

硒胁迫对钝顶螺旋藻抗氧化酶系统的影响

陈思嘉¹ 杨芳^{1,2} 郑文杰^{1,2} 白燕¹ 黄峙³ 周艳晖¹

(1. 暨南大学化学系, 广州 510632; 2. 暨南大学水生生物研究所, 广州 510632; 3. 暨南大学生物系, 广州 510632)

摘要: 在钝顶螺旋藻的对数生长期进行硒胁迫处理, 研究硒胁迫强度和硒胁迫时间对钝顶螺旋藻抗氧化酶系统与脂质过氧化作用的影响。设置4个胁迫实验组, 分别从第5天到第10天分次加硒, 累计加硒量均为1000mg/L。结果表明, 硒胁迫实验组中钝顶螺旋藻的抗氧化酶活性均高于对照组或与对照组相当, 其中GPX的变化最大, 实验组I中的GPX活性为对照组的20.5倍; SOD的变化趋势与GPX相近, 但对较低的硒胁迫的响应不敏感; POD、CAT和APX的活性均随硒胁迫强度的减小而上升; 各硒胁迫实验组中只有实验组I的MDA含量高于对照组; 藻体对 $\cdot\text{OH}$ 的清除能力与藻体的MDA含量呈负相关, 提示了硒对钝顶螺旋藻抗氧化系统的双重效应。

关键词: 硒; 钝顶螺旋藻; 抗氧化酶; 硒胁迫强度

中图分类号: Q945.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3207(2007)05-0706-06

硒是人体和动物必需的微量元素。硒的生物学功能主要是通过各种硒酶和硒蛋白来实现的。近年来, 硒在植物体内的生理功能越来越受到人们的关注, 其中最重要的就是硒的抗氧化性。研究表明, 硒对生物体具有双重效应, 低浓度下有抗氧化作用, 可抑制脂质过氧化反应, 而高浓度时则起氧化剂的作用, 会加剧脂质过氧化产物的累积^[1]。螺旋藻是富集和转化硒的理想载体, 对硒具有很强的耐受力, 但硒对螺旋藻抗氧化酶系统的影响尚未见报道。研究发现, 在螺旋藻的对数生长期进行分次加硒处理, 可大大提高螺旋藻的富硒量(最高可达1301.17 $\mu\text{g/g}$), 并且在累计加硒量达1000mg/L的情况下, 对螺旋藻的生长仍有促进作用^[2]。但硒也是一个有毒元素, 关于土壤硒污染对作物的生理生化影响也有报道^[3,4]。研究硒胁迫对螺旋藻抗氧化酶系统的影响, 不仅有助于阐明螺旋藻对高硒胁迫的适应机制, 也有助于阐明硒在水体中的生态毒理效应。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器 PYX-800G-A型光照培养箱; JY92-II型超声波细胞粉碎机; TU-1901型双光束紫

外/可见分光光度计。亚硒酸钠(Na_2SeO_3)为国产分析纯。

1.2 螺旋藻的培养与硒胁迫处理 钝顶螺旋藻(*Spirulina platensis*)藻种由暨南大学水生生物研究所藻种室提供, 本实验室保种。采用Zarrouk培养基, 于250mL三角烧瓶中接种处于对数生长期的螺旋藻藻液100mL(初始藻密度 $A_{560}=0.20$), 置于恒温光照培养箱中, 光照强度4000lx, 光暗时间对比为12h:12h/d, 温度30 $^{\circ}\text{C}$, pH=8.5。培养至第11天采收。

硒胁迫实验组: 按表1在钝顶螺旋藻的对数生长期添加 Na_2SeO_3 储备液, 以Se(IV)计Se量, 各实验组培养液中硒的累计量均为1000mg/L。

1.3 生物量的测定 每天同一时间测定藻液的 A_{560} , 重复3次取平均值, 绘制生长曲线。生物量W(g/L)用干质量表示, 即每升藻液所含的藻的干重。测定方法如下: 培养1000mL的钝顶螺旋藻, 每天测定藻液的 A_{560} , 同时取一定体积(50—100mL)的藻液用0.45 μm 的微孔滤膜抽滤, 蒸馏水洗涤, 于70 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干至质量恒定, 测定藻体干质量, 做出螺旋藻的 A_{560} 与生物量的直线回归方程, 通过该方程将各实验组第1天—第10天的 A_{560} 换算为相应的生物量。

收稿日期: 2005-09-23; 修订日期: 2006-12-25

基金项目: 广东省自然科学基金重点项目(05103295); 教育部重点项目(01141); 广州市科技计划项目(2001-J-010-01)资助

作者简介: 陈思嘉(1980—), 女, 硕士研究生; 研究方向为生物无机化学

通讯作者: 郑文杰, 教授, 博士生导师; E-mail: tzhwj@jnu.edu.cn

表1 各实验组添加硒的时间和添加硒量(mg/L)
Tab. 1 The time and the concentrations of Se adding (mg/L)

实验组	...	5d	6d	7d	8d	9d	10d	11d
CK								
I		300	400	300				
II			300	400	300			
III				300	400	300		
IV					300	400	300	

各实验组第 11 天的生物量直接采收后测定, 作为螺旋藻的最终生物量。

1.4 硒胁迫强度 x_{Se} 的计算 硒胁迫强度 x_{Se} 是一动态变化的参量^[5], 某实验组某一时刻的硒胁迫强度, 定义为至该时刻已加入的累计硒总量 C_{Se} 与该时刻相应的生物量 W 的比值为硒胁迫强度 x_{Se} , 即

$$x_{Se}(g/g) = C_{Se}(g/L) / W(g/L) \quad (E_1)$$

1.5 抗氧化酶活性的测定 取第 11 天采收的藻泥分别测定各种抗氧化酶的活性, 藻体的抗活性氧能力与丙二醛含量。

谷胱甘肽过氧化物酶(GPX)活性的测定参照文献[6]的方法, 以每分钟氧化 1 μ mol 谷胱甘肽的酶量为一个 GPX 活力单位。

超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定参照 Beauchamp 等^[7]建立的, Bewley 等^[8]改进的氮蓝四唑光化学还原反应法。以不加酶液的体系为对照组, 1 个 SOD 活力单位定义为能引起反应初速度(指不加酶时)半抑制时的酶用量, 按下式求得:

$$\text{SOD 活力单位(U)} = (A_{\text{对照}} - A_{\text{样品}}) / 50\% A_{\text{对照}} \times \text{样品稀释倍数} \quad (E_2)$$

过氧化氢酶(CAT)活性的测定参照 Chance 和 Maehly^[9]的方法, 以每分钟 A_{240} 下降 0.01 为 1 个 CAT 活力单位。

抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性的测定参照文献[10]的方法, 以每分钟氧化 1 μ mol 抗坏血酸的酶量为 1 个 APX 活力单位($\varepsilon_{290} = 2.8 \text{ L/mm}\cdot\text{cm}$)。

过氧化物酶(POD)活性的测定采用愈创木酚显色法^[11], 以每分钟 A_{470} 上升 0.01 为 1 个 POD 活力单位。

可溶性蛋白含量用考马斯亮兰法测定。酶活力以每毫克蛋白计。

1.6 抗活性氧能力的测定 采用南京建成生物工程研究所的活性氧测定试剂盒, 按照说明书上的操作进行测定。测定原理是利用 Fenton 反应产生羟自由基, H_2O_2 的量和 Fenton 反应产生的 $\cdot\text{OH}$ 的量成正比, 当给予电子受体后, 用 gress 试剂显色, 形成红色

物质, 其呈色与 $\cdot\text{OH}$ 的多少成正比关系。定义每毫克组织蛋白在 37 $^{\circ}\text{C}$ 下反应 1min, 使反应体系中 H_2O_2 的浓度降低 1 mmol/L 为一个抗活性氧单位。

1.7 丙二醛(MDA)含量的测定 MDA 含量的测定参照文献[12]的方法, 以每克藻体的干重计。($\varepsilon_{532} - 800 = 155 \text{ L/mm}\cdot\text{mol}$, ε 为摩尔吸光系数)

以上实验均同时做 3 组平行, 所得数据在 Microcal Origin 6.0 上进行平均值和标准偏差的计算与显著性差异分析。

2 结果与讨论

2.1 各实验组的硒胁迫强度及其对钝顶螺旋藻生长的影响

钝顶螺旋藻的 A_{560} 与生物量有良好的线性关系, 通过实验求得其直线回归方程为

$$W(g/L) = 0.0211 + 0.5083 \times A_{560}, r = 0.9957, \\ n = 22, p < 0.0001 \quad (E_3)$$

因此可用 A_{560} 估算螺旋藻每天的生物量, 并作为硒胁迫强度 x_{Se} 的计算依据, 所得 x_{Se} 见表 2。从表 2 可以看出, 从实验组 I—IV, 其最大的 x_{Se} 值(加硒第 3 天的 x_{Se})依次变小, 且每天的 x_{Se} 也依次变小, 硒胁迫时间也依次缩短。因此, 实验组 I 的硒胁迫时间最长, 硒胁迫强度最大, 并按 I—IV 依次减小。在同一实验组中, 开始加硒的前 3 天, 随着累计加硒量的增加, x_{Se} 相应增大, 至加硒的第 3 天出现最大值, 此后逐渐下降。

有研究报道, 在螺旋藻接种的第 1 天添加硒, 当硒浓度 $\geq 200\text{mg/L}$ 时, 对藻的生长有抑制作用^[13]。本实验在螺旋藻的对数生长期分次加硒, 累计加硒量为 1000mg/L, 却可在实验组 II 和 IV 中观察到硒对螺旋藻生长的促进作用。如图 1 和图 2 所示, 实验组 I—IV 随着硒胁迫强度的减小和硒胁迫时间的缩短, 藻的最终生物量从第 I 组到第 IV 组依次提高。第 I 组的硒胁迫强度最大, 胁迫时间最长, 因此其生物量最低, 比对照组下降了 21.6%。第 IV 组的硒胁迫强度最小, 胁迫时间最短, 其生物量最高, 比对照

组增加了 15.2%。实际上,按方程 E_1 和 E_3 计算,文献[13]中的 x_{Se} 已达 2.78,而本实验中的 x_{Se} 最高才达 1.54(实验组 I 的第 7 天),实验组 II 和 IV 的 x_{Se} 均小于 1.0,因此,III 和 IV 均促进了藻的生长 ($p < 0.05$)。这说明用硒胁迫强度的概念能更好地说明

硒对螺旋藻的胁迫实验结果。在螺旋藻生长的不同阶段,单位体积藻液中的藻细胞密度不同,因此,在不同的时间加入相同量的硒,每个藻细胞所承受的硒量是不同的,仅用硒添加浓度并不能反映藻体实际耐受硒胁迫的真实情况。

表 2 各实验组第 5 天~ 第 11 天的硒胁迫强度 x_{Se}
Tab. 2 The stress intensity of Se in test sets from the 5th to 11th day

实验组 Test sets	硒胁迫强度 x_{Se} (g/g) The stress intensity of Se						
	5d	6d	7d	8d	9d	10d	11d
I	0.65 (0.46)	1.21 (0.58)	1.54 (0.65)	1.30 (0.77)	1.16 (0.86)	1.09 (0.92)	1.02 (0.98)
II		0.48 (0.63)	0.99 (0.71)	1.16 (0.86)	1.01 (0.99)	0.93 (1.08)	0.82 (1.22)
III			0.41 (0.74)	0.74 (0.94)	0.91 (1.10)	0.82 (1.22)	0.73 (1.37)
IV				0.33 (0.90)	0.63 (1.11)	0.80 (1.25)	0.69 (1.44)

注: 括号内的数值为各实验组第 5 天—第 11 天的生物量 W (g/L); Note: The data in bracket are biomass (g/L) of *S. platensis* in test sets from the 5th to 11th day

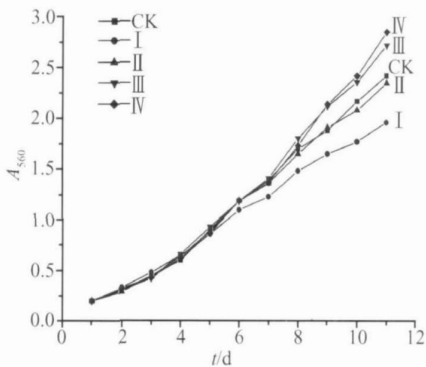


图 1 各实验组螺旋藻的生长曲线
Fig.1 The growth curves of *S. platensis*

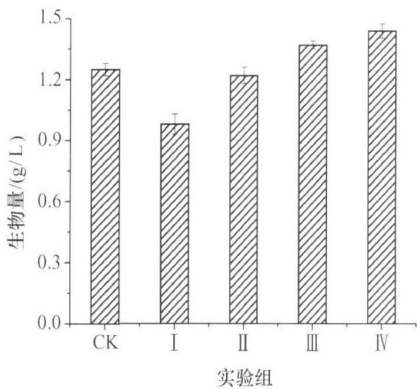


图 2 各实验组螺旋藻的最终生物量
Fig.2 The final biomass of *S. platensis*

2.2 硒胁迫强度对钝顶螺旋藻抗氧化酶系统的影响
硒胁迫强度对钝顶螺旋藻抗氧化酶系统的影响见表 3。4 种硒胁迫处理均使钝顶螺旋藻的抗氧化酶活性高于对照组或与对照组相当。其中上升幅度

最大的是 GPX, 实验组 I 的 GPX 活性为对照组的 20.5 倍,随着硒胁迫强度的减小,其升幅减小。SOD 的变化趋势与 GPX 相近,实验组 I 中的 SOD 活性最大,为对照组的 1.5 倍,II 和 IV 中的 SOD 与对照组相比则无显著性差异 ($p > 0.05$),说明 SOD 对较低的硒胁迫的响应不敏感。实验组 I 的 POD 与对照组接近 ($p > 0.05$),随着硒胁迫强度的减小,POD 活性上升,在实验组 IV 中达到最大值,为对照组的 4.4 倍。CAT 和 APX 的变化较同步,两者的活性均随硒胁迫强度的减小而上升,但 CAT 的变化幅度较大。实验组 IV 中的 CAT 活性约为对照组的 3.6 倍,而 APX 则比对照组上升 1 倍左右。

从以上抗氧化酶的变化可以看出,硒对螺旋藻的 GPX 活性影响最大。已知硒是人体和动物谷胱甘肽过氧化物酶的组成成分,但硒是否是植物必需的元素还未证实。目前已在许多高等植物和藻类中检测到 GPX 的活性,并证明其活性与植物体内的硒含量呈显著的正相关^[1,14]。本实验在累计加硒量相同(1000mg/L)的条件下,发现硒对螺旋藻中的 GPX 有很强的诱导作用,但 GPX 的变化与藻体中的硒含量^[2]并没有太大的联系,而是与硒胁迫强度 x_{Se} 密切相关, x_{Se} 越大,GPX 活性越高。这说明 GPX 的作用也是螺旋藻抗氧化的重要机制之一。

由于各种抗氧化酶作用底物的相关性以及活性氧种类在生物体内的相互转化作用,某一抗氧化酶活性的变化,有可能影响到其他抗氧化酶的活性。POD、CAT、APX 和 GPX 都有共同的作用底物 H_2O_2 。在较高的硒胁迫强度(实验组 I)下,

表 3 各实验组螺旋藻的抗氧化酶活性
Tab. 3 The antioxidant activities of *S. platensis*

实验组 Test sets	各抗氧化酶活力 Antioxidase activities(U/ mg)				
	GPX	SOD	POD	CAT	APX
CK	1.20±0.41	20.9±1.1	0.71±0.11	0.42±0.04	18.3±1.3
I	24.6±0.8	30.6±1.8	0.81±0.12	1.08±0.06	28.0±1.9
II	7.51±0.32	24.4±1.2	1.47±0.09	1.33±0.06	31.6±1.4
III	4.53±0.60	22.0±1.5	2.48±0.07	1.45±0.05	36.5±1.2
IV	3.83±0.55	23.2±1.6	3.12±0.10	1.53±0.03	35.0±1.6

注: 每个样品测定重复 3 次; Note: All experiments were performed with 3 replicates

藻体主要是靠强化 GPX 的活性来抵抗由硒引起的氧化胁迫, 细胞中的 H₂O₂ 主要由 GPX 清除, 从而削弱了 H₂O₂ 对其他 3 种酶的底物诱导作用, 使其活性变化较小。而在较低的硒胁迫强度下, GPX 的升幅减小, 引起 POD、CAT 与 APX 的代偿性变化, 其活性都有较大幅度的上升。另外, POD 的变化趋势还可能与其生理功能有关。POD 除了起清除 H₂O₂ 和烷基过氧化物的作用外, 其重要的生理功能之一就是调节植物内源激素的合成水平, 从而控制植物细胞的生长发育^[15]。在本实验中, 硒胁迫强度越小, 藻的生长状况越好, 其 POD 活性也越高。

SOD 是生物体内清除超氧阴离子自由基(O₂⁻·)的唯一酶类, 其他抗氧化酶只能通过活性氧之间的动态平衡间接影响 O₂⁻· 的量。从 SOD 较小的变化幅度推测, 硒胁迫下螺旋藻中的活性氧种类主要为过氧化氢而不是超氧化物。

2.3 各实验组钝顶螺旋藻的抗活性氧能力与丙二醛(MDA)含量

各实验组钝顶螺旋藻的抗活性氧能力与丙二醛(MDA)含量见图 3。从图 3 可以看出, 实验组 I 的抗活性氧单位与对照组相比显著降低($p < 0.01$), 实验组 II 也低于对照组($p < 0.05$), 而 II 和 IV 则高于对照组($p < 0.05$)。此方法测定的其实是植物组织清除羟自由基的能力, 以此代表组织的抗活性氧能力。羟自由基(OH·)是目前所知的化学性质最活泼的活性氧, 极具破坏性, 能造成多种生物分子、细胞和组织的氧化损伤。虽然各种硒胁迫处理均提高了螺旋藻中抗氧化酶的活性, 但实验组 I 和 II 的加硒方式均降低了细胞对·OH 的清除能力。这说明螺旋藻中清除·OH 的物质基础除了 GPX 等各种抗氧化酶外, 其他的抗氧化物质也起着重要的作用。

MDA 的含量随硒胁迫强度的减小而减小, 各实验组中只有实验组 I 的 MDA 含量高于对照组($p <$

0.05), 实验组 II 与对照组相当($p > 0.05$), 而实验组 II 和 IV 则明显低于对照组($p < 0.01$)。MDA 是脂质过氧化作用的典型产物, 研究生物体的活性氧伤害常用脂质过氧化作指标。实验组 I 中的 MDA 含量上升, 说明藻体中的活性氧含量已超出抗氧化系统的防御极限, 过量的活性氧攻击膜结构, 导致 MDA 含量上升。由于实验组 I 的生物量明显低于对照组, 藻体的氧化损伤可能是其主要原因之一。实验组 II 和 IV 的 MDA 含量明显低于对照组, 这说明硒的加入诱导了藻体内各种抗氧化酶活性的上升, 增强了藻体对活性氧自由基的清除能力, 而从两者的抗活性氧能力来看也均高于对照组, 因此其 MDA 含量有所下降。从图 3 还可以看出, 螺旋藻的 MDA 含量与藻体对·OH 的清除能力呈负相关($r = -0.9246, n = 5, p < 0.05$)。已知·OH 能直接启动膜脂过氧化的自由基链式反应, 产生的脂质过氧化物继续分解形成低级氧化产物如 MDA 等。硒胁迫下螺旋藻的抗活性氧能力与 MDA 含量的变化趋势可能与此原理有关。

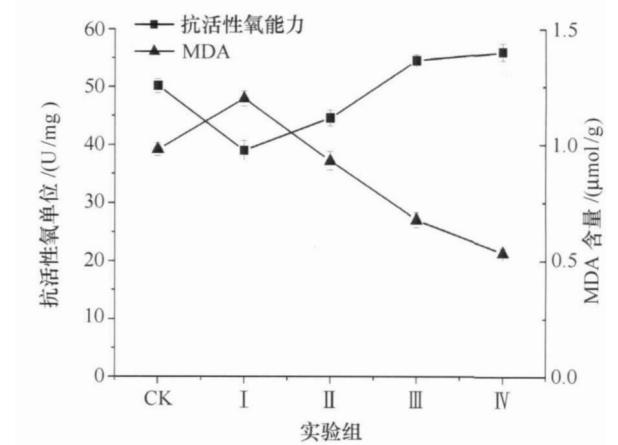


图 3 各实验组钝顶螺旋藻的抗活性氧能力与 MDA 含量
Fig.3 The ability of scavenging reactive oxygen species and MDA contents of *S. platensis*

3 结 论

在钝顶螺旋藻的对数生长期采用分次加硒的方法进行硒胁迫处理和高富硒培养, 尽管累计加硒量相同(均为 1000mg/L), 但由于各实验组的硒胁迫强度、胁迫时间不同, 从而显现出不同的效应。其中实验组 II 和 IV 对螺旋藻的生长表现出明显的促进效应, 其生物量高于对照组。此外, 硒胁迫实验组中螺旋藻的 GPX、SOD、POD、CAT 和 APX 的活性均高于或接近对照组。藻体对 $\cdot\text{OH}$ 的清除能力和 MDA 含量的变化反映了硒对螺旋藻抗氧化能力的双重影响, 这可能是硒对螺旋藻的生长具有双重效应的主要原因之一。利用硒胁迫强度的概念可以很好的解释实验事实。但另一方面, 由于加硒时藻的生长阶段不同, 其对硒的耐受力也存在一定的差异, 但相比较而言, 由藻密度的不同引起的硒胁迫强度的变化的因素是主要的, 而有关藻的生理因素对其耐受硒胁迫能力的影响我们将在下一步工作中探讨。

参考文献:

- [1] Hatikainen H, Xue T L, Piironen V. Selenium as an anti-oxidant and pre-oxidant in ryegrass [J]. *Plant and Soil*, 2000, **225**: 193—200
- [2] Chen T F, Cui X F, Yang F, *et al.* Stepwise addition of selenium for the production of high selenium-enriched *Spirulina platensis* and the effects on the photosynthetic pigments and proteins [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2005, **31**(8): 48—51 [陈填烽, 崔小峰, 杨芳, 等. 分次加硒法培养高富硒螺旋藻及其对藻体光合色素和蛋白质含量的影响. 食品与发酵工业, 2005, **31**(8): 48—51]
- [3] Lin K F, Xu X Q, Jin X, *et al.* Eco-toxicological effects of selenium stress on wheat (*Triticum aestivum* L.) and its critical value [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, **23**(6): 1082—1085 [林匡飞, 徐小清, 金霞, 等. Se 对小麦的生态毒理效应及临界指标研究. 农业环境科学学报, 2004, **23**(6): 1082—1085]
- [4] Lin K F, Xu X Q, Jin X, *et al.* Eco-toxicological effects of selenium and its critical value on *Oryza sativa* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, **16**(4): 678—682 [林匡飞, 徐小清, 金霞, 等. 硒对水稻的生态毒理效应及临界指标研究. 应用生态学报, 2005, **16**(4): 678—682]
- [5] Zheng W J, Yu J, Yang F, *et al.* Se stress and Se bio- organization

in two species of *Spirulina* at different growing phases [J]. *Ecologic Science*, 2003, **22**(4): 305—309 [郑文杰, 余景, 杨芳, 等. 两种螺旋藻在不同生长阶段的硒胁迫和生物有机化效应. 生态科学, 2003, **22**(4): 305—309]

- [6] Rong Z X, Liu H Z, Bao J Q, *et al.* Microanalysis of the activity of glutathione peroxidase in whole blood of rat [J]. *Prog. Biochem. Biophys*, 1994, **21**(4): 362—366 [荣征星, 刘慧中, 鲍景奇, 等. 小鼠全血中谷胱甘肽过氧化物酶活力的微量测定法. 生物化学与生物物理进展, 1994, **21**(4): 362—366]
- [7] Beauchamp C, Fridovich I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gel [J]. *Anal. Biochem*, 1971, **44**: 276—278
- [8] Bewley T D. Physiological aspects of desiccation tolerance [J]. *Annual Rev Plant Physiol*, 1979, **30**: 195—238
- [9] Chance B, Maehly A C. Assay of catalase and peroxidase [J]. *Methods in Enzymology*, 1955, **2**: 764—775
- [10] Nakano Y, Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts [J]. *Plant Cell Physiol*, 1981, **22**: 867—880
- [11] Boqinoc X H. Plant Biochemical Analytical Method [M]. Beijing: Science Press, 1981, 197—201 [波钦诺克 X H. 植物生物化学分析方法. 北京: 科学出版社. 1981, 197—201]
- [12] Lin Z F, Li S S, Lin G Z, *et al.* Superoxide dismutase activity and lipid peroxidation in relation to senescence of rice leaves [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1984, **26**(6): 605—615 [林植芳, 李双顺, 林桂珠, 等. 水稻叶片的衰老与超氧化物歧化酶活性及脂质过氧化作用的关系. 植物学报, 1984, **26**(6): 605—615]
- [13] Zheng W J, He H Z, Huang Z, *et al.* Effects of the stress of selenium or tellurium on the growth of *Spirulina platensis* and *S. maximum* [J]. *Marin Sciences*, 2003, **27**(10): 73—78 [郑文杰, 贺鸿志, 黄峙, 等. 硒胁迫对两种螺旋藻生长的影响. 海洋科学, 2003, **27**(10): 73—78]
- [14] Hou S F, Xue T L, Tan J A. Glutathione peroxidase and its function in higher plant [J]. *Science Bulletin*, 1994, **39**(6): 553—556 [侯少范, 薛泰麟, 谭见安. 高等植物中的谷胱甘肽过氧化物酶及其功能. 科学通报, 1994, **39**(6): 553—556]
- [15] Tang X X, Li Y Q, Dong B X. Biological study of toxicity of organophosphorus pesticides of microalgae. IV. Primitive study of peroxidase inhibitors produced by monocrotophos stress in *Dirateria* sp. [J]. *Marin Science Bulletin*, 1996, **15**(1): 27—32 [唐学玺, 李永祺, 董宝贤. 有机磷农药对海洋微藻致毒性的生物学研究. IV. 久效磷诱导叉鞭金藻产生过氧化物酶抑制因子的初步研究. 海洋通报, 1996, **15**(1): 27—32]

EFFECTS OF SELENIUM STRESS ON ANTIOXIDASE SYSTEM OF *SPIRULINA PLATENSIS*

CHEN Si Jia¹, YANG Fang^{1,2}, ZHENG Wen Jie^{1,2}, BAI Yan¹, HUANG Zhi³ and ZHOU Yan Hui¹

(1. Department of Chemistry, Jinan University, Guangzhou 510632, China; 2. Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China; 3. Department of Biology, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: Selenium (Se) is an essential element for antioxidation reactions in human and animals. It acted as an antioxidant at low concentrations, but as a pro-oxidant at higher ones, consequently it exerted dual effects on organisms. Previous works have shown that *Spirulina platensis* (*S. platensis*) possesses a good tolerance to high levels of Se and it is a good carrier for Se bio-transformation. However, there is less information on Se-induced oxidative stress and antioxidant systems in *S. platensis*. In this paper, we investigated the effects of Se stress on the antioxidant system and lipid peroxidation of *S. platensis*. There were five test sets in the experiment. Se was added in the logarithm growth time of *S. platensis* from the 5th to 10th day respectively. The accumulative concentrations of Se in test sets are all 1000 mg/L, but the time of Se addition was different. The results showed that the activities of antioxidant in *S. platensis* under Se stress were higher than those in the control group or as high as them. GPX changed enormously. The activity of GPX in test set I was 20.5 times as high as control, and then dropped with the decrease of Se stress intensity. The trend of SOD was similar to that of GPX, but its response to Se stress was not sensitive. POD, CAT and APX increased with the drop of Se stress intensity. It was only in the experimental group I that the content of MDA was higher than that in the control group. The ability of *S. platensis* to scavenge hydroxy radical had a negative correlation with the MDA content. Their changes indicated the dual effects of Se on the antioxidant system of *S. platensis*. The concept of Se stress intensity can give a good explanation to the experimental results.

Key words: Selenium; *Spirulina platensis*; Antioxidase; Stress intensity of selenium