文章编号:1674-7070(2009)03-0233-05

磷对太湖沉水植物伊乐藻的影响

黄瑾[1,2]　宋玉芝[2]　秦伯强[1]

摘要

在过滤原位太湖湖水的基础上,采用 KH_2PO_4 为磷源,设定了 0.064、0.128、0.512、1.024 mg·L^{-1} 4 个不同总磷(TP)浓度的培养液,以洗净的太湖沙为栽培基质,对沉水植物伊乐藻(Elodea Nuttalii)进行了为期 50 d 的栽培试验. 通过测定伊乐藻的生物量、生长速率、叶绿素含量、光合作用速率等指标,研究了磷对沉水植物伊乐藻的影响. 结果表明:磷对沉水植物伊乐藻的生物量、生长速率、叶绿素含量以及光合作用速率均有影响. 在中低磷浓度下(磷浓度小于或等于 0.128 mg·L^{-1})伊乐藻的生物现存量和生长速率有所增加;而高磷浓度的条件下(磷浓度大于 0.128 mg·L^{-1})伊乐藻生物现存量和生长速率有所下降. 并探讨了太湖沉水植物伊乐藻生存的关键性生态因子.

关键词

磷;伊乐藻;生物量;生理指标

中图分类号 X173

文献标志码 A

收稿日期 2009-06-27

资助项目 国家自然科学基金重点资助项目(40730529);江苏省高校自然科学基础研究项目(07KJD610136)

作者简介

黄瑾,女,硕士生,huangjin529@163.com

宋玉芝(通信作者),女,博士,副教授,主要从事环境生态研究. syz70@nuist.edu.cn

1 中国科学院 湖泊与环境国家重点试验室,南京,210008

2 南京信息工程大学 环境科学与工程学院,南京,210044

0 引言

Introduction

对于浅水富营养化湖泊而言,其稳定存在的状态有两种,即以沉水植物占优势的清水状态和以浮游植物占优势的浊水状态[1-2]. 因此,沉水植被的恢复,常常作为藻型湖泊生态修复的主要措施及浅水湖泊生态系统功能及稳定性提高的标志[3-4]. 近年来,针对湖泊富营养化的问题,我国在太湖、滇池等湖泊开展了大量的以水生植被恢复为主要手段的生态修复工程,水生植被恢复及重建的效果有时不甚理想[4-5],主要是缺乏对富营养化湖泊沉水植被退化机理的研究.

沉水植物的生长受多种环境因子的影响,如光照、透明度、温度等[6-8],在富营养化湖泊中,高浓度的氮、磷等营养盐无疑也会对沉水植物的生长产生影响. 水体中氮元素对沉水植物生长的影响研究得比较多,从研究结果来看,目前太湖中水体中氮的浓度还远未达到使沉水植物生长受胁迫的阈值[9-10];而就磷对沉水植物生长的影响还几乎未见报道. 太湖梅梁湾在目前的富营养化状态下,是水体中磷直接限制着沉水植物的生存和发展,还是其它因子导致沉水植物的衰亡?这是一个值得关注的问题.

本实验以太湖贡湖湾及东太湖水域普遍生长的沉水植物伊乐藻(Elodea Nuttalii)为主要实验材料,以太湖梅梁湾"863"示范工程沉水植被恢复区湖水作为培养液,采用 KH_2PO_4 为磷源,研究不同磷营养水平对伊乐藻植株生物量及生理活性的影响,目的是研究在何种营养盐状态下,伊乐藻生长比较好,结合已有的研究成果,找出影响太湖沉水植物伊乐藻生存和发展的关键性因子,以期为沉水植被的恢复提供一定的理论依据.

1 实验设计及方法

Experimental design and methods

1.1 实验设计

2004 年冬天,从太湖贡湖湾中采取沉水植物伊乐藻种植在水质清澈的小池塘中(面积约为 50 m^2),2005 年 4 月,采取伊乐藻顶枝(20 cm长,外形比较一致),扦插在比较大的塑料箱(55 cm × 55 cm × 45 cm),放在室内温棚中进行培养备用. 2005 年 3 月中旬到 5 月初,用太湖梅梁湾"863"示范工程沉水植被恢复区原湖水(绢丝过滤)做对照,

其 TN(总氮)浓度约为 4.7 mg·L^{-1},TP(总磷)为 0.064 mg·L^{-1}. 另设 3 个处理,各处理分别是在原湖水的基础上用 KH_2PO_4 将其中磷的含量调成约为对照磷含量的 2 倍、8 倍和 16 倍,每个处理重复 1 次. 取备用箱中外形比较一致的伊乐藻的顶枝长约 20 cm,称重后扦插在装有沙子的塑料杯里(底部有小穿孔),然后放入玻璃水族箱进行培养,每个水族箱里放 30 个塑料杯. 培养期间,室内平均温度控制在 20 ~ 25 ℃,共培养 50 d. 整个实验均在光照充足的玻璃温室中进行,水体中营养盐浓度保持不变. 培养 50 d 后取出植株,一部分植株用于光合作用以及叶绿素等指标的测定,一部分植株用于丝状藻类的分离.

1.2 分析方法

测量的主要指标为伊乐藻植株的干重、叶绿素含量、光合作用速率以及丝状藻类的现存量(称重法).

1.2.1 TN、TP 含量测定

TN、TP 测定按《湖泊富营养化调查规范》[11],用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定 TN;钼酸铵分光光度法测定 TP.

1.2.2 伊乐藻中叶绿素含量的测定[12]

取适量伊乐藻样品,放入研钵中,加入 6 ~ 8 mL 90%(体积分数)的丙酮,研磨成匀浆后转移到离心管中,再用少许 90% 的丙酮冲洗 2 ~ 3 次,倒入上述的离心管中,于 7 000 r·min^{-1} 低温离心机中离心 20 min,取上清液定容,在 722 型光栅分光光度计上分别测定 663 nm 和 645 nm 处的吸光度值,再根据上述经验公式计算伊乐藻样品中叶绿素 a、b 和叶绿素总量的含量.

1.2.3 植物光合速率的测定

通过测定沉水植物在光合作用或呼吸作用过程中产生或消耗的氧作为衡量光合速率和呼吸速率的指标. 取形状、重量一致的新鲜水草枝端,清洗后分别装入 250 mL 玻璃黑、白瓶中,装满用 32 μm 孔径的筛绢过滤后充分曝气的湖水,逐出草上吸附的气泡,加盖后放在光照培养箱中培养,测定培养前的溶氧含量以及培养 6 h 后的溶氧含量,水中的溶解氧以碘量法测定[11].

2 结果与分析

Results and analysis

2.1 磷对伊乐藻生物量和生长速率的影响

磷对沉水植物伊乐藻的生物量有影响(图 1),但不同磷的水平对伊乐藻的生物量影响不一样. 从图 1 可看出:处理 1 与对照相比,每盒(每塑料杯)生物量增加了约 30%;处理 2 与对照相比,伊乐藻生物量增加了 9%;而处理 3 与对照相比,伊乐藻的生物量下降了约 14%. 这说明不同浓度的磷对伊乐藻生物量有影响,在中低磷的水平下,伊乐藻的生物量增加,而在高磷水平下,与对照相比伊乐藻的生物量反而减少. 图 2 是磷对伊乐藻生长速率的影响. 从图 2 可看出,磷对伊乐藻的生长速率的影响与对生物量的影响规律相同,即与对照相比,处理 1 与处理 2 的生长速率分别增加了约 14% 和 3%. 处理 3 与对照相比,伊乐藻的生长速率下降了 6%. 由此可见,磷通过影响伊乐藻的生长速率,进而影响伊乐藻的生物量. 但从平均生长速率来看,各处理与初始值相比都有所增加(图 2). 这说明,在目前的磷条件下,伊乐藻均能生长,但当磷浓度较高时,伊乐藻的正常生长受到了抑制.

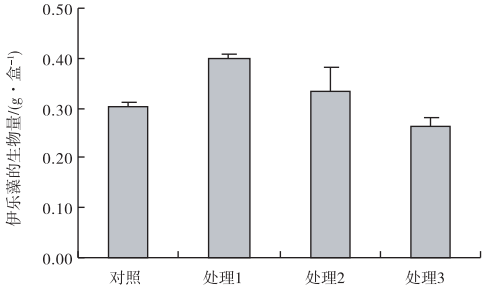


图 1 磷对伊乐藻生物量的影响

Fig. 1 Effect of phosphorus on Elodea biomass

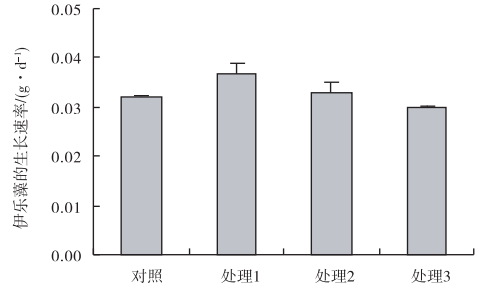


图 2 磷对伊乐藻生长速率的影响

Fig. 2 Effect of phosphorus on growth rate of Elodea

2.2 磷对伊乐藻生理指标的影响

2.2.1 磷对伊乐藻叶绿素含量的影响

在伊乐藻培养实验的整个周期内,明显地观测到不同磷处理下,玻璃水族箱中伊乐藻植株颜色发黄,顶端发红,并且磷盐添加越多的玻璃水族箱中,

水体越混浊,伊乐藻绿色越浅. 通过测定不同磷处理下培养 50 d 后的伊乐藻植株体内叶绿素含量可知,随着磷处理水平的升高,叶绿素含量下降(表 1). 处理 1 与对照相比,伊乐藻植株体内叶绿素的质量分数下降了约 13%;处理 2 伊乐藻植株体内叶绿素的质量分数下降了 25%;处理 3 与对照相比,伊乐藻植株体内叶绿素的质量分数下降了 29%. 由此可见,随着磷的添加,伊乐藻植株体内叶绿素含量呈明显的下降趋势. 比较伊乐藻植株体内所含有的 Chla(叶绿素 a)及 Chlb(叶绿素 b)不难发现,Chla 和 Chlb 也随磷的添加呈逐渐下降趋势,说明高浓度的磷可能阻碍了叶绿素的正常合成或加速了其分解. 从表 1 可看出,不同磷水平下,伊乐藻中 Chla/Chlb 的值与对照相比有所增加. 处理 1 与对照相比显著升高,而从处理 1 开始,随着磷水平的升高,Chla/Chlb 的值呈下降的趋势. 分析其原因,一方面可能是较高的磷浓度导致水体透明度下降,阻碍了伊乐藻正常的光合作用,造成叶绿素质量分数的下降;另一方面,磷浓度的升高可能影响了叶绿素的结构或合成,从而降低了伊乐藻体内叶绿素的含量,改变了植株体内 Chla/Chlb 的值.

表 1　磷对伊乐藻植株体内叶绿素含量的影响

Table 1　Effect of phosphorus on chlorophyll content of Elodea

	叶绿素 /(mg·g^{-1})	Chla /(mg·g^{-1})	Chlb /(mg·g^{-1})	Chla/Chlb
对照	0.140±0.029	0.095±0.021	0.043±0.007	2.180±0.106
处理 1	0.122±0.003	0.082±0.001	0.036±0.001	2.248±0.095
处理 2	0.105±0.001	0.071±0.001	0.032±0.001	2.239±0.064
处理 3	0.100±0.004	0.068±0.002	0.031±0.001	2.193±0.026

2.2.2　磷对伊乐藻光合作用的影响

磷对伊乐藻的光合速率有明显影响(图 3). 在培养 50 d 后测定伊乐藻顶枝的光合作用速率,结果表明光合速率随磷水平的升高呈下降的趋势. 与对照相比,处理 1 的光合作用速率下降了约 25%,处理 2 和处理 3 分别下降了约 55% 和 61%. 呼吸速率相比较而言有所下降,但没有光合速率显著. 从前面的结果可知,伊乐藻的叶绿素含量随磷的水平的升高而呈下降的趋势,可能是磷影响了植株体内叶绿素的含量进而影响光合作用速率.

2.3　磷对丝状藻类的影响

图 4 为每盒(每塑料杯)沉水植物伊乐藻植株上丝状藻的生物量,从图 4 中可看出,磷对丝状藻类生物量有影响,但不同的磷水平对丝状藻的生物量影响不一样. 与对照相比,随着磷浓度的增加,丝状藻的生物量都有所增加,处理 1 增加了约 34.52%,处理 2、处理 3 与对照相比,丝状藻生物量分别增加了 23.22%、7.55%(图 4). 即 TP 浓度低于 0.128 mg·L^{-1},随磷浓度的增加,丝状藻增加较快;TP 浓度高于 0.128 mg·L^{-1},丝状藻类的生物量随磷浓度增加而有所减少. 这说明影响丝状藻的水体总磷浓度有一个阈值范围,低于这个阈值促进其生长,高于这个阈值就会抑制其生长.

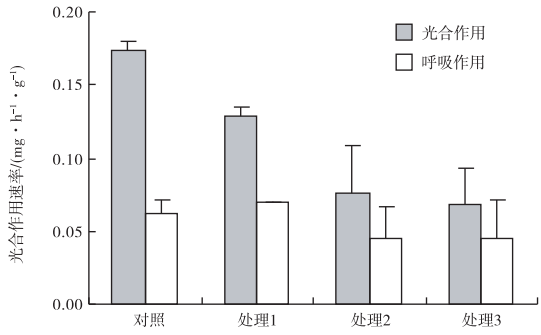


图 3　磷对伊乐藻光合作用的影响

Fig. 3　Effect of phosphorus on photosynthesis of Elodea

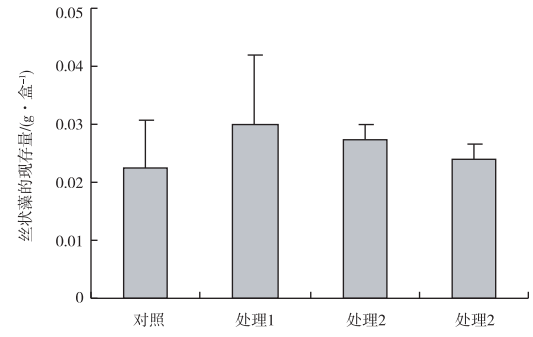


图 4　磷对丝状藻类生物量的影响

Fig. 4　Effect of phosphorus on filamentous algae biomass

3　讨论

Discussion

3.1　磷对伊乐藻影响的探讨

磷是植物生长发育所必需的大量元素. 相比较而言,植物对低磷有一定的适应性,如果磷成为植物生长的严重限制因子,磷在植物体内容易转移,往往从老叶转移到正在生长的部位,同时植物会通过在叶片中积累淀粉、蔗糖、葡萄糖和其它非磷酸化复合物而减少磷酸化复合物如糖磷酸和腺苷酸复合物的浓度来适应,这会使光合作用可用磷达到最大

化[13]. 随着磷的增加,细胞生长快,叶绿素含量相对来说比较少. 本实验对伊乐藻在不同磷营养水平下植株的几项主要的生理指标进行了测定,可以看出,磷对伊乐藻植株叶绿素含量、光合作用速率等生理活性都有影响,叶绿素含量和光合作用速率随磷营养水平的升高有下降趋势,这与已有的理论研究相符合. 而生物量和生长速率在处理 1 的水平下最高,随着磷营养水平的升高有所下降,至于原因,有待于进一步的探讨.

3.2 太湖梅梁湾水体中营养盐现状对沉水植物伊乐藻生长的影响

伊乐藻属于水鳖科多年生沉水草本植物,营养繁殖是其唯一的繁殖方式,在自然条件下常常表现为以年为周期的发育节律,水温 5 ~ 30 ℃的环境下都能正常生长,能够忍受 0 ℃甚至冰点以下的温度,通常情况下,沉水植物伊乐藻能耐受高浓度的氮、磷,常在富营养化的水体中发现[13]. 根据朱伟等的研究结果可知,只要保证光强高于伊乐藻的光补偿点,劣 5 类的水体中(铵氮浓度达 6.08 mg·L^{-1},TP 浓度达 0.34 mg·L^{-1}),伊乐藻能保持比较高的生长速率[9]. 本试验结果也表明,TN 浓度在 4.7 mg·L^{-1},TP 浓度在 1.024 mg·L^{-1},伊乐藻还具有生长现象. 根据 2003 年 1 月——2005 年 12 月太湖环境监测站以及“863”常规监测资料表明,梅梁湖其 TN、TP 年均值分别为 3.60 ~ 4.30 mg·L^{-1}、0.097 ~ 0.126 mg·L^{-1}. 从本试验结果来看,TN 为 4.7 mg·L^{-1}、TP 浓度约为 0.128 mg·L^{-1}时,伊乐藻干物质最高,生长速率最大,即沉水植物伊乐藻生长的最好. 这说明目前情况下不考虑其它生态因子仅考虑太湖梅梁湾营养盐水平,伊乐藻应该能够生长并生存. 张圣照等[14]在五里湖围隔区恢复沉水植物的实验也证实了在目前的湖水营养盐的水平下,只要保证一定的光照强度,常见的几种沉水植物均能生长. 由此可见,目前太湖梅梁湾水体中的氮、磷等营养盐可能对伊乐藻的生长有影响,但不太可能直接限制沉水植物伊乐藻的生存.

3.3 对影响太湖沉水植物伊乐藻生长的关键性生态因子的探讨

目前太湖梅梁湾水体中的营养盐水平应该在沉水植物生长及生存所能耐受的营养盐范围内. 但在“863”示范工程沉水植物恢复区,沉水植物的恢复却不尽人意. 在实验过程中发现,随着磷处理水平的升高,玻璃水族箱水体的混浊度随之增大. 根据伊乐藻的生物学特征,要求其生活的水深需小于 2.0 ~ 2.2 倍水体透明度,在梅梁湾,由于浮游藻类和底泥的再悬浮使水体透明度很低,平均透明度只有 0.3 ~ 0.5 m,而梅梁湾的平均水深在 2 m 左右[15],由此可推测光可能是沉水植物伊乐藻生长的限制因子.

本文实验是用“863”示范工程水生植被恢复区原位湖水进行培养,不是用无藻水进行培养. 在培养的过程中观察到,尤其是实验的中、后期,各处理的玻璃水族箱的底部、内壁和伊乐藻上有大量丝状藻存在. 通过测定表明,在水体 TP 浓度低于 0.128 mg·L^{-1}的情况下,丝状藻生物量增加较快. 丝状藻的存在具有强烈的遮荫作用,其遮荫作用有的可高达 80%[16],本文用透明的玻璃缸进行培养,光基本上能满足伊乐藻的需要,而在梅梁湾,水体的透明度很低,再加上丝状藻的遮荫作用,沉水植物伊乐藻很难生存. 当然,也不排除丝状藻对沉水植物产生的化感作用的存在.

4 结论

Conclusion

磷对水生高等植物的生理活性有一定的影响,随着磷处理浓度的增加,培养 50 d 后的沉水植物伊乐藻的叶绿素和光合作用速率都有所减少. 对伊乐藻的生物现存量来说,中低浓度下,培养 50 d 后的伊乐藻的生物现存量和生长速率有所增加,而高磷浓度的生物现存量和生长速率有所下降,这可能与丝状藻的作用有关.

参考文献

References

[1] 李文朝. 浅水湖泊生态系统的多稳态理论及其应用[J]. 湖泊科学,1997,9(2):97-104
LI Wenchao. Multiplicity of stable states in shallow lakes and its application[J]. Journal of Lake Sciences,1997,9(2):97-104

[2] Scheffer M, Carpenter S, Foley J A, et al. Catastrophic shifts in ecosystems[J]. Nature,2001,413:591-596

[3] 秦伯强. 长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探[J]. 湖泊科学,2002,14(3):193-202
QIN Boqiang. Approaches to mechanisms and control of eutrophication of shallow lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River[J]. Journal of Lake Sciences,2002,14(3):193-202

[4] 王国祥,成小英,濮培民. 湖泊藻型富营养化控制——技术、理论及应用[J]. 湖泊科学,2002,14(3):273-282
WANG Guoxiang, CHEN Xiaoying, PU Peimin. Lake eutrophication control in technology, theory and application[J]. Journal of Lake Science,2002,14(3):273-282

[5] 秦伯强,高光,胡维平,等. 浅水湖泊生态系统恢复的理论与实践思考[J]. 湖泊科学,2005,17(1):9-16
QIN Boqiang, GAO Guang, HU Weiping, et al. Reflections on the theory and practice of shallow lake ecosystem restoration[J]. Jour-

nal of Lake Science,2005,17(1):9-16
[6] Gulati R D,Van D E. Lakes in the Netherlands,their origin,eutrophication and restoration:state-of-the-art review[J]. Hydrobiologia,2002,478(1):73-106
[7] Irfanullah H M,Moss B. Factors influencing the return of submerged plants to a clear-water,shallow temperate lake[J]. Aquatic Botany,2004,80(3):177-191
[8] Feldmann Tõnu,NÕges P. Factors controlling macrophyte distribution in large shallow Lake Võrtsjärv[J]. Aquatic Botany,2007,87(1):15-21
[9] 朱伟,陈清锦,张兰芳. 伊乐藻在冬季低温条件下对污染水体的净化效果[J]. 生态环境,2004,13(4):497-499
ZHU Wei,CHEN Qingjin,ZHANG Lanfang. Purification effect of polluted water in low temperature in winter by Elodea nuttallii[J]. Ecology and Environment,2004,13(4):497-499
[10] 叶春,邹国燕,付子轼,等. 总氮浓度对3种沉水植物生长的影响[J]. 环境科学学报,2007,27(5):739-746
YE Chun,ZOU Guoyan,FU Zishi,et al. Responses of three submersed macrophytes to total nitrogen supply[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2007,27(5):739-746
[11] 金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 2版. 北京:中国环境科学出版社,1990
JIN Xiangcan,TU Qingying. The standard methods in lake eutrophication investigation[M]. 2th Ed. Beijing:China Environmental Science Press,1990
[12] 张志良,瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 3版. 北京:高等教育出版社,2003:67-69
ZHANG Zhiliang,QU Weijing. The experimental guide for plant physiology[M]. 3th Ed. Beijing:Higher Education Press,2003:67-69
[13] 陈国祥,刘双,王娜,等. 磷对水生植物菱及睡莲叶生理活性的影响[J]. 南京师范大学学报:自然科学版,2002,25(1):71-77
CHEN Guoxiang,LIU Shuang,WANG Na,et al. Effect of phosphorus nutrition on physiological activity of Nymphaea tetragona Georgi. and Trapa bispinosa Roxb. leaves[J]. Journal of Nanjing Normal University:Natural Science Edition,2002,25(1):71-77
[14] 张圣照,王国祥,濮培民. 太湖藻型富营养化对水生高等植物的影响及植被的恢复[J]. 植物资源与环境学报,1998,7(4):52-57
ZHANG Shengzhao,WANG Guoxiang,PU Peimin. The influence of algae type eutrophication on aquatic higher plants and hydrophytic vegetational reconstruction in Taihu Lake[J]. Journal of Plant Resources and Environment,1998,7(4):52-57
[15] 张运林,秦伯强,陈伟民,等. 太湖水体透明度的分布、变化及相关分析[J]. 海洋湖沼通报,2003(2):30-36
ZHANG Yunlin,QIN Boqiang,CHEN Weimin,et al. Distribution,seasonal variation and correlation analysis of the transparency in Taihu Lake[J]. Transaction of Oceanology and Limnology,2003(2):30-36
[16] Liboriussen L. Production,regulation and ecophysiology of periphyton in shallow freshwater lakes[D]. National Environmental Research Institute Ministry of the Environment,Denmark,2003

Effect of phosphorus on the growth of submerged macrophyte Elodea in the Taihu Lake

HUANG Jin[1,2] SONG Yuzhi[2] QIN Boqiang[1]

1 State Key Laboratory of Lake Science and Environment,Nanjing Institute of Geography and Limnology,Chinese Academy of Sciences,Nanjing 210008

2 College of Environmental Science and Engineering,Nanjing University of Information Science & Technology,Nanjing 210044

Abstract In order to study the response of submerged macrophyte Elodea nuttalii to phosphorus,indoor cultivation experiment was conducted for 50 days using filtered lake water of Lake Taihu at different concentrations of phosphorus,respectively set at 0.064,0.128,0.512,and 1.024 $mg\cdot L^{-1}$,with KH_2PO_4 used as the source of phosphorus. Results show that dry weight,growth rate,chlorophyll content,photosynthesis rate of Elodea nuttalii change differently with the increase of phosphorus. The biomass and growth rates of Elodea increase as phosphorus supply increases to 0.128 $mg\cdot L^{-1}$,but decrease as phosphorus supply increases above 0.128 $mg\cdot L^{-1}$. Based on the results of the tests,the key ecological factors affecting the existence of Elodea nuttalii are discussed in combination with the existing literature and the current concentrations of nitrogen and phosphorus in Lake Taihu. The paper includes 4 figures,1 table and 16 references.

Key words phosphorus;Elodea nuttalii;biomass;physiological indexes