkům

Je známo, že v přírodních podmínkách roste většina populací mnohem aktivněji než v laboratorních kulturách na ryze minerálních médiích (RIPPKA, 1982 in MARŠÁLEK, 1996). U kmenů rodu *Microcystis*, které jsem pěstovala to platilo dvojnásob. Docházelo u nich k rozpadu kolonií na jednotlivé buňky nebo ztrátě tvaru kolonie, žloutly a odumíraly rychleji než ostatní studované kmeny. Byly také náchylnější k plísňovým infekcím. Největší problémy byli s pěstováním kmene sinice *Microcystis ichthyoblabe*. Naopak v přírodě je obecně rod *Microcystis* velmi konkurenceschopný (ZNACHOR, 2006). Nejdéle živý vydržel jediný druh zelené řasy v pokusu – *Staurastrum planctonicum*. Druhý velmi odolný byl kmen *Anabaena planctonica*, která také vydržela růst v kultuře po dlouhou dobu i bez přeočkování. Má také nejširší toleranci ke světlu, naopak rozpětí teplot toleruje relativně nízké, pouze 7 °C. Zvláštností je, že výsledky ukázaly dvě oblasti optimálního osvětlení a teploty pro její růst.

Microcystis wesenbergii forma „*Coelosphaerium*“ dostala svůj název od kulovitých útvarů, které tvořila v době, kdy byl odebrán vzorek z přírody (viz fotografie 7A v Příloze, Tabule mikrofotografií). Tyto kolonie se během kultivace brzy tvořit přestaly. Je možné, že to byla forma ochrany buněk před slunečním zářením. Dle výsledků v pokusu má spíše nižší světelnou valenci, ovšem minimální osvětlení bylo $260 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, což je nejvíce ze studovaných kmenů. To by mohlo potvrzovat teorii ochrany proti přezáření.

Jako ochrana proti ozáření se také uvádí tvorba snopečků u rodu *Aphanizomenon*. Oba zkoumané kmeny mají minimální osvětlení pro svůj růst druhé nejvyšší – shodně $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Rozpětí tolerovaného ozáření je ovšem velmi rozdílné. U *Aph. flos-aquae* s pracovním označením „vločky velké“ je valence $300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, u *Aph. cf. yezoense* s pracovním označením „vločky malé“ je jen $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. *Aphanizomenon flos-aquae* tvořil v době, kdy byl odebrán vzorek z přírody makroskopické snopečky vláken, jejichž velikost se v době kultivace zmenšila, ovšem byly stále velmi kompaktní a větší než u *Aph. cf. yezoense*, jehož snopečky jsou i v přírodě malé a rozpadavé.

Anabaena mendotae tvoří obvykle volně nepravidelně zkroucená, někdy spirálovitě stočená vlákna, což by také mohl být způsob ochrany před slunečním zářením. Kmen 06-01

Anabaena cf. mendotae měl ovšem nejnižší minimální osvětlení pro svůj růst ze zkoumaných kmenů a střední valenci.

Teplotní optimum u *Aphanizomenon flos-aquae* leží poměrně nízko ve srovnání s ostatními zkoumanými kmeny je od 19 do 28 °C. V přírodě začíná růst již ke konci června, kdy se teplota vody může pohybovat kolem 19 °C. Nejvyšší biomasu tvoří na přelomu srpna a září (ILLEK, 2006), kdy teplota vody už nedosahuje nejvyšších hodnot. V tomto kontextu se zdají být zjištěné hodnoty správné a také dostupná literatura uvádí podobné výsledky.

V dostupné literatuře se mi nepodařilo najít údaje o světelných či tepelných nárocích, porovnatelné s výsledky u zelené řasy *Staurastrum planctonicum*. Jeho široká tolerance k teplotě i ozáření, s minimální potřebnou teplotou k nástupu intenzivní tvorby biomasy v 21 °C, odpovídají jeho výskytu v přírodě. Objevuje se na počátku července a v závislosti na množství buněk přetrvává až do listopadu (ILLEK, 2006). Dle laboratorních studií FUJIMOTO a kol (1994) in ŠEJNOHOVÁ a kol. (2004) se rod *Microcystis* dokáže rychleji adaptovat na fluktuace teplot, než zelené řasy. Od šířky valence nelze odvozovat rychlost přizpůsobení. Testovaný kmen 06-08 však tvořil biomasu v kulturách velmi pomalu. Také na gradientovém stole trvalo o dva dny déle, než u sinic, než biomasu bylo dostatečné množství ke sklizení k měření chlorofylu *a*.

5.2. Porovnání výsledků s literaturou

LI a kol. (1997) zjistili, že při podmínkách 20 °C, ozáření $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a vyváženém poměru živin, které se používají jako standardní kultivační podmínky, netvoří akinety některé druhy rodu *Anabaena*, odebrané z různých japonských jezer. Také jsem při kultivaci pozorovala poměrně nízkou tvorbu akinet, ovšem u kmenů *Anabaena cf. mendotae* a *A. planctonca*, které pokus zmíněných vědců neobsahoval.

Nejvyšší ozáření během vegetační sezóny těsně pod hladinou naměřené na nádrži Římov může dosahovat za slunného dne až $2000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, při podmračeném dni jen $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (záznamy Hydrobiologického ústavu AV ČR). WALLACE a HAMILTON (1999) prováděli pokus s *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenkin. pocházející z vodního květu z jezera v západní Austrálii. Při tomto pokusu naměřili v poledne během sezóny roku 1997 ozáření na hladině až $1300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Všechny tři kmeny rodu *Microcystis*, které jsem zkoumala, v laboratorních podmínkách nedokázaly prosperovat již v ozáření kolem $787 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. V přírodě je většina planktoních sinic v letním období těsně u hladiny

prezářena, ovšem mají několik mechanismů jak se tomu bránit. Mohou klesnout do takové hloubky, kde již nejsou slunečními paprsky ohrožovány, či tvorbou snopečků nebo forem života jako *Microcystis wesenbergii* forma „Coelosphaerium“ vytvářet samozastínění.

REYNOLDS a WALSBY (1975) in MARŠÁLEK a kol. (1996) uvádí, že sinice rodu *Microcystis* je schopna žít a metabolizovat v rozmezí 18 – 1852 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, optimální podmínky pro fotosyntézu jsou mezi 111 až 370 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, limitace světlem u ní nastává v podmínkách nad 926 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. U testovaných kmenů jsou minimální hodnoty ozáření pro růst poněkud vyšší. Maximální hodnoty byly u všech tří studovaných kmenů velmi rozdílné. Nejbližší k porovnávané hodnotě byla *M. ichthyoblabe* s maximálním ozářením 380 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. *Microcystis wesenbergii* forma „Viridis“ měla své maximum níže – 260 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, *M. wesenbergii* forma „Coelosphaerium“ měla naopak výrazně vyšší maximum – 500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Limitace světlem na gradientovém stole nastávala u všech tří testovaných kmenů u hodnot nad 700 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Nejbližší této hranici byla *M. wesenbergii* forma „Coelosphaerium“.

DE NOBEL a kol. (1997) označili *Aphanizomenon flos-aquae* jako „stínomilný“, konkurenceschopnější při limitaci světlem, zatímco rod *Anabaena* jako „světломilný“ na základě laboratorních pokusů. Oba vzorky pocházely z eutrofního jezer v Nizozemí. Ve svém pokusu jsem zjistila, že zkoumané druhy rodu *Anabaena* mají různé rozpětí intenzity světla, při kterém jsou schopny růst. *Anabaena planctonica* (06-02) má širokou světelnou valenci, narozdíl od *Anabaena cf. mendotae* (06-01). Studované druhy rodu *Aphanizomenon* vykazují mnohem menší toleranci k vyšším intenzitám ozáření. Rozpětí světla, v kterém jsou schopny růst, bylo mnohem užší než u kmenů *Anabaena* (viz Graf 3 ve Výsledcích). Graf 4 ve výsledcích ukazuje závislost kmenů na teplotě a světle. Druh *Anabaena planctonica* je schopen růst při nejintenzivnějším ozáření a také má nejširší světelnou valenci. Druh *Anabaena cf. mendotae* naopak vyžadoval pro svůj optimální růst nejnižší intenzitu záření ze všech studovaných kmenů. Pro lepší zhodnocení shody výsledků DE NOBEL a kol. a mých by bylo třeba znát druh testované sinice rodu *Anabaena*. Získané výsledky ukazují na to, že vhodná intenzita záření pro růst jednotlivých druhů je druhově specifická a zejména u rodu *Anabaena* nejde jednoznačně říci, že preferuje vyšší intenzity záření. Rod *Aphanizomenon* má mnohem užší světelnou valenci než rod *Anabaena* a tudíž by se dalo předpokládat, že je méně konkurenčně schopný

YAGI a kol. (1994) in ŠEJNOHOVÁ a kol. (2004) zjišťovali optimální osvětlení pro maximální fotosyntetickou aktivitu tří kmenů rodu *Microcystis* v kultivacích při teplotě 25 °C.

Zjištěné optimální ozáření byly u *Microcystis aeruginosa* a *M. wesenbergii* $240 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a u *M. viridis* $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. U testovaného kmene (06-06) *Microcystis wesenbergii* forma „Viridis“ bylo optimální osvětlení $250 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, tedy téměř shodné s výsledky YAGI a kol. (1994). U kmene (06-07) *M. wesenbergii* formy „Coelosphaerium“ byla hodnota optimálního ozáření vyšší - $380 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ zřejmě díky samozastínění. Jako optimální teplotu pro maximální fotosyntetickou aktivitu autor uvádí $25 \text{ }^\circ\text{C}$ u kmene *M. viridis*, $35 \text{ }^\circ\text{C}$ u *M. aeruginosa* a *M. wesenbergii*. Tyto hodnoty teploty byly u kmenů, které jsem testovala limitní hranicí pro jejich masivní růst.

Mé výsledky ukázaly jako optimální teplotu pro růst kmenů: *Microcystis wesenbergii* forma „Viridis“ $25 - 31 \text{ }^\circ\text{C}$, u *M. wesenbergii* forma „Coelosphaerium“ to bylo $26,5 - 40 \text{ }^\circ\text{C}$ a pro *M. ichthyoblabe* $24 - 35 \text{ }^\circ\text{C}$. Dle práce HAMMER (1964) a VARIS (1993) in ŠEJNOHOVÁ a kol. (2004) je optimální teplota pro maximální rozvoj rodu *Microcystis* v rozmezí $17,5 - 26 \text{ }^\circ\text{C}$, u druhého z autorů je to $19 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$, což je u mnou zkoumaných kmenů spodní hranice pro jejich masivní. Pro rody *Anabaena* a *Aphanizomenon* tento autor uvádí vhodnou teplotu $15 - 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Tento údaj je též nižší, než jaké jsem zjistila v pokusu. U mnou zkoumaných kmenů bylo rozpětí průměrně od $20 \text{ }^\circ\text{C}$ do průměrně $27 \text{ }^\circ\text{C}$.

YAMAMOTO a NAKAHARA (2005) provedli v Kyotu pokus s druhem *Aphanizomenon flos-aquae* za podobných laboratorních podmínek, jako jsem používala já. Vzorokly pro pokus odebírali z nebeského rybníčku na půdě univerzity od května 2002 do dubna 2003. Vědci zjistili, že při teplotě pod $11 \text{ }^\circ\text{C}$ se vlákna rozpadají a podmínky jsou nevhodné pro růst *Aph. flos-aquae*. „Vrstevnicové grafy“ v Příloze, které jsem vytvořila, ukazují, že množství chlorofylu *a* v je v oblasti kolem $11 \text{ }^\circ\text{C}$ asi $50 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, což potvrzuje, že jsou zde méně vhodné podmínky pro růst druhu. U kmene *Aphanizomenon* cf. *yezoense* (06-03) je tolerance k teplotě kolem $11 \text{ }^\circ\text{C}$ vyšší.

Vědci dále zjistili, že specifická růstová rychlost roste postupně s rostoucí teplotou v rozpětí $14 - 32 \text{ }^\circ\text{C}$. Při svém pokusu jsem zjistila, že oba testované kmeny rodu *Aphanizomenon* také nejlépe prosperují při teplotách, které jsou v tomto rozpětí. V testech délky světla a ozáření zjistili vědci značnou redukci růstové rychlosti *Aaph. flos-aquae* při ozáření $14,9 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ při poměru 14:10 i 12:12 (světlo/tma), přičemž růst byl relativně vysoký v rozpětí ozáření $55,3 - 199 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Mé výsledky říkají, že optimální ozáření pro růst obou zkoumaných kmenů *Aphanizomenon* jsou vyšší – od $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Výsledky, které jsem získala při pokusu ukazují, že druhy rodu *Aphanizomenon* nemají příliš rozličnou tepelnou valenci. *Aphanizomenon flos-aquae* (06-04) vyhovovaly teploty od

19 do 28 °C. O'FLAHERTY a PHYNNEY (1970) in ANAGNOSTIDIS a kol. (1988) při pozorování druhu *Aphanizomenon flos-aquae* z oregonského jezera také zjistili jeho schopnost tolerovat široké rozpětí teplot. *Aphanizomenon* cf. *yezoense* prosperoval od 21 do 25 °C. ANAGNOSTIDIS a kol. (1988) ve své práci cituje několik autorů, kteří uvádějí jako optimální teplotu pro růst *Aphanizomenon gracile* 25 °C (FOY a kol., 1976) *Aph. flos-aquae* 20 °C (FOY a kol., 1976; UEHLINGER, 1981 b). Tyto optimální teploty jsou o něco nižší, než optimum, které jsem zjistila v pokusu u kmenů rodu *Aphanizomenon* (06-03 a 06-04). ANAGNOSTIDIS a kol. (1988) studovali zástupce rodu *Aphanizomenon* z oligotrofního jezera v Řecku, který zde tvořil mezi lety 1985 a 1986 dominantu planktonních sinic. Objevili několik druhů podobných *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) RALFS ex BORN et FLAH a *Aph. gracile* LEMM, proto celý vzorek nazvali jednotně *Aphanizomenon* sp. z jezera Trichnis. Zjistili, že největší koncentrace biomasy se tvoří při teplotě 13 – 17 °C. Toto teplotní optimum je značně nízké, když bereme v úvahu, že bylo naměřeno v Řecku. Dle ostatních uváděných zdrojů i dle mých výsledků se nachází pod spodní hranici pro masový růst druhu.

PECHAR (1992) provedl studii ekologie druhu *Aphanizomenon flos-aquae* na některých rybnících Třeboňska. Výskyt druhu *Aph. flos-aquae* zaznamenal, když teploty vody přesáhly 20 °C. Stejnou optimální teplotu zjistil také v kulturách. Uvádí také výsledky studií jiných autorů získané v přírodě i z kultur u druhů *Aphanizomenon flos-aquae* několik variet a *Anabaena* sp. Teploty, při kterých byl pozorován *Aphanizomenon flos-aquae* v přírodě se pohybují od 6 °C (BACKER, 1981 in PECHAR, 1992) do 30 °C (HETEŠA a LOSOS, 1962 in PECHAR, 1992). Teplotní optima z kultur se pohybují od 20 °C (FOY a kol., 1976 in PECHAR, 1992) do 28 °C (UEHLINGER, 1981 b in PECHAR, 1992) Mé výsledky pro výskyt druhu se kryjí s výsledky popsány z kultur, nebyl také pozorován růst v teplotách nižších než 19 °C. To také potvrzuje teplomilnost rodu *Aphanizomenon* (ILLEK, 2006).

U zástupce *Anabaena* sp. naměřil SIRENKO (1972) in PECHAR (1992) rozpětí vhodných teplot pro růst druhu v přírodě 14 – 16 °C. U obou zkoumaných kmenů (06-01 a 06-02) rodu *Anabaena* jsem v kultuře naměřila vyšší vyhovující teploty. Uvedené optimum pro *Anabaena* sp. se v porovnání s mými výsledky nachází na spodní hranici pro výskyt obu kmenů 06-01 a 06-02.

6. ZÁVĚR

Lidskou činností se mění jakost vody, hydrologický režim, fyzická struktura vodních ekosystémů a v důsledku všech těchto změn i složení biocenóz osidlujících volnou vodu a dno. Tyto změny jsou způsobeny vnosy látek z různých zdrojů, nezřídka se zastoupením specificky působících látek, které se v přírodě nevyskytují, nebo například tepelným znečištěním (HINDÁK a kol. 1978). V důsledku změn vlastností vodního ekosystému se mění i jeho obyvatelé. Je narušena rovnováha v zastoupení druhů a snáze potom převládne několik dobře přizpůsobivých taxonů. Mezi ně patří například planktonní sinice.

Nejvýznamnějším faktorem umožňujícím masový rozvoj vodních květů je obohacování vodního prostředí živinami. Zastavit tento zvyšující se trend jak z bodových, tak z plošných zdrojů je aktuálním úkolem stanoveným např. ve směrnici EU pro vodní politiku (2000/60/EC) (PECHAR, 2006). Problém ovšem nastává také v případě, že zdroj živin, převážně fosforu, je přírodní – horniny a půda, například u Máchova jezera. Zde je nutno zvážit, zda bude stačit eliminovat pouze antropogenní zdroj. Technologie řešící vymývání živin z podloží se teprve vyvíjejí.

Studiu podmínek rozvoje planktonních sinic je sice celosvětově věnována velká pozornost, ale různí autoři se rozcházejí ve výsledcích svých studií. To je způsobeno různými podmínkami (klimatickými, hydrologickými a biologickými a predačními tlaky) na konkrétních místech. Nástup a rozvoj populací je výslednicí souhry řady specifických faktorů, kterou lze obtížně analyzovat. Proto je nutno mít pro konkrétní lokality k dispozici vlastní údaje (MARŠÁLEK, 1996). Tato diplomová práce rozšiřuje repertoár již známých údajů o jedněch z nejdůležitějších faktorů pro rozvoj sinic – o optimální teplotě a světle. Ještě významnější je fakt, že testované kmeny pocházejí přímo z naší republiky, protože většina ostatních pokusů byla provedena ve světě s tamními druhy.

Z výsledků je patrné, že různé kmeny rodu *Anabaena* a *Microcystis* jsou ve svých světelných nárocích odlišné, hlavně v toleranci k vyšším hodnotám je velký rozdíl. U rodu *Microcystis* jsou jeho světelné nároky zřejmě ovlivněné i životní formou (*Coelosphaerium x viridis*). U rodu *Aphanizomenon* je velký rozdíl jen u maximálního osvětlení pro masivní rozvoj. Tepelné nároky se u kmenů rodu *Anabaena* se mírně liší v minimálních teplotách pro masivní rozvoj. U kmenů rodu *Aphanizomenon* se maximální a minimální hodnoty liší, což by mohlo být způsobeno velikostí tvořených snopečků – *Aph. yezoense* má menší rozpadavé

snopečky, *Aph. flos-aquae* větší velmi kompaktní. Kmeny rodu *Microcystis* se liší v maximálních hodnotách zřejmě díky životní formě.

Mé výsledky tepelných i světelných optim se shodují s výsledky z literatury zhruba v polovině případů. U některých autorů však není testovaný zástupce sinic určen do druhu, porovnání výsledků je tedy hůře srovnatelné.

Zjištěné maximální, minimální a optimální teploty pro masivní růst sinic se většinou výrazně neliší od teplot uváděných v literatuře. U autorů SIRENKO (1972) in PECHAR (1992) se zástupcem rodu *Anabaena* sp. a u ANAGNOSTIDIS a kol. (1988) se zástupci rodu *Aphanizomenon* se jimi zjištěné tepelné optimum v porovnání s mými výsledky nacházejí na spodní hranici pro rozvoj druhu. Zjištěné hodnoty osvětlení pro masivní růst sinic se od citované literatury většinou liší značně, hlavně maximální hodnoty ozáření se různí.

Testované kmeny a jejich zjištěná optima pro růst jsou zařazeny v databázi kmenů sinic v planktonní sbírce na HBÚ, která bude postupně nabídnuta a zpřístupněna odborné veřejnosti. Projekt, kterého je tato diplomová práce součástí, přinese důležitá data týkající se ekologických požadavků dominant sinic a řas, tvořících vodní květ a jejich vzájemné kompetiční vztahy. Tyto poznatky nám umožní předpovídat rozvoj jednotlivých typů vodních květů (sinicových, zelených řas) a získané znalosti umožní regulovat pomocí biomanipulací rozvoje nebezpečných toxických sinic v nádržích na pitnou vodu i v nádržích používaných pro rekreační účely.

Jako vhodné prostředky pro regulaci sinicových vodních květů bych na prvním místě označila limitaci antropogenních vlivů, tj. zlepšení agrotechniky na orné půdě, aby nedocházelo k vyplavování živin z půdy a zlepšování technologií čištění odpadních vod v čistírnách, které odstraní fosfor z čištěné vody. Na dalším místě bych uvedla uvážlivé a citlivé odstraňování sedimentů z rybníků i vodních nádrží. Ve fázi výzkumu je zatím řešení problému, jak k tomuto účelu levně a efektivně používat různých mikroorganismů: bakterií, plísní, mikromycet, virů a drobných cyanofágů. S tímto způsobem limitace sinic jsou bohužel spojeny také otázky doby trvání účinku použitého mikroorganismu, biologické a jiné související problémy. V rešerši se zmiňují také o některých dalších způsobech regulace vodního květu sinic, jež jsou zatím ve stadiu vývoje.

7. Summary

České

Práce je zaměřena na sinicové vodní květy. Pojednává o složení vodních květů v České republice, o příčinách vzniku, důsledcích života a zániku vodního květu a o možnostech jak jej limitovat. Také obsahuje kapitolu o vlastnostech sinic, které je zvýhodňují vůči jiným organismům v planktonu i vůči jiným sinicím. Je zde také obecný popis rybníků a vodárenských nádrží a popis lokalit (rybníky Svět a Rod, nádrž Římov – Jihočeský kraj), odkud pocházely druhy testované v provedeném pokusu.

Pokus měl za úkol zjistit optimální teploty a ozáření pro růst sedmi kmenů sinic a jednoho druhu zelené řasy. Byl proveden metodou zkřížených gradientů teploty a světla (KVÍDEROVÁ a LUKAVSKÝ, 2001). Získaná data o růstu jednotlivých kmenů v různých kombinacích teploty a intenzity světla byla vyhodnocena v programu Statistika (ANONIMUS, 1996). Valence každého kmene má své maximální a minimální hodnoty, v jejich středu se nachází optimum pro růst. Grafy zobrazující valence a optimum kmenů pro teplotu a světlo byly vytvořeny v programu Microsoft Excel. Podrobnosti mezi teplotními a světelnými nároky jednotlivých kmenů byly testovány PCA metodou v programu CANOCO 4.5 a CANODRAW (TER BRAAK a ŠMILAUER, 1998). Výsledkem jsou konkrétní hodnoty srovnatelné s podobnými laboratorními výsledky.

Vyhodnocení pokusu: Nejvyšší optimální teplotu měl kmen *Microcystis wesenbergii* forma „*Coelospherium*“ - 33,2 °C. Nejnižší měla *Anabaena cf. mendotae* - 22,5 °C. Nejširší amplitudu, tedy i největší přizpůsobivost pro teplotu měla *Microcystis wesenbergii* forma „*Coelospheriu*“ - 13,5 °C. Druhou největší valenci měla jediná v tomto pokusu použitá zelená řasa *Staurastrum planctonicum* – tolerovala rozpětí 13 °C. Nejužší valenci měl *Aphanizomenon cf. yezoense* - 4 °C.

Nejvyšší optimum světla měl kmen *Anabaena planctonica* - 540 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejnižší *Anabaena cf. mendotae* – 160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejširší ekologickou valenci pro světlo měl kmen *Anabaena planctonica* – toleruje rozpětí více než 720 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejužší měl *Aphanizomenon cf. yezoense* - 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Zjištěné výsledky jsem porovnávala s literaturou. Mnou zjištěné optimální teploty se výrazně neliší od závěrů z jiných výzkumů. O toleranci ke světlu jsem nenašla dost podkladů.

Klíčová slova: sinicový vodní květ, růstové závislosti, světlo, teplota, rybníky, nádrže, Česká republika

English

This thesis is aimed on cyanobacterial water blooms. It deals with the composition of cyanobacterial water blooms, factors which cause its emergence, effect it has on environment, termination of cyanobacterial bloom and ways of how to restrict it.

My thesis contains the chapter devoted to the cyanobacterial bloom characteristic which gives them advantage over other organisms in plankton and over other cyanobacteria as well.

It also contains general description of fishponds and reservoirs and locality description (fishpond Svět and Rod, water reservoir Římov, Jihočeský kraj), which were the sources of species tested in this experiment.

The aim of the experiment was to find out the optimal temperatures and light for the growth of seven strains of cyanobacteria and one species of green alga. The experiment was conducted by cross-table gradient of temperature and light method (KVIDEROVÁ a LUKAVSKÝ, 2001).

Data of the strains growth in different combinations of temperature and light intensity was processed in program Statistika (ANONIMUS, 1996). Valence of each strain has its maximum and minimum values. In their mean, there is an optimum for the growth. Charts depicting maximal-minimal values and optimum of strains for temperature and light were created in Microsoft Excel. Details between temperature and light demand of strains were tested by PCA analysis in program CANOCO 4.5 and visualised by CANODRAW (TER BRAAK a ŠMILAUER, 1998). It resulted in particular values, which are comparable with similar laboratory tests.

Test results:

The highest optimal temperature had *Microcystis wesenbergii* strain, form „*Coelospherium*“ - 33,2 °C. Lowest had *Anabaena cf. mendotae* - 22,5 °C. The widest range of temperature, thus the highest temperature adaptability had *Microcystis wesenbergii* form

„*Coelospherium*“ - 13,5 °C. The second highest valence had one and only green algae used in this test *Staurastrum planctonicum* – it tolerated range of 13 °C. The narrowest valence had *Aphanizomenon cf. yezoense* only 4 °C.

The highest optimum of light had *Anabaena planctonica* - 540 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. The lowest had *Anabaena cf. mendotae* – 160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. The widest ecological valence for light had *Anabaena planctonica* strain – it tolerated range of more than 720 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. The narrowest had *Aphanizomenon cf. yezoense* - 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Key words: cyanobacterial water blooms, growth demands, light, temperature, fish ponds, reservoirs, Czech Republic

8. POUŽITÁ LITERATURA

ADÁMEK, Z. (2006): ústní sdělení

ANAGNOSTIDIS, K., ECONOMOU-AMILLI, A., TAFAS, T. (1988): *Aphanizomenon* sp. from Lake Trichonis, Hellas (Greece) – A taxonomic consideration in relation to morphological and ecological parameters. *Algological Studies* 50-53: 529-543.

ANONYMOUS (1996): *Statistica for Windows* [Computer program manual]. – Statsoft, Tulsa, OK.

Bible - Starý zákon

CANTER, H. M., HEANEY, S. I., LUND, J. W. G. (1990): The ecological significance of grazing on planktonic populations of cyanobacteria by the ciliate *Nassula*. *New Phytologist* 114: 247 – 263.

COOK, W. L., AHEARN, D. G., REINHARDT, D. J., REIBER, R. J. (1974): Blooms of an algophorous amoeba associated with *Anabaena* in a freshwater lake. *Water, Air and Soil Pollution* 3(1): 71 - 80

DOKULIL, M. T., TEUBNER, K. (2000): Cyanobacterial dominance in lakes, *Hydrobiologia*, 483, 1 – 12.

DEMOTT, W., MOXTER, F. (1991): Foraging on cyanobacteria by copepods: response to chemical defense and resource abundance. *Ekology* 72 (5): 1820 – 1834.

DE NOBEL (PIM), W. T., HUISMAN, J., SNOEP, J. L., MUR, L. R. (197): Competition for phosphorus between the nitrogen-fixing cyanobacteria *Anabaena* and *Aphanizomenon*, *FEMS Microbiology Ecology*, 24:259 – 267.

DRAFT, M. J., STEWART. W. D. P. (1971): Bacterial pathogens of freshwater blue-green algae. *New Phytologist* 70 (5): 819 - 829

GERGEL, J. (2007): ústní sdělení

GUILLARD R. R. L. & LORENZEN, C.J., 1972 – Yellow-green algae with chlorophyllide c. *Journal of Phycology* 8: 10 - 14.

HINDÁK, F. a kol. (1978): *Sladkovodné riasy*, Bratislava, Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 728 p.

- HULE, M. (2000): Rybníkářství na Třeboňsku - historický průvodce, Třeboň, Carpio, 250 p.
- HULE, M. (2005): Průvodce po rybnících, památkách a hospůdkách Třeboňska, Třeboň, Carpio Třeboň, 165 p.
- ILLEK, P. (2003): Změny množství a složení fytoplanktonu v podélném profilu nádrže Jordán, Bakalářská práce BF JU, České Budějovice, 23 p.
- ILLEK, P. (2006): Analýza variability biomasy a druhového složení fytoplanktonu v nádrži Řimov, Magisterská práce BF JU, České Budějovice, 38 p.
- JANDA, J., PECHAR, L. a kol. (1996): Význam rybníků pro krajinu střední Evropy : Trvalé udržitelné využívání rybníků v Chráněné krajinné oblasti a biosférické rezervaci Třeboňsko, České koordináční středisko IUCN, Praha, 189 p.
- KRATOCHVIL, S. (1961): Vodní nádrže a přehrady, Praha, Nakladatelství Československé Akademie věd, 954 p.
- KVÍDEROVÁ, J., LUKAVSKÝ, J. (2001): A new unit for crossed gradients of temperature and light. – Nova Hedwigia, Beiheft 123: 541 - 550.
- LI, R., WATANABE, M., WATANABE, M., M. (1997): Akinete formation in planktonic *Anabaena* spp. (Cyanobacteria) by treatment with low temperature. - Journal of Phycology, 33: 576 – 584.
- LUKAVSKÝ, J., KUBŮ, F., STRUSKOVÁ, H. (2003): Rybník Svět (Zpráva za r. 2003) [online] [cit. 15.8.2008] www.mesto-trebon.cz/Docs/ODokumenty/Rybnik_Svet_zprava_03.pdf
- MARŠÁLEK, B., KERŠNER, V., MARVAN, P. (1996): Vodní květy sinic, Brno, Nadatio flos-aquae, 142 p.
- Městský úřad Soběslav, odbor životního prostředí (2008), ústní sdělení.
- PATERSON, R. A. (1960): Infestation of chytridiaceous fungi on phytoplankton in relation to certain environmental factors. Ecology 41 (3): 461 – 424.
- PECHAR, L. (1992): Water blooms of *Aphanizomenon flos-aquae* An ecological study of fish pond populations. Archive für Hydrobiology 3: 339-418.
- PECHAR, L. (2006): Procesy eutrofizace mělkých vod, Habilitační práce, ZF JČU, České Budějovice, 44 p.
- POTUŽÁK, J. (2004): Zooplankton hypertrofních rybníků, Diplomová práce, ZF JČU, České Budějovice, 69 p.

RAJCHARD, J. (2005): ústní sdělení

SAKER, M. L. and NEILAN, B. A. (2001): Varied Diazotrophies, Morphologies, and Toxicities of Genetically Similar Isolates of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanophyceae) from Northern Australia, *Applied and Environmental Microbiology*, 67 (4): 1839 - 1845 p.

ŠEJNOHOVÁ, L., Maršálek, B., Drábková, M. (2004): Autekologie rodu *Microcystis* – literární přehled. – In: Sborník Czynobakterie - biologie, toxikologie a možnosti nápravných opatření. (Eds.: Maršálek, B., Halousková, O.), Brno, 13 – 23 p.

ŠMILAUER, P., 1992 – CANODRAW users guide v. 3.0. Microcomputer Power, Ithaca, New York.

TER BRAAK, C. J. F. & ŠMILAUER, P., 1998 – CANOCO reference manual. Microcomputer Power, Ithaca, New York.

VÁŇOVÁ, H. (1992): Svět vědy a techniky I, Bratislava, Vydavateľstvo Slovart, 167 p.

VÍT, M. (1998): Diverzita fytoplanktonu a sezónní dynamika fosforu, dusíku a uhlíku na obhospodařovaných rybnících Třeboňska a Českobudějovicka, Magisterská práce, BF JČU, České Budějovice, 33 p.

WALLACE, B. B.; HAMILTON, D. P. (1999): The effect of variations in irradiance on buoyancy regulation in *Microcystis aeruginosa*, *Limnology and Oceanography* 44(2): 273 – 281

www.bvk.cz/page.jsp?lang=cz&firstLevel=29&secondLevel=43&thirdLevel=44
[cit. 1.12.2007]

www.eko-net.cir.cz/novela-narizeni-vlady-c-61-2003-sb-ucinna-od-1-10-2007-ochrana-vod
[cit. 18.9.2008]

www.nesehnuti.cz/cz/stezka/tabule/tab_6.html [cit. 2.12.2007]

www.povodiohre.cz/aktuality/files/Vliv_raselinist_na_kvalitu_surove_vody.pdf
[cit. 21.9.2008]

www.pvl.cz/vodni_dila/vodni_dila_a_nadrze/seznam_vybranych_nadrzi_ve_sprave_zavodu_horni_vltava/vd_rimov.html?lang=cs [cit. 8.9.2008]

www.rozhlas.cz/deti/kultura/_zprava/376502 [cit. 1.12.2007]

www.rozhlas.cz/cro6/internet/_zprava/54755 [cit. 1.12.2007]

www.trebonsko.cz/top-menu [cit. 3.12.2007]

www.trebonsko.ochranaprirody.cz/index.php?cmd=page&id=1572 [cit. 3.12.2007]

www.trebonsko.ochranaprirody.cz/index.php?cmd=page&id=1459 [cit. 18.8. 2008]

www.vurh.jcu.cz/studium/akvaristika/pdf/K_poskozeni_a_otravy.pdf

YAMAMOTO, Y., NAKAHARA, H. (2005): The formation and degradation of cyanoacterium *Aphanizomenon flos-aquae* blooms? the importanceo of pH, water temperature, and day length. *Limnology* 6: 1-6.

ZAPOMĚLOVÁ, E. (2004): Morfologická variabilita a růst vybraných kmenů sinic rodů *Anabaena* a *Aphanizomenon* v závislosti na podmínkách prostředí, Magisterská práce BF JU, České Budějovice, 57 p.

ZAPOMĚLOVÁ, E. (2006): Ekologie planktonních sinic rodu *Anabaena* – literární přehled. In: Maršálek, B., Feldmannová, M., Maršálková, E. (eds): Sborník konference, Brno, 13 – 21 p.

ZNACHOR, P. (2005): Dokážeme vyhrát bitvu se sinicemi? [online] [cit. 5.12.2007]
www.21stoleti.cz/view.php?cislocclanku=2005062224

ZNACHOR, P. (2005): Skutečnost a mýty o sinicích a vodním květu [online] [cit. 13.7.2008]
www.akvarium.cz/1899/pages/text/recent/dalsi/sinice/sinice.htm

ZNACHOR, P., JURCZAK, T., KOMÁRKOVÁ, J., JEZBEROVÁ, J., MANKIEWICZ, J., KAŠTOVSKÁ, K., ZAPOMĚLOVÁ, E. (2006): Summer Changes in Cyanobacterial Bloom Composition and Microcystin Concentration in Eutrophic Czech Reservoirs, *Environ Toxicol* 21, 236 – 243 p.

PŘÍLOHA

sloučenina	koncentrace [mg.l ⁻¹]
CaCl ₂ .2H ₂ O	36,80
MgSO ₄ .7H ₂ O	37,00
NaNO ₃	42,50
K ₂ HPO ₄ .3H ₂ O	5,70
NaHCO ₃	12,60
Na ₂ EDTA	4,36
FeCl ₃ .6H ₂ O	3,15
ZnSO ₄ .7H ₂ O	22.10 ⁻³
H ₃ BO ₃	1,00
MnCl ₂ .4H ₂ O	0,18
Na ₂ MoO ₄ .4H ₂ O	6.10 ⁻³
Na ₂ SiO ₃ .5H ₂ O	21,20
CoCl ₂ .6H ₂ O	0,01
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,01
<u>vitamíny:</u>	
thiamin (B1)	0,10
biotin (H)	5.10 ⁻⁴
cyanokobalamin (B12)	5.10 ⁻⁴
<u>puf:</u>	
TES	0,115

Tab. 2: Chemické složení kultivačního média WC (modifikované Woods Hole MBL medium, GUILLARD & LORENZEN, 1972).

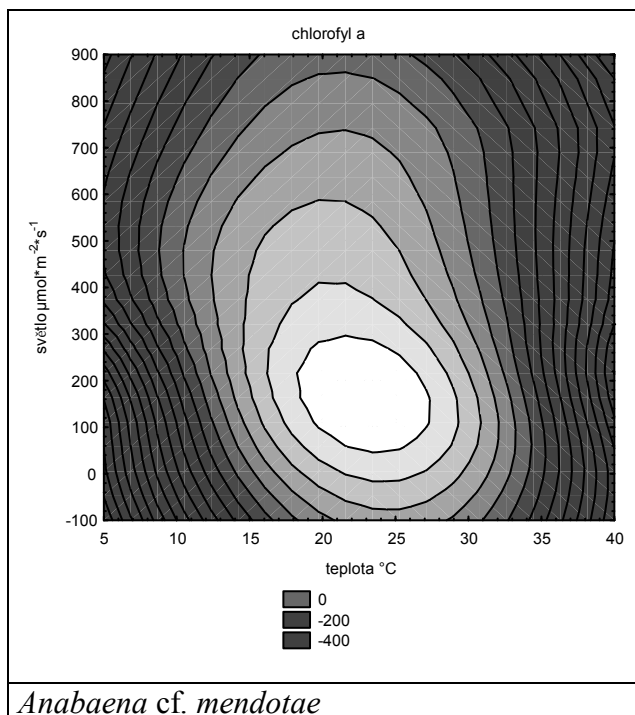
Médium bylo používáno během pokusů na gradientovém stole i při běžných kultivacích kmenů.

název kmene	lokality původu	datum sběru	poznámka	čísla kmenů
<i>Anabaena cf. mendotae</i>	Svět	25.5.2006		06-01
<i>Anabaena planctonica</i> Brunnth. 1903	Rod	10.5.2006		06-02
<i>Aphanizomenon cf. yezoense</i>	Svět	28.5.2006	vložky malé	06-03
<i>Aphanizomenon flos-aque</i> (L.) Ralfs. 1888	Rod	10.5.2006	vložky velké	06-04
<i>Microcystis ichthyoblabe</i> Kütz. 1843	Rod	10.5.2006		06-05
<i>Microcystis wesenbergii</i> (Kom) Kom. in Kondr. 1968	Svět	25.5.2006	forma "Viridis"	06-06
<i>Microcystis wesenbergii</i> (Kom) Kom. in Kondr. 1968	Svět	25.5.2006	forma „ <i>Coelospherium</i> “	06-07
<i>Staurastrum planctonicum</i> Teil.	Římov	27.5.2006		06-08

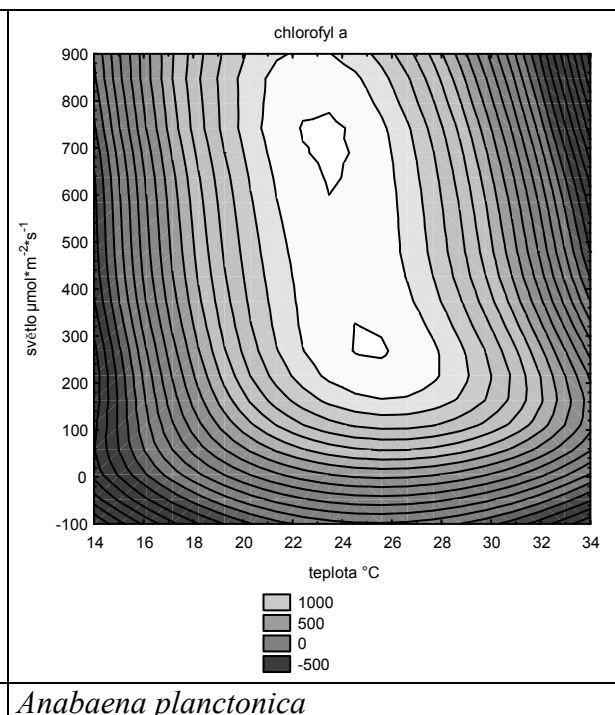
Tab 3: Průvodní informace ke zkoumaným kmenům. Názvy jednoznačně určených kmenů jsou uváděny s jménem autora, který daný druh popsal.

název kmene	teploty °C			světlo $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$		
	min.	optim.	max.	min.	optim.	max.
<i>Anabaena cf. mendotae</i>	18	22,5	27	40	160	280
<i>Anabaena planctonica</i>	21	24,5	28	180	540	900
<i>Aphanizomenon cf. yezoense</i>	21	23	25	200	250	300
<i>Aphanizomenon flos-aque</i>	19	24,5	28	200	350	500
<i>Microcystis ichthyoblabe</i>	24	29,5	35	130	255	380
<i>Microcystis wesenbergii</i> "VIR"	25	28	31	140	200	260
<i>Microcystis wesenbergii</i> „Coel.“	26,5	33,2	40	260	380	500
<i>Staurastrum planctonicum</i> .	21	27,5	34	100	310	520

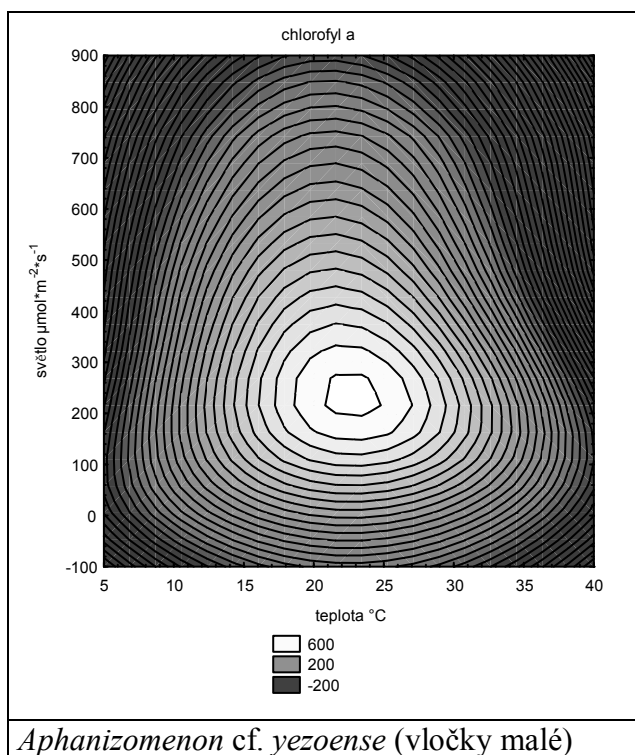
Tab. 4: Souhrnná tabulka výsledků testů vlivu teploty a světla na růst sledovaných kmenů.



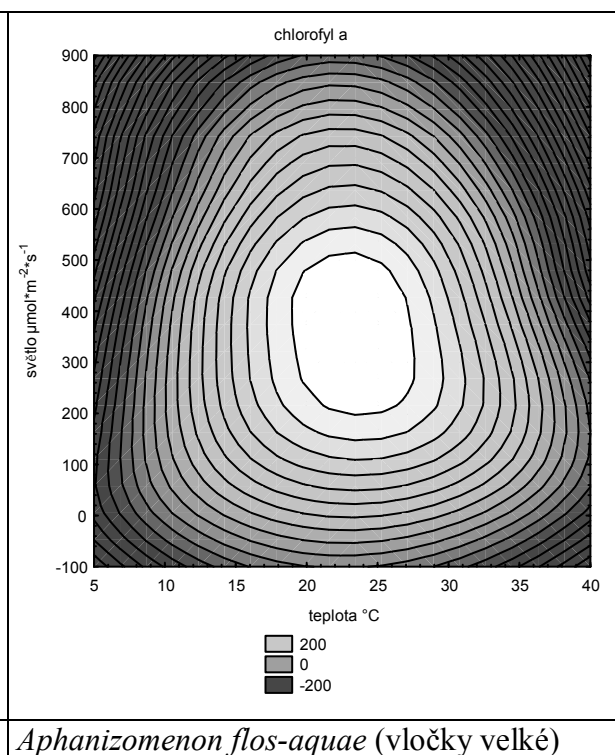
Anabaena cf. mendotae



Anabaena planctonica

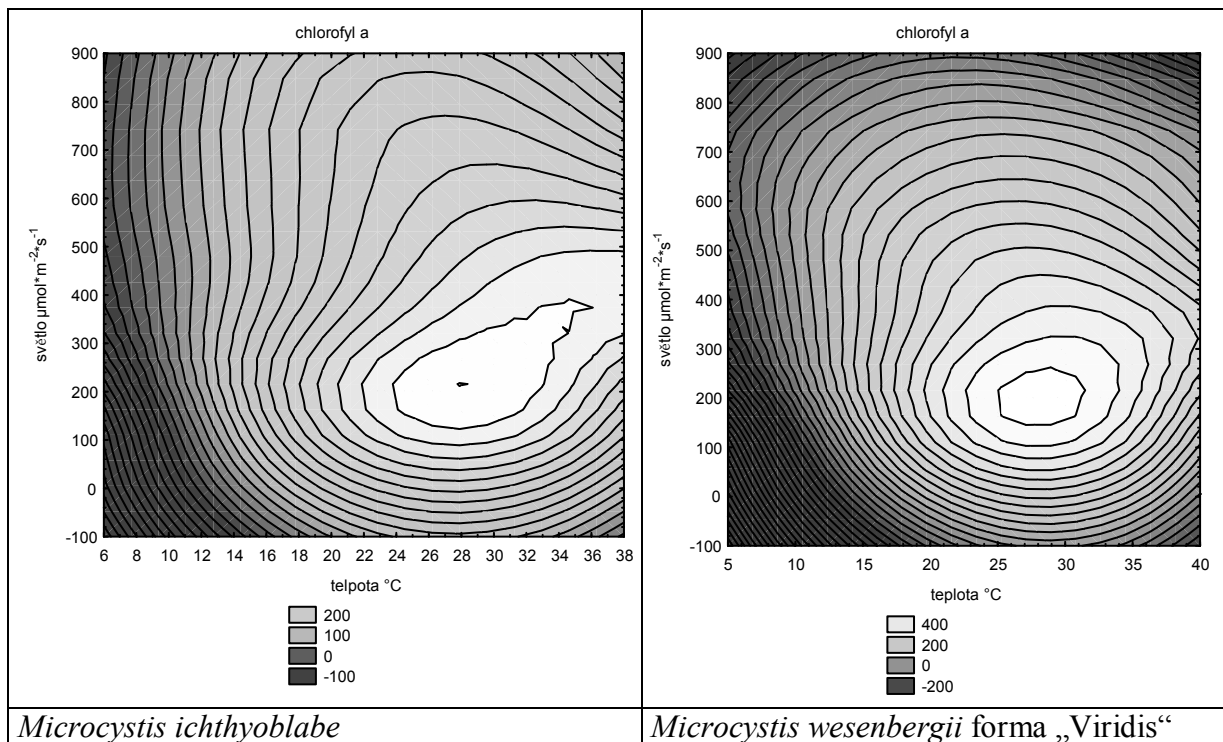


Aphanizomenon cf. yezoense (vločky malé)



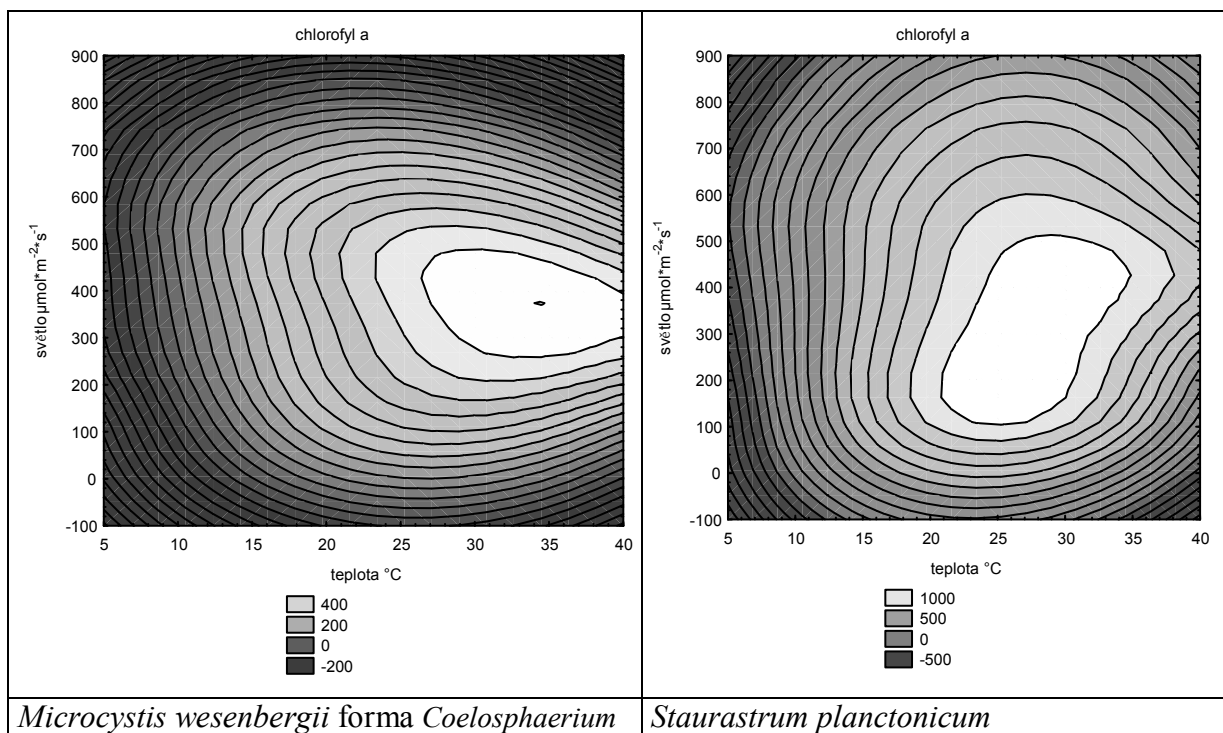
Aphanizomenon flos-aquae (vločky velké)

Obr. 6. „Vrstevnicové grafy“



Microcystis ichthyoblabe

Microcystis wesenbergii forma „Viridis“



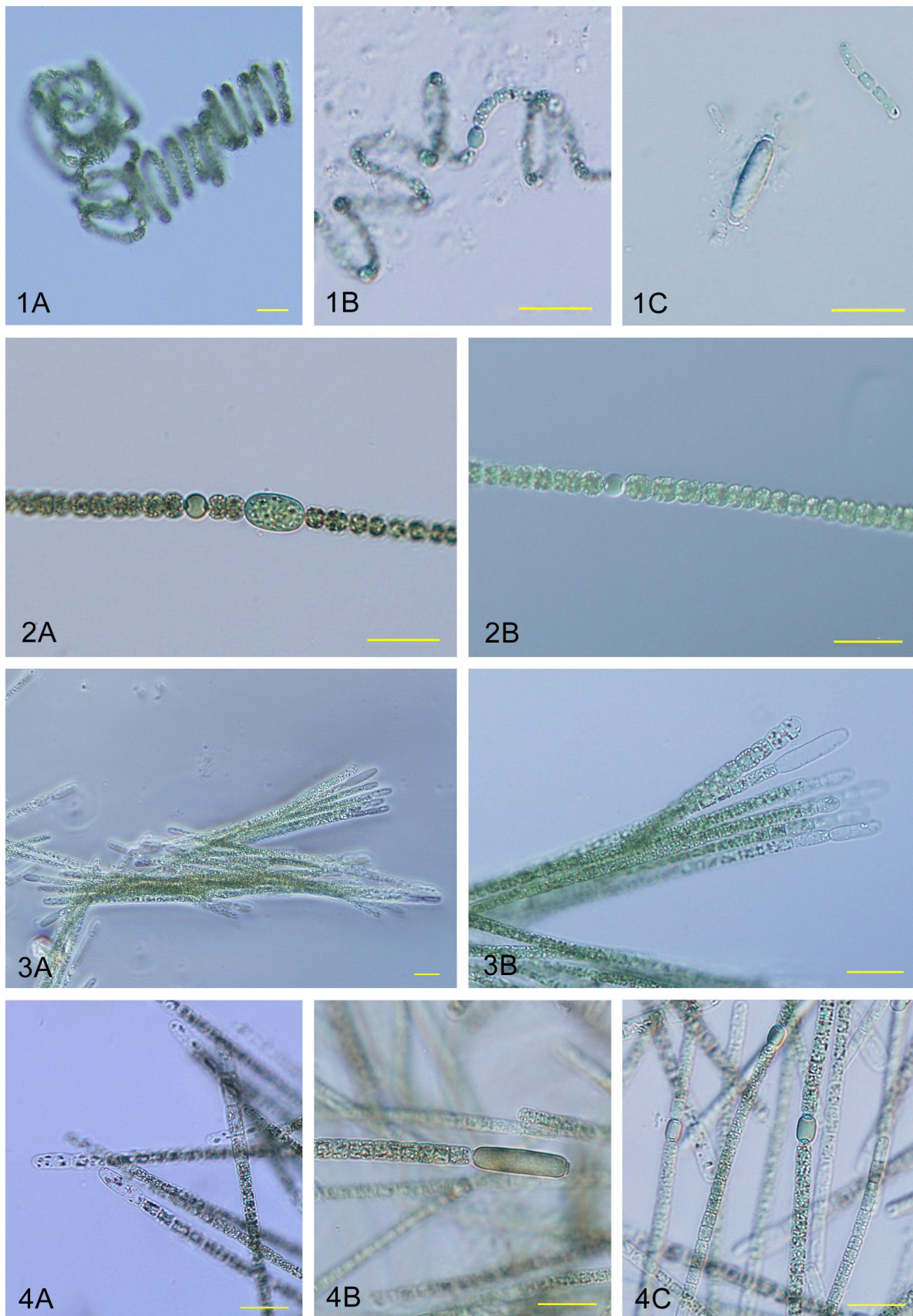
Microcystis wesenbergii forma *Coelosphaerium*

Staurastrum planctonicum

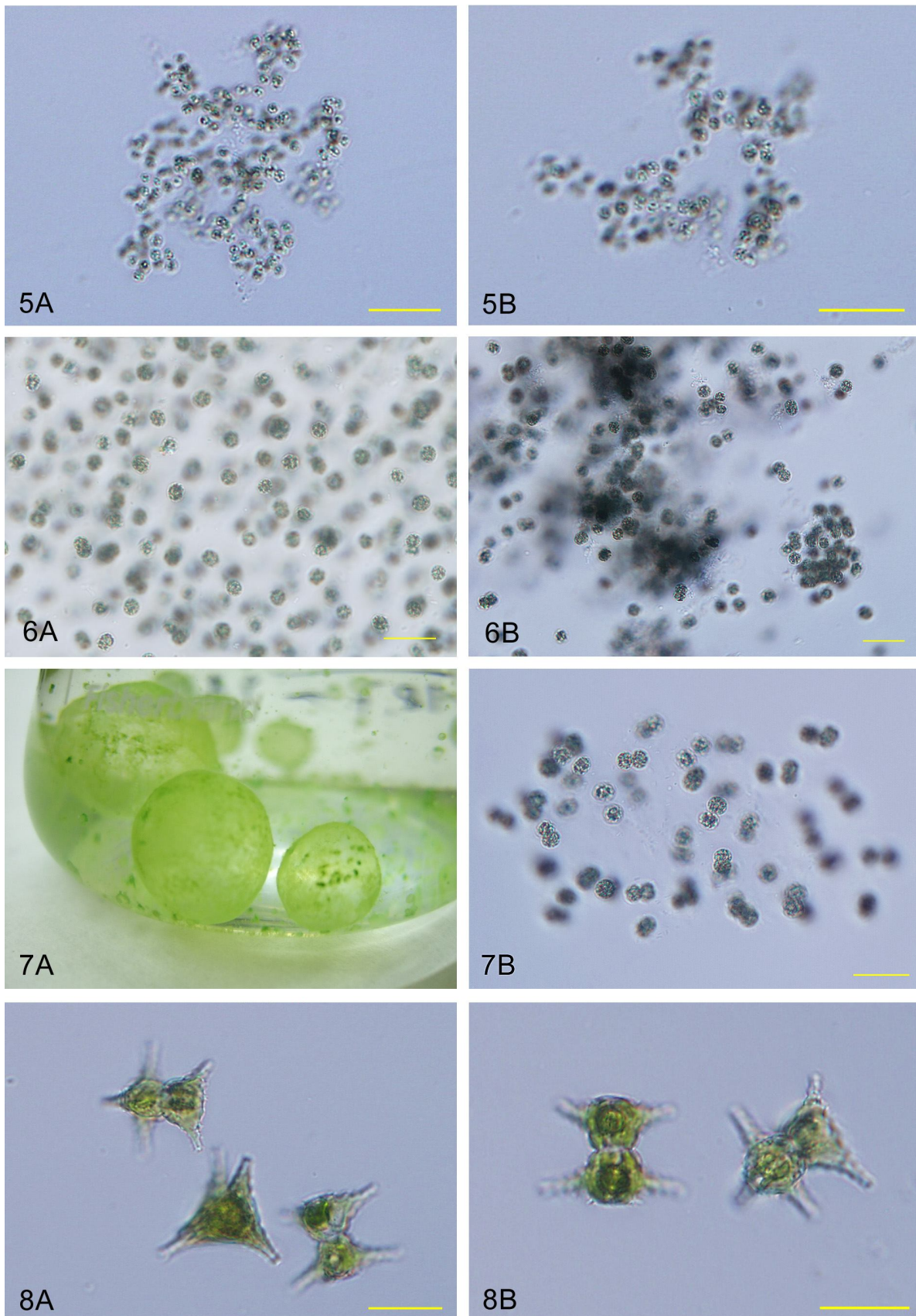
Obr. 7: „Vrstevnicové grafy“ zobrazují koncentraci chlorofylu *a* v různých kombinacích teploty a světla.

Stínováním je odstupňováno množství chlorofylu *a* v $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Nejtmaší části grafu zachycují záporné hodnoty v množství chlorofylu *a*, od nulového množství se barvy zesvětlují do středu, který zobrazuje největší množství chlorofylu *a*.

Tabule mikrofotografií



Mikrofotografie 1 - *Anabaena* cf. *mendotae* A) vlákno, B) vlákno s heterocytem, C) akineta. 2 - *Anabaena planctonica* A) vlákno s akinetou a heterocytem, B) vlákno s heterocytem. 3 - *Aphanizomenon* cf. *yezoense* A) snopečky vláken, B) koncové buňky. 4 - *Aphanizomenon flos-aque* A) koncové buňky, B) akineta, C) heterocyt.



Mikrofotografie 5 – A), B) *Microcystis ichthyoblabe* typické nepravidelné kolonie. 6 - *Microcystis wesenbergii* forma „Viridis“ A) buňky, B) dílčí balíčkovité kolonie z velké kolonie. 7 - *Microcystis wesenbergii* forma „Coelosphaerium.“ A) makroskopické kulovité kolonie v Erlenmayerově baňce, B) kolonie během kultivace. 8 – A), B) *Staurastrum planctonicum*.

Velikost měřítka je u všech mikrofotografií 10,0 μm .