

Stanovení minerálních prvků ve vybraných druzích sladkovodních řas

Bc. Ivana Zatloukalová

Diplomová práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav biochemie a analýzy potravin

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ivana ZATLOUKALOVÁ**
Osobní číslo: **T080507**
Studijní program: **N 2901 Chemie a technologie potravin**
Studijní obor: **Technologie, hygiena a ekonomika výroby potravin**

Téma práce: **Stanovení minerálních prvků ve vybraných druzích sladkovodních řas**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Charakterizace minerálních prvků.
2. Uvedení metod stanovení minerálních prvků.

II. Praktická část

1. Metodiky stanovení minerálních prvků – AES, F-AAS, ET-AAS, spektrofotometrie.
2. Stanovení minerálních prvků ve vzorcích sladkovodních řas a jejich srovnání s vybranými druhy potravin.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] KALINA T., VÁŇA J. Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii, 1.vyd. Universita Karlova v Praze, Nakladatelství Karoli-num, 2005, ISBN 80-246-1036-1.

[2] VELÍŠEK J. Chemie potravin 2, 1.vyd. Praha, Osis Tábor, 1999, 328 s. ISBN 80-902391-4-5.

[3] Jassby, Alan. Spirulina: a model for microalgae as human food. Algae and Human Affairs. Cambridge University Press, 1988, p. 158.

[4] YU, Q. -- MATHEICKAL, J.T. -- YIN, P. -- KAEWSARN, P.: Heavy metal uptake capacities of common marine macro algal biomass. Water Research. 1999, 33, 1534-1537.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ladislava Mišurcová, Ph.D.

Ústav technologie a mikrobiologie potravin

Datum zadání diplomové práce:

4. ledna 2010

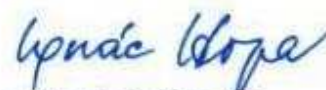
Termín odevzdání diplomové práce:

19. května 2010

Ve Zlíně dne 8. dubna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



prof. Ing. Ignác Hoza, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Bc. Ivana Zatloukalová


Obor: Technologie, hygiena a ekonomika výroby potravin

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 12. 5. 2010


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Řasy jsou považovány za alternativní řešení ve výživě člověka z důvodu vysokého obsahu minerálních prvků, vitaminů a bílkovin. Diplomová práce byla zaměřena na stanovení obsahů minerálních prvků ve sladkovodních řasách, které byly srovnány s významnými zdroji těchto prvků v potravinách. Byly stanoveny makrobiogenní, oligobiogenní, mikrobiogenní a toxické prvky pomocí plamenové F-AAS, F-AES, bezplamenové ET-AAS a spektrofotometrie.

Klíčová slova:

Řasy, minerální prvky, F-AAS, F-AES, ET-AAS, spektrofotometrie.

ABSTRACT

Algae are considered to be alternative solution to human nutrition because they are full of mineral elements, vitamins and proteins.

The Master thesis focused on determination of the contents of mineral elements in freshwater algae and they were compared to important source of these elements in foods.

Macro-biogenic, oligo-biogenic, mikro-biogenic and toxic elements were analysed by the following methods: flame F-AAS, F-AES, flameless ET-AAS and spectrophotometry.

Keywords:

Algae, minerals, F-AAS, F-AES, ET-AAS, spectrophotometry.

Tímto děkuji vedoucí mé diplomové práce Ing. Ladislavě Mišurcové, Ph.D., a to za její odborné vedení, podnětné připomínky a rady.

Mé díky patří také paní Ivaně Stratilové z laboratoře Agrotest fyto, s.r.o. Kroměříž za její spolupráci při stanovení minerálních prvků v řasách.

V neposlední řadě děkuji Ing. Magdě Sergejevové, PhD. a doc. RNDr. Jiřímu Masojídkovi, CSc. z Ústavu fyzikální biologie JČU ČB v Nových Hradech a z MÚ AV ČR v Třeboni za poskytnutí vzorků sladkovodních řas a sinic.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné. Na diplomové práci jsem pracovala samostatně a použitou literaturu citovala. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uvedena jako spoluautorka.

Ve Zlíně dne 12. 5. 2010

.....

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 ŘASY	13
1.1 ŘASY JAKO PRODUCENTI LÁTEK NEGATIVNĚ OVLIVŇUJÍCÍ PŘÍRODNÍ PROSTŘEDÍ.....	15
1.2 ŘASY, JEJICH VYUŽITÍ, AKVAKULTURA A BIOTECHNOLOGIE.....	16
1.3 ZELENÉ ŘASY – CHLOROPHYTA	18
1.3.1 Chlorella.....	19
1.3.2 Scenedesmus	21
2 SINICE – CYANOBACTERIA	23
2.1 EKOLOGIE A ADAPTABILITA SINIC.....	24
3 MINERÁLNÍ LÁTKY	29
3.1.1 Makrobiogenní minerální prvky.....	32
3.1.2 Oligobiogenní minerální prvky	33
3.1.3 Mikrobiogenní minerální prvky	35
3.1.4 Toxické prvky	38
4 ROZKLAD BIOLOGICKÉHO MATERIÁLU	41
4.1 MINERALIZACE NA MOKRÉ CESTĚ.....	41
4.2 METODY ROZKLADU NA SUCHÉ CESTĚ.....	41
4.3 MIKROVLNNÉ ROZKLADY	42
5 METODY STANOVENÍ MINERÁLNÍCH PRVKŮ	44
5.1 SPEKTROFOTOMETRIE.....	44
5.2 METODY ATOMOVÉ ABSORBČNÍ SPEKTROMETRIE AAS	44
5.3 ATOMOVÁ EMISNÍ SPEKTROMETRIE AES.....	45
5.4 ELEKTROTERMICKÉ ATOMIZÁTORY ET - AAS.....	47

II	PRAKTICKÁ ČÁST	48
6	CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	49
7	METODIKA PRÁCE	50
7.1	MATERIÁL	50
7.2	STANOVENÍ MINERÁLNÍCH PRVKŮ	50
7.2.1	Mineralizace vzorků.....	51
7.2.1.1	<i>Mineralizace mokrou cestou</i>	51
7.2.1.2	<i>Uzavřený mikrovlnný rozklad</i>	52
7.2.2	Stanovení minerálních prvků	53
7.2.2.1	<i>Stanovení prvků spektrofotometricky</i>	53
7.2.2.2	<i>Stanovení prvků metodou F-AAS acetylen – vzduch</i>	57
7.2.2.3	<i>Stanovení vápníku AES acetylen – N₂O</i>	59
7.2.2.4	<i>Stanovení prvků metodou ET-AAS</i>	60
8	VÝSLEDKY A DISKUSE	62
8.1	STANOVENÍ MAKROBIOGENNÍCH PRVKŮ.....	62
8.2	STANOVENÍ OLIGOBIOGENNÍCH MINERÁLNÍCH PRVKŮ	67
8.3	STANOVENÍ MIKROBIOGENNÍCH MINERÁLNÍCH PRVKŮ	69
8.4	STANOVENÍ TOXICKÝCH PRVKŮ.....	73
	ZÁVĚR	76
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	78
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	84
	SEZNAM OBRÁZKŮ	86
	SEZNAM TABULEK	87
	SEZNAM PŘÍLOH	88

ÚVOD

Sinice a řasy zaujímají důležité místo v koloběhu látek a energie, probíhající v přírodě. Autotrofní sinice a řasy jsou hlavními primárními producenty organické hmoty ve vodním prostředí. Setkáváme se s nimi na počátku všech potravních řetězců, které zahajují vodní bezobratlí živočichové jako primární konzumenti, na něž jsou vázáni konzumenti vyšších trofických stupňů.

Sinice a řasy svým intenzivním růstem často zvýrazňují negativní vlivy zhoršujícího se životního prostředí. Narůstající eutrofizace moří a pevninských vod umožňuje vysokou produktivitu sinic a řas. Tím se kvalita vody dále zhoršuje, neboť je ovlivňována toxiny, jež některé druhy sinic produkují, ale také látkami uvolňovanými z živých i odumírajících buněk.

Zcela jinak hodnotíme význam jednoduchých organismů z hlediska nástupu mikrobiální biotechnologie. Nové postupy, které zčásti navazují na zkušenosti kvasné výroby a přípravy antibiotik, umožňují získat cenné biologicky aktivní látky z kultur vhodných druhů sladkovodních řas a sinic. Hledání produktivních kmenů probíhá současně s pokusy, používajícími genovou manipulaci při šlechtění specializovaných kmenů. Jedním z úspěchů této cesty jsou kvasinky, produkující heparin, bílkovinu snižující srážlivost krve, získávanou dosud jen z pijavek.

Biologicky aktivní látky z řas a sinic jsou látky s mnoha zdravotními účinky, od prevence proti rakovině až k léčbě onemocnění dýchacích cest. Buňky mořských řas obsahují balastní látky, které povzbuzují imunitní systém a tím pomáhají předcházet rakovině, zabraňují nebo zmírňují virová onemocnění např. chřipku, herpes nebo onemocnění dýchacích cest. Mořské řasy, a v nich obsažené algináty, vážou v těle radioaktivní částice, které mohou být příčinou zmenšené produkce bílých a červených krvinek a tím zodpovědné za propuknutí rakoviny kostí a leukémii. Pravidelná konzumace mořských řas může stabilizovat střevní flóru, chránit žaludeční a střevní sliznici, normalizovat zažívání, předcházet rakovině střev, může snížit hladinu cholesterolu nebo ji udržovat nízkou a zmírnit tak riziko onemocnění srdečního oběhu. Díky vysokému obsahu vápníku působí řasy i proti osteoporóze. Mohou snížit zvýšený krevní tlak, zmírnit revma a artrózu či kožní onemocnění. Působí příznivě i proti únavě a vyčerpání, zabezpečují přirozeným způsobem zvýšenou potřebu minerálních látek během těhotenství nebo sportovního tréninku.

Cílem mé diplomové práce bylo stanovení minerálních prvků ve sladkovodních řasách a zhodnotit jejich množství ve srovnání s významnými zdroji těchto minerálních prvků v potravinách.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ŘASY

Řasy, latinsky *Algae*, řecky *Phykos*, představují skupinu, která – nehledě na současné systematické zařazení do čtyř říší – má řadu podobných vlastností jako biotická skupina. Studium řas se zabývá algologie, často též nazývaná fykologie. V české odborné literatuře se používá spojení „sinice a řasy“, což ukazuje na rozdíl mezi prokaryotními sinicemi a eukaryotními řasami. Jako řasy uvádí Van den Hoek et. al. (1995) systematické skupiny obsažené v následující tabulce (Tab. 1) [1].

Tab. 1. Přehled řasových oddělení a jejich současné zařazení [1,2].

Doména	Říše	Oddělení	Třída, rod
Bacteria	Bakterie (Bacteria)	Sinice (Cyanobacteria)	Cyanophyceae (r. <i>Arthrospira</i>)
Eukarya	Prvoci (Protozoa)	Eugleny (Euglenophyta) Obrněnky (Dinophyta) Chlorarachniophyta	Euglenophyceae Dinophyceae r. <i>Chlorarachnion reptans</i>
	Chromista	Skrytěnky (Cryptophyta) Heterokontophyta	Cryptophyceae Fucophyceae – hnědé řasy
	Rostliny (Plantae)	Glaucophyta Ruduchy (Rhodophyta) Zelené řasy (Chlorophyta)	r. <i>Cyanophora paradoxa</i> Rhodophyceae Prasinophyceae Chlamydomphyceae Chlorophyceae – zelenivky (r. <i>Scenedesmus</i>) Trebouxiophyceae (r. <i>Chlorella</i>) Ulvophyceae – kadeřnatky Zygnematophyceae Charophyceae – parožnatky

Řasy jsou velmi rozmanité a vysoce specializované skupiny organismů, pro jejichž taxonomické rozdělení jsou využívány nové poznatky molekulární biologie a také jejich morfologické odlišnosti [1].

Chloroplasty řas obsahují sadu biochemicky a funkčně odlišných fotosyntetických pigmentů, z nichž nejdůležitější je chlorofyl. Vyskytuje se ve čtyřech formách označených jako chlorofyl *a*, chlorofyl *b*, chlorofyl *c* a chlorofyl *d*. Chlorofyly jsou zelené pigmenty uložené v tylakoidech [1,2].

Další významnou složkou fotosyntetických pigmentů jsou červenooranžové nebo žluté pigmenty, karotenoidy. Rozdělují se do dvou skupin, na karoteny a xantofyly. Karotenoidy mají v chloroplastech různé funkce. Jsou součástí světlosběrné antény absorbující světelné záření v širší oblasti než chlorofyly, a tím zvyšují přísun fotonů pro fotosyntézu. Základem molekuly karotenoidů jsou izoprenové subjednotky, které v případě karotenu neobsahují atomy kyslíku. Xantofyly jsou oxidační produkty karotenu. U všech skupin řas je přítomen β -karoten. Další formy karotenu (karoteny α , β a γ) mají omezené rozšíření. Jednou z funkcí karotenů je ochrana před škodlivým UV zářením a eliminace volných radikálů. Xantofyly tvoří rozsáhlou skupinu asi 30 látek, které byly identifikovány v plastidech řas [1].

Bez ohledu na systematické zařazení vykazují řasy podobný vývoj buněk a stélek. Stélkou je nazýváno tělo řas. Jedná se o jednobuněčné nebo mnohobuněčné organismy, které narozdíl od rostlin nemají vyvinuté kořeny, stonek a listy. Podle stavby rozlišujeme několik základních typů stélek:

- **Bičíkatá stélka** (monadoidní) je jednobuněčná, jednojaderná stélka bičíkovců. Mají polární stavbu buněk. Na předním konci zpravidla vyrůstají bičíky, zadní konec bývá zaoblený. Povrch kryje buněčná stěna. Buňka mívá kapkovitý tvar. Příkladem je pláštěnka *Chlamydomonas*.
- **Rhizopodová stélka** je jednobuněčná, jednojaderná nebo mnohojaderná (plazmodium) měňavkovitá stélka řas. Tvoří panožky (pseudopodia) různého typu, které slouží k pohybu a hlavně k zachycování potravy. Tyto stélky se vyskytují ve třídách *Chrysophyceae*, *Xanthophyceae* a v oddělení *Chlorarachniophyta*.
- **Kapsální nebo gleomorfní stélka** je odvozena od stélky monadoidní. Je jednojaderná, často s polární stavbou. U některých druhů vyrůstají pseudocilie, bičíky. Mnohé žijí ve slizových koloniích. Příkladem je rod *Hydrurus* (oddělení *Chromophyta*, třída zlativky).
- **Kokální stélka (buněčná)** je jednobuněčná a jednojaderná, s pevnou, často vícevrstevnou nebo mineralizovanou buněčnou stěnou. Příkladem může být *Chlorella*.

- **Vláknitá, trichální stélka** je mnohobuněčná stélka tvořená řadou jednojaderných buněk. Může být jednoduchá nebo rozvětvená. Například řád *MicrospORAles* a *Oedogoniales* (třída *Chlorophyceae*).
- **Heterotrichální stélka** je odvozena od trichální stélky. Je to mnohobuněčná, vláknitá rozvětvená stélka s morfoloGicky a funkčně rozlišenými hlavními a postranními větvemi.
- **Pseudoparenchymatická (pletivná) stélka** je odvozena od jednoduchého nebo heterotrichálního vlákna. Příkladem pletivné stélky je hnědá řasa *Laminaria*.
- **Sifonokladální stélka** je vláknitá nebo vakovitá, jednoduchá nebo větvená, sestávající z četných mnohojaderných buněk. Jaderná dělení probíhají nezávisle na dělení buněčném. Příkladem je žabí vlas *Cladophora*.
- **Sifonální stélka (trubicovitá)** je vakovitá nebo vláknitá, vždy mnohojaderná, bez příčných přehrádek. Příkladem může být rod *Caulerpa* nebo rod *Vaucheria*.

Stélky řas se vyvíjely od jednoduchých ke složitějším typům. V každém oddělení jsou řasy s jedním nebo několika různými typy stélek. U většiny oddělení řas považujeme za výchozí monadoidní stélku, tedy bičíkovce. Výjimku tvoří ruduchy (Rodophyta), kde žádní bičíkovci ani bičíkatá stádia neexistují [1,12,67].

1.1 Řasy jako producenti látek negativně ovlivňující přírodní prostředí

Sinice a řasy produkují do prostředí celou řadu látek, u řas jsou to např. látky typu aminokyselin, polysacharidů i některých enzymů. Přijímáním živin rozpuštěných ve vodě se mohou významně podílet na samočisticích procesech ve vodě.

V případě přemnožení však mohou měnit technologické vlastnosti vody a omezit její využití. Negativně tak ovlivňují kvalitu přírodního i životního prostředí tvorbou toxinů, z nichž mnohé jsou nebezpečné pro člověka. Vzestupná tendence nárůstu řas a sinic ve vodách a nádržích, zaznamenaná v minulých 20-30 letech, je primárně spojena se zvýšeným přísunem živin, tedy s procesem označovaným jako eutrofizace. Jejím přímým důsledkem je zvýšený růst sinic a řas. V mořském prostředí se jedná zejména o litorál a sublitorál, výrazně postižené jsou oblasti moře v deltách velkých řek, hustě obydlené pobřeží atd. [1,4].

Totéž platí o vodách kontinentálních, sladkých a brakických, zatížených nejen odpadními vodami sídlišť a městských aglomerací, ale také zemědělskou činností, odpadními vodami z průmyslových podniků ap. Zvýšená produkce řas se projevuje například jako vodní květy sinic, vznášejících se při hladině v důsledku přebytku některých živin, především fosforu a dusíku během letního období [1,4].

Jednobuněčné a vláknité zelené řasy mohou tvořit nepříjemné zelené nárosty na přehradních hrázích, stavbách, památkách ap., jejichž povrch narušují agresivní kyselinou uhličitou, vznikající při respiraci. Zvláštní skupinu tvoří invazivní mořské druhy, které znehodnocují rekreační pláže, porůstají trupy lodí a přístavní konstrukce [1].

1.2 Řasy, jejich využití, akvakultura a biotechnologie

Sinice a řasy jsou dlouhodobě využívány v různých oblastech lidské činnosti. V zemích Dálného východu (Korea, Čína, Japonsko) jsou sinice i řasy tradiční součástí lidských pokrmů. První zmínky o pěstování jedlé ruduchy *Porphyra* v Tokijském zálivu jsou z roku 1670. Dlouhou historii mají pokrmy z řas na Britských ostrovech, v Jižní a Severní Americe [1].

V nehostinných poměrech Faerských ostrovů slouží řasy vyvržené příbojem za potravu kozám, lidé ji používají při vytápění svých příbytků. V 20. letech minulého století sloužily mořské řasy jako surovina pro výrobu potaše, sody a jódu. Proces byl spojen se spalováním řas a následnou extrakcí požadovaných látek. Komerční využití má vápenaté hnojivo maerl. Jedná se o kalcifikované stélky bentických ruduch. Tento materiál tvoří na pobřeží Bretaně a jižního Irsku vrstvy o mocnosti 2 m [1].

V 80. letech minulého století bylo využití nejrůznějších sinic a řas spojeno s programy, které řešily problémy výživy lidstva. Při kultivaci jedlých mořských makrofytických řas se uplatnila selekce nejvhodnějších kmenů. Jednou z oblastí rozsáhlého využití sinic je alginizace rýžových polí v Indii. Zvýšení výnosů rýže zajišťuje substrát obohacený sinicemi řádu Nostocales, které mají schopnost fixovat dusík. Ze stejných důvodů se používá i „zelené hnojení“ vodní kapradinou *Azolla*, obsahující symbiotické sinice [1].

Sedimentací organických těl planktonních organismů vznikají na dně sladkovodních i slaných jezer bahnitě usazeniny – peloidy, hojně využívané k léčebným účelům. Příznivý léčebný účinek na nemoci pohybového ústrojí je dán především příznivým obsahem

minerálních a organických látek. Přítomnost organických látek je ve výlučné míře dána především činností sinic. Léčebnými účinky je známo především piešťanské bahno, kde jsou to právě porosty sinic, které jsou prakticky jediným zdrojem organické hmoty, jež ovlivňuje oxidoredukční pochody v bahně, významné pro jeho působení a regeneraci. V piešťanském léčivém bahně rostou *Oscillatoria princeps*, *Oscillatoria tenuis*, *Oscillatoria chalybea*, *Chara pistaniensis*, *Cladophora*, *Spirogyra* a jiné řasy, které jako přirozený dodavatel organické hmoty urychlují zrání bahna [4,5].

Extrakty z některých řas mají antibiotické účinky. Algináty, agary a karagenany, extrakty získávané z hnědých řas a červených mořských řas, mají v současnosti velice široké uplatnění v různých odvětvích lidské činnosti [4].

Algináty

Algináty jako potravinářské tužidlo zpevňují cukrářské a potravinářské výrobky, kde mohou nahradit agar nebo želatinu. Dříve se algináty využívaly k impregnaci látek, jako přídavek do betonu ve stavebnictví, při výrobě mýdel ap.[4].

Mořské řasy vážou v těle radioaktivní částice a jedy z životního prostředí. V Americe se již po dlouhou dobu dělají výzkumy na hnědých řasách zvaných kelp. Bylo zjištěno, že tyto hnědé řasy mají ochranný účinek proti stronciu 90 – radioaktivnímu prvku, usazujícímu se v mléce, a z něho pak spolu s vápníkem v kostech. Na základě své zvláštní struktury mohou mořské řasy a v nich obsažené algináty, vázat radioaktivní stroncium 90. Pravidelné dávky těchto řas v lidské dietě by mohly vést k odbourání radioaktivních částic již vestavěných v kostech, které mohou být příčinou zmenšené produkce bílých a červených krvinek i propuknutí rakoviny kostí a leukémie [6].

Agar

Agar je po chemické stránce polysacharid získávaný z ruduch. Díky svým vlastnostem nachází agar široké uplatnění ve farmacii, v lékařství, v mikrobiologii, v papírenském a v chemickém průmyslu. V potravinářství nahrazuje pektin a želatinu, zahušťuje pokrmy, ztužuje cukrářské výrobky a používá se ke konzervaci ryb. V poslední době nachází agar široké uplatnění také jako součást dietetických programů. Hlavní složka agaru galaktosa je málo stravitelná. Agar tak podporuje trávení a zároveň slouží jako projímadlo [4].

Karagenan

K zahušťování masť, výrobě masť v kosmetickém a farmaceutickém průmyslu se využívá karagenan získávaný z mořských ruduch. Od agaru se liší větším obsahem popelovin a síranů. Mořské řasy, především chaluhy a ruduchy byly hojně, vzhledem ke svému obsahu jodu, potaše a sody, využívány jako zdroj těchto látek [4].

Střední Evropa se počítá k oblastem s nedostatkem jódu a rostlinnými a živočišnými potravinami se nedá denní potřeba jódu pokrýt. Toto nedostatečné zásobení jódem může způsobit kromě poškození mozku, rizika potratu, zpomaleného růstu nenarozeného dítěte, komplikací během porodu i sníženou funkci štítné žlázy. Bylo zjištěno, že i když se sůl jodizuje, lépe je lidským organismem jód přijímán a zhodnocován ve své přirozené formě v mořských řasách, které díky velkému množství jódu, mohou pomoci při léčbě hypotyreózy, což je tendence tloustnout v důsledku nedostatečné činnosti štítné žlázy (struma) [4,6].

Lidská spotřeba různých druhů řas se osvědčila při snižování výskytu chronických onemocnění např. cukrovky, obezity, srdečních chorob, rakoviny atd. Protože tyto přírodní zdroje jsou významné obsahem sacharidů, proteinů, vitaminů a minerálů, je zajímavé ocenit možnost jejich použití také jako alternativní potraviny, dnes označované jako potraviny nového typu. Případně mohou sloužit jako náhrada drahých potravinových zdrojů [7,8,9,10,11].

Zároveň jsou známé i negativní zdravotní důsledky, které souvisí s vysokým procentem nukleových kyselin v preparátech řas *Spirulina* i *Chlorella*. Denní dávka nesmí proto překročit 50 g u řasy *Spirulina* a 30 g u řasy *Chlorella* [12].

1.3 Zelené řasy – Chlorophyta

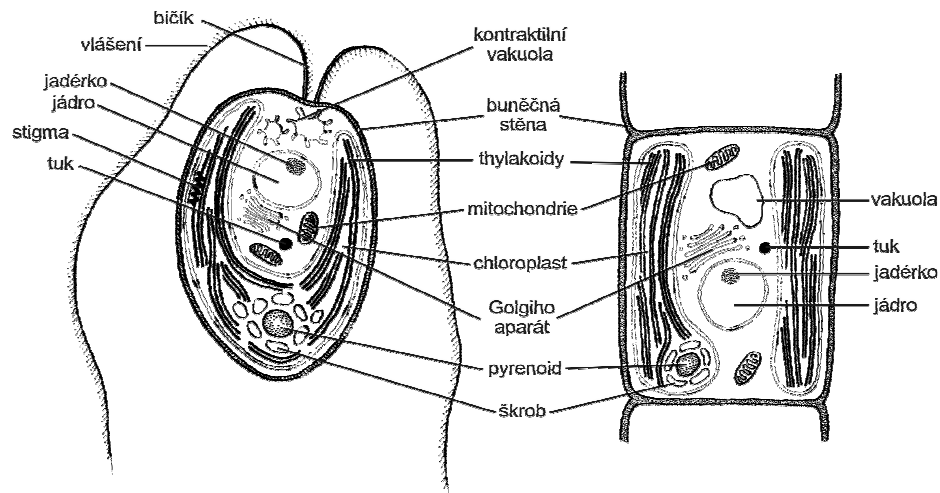
Zelené řasy představují rozsáhlou skupinu, u nichž – vedle bičíkovců a jednobuněčných řas – shledáme téměř všechny typy stélek. Výjimku představují parožnatky, které jsou v současné době řazeny do zvláštní vývojové linie, Streptophytae. Zelené řasy žijí převážně ve vodním prostředí, jen některé druhy najdeme v povrchových vrstvách půdy, na borce stromů nebo na povrchu skal, v tropech i na povrchu listů [1].

Stavba buňky

Fotosyntetickými pigmenty jsou *chlorofyl a* a *b*, α a β -karoten a několik karotenoidů. Poměr chlorofylů *a* a *b*, α a β -karotenů je stejný jako u vyšších rostlin. Barva chloroplastů je jasně zelená [1]. Mimo zelená barviva mohou být přítomny lutein, zeaxantin, violaxanthin, anteraxanthin a neoxanthin. Chloroplast má dvě obalené membrány a 2-6 thylakoidů v jedné lamele. V chloroplastu se nevyskytují grana jaká známe u vyšších rostlin [1,2,4].

Nejdůležitější zásobní látkou je škrob, vyskytující se ve tvaru zrněk v chloroplastu, případně i na pyrenoidu spolu s celou řadou enzymů ve formě škrobových destiček. Jako doplňkové zásobní látky se vyskytují monosacharidy a disacharidy a jejich deriváty (alkoholy aj.) a polyfosfátová zrna (volutin). Buněčná stěna je převážně z celulosy, občas je buňka nahá, tj. její povrch pokrývá pouze plazmatická membrána, občas je tvořena submikroskopickými šupinami z organického materiálu, případně s glykoproteinovou chlamys nebo je buněčná stěna polysacharidová. Vzácně mají lichý počet bičíků, většinou jsou dva nebo čtyři. Bičíky jsou stejnocenné, s jemným vlášením [12,4].

Pohlavní proces není závaznou součástí životního cyklu, který je haplontní. Pokud se uskuteční, pak je zygota jen jedinou diploidní buňkou v buněčném cyklu [1,2].



Obr. 1. Chlorophyta – stavba bičíkaté a vláknité buňky [2].

1.3.1 Chlorella

Rod *Chlorella*, zelenivka žijící ve vodě i v půdě, patří mezi biotechnologicky významné řasy. Jednotlivé buňky jsou malé, kulovité jednobuněčné řasy o průměru buněk 2 – 12 μm

s miskovitým nebo hrncovitým chloroplastem s pyrenoidem. Rozmnožování se děje autosporami. Autospory vznikají rozpadem blány. Buňky jsou obklopeny slizovou vrstvou. Některé žijí jako zoochlorelly uvnitř těl jiných organismů, jako jsou ploštěnky, nálevníci, nezmar a jiní láčkovci, v sladkovodních houbách, ploštěnkách aj. Druh *Chlorella vulgaris* žije v planktonu tůní [12,13].

Často se pěstuje ve velkoobjemových kulturách a získaná biomasa se upravuje k různým účelům. Používá se jako přírodní léčivo, jako přísada do kosmetických přípravků a do krmných směsí v zemědělství. Z kultur sladkovodních řas lze extrahovat látky, které mají buď brzdící, nebo podněcující účinek na jiné organismy. Kolem roku 1944 byla z buněk zelené řasy *Chlorella* získána termolabilní, v chloroformu a benzenu rozpustná látka, nazvaná c h l o r e l l i n. Má zřetelné antibiotické účinky na různé bakterie, např. na *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* a *Shigella dysenteriae* [12,5].



Obr. 2. Dělicí se buňky rodu *Chlorella* [14].

Chemické analýzy ukázaly, že řasy jsou bohaté na vitaminy a obsahují plnohodnotné bílkoviny. Obsah bílkovin a tuků závisí na kultivačním prostředí a jejich množství lze měnit vhodnou volbou podmínek. *Chlorella* může obsahovat 7 až 88 % bílkovin (průměrně kolem 50 %), 6 až 38 % sacharidů a 4 až 85 % tuků. Bílkoviny řas obsahují všechny důležité esenciální aminokyseliny, z nichž některé se vyskytují v limitujícím množství např. methionin a lysin [5,14].

Taxonomické rozdělení vyšetřovaného druhu řas:

Doména: Eukarya

Říše: Rostliny (Plantae)

Oddělení: Heterokontophyceae

Třída: Trebouxiophyceae

Řád: Chlorellales

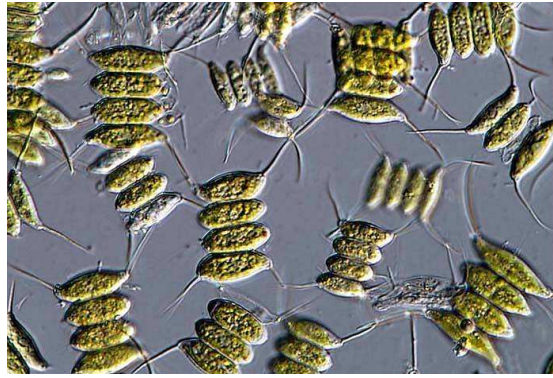
Rod: *Chlorella*

Druh: *Chlorella kessleri*

1.3.2 Scenedesmus

Rod *Scenedesmus* je na druhy nejbohatší rod zelených řas, který obsahuje až cca 150 druhů. Většinou zahrnuje planktonní druhy. Vytváří vícebuněčná cenobia s buňkami v jedné nebo dvou řadách. Jednotlivé buňky mají elipsoidní či vřetenovitý tvar a jsou uspořádány rovnoběžně podél delších os v řetízkovité kolonie. Ty jsou složeny nejčastěji ze 4 – 8 buněk. Blána buněk je buď hladká, nebo různě strukturovaná, drsná, tečkovaná, bradavičnatá, ostnitá, zvláště pak v okrajových částech buněk bývají často dlouhé ostny – *S. quadricauda* nebo krátké výběžky – *S. denticulatus*. Rozmnožování se děje autocenobii. *Scenedesmus* je velice variabilní rod, žijící v nejrůznějších vodních biotopech, hlavně ve vodách saprobních. Vyskytuje se také v mořích, kde je koncentrace soli nižší, např. při pobřeží Černého moře [2,4,5,13].

Tento rod zelených řas je významný svým obsahem důležitých nutričních látek. V sušině *Scenedesmus obliquus* byl zjištěn obsah vitamínu B₂ 38 µg, kyseliny panthotenové 12 µg, kyseliny nikotinové 72 µg a leucovorinu 22 µg. Obsahuje také velké množství karotenoidů luteinu a zeaxantinu 90 až 95 % [5,16].



Obr. 3. *Scenedesmus opoliensis* [17].

Taxonomické rozdělení vyšetřovaného druhu řas:

Doména: Eukarya

Říše: Rostliny (Plantae)

Oddělení: Chlorophyta

Třída: Chlorophyceae

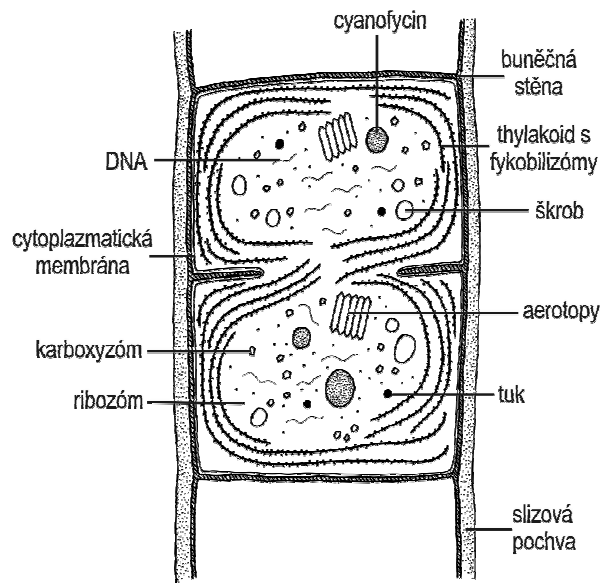
Řád: Chlorococcales

Rod: *Scenedesmus*

Druh: *Scenedesmus quadricauda*

2 SINICE – CYANOBACTERIA

Sinice jsou prokaryotní autotrofní organismy s fotosyntézou rostlinného typu, provázenou produkcí kyslíku. Jejich stélky jsou jednobuněčné nebo vláknité, v obou případech mohou žít jednotlivě nebo tvořit kolonie. Na rozdíl od eukaryotních buněk nemají sinice buněčné jádro ani buněčné organely, tj. chybějí chloroplasty, mitochondrie, diktyozomy (Golgiho tělíska). Sinice nemají mikrotubuly, cytoskelet ani žádný druh bičků. DNA je obsažena v nukleoplazmatické oblasti, podobné nukleoidu bakterií. Sinice obsahují fotosyntetická barviva tj. chlorofyl a, β -karoten, fykocyjanin a fykoerytrin, ve specializovaných membránách, tylakoidech, volně uložených v plazmě. Zásobní látky např. polysacharidy, podobné glykogenu, tukové krůpěje, cyanofycinová zrnka a polyfosfáty jsou rovněž volně uloženy v protoplastu. Na jejich povrchu jsou umístěny fykobilizomy, složitě strukturované světlosběrné antény umožňující optimální využití světla. Pevná buněčná stěna je řadí mezi gramnegativní bakterie. Je citlivá na penicilin a rozrušuje se působením lysozymu. Rozmnožují se buněčným dělením a fragmentací vláken [1,12,13].



Obr. 4. Cyanobacteria – stavba buňky [2].

Sinice jsou všeobecně rozšířené ve vodním prostředí, v půdě i v biotopech s extrémní teplotou, salinitou i s extrémními hodnotami pH. Nachází se na pouštích i v polárních oblastech. Sinice jsou nejstarší fotoautotrofní organismy na Zemi, první paleontologické nálezy pocházejí z doby před 3,2 miliardami let. S jejich vývojem je spojen vznik

kyslíkové atmosféry. Četné sinice mají schopnost fixovat plynný dusík a redukovat jej na amonné soli [1,12].

2.1 Ekologie a adaptabilita sinic

Hlavní problém je eutrofizace vod, s níž souvisí výskyt tzv. vodních květů. Jsou výsledkem přemnožení určité skupiny sinic ve vodách s nadbytkem dusíkatých a fosforečnanových živin. V našich podmínkách se projevuje zejména v letním období a vytváří hygienické problémy na koupalištích a přehradách, které byly původně určeny jako zdroje pitné vody. Společenstvo vodního květu tvoří druhy rodu *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix* aj. Jejich pobyt u hladiny umožňují aerotopy, které jsou vytvořeny u všech druhů vodních květů. Za nejnebezpečnější jsou považovány anatoxiny, které produkuje *Anabaena flos-aquae*. Anatoxin sestává ze tří různých látek: prudce jedovatého alkaloidu, zasahujícího nervovou soustavu, z polypeptidu, vyvolávajícího nekrózu jater, a z několika pteridinů. První náznaky vodního květu se na hladině objevují koncem jara. Do té doby se sinice udržují na dně nádrže a na hladině se jejich přítomnost neprojevuje. Později se vynořují větší či menší obláčky vodního květu, které vítr postupně rozptýlí po celé hladině. V plném rozvoji vytváří vodní květ hustý koberec u břehů a v klidných zálivech. Ve večerních hodinách se část vodního květu ponoří do větších hloubek, příští den opět vyplave na hladinu [1,12].

Kromě toxinů, které sinice produkují, dochází při rozkladu biomasy k hnilobným procesům spojeným s vyčerpáním kyslíku a s další produkcí toxických látek. Odstranění vodního květu je obtížné zejména vzhledem ke schopnosti sinic adaptovat se na změněné podmínky. Byla použita metoda infekce cyanofágem, ale nepřinesla žádoucí efekt. Ve snaze o potlačení vodního květu se v současné době provádějí také pokusy s bakterií *Cytophaga* (Myxobacteriales). Vodní květy postihují nejen sladkovodní nádrže, ale také pobřežní mořské vody (*Nodularia*, *Trichodesmium* aj.) [1,12].

Z hospodářského hlediska je možné sinice považovat za perspektivní skupinu modrozelených řas. Jako organismy fixující plynný dusík mají sinice velký význam v zemědělství. Uplatňují se hlavně na rýžových polích, kde svou přítomností zvyšují produkci rýže bez užívání umělých hnojiv [18].

Neméně významné mohou být sinice jako zdroj bílkovin ve výživě lidí i hospodářských zvířat. Předností sinic je velký obsah proteinů, který dosahuje hodnot až 75 % sušiny např. *Spirulina pacifica*, jejíž lyofilizovaná hmota je dietetickým potravním doplňkem, doporučeným pro lehkou stravitelnost, obsah karotenu a vitaminů, z nichž obsah vitamínu B₁₂ je nejvyšší z rostlinných zdrojů tohoto vitamínu. Sinice se odedávna používaly jako lahůdka v Číně a v Japonsku. V okolí Čadského jezera v Africe se připravují sušené placky z vodního květu druhu *Spirulina geitleri*. Stejný druh konzumovali i mexičtí domorodci v dobách španělské kolonizace. Hromadná kultivace této sinice se dnes zavádí ve Francii a v některých dalších státech s dostatečně teplým podnebím [1,18,19].

Sinice se účastní tvorby léčivých bahen a v lékařství jsou pokusně užívány při léčení těžko hojitelných zánětů a ran [18].

Taxonomie sinic

Oddělení má dvě platná vědecká jména, nebo-li dvojí taxonomické zařazení, které je platné a uznávané. Jméno Cyanophyta je vytvořeno podle nomenklatorických pravidel botanického kódu. Zařazení sinic do oddělení Cyanophyta a následně třídy Cyanophyceae, je řadí do modrozelených řas, díky významnému množství fykocyjaninu – modrého barviva a fykoerytrinu – červeného barviva. Jméno Cyanobacteria odpovídá kódu prokaryotnímu a řadí sinice mezi fotoautotrofní bakterie [1].

Přehled řádů sinic

Jediná třída sinic, Cyanophyceae, jejíž popis je totožný s popisem oddělení, obsahuje čtyři řády. Podle stavby stélky a přítomnosti specializovaných buněk (heterocytů) jsou rozlišovány:

Řád Chroococcales – rod *Microcystis*

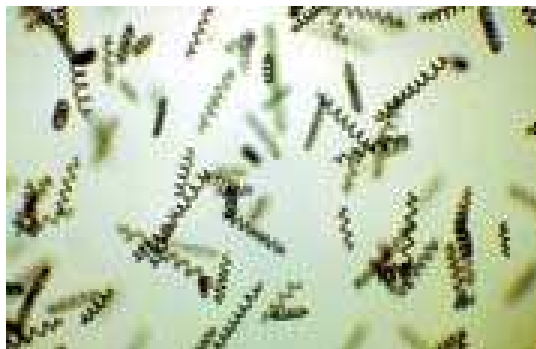
Řád Oscillatoriales – čeleď Oscillatoriaceae, rod *Spirulina*

Řád Nostocales

Řád Stigonematales [1]

2.2 Spirulina = Arthrospira

Spirulina je speciálně kultivovaná modrozelená řasa. Má hustě spirální vlákna, jejíž buněčné přepážky jsou mezi jednotlivými buňkami ve světelném mikroskopu prakticky nepozorovatelné. Většina druhů je dosti halotolerantní – vyskytují se v mírně zasolených vodách, v horkých pramenech a v tropických jezerech [20,13].



Obr. 5. *Spirulina* – „malá spirála“ [20].

Bylo dokázáno, že *Spirulina* je nejlepším rostlinným bílkovinným zdrojem, s obsahem bílkovin 65 až 75 %. Je významná také velkým obsahem nukleových kyselin, vitaminů a minerálů. Vyhláškou č. 352/2009 Sb. je *Spirulina* schválena jako doplněk stravy v České republice, rovněž dle místních předpisů i v Evropě, Japonsku a v mnoha jiných zemích po celém světě. Úřad pro kontrolu léků potvrdil v roce 1981, že *Spirulina* je zdroj proteinu a obsahuje různé vitaminy a minerály a může být legálně prodávána jako doplněk stravy [20,21].

Spirulina neobsahuje v buněčných stěnách žádnou celulosu, proto je velmi dobře stravitelná. Pro sinici *Spirulina pacifica* jsou uváděny hodnoty stravitelnosti kolem 71 %. Tato snadná stravitelnost je zvláště důležitá pro lidi s poruchou trávení komplexních proteinů a pro podvyživené děti [19,20].

Spirulina obsahuje pouze 5 % tuků a deset gramů této řasy má jen 36 kalorií a prakticky žádný cholesterol (1,3 mg). *Spirulina* je zdrojem esenciálních mastných kyselin. Je bohatá na γ -linolenové kyseliny (GLA), α -linolenové kyseliny (ALA), kyselinu linolovou (LA) [20,22,23].

Spirulina obsahuje také velké množství minerálů, xantofylů a vitaminů, např. vitamin E. Obsah β -karotenu, který je v lidském organismu přeměněn na vitamin A, je 10x vyšší než

u mrkve [20,21,22]. *Spirulina* je nejbohatší rostlinný zdroj B₁₂, vyšší než hovězí játra, *Chlorella* nebo jiné mořské řasy. Vitamin B₁₂ je nutný pro vývoj červených krvinek. Deset gramů této řasy je významným zdrojem thiaminu (až 23 % sušiny), který je důležitý pro správnou funkci nervových tkání, riboflavinu (23 % sušiny), potřebného k získání energie ze sacharidů a proteinů, a niacinu (7 % sušiny) nezbytného pro tkáňové buňky [20,22].

Další vitaminy skupiny B, např. B₆, niacin, biotin, panthothenová kyselina, kyselina listová, inosit a vitamin E jsou přítomné v menším množství [20,22].

Spirulina absorbuje značné množství stopových prvků při kultivaci a tyto minerály jsou snadno využitelné lidským organismem. Je přirozeným a významným zdrojem železa, které je důležité pro červené krvinky a zdravý imunitní systém. Dále je zdrojem vápníku, hořčíku a zinku [20,22,23].

Spirulina obsahuje pigmenty, které pomáhají syntetizovat enzymy nutné pro regulaci tělesné výměny látek. V případě pigmentů se v této řase jedná o zelené přírodní barvivo chlorofyl. Nejdůležitějším modrým barvivem je fykocyjanin, který tvoří až 14 % sušiny. Významné zastoupení žluto-oranžových pigmentů tvoří α , β a γ karoteny [20,24].

V menší míře se vyskytují xantofyly: myxoxanthophyll, zeaxanthin, cryptoxanthin, fukoxantin, violaxanthin a astaxanthin, který je velmi důležitým antioxidantem [20,24].

Obsah polysacharidů se pohybuje v rozmezí 15 až 25 % sušiny a jedná se hlavně o rhamnosu a glykogen. *Spirulina* obsahuje glykolipidy a [20,24,25,26].

Spirulina obsahuje několik enzymů, např. enzym superoxiddismutasa (SOD), která je zařazena do skupiny oxidoreduktas. V poslední době se mnoho vědeckých výzkumů zabývá oxidačním stresem, čímž se rozumí zvýšená přítomnost reaktivních forem kyslíku či volných radikálů, které následně vedou k porušení buňky. SOD byl objeven McCordem a Fridovichem jako vysoce obranný systém proti působení volných kyslíkových radikálů. Jsou rozeznávány tři druhy SOD lišící se kofaktorem, kterým je atom kovu (Cu², Zn², Fe², Mn²). FeSOD a MnSOD jsou strukturálně velmi podobné a mají podjednotky o molekulové hmotnosti 23 kDa [20,27].



Obr. 6. *Spirulina* tablety [69].

Bylo prokázáno, že *Spirulina* pomáhá nejen diabetikům při léčení cukrovky, ale může být použita jako ideální prevence proti některým druhům hepatitidy a cirhózy jater nebo jako obzvláště účinná proti anémii [6].

Taxonomické rozdělení vyšetřovaného druhu řas:

Doména: Bacteria

Říše: Bakterie (Bacteria)

Oddělení: Sinice (Cyanobacteria)

Třída: Cyanophyceae

Řád: Oscillatoriales

Rod: *Arthrospira* (*Spirulina*)

Druh: *Spirulina platensis*

3 MINERÁLNÍ PRVKY

Podle chemického složení, resp. zastoupení živin, se poživatiny dělí na potraviny, nápoje a pochutiny. Poživatiny jsou pro organismus zdrojem živin **hlavních**: proteinů, sacharidů, lipidů a **přídavných**: vitaminů, minerálních látek, vody.

Živiny organismu slouží jako zdroj energie (sacharidy, tuky), pro výstavbu a obnovu tkání (proteiny, některé minerální látky) nebo mají ochrannou funkci či jsou součástí biologicky aktivních látek (vitaminy, některé minerální látky) [28].

Minerální látky potravin jsou obvykle definovány jako prvky obsažené v popelu potravin nebo přesněji jako prvky, které zůstávají ve vzorku potravin po úplné oxidaci organického podílu na oxid uhličitý, vodu aj. Minerální podíl tvoří u většiny potravin 0,5 až 3 % [34].

Minerální látky jsou v potravinářských surovinách a produktech zastoupeny v iontové formě, vázané na mnoho organických složek nebo na složité komplexní sloučeniny. Jen výjimečně se vyskytují ve volné formě. Mají význam jako důležité výživové složky pro nižší i vyšší organismy. Lidský organismus si minerální látky, na rozdíl od mnoha organických látek, nedokáže syntetizovat. Zúčastňují se mnoha biochemických reakcí v organismu, hlavně regulačních, oxidoredukčních a skeletotvorných funkcí. Minerální látky participují na stavbě svaloviny – bílkoviny, nukleové kyseliny (draslík, fosfor, síra, železo, vápník, hořčík) a kostry (vápník, fosfor, křemík, draslík, sodík), krve (sodík, chlor, železo, draslík). Mnoho minerálních látek je významnou součástí esenciálních složek a biokatalyzátorů, hlavně enzymů, vitaminů, hormonů (železo, měď, zinek, hořčík, jod, kobalt aj.) [35].

Minerální látky lze klasifikovat podle různých kritérií, např. s ohledem na jejich množství, biologický a nutriční význam, účinky ve stravě a původ [35].

Podle množství dělíme minerální látky do těchto skupin:

- Makrobiogenní minerální prvky dříve nazývané makroelementy, se vyskytují v potravinách ve větším množství, např. Na, K, Mg, Ca, Cl, P a S.
- Oligobiogenní minerální prvky, které jsou v potravinách obsaženy v menších množstvích, tvoří přechod mezi makrobiogenními a mikrobiogenními prvky. Obvykle je do této skupiny řazeno Fe a Zn.

- Mikrobiogenní prvky čili mikroelementy, ty jsou zastoupeny v ještě nižších koncentracích. K potravinářsky důležitým mikrobiogenním prvkům patří Al, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, F, Hg, I, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sn [9].

Dělení minerálních látek podle fyziologického významu:

- Esenciální prvky – nezbytné pro organismus, musí být přijímány v potravě v určitém množství, aby byly zajištěny důležité biologické funkce. Mezi tyto prvky patří všechny makrobiogenní prvky a řada stopových prvků (Fe, Zn, Mn, Cu, Ni, Co, Mo, Cr, Se, I, F, B, Si).
- Toxické prvky – ve formě svých sloučenin nebo v elementární formě vykazují toxické účinky. K nejdůležitějším toxickým prvkům v potravinách patří Pb, Cd, Hg a As.
- Neesenciální prvky – prvky fyziologicky indiferentní a prvky u nichž není dosud známá biologická funkce a nejsou výrazně toxické. Do této skupiny patří všechny ostatní chemické prvky v potravinách zastoupené obvykle ve stopách např. Li, Rb, Cs, Ti, Al, Sn, Te, Bi, Br. Tyto prvky doprovázejí esenciální prvky [35].

Rozdělení minerálních prvků v potravinách na makrobiogenní, oligobiogenní a mikrobiogenní zhruba odpovídá i zastoupení těchto prvků v lidském organismu. U rostlin je obsah minerálních látek závislý na obsahu prvků v půdě, na vlastnostech půdy, způsobu a míře hnojení, na klimatických podmínkách, na stupni zralosti plodiny atd. U živočišných materiálů je rozhodující výživa, stáří a zdravotní stav zvířete. Minerální látky jsou velmi stabilní a v průběhu technologického procesu se jejich obsah nemění. Mnohem složitější je otázka proměn vazeb kovů s různými součástmi potravy během technologických operací a skladování, jako i v průběhu trávení [34,35].

Minerální látky obsažené v potravinách interagují s vodou, s přítomnými organickými látkami i navzájem mezi sebou. Tyto interakce pak ovlivňují biologickou využitelnost prvků ve stravě. O chemickém stavu prvku v potravě rozhoduje složení potravy, hodnota pH, možnost hydratace kovových iontů, redoxní potenciál systému a s tím související možnost změny oxidačního stupně prvku a další faktory. V těsném vztahu k resorpci minerálních látek je rozpustnost příslušných chemických látek. Řada důležitých složek potravin, jako jsou aminokyseliny, peptidy, bílkoviny, sacharidy, lignin, fytová

kyselina, organické kyseliny a jiné sloučeniny, může vázat minerální látky a tím ovlivňovat jejich biologickou využitelnost [34].

Z disacharidů má z hlediska schopnosti tvořit komplexy výjimečné postavení laktosa. Bylo zjištěno, že tvoří s kovy: Ca, Ba, Sr, Mg, Mn, Zn, Na a Li komplexy v poměru 1 : 1 v rozmezí pH 2 až 6,5. Vazba vápníku na laktosu je považována za důvod resorpce vápníku z mléka [34].

Potravinářská vláknina je nestravitelná část rostlinné stravy, která napomáhá pohybu potravy trávicím systémem a absorbuje vodu. Nevyužitelné nerozpustné polysacharidy např. celuloza, některé hemicelulosity a lignin, které tvoří nerozpustnou vlákninu potravy, mohou také vázat různé minerální látky. Tyto interakce mohou mít podstatný vliv na resorpci prvků v gastrointestinálním traktu. Při studiu vazby kovů s celulosou a hemicelulosami (arabinoxylany) bylo zjištěno, že síla interakce klesá v řadě: Cu > Zn > Ca. Ionty Cu²⁺ vykazují ve slabě kyselém prostředí značnou afinitu k celulose, ale za přítomnosti glycinu se vazba mědi na povrchu celulosy podstatně snižuje. U ligninu byly zjištěny dva typy vazebných míst pro vazbu kovů. U vazebných míst s vysokou afinitou klesá síla interakce v řadě: Fe > Cu > Zn, zatímco u vazebných míst s nízkou afinitou je pořadí klesající síly interakce: Cu > Fe > Zn [32,34].

Různé složky vlákniny potravy mají také značně rozdílné výměnné kapacity iontů. Při dlouhodobém nadměrném příjmu vlákniny dietou se mohou objevit příznaky deficitu vápníku, železa a zinku. Toto snížení resorpce prvků je zvláště výrazné při vysokých dávkách vlákniny a současně fytové kyseliny. Vazba různých kovů na fytoovou kyselinu při pH = 7,4 klesá v řadě: Cu > Zn > Ni > Co > Mn > Fe > Ca [34].

Pevná fixace prvků v těchto sloučeninách a malá rozpustnost mají za následek snížení biologické využitelnosti prvků ze stravy, která obsahuje vyšší množství fytové kyseliny a fyтину tzn. vápenato-hořečnatého komplexu kyseliny fytové. Fytoová kyselina a její sloučeniny s kovy se vyskytují v potravinách rostlinného původu, zejména v obilovinách, luštěninách, v olejnatých semenech a ořechách [34].

Biologické účinky vlákniny:

Prevence vzniku rakoviny, zpevňování zubů a prevence zubního kazu, snížení přijímané energie, omezení pocitu hladu, snížení hladiny glukosy v krvi, snížení hladiny krevního cholesterolu, vyvážání nebo-li detoxikace toxických složek tráveniny (těžkých kovů – např.

šestimocný Cr, Hg, Pb, As), podpora činnosti střev, urychlení průchodu tráveniny střevním traktem a žádoucí fermentace v tlustém střevu [19,33,36,37,38].

3.1.1 Makrobiogenní minerální prvky

Sodík a draslík

Sodík se vyskytuje převážně v extracelulárním prostoru, zatímco draslík je lokalizován hlavně uvnitř buněk. Hlavní funkcí sodíku a draslíku v organismu je udržovat s chloridem jako protiiontem osmotický tlak tekutin vně i uvnitř buněk a acidobazickou rovnováhu. Kromě toho jsou tyto prvky potřebné i pro aktivaci některých enzymů, např. sodík pro aktivaci α -amylasy a draslík pro aktivaci glykolytických enzymů a enzymů dýchacího řetězce. Draslík významně ovlivňuje svalovou aktivitu, zejména aktivitu srdečního svalu. Resorpce sodíku a draslíku v trávicím traktu je rychlá a její účinnost při obvyklém složení stravy dosahuje asi 90 % [34].

Hořčík a vápník

Nejvyšší koncentrace hořčíku v měkkých tkáních se nachází v pankreatu, játrech a v kosterním svalstvu. V krvi a v extracelulárních tekutinách je obsaženo pouze 1 % z celkového množství hořčíku v organismu. Vápník je z kvantitativního hlediska hlavní minerální složkou v lidském těle. Jeho celkový obsah činí asi 1500 g, přičemž 99 % z tohoto množství je obsaženo v kostech a zubech ve formě fosforečnanu vápenatého [34].

Hlavní biologické funkce vápníku, kromě stavební funkce, spočívají ve vazbě na bílkoviny osteokalcin a osteonektin a účasti na nervové a svalové činnosti. Vápník je nezbytný i pro srážlivost krve. Řada metabolických dějů je regulována vápenatými ionty prostřednictvím jejich vazby na sérový polypeptid kalmodulin, který ovlivňuje aktivitu některých enzymů např. adenylátcyklasy, spolu s hořčíkem také aktivitu ATPasy [34].

Resorpce hořčíku i vápníku z potravy probíhá v tenkém střevu. Účinnost resorpce hořčíku ze stravy činí při normální dávce hořčíku u zdravého člověka asi 40 až 50 %. Z potravy, která obsahuje méně hořčíku, se tento prvek vstřebává více. Stupeň resorpce vápníku je nižší, asi 5 až 15 % a je značně závislý na chemické formě vápníku a na složení stravy. Stupeň resorpce vápníku ze špenátu, kde je převládající formou oxalát vápenatý, bývá jen 2 až 5 %. Z pšeničného chleba se resorbuje asi 40 % vápníku a ze zelí, kde hlavní formou jsou vápenaté soli organických kyselin, zejména citronové, 40 až 70 % přítomného

vápníku. Fytová kyselina a některé složky vlákniny potravy také snižují resorpci hořčíku. Vyšší obsah bílkovin v dietě naopak resorpci vápníku zvyšuje [34].

Fosfor

Fosfor jako esenciální prvek vystupuje v živé hmotě v řadě funkcí, které souvisejí s tím, v jakých sloučeninách je obsažen. Jsou to zejména funkce stavební, funkce v energetickém metabolismu a dále funkce aktivační, regulační a katalytické. Ze sloučenin fosforu jsou složeny důležité části biologických struktur např. anorganické fosfáty v kostech a zubech, fosfolipidy v biomembránách. Sloučeniny fosforu se účastní prakticky všech metabolicky významných dějů. Účast fosfátů v regulaci metabolismu spočívá např. v přeměně inaktivních forem některých enzymů např. glykogenfosforylasy nebo proteinkinasy enzymovou fosforylací. Hydrolýza makroergických fosfátů, jako jsou ATP, GTP, fosfoenolpyruvát a kreatinfosfát, umožňuje realizaci energeticky náročných biosyntetických reakcí. Fosfor je obsažen také v nukleových kyselinách, které zajišťují uložení a expresi genetické informace [34].

Fosfor je resorbován v tenkém střevě převážně ve formě HPO_4^{2-} . Resorpce i exkrece fosforu je zčásti závislá na obsahu vápníku ve stravě a naopak. Je-li jeden z těchto prvků přítomen ve velkém nadbytku, zvýší se exkrece druhého prvku. Udává se, že optimální poměr Ca/P v dietě je 1 : 1 až 1 : 1,5, což je splněno např. u kravského mléka [34].

Stupeň resorpce fosforu je závislý na složení stravy, zejména na obsahu fosforu a vápníku a na formách přijímaného fosforu. Závisí také na věku a zdravotním stavu konzumenta. Pokud jde o resorpci různých sloučenin fosforu, nejlépe se resorbují soli a estery kyseliny trihydrogenfosforečné a poněkud snížená je resorpce solí kyseliny hydrogenfosforečné a polyfosforečnanů. Fosfor ve formě fytové kyseliny je resorbován z 20 až 50 %, přičemž účinnost se podstatně snižuje při vyšších dietárních dávkách vápníku [34].

Bohatým zdrojem fosforu v dietě jsou ořechy, sýry a ostatní mléčné výrobky [34].

3.1.2 Oligobiogenní minerální prvky

Železo

Funkce železa v organismu souvisejí s tím, v jakých sloučeninách je obsaženo. Převážně jde o účast železa na transportu kyslíku krevním řečištěm a skladování kyslíku ve svalové

tkáni, železo je vázané v hemoglobinu a myoglobinu. Dále se podílí na katalýze oxidačně-redukčních reakcí, kde je železo v hemových a flavinových enzymech. Dalším typem biologicky významných sloučenin železa jsou proteiny s železem a sírou. Hlavní biologickou funkcí těchto proteinů je přenos elektronů [34].

Z běžné diety se v trávicím traktu vstřebává 5 až 15 % přítomného železa. Resorpce dvojmocného železa probíhá snadněji než resorpce trojmocného železa. Účinnost vstřebávání však není závislá jen na mocenství, ale může být ovlivněna např. tvorbou komplexů železa. Vstřebávání železa lidským organismem je regulováno. Při nedostatku železa v organismu může účinnost stoupnout až na 30 až 60 %. Resorpce železa v gastrointestinálním traktu je ovlivňována biologickými faktory např. zdravotním stavem, věkem a pohlavím jedince a také chemickými faktory tj. formy železa v potravě a složení stravy [34].

Nejdůležitější látky, které zvyšují resorpci železa ze stravy jsou: askorbová kyselina, organické kyseliny např. citronová, mléčná, jablečná, jantarová a vinná. Dále jsou to aminokyseliny, zvláště histidin, lysin, cystein a sacharidy, které příznivě ovlivňují retenci železa. Účinnost klesá v řadě laktosa > sacharosa > glukosa > škrob [34].

Resorpci železa snižují především třísloviny a fenolové látky, fytová kyselina, vláknina, vyšší dávky fosforu a vápníku a mimořádně vysoké dávky stopových prvků např. kobaltu, zinku, mědi a manganu [34].

Potravinami bohatými na železo jsou vnitřnosti, maso, vejce, luštěniny, čaj a kakao. Nedostatečný příjem železa dietou vede k anémii nebo-li chudokrevnosti a snížení imunity. Při nadměrném příjmu železa dietou nebo výživovými doplňky a zejména při poruše jeho resorpce může dojít ke hromadění hemosiderinu v játrech. Tento jev je označován jako hemosiderosa a může vést k těžkému poškození jater [34].

Zinek

Zinek se vyskytuje v tělech všech organismů. Je známo více než 200 metaloenzymů, které obsahují zinek. Přítomnost zinku v jejich molekulách je nezbytná pro jejich katalytickou funkci. Jsou to např. alkoholdehydrogenasa, laktátdehydrogenasa, superoxiddismutasa, karboxypeptidasa A, B a G, alkalická fosfatasa, aldolasa, DNA – polymerasa a jiné. Zinek se tedy podílí na katalýze reakcí v mnoha metabolických drahách. Zinek také tvoří komplexy s peptidovým hormonem pankreatu insulinem [34,39,40,41].

Resorpce zinku probíhá v celém tenkém střevě. Účinnost resorpce je za normálních podmínek asi 30 % a je regulována buňkami střevní sliznice. Resorpce zinku je vyšší u jedinců s nižší tělesnou hmotností a v případě nižší saturace organismu zinkem. Naopak při perorálním podávání vysokých dávek zinku se účinnost resorpce snižuje [34].

Stupeň resorpce zinku je závislý mimo jiné na složení stravy. Vysoký obsah bílkovin a aminokyselin zvyšuje účinnost resorpce. Opačně působí fytová kyselina a vláknina. Molární poměr fytová kyselina/zinek je určitým měřítkem biologické využitelnosti zinku z různých potravin. Dlouhodobý příjem stravy s poměrem fytát/Zn větším než 20:1 vede k deficitu zinku. Deficit zinku může také nastat při dlouhodobém přijímání nízkých dávek zinku dietou. To může být nebezpečné zejména v dětském věku, kdy nedostatek zinku může mít za následek zpomalený růst a nedostatečný vývoj mužských pohlavních orgánů. Dalšími příznaky jsou ztráta chuti, změny na kůži, vypadávání vlasů a nehtů. Řadu těchto změn je možné včasným podáním vyšších dávek zinku vrátit do normálního stavu [34].

Zinek je ve vyšších dávkách toxický. Může způsobit podráždění sliznic trávicího ústrojí a nauseu. Dlouhodobý příjem by mohl vést k některým změnám krevního obrazu [34,39].

3.1.3 Mikrobiogenní minerální prvky

Měď

Měď je esenciálním stopovým prvkem pro člověka i ostatní živočichy. Měďnaté ionty jsou součástí aktivních center řady enzymů. Jsou to zejména cytochrom-c-oxidasa, superoxiddismutasa, různé aminoxidasy, hydroxylasy, laktasa aj. oxidoreduktasy, které se souhrnně nazývají kuproenzymy. Enzym superoxiddismutasa je důležitý pro ochranu subcelulárních struktur před poškozením oxidačními reakcemi, resp. volnými radikály [34,39].

Měď je nezbytná pro efektivní využití železa a pro biosyntézu některých fyziologicky významných sloučenin jako je ceruloplasmin. Nedostatek mědi vede k anémii [34].

Měď se vstřebává především v duodenální části trávicího ústrojí člověka. Stupeň resorpce se odhaduje v rozmezí 25 až 70 %. Resorpce mědi závisí na momentální saturaci organismu. V deficitním stavu je stupeň resorpce vyšší. Ke vstřebávání mědi dochází dvěma mechanismy: aktivním transportem, který převažuje při nedostatku mědi v organismu, a prostou difuzí [34].

Resorpce mědi a její retence v těle závisí na chemické formě, ve které je tento prvek přítomen v potravě. Pokusy na laboratorních zvířatech prokázaly vyšší využitelnost mědi ve formě neutrálních a aniontových komplexů obsažených v rostlinném materiálu než ve formě síranu měďnatého [34].

Využitelnost mědi zvyšuje přítomnost bílkovin a aminokyselin v dietě. Naproti tomu vyšší dávky askorbové kyseliny, fruktosy, molybdenu, sirmých sloučenin a zinku výrazně snižují resorpci mědi [34].

Vyšší koncentrace mědi se nacházejí v játrech, zejména telecích, dále v luštěninách a v některých houbách [34].

Mangan

Vyšší koncentrace manganu jsou obsaženy v kostech, játrech, pankreatu a ledvinách. Nižší koncentrace se nacházejí v mozku, slezině, srdci a plicích. Existuje několik enzymů, které obsahují ve své molekule mangan. Jsou to především pyruvátkarboxylasa a arginasa. Kromě pravých metaloenzymů, které obsahují mangan, existuje řada enzymů aktivovaných ionty manganu. Jsou to různé hydrolasy, kinasy, dekarboxylasy a glykosyltransferasy [34].

Resorpce manganu z potravy probíhá ve všech částech tenkého střeva. Účinnost resorpce manganu u dospělého člověka je asi 3 až 4 % a zvyšuje se za přítomnosti nízkomolekulárních ligandů např. kyseliny citronové nebo L-histidinu. Vysoký příjem železa v dietě může snížit účinnost resorpce manganu. Také vysoké dávky vápníku a fosfátů snižují biologickou využitelnost manganu. Naopak vysoké dávky manganu snižují resorpci železa a vedou k poklesu hladiny hemoglobinu [34].

Potraviny živočišného původu obsahují nižší koncentraci manganu. Při příjmu potravy s převahou zdrojů s nízkým obsahem manganu a železa např. mléko, je resorpce manganu vysoká. Resorpce manganu z masa a ryb je vyšší než resorpce z luštěnin [34].

Dobrymi zdroji manganu jsou obiloviny a luštěniny. Ze skupiny ovoce mají vysoký obsah manganu některé lesní plody např. maliny a borůvky. Zvláště vysoký obsah manganu mají čajové lístky a některé druhy koření např. hřebíček, kardamon, zázvor [34].

Dlouhodobý deficit manganu v dietě se může projevit zpomaleným růstem, abnormálním vývojem kostí a poškozením reprodukční funkce. Nedostatkem manganu je ovlivněn také

metabolismus lipidů a isoprenoidů, tzn. snížená syntéza mastných kyselin, cholesterolu [34].

Toxické účinky manganu např. zpomalení růstu a anémie, nastávají až při velmi vysokých dávkách [34].

Chrom

Chrom v oxidačním stupni III je významným esenciálním prvkem. Významným způsobem se podílí na metabolismu sacharidů. Naproti tomu sloučeniny šestimocného chromu jsou toxické a přičítají se jim alergenní, karcinogenní a mutagenní účinky. Za nejvýznamnější fyziologicky účinnou látku obsahující chrom se považuje tzv. glukosotoleranční faktor [34,36].

Vyšší dávky chromu v dietě působí jako prevence proti diabetu. Sloučeniny chromu se podílejí také na udržování strukturní integrity nukleových kyselin, Chrom chrání molekuly RNA proti tepelné denaturaci. V jádrech buněk se chrom akumuluje. Chromany a dichromany však mohou působit jako mutageny [34].

Anorganické sloučeniny chromu se v gastrointestinálním traktu člověka i ostatních savců resorbují jen velmi málo. Účinnost resorpce se pohybuje v rozmezí 0,4 % až 3 % a snižuje se s rostoucí dávkou chromu. Šťavelová kyselina významně zvyšuje a fytová kyselina naopak snižuje resorpci trojmocného chromu [34].

Za bohatý zdroj biologicky využitelného chromu se považují pivovarské kvasnice [34].

Při deficitu chromu byly zjištěny tyto příznaky: zhoršená glukosová tolerance, trvale zvýšená hladina glukosy v krvi, zvýšené hladiny cholesterolu a triacylglycerolů v krevním séru, přítomnost sacharidů v moči. Existuje tedy souvislost mezi deficitem chromu a vznikem diabetu a kardiovaskulárních onemocnění. V souvislosti s nedostatkem chromu byly zaznamenány také nervové a mozkové poruchy [34].

Toxické účinky chromitých sloučenin se projevují až při mimořádně vysokých dávkách. Mnohem toxickejší jsou sloučeniny šestimocného chromu. Způsobují poruchy růstu a poškození jater a ledvin. Kontakt chromanů s kůží může vyvolat ekzém. Chronická expozice prachu, který obsahuje chromany, je rizikem pro vznik rakoviny plic [36].

Bor

Bor je esenciálním prvkem pro rostliny, jeho esencialita pro člověka je zkoumána už mnoho let a byl organizací WHO navržen jako esenciální prvek i pro člověka. Ovlivňuje metabolismus hořčíku, vápníku, fosforu a cholekalciferolu. Sloučeniny boru jsou kyselina boritá a boritany. Kyselina boritá ovlivňuje aktivitu mnoha enzymů např. chymotrypsin, pyridinové a flavinové oxidoreduktasy [34,68].

Bor obsažený v potravě se v gastrointestinálním traktu snadno vstřebává. Při vyšších dávkách kyseliny borité dochází k hromadění boru v nervovém systému. Po vstřebání je 30 až 92 % boru z potravy vyloučeno močí [34].

Potraviny živočišného původu mají nízký obsah boru. Z potravin rostlinného původu obsahují více boru luštěniny, ořechy a ovoce. Obsah boru v rostlinách je však dosti závislý na jeho obsahu v půdě [34].

3.1.4 Toxické prvky

Olovo a kadmium

Kovové olovo se používá k výrobě akumulátorů, plechů a trubek, také vodovodních. Anorganické sloučeniny olova jsou součástí nátěrových hmot nebo se používají při výrobě olovnatého skla. Ročně se ve světě vyrobí asi 5 milionů tun olova [34].

Kadmium se používá k antikorozní ochraně pokovováním a k výrobě baterií. Sulfid kademnatý se používá jako pigment a kademnaté soli mastných kyselin jako stabilizátory při výrobě PVC. Roční produkce kadmia je asi 20 tisíc tun [34].

V přírodních vodách jsou obsaženy jen stopy olova a kadmia. Vyšší koncentrace těchto kovů se nacházejí v sedimentech nekontaminovaných vodních toků a nádrží. Přitom obsah v sedimentech z kontaminovaných míst může být až o několik řádů vyšší [34].

Těžké kovy lze velmi obtížně odstranit z prostředí. Mohou být odbourány pouze biologickou nebo chemickou cestou. Četné vodní organismy např. řasy, a jiné vodní rostliny, zooplankton, koryši a měkkýši, silně akumulují ve svých tělech kadmium i jiné prvky např. rtuť, arsen a selen z vody. Nacházejí-li se např. ústřice, slávky nebo krevety jen v mírně kontaminované vodě, dosáhne obsah kadmia v jejich tělech až $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Z hlediska vstupu toxických prvků do potravních řetězců je důležitý nejenom jejich obsah

v půdě, ale také přístupnost pro rostliny. Rostliny přijímají toxické prvky jednak z půdního roztoku kořenovým systémem, jednak z atmosféry depozicí zejména na povrchu listů. Pro mobilitu těžkých kovů v půdě a tedy i pro biologickou využitelnost pro rostliny je rozhodujícím faktorem hodnota pH půdního roztoku, redoxní potenciál a koncentrace vápenatých iontů. Mezi rostliny, které silně akumulují kadmium a olovo z půdy patří špenát, hlávkový salát, mrkev a některé olejninu např. mák. Kontaminace prostředí rizikovými prvky zvyšuje jejich obsah hlavně v orgánech tj. ledvinách a játrech a nižší obsah v tkáních živočichů tj. svalovině [34,42,43,44].

Resorpce olova v gastrointestinálním traktu je závislá na věku, složení stravy a zdravotním stavu, je vyšší při vysokém podílu bílkovin ve stravě a nižší za přítomnosti většího množství vlákniny, fytové kyseliny, železa a vápníku [34].

Při intoxikaci olovem nebo kadmíem mohou být poškozeny ledviny a játra. Olovo navíc poškozuje krev, nervový a kardiovaskulární systém. Kadmium vykazuje teratogenní a karcinogenní účinky, poškozuje pohlavní orgány a má vliv na krevní tlak. Kadmium může při akutní otravě vyvolat selhání ledvin nebo může dojít k dekalifikaci, řídnutí a ztenčování kostí. V 50. letech došlo v Japonsku k hromadné otravě ze silně kontaminované rýže. Přitom se objevily časté zlomeniny, bolestivost a ztenčování kostí. Choroba byla nazvána Itai-Itai [34,45,46].

Je proto velmi důležité sledovat koncentraci těžkých kovů v těch druzích řas, které se využívají pro lidskou výživu [47].

Rtuť

V přírodě se vyskytuje především v podobě sulfidu (HgS , rumělka). Ze sulfidové rudy se rtuť získává pražením. Vzniká oxid siřičitý a páry elementární rtuti, které kondenzují na kovovou rtuť, a přitom může do atmosféry unikat rtuťová pára. Rtuť je využívána hlavně:

- v elektrotechnice pro výrobu baterií, spínačů, elektrod, měřicích přístrojů
- pro elektrochemickou výrobu chloru a hydroxidu sodného elektrolýzou roztoku NaCl
- při výrobě nátěrových hmot, katalyzátorů a fungicidů, např. fenylnmerkurichlorid se používá k moření osiva
- v zubním lékařství.

Ke vstupu rtuti do životního prostředí přispívají hlavně vulkanická činnost, spalování uhlí a použití rtuti v průmyslu a zemědělství a manipulace s odpady. Celkové množství rtuti vstupující do atmosféry se odhaduje na 150 000 tun ročně. Zhruba dvě třetiny připadají na přirozené zdroje [34].

Přes velmi nízkou koncentraci představují oceány a moře velké rezervoáry rtuti. Ve vodním prostředí také dochází k důležitým chemickým přeměnám jednotlivých forem rtuti. Jedná se především o methylační reakce účinkem bakterií a mikroskopických hub, oxidačně-redukční reakce a srážecí reakce [34].

Vodní organismy silně akumulují rtuť z vody. Nejvyšší biokoncentrační faktory rtuti byly zjištěny u bezobratlých živočichů, u sladkovodních ryb a mořských ryb. Koncentrace rtuti v jejich tělech je tedy o několik řádů vyšší než v okolním prostředí. Asi 90 % rtuti obsažené v rybách je methylováno. Obsah rtuti v tělech zvířat je závislý na složení jejich potravy, vysoké koncentrace rtuti byly zjištěny např. v játrech a ledvinách vodních ptáků. K bioindikaci zatížení prostředí rtutí i dalšími kovy se často sleduje jejich obsah v srsti savců nebo v peří ptáků [34].

Řasy, díky svému složení buněčných stěn, mají schopnost vázat těžké kovy a díky tomu jsou využívány i jako bioindikátory znečištění, nejvhodnějšími jsou červené a hnědé řasy [48].

Vysoké koncentrace rtuti se nacházejí v některých jedlých houbách, rybách, v měkkýších a koryšících. Z potravy se resorbuje v tenkém střevě asi 7 % přítomné rtuti. Vstřebaná rtuť se zachycuje v játrech, ledvinách a v mozku, část rtuti z jater je vyloučena žlučí do střeva a rtuť se hromadí ve vlasech a nehtech [34].

K otravám anorganickými sloučeninami rtuti a elementární rtutí dochází většinou jen při profesionální expozici např. pracovníci v chemických provozech a laboratořích. Hlavní orgány, které jsou poškozeny při intoxikaci rtutí a jejími sloučeninami, jsou ledviny a mozek [34].

K léčení otravy rtutí a jejími sloučeninami se používají látky s komplexotvornými účinky např. dimerkaptopropanol, dimerkaptosukcinát, glutathion aj. [34].

4 ROZKLAD BIOLOGICKÉHO MATERIÁLU

Pro rozbor potravinářského materiálu z hlediska obsahu minerálních látek je nutný rozklad organické hmoty. Volí se takový způsob rozkladu organické hmoty, aby stanovovaná komponenta kvantitativně zůstala obsažena v mineralizátu [49].

Mineralizace se provádí dvěma způsoby: za mokra a za sucha. Při stanovení prvků netěkavých se dává přednost rozkladu suchou cestou tzv. zpopelnění při teplotě 450 až 550 °C. Minerální látky se převedou do roztoku vyloužením popela v 10 % roztoku kyseliny chlorovodíkové [49].

4.1 Mineralizace na mokré cestě

Další z možností převádění prvků obsažených v biologických materiálech do roztoku, vedle suché cesty tj. spalováním vzorku a rozpuštěním popelovin, je mineralizace na mokré cestě. Některé prvky takové převádění do roztoku přímo vyžadují např. rtuť, zinek, síra, fluor apod. [49].

Obecně nejlepšího rozkladu se dosáhne pomocí kyseliny chloristé při vyšších teplotách. Její používání v provozu laboratoře vyžaduje však nezbytná opatření, protože dehydratovaná kyselina chloristá nebo její páry tak prudce oxidují jakékoliv organické látky, že obvykle nastává výbuch. Vedle nutné, předběžné mineralizace kyselinou dusičnou se musí zabezpečit provádění těchto prací výhradně v celokovových digestořích, bez přítomnosti jakékoliv organické látky např. dřeva, opatřených kameninovými odtahy tj. šachtami splachovatelnými vodou v celém vedení. Proto je používání kyseliny chloristé silně omezeno. Obvyklé způsoby mineralizace využívají směsi kyselin sírové a dusičné, eventuelně peroxidu vodíku [49,64,55,39].

Také technika mineralizace je různá, provádí se buď za atmosférického tlaku, nebo pod tlakem. Takový způsob ovšem vyžaduje speciální vybavení [49].

4.2 Metody rozkladu na suché cestě

Klasický suchý rozklad je proces spalování za přítomnosti vzduchu, v otevřeném systému a při atmosférickém tlaku. Celý postup sestává ze čtyř základních kroků – sušení, zuhelnatění, zpopelnění a loužení popela, které jsou někdy doplněny dalšími kroky. Aby bylo dosaženo vyšší účinnosti rozkladu a tím dokonalejší destrukce organického materiálu,

je někdy přidáváno ve fázi zuhelnatění nebo po zpopelnění ke vzorku tzv. pomocné činidlo [49].

Moderní verze suchého rozkladu pracují v uzavřeném nebo polouzavřeném systému a často v atmosféře kyslíku nebo směsi plynů např. ozón, oxidy dusíku, halogeny [50].

4.3 Mikrovlnné rozklady

Mikrovlnné rozklady jsou řazeny mezi velice perspektivní rozklady rozličných vzorků za zvýšených teplot. Jedná se o mineralizaci organických a biologických materiálů. Energie nutná k ohřevu vzorku se dodává prostřednictvím mikrovlnného záření. Mikrovlnný rozklad lze provádět v otevřených i uzavřených systémech [51].

V případě rozkladu v uzavřeném systému probíhá rozklad ve speciální nádobce zhotovené z vysoce odolného plastu – teflon, za zvýšeného tlaku. Mikrovlnné záření je generováno magnetronem ve speciální laboratorní mikrovlnné rozkladné peci a vlnovodem přiváděno do rezonanční dutiny. Zatímco od elektronových vodičů – kovů, se mikrovlny odrážejí, polárními dielektriky např. voda, jsou mikrovlny absorbovány. Mikrovlny vyvolávají pohyb iontů a rozkmitání elektrických dipólů dielektrika. Energie mikrovlnného záření se přemění na tepelnou energii, která ohřívá vzorek [51,65,66].

Moderní mikrovlnné pece umožňují současný rozklad minimálně 10 vzorků, kterými se v průběhu rozkladného programu otáčí, rozkládat lze různé vzorky přírodního původu i syntetické materiály. Tato metoda rozkladu je využívána hlavně pro biologické vzorky např. krev, krevní plazma, vlasy, rostlinné a živočišné tkáně, houby. Mikrovlnné rozklady se provádějí v přítomnosti silných minerálních kyselin a oxidačních činidel: HNO_3 , HCl , HF , H_2O_2 . Rozkladný program je vhodné rozdělit do několika fází. Intenzitu mikrovlnného záření je nutné zvyšovat postupně, aby se zabránilo bouřlivému průběhu dekompoziční reakce a případné explozi. Produktem úspěšného mikrovlnného rozkladu – mineralizace, je čirý a homogenní roztok [51].



Obr. 7. Mikrovlnná rozkladná pec [51].

5 METODY STANOVENÍ MINERÁLNÍCH PRVKŮ

Minerální prvky lze v biologických materiálech stanovit několika způsoby:

5.1 Spektrofotometrie

Molekuly mají schopnost pohlcovat elektromagnetické záření pouze určitých vlnových délek. Je to dáno tím, že mohou existovat v určitých kvantových stavech, které se liší obsahem energie. Jestliže má molekula přejít ze stavu s nižší energií do stavu s energií vyšší, musí absorbovat záření o frekvenci ν , která právě odpovídá rozdílu energií mezi energetickými hladinami E_p a E_q obou kvantových stavů podle Bohrovy frekvenční podmínky:

$$\Delta E = E_p - E_q = h \nu = h c / \lambda$$

kde c je rychlost světla, λ vlnová délka a h je Planckova konstanta ($6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s); podle konvence je excitovaná hladina označena indexem p , základní indexem q [52].

Energeticky nejnáročnější jsou přechody mezi elektronovými energetickými hladinami. Běžně jsou způsobeny absorpcí ultrafialového (190 až 400 nm) a viditelného záření (400 až 800 nm). Absorpci záření lze měřit na přístrojích, označovaných absorpční spektrofotometry [52].

Při absorpčním měření je ze vstupujícího toku záření Φ_o část absorbována vzorkem (absorbovaný zářivý tok Φ_A) a v ideálním případě zbytek projde a je zaznamenán jako vystupující zářivý tok Φ [52].

5.2 Metody atomové absorpční spektrometrie AAS

Atomová absorpční spektrometrie je jednou z nejrozšířenějších metod stopové prvkové analýzy, zvláště pro vysokou citlivost stanovení. Umožňuje stanovení více než 60 prvků, všech kovových prvků a metaloidů, v koncentracích od jednotek $\mu\text{g.kg}^{-1}$ až po několik desetin g.kg^{-1} [53].

Tyto metody jsou založeny na jevu, kdy páry prvku obsahující volné atomy absorbují světlo téže vlnové délky, kterou atomy samy mohou vysílat. Vysílá-li tedy světelný zdroj záření charakteristické pro stanovovaný prvek, dochází při průchodu paprsku plamenem,

obsahujícím volné atomy téhož prvku, k zesílení intenzity záření vlivem absorpce. Po izolaci rezonanční čáry stanovovaného prvku disperzní soustavou se detekčním systémem změří výsledný světelný tok. Úbytek intenzity světelného toku je pak měřítkem koncentrace atomů v plameni a tedy i analyzovaném roztoku, který se do plamene vnáší [35].

Tab. 2. Charakteristické vlnové délky prvků a detekční limit u metod AAS [35].

prvek	λ [nm]	minimální dokazatelné množství [mg kg ⁻¹]
Na	589	0,005
K	767	0,005
Ca	423	0,01
Mg	285	0,003
Fe	248	0,05
Cu	325	0,05
Zn	214	0,005
Sn	225	0,8
As	194	0,5
Pb	217	0,15
Cd	229	0,01
Hg	254	0,5
Se	196	1

5.3 Atomová emisní spektrometrie AES

Metoda AES je založena na sledování emise elektromagnetického záření volnými atomy látek v plynném stavu. Počátky AES spadají do 60. let 19. století – excitace Rb a Cs. Rozvoj aplikací AES nastal ve 20. století – spektrografie. Pro současnost je typický rozvoj nových zdrojů excitační energie např. indukčně vázané plazma (ICP), laser, mikrovlnně indukované plazma (MIP). Stále častěji je využíváno spojení AES s dalšími analytickými technikami např. hmotnostní spektrometrie (MS) [54].

Princip AES

Základním principem AES je převedení analytu v důsledku dodání energie do atomárního excitovaného stavu. Excitované atomy emitují čárové polychromatické záření. Spektrum je rozloženo na jednotlivé vlnové délky. Poloha čar ve spektru udává kvalitativní složení vzorku. Intenzita čar určuje kvantitativní obsah analytu ve vzorku [31].

Excitační zdroje (budící zdroje)

Budící zdroj dodává energii potřebnou pro vyvolání emise záření atomy vzorku. Vzorek převádí z tuhé fáze nebo roztoku do plynné fáze, ve které nastane atomizace a excitace elektronů [31,54].

Plamen

Excitují pouze prvky s nízkými excitačními potenciály. Emisní spektrum je zde relativně jednoduché. Aplikací je metoda plamenové fotometrie. Obvykle se využívají laminární předmíchávané plameny acetylen – vzduch. Vzorek je před zavedením do hořáku zmlžován pneumatickými zmlžovači. Aerosol je v plameni odpařen a disociován. Volné atomy jsou excitovány a emitují čárové elektromagnetické záření [31,54].

Elektrický výboj – oblouk a jiskra

Při elektrickém výboji oblouku a jiskře je atomům dodána vysoká energie. Jde o opakující se krátkodobý vysokonapěťový elektrický výboj. V jiskře se dosahuje teplot více než 12 000 K, proto je spektrum bohaté na spektrální čáry prvků. Přítomny jsou rovněž spektrální čáry ionizovaných atomů. Teplota plazmatu je určována proudovou složkou zdroje. Provádí se analýza práškových i kapalných vzorků. Pevné vzorky mohou být přímo použity jako jedna z elektrod. Pro výbornou reprodukovatelnost se jiskrový výboj používá hlavně v kvantitativní analýze kovů. Řízený elektrický oblouk je 600 krát za sekundu přerušovaný. Spojuje tak výhody jiskrového výboje (reprodukovatelnost) a obloukového výboje (citlivost) [31,54].

Plazmový zdroj

Plazmový zdroj dovoluje analyzovat vzorky v roztoku. Používá se indukčně vázaný plazmový výboj (*Inductively Coupled Plasma – ICP*). Plazma vzniká působením vysokofrekvenčního elektromagnetického pole pomocí indukční cívky v prostředí argonu a její teplota je až 10 000 K. Do ní je vnášen aerosol roztoku vzorku v argonu. Plazmový

hořák je z taveného křemene a je chlazen argonem nebo dusíkem. Plazmový zdroj umožňuje analýzu velmi malých vzorků i nekovových materiálů s vysokou citlivostí. Je dnes nejrozšířenějším zdrojem [31,54,63].

Plazmové excitační zdroje

- Stejnoseměrná plazma DCP
- Mikrovlnně indukované plazma MIP
- Kapacitně vázané plazma CCP
- Indukčně vázané plazma ICP

Analytické využití

V analýze jsou využívány pouze tzv. analytické čáry.

Kvalitativní analýza spočívá v identifikaci spektrálních čar vzorku.

Kvantitativní analýza využívá toho, že intenzita určité čáry je úměrná počtu atomů prvku v plazmě a závisí na její teplotě [31].

5.4 Elektrotermické atomizátory ET - AAS

Elektrotermické atomizátory jsou speciální odporově vyhřívané kyvety. Atomizátory bývají vyrobeny z grafitu, skelného uhlíku, W, Mo, Ta. Dávkuje se malé množství vzorku tj. 10 až 50 μl . Analyt se dávkuje na stěnu kyvety, na platformu nebo na sondu [54].

Všechna dávkovaná analyt se podílí na absorpci záření. Ohřev kyvety probíhá v atmosféře argonu. Teplota kyvety je zvyšována podle zvoleného teplotního programu. Základními kroky teplotního programu jsou sušení, pyrolýza a atomizace vzorku. Za účelem stabilizace analytu ve fázi pyrolýzy matrice se používá modifikátor podle prvku. Po provedení měřicího cyklu je atomizátor vypálen a ochlazen [54].

Pozorovaný signál má tvar píku tzn. vyhodnocuje se výška nebo plocha. Atomizace probíhá za izotermických podmínek, průtok argonu je zastaven. Detekční limit bývá až o 3 řády nižší ve srovnání s plamenovou atomizací. Nutností je zde kompenzace nespécifické absorpce pozadí [54].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo stanovení minerálních prvků ve vybraných druzích sladkovodních řas a srovnání těchto výsledků s různými druhy potravin, které jsou pro člověka významným zdrojem těchto minerálních prvků.

Minerální prvky byly stanoveny spektrofotometricky a metodou AAS.

7 METODIKA PRÁCE

7.1 Materiál

Pro stanovení minerálních prvků bylo použito pět lyofilisovaných vzorků sladkovodních zelených řas a sinic, jejichž charakteristika je uvedena v tabulce 3.

Tab. 3. Charakteristika stanovení zkoumaných druhů řas.

Oddělení	Druh
Sinice	<i>Spirulina platensis</i>
Zelená řasa	<i>Chlorella kessleri</i>
Zelená řasa	kmen K2
Zelené řasy	<i>Scenedesmus quadricauda</i> + kmen K1 (60% + 40%)
Zelená řasa	<i>Scenedesmus quadricauda</i>

U kmenů K1 a K2 doposud nebylo provedeno jejich taxonomické určení. Jedná se o pokusné kmeny s laboratorním označením K1 a K2 ze skupiny zelených kokálních řas. Vzorky byly získány z Ústavu fyzikální biologie JČU ČB v Nových Hradech.

7.2 Stanovení minerálních prvků

Vzhledem k charakteru vzorků sladkovodních řas, byly stanoveny makrobiogenní – Na, K, Mg, Ca a P, oligobiogenní – Fe, Zn, mikrobiogenní – Cu, Mn, Cr a B a toxické prvky – Pb, Cd pomocí metod platných pro rostliny. Charakteristiky stanovení jednotlivých prvků jsou uvedeny v tabulkách 4 a 5 [49,56,57].

Tab. 4. Charakteristiky stanovení minerálních prvků [49].

Prvek	Rozklad vzorku	Činidlo	Metodika stanovení
P	Mineralizace mokrou cestou	H ₂ SO ₄ + H ₂ O ₂	spektrofotometrie
B	Uzavřený mikrovlnný	HNO ₃ + HCl	spektrofotometrie
Na	Mineralizace mokrou cestou	H ₂ SO ₄ + H ₂ O ₂	F-AAS acetylen - vzduch
K	Mineralizace mokrou cestou	H ₂ SO ₄ + H ₂ O ₂	F-AAS acetylen - vzduch
Mg	Mineralizace mokrou cestou	H ₂ SO ₄ + H ₂ O ₂	F-AAS acetylen - vzduch
Fe	Uzavřený mikrovlnný	HNO ₃ + HCl	F-AAS acetylen - vzduch
Zn	Uzavřený mikrovlnný	HNO ₃ + HCl	F-AAS acetylen - vzduch
Cu	Uzavřený mikrovlnný	HNO ₃ + HCl	F-AAS acetylen - vzduch
Mn	Uzavřený mikrovlnný	HNO ₃ + HCl	F-AAS acetylen - vzduch
Ca	Mineralizace mokrou cestou	H ₂ SO ₄ + H ₂ O ₂	F-AES acetylen - N ₂ O
Cr	Uzavřený mikrovlnný	HNO ₃ + HCl	ET-AAS

Tab. 5. Charakteristiky stanovení toxických prvků [49].

Prvek	Rozklad vzorku	Činidlo	Metodika stanovení
Pb	Uzavřený mikrovlnný	HNO ₃ + HCl	ET-AAS
Cd	Uzavřený mikrovlnný	HNO ₃ + HCl	ET-AAS

7.2.1 Mineralizace vzorků

Mineralizace vzorků byla provedena dvěma způsoby, mokrou cestou a uzavřeným mikrovlnným rozkladem.

7.2.1.1 Mineralizace mokrou cestou

Použité přístroje a pomůcky:

běžné laboratorní sklo a pomůcky

spalovací zkumavky o obsahu 250 ml

odměrné baňky o obsahu 100 ml

laboratorní sušárna Venticell (BMT, ČR)

mineralizátor – Digester DG 120 (El Spektrum – Liptovský Hrádok, SR)

laboratorní mlýnek VM7 (ČR)

hliníkový blok na zkumavky s vyhříváním

mikrovlnná pec Mars 5-Xpress (Varian, Inc., Austrálie)

Použité roztoky a chemikálie:

kyselina sírová koncentrovaná (98 % w/w) – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

kyselina seleničitá (4,08 mg.ml⁻¹) – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

peroxid vodíku (30 % w/w) – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

katalyzační směs:

katalyzační směs byla připravena rozpuštěním kyseliny seleničité v koncentrované kyselině sírové za tepla (v 1 litru směsi bylo obsaženo 2,5 g selenu).

Postup mineralizace:

Pro mineralizaci na mokré cestě bylo naváženo do spalovací zkumavky 0,5 g ± 0,01 g lyofilisovaného vzorku sladkovodní řasy. K němu bylo přidáno 5 ml katalyzační směsi, obsah ve zkumavce byl promíchán a postupně byl přidáván peroxid vodíku (max. 10 ml). Spalovací zkumavky byly vloženy do spalovacího bloku a mineralizovány 40 minut při teplotě 350 °C. Po vychladnutí (5 min.) byl opět přidán peroxid vodíku (max. 6 ml) a mineralizace probíhala dalších 15 minut do vyčerpání vzorku. Zmineralizovaný vzorek byl přefiltrován a doplněn do 100 ml PE lahviček [49,56].

Takto upravený mineralizát byl použit k vlastní analýze minerálních prvků Na, K a Mg metodou F-AAS acetylén – vzduch, stanovení Ca metodou F-AES acetylén – N₂O a spektrofotometrickému stanovení P [49,58].

7.2.1.2 Uzavřený mikrovlnný rozklad

Použité přístroje a pomůcky:

běžné laboratorní sklo a pomůcky

laboratorní sušárna Venticell (BMT, ČR)

předvážky – výrobce Scaltec

mikrovlnná pec Mars 5-Xpress (Varian, Inc., Austrálie)

Použité roztoky a chemikálie:

kyselina dusičná (65 % w/w) – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

kyselina chlorovodíková (35 % w/w) – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

Mineralizační směs:

1 díl koncentrované kyseliny dusičné + 1 díl koncentrované kyseliny chlorovodíkové
+ 2 díly destilované vody.

Postup mineralizace:

Do teflonové nádoby pro rozklad bylo naváženo $0,5 \pm 0,1$ g lyofilisovaného vzorku, který byl zalit 8 ml mineralizační směsí. Nádoby byly uzavřeny a rovnoměrně rozloženy v karuselu, který byl vložen do mikrovlnné pece a rozklad vzorků probíhal při teplotě 190 °C 20 minut. Po ukončení rozkladu byly nádoby opatrně otevřeny a obsah byl kvantitativně převeden do 50 ml odměrné baňky a doplněn destilovanou vodou po značku. Vzorek nebyl filtrován z důvodů kontaminace [49,58].

7.2.2 Stanovení minerálních prvků**7.2.2.1 Stanovení prvků spektrofotometricky****Stanovení fosforu****Použité přístroje a pomůcky:**

spektrofotometr VIS-Specol 10 (Carl Zeiss Jena, NDR)

běžné laboratorní sklo a pomůcky

laboratorní sušárna Venticell (BMT, ČR)

předvážky – výrobce Scaltec

mikrovlnná pec Mars 5-Xpress (Varian, Inc., Austrálie)

Použité roztoky a chemikálie:

kyselina sírová (98 % w/w) – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

vanadičnan amonný – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

molybdenan amonný – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

dihydrogenfosforečnan draselný – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

Vybarvovací činidlo:

roztok 1: 75 g molybdenanu amonného bylo rozpuštěno v 1300 ml horké destilované vody. Po vychladnutí bylo přidáno 127,5 ml koncentrované kyseliny sírové a po vytemperování bylo doplněno na 1500 ml destilovanou vodou.

roztok 2: 3,75 g vanadičnanu amonného bylo rozpustěno a doplněno na 1500 ml destilovanou vodou.

Roztok 1 + roztok 2 byly smíchány v poměru 1+1 (v/v)

Základní standartní roztok P: 0,25 mg.ml⁻¹ – firma Sigma-Aldrich

Pracovní standartní roztok P: 0,05 mg.ml⁻¹ – firma Sigma-Aldrich

Postup stanovení:

Do odměrné baňky 25 ml bylo napipetováno 5 ml mineralizátu vzorku, přidáno 5 ml vybarvovacího činidla a doplněno po značku destilovanou vodou. Po promíchání a po 1 hodině stání bylo měřeno proti slepému pokusu při vlnové délce 430 nm. Kalibrační křivka byla připravena z pracovního standardního roztoku, postup byl stejný jako u vzorků. Kontrola měření a kalibrace přístroje byla prováděna vkládáním standardů o známém obsahu fosforu. Obsah fosforu v procentech ve vysušeném vzorku byl odečten z kalibrační křivky a přepočten na g.kg⁻¹ [49,56,57].

Stanovení bóru podle Berger-Truoga

Použité přístroje a pomůcky:

běžné laboratorní sklo a pomůcky

spektrofotometr VIS-Specol 10 (Carl Zeiss Jena, NDR)

běžné laboratorní sklo a pomůcky

laboratorní sušárna Venticell (BMT, ČR)

muflová pec LM 112

Použité roztoky a chemikálie:

$\text{CH}_3\text{COONH}_4$ – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

Chelaton 3 – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

Chelaton 1 – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

CH_3COOH (99 % w/w) – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

azometin H – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

kyselina askorbová – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

HCl (35 % w/w) – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

H_3BO_3 – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

Pufr:

250 g $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ + 25 g chelatonu 3 + 10 g chelatonu 1 bylo rozpuštěno v 400 ml destilované vody a k tomu bylo přidáno 125 ml koncentrované CH_3COOH . Hodnota pH byla upravena na 5,0 kyselinou octovou.

Azometin H:

Byl připravován vždy čerstvý. 0,9 g azometinu H + 2 g kyseliny askorbové bylo doplněno destilovanou vodou do 100 ml odměrné baňky.

Směsné činidlo:

Pufr + roztok azometinu H v poměru 2:3. Byl míchán vždy čerstvý roztok. Pro každý nový roztok byla připravena kalibrační křivka.

Základní roztok:

1 ml základního roztoku odpovídá 0,1 mg B.

Pracovní roztok:

1 ml pracovního roztoku odpovídá 1 μg B

Pro stanovení kalibrační křivky bylo pipetováno z pracovního roztoku do 100 ml odměrných baněk podle tabulky 6.

Tab. 6. Kalibrační křivka pro bór.

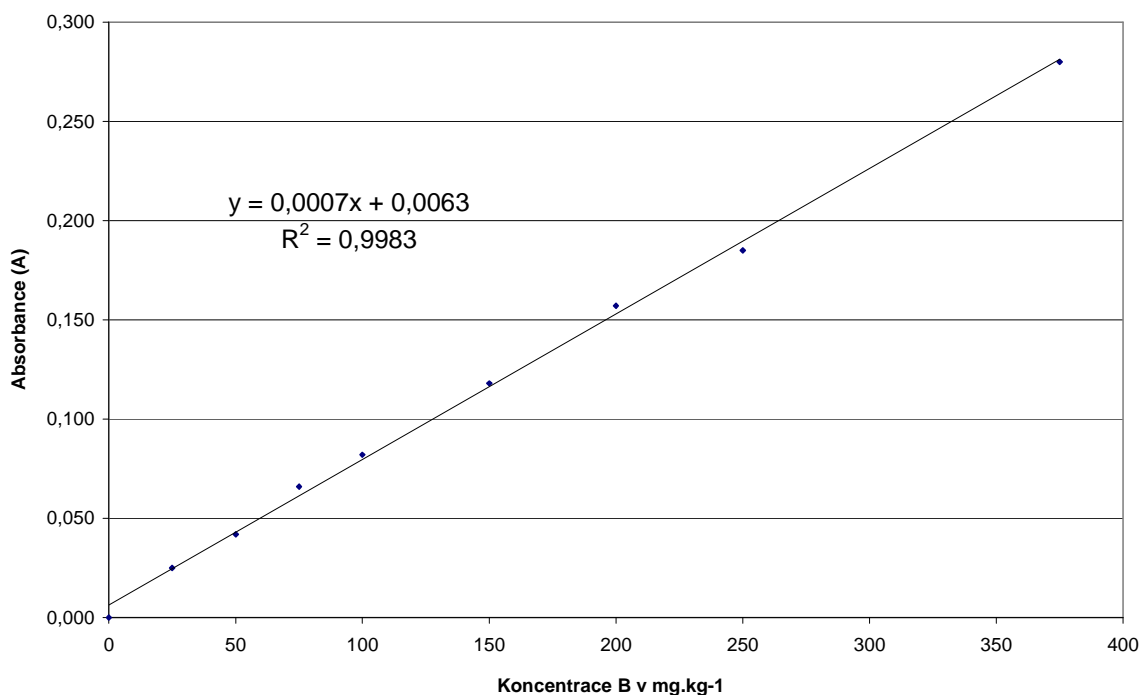
ml pracovního roztoku	koncentrace $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$	odpovídá mg kg^{-1}	Absorbance (A)
0 ml / 100 ml	0,00	0	0
5	0,05	25	0,025
10	0,10	50	0,042
15	0,15	75	0,066
20	0,20	100	0,082
30	0,30	150	0,118
40	0,40	200	0,157
50	0,50	250	0,185
75	0,75	375	0,280

V tabulce 6 jsou uvedeny koncentrace pracovních roztoků pro navážku 5 g v objemu 50 ml a měřená hodnota absorbance (A).

Metodika stanovení:

2 ml přefiltrovaného mineralizátu vzorku bylo převedeno do 100 ml odměrné baňky. Z ní bylo odpipetováno 2,5 ml do zkumavek a přidáno 2,5 ml směsného činidla. Vše se nechalo stát 1 hodinu, pak bylo měřeno na spektrofotometru při 410 nm proti slepému pokusu [56].

Pro stanovení kalibrační křivky bylo z kalibračních roztoků podle tabulky 6 odpipetováno 2,5 ml a další postup byl stejný jako u vzorků. Naměřené hodnoty byly vynášeny do grafu. Obsah bóru v $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ byl odečten z kalibrační křivky [49,56].



Obr. 8. Lineární kalibrační závislost.

7.2.2.2 Stanovení prvků metodou F-AAS acetylen – vzduch

Metodou F-AAS byly stanoveny prvky Na, Mg, K, Fe, Cu, Zn a Mn.

Použité přístroje a pomůcky:

AAS – Varian AA 240Z (Varian, Inc., Austrálie)

běžné laboratorní sklo a pomůcky

laboratorní sušárna Venticell (BMT, ČR)

předvážky – Scaltec

dilutor SIPS – automatický dávkovač (Varian, Inc., Austrálie)

Použité roztoky a chemikálie:

chlorid sodný p.a. (tzn. pro analýzy) – firma Sigma-Aldrich

chlorid draselný – firma Sigma-Aldrich

síran hořečnatý – firma Sigma-Aldrich

H₃BO₃ – Lach-Ner spol. s.r.o Neratovice

Tab. 7. Koncentrace standardních roztoků a hodnota zředovacího faktoru.

Prvek	Koncentrace základních roztoků	Koncentrace pracovních roztoků	Dodavatel	Zředovací faktor
Na	400 mg.l ⁻¹	200 mg.l ⁻¹	firma Sigma-Aldrich	0,2
K	10 000 mg.l ⁻¹	200 mg.l ⁻¹	firma Sigma-Aldrich	0,2
Mg	100 mg.l ⁻¹	15 mg.l ⁻¹	firma Sigma-Aldrich	0,2
Cu	1 g.l ⁻¹	2,5 mg.l ⁻¹	firma Merc	100
Fe	1 g.l ⁻¹	10 mg.l ⁻¹	firma Sigma-Aldrich	100
Zn	1 g.l ⁻¹	2 mg.l ⁻¹	firma Sigma-Aldrich	100
Mn	1 g.l ⁻¹	5 mg.l ⁻¹	firma Sigma-Aldrich	100

Postup stanovení:

Zmineralizovaný vzorek byl odlit do měřicí zkumavky a pomocí dilutoru SIPS byl měřen na AAS. Po otevření příslušné metody prvku byly zadány podmínky měření, kalibrační křivky a prvek byl měřen F-AAS acetylen – vzduch. Kontrola měření a kalibrace přístroje byla prováděna vkládáním roztoků standardů. Výsledky naměřených hodnot Na, Mg a K v mg.l⁻¹ byly přepočteny na obsah daného prvku v g.kg⁻¹ sušiny vzorku. Výsledky naměřených hodnot Cu, Fe, Zn a Mn v mg.l⁻¹ byly přepočteny na mg.kg⁻¹ prvku ve stoprocentní sušině vzorku [49,56,58].

$$c = c_1 \cdot f$$

c obsah prvku Na, K, Mg (g.kg⁻¹)

c obsah prvku Cu, Fe, Zn, Mn (mg.kg⁻¹)

c₁ obsah prvku v (mg.l⁻¹)

Koncentrace standardních roztoků prvků a hodnoty zředovacích faktorů jsou uvedeny v tabulce č. 7.

7.2.2.3 Stanovení vápníku AES acetylen – N₂O

Použité přístroje a pomůcky:

AAS – přístroj Varian AA 240Z (Varian, Inc., Austrálie)

běžné laboratorní sklo a pomůcky

laboratorní sušárna Venticell (BMT, ČR)

předvážky – Scaltec

mikrovlonná pec Mars 5 – Xpress (Varian, Inc., Austrálie)

dilutor SIPS – automatický dávkovač – výrobce Varian, Inc., Austrálie

Použité roztoky a chemikálie:

uhličitan vápenatý – firma Sigma-Aldrich

kyselina chlorovodíková – firma Sigma-Aldrich

Modifikátor pro Ca: (lanthan) – LaCl₃ · 7 H₂O (99 %) – firma Merck

Základní standardní roztok vápníku:

Základní roztok Ca: 5000 mg.l⁻¹.

Pracovní standardní roztok vápníku:

Pracovní roztok Ca: 50 mg.l⁻¹.

Postup stanovení:

Zmineralizovaný vzorek byl odlit do měřicí zkumavky a pomocí dilutoru SIPS byl měřen na AAS. Po otevření příslušné metody byly zadány podmínky měření, kalibrační křivka a vápník byl měřen emise acetylen – oxid dusný. Přesnost měření byla zvýšena použitím modifikátoru pro Ca – LaCl₃ · 7 H₂O (1 g La v nástřiku). Výsledky naměřených hodnot v mg.l⁻¹ byly přepočteny na obsah Ca v g.kg⁻¹ [56,58].

$$c = c_1 \cdot f$$

c obsah Ca (g.kg⁻¹)

c₁ obsah Ca (mg.l⁻¹)

f zřed'ovací faktor (f = 0,2)

7.2.2.4 Stanovení prvků metodou ET-AAS

Metodou ET-AAS byly stanoveny prvky Cr, Pb a Cd.

Použité přístroje a pomůcky:

grafitová kyveta GTA 120 – Varian AA 2402 (Varian, Inc., Austrálie)

běžné laboratorní sklo a pomůcky

laboratorní sušárna Venticell (BMT, ČR)

předvážky Scaltec

mikrovlánná pec Mars 5 – Xpress (Varian, Inc., Austrálie)

automatický dávkovač PSD 120 (Varian, Inc., Austrálie)

Použité roztoky a chemikálie:

Modifikátor u Cr: Pd (10 μ g Pd v nástřiku), 15 % roztok Pd(NO₃)₂ v 65 % HNO₃ – firma Merck

Modifikátor u Cd a Pb: NH₄H₂PO₄ (50 μ g v nástřiku) – firma Merck

Tab. 8. Koncentrace standardních roztoků a hodnota zředovacího faktoru.

Prvek	Koncentrace základních roztoků	Koncentrace pracovních roztoků	Dodavatel	Zředovací faktor
Cr	1 g.l ⁻¹	10 μ g.l ⁻¹	firma Merck	0,1
Pb	1 g.l ⁻¹	30 μ g.l ⁻¹	firma Merck	0,1
Cd	1 g.l ⁻¹	2 μ g.l ⁻¹	firma Merck	0,1

Metodika stanovení:

Vzorky mineralizátů s nízkým obsahem prvků byly stanoveny elektrotermickou AAS.

Zmineralizované vzorky byly převedeny do kyvetek, po otevření příslušné metody byly nastaveny podmínky měření a kalibrační křivka podle pokynů a metodik výrobce. Prvky byly měřeny samostatně pomocí automatického podavače PSD. Při měření vzorků elektrotermickou AAS výsledky naměřených hodnot v μ g.l⁻¹ byly přepočteny na mg.kg⁻¹ [49,56,59].

$$c = c_1 \cdot f$$

c obsah prvku Cr, Pb, Cd ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

c_1 obsah prvku ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)

Koncentrace standardních roztoků prvků a hodnoty zředovacích faktorů jsou uvedeny v tabulce č. 8.

8 VÝSLEDKY A DISKUSE

8.1 Stanovení makrobiogenních prvků

Stanovení minerálních prvků bylo provedeno podle postupů uvedených v kapitole 7. V tabulkách 9 až 10 jsou uvedeny hodnoty stanovovaných makrobiogenních prvků ve vybraných druzích řas a obsahy těchto prvků ve významných druzích potravin, bohatých na obsah těchto prvků. Pro přehlednost byly obsahy jednotlivých makrobiogenních prvků v řasách a potravinách znázorněny graficky na obr. 9 až 13 [34,19].

Tab. 9. Obsah makrobiogenních prvků – Na, K, Mg v řasách a potravinách [34].

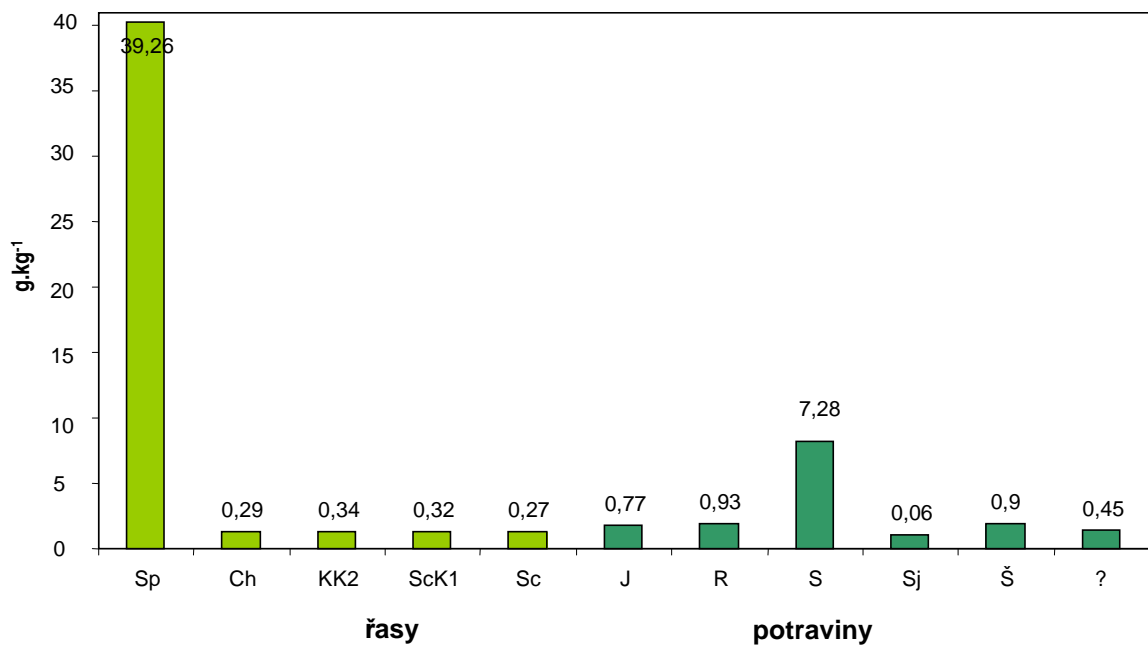
Vzorek	Obsah prvků v g.kg-1 sušiny		
	Na mean ± S.D.	K mean ± S.D.	Mg mean ± S.D.
<i>Spirulina</i> Sp	39,26 ± 0,74	20,78 ± 0,44	1,28 ± 0,02
<i>Chlorella</i> Ch	0,29 ± 0,00	8,84 ± 0,28	2,80 ± 0,12
kmen K2 KK2	0,34 ± 0,01	12,90 ± 0,27	2,47 ± 0,04
<i>Scenedesmus</i> + kmen K1 ScK1	0,32 ± 0,01	12,59 ± 0,26	2,63 ± 0,15
<i>Scenedesmus</i> Sc	0,27 ± 0,00	14,22 ± 0,26	2,03 ± 0,22
Játra vepřová J	0,77	3,50	0,24
Ryby R	0,93	2,90	0,23
Sýry S	7,28	1,09	0,36
Sója Sj	0,06	16,00	2,45
Špenát Š	0,90	6,30	0,60
Čaj černý Č	0,45	21,60	2,50

Tab. 10. Obsah makrobiogenních prvků – Ca, P v řasách a potravinách [34].

Vzorek	Obsah prvků v g.kg ⁻¹ sušiny	
	Ca mean ± S.D.	P mean ± S.D.
<i>Spirulina</i> Sp	1,06 ± 0,01	8,86 ± 0,10
<i>Chlorella</i> Ch	0,94 ± 0,02	13,77 ± 0,24
kmen K2 KK2	0,75 ± 0,02	10,42 ± 0,01
<i>Scenedesmus</i> + kmen K1 ScK1	0,71 ± 0,02	11,65 ± 0,15
<i>Scenedesmus</i> Sc	0,49 ± 0,01	10,30 ± 0,01
Játra vepřová J	0,07	4,20
Ryby R	2,63	2,90
Sýry S	6,75	5,75
Sója Sj	1,55	5,40
Špenát Š	0,98	0,40
Čaj černý Č	4,30	6,30

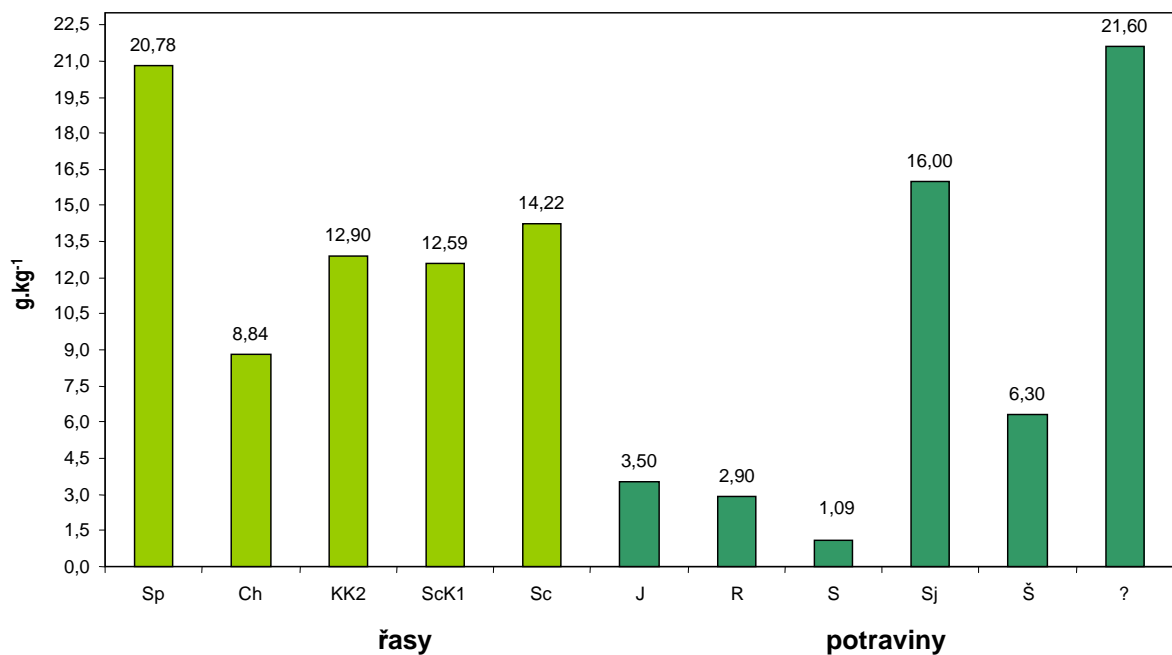
Při zhodnocení celé skupiny makrobiogenních prvků ve vztahu k obsahu těchto prvků v potravinách, byly nejvyšší hodnoty zjištěny ve vzorcích řas u většiny prvků. Přičemž hodnoty jednotlivých prvků v řasách se lišily u různých druhů řas. Nejvyšší obsah Na, K a Ca byl zjištěn u modrozelené řasy *Spirulina* a nejvyšší hodnoty Mg a P byly stanoveny u řasy *Chlorella* [34].

Nejvíce Na bylo zjištěno v modrozelené řase *Spirulina* – 39,26 g.kg⁻¹ sušiny, v ostatních vzorcích vyšetřovaných řas bylo zjištěno podstatně nižší množství v rozsahu 0,27 – 0,34 g.kg⁻¹ sušiny (obr. 9). Obsah Na v potravinách často závisí na technologickém zpracování a na množství použitého NaCl při solení potravin, což může být důvodem vyššího obsahu Na u sýrů [34,48,19].



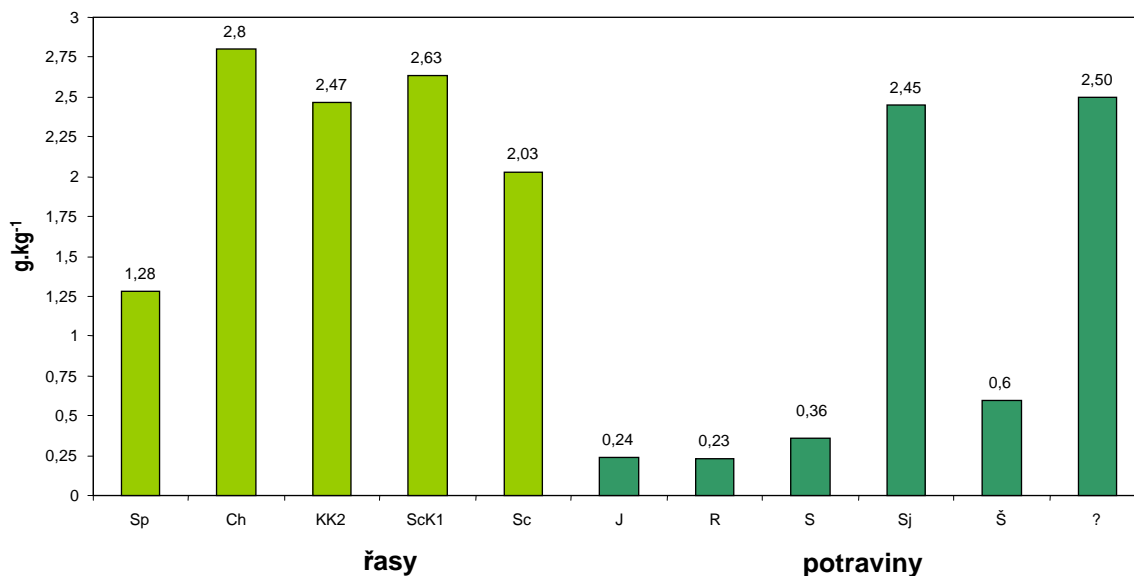
Obr. 9. Srovnání obsahu Na v g.kg⁻¹ sušiny v řasách a potravinách.

Největší množství K – 20,78 g.kg⁻¹ sušiny bylo analyzováno opět u modrozelené řasy *Spirulina*, nižší koncentrace u zbývajících vzorků řas byly v rozmezí 8,84 – 14,22 g.kg⁻¹ sušiny (obr. 10). V potravinách je K přítomen kromě černého čaje a sóji spíše v nižších hodnotách [34,19].



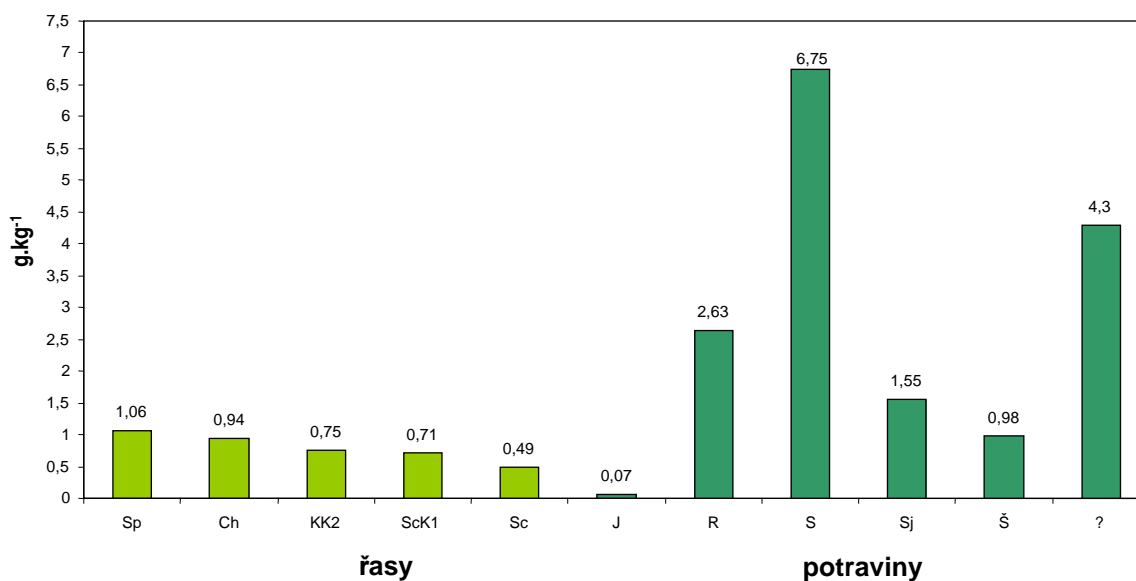
Obr. 10. Srovnání obsahu K v g.kg⁻¹ sušiny v řasách a potravinách.

Nejvyšší hodnoty Mg byly zjištěny u řasy *Chlorella* – 2,80 g.kg⁻¹ sušiny. Ostatní hodnoty Mg v řasách byly v rozmezí 1,28 – 2,63 g.kg⁻¹ sušiny (obr. 11). Nejvyšší obsahy Mg, srovnatelné s obsahem hořčiku u černého čaje a sóji, byly zjištěny u vzorků řas *Chlorella*, kmen K2 a směsném vzorku *Scenedesmus* + kmen K1 [34].



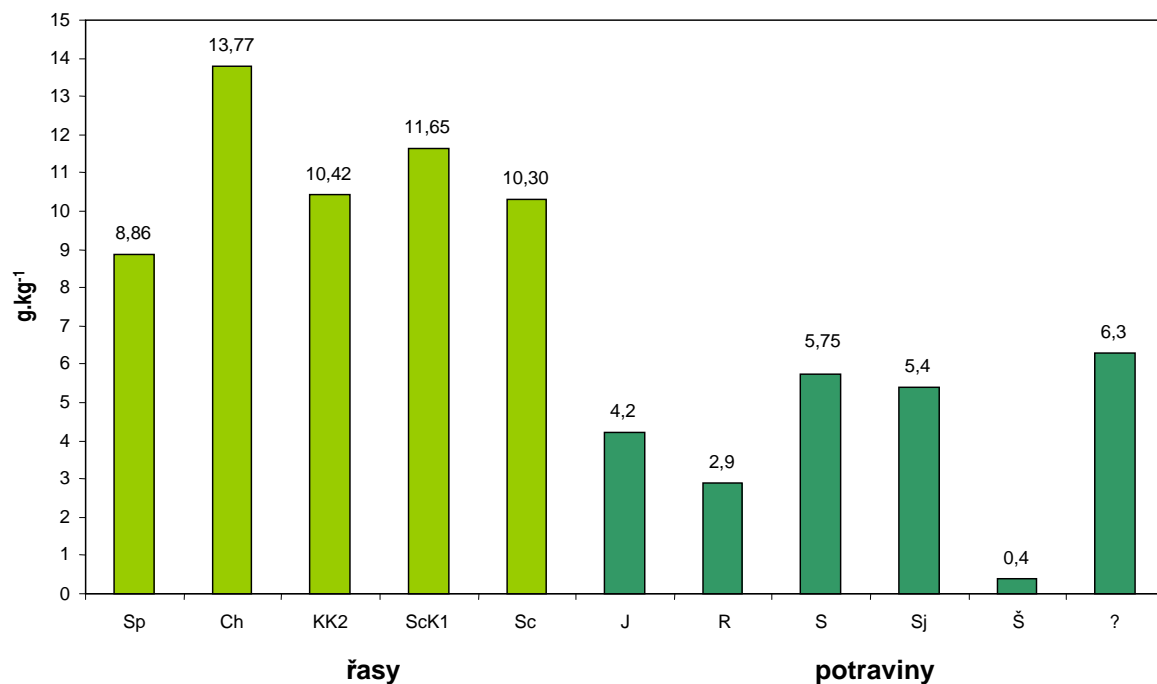
Obr. 11. Srovnání obsahu Mg v g.kg⁻¹ sušiny v řasách a potravinách.

Nejvyšší obsah Ca byl stanoven ve vzorcích řas *Spirulina* a *Chlorella*, 1,06 a 0,94 g.kg⁻¹ sušiny v uvedeném pořadí (obr. 12). Mezi největší potravinové zdroje Ca patří sýry a černý čaj [34].



Obr. 12. Srovnání obsahu Ca v g.kg⁻¹ sušiny v řasách a potravinách.

Nejvíce P bylo obsaženo v řase *Chlorela* – 13,77 g.kg⁻¹ sušiny. I u ostatních vyšetřovaných řas bylo zjištěno velké množství P v rozsahu 8,86 – 11,65 g.kg⁻¹ sušiny (obr. 13). V porovnání s obsahem P v řasách byly hodnoty P v potravinách podstatně nižší. Bohatým zdrojem P jsou černý čaj, sója a sýry [34].



Obr. 13. Srovnání obsahu P v g.kg⁻¹ sušiny v řasách a potravinách.

8.2 Stanovení oligobiogenních minerálních prvků

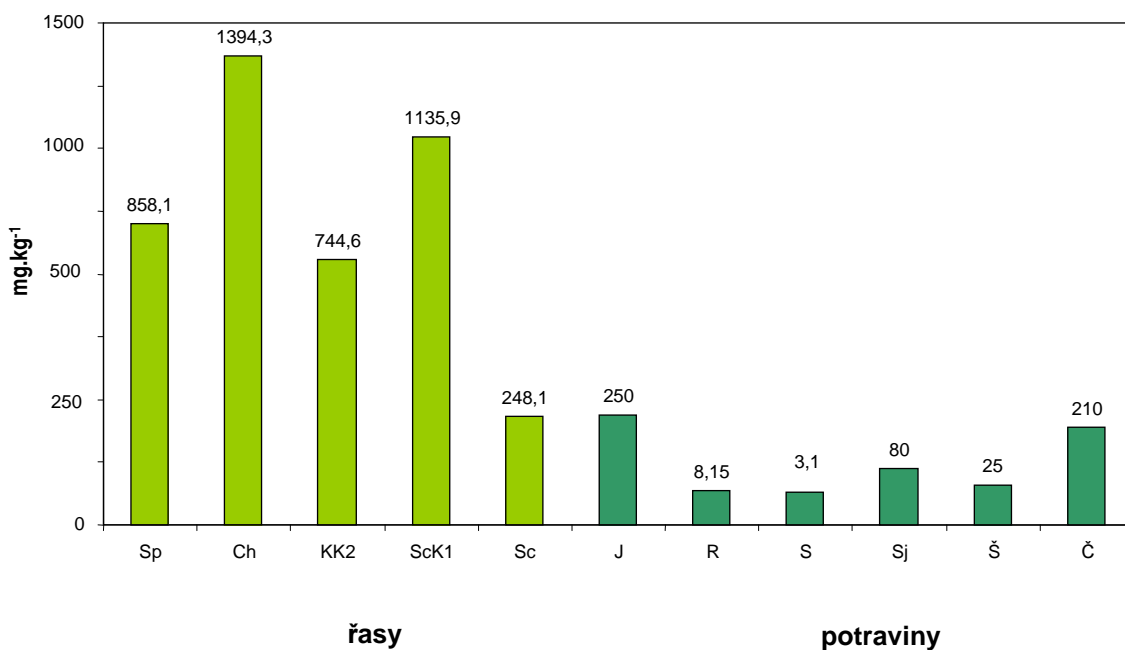
Obsahy oligobiogenních prvků – Fe, Zn v mg.kg^{-1} sušiny dosahují ve vzorcích řas vysokých koncentrací a ve většině případů převyšují hodnoty těchto prvků u významných potravinových zdrojů. V tabulce 11 jsou uvedeny hodnoty stanovených prvků v analyzovaných vzorcích řas a pro srovnání také jejich obsahy ve vybraných potravinách, které byly významnými zdroji těchto prvků [34].

Tab. 11. Obsah oligobiogenních prvků v řasách a potravinách [34].

Vzorek	Obsah prvků v mg.kg^{-1} sušiny	
	Fe mean \pm S.D.	Zn mean \pm S.D.
<i>Spirulina</i> Sp	858,10 \pm 4,80	51,19 \pm 0,48
<i>Chlorella</i> Ch	1394,30 \pm 36,00	166,50 \pm 1,09
kmen K2 KK2	744,60 \pm 16,00	97,21 \pm 0,70
<i>Scenedesmus</i> + kmen K1 ScK1	1135,90 \pm 34,60	110,92 \pm 0,92
<i>Scenedesmus</i> Sc	248,10 \pm 21,90	144,10 \pm 1,42
Játra vepřová J	250,00	84,00
Ryby R	8,15	15,15
Sýry S	3,10	40,00
Sója Sj	80,00	48,00
Špenát Š	25,00	8,65
Čaj černý Č	210,00	30,50

Vysoké obsahy Fe byly analyzovány u řasy *Chlorella* a směsném vzorku *Scenedesmus* + kmen K1 – 1394,3 a 1135,90 mg.kg^{-1} sušiny v uvedeném pořadí. Nižší množství Fe bylo zjištěno u ostatních řas v rozsahu 248,1 - 858,1 mg.kg^{-1} sušiny (obr. 14).

Na obr. 14 je znázorněno srovnání obsahů Fe v analyzovaných řasách a významných zdrojích Fe v potravinách.

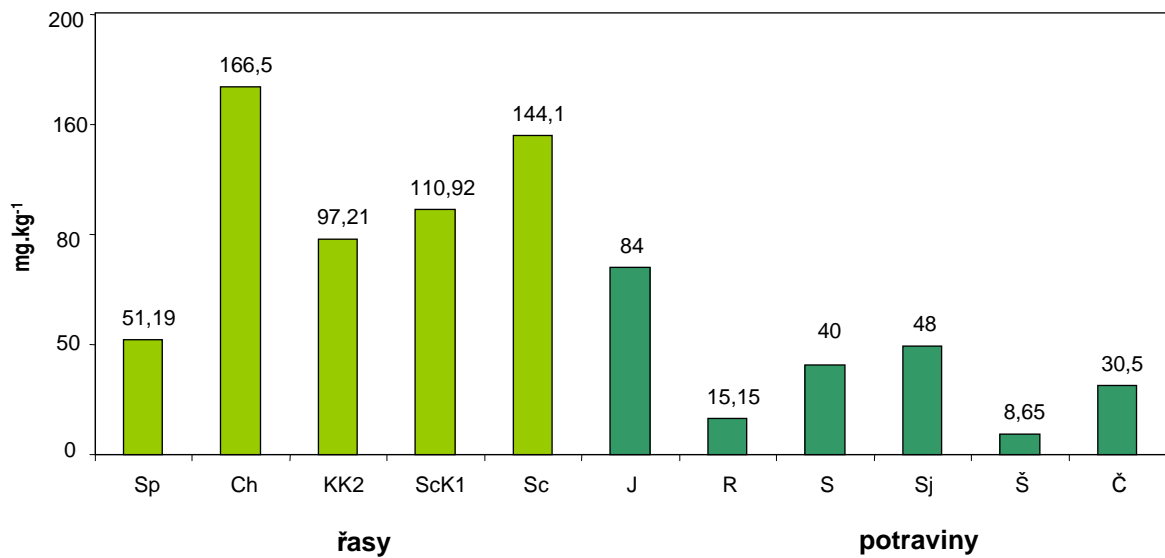


Obr. 14. Srovnání obsahu Fe v mg.kg⁻¹ sušiny v řasách a potravinách.

Množství Fe naměřené u řas *Chlorella* a ve směsném vzorku *Scenedesmus* + kmen K1 výsoce převyšovalo obsahy Fe ve významných zdrojích Fe v potravinách jako jsou vepřová játra a černý čaj [34,48].

Nejvyšší hodnoty Zn byly stanoveny u vzorku řasy *Chlorella* - 166,50 mg.kg⁻¹ sušiny. U ostatních vzorků řas se koncentrace Zn pohybovala v rozsahu 51,19 – 144,10 mg.kg⁻¹ sušiny.

Na obr. 15 je znázorněno srovnání obsahů Zn v analyzovaných řasách a významných zdrojích Zn v potravinách.



Obr. 15. Srovnání obsahu Zn v mg.kg⁻¹ sušiny v řasách a potravinách.

Mezi významné zdroje Zn v potravinách patří vepřová játra, která obsahují nepatrně nižší množství Zn než bylo naměřeno u vzorku kmen K2. Podobné hodnoty Zn jako u sóji a sýru, byly naměřeny u vzorku *Spirulina* [34,48].

8.3 Stanovení mikrobiogenních minerálních prvků

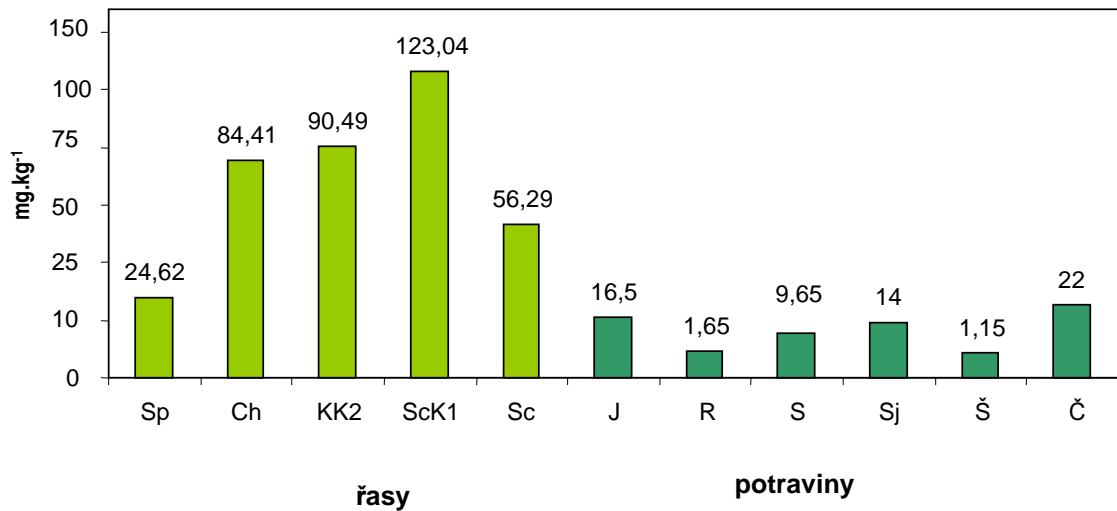
Obsahy mikrobiogenních prvků – Cu, Mn, Cr a B v mg.kg⁻¹sušiny dosahují stejně jako oligobiogenní prvky ve vzorcích řas vysokých koncentrací a ve většině případů převyšují hodnoty těchto prvků u významných potravinových zdrojů. V tabulce 12 jsou uvedeny hodnoty stanovených prvků v analyzovaných vzorcích řas a pro srovnání také jejich obsahy ve vybraných potravinách, které byly významnými zdroji těchto prvků [34].

Tab. 12. Obsah mikrobiogenních prvků v řasách a potravinách [34].

Vzorek	Obsah prvků v mg.kg ⁻¹ sušiny			
	Cu mean ± S.D.	Mn mean ± S.D.	Cr mean ± S.D.	B mean ± S.D.
<i>Spirulina</i> Sp	24,62 ± 0,17	63,83 ± 1,20	8,20 ± 0,70	46,00 ± 1,51
<i>Chlorella</i> Ch	84,41 ± 0,93	66,55 ± 1,26	1,87 ± 0,17	41,00 ± 1,31
kmen K2 KK2	90,49 ± 0,82	38,83 ± 0,60	3,33 ± 0,24	44,30 ± 1,58
<i>Scenedesmus</i> + kmen K1 ScK1	123,04 ± 0,70	142,25 ± 2,78	1,74 ± 0,04	37,50 ± 0,53
<i>Scenedesmus</i> Sc	56,29 ± 0,33	51,25 ± 2,68	0,62 ± 0,01	33,30 ± 1,58
Játra vepřová J	16,50	3,90	0,08	<0,20
Ryby R	1,65	1,60	0,12	<0,20
Sýry S	9,65	0,60	0,07	0,30
Sója Sj	14,00	52,00	0,07	28,00
Špenát Š	1,15	18,75	0,07	2,65
Čaj černý Č	22,00	680,00	1,61	–

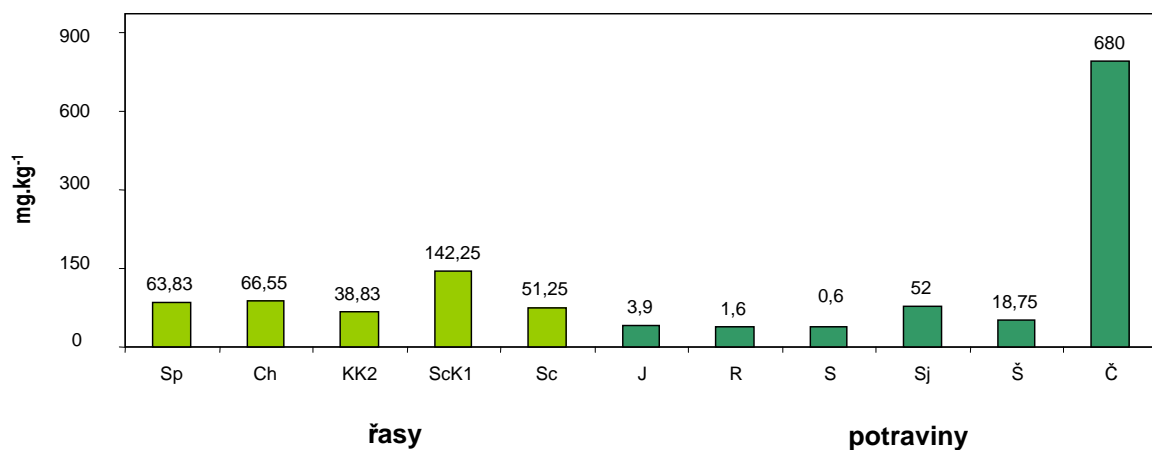
Hodnoty Cu a Mn byly nejvyšší u směsného vzorku *Scenedesmus* + kmen K1, naopak u Cr a B byly nejvyšší hodnoty naměřeny u modrozelené řasy *Spirulina* [34].

V analyzovaných řasách bylo nejvíce Cu zjištěno ve vzorku *Scenedesmus* + kmen K1. Koncentrace Cu u ostatních vzorků byla v rozmezí 24,62 – 90,49 mg.kg⁻¹ sušiny (obr. 16). Zdrojem Cu v potravinách je černý čaj s hodnotou nepatrně nižší než byla naměřena u vzorku modrozelené řasy *Spirulina*. U ostatních zdrojů mědi v potravinách byly zjištěny spíše nižší hodnoty [34].



Obr. 16. Srovnání obsahu Cu v mg.kg⁻¹ sušiny v řasách a potravinách.

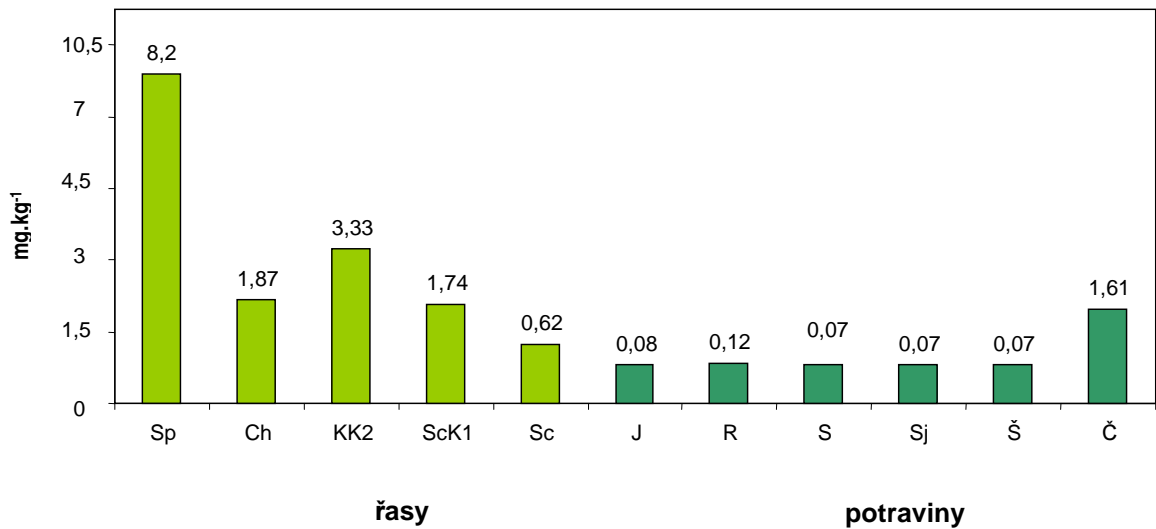
Nejvyšší obsah Mn byl naměřen u směšného vzorku *Scenedesmus* + kmen K1 – 142,25 mg.kg⁻¹ sušiny. Hodnoty Mn u ostatních vzorků řas se pohybovaly v rozmezí 38,83 – 66,55 mg.kg⁻¹ sušiny (obr. 17). Významným zdrojem Mn je černý čaj. Podobné hodnoty Mn jako jsou u sóji, byly naměřeny u vzorku řasy *Scenedesmus* [34].



Obr. 17. Srovnání obsahu Mn v mg.kg⁻¹ sušiny v řasách a potravinách.

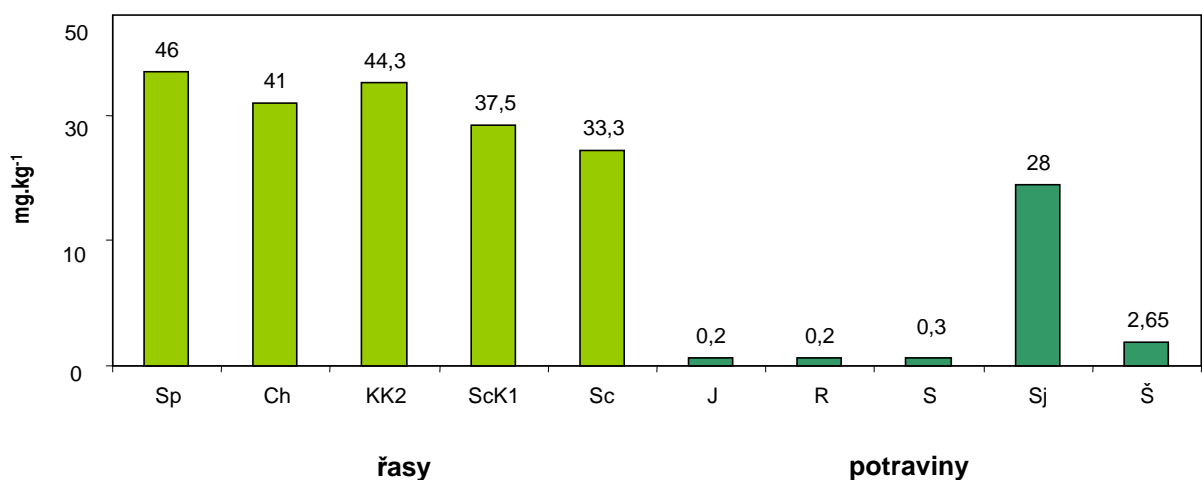
Ve vzorcích řas byly zjištěny nejvyšší hodnoty Cr v modrozelené řase *Spirulina* – 8,20 mg.kg⁻¹ sušiny. Téměř trojnásobně nižší množství Cr bylo stanoveno u ostatních vzorků řas v rozmezí 0,62 – 3,33 mg.kg⁻¹ sušiny (obr. 18). Bohatým zdrojem Cr jsou pivovarské

kvasnice. V potravinách byla nejvyšší hodnota Cr zaznamenána u černého čaje, která byla jen nepatrně nižší než byla naměřena v řasách *Chlorella* a směsném vzorku *Scenedesmus* + kmen K1 [34].



Obr. 18. Srovnání obsahu Cr v mg.kg⁻¹ sušiny v řasách a potravinách.

Nejvíce B bylo zjištěno u vzorku modrozelené řasy *Spirulina* a kmenu K2 – 46,00 a 44,30 mg.kg⁻¹ sušiny v uvedeném pořadí. U ostatních vzorků řas bylo zjištěno nepatrně nižší množství B 33,3 – 41,0 mg.kg⁻¹ sušiny (obr. 19). Významným zdrojem B v potravinách je sója, jejíž hodnota je srovnatelná s obsahem B v řase *Scenedesmus* [34,48].



Obr. 19. Srovnání obsahu B v mg.kg⁻¹ sušiny v řasách a potravinách.

8.4 Stanovení toxických prvků

Výskyt toxických prvků v potravinách souvisí mimo jiné se znečišťováním životního prostředí a je tedy hlavním ukazatelem zdravotní nezávadnosti potravin. Stanovení těchto rizikových kovů u řas bylo tedy do analýzy minerálních prvků zařazeno hlavně pro jejich schopnost vázat těžké kovy z prostředí. Hodnocení obsahu těchto prvků bylo provedeno podle limitů pro obsah toxických kovů v řasách a řasových produktech, které stanovila Francie. Pro Pb a Cd je to limit $\leq 5,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny [34,48].

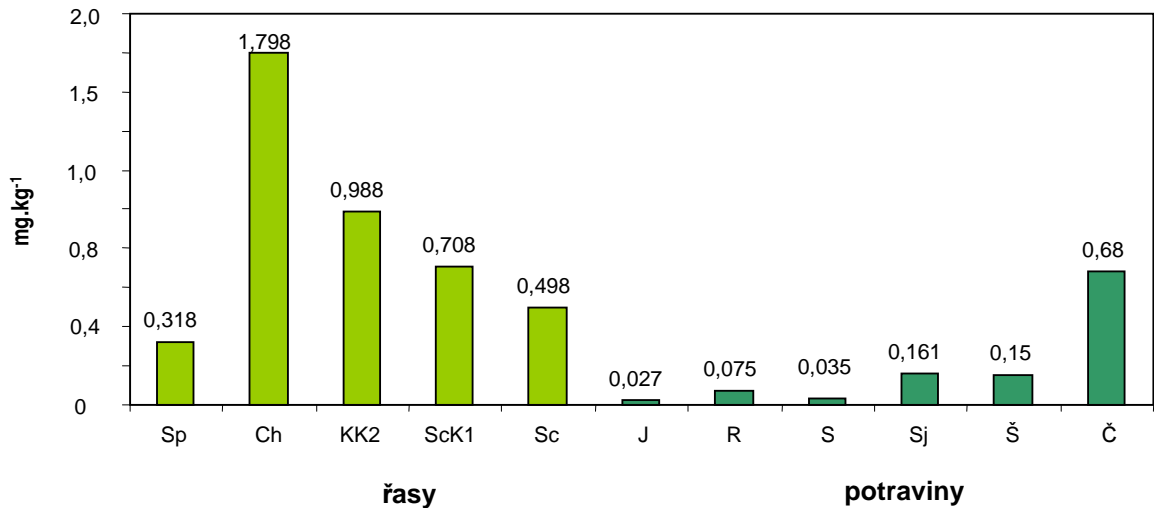
V tabulce 13 jsou uvedeny výsledky analýz obsahů Pb a Cd u daných druhů řas a jejich porovnání s vybranými druhy potravin. V grafickém zpracování byly jednotlivé obsahy prvků v potravinách a řasách porovnány a vyhodnoceny [34].

Tab. 13. Obsah toxických prvků v řasách a potravinách [34].

Vzorek		Obsah prvků v mg.kg^{-1} sušiny	
		Pb mean \pm S.D.	Cd mean \pm S.D.
<i>Spirulina</i>	Sp	0,318 \pm 0,03	0,012 \pm 0,00
<i>Chlorella</i>	Ch	1,798 \pm 0,21	0,025 \pm 0,00
kmen K2	KK2	0,988 \pm 0,08	0,023 \pm 0,00
<i>Scenedesmus</i> + kmen K1	ScK1	0,708 \pm 0,09	0,018 \pm 0,00
<i>Scenedesmus</i>	Sc	0,498 \pm 0,03	0,015 \pm 0,00
Játra vepřová	J	0,027	0,063
Ryby	R	0,075	0,036
Sýry	S	0,035	0,013
Sója	Sj	<0,161	0,065
Špenát	Š	0,150	0,180
Čaj černý	Č	0,680	0,063

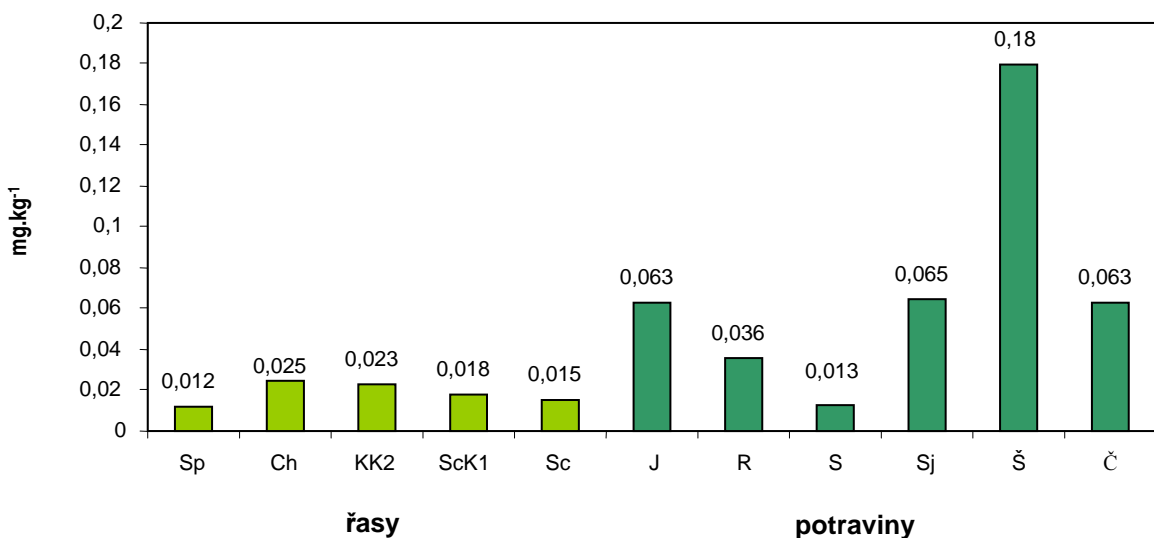
Největší obsah Pb byl naměřen u vzorku řasy *Chlorella* 1,798 mg.kg^{-1} sušiny. U ostatních vzorků řas byly hodnoty Pb nižší v rozmezí 0,318 – 0,988 mg.kg^{-1} sušiny. Všechny analyzované vzorky řas vykazovaly velmi malé množství Cd. Nejvíce Cd bylo zjištěno

u řasy *Chlorella* – 0,025 mg.kg⁻¹ sušiny. U ostatních vzorků vyšetřovaných řas byl zjištěn obsah Cd v rozmezí 0,012 – 0,023 mg.kg⁻¹ sušiny.



Obr. 20. Srovnání obsahu Pb v mg.kg⁻¹ sušiny v řasách a potravinách.

Obsahy Pb ve vzorcích řas dosahují daleko vyšších koncentrací než u vybraných druhů potravin. Přibližně stejný obsah Pb byl zjištěn u směsného kmene *Scenedesmus* + kmen K1 a černého čaje. Ve srovnání se vzorky řas byly u zbývajících potravinových zdrojů spíše nižší hodnoty Pb (obr. 20). Ani v jednom vzorku řas nebylo překročeno deklarované množství 5,0 mg.kg⁻¹ sušiny [48,61].



Obr. 21. Srovnání obsahu Cd v mg.kg⁻¹ sušiny v řasách a potravinách.

Naproti tomu Cd je v řasách přítomno v nižších koncentracích než ve sledovaných potravinách (obr. 21). Největším zdrojem Cd u vybraných druhů potravin je špenát. Podobné hodnoty Cd jako u ryb, byly naměřeny u vzorku řasy *Chlorella*. Obsah Cd nepřekročil limitní hodnotu $5,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny ani v jednom případě [48,61].

ZÁVĚR

V pěti vzorcích lyofilisovaných sladkovodních řas a sinic byly stanoveny obsahy minerálních prvků a jejich hodnoty byly srovnány s významnými zdroji těchto prvků v potravinách. Byly analyzovány makrobiogenní prvky – Na, K, Mg, Ca a P, jejichž obsahy byly v jednotlivých druzích řas velmi rozdílné. V porovnání s potravinami byly ve většině případů ve vyšších koncentracích. Nejvyšší hodnoty Na, K a Ca byly naměřeny u řasy *Spirulina* – 39,26; 20,78 a 1,06 g.kg⁻¹ sušiny. Nejvyšší hodnoty Mg a P byly obsaženy v řase *Chlorela* – 2,80 a 13,77 g.kg⁻¹ sušiny v uvedeném pořadí. Naopak obsahy K a Ca byly vyšší u vybraných druhů potravin černého čaje a sóji.

Obsahy oligobiogenních prvků v řasách dosahovaly vysokých koncentrací a ve většině případů i významné zdroje těchto prvků převyšovaly. Vysoké obsahy Fe byly zjištěny ve vzorcích řas *Chlorela* – 1394,30 mg.kg⁻¹ sušiny a směsném vzorku *Scenedesmus* + kmen K1 – 1135,90 mg.kg⁻¹ sušiny. Nejvyšších hodnot Zn bylo dosaženo u řas *Chlorella* a *Scenedesmus* – 166,50 a 144,10 mg.kg⁻¹ sušiny v uvedeném pořadí. Srovnatelné hodnoty Zn byly naměřené u řas kmen K2 a ve směsném vzorku *Scenedesmus* + kmen K1, které byly nepatrně vyšší než u vepřových jater. Relativně stejné hodnoty Zn jako má sója byly naměřené u modrozelené řasy *Spirulina*.

Stanovené hodnoty mikrobiogenních prvků v řasách jsou ve srovnání s většinou posuzovaných potravin mnohonásobně vyšší. Měď byla zjištěna nejvyšší u směsného vzorku *Scenedesmus* + kmen K1 a v kmenu K2 – 123,04 a 90,49 mg.kg⁻¹ sušiny v uvedeném pořadí. Největším zdrojem Cu ve sledovaných potravinách byl černý čaj, jehož hodnota byla srovnatelná se stanovenou koncentrací Cu u modrozelené řasy *Spirulina*. Největším zdrojem Mn byl opět černý čaj a v případě řas směsný vzorek *Scenedesmus* + kmen K1, u něhož byla zjištěna koncentrace 142,25 mg.kg⁻¹ sušiny. Nejvyšší obsah Cr – 8,20 mg.kg⁻¹ sušiny byl zjištěn u modrozelené řasy *Spirulina*. Hodnota Cr u černého čaje byla srovnatelná s hodnotami Cr u řasy *Chlorella* a směsného vzorku *Scenedesmus* + kmen K1, jejichž hodnoty byly spolu s řasou *Scenedesmus* nejnižší ze všech analyzovaných vzorků řas. Nejvíce bóru bylo stanoveno v modrozelené řase *Spirulina* – 46,00 mg.kg⁻¹ sušiny. Ve sledovaných potravinách pak v sóji s hodnotou nepatrně nižší než bylo v případě řasy *Scenedesmus*.

Vzhledem k tomu, že řasy mají schopnost absorbovat těžké kovy z prostředí, ve kterém se vyskytují, byly stanoveny Pb a Cd. Stanovení těchto prvků patří k hlavním ukazatelům zdravotní nezávadnosti potravin. Zjištěné obsahy těchto prvků nepřevyšovaly ani v jednom případě francouzské limity stanovené pro obsah Pb a Cd v řasách.

Koncentrace těžkých kovů Cd a Pb analyzovaných ve vzorcích z řas byly srovnány s obsahem těchto rizikových kovů s toxickými účinky s vybranými druhy potravin. Stanovené hodnoty Pb u řas dosahovaly daleko vyšších hodnot, než byly u vybraných potravin. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo u řas *Chlorella* a kmen K2. Přibližně stejný byl obsah Pb u směsného vzorku *Scenedesmus* + kmen K1 a černého čaje. V případě Cd se obsahy v řasách ve srovnání s vybranými potravinami pohybovali spíše v nižších koncentracích.

Minerální prvky jsou nezbytnou součástí potravy, které si lidský organismus nedokáže sám vytvořit, proto musí být dodávány v rostlinných a v živočišných surovinách. Řasy obsahují vysokou koncentraci oligobiogenních a mikrobiogenních prvků, které určitým způsobem mohou podporovat lidské zdraví např. snižovat riziko rakoviny, vysokou hladinu cholesterolu, předcházet virovým onemocněním, osteoporóze atd. Je vhodné řasy používat jako doplňky stravy, v nichž by svou nutriční hodnotou mohly doplnit chybějící zdroje kvalitních minerálních látek. Vzhledem k tomu, že součástí buněčných stěn řas jsou polysacharidy s funkcí vlákniny a další složky, jako např. kyselina fytoová, které mohou omezit využitelnost minerálních prvků lidským organismem, je důležité se zabývat i jejich stanovením.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KALINA, T.; VÁŇA, J. *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii*. 1. vyd. Praha: Universita Karlova v Praze, Karolinum, 2005. ISBN 80-246-1036-1.
- [2] *Www.sinicearasy.cz* [online]. Fykologická laboratoř na Přírodovědecké fakultě JU: 2009 [cit. 2009-07-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.sinicearasy.cz/pokr/Chlorophyta>>.
- [3] GUSCHINA I.; HARWOOD J. L. *Lipids and lipid metabolism in eukaryotic algae*. Progress in Lipid Research. 2006, 45, s. 160 – 186.
- [4] JANKOVSKÝ, L. *Viry, prokaryota, řasy, houby a lišejníky*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1997. 154 s. ISBN 80-210-1555-1.
- [5] FOTT, B. *Sinice a řasy*. 2. vyd. Praha: Akademia, nakladatelství Československé akademie věd, 1967. 520 s.
- [6] FANTÓ, A. *Vitamíny a prevence*. 1. vyd. České Budějovice: DONA, 1992. 263 s. ISBN 80-85463-18-0.
- [7] KUDA, T.; GOTO, H.; YOKOYAMA, M., & FUJII, T. *Fermentable dietary fiber indried products of brown algae and their effects on cecal microflora and levels of plasma lipid in rats*. Fisheries Science. 1998, 64, s. 582 – 588.
- [8] KUDA, T.; YOKOYAMA, M., & FUJII, T. (1997). *Effects of marine algae diets Hijiki, Aonori, and Nori on levels of serum lipid and cecal microflora in rats*. Fisheries Science. 63, s. 428 – 432.
- [9] SOUTHGATE, D. A. T.; WALDRON, I. T.; JOHNSON & FENWICK G. R. *Dietary fiber: Chemical and biological aspects*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry. 1990, s. 10 – 19.
- [10] MAC ARTAIN, P.; GILL, C. I.; BROOKS, M.; CAMPBELL, R. & ROWLAND, I. R. *Nutritional value of edible seaweeds*. Nutrition Reviews, 2007, 65, s. 535 – 543.
- [11] MIŠURCOVÁ, L. *Potravinářstvo*. 2010, 4, s. 64 – 70. ISSN 1337 – 0960.

- [12] KALINA, T. *Systém a vývoj sinic a řas*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Karolinum, 2001. 165 s. ISBN 80-7184-611-2.
- [13] URBAN, Z.; KALINA, T. *Sinice, Řasy, houby*. 1.vyd. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Státní pedagogické nakladatelství, n. p., 1976. ISBN 17-254-75.
- [14] *Puvodniprameny.cz* [online]. 2009 [cit. 2009-09-25]. Sladkovodní řasy - Chlorella. Dostupné z WWW: <<http://www.puvodniprameny.cz/index.php?page=chlorella>>.
- [15] FLEURENCE, J. *Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses*. Trends in Food Science and Technology, 1999, s. 25 – 28.
- [16] GRANADO-LORENCIO, F.; HERRERO-BARBUDO, C.; ACIÉN-ERNÁNDEZ, G. *Analytical Methods - In vitro bioaccessibility of lutein and zeaxanthin from the microalgae Scenedesmus almeriensis*. Food Chemistry, 2009, 114, s. 747 – 752.
- [17] *Biolib.cz* [online]. 1999 [cit. 2009-09-25]. Chlorofyta - zelené řasy. Dostupný z WWW: <www.biolib.cz/cz/gallery/dir713/>.
- [18] URBAN, Z.; KALINA, T. *Systém a vývoj nižších rostlin*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n. p., 1980. 416 s. ISBN 14-524-80.
- [19] MIŠURCOVÁ, L. *Nové nutriční aspekty a využití mořských a sladkovodních řas ve výživě člověka*. 1. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009. 43 s. ISBN 978-80-7318-874-0.
- [20] HENRIKSON, R. *Earth Food Spirulina*. Ronore Enterprises, Inc., 2000. 131 s.
- [21] SWITZER, L. *Spirulina: The Whole Food Revolution*. Bantam, NY, USA, 1982. 22 s. ISBN 0-553-20806-3.
- [22] JASSBY, A. *Spirulina: a model for microalgae as human food. Algae and Human Affairs*. Cambridge University Press, 1988. 158 s.
- [23] JASSBY, A. *Nutritional and Therapeutic Properties of Spirulina*. Proteus Corp. 1983.
- [24] CHALLEM, J. J. *Spirulina. A Good Health Guide*. Keats Publishing, New Canaan CT, 1981. 15 s.

- [25] KATAOKA, N.; MISAKI, A. *Glycolipids isolated from spirulina maxima*. Agric. Biol. Chem. 1983, 47, 10, s. 2349 – 2355.
- [26] VENKATARAMAN, L.V.; BECKER, E.W. *Biotechnology & Utilization of Algae- The Indian Experience*. Sharada Press, Mangalore, India, 1985, s. 114 – 115.
- [27] BELCREDI, B. N.; EHRENBERGEROVÁ, J.; PRÝMA, J.; HAVLOVÁ, P. Stanovení aktivity enzymu superoxiddismutasy pomocí soupravy Ransod v rostlinném materiálu. *Chemické listy*. 2007, 101, s. 504 – 508.
- [28] KRAJČOVÁ, J. *Zbožíznalství*. 3. vyd. Praha: Vysoká škola hotelová v Praze 8, 2005. ISBN 80-86578-51-8.
- [29] VELÍŠEK, J. *Chemie potravin 1*. 1. vyd. Praha: Osis Tábor, 1999. 352 s. ISBN 80-902391-3-7.
- [30] ŠPAČEK, J. *Hlenky, houby, řasy*. 1. vyd. Brno: Masarykova Univerzita, 1999. 134 s. ISBN 80-210-2157-8.
- [31] KLOUDA, P. *Moderní analytické metody*. 2. vyd. Ostrava: Nakladatelství Pavel Klouda, 2003. 132 s. ISBN 80-86369-07-2.
- [32] *Vupp.cz* [online]. [cit. 2009-09-24]. Potravinářská vláknina. Dostupný z WWW: <www.vupp.cz/czvupp/publik/.../06mbVlajninaPresentace.pdf>.
- [33] KALAČ, P. *Funkční potraviny – kroky ke zdraví*. 1. vyd. České Budějovice: DONA, 2003. 132 s. ISBN 80-7322-029-6.
- [34] VELÍŠEK, J. *Chemie potravin 2*. 1.vyd. Praha: Osis Tábor, 1999. 328 s. ISBN 80-902391-4-5.
- [35] *Utb.cepac.cz* [online]. [cit. 2009-09-09]. Analýza potravin přírodní látky. Dostupný z WWW: <http://utb.cepac.cz/Screens/ContentProvider.aspx/WtflCf_RaQQKv0Mt65cE7M7OxXx1Wj1aVZw9V1sB501/M0028_chemie_a_analyza_potravin/distančni_text_II/M0028_chemie_a_analyza_potravin_distančni_text_II.pdf>.

- [36] DENG, L.; ZHANG, Y.; QIN, J. *Biosorption of Cr(VI) from aqueous solutions by nonliving green algae Cladophora albida*. *Minerals Engineering*. 2009, 22, s. 372 – 377.
- [37] GUPTA, V. K.; SHRIVASTAVA, A. K.; JAIN, N. *Biosorption of chromium (VI) from aqueous solution by green algae Spirogyra species*. *Water Research*. 2001, 35, s. 4079 – 4085.
- [38] MOHANTY, K.; JHA, M.; MEIKAP, B. C.; BISWAS, M. N. *Biosorption of Cr (VI) from aqueous solutions by Eichhornia Crassipes*. *Chemistry Engineering Journal*. 2006, 117, s. 71 – 77.
- [39] RUTHERFORD, J. C.; BIRD, A. J. *Metal – Responsive Transcription Factors That Regulate Iron, Zinc, and Copper Homeostasis in Eukaryotic Cells*. University of Utah Health Sciences Center. 2004, 1, s. 1 – 13.
- [40] PARISI, A. F.; VALLEE, B. L. *Zinc Metalloenzymes: Characteristics and Singnificance in Biology and Medicine*. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1969, 9, s. 1222 – 1239.
- [41] O'DELL, B. L. *Role of Zinc in Plasma Membrane Function*. *The Journal of Nutrition*. 2000, 130, s. 1432 – 1436.
- [42] YOSHIDA, N.; YKEDA, R.; OKUNO, T. *Identification and characterization of heavy-metal resistant unicellular alga isolated from soil and its potential for phytoremediation*. *Bioresource Technology*. 2006, 97, s. 1843 – 1849.
- [43] BAYEN, S.; WORMS, I.; PARTHASARATHY, N. et. al. *Cadmium bioavailability and specification using the permeation liquid membrane*. *Analytica Chimica Acta*. 2006, 575, s. 267 – 273.
- [44] TSUI, M.T.K.; CHEUNG, K.C.; TAM, N.F.Y.; WONG, M.H. *A comparative study on metal sorption by brown seaweed*. *Chemosphere*. 2006, 65, s. 51 – 56.
- [45] FOX, M.R.S. *Nutritional Influences on Metal Toxicity Kadmium as a Model Toxic Element Environmental Health Perspectives*. 1979, 29, s. 95 – 104
- [46] CLARKSON, T.W. *Metal Toxicity in the Central nervous System. Environmental Health Perspectives*. 1987, 75, s. 59 – 64.

- [47] SAWIDIS, T.; BROWN, M. T.; ZACHARIADIS, G.; SRATIS, I. *Trace metal concentrations in marine microalgae from diferent biotopes in the Aegean Sea. Environ. International.* 2001, 27, s. 43 – 47.
- [48] MIŠURCOVÁ, L.; KRÁČMAR, S.; STRATILOVÁ, I. Laboratorní přístroje a postupy. *Chemické listy.* 2009, 103, s. 1027 – 1033.
- [49] JAVORSKÝ, P. *Chemické rozborý v zemědělských laboratořích.* 2. vyd. České Budějovice: Ministerstvo zemědělství a výživy ČSR, Výstavnictví zemědělství a výživy, 1987.
- [50] DOČEKAL, B. Atomová absorpční spektrometrie. In *Sborník přednášek.* 1. vyd. Český Těšín: 2 THETA, 1997. 144 s.
- [51] *Tomcat.prf.jcu.cz* [online]. [cit. 2009-09-12]. Srážecí reakce v analytické chemii. Dostupný z WWW:
<http://tomcat.prf.jcu.cz/sima/analyticka_chemie/gravimetrie.htm>.
- [52] *Vscht.cz* [online]. [cit. 2009-09-19]. Spektrofotometrie ve viditelné oblasti spektra. Dostupný z WWW:<vscht.cz/anl/lach1/5_Foto.pdf>.
- [53] DOČEKAL, B. Atomová absorpční spektrometrie. In *Sborník přednášek.* 2. vyd. Český Těšín: 2 THETA, 2003. 165 s. ISBN 80-86380-16-5.
- [54] *Tomcat.prf.jcu.cz* [online]. [cit. 2009-09-12]. Spektrometrické analytické metody. Dostupný z WWW: <tomcat.prf.jcu.cz/sima/analyticka_chemie/spektraa.htm>.
- [55] MADER, P.; ČURDOVÁ, E. Metody rozkladu biologických materiálů pro stanovení stopových prvků. *Chemické listy.* 1997, 91, s. 223 – 236.
- [56] ZBÍRAL, J. *Analýza rostlinného materiálu: Jednotné pracovní postupy.* 1. vyd. Brno: ÚKZÚZ, 1994.
- [57] ANONYM: *Official Journal L 206. Eighth Commission Directive 78/633/EEC of 15 June 1978 Establishing Community methods of analysis for the official control of feeding stuffs.* July 29, 1978, p. 43 – 55.
- [58] ANONYM: *Postupy laboratorního zkoušení krmiv, doplňkových látek a premixů I.* Brno: ÚKZÚZ, 2000. 266 s.
- [59] ANONYM. Seznam zkušebních metod NRL pro krmiva. In *Věstník ÚKZÚZ.*

- [60] ANONYM. *Postupy laboratorního zkoušení krmiv, doplňkových látek a premixů II*. Brno: ÚKZÚZ, 2001, 233 s. ISBN 80-86051-81-1.
- [61] MABEAU, S., FLEURENCE, J. *Seaweed in food products: biochemical and nutritional aspects*. Trends in Food Science & Technology, 1993, 4, s. 103 – 107.
- [62] LANGMYHR, F. J., WIBETOE, G. Prog. Analyt. Atom. Spectrosc. 1985, 8. 193 s.
- [63] MADĚR, P.; SZÁKOVÁ, J.; ČURDOVÁ, E. *Talanta*. 1996, 43, 521 s.
- [64] ANONYMUS. *Analytical methods committee: Analyst*. London, 1959, 84, 214 s.
- [65] ŠULCEK, Z.; NOVÁK, J.; VYSKOČIL, J. *Chemické listy*, 1989, 83. 388 s.
- [66] ŠUCMAN, E. Trendy vývoje AAS a analýza biologických materiálů. In *Sborník*. Olomouc, 1996. 31 s.
- [67] KUBÁT, K.; KALINA, T.; KOVÁČ, J. a kolektiv. *Botanika*. 1. vyd. Praha: Scientia – pedagogické nakladatelství, 1998. 231 s. ISBN 80-7183-053-4.
- [68] COUGHLIN, J. R. Advances in Boron Essentiality. The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine. 1999, 12, s. 171 – 174.
- [69] *Spirulina-benefits.com* [online]. [cit. 2010-03-27]. Spirulina–benefit. Dostupný z WWW:<Spirulina-benefit.com/benefits-of-spirulina.htm>.
- [70] *Potravinářská revue: Odborný časopis pro výživu, výrobu potravin a obchod*. Praha: Agral s.r.o., 2006, 3, s. 50 – 52. ISSN 1801-9102.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

%	Procento
μg	Mikrogram
μm	Mikrometr
AAS	Atomová absorpční spektrometrie
AES	Atomová emisní spektrometrie
ATP	Adenosin trifosfát
CCP	Kapacitně vázané plazma
DCP	Stejnoseměrná plazma
DNA	Deoxiribonukleová kyselina
ET-AAS	AAS s elektrotermickou atomizací
F-AAS	Atomová absorpční spektrometrie bezplamenová
g	Gram
GTP	Guanosin trifosfát
hm %	Hmotnostní procenta
ICP	Indukčně vázané plazma
JÚ v ČB	Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
kDa	Kilodalton, jednotka atomové hmotnosti
kg	Kilogram
kJ	Kilo joul
m	Metr
mg	Miligram
MIP	Mikrovlnně indukované plazma
např.	Například
p.a.	Velmi čisté chemikálie určené pro analýzy

PE	Polyethylen
PVC	Polvinylchlorid
RNA	Ribonukleová kyselina
v/v	Objemová %
w/w	Váhová %

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Chlorophyta – stavba bičíkaté a vláknité buňky	19
Obr. 2. Dělicí se buňky rodu Chlorella	20
Obr. 3. Scenedesmus opoliensis	22
Obr. 4. Cyanobacteria – stavba buňky	23
Obr. 5. Spirulina – „malá spirála“	26
Obr. 6. Spirulina tablety	28
Obr. 7. Mikrovlnná rozkladná pec	43
Obr. 8. Lineární kalibrační závislost.....	57
Obr. 9. Srovnání obsahu Na v mg.kg^{-1} sušiny v řasách a potravinách.....	64
Obr. 10. Srovnání obsahu K v mg.kg^{-1} sušiny v řasách a potravinách.	64
Obr. 11. Srovnání obsahu Mg v mg.kg^{-1} sušiny v řasách a potravinách.....	65
Obr. 12. Srovnání obsahu Ca v mg.kg^{-1} sušiny v řasách a potravinách.....	65
Obr. 13. Srovnání obsahu P v mg.kg^{-1} sušiny v řasách a potravinách.	66
Obr. 14. Srovnání obsahu Fe v mg.kg^{-1} sušiny v řasách a potravinách.	68
Obr. 15. Srovnání obsahu Zn v mg.kg^{-1} sušiny v řasách a potravinách.....	69
Obr. 16. Srovnání obsahu Cu v mg.kg^{-1} sušiny v řasách a potravinách.....	71
Obr. 17. Srovnání obsahu Mn v mg.kg^{-1} sušiny v řasách a potravinách.....	71
Obr. 18. Srovnání obsahu Cr v mg.kg^{-1} sušiny v řasách a potravinách.	72
Obr. 19. Srovnání obsahu B v mg.kg^{-1} sušiny v řasách a potravinách.....	72
Obr. 20. Srovnání obsahu Pb v mg.kg^{-1} sušiny v řasách a potravinách.....	74
Obr. 21. Srovnání obsahu Cd v mg.kg^{-1} sušiny v řasách a potravinách.....	74

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Přehled řasových oddělení a jejich současné zařazení.....	13
Tab. 2. Charakteristické vlnové délky prvků a detekční limit u metod AAS.	45
Tab. 3. Charakteristika stanovení zkoumaných druhů řas.	50
Tab. 4. Charakteristiky stanovení minerálních prvků.....	51
Tab. 5. Charakteristiky stanovení toxických prvků.	51
Tab. 6. Kalibrační křivka pro bór.....	56
Tab. 7. Koncentrace standardních roztoků a hodnota zřed'ovacího faktoru.	58
Tab. 8. Koncentrace standardních roztoků a hodnota zřed'ovacího faktoru.	60
Tab. 9. Obsah makrobiogenních prvků – Na, K, Mg v řasách a potravinách.	62
Tab. 10. Obsah makrobiogenních prvků – Ca, P v řasách a potravinách.	63
Tab. 11. Obsah oligobiogenních prvků v řasách a potravinách.	67
Tab. 12. Obsah mikrobiogenních prvků v řasách a potravinách.....	70
Tab. 13. Obsah toxických prvků v řasách a potravinách.	73

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Periodická soustava prvků

