

三种螺旋藻及其蛋白质、多糖和脂类 结合硒的研究*

周志刚 李朋富 刘志礼 刘雪娴

(南京大学生物科学与技术系, 南京 210093)

提要 于1992年9月—1995年1月将极大、钝顶、盐泽等三种螺旋藻在加4—100 mg/L 硒浓度的培养基内培养, 研究藻细胞及其蛋白质、多糖和脂类结合硒的量, 探讨硒的结合机理。结果表明, 极大螺旋藻累积的硒随外加硒的浓度而增加, 但累积系数接近平均值2.184; 在同样的硒浓度(8 mg/L)条件下, 盐泽螺旋藻对硒的累积远大于极大和钝顶两种螺旋藻的, 高达 696.968×10^{-6} ; 极大螺旋藻中蛋白质和脂类结合的硒分别占藻细胞含硒量的14.63%和16.05%, 两者均高于其它两种藻中相对应的量; 三种藻细胞多糖结合硒的能力均很弱, 但胞外多糖结合硒的能力较强。根据实验结果推测, 螺旋藻累积硒的机理一方面是大分子化合物的吸附作用, 另一方面是通过生化过程使硒与蛋白质和脂类结合形成大分子化合物。

关键词 螺旋藻 硒 累积 蛋白质 多糖 脂类

螺旋藻(*Spirulina*)由于富含蛋白质(约占细胞干重的60%—70%), 且营养成分均衡, 被联合国粮农组织称为“二十一世纪的食品”。近来大规模工厂化生产的发展使得螺旋藻产业在国内外形成了一定的规模, 因此对其进行有关的生理生化研究是很有必要的。硒作为一种微量元素, 是人体及动物营养不可缺少的(薛少安等, 1992; Hawhes et al., 1985)。Zhou等(1995)也曾证明硒在低浓度(4—40 mg/L)下可以诱导极大螺旋藻产生谷胱甘肽过氧化物酶、有效地清除自由基、促进生长; 高浓度硒(大于40 mg/L)对螺旋藻具毒害作用以至抑制生长。但硒在细胞内的累积以及结合方式如何, 国内外还未见报道。本文对螺旋藻细胞累积硒以及吸收硒后在胞内的分布情况予以研究, 以期对硒的生物化学研究和深度开发、利用螺旋藻提供科学资料和理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 藻种和培养

实验于1992年9月—1995年1月进行, 所用的三种螺旋藻, 分别是极大螺旋藻(*Spirulina maxima*)、钝顶螺旋藻(*S. platensis*)和盐泽螺旋藻(*S. subsalsa*), 均是本系藻种室提供的。培养条件是: Zarrouk 液体培养基(Borowitzka, 1988), 在其中加入 Na_2SeO_3

* 南京大学博士学位论文。周志刚, 男, 出生于1964年8月, 现在中国科学院海洋研究所做博士后研究工作。

夏仲豪、贝源两位老师协助实验, 谨志谢忱。

收稿日期: 1995年4月5日, 接受日期: 1996年2月12日。

来提供硒, 硒浓度为 4—100 mg/L; 用日光灯作为光源, 光照度为 160 $\mu\text{mol} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 光周期为光:暗 = 16h:8h, 光照时温度为 35℃, 暗时为 25℃。间断通气培养 12d(即对数期)后, 以 300 目筛绢过滤, 用无硒新鲜培养基洗两次, 收集, 冷冻干燥成藻粉。先以极大螺旋藻为材料来确定藻细胞累积硒的最佳硒浓度, 在此基础上进行三种螺旋藻及其蛋白质、多糖和脂类结合硒的比较研究。

1.2 蛋白质的提取与纯化

取三种藻的冻干藻粉各 1g 加 0.1mol/L 磷酸缓冲液(PBS, pH = 7.0), 反复冻融三次, 离心, 取上清液用 30%—70% 硫酸铵沉淀, 离心得粗蛋白; 在 Sephadex G-100 (1.6 × 50cm) 层析柱上以 0.5ml/min 的流速用 0.1mol/L PBS(pH = 7.0) 洗脱, 收集含蛋白质部分, 对蒸馏水透析后用聚乙二醇($M_r = 20\ 000$) 浓缩, 冷冻干燥, 得纯化的蛋白质。

1.3 脂类的分离及纯化

1.3.1 分离 取三种藻的冻干藻粉各 1g, 加样品重量 100 份的异丙醇于室温下浸泡 24h, 离心; 残余物再浸泡一次, 离心。再把残余物用 100 份 1:1(V/V) 的氯仿-异丙醇浸泡 48h, 离心; 再浸泡 24h, 离心(William, 1982)。收集上述的上清液, 于 60℃ 减压浓缩, 加 2:1(V/V) 的氯仿-甲醇使样品最终稀释 20 倍, 按 Folch 等(1957) 的方法清洗三次, 得脂类粗品。

1.3.2 纯化 将所得的样品在 3.5 × 15cm 的硅胶柱上先用氯仿把中性脂洗脱下来, 然后用甲醇洗脱极性脂, 收集不同部分, 减压浓缩得纯化的脂类。

1.4 胞内外多糖的分离和纯化

1.4.1 分离提取 将培养 12d 的三种螺旋藻分别用 300 目筛绢过滤, 得藻泥和滤液。将滤液在 80℃ 下浓缩、透析, 用 Sevag 方法(吴东儒编著, 1993) 脱蛋白, 醇析得胞外粗多糖; 将藻泥用无硒新鲜培养基洗两次后, 加蒸馏水, 于 90℃ 水浴抽提三次, 得上清液, 浓缩、脱蛋白、醇析得胞内粗多糖。

1.4.2 纯化 将所得的粗多糖在 DEAE-Sephadex A-25(2.5 × 20cm) 的层析柱上按周志刚等(1997) 的方法纯化, 用苯酚-硫酸法跟踪检测, 收集含多糖部分, 透析、浓缩、冷冻干燥得多糖的精品。

1.5 含硒量的测定

将所得的三种藻粉及分离纯化后各组分的蛋白质、多糖、脂类样品, 在 105℃ 下烘 2h, 得干品。用混合酸(硫酸/高氯酸 = 3/4, V/V) 消化, 加 2ml EDTA(0.2 mol/L) 溶液后调 pH 至 1.72, 再加 2ml 盐酸羟胺(4%) 溶液, 5min 后在暗室中加 4ml DAN(2,3-二氨基萘, Sigma, 1g/L) 溶液, 用环己烷萃取, 在 850 型荧光分光光度计(Hitachi) 上检测荧光强度(Lu et al., 1991): $\lambda_{\text{ex}} = 378.1\text{nm}$, $\lambda_{\text{em}} = 518\text{nm}$; 狭缝: EX-5nm, EM-5nm, PM-NORMAL。对照标准曲线, 求得硒含量(均以 $\times 10^{-6}$ 干重的形式来表达)。

1.6 藻细胞对硒的累积系数计算

藻细胞结合硒的累积系数是按照下式来计算的:

$$\text{累积系数} = \frac{\text{藻细胞含硒量}}{\text{培养后培养基的含硒量}} \times 1\ 000$$

$$= \frac{\text{藻细胞含硒量}}{\text{培养前培养基的含硒量} - \text{藻细胞含硒量}} \times 1000$$

2 结果与讨论

2.1 螺旋藻对硒的累积

2.1.1 不同硒浓度下极大螺旋藻含硒量的变化 实验结果表明, 极大螺旋藻对硒的累积随外加硒的浓度而增加, 累积系数有的甚至高达 2.901, 但大都接近平均值 2.184(表 1)。当然, 硒的累积也不是完全随外加硒浓度而无限地增加, 早期的实验结果(Zhou et al., 1995)表明, 当外加硒的浓度高达 400mg/L 时, 该藻就不能存活, 即 400mg/L 硒是该藻的致死剂量。所以, 一旦细胞累积硒的量增大到它自身不能忍受时, 就会引起中毒甚至死亡, 其中最主要的原因是硒引起藻细胞代谢紊乱, 产生的自由基不能立即被清除, 导致生物膜的损伤(徐辉碧等, 1992; Zhou et al., 1995)。

2.1.2 三种螺旋藻含硒量的比较

表 1 的结果表明, 外加硒 8mg/L 浓度下, 极大螺旋藻细胞累积硒的系数接近平均值 2.184; Zhou 等(1995)的实验结果也指出, 在外加硒 8mg/L 时, 极大螺旋藻生长较快, 且自由基含量最低, 谷胱甘肽过氧化物酶活性最高。为此, 在对三种螺旋藻作比较时都选择在外加硒 8mg/L 的条件下进行, 结果表明, 在外加相同浓度硒的条件下, 极大螺旋藻累积硒的量远低于钝顶螺旋藻和盐泽螺旋藻, 盐泽螺旋藻累积硒的量分别是极大螺旋藻和钝顶螺旋藻含硒量的 72 和 5.7 倍(见表 2)。可见盐泽螺旋藻在硒的应用研究方面更具广阔的前景。

表 1 不同硒浓度下极大螺旋藻含硒量的变化

Tab.1 The contents of selenium accumulated by *Spirulina maxima* cultured under various selenium concentrations

硒浓度 (mg/L)	藻细胞含硒量 ($\times 10^{-6}$)	累积系数
未加硒	0.0462	—
4	2.132	1.241
8	9.810	2.305
12	13.081	2.420
16	20.235	2.099
20	32.893	2.697
40	53.424	2.057
60	83.230	2.081
80	170.652	2.901
100	140.571	1.856
平均		2.184

2.2 三种螺旋藻蛋白质结合硒的比较分析

自螺旋藻中盐析出的粗蛋白经 Sephadex G-100 柱层析, 得到三个组分 A, B 和 C(图 1), 根据其紫外可见光谱(图 2)可知, 组分 A 主要是叶绿素结合蛋白质, 组分 B 的特征吸收峰是藻蓝蛋白质, 组分 C 为无色蛋白质。这三个组分蛋白质中硒的含量(表 3)表明, 蛋白质中结合的硒一半是在组分 A 中, 组分 C 可能是一些分子量较小的含硒多肽。表 3 还表明, 极大螺旋藻和钝顶螺旋藻蛋白质中含硒量比较接近, 盐泽螺旋藻的蛋白质含硒量相对比较大。据此计算可知, 极大螺旋藻蛋白质含硒量占细胞含硒量的 14.63%, 钝顶和盐泽两种螺旋藻因蛋白质含量较低而藻细胞含硒量相对较高从而导致蛋白质含硒量分别只占藻细胞含硒量的 1.02% 和 1.11%。

蛋白质与硒的结合主要是半胱氨酸的巯基及甲硫氨酸的甲硫基中的硫被硒取代, 从而形成含硒的多肽和蛋白质, 改变了蛋白质的空间结构与性质, 这也是硒毒性理论依据

表2 极大、钝顶、盐泽三种螺旋藻在未加硒和加8mg/L硒的条件下藻细胞的含硒量($\times 10^{-6}$)

Tab.2 The contents of selenium accumulated by *S. maxima*, *S. platensis* and *S. subsalsa* grown in the presence and absence of added 8mg/L selenium

处 理	极大螺旋藻	钝顶螺旋藻	盐泽螺旋藻
未加硒	0.0462	0.0733	0.0915
8mg/L 硒	9.810	121.547	696.968

列生化代谢途径以共价键来结合的, 键能大, 结合牢固。

2.3 三种螺旋藻多糖结合硒的量及分析

之一 (Brown et al., 1982)。现在已有实验证明, 硒的加入主要是在肽链合成中由硒代半胱氨酸 tRNA 转运上去的 (Stadtman, 1990)。因此, 硒与蛋白质是通过一系

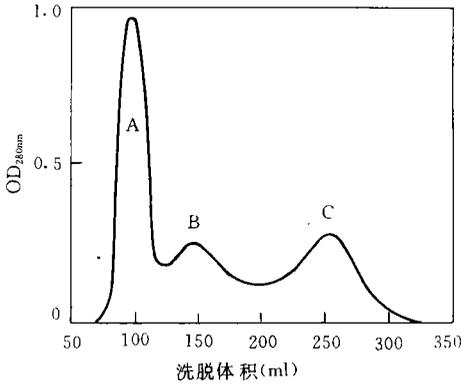


图1 三种藻蛋白质在 Sephadex G-100(1.5 × 50cm)柱层析上的洗脱曲线

Fig.1 Elution pattern of protein from *S. maxima*, *S. platensis* and *S. subsalsa* on Sephadex G-100 (1.5 × 50cm) column chromatography

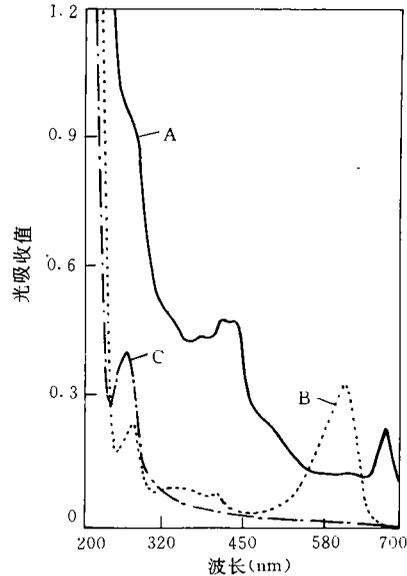


图2 三种藻柱层析纯化后蛋白质的紫外可见光谱

Fig.2 The ultraviolet visible spectra of proteins from *S. maxima*, *S. platensis* and *S. subsalsa* after purification on Sephadex G-100 column chromatography

自三种螺旋藻粉中分离的粗多糖, 经 DEAE-Sephadex A-25 柱层析纯化, 极大螺旋藻和盐泽螺旋藻均得两个组分 (I 和 II) 的胞内多糖精品 (周志刚等, 1997), 钝顶螺旋藻只有一个组分; 同时, 自三种藻过滤后的滤液中也得到相应两个组分的胞外多糖, 多糖结合硒的量见表 3。结果表明, 胞外多糖中硒的含量较大, 而胞内多糖结合硒的能力很弱, 这可能是由于细胞内外的环境不同造成的。亚硒酸根离子进入细胞, 由于胞内的还原环境, 使多糖结合硒的竞争能力没有蛋白质、脂类等强, 致使硒在胞内不易与多糖结合。而在胞外, 氧化环境的存在, 使得多糖-金属离子-亚硒酸根离子易于形成配合物, 而且无需生物体的代谢过程, 只进行简单的化学配合。这个推论有待实验的进一步证

实。

硒也可能取代组成多糖中的某些含硫单糖的硫, 以糖苷键的形式与多糖结合 (Williams, 1982)。在螺旋藻中是什么单糖上存在硒, 结合的方式如何, 这都有待于继续研究。

2.4 三种螺旋藻脂类中结合硒的量及分析

表3 极大、钝顶、盐泽三种螺旋藻在未加硒和加8mg/L硒条件下蛋白质、脂类和胞内外多糖结合硒的量($\times 10^6$)

Tab.3 The distribution of selenium bound to proteins, lipids, extra-and endo-cellular polysaccharides from *S. maxima*, *S. platensis* and *S. subsalsa* grown in the presence and absence of added 8mg/L selenium

藻种	处理	蛋白质			脂类		多糖			
		组份A	组份B	组份C	中性脂	极性脂	胞内		胞外	
							组分I	组分II	组分I	组分II
极大螺旋藻	未加硒	0.768	0.451	0.286	3.430	7.662	0	0	0	0
	8mg/L 硒	8.975	6.204	2.239	5.275	17.461	Trace	Trace	20.318	34.223
钝顶螺旋藻	未加硒	0.616	0.452	0.201	0	5.988	0 ¹⁾		0	0
	8mg/L 硒	11.333	7.609	3.827	4.512	33.100	2.295 ¹⁾		53.744	82.631
盐泽螺旋藻	未加硒	0.590	0.358	0.241	0	8.735	0	0	0	0
	8mg/L 硒	99.778	46.400	20.632	80.943	159.284	1.579	12.925	253.363	167.520

1) 在DEAE-Sephadex A-25柱层析纯化中只出现一个峰。

自冻干的螺旋藻粉中分离得到的粗脂类, 经硅胶柱纯化得中性脂与极性脂。结果表明, 极大、钝顶和盐泽三种螺旋藻总脂占藻粉干重的百分数分别为 13.25%, 11.89% 和 5.38%; 加硒条件下三种螺旋藻总脂含量有所下降, 分别为 11.17%, 9.89% 和 4.10%, 这与 Gennity 等 (1985) 以及 Zhou 等 (1997) 报道的结果一致。通过荧光分光光度法检测三种藻脂类中的含硒量, 结果见表 3。表明总脂结合的硒 2/3 以上是在极性脂中, 极大、钝顶和盐泽三种螺旋藻中脂类结合的硒占藻细胞累积硒的百分数分别为 16.05%, 1.68% 和 0.63%。至于脂与硒的结合方式, 硒可能与脂类中的双键(或三键)以非共价键结合 (Gennity et al., 1984)。根据极性脂结合硒量较大的结果推测, 硒偏向以离子形式进攻脂类分子, 这一推论有待实验的证实。

2.5 螺旋藻对硒的累积机理

本研究表明, 在外加 8mg/L 硒的条件下, 极大螺旋藻蛋白质结合硒的量占细胞含硒量的 14.63%, 脂类结合的硒占 16.05%, 而胞内多糖基本上不和硒结合。实验用的蛋白质是用 30%—70% 的硫酸铵沉淀出来并经过初步纯化的水溶性蛋白质, 显然还有部分蛋白质未能得到分离纯化。通过开氏定氮实验计算可知, 水溶性蛋白质占总蛋白质的 42.63%; 这样以总蛋白质的量来计算, 蛋白质中结合的硒也只不过占细胞含硒量的 34.47%, 加上脂类结合的硒, 两者结合的硒只占细胞含硒量的一半。因此, 细胞中的硒可能还有其它的结合方式, 例如与核酸结合或者与小分子化合物(如氨基酸)结合形成有机硒化合物, 或者仅以无机形式的硒存在。硒与蛋白质、脂类的结合途径可能是这样

的:培养基中的亚硒酸根离子,经螺旋藻细胞膜进入胞内,通过一系列生化过程,或者取代蛋白质中的硫与肽链以共价键结合(Brown et al., 1982; Stadtman, 1990),或者与脂中的双键(或三键)以非共价键结合(Gennity et al., 1984)。

根据蓝藻细胞壁的肽聚糖成分推测它也有可能和硒结合,这点可从钝顶和盐泽两种螺旋藻中得到间接证实:(1)这两种螺旋藻尽管蛋白质和脂类中结合硒的绝对量增加,但占细胞含硒量的百分数却很小,分别为2.70%(钝顶螺旋藻)和1.74%(盐泽螺旋藻);(2)这两种藻,特别是盐泽螺旋藻在大量生长时向体外分泌多糖等物质,以至在藻丝外面形成透明的胶被,便于形成多糖-金属离子-亚硒酸根离子的配合物从而吸附硒,为此细胞含硒量大大增加;(3)从胞内外多糖结合硒的情况可知,胞内多糖结合硒的能力很弱,胞外的多糖可以结合大量的硒,说明多糖与硒的结合除了与生命活动有关外还有非生物的过程,且结合得也很牢固。

据此可推测,螺旋藻细胞对硒的累积一方面是大分子物质的吸附过程,另一方面通过生物化学过程形成硒结合的大分子及一些小分子化合物。极大螺旋藻累积硒是后者占优势;而钝顶和盐泽两种螺旋藻则以前者占优势,这可能主要是通过胞壁的肽聚糖来吸附大量硒,故而胞内大分子结合的硒占细胞含硒量的百分数很小。至于肽聚糖易于吸附硒的直接证据有待进一步探索。

2.6 生物样品中硒的检测

通过实验可知,在用荧光分光光度法检测硒的含量时,在没有加硒的条件下,有的也能检测出硒的存在。这是由于在518nm或558nm处检测时,未加硒的样品中,也有一定的荧光强度,再加上其他离子的干扰(尽管使用了掩蔽剂EDTA)。目前在方法上,还有很多人在继续探索(刘文龙等,1992; Lu et al., 1991),不过这种经典的检测不失是一种可行的方法,这从表1,表2中可以得到证实,加硒与未加硒的情况下,通过荧光强度还是能准确地反映出硒浓度的变化。但对脂类来说,误差较大,脂类样品可能要用封闭式消化或改用其它氧化性更强的混合酸来处理。

3 结语

极大螺旋藻细胞含硒量尽管随外加硒浓度而递增,但其累积系数接近平均值2.184;在同一外加硒浓度(8mg/L)条件下,不同的螺旋藻累积硒的能力不同,盐泽螺旋藻累积硒的能力较强,分别是极大螺旋藻和钝顶螺旋藻含硒量的72和5.7倍;从螺旋藻的蛋白质、多糖和脂类来看,都有与硒结合的能力;纯化后的蛋白质结合的硒一半是在组分A中;极性脂结合的硒占脂类的2/3;胞外多糖结合硒的能力较强,而胞内多糖结合硒的能力却很小。螺旋藻细胞对硒的累积一方面是大分子物质的物理吸附过程,另一方面是通过生物化学过程形成硒结合的大分子及一些小分子化合物。极大螺旋藻累积硒是后者占优势,而钝顶和盐泽两种螺旋藻则以前者占主导。

参 考 文 献

- 刘文龙、陆小龙, 1992, 光谱学与光谱分析, **12**(5): 67—70.
- 吴东儒编著, 1993, 糖类的生物化学, 高等教育出版社(北京), 882—885.
- 徐辉碧、范华汉, 1992, 生命科学中的微量元素(上卷), 中国计量出版社(北京), 189—248.
- 薛少安等, 1992, 营养学报, **14**(1): 54—57; **14**(4): 363—367.
- 周志刚等, 1997, 植物学报, **39**(1): 77—81.
- Borowitzka, M. A., 1988, *Micro-algal Biotechnology*, ed. by Borowitzka, M. A. et al., Cambridge University Press (Cambridge), pp. 456—465.
- Brown, T. A., Shrift, A., 1982, *Can. J. Microbiol.*, **28**: 307—310.
- Folch, J. et al., 1957, *J. Biol. Chem.*, **226**: 497—509.
- Gennity, J. M. et al., 1984, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **118**(1): 176—182.
- Gennity, J. M. et al., 1985, *Phytochemistry*, **24**(12): 2823—2830.
- Hawhes, W. C. et al., 1985, *J. Inorg. Biochem.*, **23**: 77—92.
- Lu, D. H., Zheng, Y. X., 1991, *Chin. J. Chem.*, **9**(5): 430—434.
- Stadtman, T. C., 1990, *Annu. Rev. Biochem.*, **59**: 111—127.
- William, W. C., 1982, *Lipid Analysis*, Ed. 2, ed. by William, W. C., Pergamon Press (Great Britain), pp. 17—23.
- Williams, N. R., 1982, *Carbohydrate chemistry*, Vol 16, part 1, ed. by Williams, N. R., The Royal Society of Chemistry (Burlington House, London), pp. 117—121.
- Zhou, Z. G. et al., 1995, *J. Phycol.* (Suppl.), **31**(3): 17.
- Zhou, Z. G., Liu, Z. L., 1997, *Bot. Mar.*, **40**: 107—112.

STUDY ON THE ACCUMULATION OF SELENIUM AND ITS BINDING TO THE PROTEINS, POLYSACCHARIDES AND LIPIDS FROM *SPIRULINA MAXIMA*, *S. PLATENSIS* AND *S. SUBSALSALSA*

Zhou Zhigang, Li Pengfu, Liu Zhili, Liu Xuexian

(Department of Biological Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract The present experiments were carried out from September 1992 to January 1995, and the algal species were provided by Laboratory of Algal Research, Department of Biological Science and Technology, Nanjing University. The culture of a blue-green alga *Spirulina maxima* in the Zarrouk's media with various contents of sodium selenite, i. e. 4, 8, 12, 16, 20, 40, 60, 80 and 100 mg/L selenium, shows that selenium accumulated by this alga increases with added selenite, but the accumulation ratio is close to a mean value of 2.184 (Tab. 1). According to this observation, the culture condition of 8 mg/L selenium was chosen to compare the accumulation of selenium in *S. maxima*, *S. platensis* and *S. subsalsalsa*, to study the mechanisms of this accumulation. In the medium containing 8 mg/L selenium, *S. subsalsalsa* accumulated 696.968 μg selenium per gram dry weight (Tab. 2), which was 72

and 5.7 times as much as *S. maxima* and *S. platensis*, respectively. After preliminary purification, the crude isolated proteins of these algae were separated on Sephadex G-100 column chromatography into Parts A, B and C (Fig. 1), and the lipids on silica gel column into polar and neutral lipids. Selenium bound to proteins and lipids in *S. maxima* accounted for 14.63% and 16.05% (Tab. 3), respectively, of the total selenium accumulated, much higher than those of *S. platensis* and *S. subsalsa*, although the absolute contents of selenium accumulated by *S. maxima* were lower than *S. platensis* and *S. subsalsa* (Tab. 2). Half of selenium bound to proteins was in Part A (Tab. 3), which was almost chlorophyll-bound proteins (Fig. 2), while that bound to polar lipid accounted for two thirds of its total content in lipids (Tab. 3). The extracellular polysaccharides were separated into fractions I and II on DEAE-Sephadex A-25 column chromatography, while the endocellular ones also into fractions I and II with the exception of these in *S. platensis* consisting of only one fraction. The fact that selenium bound to the extracellular polysaccharides was much higher than that to the endocellular ones (Fig. 3) indicates that the extracellular polysaccharides are very easy to form coordination compounds with selenium, while the endocellular polysaccharides could not easily do this way. From the above results, the mechanisms of selenium accumulation by these algae are deduced to be physical absorption by macromolecules, e. g. the peptidoglycan of the algal cell walls, and biochemical formation of seleno-macromoleculular compounds with the proteins and lipids, such as the replacement of sulfur by selenium in peptides. *S. platensis* and *S. subsalsa* accumulated selenium mainly by the former mechanism, and *S. maxima* accumulated it dominantly by the latter one.

Key words *Spirulina* Selenium Accumulation Proteins Polysaccharides Lipids