

Mn²⁺ 对四尾栅藻生长及 Ca²⁺、Mg²⁺ 吸收的影响

刘 静,赵海涛,盛海君,徐轶群,封 克

(扬州大学环境科学与工程学院,江苏 扬州 225009)

摘要:通过实验室模拟培养的方法,采用6个不同 Mn²⁺ 浓度(0、10、100、1 000、10 000、30 000 nmol/L)的培养处理,对四尾栅藻(*Scenedesmus quadricauda*)的生物量、叶绿素 a 含量、培养基中 Ca²⁺、Mg²⁺ 离子的含量分别进行了测定。结果表明,不同 Mn²⁺ 浓度对各指标均有显著影响,其中对叶绿素 a 含量的影响达极显著($P < 0.01$);低 Mn²⁺ 浓度(0~1 000 nmol/L)促进四尾栅藻细胞生长和叶绿素 a 的合成,而高浓度 Mn²⁺ (30 000 nmol/L 以上)抑制四尾栅藻细胞生长,导致生物量下降;叶绿素 a 含量显著降低($P < 0.05$);四尾栅藻细胞吸收的 Ca²⁺、Mg²⁺ 与其生物量成正比。在所设置的浓度范围内,Mn²⁺ 并未表现出与 Ca²⁺、Mg²⁺ 之间明显的拮抗作用。

关键词:四尾栅藻;Mn²⁺;Ca²⁺;Mg²⁺;生物量;叶绿素 a

中图分类号:Q493.99 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2010)02-0032-06

在藻类细胞的生命周期中,除了需要大量的营养元素 N、P 外,还需要有微量元素的存在。缺少微量元素,藻类虽然可以生长,但其生理过程及代谢作用缓慢。自从 Martin & Fitzwater(1988)报道了 Fe 限制会造成富含氮、磷的亚寒带北太平洋地区表面的水体浮游植物生物量很低的现象后,微量元素对藻类生长的影响逐渐受到人们的重视。近期研究发现,微量元素 Mn 也是限制藻类生长的主要因素之一,在水体富营养化和水华暴发过程中起到较大的作用(Jeffrey & Millton,1999;Alexander & Markus,2006)。锰元素作为藻类生长必需的微量元素之一,是生物体进行光合作用的催化剂,对有氧呼吸产生的氧化产物有去毒作用,是一些酶的活化剂,在生成 ATP 方面也起功能性作用(徐景亮,2005)。有研究表明,Mn 元素的吸收与其存在形式有关,以可溶性的还原态为主(秦晓明和邹景忠,1997),且过量的 Mn 元素往往会对藻类产生毒性,抑制其生长(王海明等,2008;刘静等,2009)。目前,国内外相关研究主要侧重于 Mn 与其他环境因素(营养元素 N、P 和光照等)的交互作用,特别是 Fe 与 Mn 的交互作用对藻类生长的影响,结果往往比单个因子的限制作用更强(李灏等,2006;黄邦钦等,2000;陈慈美等,1996)。然而,研究对象大多集中在海洋藻类,且有关单营养元素 Mn 对淡水微藻生长及生理的影响研

究却很少。

四尾栅藻(*Scenedesmus quadricauda*)属于绿藻门、栅藻科,细胞呈纺锤形或长筒形,藻体一般为2、4或8个细胞组成的单列群体,繁殖迅速、适应性强,是国内外广泛分布的一种淡水藻类(胡鸿钧和魏印心,2006)。在太湖水体中,由于受污染影响,富营养化现象越来越严重,导致春季和冬季四尾栅藻数量增多(胡小贞等,2005);且高浓度 CO₂ 或低 pH 值水体中,也有利于绿藻和硅藻占优势(杨波等,2007)。因此,本文选取四尾栅藻为研究对象,了解 Mn 对淡水藻类生长及生理的影响。

1 材料与方法

1.1 仪器和设备

光照培养箱、显微镜、血球计数板、离心机、721 分光光度计等。为减少金属污染,所用的玻璃器皿均在 1mol/L 盐酸中浸泡 2~3d,用超纯水冲洗干净,在 60℃ 下烘干,121℃ 下高压灭菌 20 min 后备用(吕秀平等,2006)。

1.2 藻种

试验所用四尾栅藻购自中国科学院武汉水生生物研究所,编号 FACHB-44。

1.3 培养基的配置

实验所用基本培养基为无铁 SE,其配方为:NaNO₃ 0.25 g/L, K₂HPO₄ · 3H₂O 0.075 g/L, MgSO₄ · 7H₂O 0.075 g/L, CaCl₂ · 2H₂O 0.025 g/L, KH₂PO₄ 0.175 g/L, NaCl 0.025 g/L, A₅ + Co solution 1mL。其中, A₅ + Co solution 为 HBO₃ 2.86 g/L, MnCl₂ · H₂O 1.81 g/L, ZnSO₄ · 7H₂O 0.222 g/L,

收稿日期:2009-07-21

基金项目:江苏省环境材料与工程重点实验室项目资助。

通讯作者:封克。E-mail: fengke@yzu.edu.cn

作者简介:刘静,1984年生,女,江苏射阳人,研究方向为植物营养学。E-mail: liujing841123@yahoo.com.cn

$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.079 g/L, $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ 0.390 g/L, $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 0.049 g/L。

整个实验均以上述培养基为基础,以 1 mmol/L 的 $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ 为母液,其他组分不变,配置成不同 Mn^{2+} 浓度的培养基。本实验设 Mn^{2+} 浓度为 0、10、100、1 000、10 000、30 000 nmol/L。

实验选用 250 mL 广口三角瓶,内装培养基 150 mL,用无菌封口膜封住瓶口,每个浓度设 3 个重复,121℃ 高压灭菌 20 min 后备用。

1.4 培养方法和实验条件

藻种实验前进行扩大培养,在指数生长期时离心(5 000 r/min, 15 min)收集细胞,用无锰 SE 培养基洗涤 2 次,然后用无锰 SE 培养基饥饿培养 5 d。5 d 后离心收集细胞,用少量无锰 SE 重悬,用重悬液作为藻源,接种到已准备好的不同 Mn^{2+} 浓度的培养基中,接种密度为 3×10^4 个/mL,在平行样之间的相对偏差小于 10% 时,实验数据取自 3 个平行样的均值。培养时间为 1 个月,培养期间,每天定时摇动 3~4 次,并变换位置,以减少光照的影响。每隔 2 d 取样,测定叶绿素 a 含量和生物量(650 nm 处的吸光度)。

整个实验均在恒温培养室中进行,培养温度(25 ± 1)℃,光强为 2 000 lx,光暗比 12L: 12D。整个实验过程均保持无菌操作。

1.5 生物量的测定

取一定量藻液,按不同倍数稀释后,用 721 分光光度计分别测定其在 650 nm 处的吸光度;另吸取 1 mL 藻液放入事先加入 50 μL 鲁格试液的胶卷盒中,染色固定后,用血球记数板在显微镜下记数(陈海柳等,2003)。生物量用藻液中的藻个数(N)表示,得出溶液中藻的数量与吸光度之间的对应关系并绘制成标准曲线,计算公式如下:

$$N (10^4 \text{ 个/mL}) = A_{650} \times 136.08 + 3.4756 \quad (R^2 = 0.9961)$$

1.6 藻细胞的比生长速率(μ)测定

按下列公式计算藻细胞的比生长速率(μ):
$$\mu = (\ln N_2 - \ln N_1) / (t_2 - t_1)$$

式中: t_1 、 t_2 为培养时间; N_1 、 N_2 分别为培养 t_1 、 t_2 时的细胞密度(陈静峰等,2006)。

1.7 叶绿素 a 含量的测定

根据改良的 Jeffrey & Humphrey(1975)方法,取 5 mL 藻液经 0.45 μm 微孔滤膜过滤,滤膜于 -8℃ 冷冻干燥(过夜或 12 h 以上),然后剪碎放入 50 mL 离心管中,加入少量 80℃ 的 95% 乙醇,于暗处静置

6 h 后过滤,滤液定容至 10 mL,用紫外分光光度计在 663、646、470 nm 下比色。计算公式:

$$Chl-a \text{ (mg/L)} = (12.21 \times A_{663} - 2.81 \times A_{646}) \times 10 \text{ mL/5 mL}$$

1.8 培养基中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的测定

实验结束后,取一定量藻液,用 0.45 μm 微孔滤膜过滤,滤液备用,直接测定。 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量采用原子吸收分光光度法测定,详见《水和废水监测分析方法指南》(1990)。

2 结果分析

2.1 Mn^{2+} 对四尾栅藻生长的影响

不同 Mn^{2+} 浓度对四尾栅藻生长的影响似乎并不明显,但单因子方差分析(one-way ANOVA)结果表明,不同 Mn^{2+} 处理下四尾栅藻最终生物量间有显著性差异($F = 4.794$; $P = 0.025 < 0.05$)。在生长初期,不同 Mn^{2+} 浓度下的生长曲线基本重合,在指数生长后期和衰老期时生物量的差异逐渐增大(图 1)。当 Mn^{2+} 浓度为 0 时,最终生物量最低,为 28.11×10^4 个/mL;当 Mn^{2+} 浓度为 10 nmol/L 时,最终生物量增加并不显著($P = 0.700 > 0.05$);而当 Mn^{2+} 浓度增加到 100、1 000 和 10 000 nmol/L 时,最终生物量显著增加(与 0 nmol/L 时相比, P 分别为 0.015、0.007 和 0.018),且 1 000 nmol/L 时最终生物量最大,为 31.17×10^4 个/mL(表 1),达极显著差异($P = 0.007 < 0.01$)。当 Mn^{2+} 浓度大于 1 000 nmol/L 时,生物量却呈现出下降趋势。10 000 nmol/L 时生物量为 30.62×10^4 个/mL,而 30 000 nmol/L 时生物量仅为 28.51×10^4 个/mL。

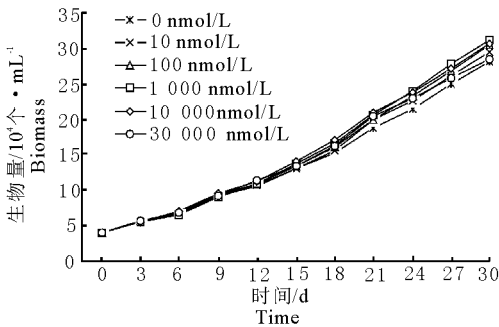


图 1 Mn^{2+} 浓度 0 ~ 30 000 nmol/L 时四尾栅藻的生长曲线

Fig.1 Batch growth curves of *Scenedesmus quadricauda* in the medium with Mn^{2+} concentrations of 0 ~ 30000 nmol/L

比生长速率 μ 用来表示藻类的平均生长速率。由表 1 可以看出,平均比生长速率的变化趋势与图

1 相似。不同 Mn^{2+} 浓度处理四尾栅藻的比生长速率有差异,在统计上达显著 ($F = 4.752; P = 0.026 < 0.05$)。 Mn^{2+} 浓度为 0 时,平均比生长速率最小为 0.065 d^{-1} ; Mn^{2+} 浓度为 $1\ 000\text{ nmol/L}$ 时,平均比生长速率最大,为 0.0684 d^{-1} ,两者差异达极显著水平 ($P = 0.008 < 0.01$);而在 Mn^{2+} 浓度为 $30\ 000\text{ nmol/L}$ 时,平均比生长速率下降为 0.0655 d^{-1} ,与最大值相比有显著差异 ($P = 0.022 < 0.05$)。

指数生长期比生长速率是指在四尾栅藻生长进入指数生长阶段的平均比生长速率。根据预备实验及胡小贞等(2004)的研究,本实验确定 3 ~ 21 d 为四尾栅藻的指数生长阶段。因此, $\mu_0 = (\ln N_{21d} - \ln N_{3d}) / 18\text{ d}$ 。不同 Mn^{2+} 处理下四尾栅藻指数生长期比生长速率的差异显著 ($F = 5.622; P = 0.016 < 0.05$)。值得注意的是, Mn^{2+} 浓度为 $10\ 000\text{ nmol/L}$ 时,指数生长期比生长速率大于 $1\ 000\text{ nmol/L}$ 时,达最大为 0.0733 d^{-1} ,但两者差异并不显著 ($P = 0.607 > 0.05$);当 Mn^{2+} 浓度为 $30\ 000\text{ nmol/L}$ 时,指数生长期比生长速率显著下降 ($P = 0.033 < 0.05$),生长受到显著抑制作用。

表 1 不同 Mn^{2+} 浓度下四尾栅藻的比生长速率和最大生物量比较

Tab.1 Final yields(<i>N</i>) and specific growth rates(μ) of <i>Scenedesmus quadricauda</i> under different Mn^{2+} concentrations			
Mn^{2+} 浓度/ $nmol \cdot L^{-1}$	平均比生长速率/ d^{-1}	指数生长期比 生长速率/ d^{-1}	最终生物量/ 10^4 个 $\cdot mL^{-1}$
0	0.0650	0.0675	28.11
10	0.0666	0.0707	29.47
100	0.0677	0.0700	30.46
1 000	0.0684	0.0726	31.17
10 000	0.0678	0.0733	30.62
30 000	0.0655	0.0712	28.51

2.2 Mn^{2+} 对四尾栅藻叶绿素 a 含量的影响

由图 2 可以看出,不同 Mn^{2+} 浓度下四尾栅藻叶绿素 a 含量的差异较生物量明显,达极显著水平 ($F = 10.685; P = 0.002 < 0.01$)。在刚进入指数生长期时,不同处理下的叶绿素 a 含量即表现出差异,在指数生长期后期和衰老期差异更为明显。 Mn^{2+} 浓度为 $1\ 000\text{ nmol/L}$ 时,最终叶绿素 a 浓度最大,为 0.9227 mg/L ;其次是 Mn^{2+} 浓度为 $10\ 000\text{ nmol/L}$ 时,叶绿素 a 浓度为 0.9146 mg/L ; Mn^{2+} 浓度在 0 ~ $1\ 000\text{ nmol/L}$ 时,叶绿素 a 浓度逐渐增加。然而,与生物量变化不同的是, Mn^{2+} 浓度为 $30\ 000\text{ nmol/L}$ 时,叶绿素 a 浓度达最低,为 0.6822 mg/L ,比 Mn^{2+} 浓度为 0 时的叶绿素 a 浓度还要低 0.1978 mg/L 。

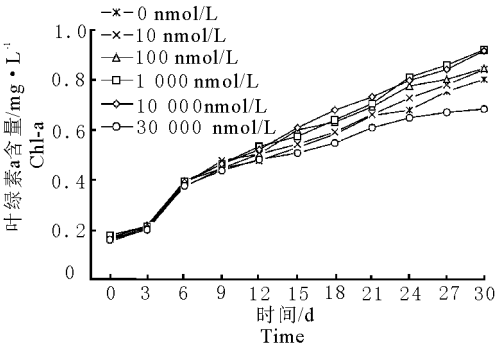


图 2 不同 Mn^{2+} 浓度下四尾栅藻叶绿素 a 含量随时间的变化

Fig.2 Chlorophyll a contents of *Scenedesmus quadricauda* with incubation time under different Mn^{2+} concentrations

表 2 Mn^{2+} 浓度为 0 ~ $30\ 000\text{ nmol/L}$ 时单细胞叶绿素 a 含量

Tab.2 Chlorophyll a contents of <i>Scenedesmus quadricauda</i> in per cell as a function of Mn^{2+} concentrations	
Mn^{2+} 浓度/ $nmol \cdot L^{-1}$	单细胞叶绿素 a 含量/ $10^{-9}\text{ mg} \cdot \text{个}^{-1}$
0	2.85
10	2.86
100	2.78
10 00	2.96
10 000	2.99
30 000	2.39

单细胞叶绿素 a 含量的结果与图 2 略有不同,但在统计上仍达显著水平 ($F = 5.136; P = 0.021 < 0.05$)。 Mn^{2+} 浓度为 $10\ 000\text{ nmol/L}$ 时,单细胞叶绿素 a 含量最高,为 $2.99 \times 10^{-9}\text{ mg/个}$;其次是 Mn^{2+} 浓度为 $1\ 000\text{ nmol/L}$ 时(表 2)。这个结果与最终叶绿素 a 浓度的结果相反,但与表 1 中指数生长期的比生长速率结果相符,说明 Mn^{2+} 浓度为 $10\ 000\text{ nmol/L}$ 时,可能为四尾栅藻的最适生长浓度。 Mn^{2+} 浓度为 $30\ 000\text{ nmol/L}$ 时,单细胞内叶绿素 a 含量最低,仅为 $2.39 \times 10^{-9}\text{ mg/个}$ 。

2.3 Mn^{2+} 对四尾栅藻吸收 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的影响

图 3 和图 4 分别为培养 30 d 后,培养基中剩余的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度。2 图的趋势基本相同,都是在 Mn^{2+} 浓度为 $1\ 000\text{ nmol/L}$ 时, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度最低,分别为 0.8021 mg/L 和 6.5733 mg/L ;在 Mn^{2+} 浓度为 0 时, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度最高,分别为 1.0417 mg/L 和 6.892 mg/L 。这与四尾栅藻的生长情况相符,即细胞生物量越大,吸收的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 越多。 Mn^{2+} 浓度为 $30\ 000\text{ nmol/L}$ 时,溶液中剩余的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度仍较大,分别为 1.0139 mg/L 和 6.7337 mg/L 。但方差分析结果却显示,微量元素 Mn^{2+} 对 Ca^{2+} 、

Mg^{2+} 吸收的影响程度不同, Mn^{2+} 对 Mg^{2+} 吸收的影响达极显著 ($F = 12.729, P = 0.001 < 0.01$), 而对 Ca^{2+} 的吸收影响显著 ($F = 5.154, P = 0.017 < 0.05$)。

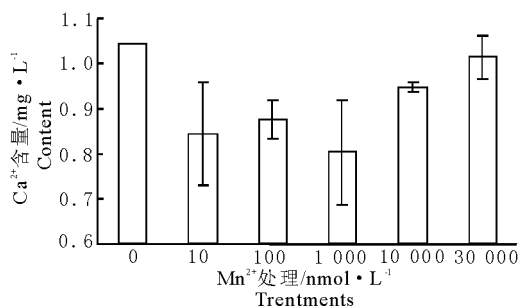


图3 培养30 d后不同 Mn^{2+} 浓度处理培养液中 Ca^{2+} 的含量

Fig.3 Ca^{2+} content in medium of different Mn^{2+} treatment after 30 days

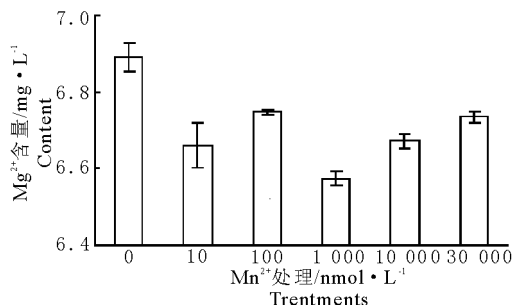


图4 培养30 d后不同 Mn^{2+} 浓度处理培养液中 Mg^{2+} 的含量

Fig.4 Mg^{2+} content in medium of different Mn^{2+} treatment after 30 days

3 讨论

运用 SPSS 软件分析微量元素 Mn^{2+} 对四尾栅藻细胞生长的影响情况 (one-way ANOVA) 后发现, 不同 Mn^{2+} 浓度对细胞的生物量、叶绿素 a 含量、比生长速率及 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 吸收均具有显著影响, 其中对叶绿素 a 含量和 Mg^{2+} 吸收的影响所造成的差异达到极显著水平 ($P < 0.01$)。

3.1 不同的 Mn^{2+} 浓度对藻类生物量的影响

低浓度 Mn^{2+} 可以促进四尾栅藻细胞的生长, 在高浓度时表现出一定毒害效应。这与 Mn^{2+} 对铜绿微囊藻生长的影响情况相似 (刘静等, 2009; 王海明等, 2008)。 Mn^{2+} 浓度在 0 ~ 1 000 nmol/L 范围内, 四尾栅藻生物量随 Mn^{2+} 浓度的增加而增加; 当 Mn^{2+} 浓度为 30 000 nmol/L 时, 生长受到抑制, 生物量下降。这与刘静等 (2008) 发现的 Fe^{3+} 对四尾栅藻生长的影响情况有所不同, 高浓度 Fe^{3+} (30 000

nmol/L) 对四尾栅藻细胞的生长未表现出抑制作用, 只是比生长速率已不再增加; Omar (2002) 研究结果也表明, 当 Zn^{2+} 达到 8.0 mg/L 时才表现出对四尾栅藻生长的抑制作用, 说明其对 Fe^{3+} 和 Zn^{2+} 的耐受能力较强; Ting & Larson (1991) 也证实四尾栅藻合成金属结合蛋白的能力较强, 能容纳较多的金属离子; Stenvenson 等 (1996) 认为, 由于各种离子的性质 (离子半径等) 不同, 与细胞膜上官能团的亲和能力的不同, 因此导致同种藻类对不同金属的敏感性和耐受性有所差别; 阎海等 (2001) 也证实, 不同金属离子与藻细胞的不同亲和性是导致金属离子抑制蛋白核小球藻生长毒性差异的主要原因。

3.2 高浓度 Mn^{2+} 对叶绿素 a 合成的抑制作用

Prasad (1987) 研究认为, 金属离子可影响与叶绿素合成有关的酶活性。本实验中, 不同 Mn^{2+} 浓度下, 叶绿素 a 浓度在指数生长初期就表现出差异, 且最终叶绿素 a 含量达极显著差异, 说明不同 Mn^{2+} 浓度直接影响叶绿素 a 的合成。当 Mn^{2+} 浓度为 30 000 nmol/L 时, 叶绿素 a 含量极显著降低 (与 10 000 nmol/L 时相比, $P = 0.001$); 四尾栅藻细胞叶绿素 a 的合成受到明显的抑制作用, 浓度比 0 nmol/L 时还要低, 说明过量的 Mn^{2+} 对四尾栅藻产生了毒害机制。同时, 有研究表明, 过量的 Mn^{2+} (30 000 nmol/L) 对铜绿微囊藻的生长和叶绿素合成也有抑制作用 (刘静等, 2009a); Yan & Pan (2002) 研究认为, 金属离子可以与藻细胞壁表面含硫、氮和氧的基团结合, 通过影响藻类的光合作用、呼吸作用和酶活性, 从而抑制藻类的正常生长。

3.3 微生物吸收的竞争关系

微生物吸收金属离子有不需要能量的表面吸附和消耗能量的细胞膜转运两个过程。微生物在吸收不同金属离子的同时, 或多或少存在着竞争关系, 如竞争表面吸附位点、能量、载体等 (Stenvenson et al, 1996)。作者也发现, 高浓度 Fe^{3+} (30 000 nmol/L) 影响了铜绿微囊藻和小颤藻对 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的吸收 (待发表资料)。王海明等 (2008) 测定了不同 Mn^{2+} 浓度下, 铜绿微囊藻单细胞内外吸附的 Mn^{2+} 含量, 证实高 Mn^{2+} 浓度下, 单细胞外吸附和细胞内吸收的 Mn^{2+} 显著增加。然而, 本实验中, 四尾栅藻吸收 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的浓度与其生物量成正比, 即四尾栅藻的生物量越大, 吸收的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 越多。当 Mn^{2+} 浓度为 30 000 nmol/L 时, 一方面, 过量的 Mn^{2+} 浓度抑制了四尾栅藻细胞的生长, 从而使新陈代谢所需要的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量降低; 另一方面, 四尾栅藻生物量

的减少使细胞总表面减少, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 吸附减少。对于 Mn^{2+} 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 之间的竞争关系, 本实验结果并未体现出来。

4 结论

单因子方差分析结果表明, 不同 Mn^{2+} 浓度对四尾栅藻的生物量、叶绿素 a 含量以及生长率均有显著影响, 其中对叶绿素 a 含量的影响达极显著。

低浓度 Mn^{2+} (0 ~ 10 000 nmol/L) 促进四尾栅藻细胞生长和叶绿素 a 的合成, 高浓度 Mn^{2+} (30 000 nmol/L 以上) 抑制四尾栅藻细胞生长, 生物量下降, 叶绿素 a 含量显著降低。

四尾栅藻细胞吸收 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的量与其生物量成正比, 且在所设置的能度范围内, Mn^{2+} 并未表现出与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 之间明显的拮抗作用。

参考文献:

陈慈美, 周慈由, 郑爱榕, 等. 1996. 中肋骨条藻增殖的环境制约作用 - Fe (Ⅲ) 与 N、Mn、光、温交互作用对藻生化组成的效应[J]. 海洋通报, 15(1): 37 - 42.

陈海柳, 潘纲, 闫海, 等. 2003. 六价铬抑制淡水蓝绿藻生长的毒性效应[J]. 环境科学, 4(2): 13 - 18.

陈静峰, 翁焕新, 孙向卫. 2006. 磷、铁营养盐的交互作用对隐藻 (*Cryptomonas* sp.) 生长影响的初步研究[J]. 海洋科学进展, 24(1): 39 - 43.

胡鸿钧, 魏印心. 2006. 中国淡水藻类 - 系统、分类及生态 [M]. 北京: 科学出版社.

胡小贞, 金相灿, 储昭升, 等. 2005. 太湖铜绿微囊藻与四尾栅藻的光竞争及模拟优势过程初探[J]. 农业环境科学学报, 24(3): 538 - 543.

胡小贞, 马祖友, 易文利, 等. 2004. 4 种不同培养基下铜绿微囊藻和四尾栅藻生长比较[J]. 环境科学研究, 17(增刊): 55 - 57.

黄邦钦, 徐鹏, 胡海忠, 等. 2000. 单种及混合培养条件下 Fe、Mn 对赤潮生物塔玛亚历山大藻 (*Alexandrium tamarense*) 生长的影响[J]. 环境科学学报, 20(5): 537 - 541.

李灏, 缪锦来, 李光友. 2006. N、P、Fe、Mn 对亚历山大藻 LC3 生长的影响[J]. 海洋环境科学, 25(4): 1 - 3.

刘静, 盛海君, 徐轶群, 等. 2008. 铁对四尾栅藻生长的影响[J]. 环境污染与防治, 30(8): 61 - 64.

刘静, 徐轶群, 盛海君, 等. 2009. Mn^{2+} 对铜绿微囊藻生长和养分吸收的影响[J]. 水生态学杂志, 2(1): 16 - 19.

吕秀平, 张栩, 康瑞娟, 等. 2006. Fe^{3+} 对铜绿微囊藻生长和光合作用的影响[J]. 北京化工大学学报, 33(1): 27 - 30.

秦晓明, 邹景忠. 1997. N、P、Fe - EDTA、Mn 对赤潮生物锥状斯氏藻增殖影响的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 28(6): 594 - 598.

水和废水监测分析方法指南编委会. 1990. 水和废水监测分析方法指南[M]. 北京: 中国环境科学出版社.

王海明, 王宁, 王晓蓉, 等. 2008. 不同浓度 Mn^{2+} 对铜绿微囊藻的生长及其生物可利用性的影响[J]. 环境污染与防治, 30(1): 13 - 15.

徐景亮. 2005. 东海原甲藻 N、P、Fe、Mn 营养生态位研究 [D]. 广州: 暨南大学: 4 - 5.

阎海, 王杏君, 林毅雄, 等. 2001. 铜、锌和锰抑制蛋白核小球藻生长的毒性效应[J]. 环境科学, 22(1): 23 - 26.

杨波, 储昭升, 金相灿, 等. 2007. CO_2/pH 对三种藻生长及光合作用的影响[J]. 中国环境科学, 27(1): 54 - 57.

Alexander P, Markus H. 2006. Effects of manganese on chlorophyll fluorescence in epiphytic cyano - and chorolichens [J]. Flora Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 201(6): 451 - 460.

Jeffrey M R, Millton R S. 1999. Effect of manganese and nickel on growth of selected algae in pH buffered medium[J]. Water Research, 33(10): 2 448 - 2 454.

Jeffrey S W, Humphrey G F. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton [J]. Biochem Physiol Pflanz, 167(5): 191 - 194.

Martin J H, Fitzwater S E. 1988. Iron deficiency limits phytoplankton growth in the northeast subarctic Pacific[J]. Nature, 331: 341 - 343.

Omar H H. 2002. Bioremoval of zinc ions by *Scenedesmus obliquus* and *Scenedesmus quadricauda* and its effect on growth and metabolism[J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 50: 95 - 100.

Prasad D D K, Prasad A R K. 1987. Altered δ - aminolaevulinic acid metabolism by lead and mercury in germinating seedlings of Bajra (*Pennisetum typhoideum*) [J]. Journal of Plant Physiology, 127(2): 241 - 249.

Stevenson R J, Bothwell M L, Lowe R L. 1996. Algal Ecology - Freshwater Benthic Ecosystems[M]. Academic Press, San Diego.

Ting Y, Larson F. 1991. Uptake of cadmium and zinc by the alga *Chlorella vulgaris* in multi-ion situation [J]. Biotechnology and Bioengineering, 37: 445 - 455.

Yan H, Pan G. 2002. Toxicity and bioaccumulation of copper in three green microalgal species [J]. Chemosphere, 2002, 49: 471 - 476.

Effects of Mn^{2+} on Growth of *Scenedesmus quadricauda*
and Uptake of Ca^{2+} and Mg^{2+}

LIU Jing, ZHAO Hai-tao, SHENG Hai-jun, XU Yi-qun, FENG Ke

(College of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: Mn is one of the essential trace elements for algae growth and functions in many physiological aspects in algae cell. However, the ammention to effects of Mn on the growth of *Scenedesmus quadricauda* and on other nutrient cation uptake were rarely given by us. In this experiment we observed the effect of Mn^{2+} concentration on the growth and Ca^{2+} , Mg^{2+} uptake of *Scenedesmus quadricauda* in laboratory. Series of 250 mL flasks containing the prepared *Scenedesmus quadricauda* culture were incubated at 25℃ for 1 month under different Mn^{2+} concentrations (0, 10, 100, 1 000, 10 000, 30 000 nmol/L). After that the biomass, chlorophyll a content, the congcentration of Ca^{2+} and Mg^{2+} in culture medium were determined. The results showed all the index were significantly influenced by Mn^{2+} , among which the effect of chlorophyll a content was extremely significant. Lower Mn^{2+} concentrations in culture medium (0 ~1000 nmol/L) promoted the growth of *Scenedesmus quadricauda* and synthesis of chlorophyll a, and higher Mn^{2+} concentration would suppress its growth, resulting in a lower biomass and a lower chlorophyll a concentration in cells. With increase of biomass of *Scenedesmus quadricauda* more Ca^{2+} and Mg^{2+} in medium had been adsorbed by them. In range of Mn^{2+} concentration adopted in this experiment there was no antagonism between uptake of Mn^{2+} and Ca^{2+} 、 Mg^{2+} .

Key words: *Scenedesmus quadricauda*; Mn^{2+} ; Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; Biomass; Chlorophyll – a