

稀土元素钐和钇对小球藻生长的影响

胡勤海¹, 郑苏平¹, 汤曙明¹, 管丽莉²

(1. 浙江大学环境与资源学院, 浙江 杭州 310029; 2. 杭州市环保局拱墅环保处, 浙江 杭州 310004)

摘要:通过实验室模拟培养试验,研究了稀土元素钐(Sm)和钇(Y)对小球藻(*Chlorella ellipsoidea*)生长的影响。结果表明,低浓度稀土元素在试验初期对小球藻的生长略有刺激作用,但随着处理浓度的提高和处理时间的延长,小球藻的生长繁殖明显受到抑制;当Y浓度达 $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、Sm浓度达 $45 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,小球藻生长基本停止;Y对小球藻的毒性要较Sm略大。

关键词:稀土元素;钐(Sm);钇(Y);小球藻

中图分类号:S154.384 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0267(2001)06-0398-03

Effects of Sm and Y on Growth of *Chlorella Ellipsoidea*

HU Qin-hai, ZHENG Su-ping, TANG Shu-ming, GUAN Li-li

(1. College of Environment and Resources, Zhejiang University, Hangzhou 310029 China; 2. Gongshu Area Environment Administration of Hangzhou Environment Protection Bureau, Hangzhou 310004 China)

Abstract: Effects of rare - earth elements Sm and Y on growth of *Chlorella ellipsoidea* were studied by simulated test in laboratory. The results showed that lower concentration of rare - earth elements stimulated slightly the growth of *Chlorella ellipsoidea*, but inhibited its generation apparently as treated concentrations of the elements increased and time prolonged. While the concentration of Y and Sm approached $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $45 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, *Chlorella ellipsoidea* stagnated growth and tended to die. It has been also found that the toxicity of Y was slightly higher than that of Sm.

Keywords: rare - earth elements; samarium; yttrium; *Chlorella ellipsoidea*

随着稀土在各个领域的广泛应用,稀土元素及化合物大量进入环境,尤其是水环境,由此而带来的生态环境问题已引起人们的普遍关注^[1,2]。但总的来说,目前国内外有关稀土的生物和生态效应研究主要集中在对温血动物的毒理作用^[3-5],以及对鱼类等水生动物的影响方面^[6,7],而有关稀土元素尤其是单一稀土元素对水生植物的生长及生态影响报道较少。作为低等水生植物的藻类,其个体及种群结构对外界刺激影响的反应是非常敏感的。因此,研究稀土元素对藻类生长生理的影响,对探明稀土元素对藻类的生态毒理效应,对稀土的生物监测及稀土环境标准和排放标准的制定等均具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 稀土贮备液的配制

分别取一定量的两种稀土氧化物(纯度>99.9%,为包头稀土研究所提供),加少量蒸馏水及少

量浓 HNO_3 (优级纯)在电热板上加热直至溶解,然后用蒸馏水分别稀释配制成 $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度的Sm、Y(以+3价离子计)贮备液各100 mL。

1.2 培养基的配制

水生4号液体培养基化学组成^[9]: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.20 g, NaHCO_3 0.10 g, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 0.03 g, K_2HPO_4 0.01 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.08 g, KCl 0.025 g, 1% FeCl_3 1滴,蒸馏水1000 mL。

1.3 小球藻的纯化

取普通池水,在显微镜下用毛细管直接吸取生长旺盛的椭圆形小球藻(*Chlorella ellipsoidea*),接种于装有一定量的水生4号液体培养基的锥形瓶中,在 30°C 及光照条件下进行培养,约两周后,即可得到较高浓度的纯种小球藻。

1.4 稀土元素对小球藻生长影响试验

用培养液将稀土元素钐贮备液配成浓度为2、5、10、20、30、40、50 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的试验培养液各500 mL;同方法配制稀土元素钇浓度为2、5、10、20、25、30 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的试验培养液各500 mL。将上述各浓度培养液置于1000 mL锥形瓶中,同时设一组不含稀土的

空白培养液, 然后分别接种入经提纯的小球藻液 10 mL, 在温度 28 ℃—30 ℃、光照度为 2 000—3 000 lx、光暗周期为 13/11(h) 的条件下培养。

接种培养 1 d 后, 连续 8 d 每天约在同一时间取样(摇匀的培养液)适量, 以培养液的光密度值(OD)作为小球藻生长量(个体数量密度)的间接指标^[10], 用 721 型分光光度计在波长 692 nm 处测定 OD 值。

2 结果与讨论

图 1 和图 2 分别为 Sm、Y 在不同处理浓度下小

球藻生长量的影响情况。从图 1、图 2 可以看出, 2 种稀土元素对小球藻生长量的影响大致相同, 其规律如下: 在试验初期, 低浓度稀土元素对小球藻量的影响, 常表现出轻微的刺激促进作用, 但在试验中后期这种作用逐渐减弱, 甚至转化为轻微的抑制作用; 随着处理浓度的提高, 各稀土元素对小球藻生长的抑制作用明显增强, 当 Sm 浓度达到 45 mg · L⁻¹、Y 浓度达到 25 mg · L⁻¹ 时, 小球藻已基本停止繁殖增长; 稀土元素 Y 对小球藻的毒性比 Sm 大, 符合元素原子序数关系。

图 1 Sm³⁺ 对小球藻生长量的影响

Figure 1 Effects of Sm³⁺ on growth of *Chlorella ellipsoidea*

对培养液 OD 值(y)随时间(x)的动态变化进行相关性分析, 从而得到与两图相对应的表 1、表 2。

表 1、表 2 均表明在不加稀土元素处理时, 代表小球藻生长繁殖量的 OD 值随时间的变化符合正线性相关、对数相关、多项式相关、乘幂相关和指数相关, 且均达到了 0.01 显著性水平, 从相关系数可知, 小球藻 OD 值随培养时间的动态变化以多项式相关最为密切。

根据表 1 可得, Sm 浓度为 2、5、10、20、30、40 mg · L⁻¹ 的处理浓度下, 小球藻 OD 值与培养时间的关系也同时符合正线性相关、对数相关、多项式相关、乘幂相关和指数相关, 并均在 99% 的置信度区间内。分析比较相关系数得知, 在以上 6 种浓度条件下, 小球藻 OD 值随培养时间的动态变化以多项式相关最为密切。结合图 1 可知, 钐(Sm) 45、50 mg · L⁻¹ 浓度处理下小球藻生长量均与光密度值无关, 这表明高浓度 Sm 对小球藻的生长抑制很明显, 该浓度下小球藻停止繁殖生长。

根据表 2 可推出, 钇(Y)浓度为 2、5、10、20 mg · L⁻¹ 的处理浓度下, 小球藻 OD 值与培养时间的关系也符合正线性相关、对数相关、多项式相关、乘幂相关和指数相关, 且都在 99% 的置信度区间内。对相关系数

图 2 Y³⁺ 对小球藻生长量的影响

Figure 2 Effects of Y³⁺ on growth of *Chlorella ellipsoidea*

进行分析可知, 在以上 4 种浓度的条件下, 小球藻 OD 值随培养时间的动态变化以多项式相关最为密切。结合图 2 可推得, 钇 25、30 mg · L⁻¹ 浓度处理下小球藻生长量也均与 OD 值无关, 表明此时小球藻生长已受到明显抑制, 已基本停止繁殖增长。

进一步对小球藻 OD 值与处理浓度间的关系进行相关性分析, 可得到表 3 和表 4。从中可看出小球藻的生长量与稀土元素浓度成负线性相关, 表明随着处理浓度的提高, 小球藻的生长受抑制程度越来越明显。用概率统计法进一步计算得两种稀土元素对小球藻的半致死浓度 LC₅₀ 分别为 41.36 mg · L⁻¹(Sm)、22.57 mg · L⁻¹(Y), 这进一步表明对小球藻的毒性钇

表 3 小球藻 OD 值与 Sm 处理浓度之间的相关性分析

Table 3 Relativity of OD with different treating concentrations of Sm

时间	相关方程式	相关系数	说明
第 1 d	$y = -0.002x + 0.0463$	$r = 0.8615$	
第 2 d	$y = -0.0027x + 0.0587$	$r = 0.8613$	
第 3 d	$y = -0.0058x + 0.0861$	$r = 0.9582$	
第 4 d	$y = -0.0082x + 0.1091$	$r = 0.9572$	$r_{0.05} = 0.666$
第 5 d	$y = -0.01x + 0.1265$	$r = 0.9459$	$r_{0.01} = 0.798$
第 6 d	$y = -0.0117x + 0.1443$	$r = 0.9482$	
第 7 d	$y = -0.0143x + 0.1655$	$r = 0.9493$	
第 8 d	$y = -0.016x + 0.1813$	$r = 0.9430$	

表1 小球藻 OD 值(y)在 Sm 不同处理浓度下随时间(x)的动态变化相关分析

Table 1 Relativity of OD with time under different treating concentrations of Sm

浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	相关方程式	相关系数
CK	$y = 0.0172x + 0.0194$	$r = 0.99759$
	$y = 0.0574\ln(x) + 0.0208$	$r = 0.9546$
	$y = 0.0346x^{0.7027}$	$r = 0.9871$
	$y = 0.0357e^{0.1998x}$	$r = 0.9776$
	$y = -4E-05x^2 + 0.0176x + 0.0187$	$r = 0.99764$
2	$y = 0.0404x^{0.6012}$	$r = 0.9945$
	$y = 0.0145x + 0.0312$	$r = 0.9940$
	$y = 0.0494\ln(x) + 0.0308$	$r = 0.9747$
	$y = 0.042e^{0.1681x}$	$r = 0.9682$
	$y = -0.0007x^2 + 0.0207x + 0.0209$	$r = 0.9985$
5	$y = 0.0128x + 0.0301$	$r = 0.9977$
	$y = 0.0433\ln(x) + 0.0304$	$r = 0.9683$
	$y = 0.0389x^{0.5654}$	$r = 0.9926$
	$y = 0.04e^{0.16x}$	$r = 0.9784$
	$y = -0.0004x^2 + 0.016x + 0.0247$	$r = 0.9992$
10	$y = 0.0125x + 0.0274$	$r = 0.9970$
	$y = 0.042\ln(x) + 0.0278$	$r = 0.9647$
	$y = 0.0363x^{0.5772}$	$r = 0.9884$
	$y = 0.0373e^{0.164x}$	$r = 0.9779$
	$y = -0.0003x^2 + 0.0152x + 0.0229$	$r = 0.9982$
20	$y = 0.0105x + 0.029$	$r = 0.9990$
	$y = 0.0353\ln(x) + 0.0292$	$r = 0.9681$
	$y = 0.0359x^{0.5244}$	$r = 0.9942$
	$y = 0.0368e^{0.1487x}$	$r = 0.9819$
	$y = -0.0002x^2 + 0.0124x + 0.0257$	$r = 0.9998$
30	$y = 0.0098x + 0.0266$	$r = 0.9993$
	$y = 0.0328\ln(x) + 0.027$	$r = 0.9638$
	$y = 0.0333x^{0.5225}$	$r = 0.9912$
	$y = 0.0341e^{0.1491x}$	$r = 0.9848$
	$y = -0.0001x^2 + 0.0109x + 0.0246$	$r = 0.9996$
40	$y = 0.0084x + 0.0264$	$r = 0.9979$
	$y = 0.028\ln(x) + 0.0271$	$r = 0.9544$
	$y = 0.0325x^{0.4781}$	$r = 0.9805$
	$y = 0.0328e^{0.1386x}$	$r = 0.9896$
	$y = -6E-05x^2 + 0.0089x + 0.0255$	$r = 0.9980$
45	$y = -0.0004x + 0.0366$	$r = 0.2381$
	$y = 0.0002\ln(x) + 0.0347$	$r = 0.0424$
	$y = 0.0344x^{0.0076}$	$r = 0.0500$
	$y = 0.0364e^{-0.0102x}$	$r = 0.2309$
	$y = -0.0007x^2 + 0.0058x + 0.0263$	$r = 0.9385$
50	$y = -5E-05x + 0.0257$	$r = 0.0678$
	$y = 0.0003\ln(x) + 0.025$	$r = 0.1414$
	$y = 0.0249x^{0.0518}$	$r = 0.1682$
	$y = 0.0256e^{-0.0012x}$	$r = 0.0458$
	$y = -0.0002x^2 + 0.0018x + 0.0266$	$r = 0.05984$

说明: $r_{0.05} = 0.707$, $r_{0.01} = 0.834$ 。表2同此。

表2 小球藻 OD 值(y)在 Y 不同处理浓度下随时间(x)的动态变化相关分析

Table 2 Relativity of OD with time under different treating concentrations of Y

浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	相关方程式	相关系数
CK	$y = 0.0093x + 0.0381$	$r = 0.9606$
	$y = 0.0335\ln(x) + 0.0355$	$r = 0.9955$
	$y = 0.0394x^{0.4976}$	$r = 0.9929$
	$y = 0.0419e^{0.1326x}$	$r = 0.9212$
	$y = -0.0013x^2 + 0.0212x + 0.0182$	$r = 0.9991$
2	$y = 0.0303\ln(x) + 0.0391$	$r = 0.9936$
	$y = 0.0082x + 0.0424$	$r = 0.9346$
	$y = 0.0445e^{0.119x}$	$r = 0.8933$
	$y = 0.0415x^{0.4562}$	$r = 0.9835$
	$y = -0.0015x^2 + 0.0219x + 0.0195$	$r = 0.9972$
5	$y = 0.0089x + 0.0295$	$r = 0.9518$
	$y = 0.0323\ln(x) + 0.0268$	$r = 0.9893$
	$y = 0.0309x^{0.5656}$	$r = 0.9885$
	$y = 0.0333e^{0.1502x}$	$r = 0.9138$
	$y = -0.0014x^2 + 0.0216x + 0.0083$	$r = 0.9983$
10	$y = 0.0078x + 0.0287$	$r = 0.9647$
	$y = 0.0281\ln(x) + 0.0266$	$r = 0.9955$
	$y = 0.0301x^{0.5273}$	$r = 0.9938$
	$y = 0.0321e^{0.1407x}$	$r = 0.9236$
	$y = -0.0011x^2 + 0.0174x + 0.0127$	$r = 0.9999$
20	$y = 0.0077x + 0.0219$	$r = 0.9874$
	$y = 0.0269\ln(x) + 0.021$	$r = 0.9854$
	$y = 0.0254x^{0.56}$	$r = 0.9975$
	$y = 0.0267e^{0.1535x}$	$r = 0.9523$
	$y = -0.0006x^2 + 0.0128x + 0.0134$	$r = 0.9978$
25	$y = 0.0018x + 0.0298$	$r = 0.8188$
	$y = 0.007\ln(x) + 0.0284$	$r = 0.9393$
	$y = 0.0283x^{0.2071}$	$r = 0.9261$
	$y = 0.0296e^{0.051x}$	$r = 0.7939$
	$y = -0.0005x^2 + 0.0064x + 0.022$	$r = 0.9514$
30	$y = -0.0002x + 0.0141$	$r = 0.3192$
	$y = -0.0002\ln(x) + 0.0136$	$r = 0.1136$
	$y = 0.0135x^{-0.0122}$	$r = 0.0975$
	$y = 0.014e^{-0.011x}$	$r = 0.3050$
	$y = -0.0001x^2 + 0.0009x + 0.0124$	$r = 0.5652$

表4 小球藻 OD 值与 Y 处理浓度之间的相关性分析

Table 4 Relativity of OD with different treating concentrations of Y

时间	相关方程式	相关系数	说明
第1 d	$y = -0.0039x + 0.044$	$r = 0.9270$	
第2 d	$y = -0.006x + 0.0653$	$r = 0.9294$	
第3 d	$y = -0.0091x + 0.0869$	$r = 0.9536$	
第4 d	$y = -0.0112x + 0.1043$	$r = 0.9566$	$r_{0.05} = 0.754$
第5 d	$y = -0.0126x + 0.1154$	$r = 0.9470$	$r_{0.01} = 0.874$
第6 d	$y = -0.0134x + 0.122$	$r = 0.9318$	
第7 d	$y = -0.014x + 0.1273$	$r = 0.9234$	
第8 d	$y = -0.0143x + 0.1303$	$r = 0.9229$	

有轻微的刺激促进作用,但随着时间的延长,这种作用逐渐减弱或消失,甚至转化为抑制作用。

(2) 随着处理浓度的提高,稀土元素对小球藻的

(下转 403 页)

(Y) 大于钐(Sm),但总体仍属中等毒性,与笔者先前对 La、Ce、Pr、Nd 等轻稀土元素的试验基本一致^[13]。

3 结论

(1) 试验初期,低浓度稀土元素对小球藻的生长