

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

**Biologická fakulta**

Katedra botaniky



Bakalářská práce

**Marek Stibal**

**Řasová společenstva sněhu:  
Jejich ekofyziologické nároky  
&  
životní cykly**

Vedoucí práce: **Prof. RNDr. Jiří Komárek, DrSc.**

Konzultant: **Ing. Josef Elster, CSc.**

České Budějovice 2001

Bakalářská diplomová práce

STIBAL M., 2001:Řasová společenstva sněhu: Jejich ekofyziologické nároky a životní cykly. [Algal communities of snow: Their ecophysiological demands and life cycles. Bc.Thesis, in Czech.] Faculty of Biological Sciences, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

**Anotace:** Algal communities of snow represent an interesting example of organisms living in extreme conditions. The aim of this thesis was to study ecophysiological demands and adaptations of algae from snow observing them in natural environment, culturing them and testing them at crossed gradients of temperature and light.

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, jen s použitím uvedené literatury.

V Českých Budějovicích, dne 31.12.2001



*Poděkování*

patří všem, kdo si je zaslouží. Díky.

A my, jenom diváci, všude a napořád,  
ohledy ke všemu, nikdy však pohled ven!  
Cosi v nás kypí, vře. A tak to třídíme. Cosi se  
rozpadá, třídíme to dál, až jsme sami rozpad.

*Rainer Maria Rilke: Osmá elegie*

## Obsah

1.	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
1.1	Kryoseston a sněžné řasy	1
1.2	Cíle práce	2
2.	<b>Popis lokalit</b>	<b>3</b>
3.	<b>Materiál &amp; metody</b>	<b>5</b>
3.1	Odběr vzorků	5
3.2	Examinace, izolace, kultivace	5
3.3	Zkřížené gradienty	6
4.	<b>Výsledky</b>	<b>7</b>
4.1	Fyzikální parametry lokalit	7
4.1.1	Labský důl	7
4.1.2	Luční hora	7
4.1.3	Plešné jezero	8
4.2	Seznam nalezených druhů	8
4.3	Kultivace a laboratorní pozorování	11
4.4	Životní cyklus řasy <i>Chloromonas nivalis</i>	12
4.4.1	Pozorování <i>in situ</i>	12
4.4.2	Kultivace & laboratorní pozorování	13
4.5	Teplotní a světelné nároky	16
4.5.1	<i>Xanthonema hormidioides</i>	16
4.5.2	<i>Chlorella cf. vulgaris</i>	17
4.5.3	<i>Stichococcus bacillaris</i>	18
4.5.4	<i>Chloromonas nivalis</i>	20
4.5.5	Srovnání kmenů	21
5.	<b>Diskuse</b>	<b>23</b>
5.1	Životní cykly sněžných řas	23
5.2	Kultivace	24
5.3	Teplotní a světelné nároky	25
6.	<b>Závěr</b>	<b>28</b>
	<b>Literatura</b>	<b>29</b>
	<b>Přílohy</b>	

## 1. Úvod

### 1.1 Kryoseston a sněžné řasy

Kryoseston (název poprvé použil NAUMANN 1931) je společenstvo mikroorganismů žijících v tajícím sněhu nebo ledu; jeho součástí jsou bakterie, sinice, houby a především řasy, které způsobují viditelné zbarvení a kterým se říká sněžné řasy (snow algae). Výskyt kryosestonu, resp. sněžných řas je omezen na permanentní a dlouhodobá (semi-permanentní) sněžová pole nebo ledovce, tedy na vyšší nadmořské výšky a zeměpisné šířky. Vegetační sezónou je období, kdy již nepadá nový sníh a kdy tato pole tají; v horách bývá krátká (v závislosti na nadmořské výšce pozdní jaro až časný podzim), v polárních oblastech může být delší (KOL 1968, HOHAM 1980).

Nejdůležitějšími ekologickými faktory působícími na kryoseston jsou **teplota, ozáření a koncentrace živin**.

Teplota tajícího sněhu se pohybuje kolem 0°C, v závislosti na koncentraci rozpuštěných solí.

Ozáření může především ve vysokých horách dosahovat velmi značné (pro fotosyntetické organismy až inhibiční) intenzity, a navíc obsahuje vysoký podíl UV-B záření, které má mutagenní účinky (THOMAS et DUVAL 1995).

Dalším důležitým ekologickým faktorem je koncentrace živin, která dosahuje velmi nízkých hodnot především v některých antarktických biotopech; v oblastech ovlivněných lidskou činností se naopak může pohybovat kolem hodnot typických pro eutrofní rybník (KOMÁREK et al. 1973, LUKAVSKÝ osob. komunikace).

Vzhledem k těmto životním podmínkám patří řasy sněžových polí k takzvaným extremofilním organismům. Extremofilové jsou organismy, které žijí v podmínkách mimo „normální“ hodnoty, které definovali WALSH et SECKBACH (1999) jako rozmezí teplot 4-40°C, pH 5-8,5 a salinity mezi sladkou a mořskou vodou. Organismům vyskytujícím se pod hranicí 4°C se potom říká **psychrofilní**. Tyto organismy mohou sloužit například jako možná analogie případného mimozemského života (SECKBACH et OREN 2001).

Sněžné řasy se těmto extrémním podmínkám (a jejich velkým výkyvům) přizpůsobují často velmi **složitými životními cykly** (především řasy z třídy Chlamydophyceae – viz HOHAM 1975b, HOHAM et MULLET 1977, 1978, HOHAM et al. 1979, 1983, LING 2001) či přítomností ochranných (většinou karotenoidních) pigmentů (KOL 1968, BIDIGARE et al. 1993). *a sporné údaje mluví Wang Fisher*

Díky své nápadnosti přitahoval kryoseston pozornost již odedávna; první vědecká studie pak pochází z 19. století (WITTRUCK 1883). V České republice resp. Československu byly populace sněžných řas popsány z Krkonoš (FOTT et al. 1978, KOCIÁNOVÁ et al. 1989) a Šumavy (LUKAVSKÝ 1993), dlouhou tradici má studium kryosestonu ve slovenských Tatrách (např. KOL 1968, 1975, KOMÁREK et al. 1973). Mnoho prací pochází z Antarktidy (BROADY 1996, LING et SEPPELT 1990, 1993, 1998) a Arktidy (MÜLLER et al. 1998a, KOL et EUROLA 1973, 1974) nebo nejvyšších světových pohoří (YOSHIMURA et al. 1997).

V současné době je věnována pozornost právě studiu životních cyklů a sezónní dynamiky sněžných řas (MÜLLER et al. 2001), biochemickým a fyzikálním charakteristikám (MÜLLER et al. 1998a, b, THOMAS et DUVAL 1995) a biologii a ekologii jednotlivých druhů (LING et SEPPELT 1993, 1998, LING 2001).

## 1.2 Cíle práce

Cílem této práce je

- nalézt lokality s výskytem kryosestonu, pozorovat řasová společenstva v jejich prostředí a zjistit, jak probíhá jejich životní cyklus
- odebrané vzorky přenést do laboratoře, determinovat a pokusit se vyizolovat kmeny a kultivovat je
- kmeny vyizolované ze sněhu podrobit testování na zkřížených gradientech teploty a světla a zjistit tak jejich ekofyziologické nároky
- porovnat jednotlivé kmeny podle jejich ekofyziologických nároků

## 2. Popis lokalit

Lokality byly vybrány tak, aby splňovaly dvě podmínky:

- a) Na příslušné lokalitě se rozvíjejí řasová společenstva pravidelně každý rok.
- b) Příslušná lokalita je snadno dostupná a přístupná, aby bylo lze provádět odběry a pozorování co nejčastěji.

Tyto dvě podmínky splňují pouze dvě krkonošské lokality; proto byla vlastní terénní práce zaměřena především na ně.

### 1) Krkonoše

#### Labský důl

V horní části dolu (nadmořská výška 900-1100 m.n.m.) při meandrech řeky Labe přetrvávají sněhová pole do května až června. Sklon se pohybuje mezi 0°- 10°, expozice na JV-V. Pole jsou zastíněna řídkým smrkovým lesem, vegetačními dominantami jsou druhy *Vaccinium myrtillus*, *V. uliginosum* a *Sphagnum* sp. Sníh je velmi znečištěn opadem (především jehličím), půdními částicemi a eolickým sedimentem.

#### Luční hora

Na kryoplanáčnických terasách Luční hory (v nadmořské výšce 1450-1550 m.n.m.) vytrvávají sněhová pole do července až srpna. Sklon je 10°-20°, svahy jsou exponovány na všechny strany. Pole nejsou zastíněna vyšší vegetací, sníh je znečištěn pouze eolickým sedimentem. Podloží jsou svory a fylity.

### 2) Šumava, Plešné jezero

Stěna nad Plešným jezerem (hladina jezera leží v nadmořské výšce 1090 m.n.m.) může být pokryta sněhem v závislosti na sněhových srážkách a jarních teplotách až do konce května. Sklon je 0° až 40°, expozice na SV. Pole jsou zastíněna smrkovým porostem, ve vegetaci dominují keřičky *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea* a *V. uliginosum*. Sníh

je znečištěn opadem, půdními částicemi a eolickým sedimentem. Podloží je granit.

### **3) Vysoké Tatry, sedlo Váha**

Ze sedla Váha (2339,7 m.n.m.) se na obě strany svažují sněhová pole přetrvávající celé léto. Pole orientované na JZ má mírnější sklon (do 10°) a větší přísun slunečního záření. Pole orientované na V je velmi strmé (30-40°) a po většinu dne zastíněné. Sníh je nepřilíš znečištěn větrným sedimentem. Podloží je v obou případech granodiorit, okolí je bez vegetace.

### **4) České Budějovice**

Nadmořská výška 380 m.n.m., sklon 0°, zastíněno, sníh znečištěn opadem, půdními částicemi, eolickým sedimentem a antropogenním odpadem. Sníh vytrvává velmi krátce. Podloží je asphalt.

### 3. Materiál & metody

#### 3.1 Odběr vzorků

Vzorky byly odebírány pětkrát za sezónu na lokalitách Labský důl a Luční hora (1.3., 9.4., 6.5., 29.6., 1.8.2000 a 28.2., 10.4., 8.5., 17.6., 6.8.2001.) a jednou na lokalitách Váha (5.9.1999), České Budějovice (15.2.2000) a Plešné jezero (4.5.2001). Sněh s řasami byl odebírán do sterilních plastových lahvíček o objemu 10 cm<sup>3</sup> a 50 cm<sup>3</sup> bez média nebo s tekutým médiem Z a tyto lahvičky byly umístěny do předem vychlazené termolahve Tatonka HCS naplněné sněhem. Na lokalitách Váha a České Budějovice bylo rovněž odebráno 5 l sněhu do plastového kanystru, zfiltrováno s pozitivním tlakem přes filtry Synpor 4 (dle FOTT et STUHLÍK nepubl.) a filtry byly posléze umístěny do Erlenmeyerových baněk s tekutým médiem Z.

Na lokalitách Labský důl, Luční hora a Plešné jezero byla měřena teplota vzduchu a sněhu, hloubka sněhu, hloubka zbarvení sněhového profilu, pH sněhu a byla posuzována barva sněhu. K měření teploty byl použit laboratorní lihový teploměr s přesností 0,5°C, k měření pH univerzální indikátorové papírky Lachema Brno a k měření hloubky kapesní skládací metr. *sněhu*

#### 3.2 Examinace, izolace, kultivace

Po převezení termolahve do laboratoře byla část vzorků odebrána pro pozorování a zbytek byl určen pro izolaci kmenů a kultivaci. Examinovány byly rovněž vzorky odebrané pracovníky KRNAPu v mezidobí mezi uvedenými vlastními odběry.

Vzorky byly pozorovány živé, pozorované buňky byly zakreslovány, fotografovány, byly měřeny jejich morfologické parametry a byla zjišťována hustota buněk. K pozorování byl použit světelný mikroskop Olympus CX 40 s digitálním fotoaparátem Olympus DP 10, fotografie byly upravovány v programu Adobe Photoshop 5.0. K měření hustoty buněk posloužila Bürkerova počítací komůrka. Řasy byly determinovány



podle těchto prací: ERTL et GÄRTNER 1995, HOHAM et MULLET 1977, 1979, KOL 1968, KOMÁREK 2001, LUKAVSKÝ 1993.

Izolace kmenů byla prováděna standardní metodou pasážování nárostů ze živých vzorků na agarových plotnách; vzniklé kolonie byly přeočkovány do tekutého média i na Petriho misky s médiem zpevněným agarem (LUKAVSKÝ 1974). Byla použita média Z (ZEHNDER in STAUB 1961), BG11, L-C a L-C s půdním dekoktem (BOURRELLY 1948). Petriho misky a Erlenmeyerovy baňky s naočkovanými řasami byly umístěny do kultivačního boxu IDAF C95 a udržovány při teplotě 4°C a ozáření 100  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

### 3.3 Zkřížené gradienty

U izolovaných kmenů byly testovány teplotní a ozáření nároky metodou kultivace na zkřížených gradientech teploty a světla (LUKAVSKÝ 1982, KVÍDEROVÁ et LUKAVSKÝ 2001a, b): suspenze řas byla zředěna na cca 10 000 buněk/ml a naočkována do 25 sterilních sérologických destiček. Ty byly umístěny na plochu kultivačního zařízení. Bylo nastaveno rozmezí teplot 0 až 20°C a rozmezí ozáření 58 až 1180  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Po dosažení stacionární fáze růstu byla změřena absorbance při 750 nm na spektrofotometru iEMS plate reader, Labsystems Finland, maximální hodnoty byly přepočteny podle empiricky stanovených konverzních křivek.

Ke zpracování výsledků byl použit tabulkový procesor MS Excel 97 a program Statistica 5.5.

## 4. Výsledky

### 4.1 Fyzikální parametry lokalit

#### 4.1.1 Labský důl

Fyzikální parametry lokality Labský důl jsou uvedeny v Tab.1.

K rozvoji řasových společenstev zde došlo v obou sezónách 2000 a 2001 začátkem května, kdy se denní teplota vzduchu pohybovala kolem 15-16°C; výška sněhové pokrývky (již nesouvislé) dosahovala 15-20 cm. Hloubka zbarvení sněhového profilu byla 0-12 cm, tedy od povrchu sněhu místy až k povrchu půdy. Hustota buněk dosahovala hodnot až  $1 \cdot 10^6$  buněk/ml roztátého sněhu. Barva sněhu byla žlutozelená až zelená.

Tab.1. Fyzikální parametry lokality Labský důl.

Labský důl	2000					2001				
	1.3.	9.4.	6.5.	29.6	1.8	28.2	10.4	8.5.	17.6	6.8
Teplota vzduchu [°C]	-2	2	16	23	20	0	8	15	25	24
Teplota sněhu [°C]	0,5	0,5	0	-	-	0,5	0	0	-	-
pH sněhu	5	5	4,5	-	-	5	4,5	4,5	-	-
Výška sněhu [cm]	180	155	20	0	0	85	40	15	0	0
Hloubka zbarvení [cm]	0	0	0-10	0	0	0	0	0-12	0	0

#### 4.1.2 Luční hora

Fyzikální parametry lokality Luční hora jsou uvedeny v Tab.2.

K rozvoji kryosestonu zde v obou sezónách 2000 a 2001 došlo později než v lokalitě Labský důl, a to od začátku června do úplného roztání sněhové pokrývky, což byl v případě roku 2000 konec srpna, v roce 2001 červenec. Denní teploty vzduchu se pohybovaly kolem 20°C. Výška sněhu činila 25 cm na konci června 2000, resp. 10 cm v polovině června 2001. Zbarvení dosahovalo hloubky 2-4 cm, resp. 1-5 cm. Hustota buněk se pohybovala okolo  $8 \cdot 10^5$  buněk/ml roztátého sněhu. Barva sněhu byla růžová až červená.

Tab.2. Fyzikální parametry lokality Luční hora.

Luční hora	2000					2001				
	1.3.	9.4.	6.5.	29.6	1.8	28.2	10.4	8.5.	17.6	6.8
Teplota vzduchu [°C]	-5	-2	11	19,5	18	-2	3	18	20	20
Teplota sněhu [°C]	0	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0	-
pH sněhu	4,5	4,5	5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	-
Výška sněhu [cm]	65	55	45	25	10	60	50	20	10	0
Hloubka zbarvení [cm]	0	0	0	2-4	2-4	0	0	0	2-5	0

#### 4.1.3 Plešné jezero

Fyzikální parametry lokality Plešné jezero jsou uvedeny v Tab.3.

K velmi krátkému rozvoji společenstva sněžných řas zde došlo v roce 2001 začátkem května. Teplota vzduchu ve dne byla 18-19°C, výška sněhové pokrývky dosahovala až 70 cm, pokrývka nebyla souvislá. Zbarvení bylo patrné v hloubce 1-12 cm. Hustota buněk dosahovala  $1,2 \cdot 10^6$  buněk/ml roztátého sněhu. Barva sněhu byla zelená.

Tab.3. Fyzikální parametry lokality Plešné jezero.

	2001
Plešné jezero	4.5.
Teplota vzduchu [°C]	18,5
Teplota sněhu [°C]	0
pH sněhu	4,5
Výška sněhu [cm]	70
Hloubka zbarvení [cm]	0-12

#### 4.2 Seznam nalezených druhů

Na popsáných lokalitách bylo nalezeno celkem 6 druhů řas (druhů zelených řas a jeden druh třídy Xanthophyceae), 1 druh sinice a 2 druhy

hub (viz Tab.4). Jejich stručná morfoloická a ekologická charakteristika následuje (druhy jsou v rámci taxonomických skupin řazeny abecedně).

Tab.4. Nalezené druhy řas, sinic a hub.

řasy	Vysoké Tatry Váha	Krkonoše Labský důl	Krkonoše Luční hora	Šumava Plešné jezero	České Budě- jovice
<i>Chlamydomonas nivalis</i>	+		+		
<i>Chlorella cf. vulgaris</i>	+	+		+	+
<i>Chloromonas brevispina</i>		+	+	+	
<i>Cryocystis brevispina</i>		+	+	+	
<i>Chloromonas nivalis</i>		+	+	+	
" <i>Scotiella nivalis</i> "		+	+	+	
" <i>Scotiella cryophila</i> "		+	+	+	
" <i>Chloromonas palmeloidní</i> "				+	
<i>Stichococcus bacillaris</i>	+	+		+	+
<i>Xanthonema hormidioides</i>	+				
sinice					
<i>Romeria nivicola</i>			+		
houby					
<i>Chionaster nivalis</i>	+	+	+	+	+
<i>Selenotila nivalis</i>	+	+	+	+	+

#### ***Chlamydomonas nivalis* (BAUER) WILLE**

Vůbec jedna z nejčastějších sněžných řas rozšířená kosmopolitně ve vysokých horách i v polárních oblastech (KOL 1968). Přítomná na lokalitách Luční hora a Váha.

Byly nalezeny pouze sytě červeně zbarvené nepohyblivé zygoty kulovitého až oválného tvaru se ztlustlou buněčnou stěnou, často skulpturovanou. Průměr buněk 15-25  $\mu\text{m}$ , resp. rozměry 15-20  $\times$  18-25  $\mu\text{m}$ . Pohyblivá rozmnožovací stádia nebyla pozorována.

#### ***Chlorella cf. vulgaris* BELJERINCK**

Hojná půdní a subaerofytní řasa (ETTL et GÄRTNER 1995). Přítomná na lokalitách Váha, Labský důl, Plešné jezero a České Budějovice.

Buňky kulovité nebo mírně oválné, o průměru 7-10  $\mu\text{m}$ . Rozmnožuje se autosporami.

***Chloromonas brevispina* (FRITSCH) HOH., ROEM. & MULL. comb. nov.**

Běžná kryosestonní řasa, přítomná na lokalitách Labský důl, Luční hora a Plešné jezero.

Byly nalezeny nepohyblivé zygoty, dříve považovány za samostatný druh *Cryocystis brevispina* (HOHAM et al. 1979). Tvar buněk je oválný, rozměry 9-13  $\times$  14-23  $\mu\text{m}$ . Povrch buňky je pokryt krátkými (do 1  $\mu\text{m}$ ) jehličkami.

***Chloromonas nivalis* (CHODAT) HOH. & MULL. comb. nov.**

Jedna z nejčastějších sněžných řas, přítomná na lokalitách Labský důl, Luční hora a Plešné jezero.

Byly nalezeny vegetativní dvoubičíkaté buňky, čtyřbichíkaté planozygoty, nepohyblivé zygoty s různě skulpturovaným povrchem buňky (nejčastěji 2-3 žebra) a bezbichíkaté množící se buňky (pouze na lokalitě Plešné jezero). Morfologie buněk, ekologie a životní cyklus podrobněji viz kapitolu 4.4.

***Stichococcus bacillaris* NÄGELI**

Jedna z nejhojnějších půdních a aerofytních řas, kosmopolitní, ubikvitní (ETTL et GÄRTNER 1995). Přítomná na lokalitách Váha, Labský důl, Plešné jezero a České Budějovice.

Tvoří krátká velmi lehce rozpadavá vlákna (max. 10 buněk). Buňky mají cylindrický tvar o rozměrech 2-3  $\times$  3-6  $\mu\text{m}$ , chloroplast vyplňuje až dvě třetiny buňky. Rozmnožuje se prostým dělením.

***Xanthonema hormidioides* (VISCHER) SILVA**

Častá řasa horských a lesních půd (ETTL et GÄRTNER 1995). Přítomná na lokalitě Váha.

Vláknitá heterokontní řasa; vlákna dlouhá a pevná, buňky 4-5  $\times$  7,5-12,5  $\mu\text{m}$  velké. Ve sněhu přítomny převážně iniciální buňky

Jana Kocubová  
12/2017

kulovitého tvaru o průměru 5-6  $\mu\text{m}$ .

***Romeria nivicola* (KOL) KOM. O. & KOM.**

Kryosestonní vláknitá sinice, nepříliš hojná (KOMÁREK 2001).  
Nalezená na lokalitě Luční hora (první nález v České republice).

Vlákná krátká, jednotlivá, buňky často nasedají nerovně. Tvar buněk cylindrický, rozměry 4-10  $\times$  2  $\mu\text{m}$ .

### 4.3 Kultivace a laboratorní pozorování

Izolovány byly tyto kmeny:

*Xanthonema hormidioides* – z lokality Váha, 5.9.1999

*Chlorella cf. vulgaris* – z lokality Váha, 5.9.1999

*Stichococcus bacillaris* – z lokality Labský důl 6.5.2000

*Chloromonas nivalis* – z lokality Plešné jezero 4.5.2001

U kmene *Xanthonema hormidioides* bylo pozorováno pouze nepohlavní rozmnožování dělením buněk v rovině kolmé na vlákno. Pohlavní rozmnožování zoosporami nebylo pozorováno. Při pokusné kultivaci při teplotě 25°C byl zaznamenán rychlejší nárůst než v teplotě 4°C.

U buněk kmene *Chlorella cf. vulgaris* bylo pozorováno rozmnožování autosporami. Nárůst při teplotě 25°C byl výrazně větší než při teplotě 4°C.

U kmene *Stichococcus bacillaris* docházelo k rozmnožování dělením buněk v rovině kolmé na vlákno a fragmentací krátkých vláken. Rovněž u tohoto kmene byl nárůst při teplotě 25°C vyšší než při 4°C.

Kmen *Chloromonas nivalis* viz kap. 4.4.2.

## 4.4 Životní cyklus řasy *Chloromonas nivalis*

### 4.4.1 Pozorování *in situ*

Bezprostředně po odebrání sněhu na lokalitách Labský důl, Luční hora a Plešné jezero byla pozorována tato stádia:

#### **Vegetativní dvoubičíkaté buňky** (Luční hora 17.6.2001)

Tyto buňky mají protáhlý kapkovitý tvar, s rozměry 5-10 × 15-26 μm. Chloroplast bez pyrenoidu je nástěnný hrncovitý. Dva stejné bičíky dosahují délky 10-20 μm. Barva buněk je zelená. Buňky se množí dělením na 2 až 16 dceřinných buněk.

Tyto buňky vznikají vyklíčením zygot z minulé sezóny, ve sněhu jsou přítomny velmi krátce (vždy jen v jednom odběru) a způsobují vznik zbarvení.

#### **Čtyřbičíkaté planozygoty** (Luční hora 17.6.2001)

Planozygoty vznikají kopulací dvoubičíkatých vegetativních buněk. Mají kapkovitý nebo vejčitý tvar, rozměry 8-12 × 16-24 μm, čtyři stejné bičíky o délce 10-20 μm a jeden nástěnný hrncovitý chloroplast vzniklý splynutím dvou původních. Mohou mít zelenou, žlutozelenou nebo narůžovělou barvu. Bičíky posléze odpadají, odděluje se buněčná stěna a z pohyblivé planozygoty se stává zygota.

#### **Nepohyblivé zygoty** (Labský důl 6.5.2000, 8.5.2001, Luční hora 29.6. a 1.8.2000, 17.6.2001, Plešné jezero 4.5.2001)

Vznikají z planozygot (viz výše). Existují dva morfologicky odlišitelné typy, které byly dříve považovány za dva samostatné druhy *Scotiella nivalis* a *Scotiella cryophila* (KOL 1968) Mají oválný až protáhlý tvar, rozměry 7-12 × 16-21 μm (typ *S. nivalis*), resp. 7-9 × 23-32 μm (typ *S. cryophila*). U typu *S. nivalis* jsou na povrchu buňky patrná 2 nebo 3 spirální žebra. Barva buněk je zelená, žlutozelená, narůžovělá nebo červená. Tato stádia jsou přítomna ve sněhu již krátce po vzniku zbarvení sněhu a vytrvávají do úplného roztání.

**Bezbičíkaté vegetativní buňky** (Plešné jezero 4.5.2001)

Mají oválný nebo kapkovitý tvar, rozměry 12-17 × 17-25 μm. Dělí se na 2 nebo 4 dceřinné buňky, které mohou po nějaký čas zůstat spojené mateřskou buněčnou stěnou. Tyto buňky posléze bez kopulace tvoří spory identické se zygotami typu *Scotiella nivalis*. Barva buněk je zelená. Tyto buňky **nebyly dosud** u druhu *Chloromonas nivalis* **pozorovány**.

1.3. a 9.4. 2000 a 28.2. a 10.4. 2001 (Labský důl a Luční hora) a 6.5. 2000 a 8.5. 2001 (Luční hora) nebyly ve sněhu nalezeny žádné buňky *C. nivalis*; 29.6. a 1.8. 2000 a 17.6. a 6.8. 2001 (Labský důl) a 6.8. 2001 (Luční hora) rovněž nebyla v půdě zjištěna žádná pozdní stádia životního cyklu této řasy.

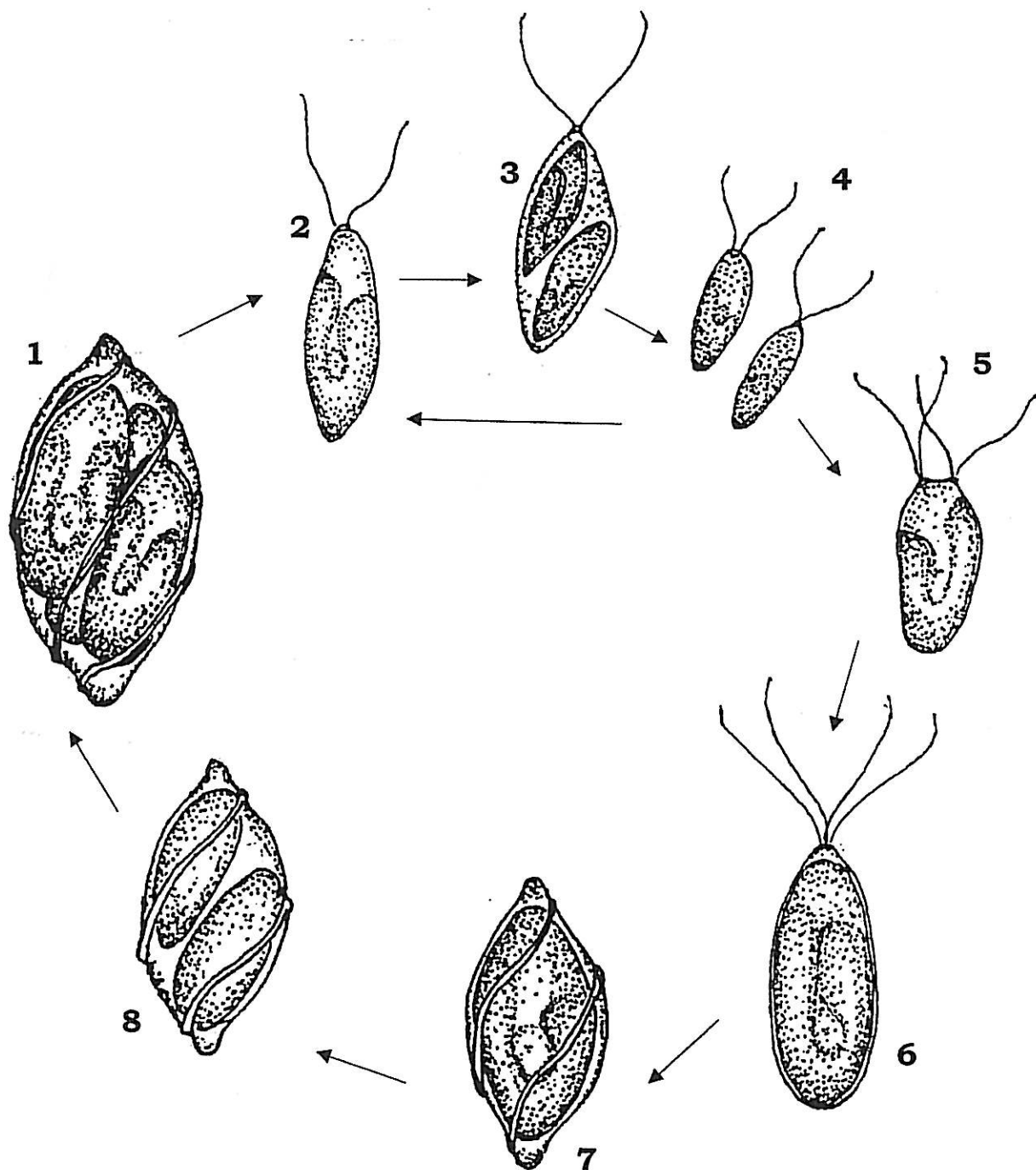
**4.4.2 Kultivace & laboratorní pozorování**

U kmene *Chloromonas nivalis* (viz kap. 4.3.) byly pozorovány pouze **bezbičíkaté vegetativní buňky** (viz kap. 4.4.1). Docházelo k **dělení** v jedné nebo dvou rovinách (tedy na 2 nebo 4 dceřinné buňky). Dceřinné buňky dorůstaly do rozměrů mateřské buňky (12-17 × 17-25 μm) a znovu se dělily. Po 30 dnech kultivace začalo docházet k **přeměně** některých buněk **na** buňky připomínající **typ *Scotiella nivalis***, aniž by předtím docházelo ke splývání buněk. Po 120 dnech kultivace byly všechny buňky přeměněné nebo mrtvé.

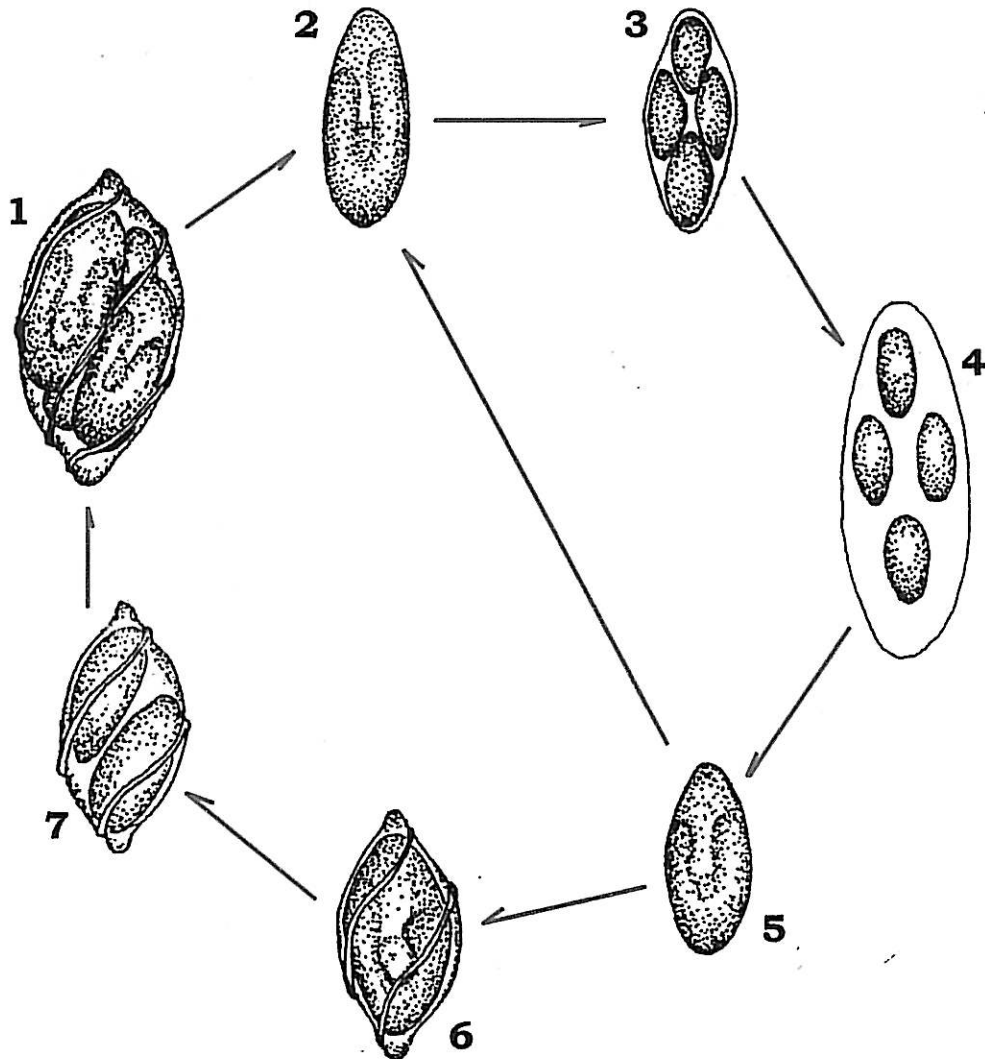
Při pokusné kultivaci při teplotě 25°C byly po 3 dnech všechny buňky mrtvé.

Nástin celkového životního cyklu řasy *Chloromonas nivalis* je na Obr.1 (cyklus s bičíkatými stádii) a Obr.2 (cyklus s bezbičíkatými vegetativními buňkami).





**Obr. 1:** Životní cyklus řasy *Chloromonas nivalis* s bičíkatými stádii (popsán in HOHAM et MULLET 1977). „Zralá“ zygota s iniciálními buňkami (1), které ve vhodných podmínkách klíčí v (2) vegetativní dvoubičíkaté buňky. Vegetativní buňky se dělí (3) na dvě dceřinné (4), které dorůstají velikosti mateřskou buňku a znovu se dělí. Po dostatečném namnožení dochází ke splývání buněk (5) a vzniku čtyřbičíkatých planozygot (6). Ty poměrně rychle odhazují bičíky a buněčnou stěnu a přeměňují se na nepohyblivé zygoty se strukturovaným povrchem (7). Uvnitř zygoty pak dochází k dělení až na 8 příštích iniciálních buněk (8 → 1). – zvětšeno 2500×

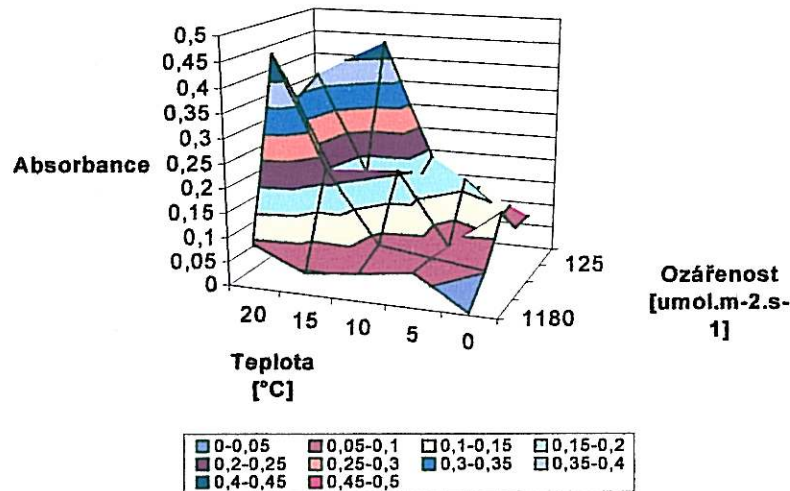


**Obr.2:** Životní cyklus řasy *Chloromonas nivalis* bez bičíkatých stádií a syngamie pozorovaný na lokalitě Plešné jezero: Zygota s připravenými iniciálními buňkami (1), které klíčí ve vegetativní bezbičíkaté buňky (2). Ty se dělí ve dvou rovinách na čtyři buňky dceřinné (3). Dceřinné buňky zůstávají po nějaký čas spojeny mateřskou buněčnou stěnou (4). Po dosažení velikosti mateřské buňky (5) opět dělení (dále viz 2) nebo na konci rozmnožovací fáze cyklu přeměna na spory morfologicky identické se zygotami typu „*Scotiella nivalis*“ (6). Pod strukturovanou stěnou posléze dochází k dělení na příští iniciální buňky (7). – zvětšeno 2000×

## 4.5 Teplotní a světelné nároky

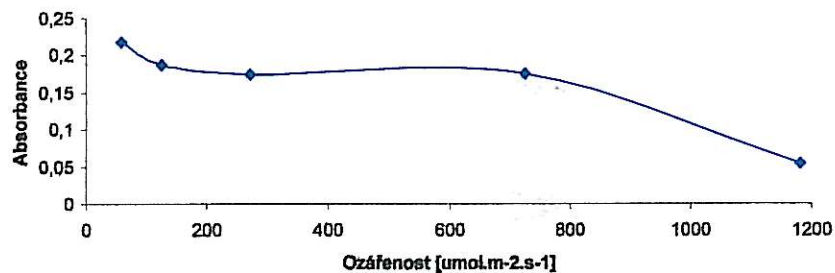
### 4.5.1 *Xanthonema hormidioides*

Kmen *Xanthonema hormidioides* dosáhl stacionární fáze růstu po 45 dnech. Největšího nárůstu (hodnota  $A = 0,43$ , což odpovídá množství

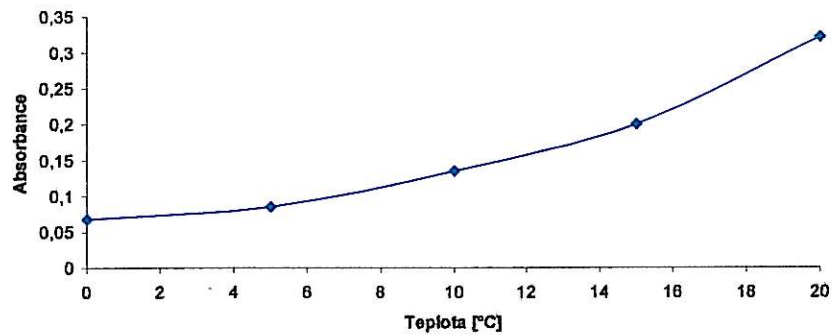


Obr.3. Teplotní a světelné nároky kmene *Xanthonema hormidioides*

sušiny – DM - 195 mg/l) dosáhl při teplotě 20°C a ozáření 725  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a při teplotě 16°C a ozáření 58  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (viz Obr.3). Nejvyšší průměrný nárůst byl při ozáření 58  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (viz Obr.4) a při teplotě 20°C (viz Obr.5).

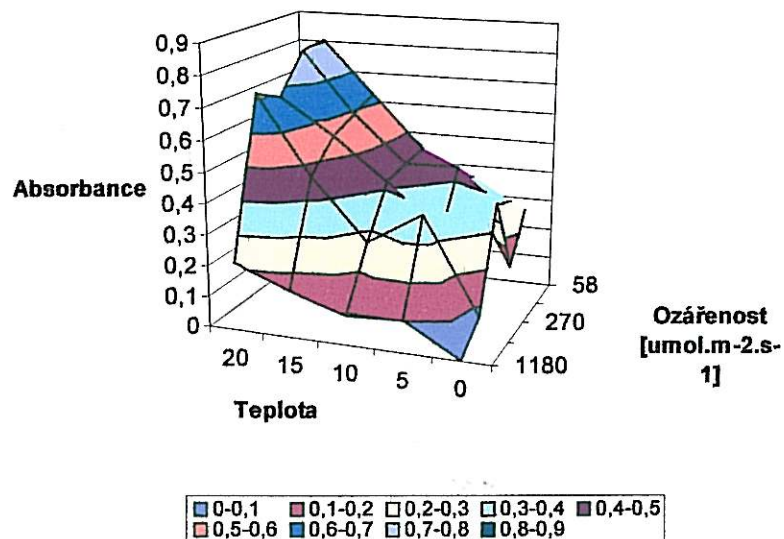


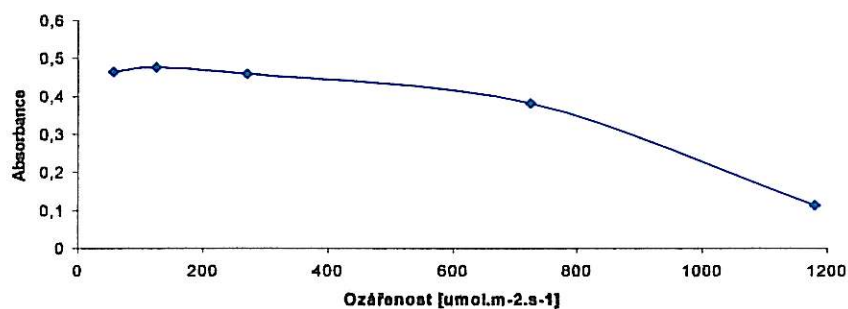
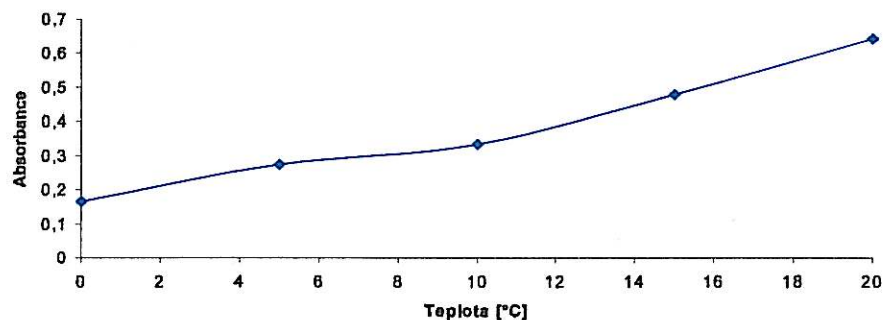
Obr.4. Křivka závislosti růstu *Xanthonema hormidioides* na ozáření

Obr.5. Křivka závislosti růstu *Xanthonema hormidioides* na teplotě

#### 4.5.2 *Chlorella cf. vulgaris*

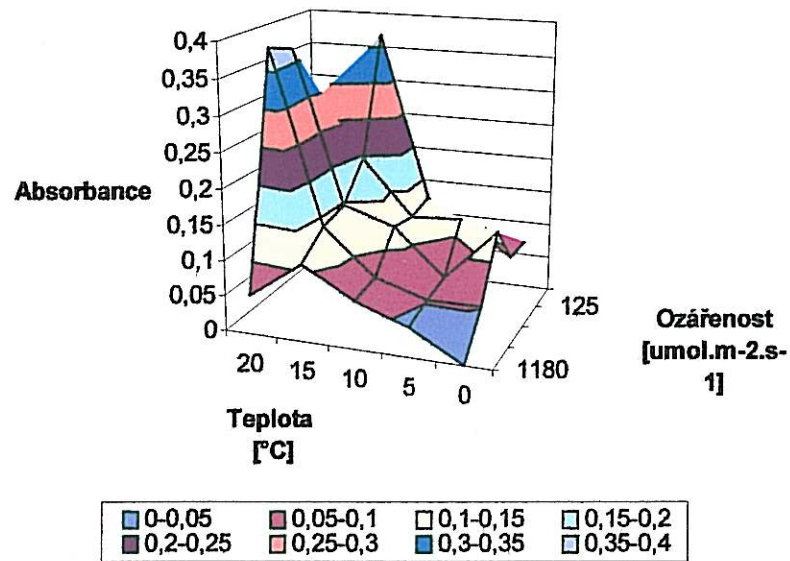
Kmen *Chlorella cf. vulgaris* dosáhl stacionární fáze po 40 dnech. K maximálnímu nárůstu ( $A=0,8$ ;  $DM=540$  mg/l) došlo při teplotě 20°C a ozáření 70  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (viz Obr.6). Nejvyšší průměrný nárůst byl při ozáření 58  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (viz Obr.7) a při teplotě 20°C (viz Obr.8).

Obr.6. Teplotní a světelné nároky kmene *Chlorella cf. vulgaris*

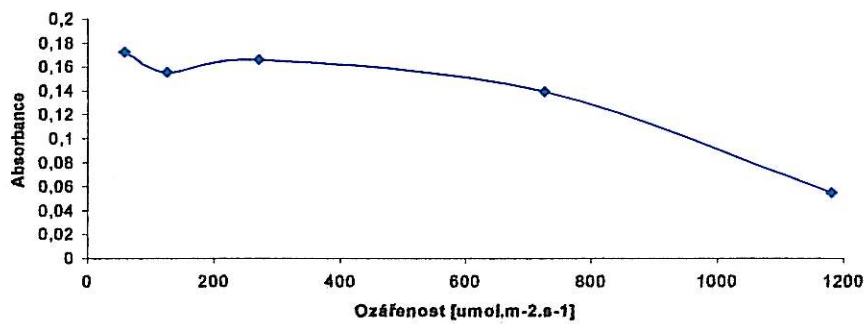
Obr.7. Křivka závislosti růstu *Chlorella cf. vulgaris* na ozářeníObr.8. Křivka závislosti růstu *Chlorella cf. vulgaris* na teplotě

#### 4.5.3 *Stichococcus bacillaris*

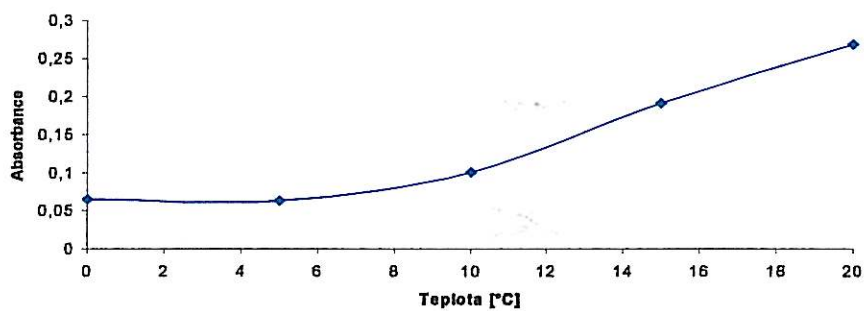
Kmen *Stichococcus bacillaris* dosáhl stacionární fáze růstu po 45 dnech. K maximálnímu nárůstu ( $A=0,37$ ;  $DM=155 \text{ mg/l}$ ) došlo při teplotě  $20^\circ\text{C}$  a ozáření  $70 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$  a při teplotě  $16^\circ\text{C}$  a ozáření  $270 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (viz Obr.9). Nejvyšší průměrný nárůst byl při ozáření  $58 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (viz Obr.10) a při teplotě  $20^\circ\text{C}$  (viz Obr.11).



Obr.9. Teplotní a světelné nároky kmene *Stichococcus bacillaris*



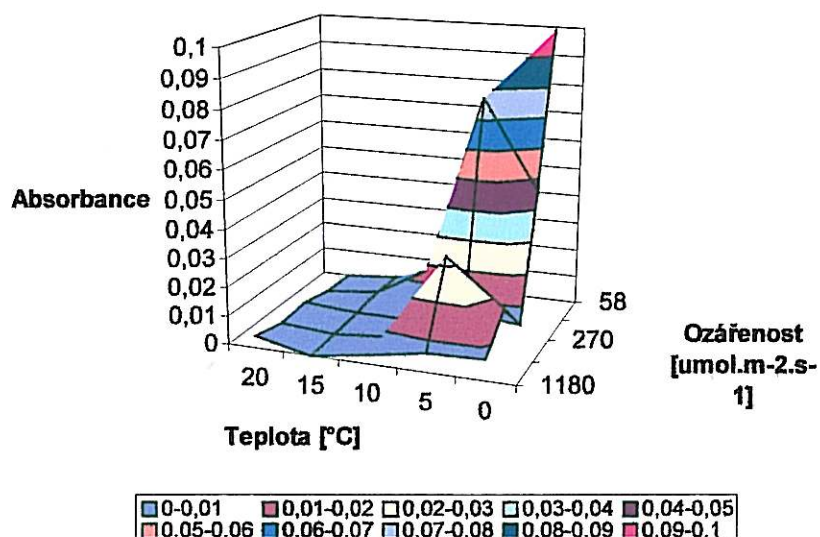
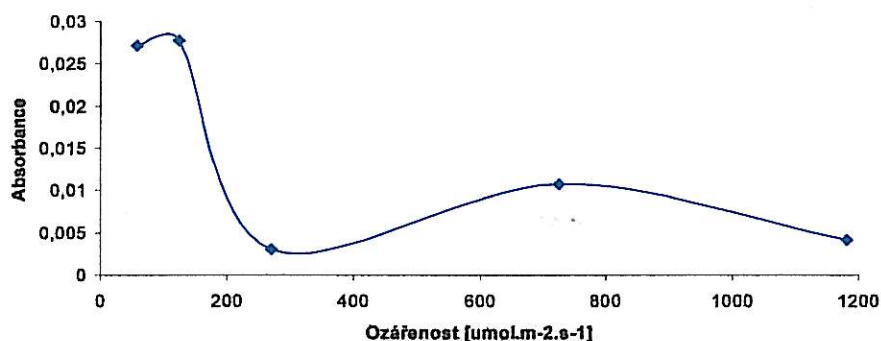
Obr.10. Křivka závislosti růstu *Stichococcus bacillaris* na ozáření

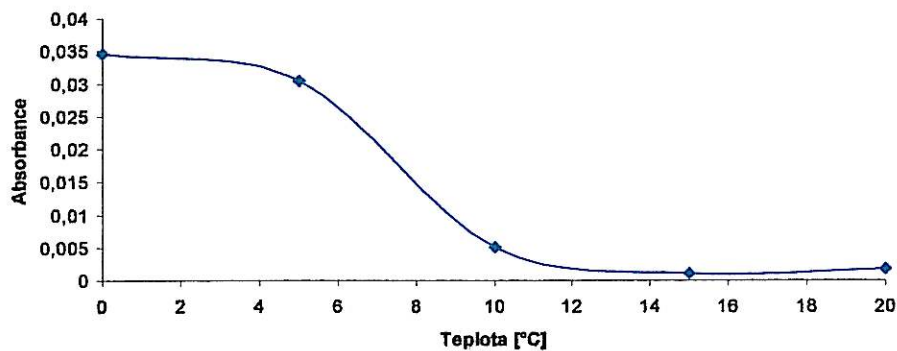


Obr.11. Křivka závislosti růstu *Stichococcus bacillaris* na teplotě

4.5.4 *Chloromonas nivalis*

Kmen *Chloromonas nivalis* dosáhl stacionární fáze růstu po 35 dnech. K maximálnímu nárůstu ( $A=0,1$ ;  $DM=27$  mg/l) došlo při teplotě  $0^{\circ}\text{C}$  a ozáření  $58 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (viz Obr.12). Nejvyšší průměrný nárůst byl při ozáření  $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (viz Obr.13) a při teplotě  $0^{\circ}\text{C}$  (viz Obr.14). Limitní teplotou pro růst *C. nivalis* bylo  $10^{\circ}\text{C}$  (viz Obr.14).

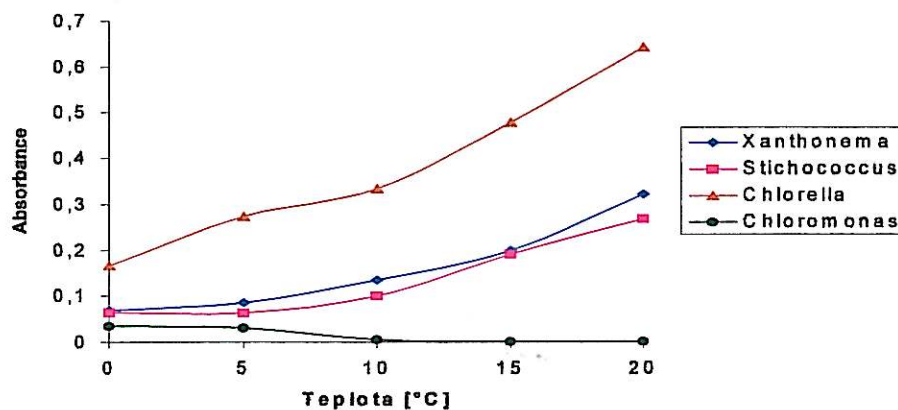
Obr.12. Teplotní a světelné nároky kmene *Chloromonas nivalis*Obr.13. Křivka závislosti růstu *Chloromonas nivalis* na ozáření



Obr. 14. Křivka závislosti růstu *Chloromonas nivalis* na teplotě

#### 4.5.5 Srovnání kmenů

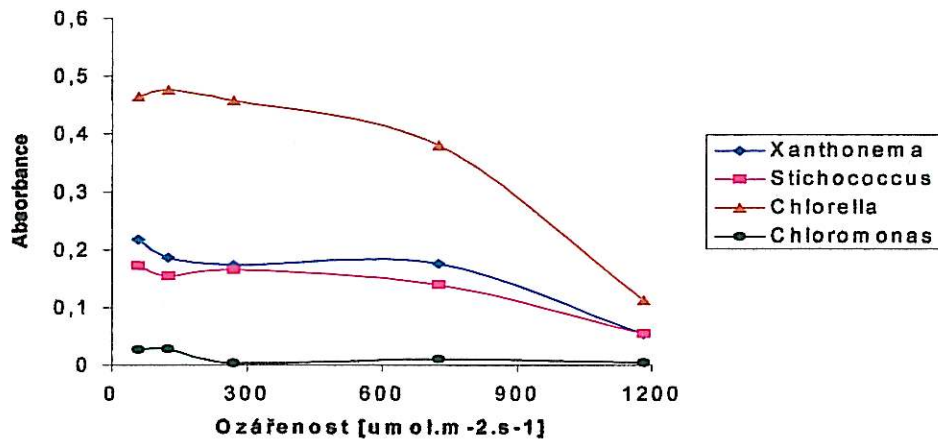
Kmeny *Xanthonema hormidioides*, *Chlorella cf. vulgaris* a *Stichococcus bacillaris* vykazují velmi podobné teplotní a světelné nároky. Nejvyššího nárůstu dosahují shodně v teplotě 20°C (viz Obr.15); optimální ozáření je 58-70  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , tedy spíše zastíněnější místa (Obr.16). Největšího absolutního nárůstu dosáhl kmen *Chlorella cf. vulgaris*.



Obr. 15. Srovnání teplotních nároků



Kmen *Chloromonas nivalis* má teplotní optimum v 0°C; optimální ozáření je shodně 58-70  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Absolutní nárůst tohoto kmenu je ve srovnání s předešlými třemi kmeny nejmenší.



Obr.16. Srovnání nároků na ozáření

## 5. Diskuse

### 5.1 Životní cykly sněžných řas

Životní prostředí sněžných řas – tedy tající sníh – je prostředím nejen extrémním, ale i značně nestabilním a časově omezeným. Většina těchto řas překonává výkyvy i dlouhodobější nepříznivé podmínky pomocí složitých životních cyklů; ty mohou zahrnovat sexuální i asexuální rozmnožování, pohyblivá bičíkatá stádia a různě tvarované zygoty nebo „balíčky“ buněk uložené ve slizovém obalu (HOHAM et MULLET 1977, LING et SEPPELT 1990, 1993, LING 2001). Díky této morfologické rozrůzněnosti v rámci ontogeneze jednoho organismu byla jednotlivá stádia popisována jako samostatné druhy, a dokonce rozdělována do poddruhů podle detailních morfologických znaků (KOMÁROMY 1982).

Zelená řasa *Chloromonas nivalis* (CHODAT) HOH. & MULL. comb. nov. není v tomto směru výjimkou; její životní cyklus byl popsán již v práci HOHAM et MULLET (1977). Ti ukázali, že čtyřbičíkaté planozygoty vzniklé syngamií dříve považované za samostatné druhy rodu *Carteria* a zygoty pokládané za druhy rodu *Scotiella* (např. *S. nivalis*, *S. cryophila*) patří jednomu jedinému druhu a navrhli celé schéma životního cyklu, které je dodnes přijímáno.

Takto popsáný životní cyklus byl potvrzen i vlastními pozorováními popsány v kapitole 4.4. Vegetativní dvoubičíkaté buňky, které ve vhodných podmínkách vyklíčí ze zygot z minulé sezóny, mohou díky schopnosti pohybu aktivně nalézt místo s nejvhodnějšími podmínkami a tam se poměrně rychle namnožit. Po dostatečném namnožení nastává kopulace, tvorba pohyblivých planozygot a po odvržení bičíků vznik zygot. Zygoty představují klidové stádium řasy, které je schopné přežít jak vyšší teploty po úplném roztání sněhu, tak vymrznutí v zimě. V pozdním jaru dochází pak opět k vyklíčení.

Z dalších pozorování (rovněž viz kap.4.4) ovšem vyplývá, že tento dlouho popsáný cyklus může být **neúplný**. Pozorované vegetativní buňky bez bičíků (a tedy bez aktivního pohybu) dělí se a posléze tvořící stádia „*Scotiella nivalis*“ bez splývání buněk nebyly u tohoto druhu pozorovány; připomínají však asexuální cyklus nedávno popsáný u druhů *Desmotetra aureospora* a *D. antarctica* (LING 2001). Je tedy možné, že řasa *Chloromonas nivalis* může podstupovat buď **sexuální cyklus** s pohyblivými buňkami, které **splývají** a tvoří **zygoty**, nebo **asexuální cyklus** s nepohyblivými vegetativními buňkami pouze se **přeměňujícími** na **spory** morfologicky

identické se zygotami sexuálního cyklu. K potvrzení či vyvrácení této domněnky a případně k poznání, jaké podmínky vedou k „přepínání“ mezi těmito dvěma alternativami, by bylo třeba další detailnější studium. Možnost podobného asexuálního cyklu se nabízí také u druhu *Chloromonas brevispina*, který se často vyskytuje spolu s *C. nivalis* a u něhož na lokalitě Plešné jezero rovněž nebyla pozorována vegetativní bičíkatá stádia. Zároveň vyvstává otázka, z jakého důvodu může být nepohlavní cyklus výhodnější než pohlavní, který nabízí v tajícím sněhu velmi užitečnou možnost aktivního pohybu, kterou LING et SEPPELT (1990) považují za hlavní adaptační výhodu. Možnou nápoředu nabízejí HOHAM et al. (1998), kteří zkoumali rozmnožovací strategie jednoho druhu rodu *Chloromonas* v závislosti na hladině ozáření a množství vody ve sněhu; tyto fyzikální podmínky podle nich rozhodují (ovšem v rámci sexuálního cyklu) o tom, zda se bude vegetativní buňka nepohlavně dělit nebo kopulovat. Výhodou nepohlavního rozmnožování by mohla být vzhledem k absenci aktivního pohybu například menší energetická náročnost a vyšší rychlost reprodukce.

Klíčení zygot či spor, resp. podmínky, ve kterých nastává, představují také jednu z neznámých v sexuálním cyklu *C. nivalis*. Další neznámou, která se rovněž týká zygot, je jejich šíření na začátku sezóny, protože v půdě přímo pod zbarveným sněhovým polem nebývají nalézány; je možné, že dochází k přinesení větrem nebo živočichy (MÜLLER et al. 2001).

Na rozdíl od „pravých“ sněžných řas se u druhů, které se dostaly do sněhu spíše náhodně a jejichž původním biotopem je např. půda, tyto složité cykly nevyskytují a k rozmnožování většinou dochází nepohlavním dělením, kdykoli jim to okolní podmínky dovolí (tedy např. i v mikrostanovištích v tajícím sněhu).

## 5.2 Kultivace

Pro další podrobnější studium složitých životních cyklů sněžných řas je třeba komplexní přístup spojující pozorování v přirozeném prostředí a laboratorní kultivaci. O obtížnosti tohoto přístupu však svědčí velmi nízký počet prací – kupříkladu o životním cyklu nejrozšířenější sněžné řasy *Chlamydomonas nivalis* není známo téměř nic (výjimkou je např. KAWECKA 1978).

Kultivace sněžných řas je rovněž velmi obtížná a proto jsou laboratorní pozorování čistých kultur sněžných řas poměrně vzácná (např. HINDÁK et KOMÁREK 1968, LING et SEPPELT 1993).

I když byly buňky *Chloromonas nivalis*, *C. brevispina* a *Chlamydomonas nivalis* udržovány v podmínkách, které jsou považovány za optimální – tedy teplota do 4°C a osvětlení kolem 100  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , a pěstovány na různých médiích (médiu L-C použili např. HINDÁK et KOMÁREK 1968 při úspěšné kultivaci druhu *Koliella tatrae*), dělení buněk bylo dosaženo pouze v případě bezbičíkatých vegetativních buněk *Chloromonas nivalis*. Příčinou by mohla být citlivost sněžných řas k jakýmkoli i nepatrným změnám vnějšího prostředí, které jsou při každém laboratorním přístupu nevyhnutelné; tato citlivost je známa právě především u bičíkatých buněk, které po velmi krátké době odhazují své bičíky a přecházejí do dormantních stádií nebo hynou (např. HOHAM et al. 1979).

### 5.3 Teplotní a světelné nároky

Nizká teplota tajícího sněhu, jak již bylo naznačeno v kap. 1.1, představuje de facto dolní teplotní hranici trvalého života. Organismy v tomto prostředí žijící či přežívající patří v zásadě do dvou skupin: první jsou psychrofilové, pro které je toto prostředí optimální a vyšší teploty naopak letální. Druhou skupinu tvoří organismy psychrotrofní (tolerantní k chladu), pro které je takto nízká teplota suboptimální nebo subletální a jejichž optima leží podobně jako u většiny řas mezi 20-30°C (RŮŽIČKA 1971 uvádí pro jeden kmen z rodu *Chlorella* letální teplotu 41-42°C).

Experimentů týkajících se ekofyziologických optim a limitů těchto typů řas bylo provedeno velmi málo; HOHAM (1975a) testoval několik druhů sněžných řas v pěti teplotách od 1 do 20°C (druh *Chloromonas nivalis* mezi nimi nebyl) a z jeho výsledků vyplynulo, že optima se pohybují většinou mezi 1 a 10°C. Navrhl proto tento interval jako kritérium pro „pravé“ sněžné řasy (HOHAM 1980). Práce studující vliv ozáření na sněžné řasy (např. HOHAM et al. 1998, THOMAS et DUVAL 1995) se pak většinou nesoustředily na hledání růstových optim nebo limitů.

V této práci byl kladen důraz na spolupůsobení dvou základních ekofyziologických faktorů (tedy teploty a světla) kontinuálně se měnících v prostoru a na růstovou odpověď řas na tyto podmínky.

## 6. Závěr

V sezónách 2000 a 2001 byly na několika lokalitách sledovány populace sněžných řas. Byl potvrzen průběh životního cyklu kryosestonní řasy *Chloromonas nivalis* zahrnující diploidní klidová stádia, vegetativní haploidní bičíkaté buňky a jejich kopulaci. Na lokalitě Plešné jezero byl pozorován dosud neznámý průběh životního cyklu s bezbičíkatými vegetativními buňkami bez syngamie, ovšem s morfologicky identickými klidovými stádii typu *Scotiella nivalis*. Na lokalitě Luční hora byl poprvé v České republice nalezen druh kryosestonní sinice *Romeria nivicola*.

Řasy byly přeneseny do laboratoře a bylo vyizolováno několik kmenů – *Chloromonas nivalis*, *Chlorella cf. vulgaris*, *Stichococcus bacillaris* a *Xanthonema hormidioides*. Tyto kmeny byly kultivovány a byly testovány jejich ekofyziologické nároky na zkřížených gradientech teploty a světla. Kmen *Chloromonas nivalis* se podle očekávání ukázal jako psychrofilní a stínomilný (tedy patřící k takzvaným „pravým“ sněžným řasám), a tající sníh je tedy pro tento druh prostředím vlastním a optimálním. Kmeny *Chlorella cf. vulgaris*, *Stichococcus bacillaris* a *Xanthonema hormidioides* mají naproti tomu svá ekofyziologická optima v teplotě vyšší než 20°C – jsou tedy psychrotrofní, sníh je pro ně prostředím suboptimálním a byly sem pravděpodobně přineseny odjinud. Světelná optima však mají velmi podobná jako *Chloromonas nivalis*.

Pro další studium sněžných řas, především pak pro poznání životních cyklů a schopnost přežívání a šíření mimo sezónu, je třeba komplexní přístup spojující bezprostřední přírodní pozorování s laboratorní kultivací; pak bude možno více porozumět jejich životním projevům a faktorům, které je ovlivňují.

**Literatura**

- BIDIGARE R.R., ONDRUSEK M.E., KENNICUTT M.C., ITURRIAGA R., HARVEY H.R.,  
HOHAM R.W., MACKO J.A., 1993: Evidence for a  
photoprotective function for secondary carotenoids in snow  
algae. *Journal of Phycology* 29:427-436
- BOURRELLY P., 1948: L'Algothèque du Laboratoire de Cryptogamie de Museum:  
Paris Mus. Nat. d'Hist. Nat., 1-14
- BROADY P.A., 1996: Diversity, distribution and dispersal of Antarctic  
terrestrial algae. *Biodiversity and Conservation* 5:1307-1335
- ETTL H., GÄRTNER G., 1995: Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen.  
G. Fischer Verlag, Stuttgart 1-721
- FOTT B., REJMÁNEK M., ŠTURSA J., 1978: Prvý nález červeného sněhu v  
Krkonosích. *Opera Corcontica* 15:109-112
- HINDÁK F., KOMÁREK J., 1968: Cultivation of the cryosestonic alga *Koliella*  
*tatrae* (KOL) HIND. *Biologia Plantarum* 10:95-97
- HOHAM R.W., 1975a: Optimum temperatures and temperature ranges for  
growth of snow algae. *Arctic and Alpine Research* 7:13-24
- HOHAM R.W., 1975b: The life history and ecology of the snow alga *Chloromonas*  
*pichincha* (Chlorophyta, Volvocales). *Phycologia* 14:213-  
226
- HOHAM R.W., 1980: Unicellular Chlorophytes – Snow algae. In COX E.R. (ed.),  
Phytoflagellates. New York: Elsevier, North Holland, 61-84
- HOHAM R.W., MULLET J.E., 1977: The life history and ecology of the snow alga  
*Chloromonas cryophila* sp. nov. (Chlorophyta, Volvocales).  
*Phycologia* 16/1:53-68
- HOHAM R.W., MULLET J.E., 1978: *Chloromonas nivalis* (CHOD.) HOH. & MUL.  
comb. nov., and additional comments on the snow alga,  
*Scotiella*. *Phycologia* 17(1):106-107
- HOHAM R.W., MULLET J.E., ROEMER S.C., 1983: The life history and ecology of  
the snow alga *Chloromonas polyptera* comb. nov.  
(Chlorophyta, Volvocales). *Canadian Journal of Botany*  
61:2416-2429

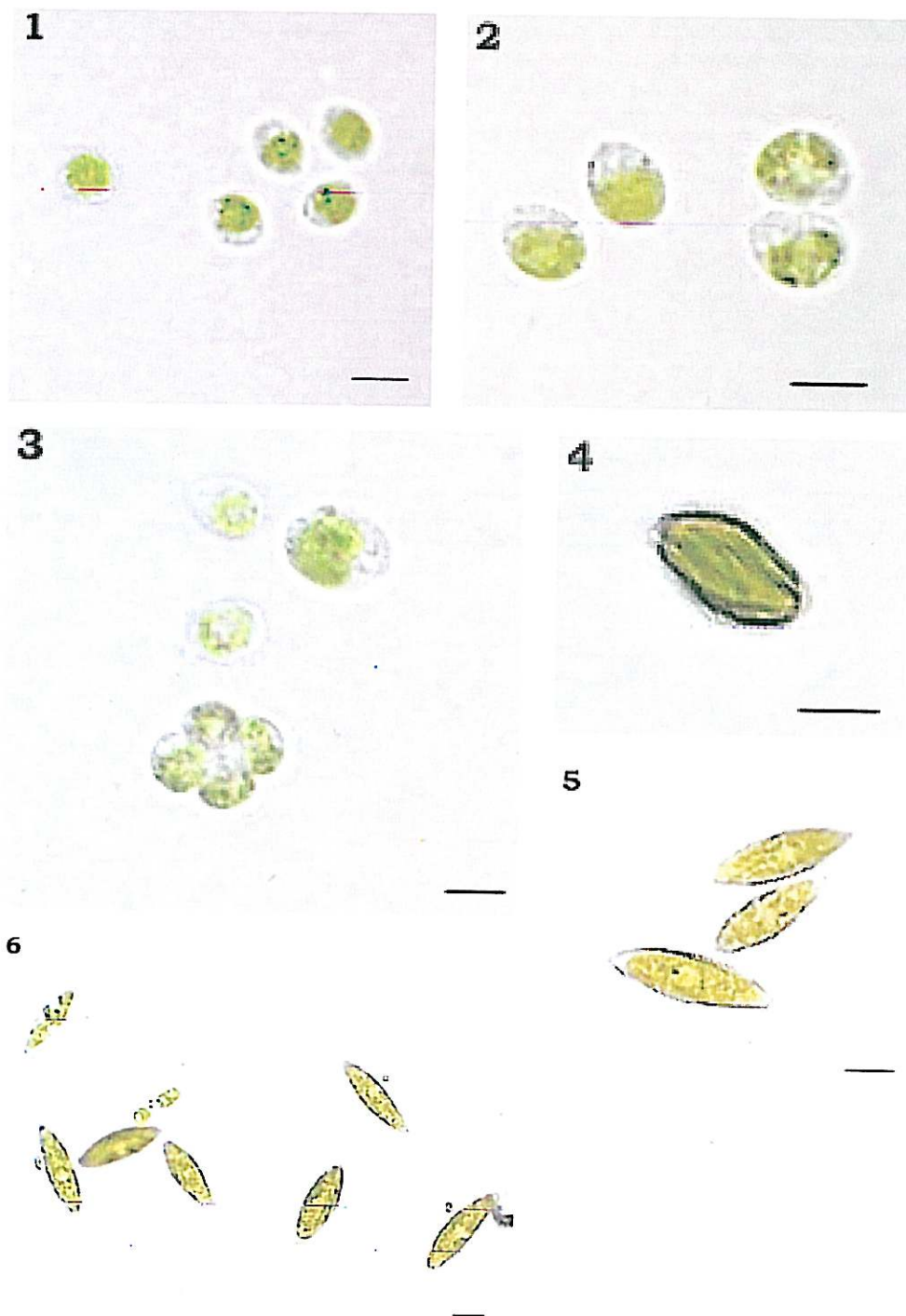
- HOHAM R.W., ROEMER S.C., MULLET J.E., 1979: The life history and ecology of the snow alga *Chloromonas brevispina* comb. nov. (Chlorophyta, Volvocales). *Phycologia* 18:55-70
- HOHAM R.W., SCHLAG E.M., KANG J.Y., HASSELWANDER A.J., BEHRSTOCK A.F., BLACKBURN I.R., JOHNSON R.L., ROEMER S.C., 1998: The effects of irradiance levels and spectral composition on mating strategies in the snow alga *Chloromonas sp.-D*, from the Tughill Plateau, New York State. *Hydrological Processes* 2:1627-1639
- KAWECKA B., 1978: Biology and ecology of snow algae. 1. The sexual reproduction of *Chlamydomonas nivalis* (BAUER) WILLE (Chlorophyta, Volvocales). *Acta Hydrobiologica* 20:111-116
- KOCIÁNOVÁ M., ŠTURSOVÁ H., ŠTURSA J., VANĚK J., VÁVRA V., 1989: Nové nálezy barevného sněhu v Krkonoších. *Opera Corcontica* 26:151-158
- KOL E., 1968: Kryobiologie. Biologie und Limnologie des Schnees und Eises. I. Kryovegetation. Die Binnengewässer 24:1-216. E. Schweiz. Stuttgart
- KOL E., 1975: Cryobiological researches in the High Tatra. *Acta Botanica Scientiarum Hungaricae*, Tomus 21(1-2):61-75
- KOL E., EUROLA S., 1973: Red snow in the Kilpisjärvi region, North Finland. *Astarte* 6:75-86
- KOL E., EUROLA S., 1974: Red snow algae from Spitzbergen. *Astarte* 7:61-66
- KOMÁREK J., 2001: Review of the cyanoprokaryotic genus *Romeria*. *Czech Phycology* 1:5-19
- KOMÁREK J., HINDÁK F., JAVORNICKÝ P., 1973: Ecology of the green kryophilic algae from Belanske Tatry Mountains (Czechoslovakia). *Archiv für Hydrobiologie Supplementband* 41, *Algological Studies* 9:427-449
- KOMÁROMY ZS.P., 1982: Application of cluster analysis in the taxonomy of *Scotiella* species (Chlorophyceae). *Archiv für Hydrobiologie Supplementband* 60, *Algological Studies* 29:432-438
- KVÍDEROVÁ J., LUKAVSKÝ J., 2001a: Gradienty - základní charakter prostředí a

- možnosti jejich modelování v laboratoři. Czech Phycology 1: 77-85
- KVÍDEROVÁ J., LUKAVSKÝ J., 2001b: A new unit for crossed gradients of temperature and light. - N. Hedwigia, beih. 123:539-548.
- LING H.U., 2001: Snow algae of the Windmill Islands, continental Antarctica – *Desmotetra aureospora*, sp. nov. and *D. antarctica*, comb. nov. (Chlorophyta). Journal of Phycology 1:160-174
- LING H.U., SEPPELT R.D., 1990: Snow algae of the Windmill Islands, continental Antarctica – *Mesotaenium berggrenii* (Zygnematales, Chlorophyta) - the alga of gray snow. Antarctic Science 2:(2) 143-148
- LING H.U., SEPPELT R.D., 1993: Snow algae of the Windmill Islands, continental Antarctica. 2. *Chloromonas rubroleosa* sp. nov. (Volvocales, Chlorophyta) an alga of red snow. European Journal of Phycology 28:77-84
- LING H.U., SEPPELT R.D., 1998: Snow algae of the Windmill Islands, continental Antarctica. 3. *Chloromonas polyptera* (Volvocales, Chlorophyta). Polar Biology 20:320-324
- LUKAVSKÝ J., 1974: Controlled cultivation of algae on agar plates. Archiv für Hydrobiologie Supplementband 46, Algological Studies 10:90-104
- LUKAVSKÝ J., 1982: Cultivation of chlorococcal algae in crossed gradients of temperature and light. Archiv für Hydrobiologie Supplementband 60(4), Algological Studies 29:517-528
- LUKAVSKÝ J., 1993: First record of cryoseston in the Bohemian Forest Mts. (Šumava). Algological Studies 69:83-89
- MÜLLER T., BLEISS W., MARTIN C.D., ROGASCHEWSKI S., FUHR G., 1998a: Snow algae from northwest Svalbard: their identification, distribution, pigment and nutrient content. Polar Biology 20:14-32
- MÜLLER T., LEYA T., FUHR G., 2001: Persistent snow algal fields in Spitsbergen: Field observations and a hypothesis about the annual cell circulation. Arctic, Antarctic and Alpine Research 1:42-51

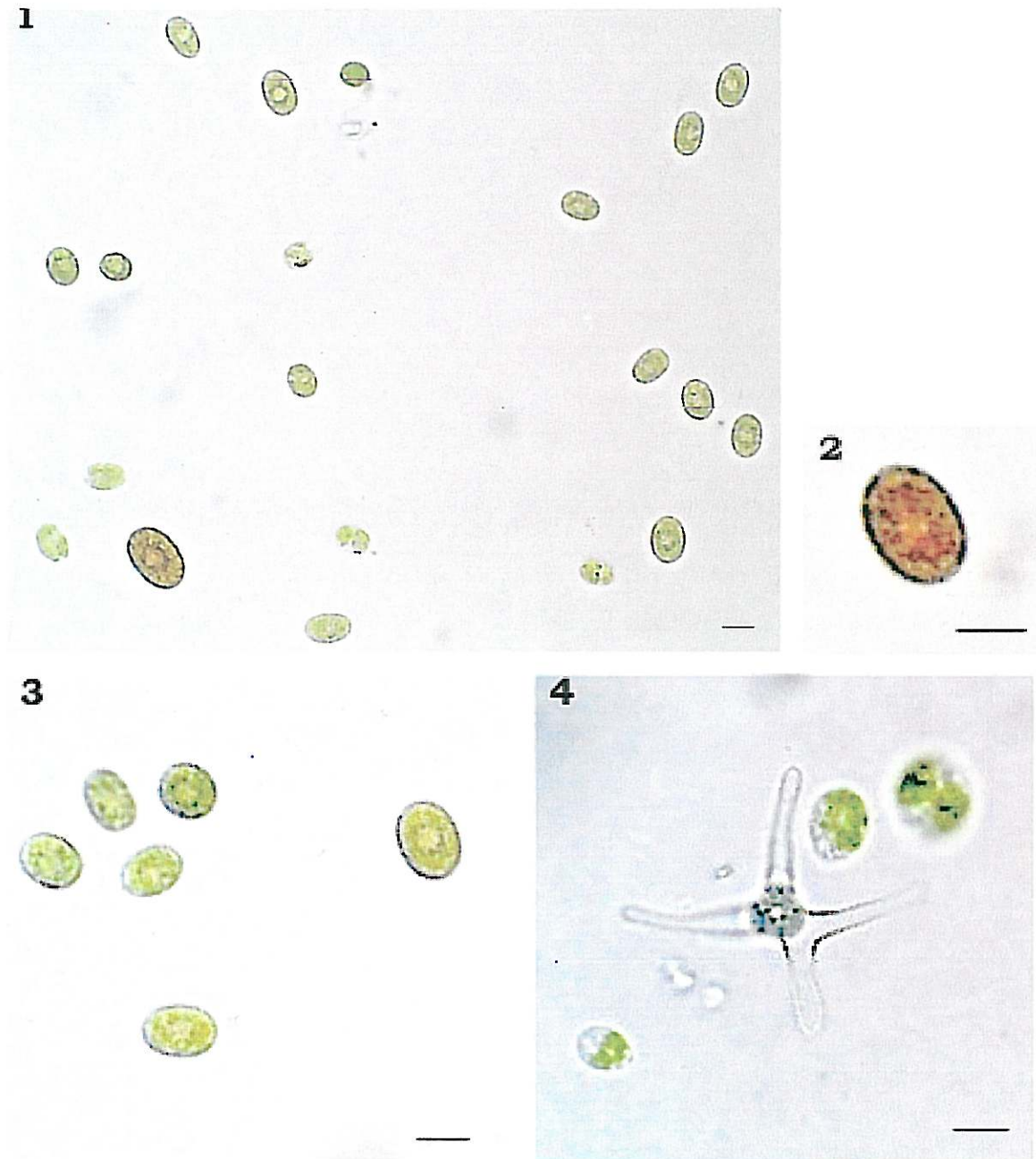


- MÜLLER T., SCHNELLE T., FUHR G., 1998b: Dielectric single cell spectra in snow algae. *Polar Biology* 20:303-310
- NAUMANN E., 1931: Limnologische Terminologie. *Abderhaldens Hdb.biol. Arbeitsmeth. Abh.9. Teil* 8:1-776
- RŮŽIČKA J., 1971: Morphologische Variabilität der Algen, hervorgerufen durch Kultivierungsbedingungen. *Archiv für Hydrobiologie – Suppl. 39, Algological Studies* 4:146-177
- SECKBACH J., OREN A., 2001: Extremophilic microorganisms as candidates for extraterrestrial life. – In: HOOVER R.B. (ed.): *Instruments, methods and missions for Astrobiology III. Proceedings of SPIE, vol. 4137, SPIE – The International Society for Optical Engineering, Bellingham, in press.*
- STAUB R., 1961: Ernährungsphysiologisch – autökologische Untersuchungen an der planktonischen Blaualge *Oscillatoria rubescens* DC.-  
*Schweiz. Z. Hydrol.* 23:82-198a
- THOMAS W.H., DUVAL B., 1995: Sierra Nevada, California, U.S.A., snow algae: snow albedo changes, algal-bacterial interrelationships and ultraviolet radiation effects. *Arctic and Alpine Research* 27:389-399
- WALSH M.M., SECKBACH J., 1999: The versatility of microorganisms. – In: SECKBACH J.(ed.): *Enigmatic microorganisms and life in extreme environments*, 153-162. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- WITROCK V.B., 1883b: Om snöns och isens flora, särskildt i de Arktiska trakterna. – Über die Schnee- und Eisflora, besonders in den arktischen Gegenden. In: A.E.NORDENSKIÖLD, *Studier och Forskningar Föranledda af Mina Resor, Höga Norden*, Stockholm, 65-124, *Bot. cbl.*, 14:158-159, *Bot. Ges.* 7, *Amer. Month. Micr. Journal* 5:139, *Nature* 30:638-640
- YOSHIMURA Y., KOHSHIMA S., OHTANI S., 1997: A community of snow algae on a Himalayan glacier: Change of algal biomass and community structure with altitude. *Arctic and Alpine Research* 29:126-137

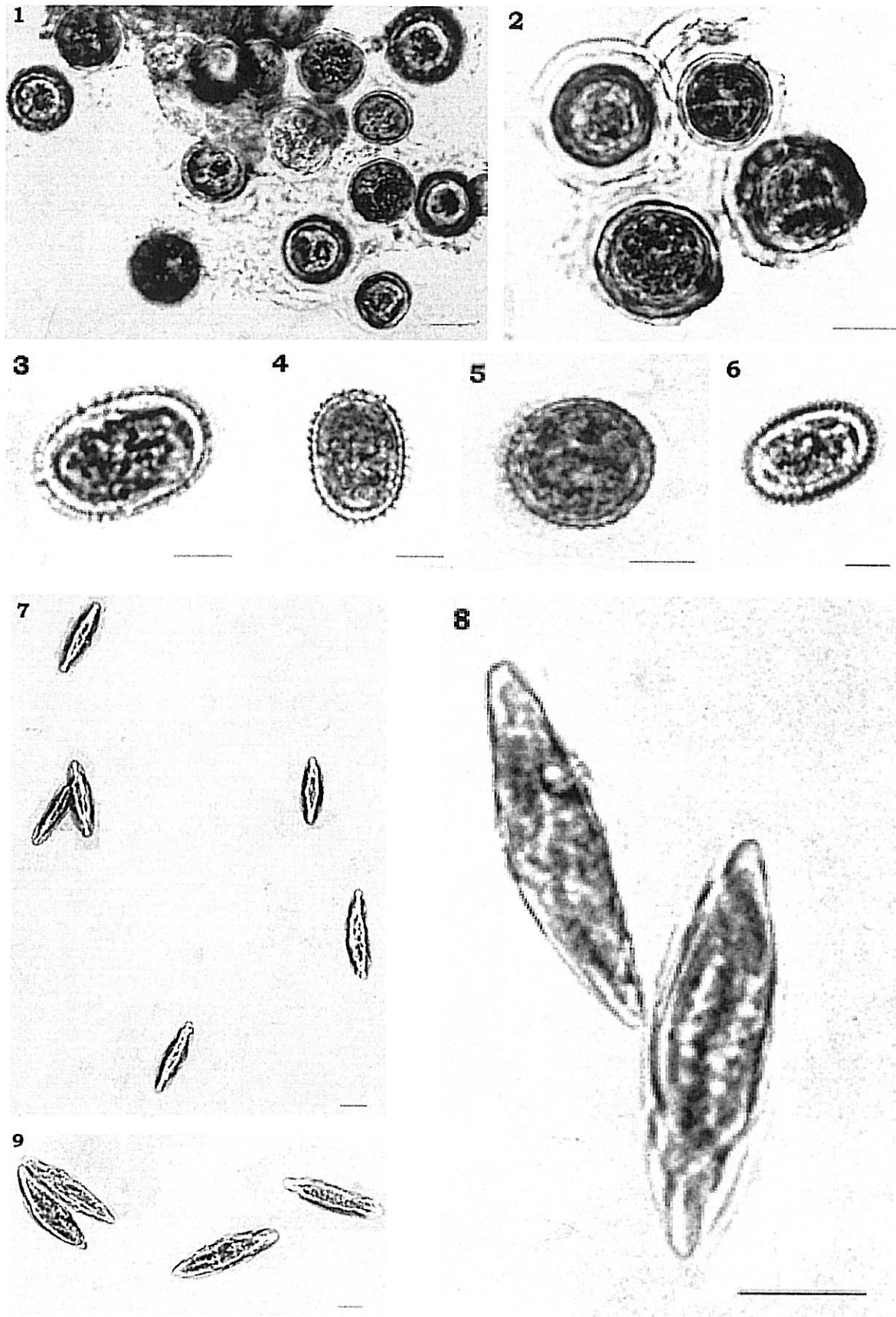
# **Přílohy**



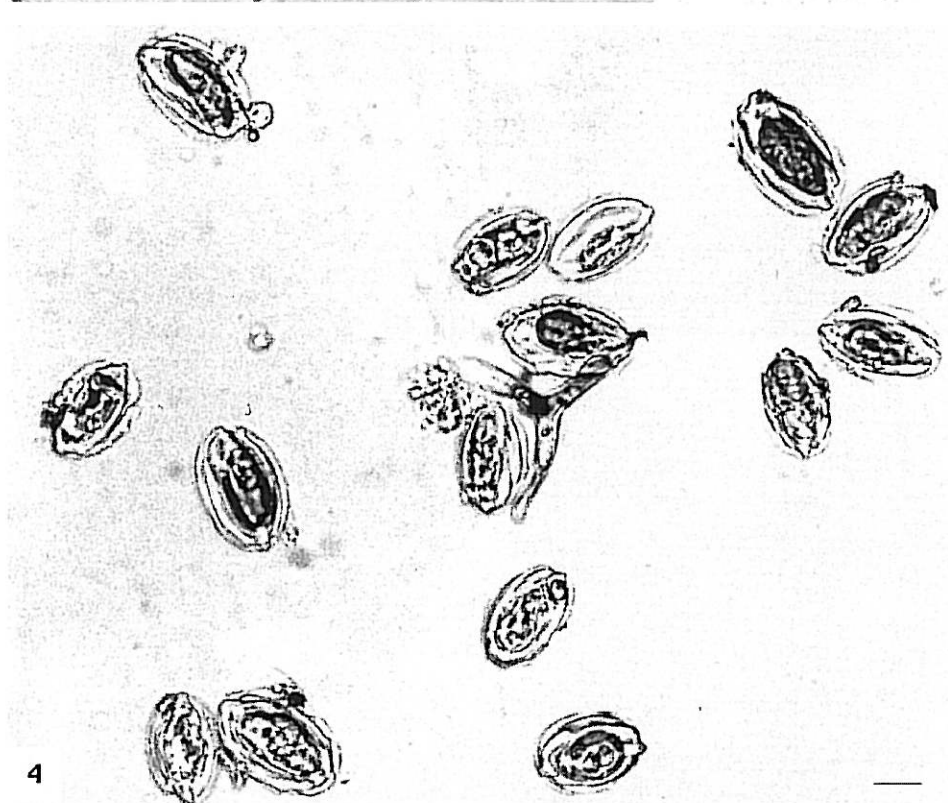
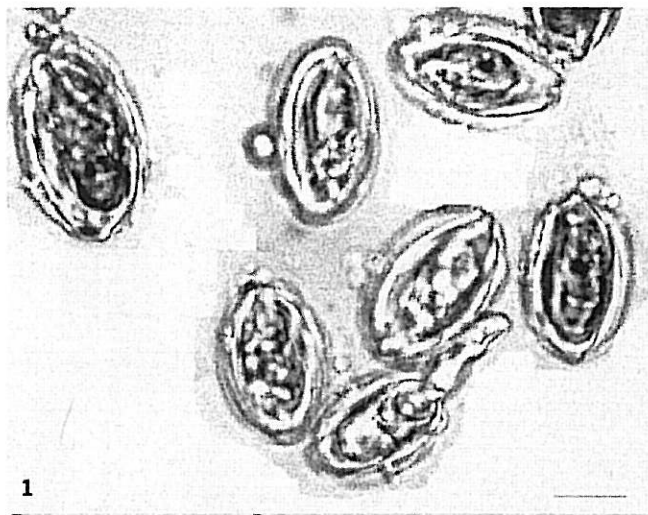
**Příloha 1.** 1-3: *Chloromonas nivalis* – vegetativní bezbičíkaté buňky  
 4: *Chloromonas nivalis* – zygota typu „*Scotiella nivalis*“  
 5-6: *Chloromonas nivalis* – zygoty typu „*Scotiella cryophila*“  
 úsečka = 10  $\mu\text{m}$



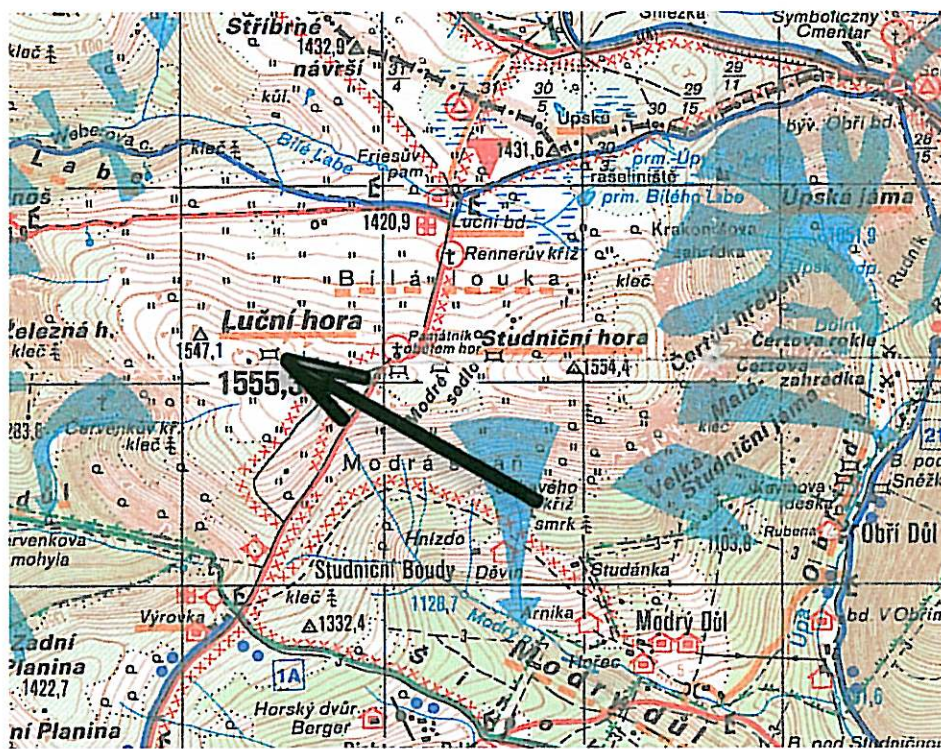
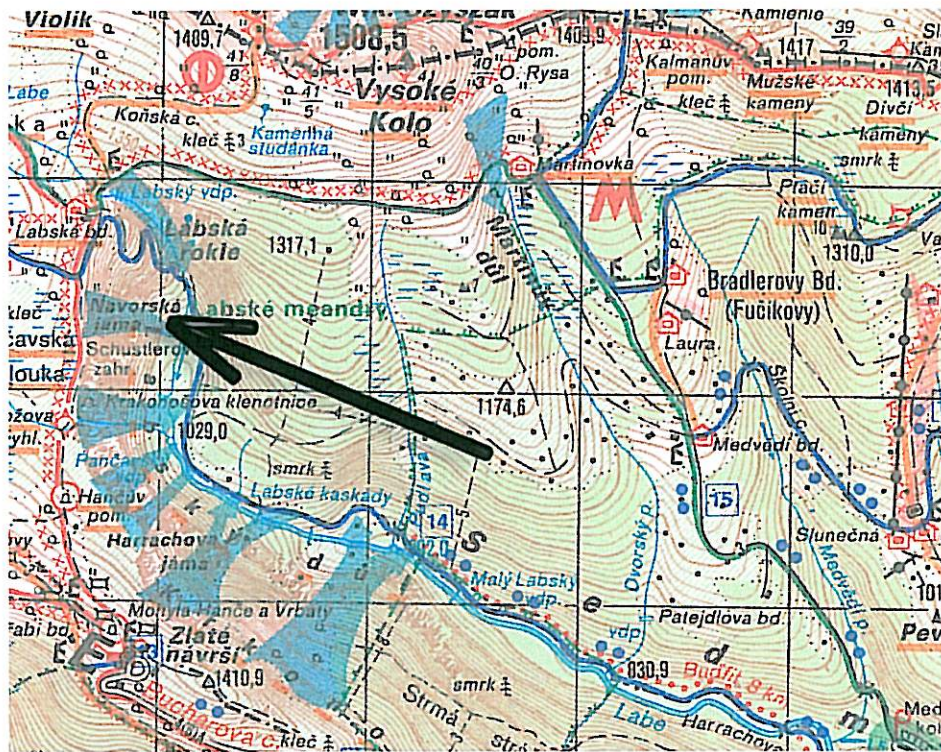
**Příloha 2.** 1-3: *Chloromonas brevispina* – zgoty typu „*Cryocystis brevispina*“  
 4: *Chionaster nivalis* a *Chloromonas nivalis*  
 úsečka = 10  $\mu\text{m}$



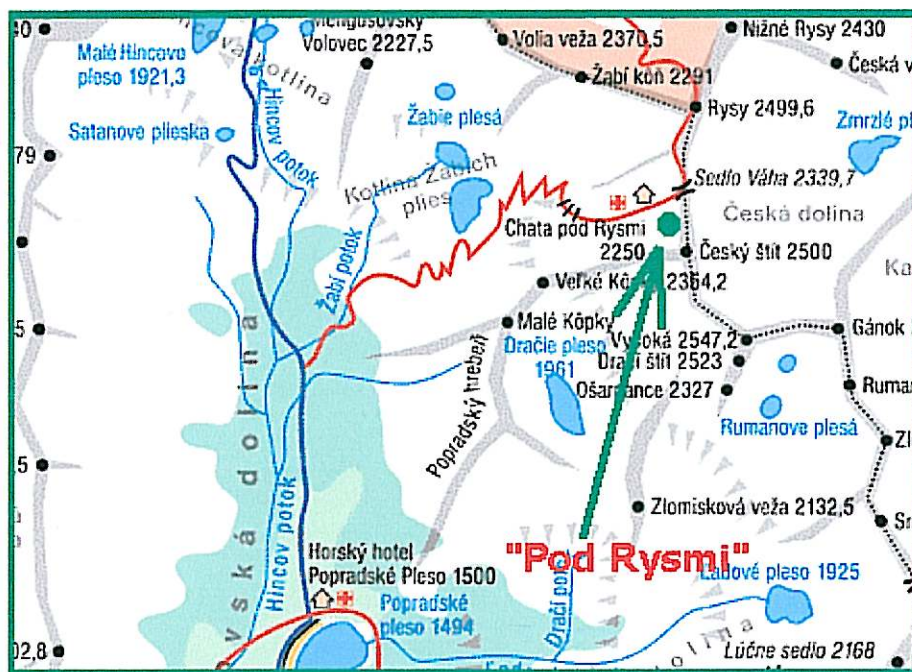
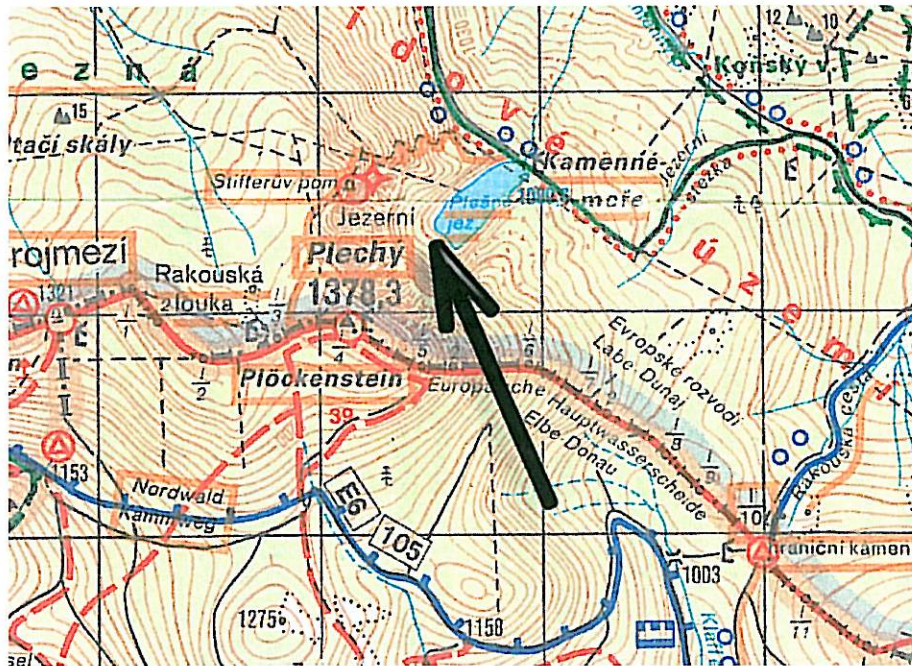
**Příloha 3.** 1-2: *Chlamydomonas nivalis* – zygoty  
 3-6: *Chloromonas brevispina* – zygoty typu „*Cryocystis brevispina*“  
 7-9: *Chloromonas nivalis* – zygoty typu „*Scotiella cryophila*“  
 úsečka = 10  $\mu\text{m}$



**Příloha 4.** 1-3: *Chloromonas nivalis* – zygoty typu „*Scotiella nivalis*“  
 4: *Chloromonas nivalis* a *Chionaster nivalis*  
 úsečka = 10  $\mu\text{m}$



**Příloha 5.** Mapy lokalit Labský důl (nahore) a Luční hora (dole)



**Příloha 6.** Mapy lokalit Plešné jezero (nahore) a Váha (dole)