

Zn²⁺ 浓度对固氮鱼腥藻(*Anabaena azotica* Ley) 光能转化特性的影响*

王山杉 刘永定** 金传荫 李敦海

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

提 要 本实验对在不同 Zn²⁺ 浓度条件下培养的固氮鱼腥藻(*Anabaena azotica* Ley) 的生长、光合放氧速率和叶绿素荧光参数 Fv/Fm 进行了测定. 结果表明, 当 Zn²⁺ 浓度为 1.0 μmol/L 时, 其比生长速率(Specific growth rate)最大, 光合放氧速率和 Fv/Fm 值最高. 当 Zn²⁺ 浓度大于等于 5.0 μmol/L 时会抑制 *A. azotica* Ley 的生长和光合作用. 对在 0 μmol/L 和 5.0 μmol/L Zn²⁺ 浓度下生长的藻细胞藻胆体-类囊体膜复合物吸收光谱的比较和对与 5.0 μmol/L Zn²⁺ 发生反应的藻蓝蛋白溶液的可见光吸收光谱的分析, 发现前者 624nm 处藻胆体的吸收峰和后者 620nm 处藻蓝蛋白的吸收峰都因 Zn²⁺ 的作用而下降, 推测藻蓝蛋白为 Zn²⁺ 影响光合作用的位点之一. 碳酸酐酶活性的测定表明 Zn²⁺ 的浓度水平会影响其活性大小, 推测是 Zn²⁺ 影响光合作用的另一途径.

关键词 固氮鱼腥藻 锌离子 光合作用 藻蓝蛋白 碳酸酐酶

分类号 Q949.22 X52

近一个世纪以来, 人口激增和工业发展使排放的废弃物对生态环境的污染愈来愈严重. 工业废水、污泥、垃圾或大气中存在的重金属元素如 Zn, Cd, Ni, Cu, Hg 等都会对生态系统造成危害. 迄今已有许多关于重金属离子对植物生长造成抑制甚至死亡报道. Zn 也是造成水污染的重金属元素之一, 它对植物的危害主要是源于对光合系统的损伤^[1]. 目前已经有一些关于 Zn 对高等植物及真核藻类光合系统影响的报道^[1-4], 但是对作为水生态系统中初级生产者的原始蓝藻, 其光合系统怎样受环境中 Zn 浓度影响还知之甚少. 固氮鱼腥藻(*Anabaena azotica* Ley) 是淡水环境中一种常见的原核蓝藻, 其生长繁殖快, 可作为很好的稻田绿肥和家畜饲料, 有一定的经济价值. 对其生理生态学进行研究对农业生产会具有一定意义. 本文选取固氮鱼腥藻为材料, 依次从其生长及叶绿素合成, 作为 PS II 活性指标的光合放氧速率及叶绿素荧光水平、捕光色素藻蓝蛋白和别藻蓝蛋白以及参与无机碳吸收利用的酶—碳酸酐酶等几个方面, 研究 Zn²⁺ 在不同浓度下如何对蓝藻的光合系统发生影响.

藻胆体是原核蓝藻和真核红藻中特有的超分子捕光色素蛋白复合体, 有序分布在类囊体膜的外表面, 专门捕获光合作用吸收光谱中较弱的一部分, 将其高效地传给 PS II, 在光合作用中具有重要的功能和地位. 本实验通过测定不同 Zn²⁺ 浓度培养条件下生长的藻细胞和与不同浓度 Zn²⁺ 反应的藻细胞的吸收光谱, 研究 Zn²⁺ 对固氮鱼腥藻的藻胆体和藻蓝蛋白、别藻蓝蛋

* 国家湖泊重点研究课题(K99-05-35-01)资助; 中国科学院水生生物研究所创新领域前沿项目(220316)资助.

收稿日期 2002-03-18; 收到修改稿日期 2002-06-03. 王山杉, 女, 1976年生, 硕士.

** 通讯联系人

白的作用。Murthy 等^[5]和李建宏等^[6]曾分别就 Hg^{2+} 和 Cu^{2+} 对藻胆蛋白的作用作过报道, 本文证明 Zn^{2+} 也会对藻胆蛋白产生类似的作用。

在蓝藻的光合作用中, 碳酸酐酶 (Carbonic Anhydrase, CA, EC4.2.1.1) 参与 CO_2 浓缩 (Carbon Dioxide Concentrating Mechanism, CCM), Zn^{2+} 作为辅酶, 通过影响碳酸酐酶的活性而对光合作用产生影响。Randall 和 Bouma 曾经报道 Zn^{2+} 的缺失会抑制菠菜中的 CA 活性^[2], Haroto 等人曾报道 Zn^{2+} 的缺失, 引起水稻中 CA 的 mRNA 量下降^[3]; Todd 和 Francois 报道, 海洋中硅藻的 CA 受低 CO_2 浓度的诱导, 诱导水平依赖于 Zn^{2+} 的水平^[4]。关于 Zn^{2+} 对淡水中原核蓝藻碳酸酐酶的影响还未见报道。本文研究了 Zn^{2+} 对固氮鱼腥藻碳酸酐酶活性的影响。

1 材料与方法

1.1 藻种、培养基与培养

固氮鱼腥藻由中国科学院典型培养物保藏委员会淡水藻种库 (FACHB-Collection) 提供。培养采用无氮 BG-11^[7] 培养基, 置 500mL 锥形瓶中连续通气培养, 光源为冷白荧光灯, 光照强度为 $30\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 温度保持在 $28^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 。

1.2 藻细胞生长测定

在培养基中分别加入 0.1、1.0、5.0、10.0、20.0、50.0 $\mu\text{mol/L}$ 的 $ZnSO_4$, 以不加 Zn^{2+} 为对照, 每天测定叶绿素含量。叶绿素含量的测定采用李敦海^[8]描述的方法: 以 95% 乙醇提取, 置 4 $^\circ\text{C}$ 冰箱 24h。用 752 分光光度计, 在 649nm、665nm 波长下测定光吸收值 A_{649} 和 A_{665} , 以公式 $C = 13.7 \times A_{665} - 5.76 \times A_{649}$ 计算叶绿素含量, 单位为 $\mu\text{g/mL}$ 。

1.3 光合放氧的测定

取培养物 2mL, 以 Clark 型 DW1 (Hansatech, U. K.) 氧电极测定放氧速率, 光照强度为 $250\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 水浴温度为 25°C 。放氧稳定后记录时间不少于 5min。测定完毕将反应槽内藻体完全取出, 离心去液体, 以 95% 乙醇提取叶绿素。

1.4 叶绿素荧光的测定

叶绿素荧光的初始值 F_0 、最大值 F_m 和荧光的可变部分 F_v ($F_v = F_m - F_0$) 用便携式植物效率分析仪 (PEA, Hansatech^[9], U. K.) 测定。测定在室温下进行, 暗适应时间不少于 15min, 激发光强约为 $1500\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。所有数据重复次数不少于 3 次, 用可变荧光 (F_v) 与最大荧光 (F_m) 之比表示光合效能的大小。

1.5 碳酸酐酶活性的测定

离心收集对数期藻细胞, 以 12mmol/L Veronal Buffer (pH 8.30) 清洗一次并重新悬浮, 采用 Wilbur-Anderson 量电法^[9]对碳酸酐酶的活性进行测定。在细胞匀浆液中注入 2mL 饱和 CO_2 溶液, 记录 pH 值从 8.30 下降到 7.30 的时间, 以公式 $U = T_0/T - 1$ 计算碳酸酐酶的活性, 其中 T 和 T_0 分别代表含有碳酸酐酶和不含碳酸酐酶时溶液 pH 值下降的时间。

1.6 藻胆体-类囊体膜的制备

按路荣昭等^[10]描述的方法制备藻胆体-类囊体膜复合物, 并在岛津 UV-1601 紫外, 可见光分光光度计上测定其可见光吸收光谱。

1.7 藻蓝蛋白的分离

藻蓝蛋白和别藻蓝蛋白的分离和浓度测定按照 Siegleman 和 Kycia^[11]的方法。

1.8 藻蓝蛋白和 Zn^{2+} 的反应

参考李建宏等^[6]的方法,在藻蓝蛋白的提取液中加入与藻蓝蛋白的摩尔数之比分别为 1/2、3/4、4/4、5/4、的 $ZnSO_4$ 溶液,45℃保温 25min 后测定吸收光谱。

2 结果与讨论

2.1 Zn^{2+} 对固氮鱼腥藻生长及叶绿素含量的影响

在未加 Zn^{2+} 的培养基中,藻细胞因缺少这种必需的微量元素,生长受到影响,其生长速率低于在 Zn^{2+} 浓度为 $0.1\mu\text{mol/L}$ 到 $10.0\mu\text{mol/L}$ 范围条件下培养的藻。 $1.0\mu\text{mol/L}$ Zn^{2+} 条件下生长的藻细胞在对数期比生长速率为 0.437,为各种浓度中最高值(从 $0\mu\text{mol/L}$ 到 $20.0\mu\text{mol/L}$ 6 个浓度下的对数期比生长速率分别为 0.096、0.422、0.437、0.374、0.147 和 -0.841),为固氮鱼腥藻生长所需的最适浓度(图 1)。以含 $20.0\mu\text{mol/L}$ Zn^{2+} 的培养基培养的藻细胞在培养 2d 后颜色发生了轻微的黄化,其光合作用和其它各种代谢被抑制。在 $50.0\mu\text{mol/L}$ Zn^{2+} 条件下,藻细胞在 1~2d 内完全死亡。曾有文献报道^[12],单细胞绿藻栅藻(*Scenedesmus subspicatus*)的 Zn^{2+} 浓度适应范围为 10^{-12} ~ 10^{-6} 。这个结论与本文对固氮鱼腥藻的测定结果基本相符,还有报道,在小球藻和裸藻的培养基中加入 Zn^{2+} 会使它们的总叶绿素含量降低^[13,14],由本实验可以看出,在 $20.0\mu\text{mol/L}$ 的 Zn^{2+} 作用下,固氮鱼腥藻的叶绿素合成也会逐渐受到影响。

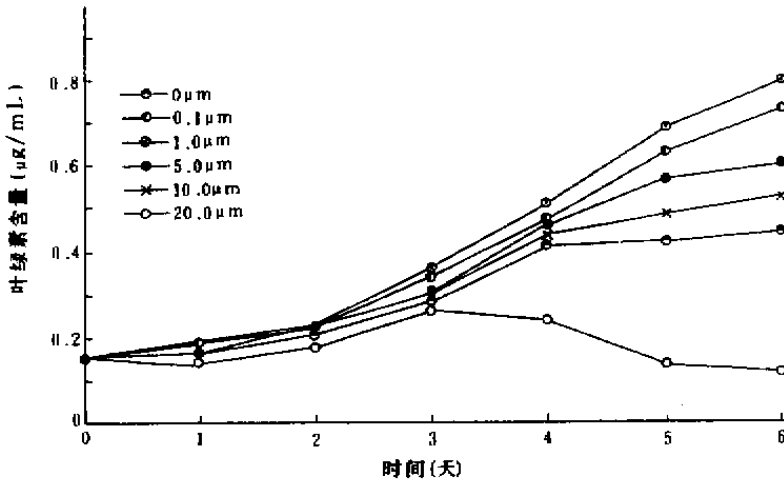


图 1 Zn^{2+} 对固氮鱼腥藻生长的影响

Fig.1 Effect of Zn^{2+} on the growth of *A. azotica* Ley

2.2 Zn^{2+} 对固氮鱼腥藻光合放氧速率的影响

Zn^{2+} 对固氮鱼腥藻的光合放氧速率也有影响。当 Zn^{2+} 为 $0.1\mu\text{mol/L}$ 的低浓度时, Zn^{2+} 对藻细胞的光合放氧起到促进作用,在 $1.0\mu\text{mol/L}$ 时达到最大值, $\geq 5.0\mu\text{mol/L}$ 时的放氧速率下降(表 1)。光合放氧涉及光合电子传递、磷酸化和碳素固定,取决于光合器内同化力的形成以及光合器内外膜的完整。Baker 等人的研究表明, Zn^{2+} 是一种光合电子传递抑制剂^[1],推测当 Zn^{2+} 浓度超过 $5.0\mu\text{mol/L}$ 时,可能会强烈地作用于光合电子传递系统中的作用位点,减弱电子传递的流量,从而抑制光合作用,降低放氧速率。

表 1 Zn^{2+} 对活体固氮鱼腥藻细胞光合放氧速率和叶绿素荧光的影响

Tab.1 Effect of Zn^{2+} on the photosynthetic O_2 evolution rate and chlorophyll fluorescence of *A. azotica* in vivo

Zn^{2+} 浓度 ($\mu\text{mol/L}$)	光合放氧速率 ($\mu\text{mol}(\text{mg}\cdot\text{h})$)	占最大值的 百分含量(%)	F_v/F_m	占最大值的 百分含量(%)
0	180.08	66.04	0.583 ± 0.007	94.34
0.1	264.35	96.95	0.601 ± 0.013	97.25
1.0	272.68	100.00	0.618 ± 0.007	100.00
5.0	236.89	86.87	0.596 ± 0.010	96.44
10.0	193.62	71.01	0.589 ± 0.027	95.31

2.3 Zn^{2+} 对固氮鱼腥藻叶绿素荧光的影响

叶绿素荧光的可变部分 (F_v) 与最大荧光 (F_m) 的比值 F_v/F_m 可以反映藻细胞光系统 II 原初的光化学效率^[8]。本实验取在不同浓度 Zn^{2+} 下生长的样品对它们的 F_v/F_m 进行比较; Zn^{2+} 对 F_v/F_m 值(表 1)。曾有报道^[15] Zn^{2+} 会在 $0.4 \sim 1.0\text{mmol/L}$ 的浓度范围内影响菠菜、大麦等高等植物 PS II 的活性,在本实验中, $5.0\mu\text{mol/L}$ 的浓度会抑制原核蓝藻固氮鱼腥藻 PS II 的最大光能转换效率。

2.4 Zn^{2+} 对固氮鱼腥藻碳酸酐酶活性的影响

碳酸酐酶(Carbonic anhydrase, CA)催化 CO_2 和 HCO_3^- 相互转变的可逆反应($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$)^[16]。它是一种含 Zn^{2+} 的金属酶, Zn^{2+} 对于其催化作用具有重要的意义^[17]。Guliev 等^[18]曾报道,在体外除去 CA 的 Zn^{2+} 会造成 CA 催化活性不可逆的损失。在水化反应中, CO_2 在酶反应活性中心与中介物 $\text{Zn}-\text{OH}$ 反应;在脱水反应中, HCO_3^- 与 $\text{Zn}-\text{H}_2\text{O}$ 反应^[16]。

本实验中,在 $1.0\mu\text{mol/L}$ Zn^{2+} 条件下培养的藻细胞具有最高的 CA 活性。当 Zn^{2+} 浓度升高时,酶蛋白的活性就会因辅酶 Zn^{2+} 的浓度过高而受到抑制, $5.0\mu\text{mol/L}$, $10.0\mu\text{mol/L}$ 时的活性分别为 $1.0\mu\text{mol/L}$ 时的 96.02% 和 81.92%; 无 Zn^{2+} 条件下培养的藻细胞 CA 活性也较低,仅为 $1.0\mu\text{mol/L}$ 时的 76.56%(图 2)。曾有报道^[3] 缺少 Zn^{2+} 的水稻叶片(Zn^{2+} 含量为 0.19mg/m^2) 的 CA 活性会降低,为 Zn^{2+} 充足叶片(Zn^{2+} 含量为 0.51mg/m^2) CA 活性的 14%。相比之下本实验中的 CA 活性降低并不剧烈。

2.5 Zn^{2+} 对固氮鱼腥藻藻胆体-类囊体膜吸收光谱的影响

在实验中,对固氮鱼腥藻的藻胆体-类囊体膜进行了制备分离,藻胆体-类囊体膜的吸收光谱有 5 个峰,分别位于 678, 624, 490, 438 和 418nm(图 3)。678nm 是类囊体叶绿素 a 的吸收峰, 624nm 是藻胆体的吸收峰, 490nm 是类胡萝卜素的吸收峰, 438 和 418nm 是叶绿素 a 蓝区吸收峰。从图 3 可看出该制备物为完整的藻胆体-类囊体膜复合物。在含 $5.0\mu\text{mol/L}$ Zn^{2+} 培养基中生长的藻细胞的吸收光谱, 624nm 处的吸收峰有一定程度的下降(图 4); Murthy 等^[5] 和李建宏^[6] 曾分别报道, Hg^{2+} 和 Cu^{2+} 处理均影响藻胆蛋白的吸收峰, 本文证明 Zn^{2+} 也会对藻胆蛋白产生类似作用, 推测藻胆蛋白是对重金属敏感区域, 易受到重金属的伤害。藻胆体是否就是 Zn^{2+} 的作用位点, 还需要进一步研究。

2.6 Zn^{2+} 与蓝藻蛋白的反应

从藻细胞中提取出具有捕光作用的色素藻蓝蛋白(PC)和别藻蓝蛋白(APC), 它们分别在可见光的 620nm 和 650nm 处具有特征吸收峰。在室温下分别以与 PC 亚基的摩尔数之比为 1/

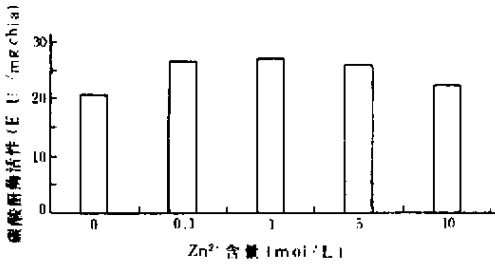


图 2 Zn²⁺对固氮鱼腥藻碳酸酐酶活性的影响
Fig.2 Effects of Zn²⁺ on the CA activity of *A. azotica*

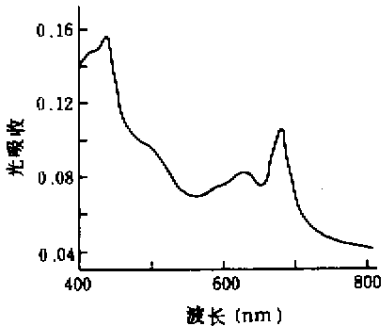


图 3 藻胆体-类囊体膜复合物的可见光吸收光谱
Fig.3 The absorption spectrum of phycobilisome-thylakoid membrane

2、3/4、4/4、5/4 的量加入 Zn²⁺ ,并在 45℃ 下保温 25min ,UV - 1601 分光光度计测定吸收光谱,可见 Zn²⁺ 的加入降低了 620nm 处 PC 的吸收值,以 3/4 的量加入的 Zn²⁺ 比以 1/2 的量加入的 Zn²⁺ 更明显地减弱了 620nm 的吸收值(图 5),随后再增加 Zn²⁺ 的浓度,620nm 处的吸收值不再降低,即以 3/4 的量加入的 Zn²⁺ 对藻蓝蛋白的作用已达到最大程度.

同时,Zn²⁺对别藻蓝蛋白的吸收峰也具有影响.当 Zn²⁺与 APC 的亚基摩尔数之比达到 3/4 时,在 45℃ 下保温 25min 后,对 APC 在 650nm 的吸收峰的减弱达到了最大程度(表 2).

表 2 Zn²⁺对别藻蓝蛋白吸收光光谱的影响

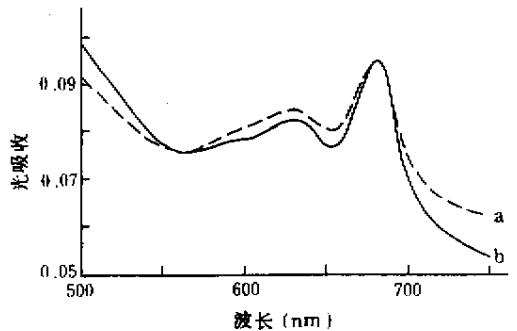


图 4 Zn²⁺对 *A. azotica* Ley 吸收光谱的影响
a. 对照 b. Zn²⁺ 含量 5.0μmol/L
Fig.4 Effect of Zn²⁺ on the absorption of *A. azotica* Ley

Tab.2 Effects of Zn²⁺ on the absorption spectra of allophycocyanin

样品	[Zn ²⁺]/[APCs]	波长 (nm)	光吸收
APC	-	650nm	0.200
APC + Zn ²⁺	1/2	650	0.183
APC + Zn ²⁺	3/4	650	0.176
APC + Zn ²⁺	4/4	650	0.177
APC + Zn ²⁺	5/4	650	0.177

由藻蓝蛋白和别藻蓝蛋白的吸收光谱可见,Zn²⁺对于二者都有影响作用,由于在 *A. azotica* Ley 中光能的传递途径可能是

类胡萝卜素———

藻蓝蛋白→别藻蛋白→叶绿素_a [19]

因此 Zn^{2+} 有可能是先作用于藻蓝蛋白上,减少了藻蓝蛋白可见光的吸收,使别藻蓝蛋白对光能的吸收和传递也降低,从而降低了光合效率。

在实验中还进行了 PC 和 APC 含量的测定,未发现 PC 与 APC 的含量因 Zn^{2+} 浓度不同而改变(数据未出示)。

根据上述实验,可以得到以下结论:

(1) $1.0 \mu\text{mol/L}$ 浓度的 Zn^{2+} 是维持固氮鱼腥藻 *A. azotica* Ley 最适生长和最高光合放氧速率、最高 F_v/F_m 所必需的;当 $Zn^{2+} \geq 5.0 \mu\text{mol/L}$ 时就会对其光合作用产生抑制,光合放氧速率和叶绿素荧光 F_v/F_m 都有所降低。培养其中加入 $2.0 \mu\text{mol/L Zn}^{2+}$ 时藻体很快发生黄化、直至死亡。

(2) 碳酸酐酶作为转运 CO_2 和在光合作用中为 Rubisco 提供局部高浓度 CO_2 底物所必需的酶,它的活性对于整个光合作用的运作过程都具有影响。它以 Zn^{2+} 作为辅酶因子,当培养基中不加入 Zn^{2+} 时,碳酸酐酶的活性只有最适 Zn^{2+} 浓度条件下的 76.56%,而当 Zn^{2+} 浓度升高到 $5.0 \mu\text{mol/L}$ 后,又会逐渐抑制碳酸酐酶的活性,从而影响蓝藻的光合效率。

(3) 关于重金属对蓝藻光合作用的影响机理和与藻胆体的作用关系,迄今只有关于 Hg^{2+} 和 Cu^{2+} 可影响藻胆体光能传递的报道^[5,6]。在蓝藻的类囊体膜上,藻胆体颗粒位于 PS II 外侧,易于受到进入细胞内的重金属离子的作用^[6]。从藻胆体和藻蓝蛋白溶液的吸收光谱推测, Zn^{2+} 可能作用于藻胆体中的藻蓝蛋白,影响光能传递,但影响程度没有 Cu^{2+} 和 Hg^{2+} 剧烈。

参 考 文 献

- 1 Baker N R, Fernyhough P, Meek I T. Light-dependent inhibition of photosynthetic electron transport by zinc. *Physiol Plant*, 1982, **56**: 217 ~ 222
- 2 Randall P J, Bouma D. Zinc deficiency, carbonic anhydrase, and photosynthesis in leaves of spinach. *Plant Physiol*, 1973, **52**: 229 ~ 232
- 3 Sasaki H, Hirose T, Watanabe Y, et al. Carbonic anhydrase activity and CO_2 -transfer resistance of Zn-Deficient rice leaves. *Plant Physiol*, 1998, **118**: 929 ~ 934
- 4 Lane T W, Morel F M M. Regulation of carbonic anhydrase expression by zinc, cobalt, and carbon dioxide in the marine diatom *Thalassiosira weissflogii*. *Plant Physiol*, 2000, **123**: 345 ~ 352
- 5 Murthy S D S, Mohanty P. Mercury induces alteration of energy transfer in phycobilisome by selectively affecting the pigment protein, phycocyanin, in the cyanobacterium, *Spirulina platensis*. *Plant Cell Physiol*, 1991, **32**(2): 231
- 6 李建宏, 邵子厚, 曾昭琪. Cu^{2+} 对蓝藻 *Spirulina maxima* 光合作用的抑制机理. 植物生理学报, 1997, **23**(1): 77 ~ 82
- 7 Rippka R, Deruelles J, Waterbury J B, et al. Genetic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. *J Gen Microbiol*, 1979, **111**: 1 ~ 61
- 8 李敦海, 宋立荣, 刘永定. 葛仙米光合活性对盐胁迫的反应. 水生生物学报, 1999, **23**(5): 420 ~ 424

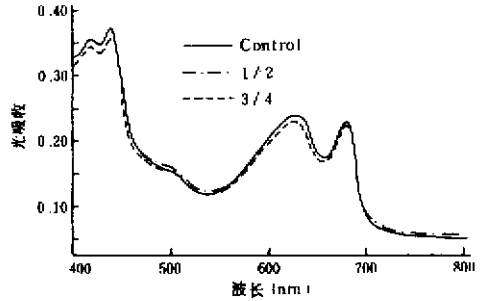


图 5 Zn^{2+} 对藻蓝蛋白吸收峰的影响, 图中 1/2 和 3/4 代表 PC 亚基与 Zn^{2+} 的摩尔数之比

Fig.5 Effect of Zn^{2+} on the absorption spectrum of phycocyanin of *A. azotica* Ley, 1/2 and 3/4 represent the ratios of PC subunits and Zn^{2+}

- 9 Wilbur K M , Anderson N G. Electrometric and colorimetric determination of carbonic anhydrase. *J Biol Chem* , 1948 , **176** :147 ~ 154
- 10 路荣昭,刘 斌,于延利. 多变鱼腥藻(*Anabaena variabilis*)藻胆体-类囊体膜光能传递的研究. 生物物理学报, 1989 **5** :125 ~ 132
- 11 Siegelman H W , Kycia J H. Alga biliprotein. In : Gantt E ed. Handbook of Phycological Method. Cambridge : Cambridge University Press , 1978 .72
- 12 Knauer K , Behra R , Sigg L. Effects of free Cu^{2+} and Zn^{2+} ions on growth and metal accumulation in fresh water algae. *Environmental Toxicology and Chemistry* , 1997 , **16** (2) 220 ~ 229
- 13 De Filippis L F ,Pallaghy C K. The effects of sub-lethal concentrations of mercury and zinc on *Chlorella*. II . Photosynthesis and pigment composition. *Z Pflanzenphysiol* , 1976 , **78** 314 ~ 322
- 14 De. Filippis L F ,Pallaghy C K. The effects of zinc , cadmium and mercury on *Euglena*. Growth and pigments. *Pflanzenphysiol* 1981 , **101** 37 ~ 47
- 15 Clijsters H , Van Assche F. Inhibition of photosynthesis by heavy metals. *Photosynthesis Research* , 1985 , **7** 31 ~ 40
- 16 吴天福. 蓝藻高 CO_2 需求突变株的筛选及分析. 中国科学院博士学位研究生学位论文 ,1999
- 17 Silveerman D N. The catalytic mechanism of carbon anhydrase. *Can J Bot* , 1991 , **69** :1070 ~ 1078
- 18 Guliev N M , Briramov S M , Aliev D A. Functional organization of carbon anhydrase in higher plants. *Sov. Physiol.* 1992 , **39** 537 ~ 544
- 19 梅镇安,方昭希,高继亮等. 固氮鱼腥藻(*Anabaena azotica* Ley)色素间的能量传递. 中国科学(B 辑), 1986 , **4** 369 ~ 378

Effects of Zinc Ion on Photosynthetic System of *Anabaena azotica* Ley

WANG Shanshan LIU Yongding JIN Chuanyin LI Dunhai
(*Institute of Hydrobiology , Chinese Academy of Sciences , Wuhan 430072 , P. R. China*)

Abstract

It was found that the concentration of Zn^{2+} at about $1.0\mu\text{mol/L}$ was essential to keep optimal growth of *Anabaena azotica* Ley and also important to keep a quite high value of photosynthetic oxygen evolution rate , chlorophyll fluorescence (F_v/F_m) level and carbonic anhydrase activity , whereas the relative high concentration of Zn^{2+} ($\geq 5.0\mu\text{m}$) would inhibit the growth of *A. azotica* Ley , decrease its photosynthetic oxygen evolution rate , chlorophyll fluorescence and CA activity. The study of the absorption spectra of the phycobilisome - thylakoid membrane complex and the extraction of phycocyanin indicate that Zn^{2+} may affect the photosynthesis by its effect on the phycobilisome especially the phycocyanin. Since CA is a Zn^{2+} -containing metalloenzyme and may provide a high concentration of CO_2 to Rubisco in the process of CO_2 fixation , it is suggested that Zn^{2+} may affect the photosynthesis by acting on CA.

Keywords : *Anabaena azotica* Ley ; Photosynthesis ; Zinc Ion ; Phycocyanin ; Carbonic Anhydrase