

东太湖四角菱 (*Trapa quadrispinosa*) 生长特性

李宽意^{1,2}, 张 强^{1,2}, 刘正文^{1,3,*}

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039;
3. 暨南大学, 广州 510630)

摘要:通过室外受控实验,研究了在不同沉积物类型及不同水体营养水平条件下东太湖四角菱的生长特性。结果表明:沉积物类型对菱的各项生长指标均有显著影响。在营养相对丰富的湖泥中,菱的相对生长率、同化根与吸收根的生物量以及株高增长率分别为相对贫瘠的岸泥的 4.3、2.4、7.3、2.5 倍,菱盘直径增长率在湖泥中为 16.5%,在岸泥中则为负增长(-13.2%)。水体营养盐浓度升高在一定程度上也促进了菱的生长,而且营养盐浓度(尤其是磷)升高对菱生长的促进作用在岸泥中要比在湖泥中显著得多。探讨了沉积物类型与水体营养水平对菱生长的作用机理,并认为水体富营养化的加剧及湖泊沼泽化所造成的氮、磷等营养物质在沉积物中的大量积累是东太湖菱种群迅速扩张的重要原因之一。

关键词:四角菱; 生长特性; 沉积物与水体营养水平; 东太湖

文章编号:1000-0933(2009)07-3947-05 中图分类号:Q143, Q178. 1, Q958 文献标识码:A

The growth characteristics of floating-leaved macrophyte *Trapa quadrispinosa* in East Taihu Lake

LI Kuan-Yi^{1,2}, ZHANG Qiang^{1,2}, LIU Zheng-Wen^{1,3,*}

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

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 10003, China

3 Jinan University, Guangzhou 510630, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3947 ~ 3951.

Abstract: Effects of nutrient levels in sediments and water column on growth of floating-leaved plant *Trapa quadrispinosa* were evaluated through a 2 × 2 factorial outdoor experiment. The results showed that nutrient levels of sediments had significant effects on the growth of *T. quadrispinosa*. For the relative growth rate (RGR), the percentage increase in plant height and rosette diameter, and the biomass of aquatic and anchoring roots, they were significantly greater in high-nutrient sediments than in low-nutrient sediments. Increased concentrations of nutrients in water could stimulate the growth of plant *T. quadrispinosa*. Nutrient addition (especially for phosphorus) in water resulted in a more significant plant growth in the low-nutrient sediments than in the high-nutrient sediments. The study suggests that eutrophication of water body and accumulated nutrients in sediments with swampy tendency may be causes that the stock biomass of floating-leaved macrophyte *Trapa quadrispinosa* in East Taihu Lake has increased rapidly recently.

Key Words: *Trapa quadrispinosa*; growth characteristics; nutrient levels in sediments and water; East Taihu Lake

东太湖是太湖的一个草型湖湾,总面积 131.3 km²,平均水深不到 1m,为太湖的出水通道,具有蓄积、排泄洪水和供水等重要功能,已成为上海及浙东地区主要水源地,也是江浙一带最重要的水产品供应基地之一。

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2007BAC26B02); 国家重点基础研究发展计划资助项目(2008CB418104); 国家高新技术研究与发展计划课题资助项目(2006AA06Z337)

收稿日期:2008-07-15; 修订日期:2009-05-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zliu@niglas.ac.cn

随着水产养殖规模的迅速扩大及面源污染的持续排放,东太湖水体富营养化趋势日益明显,相当部分湖区已达到富营养状态^[1]。与此同时,东太湖沼泽化的趋势凸显,松软淤积层平均深度达 0.96m,氮、磷等营养物质在淤积物中的积累量已相当可观^[2,3]。

近 10a 来,东太湖的水生植物群落结构发生了重大变化,其中以菱为主要优势种的浮叶植物迅速扩张,其面积已占植被总面积的 16%,增加了近 4 倍^[1]。水体富营养化的加剧及沉积物中营养物质的大量累积是不是东太湖菱种群迅速扩张的原因之一?对此,目前尚无相关的实验报道。开展这方面的研究可以进一步了解菱的生物学与生态学基本特征,利于分析湖泊水生植物群落的演变动态,从而为湖泊水生植被的管理提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 菱苗与沉积物

四角菱 (*Trapa quadrispinosa*) 为 1 年生浮叶植物,在我国大部分地区均有分布。2007 年 5 月中旬,从东太湖采集菱苗栽种在塑料水箱中培育,实验前从水箱中挑选没有明显分枝、株高 (70.0 ± 5.0) cm、株重 (7.5 ± 2.0 g) 接近的未长出同化根的菱苗作为实验材料。实验所用的沉积物来自太湖梅梁湾,一种为湖心底泥 (湖泥)、一种为岸边底泥 (岸泥),湖泥中营养成分显著高于岸泥 ($p < 0.001$) (表 1)。其中,岸泥中营养物质的含量基本与东太湖接近^[2,3]。

表 1 两种沉积物的营养成分 (平均值 ± 标准误)

Table 1 The content of nutrients in two types of sediments (Mean ± SE)

沉积物类型 Sediment type	总氮 TN (mg·g ⁻¹)	总磷 TP (mg·g ⁻¹)	有机质 OM (mg·g ⁻¹)
岸泥 Low-nutrient sediments	0.53 ± 0.02	0.24 ± 0.02	9.10 ± 0.29
湖泥 High-nutrient sediments	0.70 ± 0.03	0.55 ± 0.01	12.05 ± 0.60

1.2 实验设计与实施

设计了双因子 (2 种沉积物类型; 3 种水体营养水平) 6 组处理试验。6 组处理分别为: 湖泥 + 对照湖水, 岸泥 + 对照湖水, 湖泥 + 加氮湖水, 岸泥 + 加氮湖水, 湖泥 + 加磷湖水, 以及岸泥 + 加磷湖水。每组处理设 3 个重复。对照湖水处理中, TN 为 5 mg/L, TP 为 0.2 mg/L, 与 2005 年度太湖湖水的氮、磷浓度 (TN 4.78 mg/L, TP 0.18 mg/L) 接近; 加氮湖水处理中, TN 为 10 mg/L, TP 为 0.2 mg/L; 加磷湖水处理中, TN 为 5 mg/L, TP 为 0.4 mg/L。实验添加的氮盐为 NaNO₃, 磷盐为 NaH₂PO₄。

实验在室外 3 个塑料大桶 (高 100 cm, 上下底直径分别为 70 cm、50 cm) 中进行, 桶内无沉积物, 水深 80 cm, 实验用水为过滤后的梅梁湾湖水。3 个大桶中, 1 个为对照湖水, 另外 2 个分别为高氮或高磷湖水。5 月 25 日将挑选好的菱苗栽种在铺设有 15cm 厚沉积物的花盆 (直径 10 cm, 高 20 cm) 中, 每盆种植一株, 然后将小花盆放入塑料大桶中。每个大桶放置 6 个小花盆, 其中 3 个沉积物为湖泥, 另外 3 个为岸泥。实验期间每 3d 测定 1 次大桶内水体 TN、TP 浓度, 补加一定量的营养盐使水体 TN、TP 浓度达到实验设计的水平。实验持续 1 个月, 结束时将菱从沉积物中慢慢取出, 用水冲洗干净后将样品带回实验室测定株高、株重、菱盘直径、同化根与吸收根的重量等, 计算菱的相对增长率、株高增长率及菱盘直径增长率。植物湿重的测定方法为, 将装有植物的网袋放入洗衣机中脱水 10min, 取出植物称重。株高增长率及菱盘直径增长率为实验前后增长量与初始量之比的百分数, 相对增长率计算公式如下: $RGR = \ln(W_f/W_i)/\text{天数}$, 式中 W_i 和 W_f 分别为实验前后菱的株重。

1.3 测定指标与数据统计分析

沉积物中总氮、总磷及有机质的含量与水体总氮、总磷的浓度的分析方法依据《湖泊生态调查观测与分析》^[4]。办公软件 Microsoft Excel 2003 对数据进行计算处理, 统计软件 SPSS (版本 11.0) Nested ANOVA 方差分析及 LSD 多重比较方法对数据差异进行分析。

2 结果

2.1 菱的相对生长率

沉积物类型对菱的生长有明显影响($p < 0.001$) (图1)。对照湖水中,菱的相对生长率在湖泥中为 $45.4 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,是岸泥($10.7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)中的4.3倍。水体营养盐浓度升高对菱的生长有明显影响($p < 0.001$) (图1),在岸泥中,水体添加磷时菱的生长率最高,为 $51.7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,添加氮次之,为 $25.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,分别是对照组的4.8倍及2.4倍;在湖泥中,水体营养盐浓度升高对菱生长率的影响并不显著。

2.2 菱的株高

沉积物类型对菱的株高增长有明显影响($p < 0.001$),对照湖水中,菱的株高增长率在湖泥中为136.2%,在岸泥中仅为54.8%,相差2.5倍(图2)。水体添加营养盐对菱的株高增长有明显促进作用($p < 0.001$),尤其是在营养相对贫瘠的岸泥中,水体添加氮、磷使株高增长约2.2倍,而加氮组与加磷组之间株高增长率没有明显差别($p > 0.05$) (图2)。

2.3 菱盘直径

沉积物类型对菱盘直径的增长有明显影响($p < 0.001$),菱盘直径增长率在湖泥中远高于岸泥(图3)。水体营养盐浓度升高对菱盘直径增长也有明显影响($p < 0.001$),在岸泥中,加磷组的菱盘直径增长率明显高于加氮组,而加氮组又明显高于对照组($p < 0.001$);在湖泥中,加磷组的菱盘直径增长率明显高于加氮组($p < 0.001$),而加氮组与对照组之间无明显差别($p > 0.05$) (图3)。

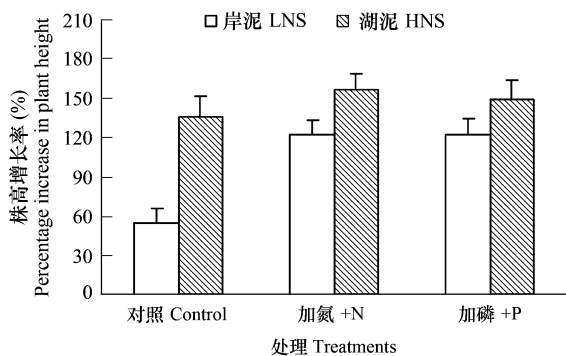


图2 菱的株高增长率(平均值 ± 标准误)

Fig. 2 The percentage increase in plant height of *Trapa quadrispinosa* (Mean ± SE)

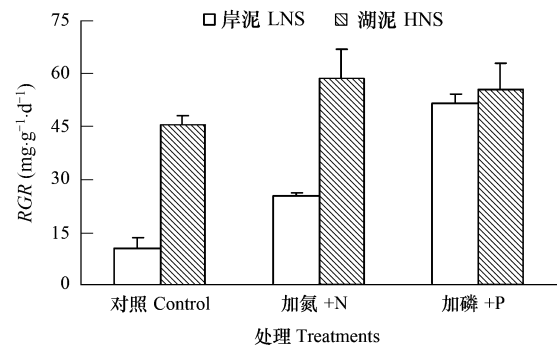


图1 菱的相对生长率(平均值 ± 标准误)

Fig. 1 The relative growth rates of *Trapa quadrispinosa* (Mean ± SE)
LNS: Low-nutrient sediments; HNS: High-nutrient sediments; 下同 the same below

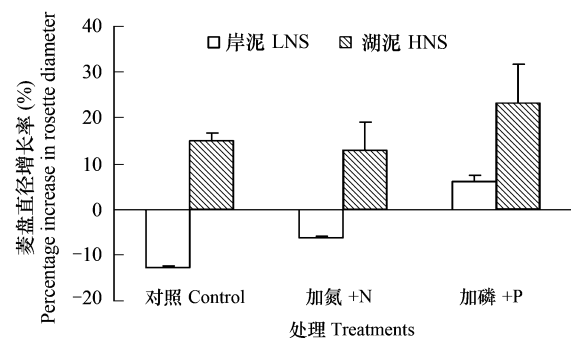


图3 菱盘直径增长率(平均值 ± 标准误)

Fig. 3 The percentage increase in rosette diameter of *Trapa quadrispinosa* (Mean ± SE)

2.4 菱的同化根

沉积物类型对菱同化根的生长有明显影响($p < 0.001$) (图4),对照湖水中,菱的同化根重在湖泥中为 9.1 g/株 ,是岸泥(3.8 g/株)中的2.4倍。水体营养盐浓度升高对菱的同化根生长有明显影响($p < 0.001$) (图4),在湖泥中,加氮组菱的同化根重最大为 11.2 g/株 ,明显高于加磷组(10.2 g/株),而加磷组又明显高于对照组(9.1 g/株) ($p < 0.05$);在岸泥中,加磷组菱的同化根重最大为 12.2 g/株 ,明显高于加氮组(5.4 g/株),而加氮组又明显高于对照组(3.8 g/株) ($p < 0.05$)。

2.5 菱的吸收根

沉积物类型对菱的吸收根生长有明显影响($p < 0.001$),对照湖水中,菱的吸收根重在湖泥中为 4.4 g/株,为岸泥中(0.6 g/株)的 7.3 倍(图 5)。水体营养盐浓度升高对菱的吸收根生长也有明显影响($p = 0.003$)(图 5),在岸泥中,加磷组菱的吸收根重为 4.7 g/株,明显高于加氮组与对照组($p < 0.05$),而加氮组与对照组没有显著差别($p > 0.05$);在湖泥中,各组间菱的吸收根重则没有明显差别($p > 0.05$)。

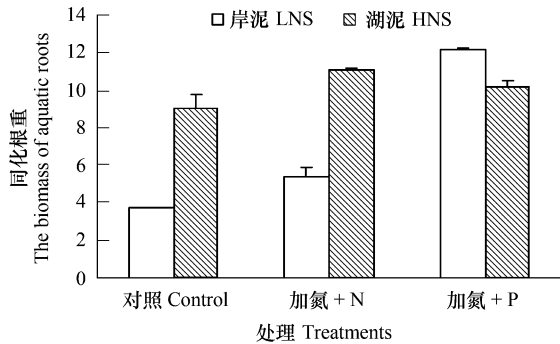


图4 菱的同化根重(平均值 ± 标准误)

Fig.4 The biomass (wet weight) of aquatic roots of *Trapa quadrispinosa* (Mean ± SE)

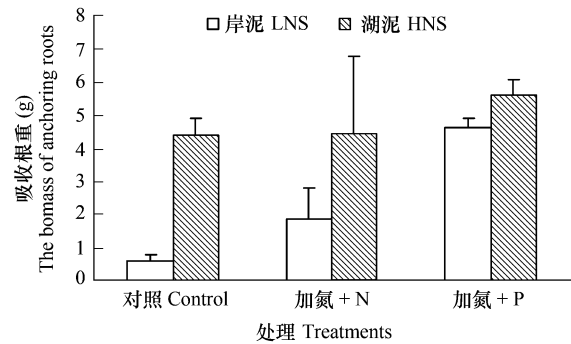


图5 菱的吸收根重(平均值 ± 标准误)

Fig.5 The biomass (wet weight) of anchoring roots of *Trapa quadrispinosa* (Mean ± SE)

3 讨论

氮、磷等营养物质对水生植物生长的重要性已毋庸置疑。通常情况下,根系是水生植物吸收氮、磷最主要的途径^[5,6]。本实验中生长在肥力较高湖泥中菱的各项生长指标均远高于相对贫瘠的岸泥,说明沉积物是浮叶植物菱获取养分最主要的来源。

然而,水生植物的生长不仅受到沉积物肥力的影响,也受到水体营养盐浓度的影响,其相对重要性则取决于沉积物孔隙水与上覆水中营养盐的浓度比例^[7~10]。水体添加营养盐促进浮叶植物菱生长的原因可能有两方面:一是水体添加营养盐后可能导致了沉积物孔隙水中营养盐浓度升高^[11],沉积物营养水平的提高则有利于植物生长。二是由于菱的叶片与同化根具有吸收水体养分的能力。通过稳定同位素示踪方法,有研究表明菱(*T. maximowiczii*)的叶片尤其是幼嫩叶片组织具有较强的养分吸收能力。其它有关漂浮植物的研究也表明,浮萍(*Lemna minor*)的叶片能从水体中吸收大量营养物质^[12],其根系的养分吸收能力则较弱^[13,14]。另外,菱的同化根除了具有光合同化作用外也能吸收水体养分^[15]。本实验中,向水体中添加氮、磷等营养盐可能有利于菱的叶片与同化根吸收水体养分从而促进了菱的生长。

相对水体氮浓度升高而言,提高肥力较低的岸泥处理组中水体磷的浓度对菱的各项生长指标的促进作用要显著得多。有关陆生植物的实验表明,低磷会使植物的生物量与叶片面积等指标下降^[16~19],因此,增加水体磷的浓度能迅速促进菱的生长可能是植物对磷匮乏的一种积极响应,这表明在太湖某些沉积物营养相对贫瘠的区域,磷可能是菱生长的主要制约因子之一。

总之,沉积物类型对菱的生长有决定性影响,植物在营养丰富的沉积物中生长明显加快,水体营养盐浓度的升高也能促进菱的生长,而水体磷浓度的升高对生长在营养相对贫瘠的沉积物中的菱生长促进作用更为明显。因此,水体富营养化的加剧及湖泊沼泽化造成的沉积物中氮、磷等营养物质的大量积累,应该有利于东太湖菱种群的扩张。该实验结果在一定程度上可以对东太湖近 10a 来浮叶植物菱种群的分布特征及迅速扩张的机理进行解释,并对湖泊水生植被的管理具有一定参考意义。

References:

- [1] Bai X L, Gu X H, Yang L Y. Analyses on water quality and its protection in East Lake Taihu. *Journal of Lake Science*, 2006, 18(1): 91–96.

- [2] Li W C. Nitrogen accumulation in the sediment of East Taihu Lake and biological sedimentation of aquatic plants. *China Environmental Science*, 1997, 17(5): 418—421.
- [3] Li W C. Phosphorus accumulation in the sediment of East Taihu Lake and biological sedimentation of aquatic plants. *Chinese Journal of Environmental Science*, 1997, 18(3): 9—12.
- [4] Huang X F. Survey, observation and analysis of lake ecology. Beijing: Standards Press of China, 1999. 72—79.
- [5] Barko J W, Gunnison G, Carpenter S R. Sediment interactions with submersed macrophyte growth and community dynamics. *Aquatic Botany*, 1991, 41(1): 41—65.
- [6] Carr G M. Macrophyte growth and sediment phosphorus and nitrogen in a Canadian prairie river. *Freshwater Biology*, 1998, 39(3): 525—536.
- [7] Carignan R, Kalff J. Phosphorus sources for aquatic weeds: water or sediments? *Science*, 1980, 207(4434): 987—989.
- [8] Madsen T V, Cedergreen N. Sources of nutrients to rooted submerged macrophytes growing in a nutrient-rich river. *Freshwater Biology*, 2002, 47(2): 283—291.
- [9] Qiu D R, Wu Z B. Effects of overlying water and sediment from Donghu Lake of Wuhan on the growth of *Potamogeton maackianus* A. Benn. *Journal of Plant Resources and Environment*, 1997, 6(4): 45—49.
- [10] Rattray M R, Howard-Williams C, Brown J M A. Sediment and water as sources of nitrogen and phosphorus for submerged rooted aquatic macrophytes. *Aquatic Botany*, 1991, 40(3): 225—237.
- [11] Sand-Jensen K, Borum J. Interactions among phytoplankton, periphyton and macrophytes in temperate freshwaters and estuaries. *Aquatic Botany*, 1991, 41(1-3): 137—175.
- [12] Cedergreen N, Madsen T V. Nitrogen uptake by the floating macrophyte *Lemna minor*. *New Phytologist*, 2002, 155(2): 285—292.
- [13] Muhonen M, Showman J, Couch R. Nutrient absorption by *Spirodela polyrrhiza*. *Journal of Aquatic Plant Management*, 1983, 21(2): 107—109.
- [14] Ice J, Couch R. Nutrient absorption by duckweed. *Journal of Aquatic Plant Management*, 1987, 25(1): 30—31.
- [15] Agrawal A, Mohan H Y R. In vitro germination and micropropagation of water chestnut (*Trapa* sp.). *Aquatic Botany*, 1995, 51(2): 135—146.
- [16] Cai Y, Guan B H, An S Q, Sheng R L, Jiang J H, Dong L. Phenotypic plasticity of the clonal plant *Trapa bicornis* in response to sediment phosphorus concentration and plant density. *Acta Phytocologica Sinica*, 2007, 31(4): 599—606.
- [17] Foyer C, Spencer C. The relationship between phosphate status and photosynthesis in leaves. *Planta*, 1986, 167(3): 369—375.
- [18] Kondracka A, Rychter A M. The role of P-recycling processes during photosynthesis in phosphated efficient bean plants. *Journal of Experimental Botany*, 1997, 48(7): 1461—1468.
- [19] Plesnicar M, Kastori R, Petrovic N, Pankovic D. Photo-synthesis and chlorophyll fluorescence in sunflower (*Helianthus annuus* L.) leaves as affected by phosphorus nutrition. *Journal of Experimental Botany*, 1994, 45(7): 919—924.

参考文献:

- [1] 白秀玲, 谷孝鸿, 杨龙元. 东太湖水环境现状及保护对策. *湖泊科学*, 2006, 18(1): 91—96.
- [2] 李文朝. 东太湖沉积物中氮的积累与水生植物沉积. *中国环境科学*, 1997, 17(5): 418—421.
- [3] 李文朝. 东太湖水生植物的促淤效应与磷的沉积. *环境科学*, 1997, 18(3): 9—12.
- [4] 黄祥飞. 湖泊生态调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 1999. 72—79.
- [9] 邱东茹, 吴振斌. 武汉东湖湖水和底泥对黄丝草生长的影响. *植物资源与环境*, 1997, 6(4): 45—49.
- [16] 蔡颖, 关保华, 安树青, 申瑞玲, 蒋金辉, 董蕾. 克隆植物乌菱对底泥磷含量及植株密度的表型可塑性响应. *植物生态学报*, 2007, 31(4): 599—606.