

螺类牧食与沉积物类型对苦草生长的影响

李宽意^{1 2}, 刘正文^{1 3,*}, 杨宏伟^{4 1}, 宋晓兰^{1 2}, 文明章⁵

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 暨南大学, 广州 510630;
4. 南京大学, 南京 210081; 5. 南京信息工程大学, 南京 210044)

摘要: 在室外实验条件下, 研究了螺类牧食与沉积物类型对苦草生长的影响。结果表明: 椭圆萝卜螺的牧食对苦草生长有显著影响, 牧食损害使苦草的相对生长率明显降低、块茎数量及重量下降。沉积物类型对苦草生长也有明显影响, 苦草的相对生长率在营养盐相对丰富的湖泥处理组中要远高于岸泥处理组, 而根须数与块茎重量在湖泥处理组中显著低于岸泥处理组。螺类牧食与沉积物类型对苦草的各项生长指标无明显交互作用。

关键词: 螺类牧食; 沉积物类型; 苦草; 生长

文章编号: 1000-0933 (2007) 11-4907-06 中图分类号: Q143 Q178. 1 Q958 文献标识码: A

Effects of snail herbivory and sediment type on the growth of *Vallisneria spiralis*

LI Kuan-Yi^{1 2}, LIU Zheng-Wen^{1 3,*}, YANG Hong-Wei^{4 1}, SONG Xiao-Lan^{1 2}, WEN Ming-Zhang⁵

1 Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

3 Jinan University, Guangzhou 510630, China

4 Nanjing University, Nanjing 210081, China

5 Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (11) :4907 ~ 4912.

Abstract : An outdoor experiment was conducted to investigate effects of the herbivory of snail *Radix swinhoei* and sediment type on the growth of submerged macrophyte *Vallisneria spiralis* from June to August in 2006. Results showed that snail herbivory on plant tissue suppressed *V. spiralis* growth. Furthermore, herbivory damage resulted in a decrease in tuber number and weight. Plant growth was affected by sediment type. The relative growth rate of *V. spiralis* was much higher in fertile lake sediment treatment than that in infertile soil treatment. Besides, root number and tuber weight were significantly lower in lake sediment treatment than that in soil treatment. However, the interactive effects of both snail herbivory and sediment type on the growth of *V. spiralis* were not significant.

Key Words : *Radix swinhoei*; herbivory; sediment type; *Vallisneria spiralis*; growth

沉水植被是湖泊生态系统中重要的组成部分^[1, 2], 通过减少沉积物的再悬浮及降低内部营养负荷等作用

基金项目: 国家“863”计划资助项目 (2006AA06Z337); 中国科学院知识创新工程资助项目 (KZCX2-YW-419); 国家“973”计划资助项目 (2002CB412307)

收稿日期: 2007-03-08; 修订日期: 2007-09-28

作者简介: 李宽意 (1971 ~), 男, 湖南澧县人, 博士生, 副研究员, 从事湖泊生态学研究. E-mail: kyli@niglas.ac.cn

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

Foundation item : This work was financially supported by National “863” Project of China (No. 2006AA06Z337); The Project of CAS Knowledge Innovation Program (No. KZCX2-YW-419); National “973” Project of China (No. 2002CB412307)

Received date 2007-03-08; **Accepted date** 2007-09-28

Biography LI Kuan-Yi, Ph. D. candidate, Associate professor, mainly engaged in lake ecology. E-mail: kyli@niglas.ac.cn

机制,其在维持草型湖泊清水系统的稳定性方面起着关键的作用^[3,4]。沉水植物的生长受生物因素如水生动物的牧食及非生物因素如光照、营养盐等的影响^[3]。一些水生脊椎动物^[5]和无脊椎动物^[6~9]的牧食活动能在一定程度上减少沉水植物的现存量,从而可能使湖泊生态系统从清水态转变为浊水态^[10,11]。自然生态系统中,沉水植物如伊乐藻(*Elodea nuttallii*)、轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*)等一般生长在底质肥沃的区域,另一些植物如苦草(*Vallisneria spiralis*)则分布在相对贫瘠的区域^[12,13]。研究表明,沉积物是有根水生植物的主要营养来源^[14,15],因此沉积物类型对沉水植物的分布及生长也有极其重要的影响^[16,17]。

椭圆萝卜螺(*Radix swinhoei*)为太湖常见螺类,能牧食水生植物的活体,苦草(*V. spiralis*)是其优先选食的沉水植物种类^[18]。螺类牧食损害能否降低苦草的生物量?受损(或未受损)苦草在不同类型的沉积物中生长状况如何?为此,设计了双因子(沉积物类型与螺类牧食)影响实验,研究螺类牧食损害及沉积物类型对沉水植物生长的影响,以进一步认识沉水植被与环境因子的关系。

1 材料与方法

实验用的沉水植物苦草(*V. spiralis*)为太湖的优势种,椭圆萝卜螺(*R. swinhoei*)为太湖常见螺类。实验前从东太湖采集苦草与萝卜螺,在塑料箱中培育待用。实验在聚乙烯塑料桶(桶高70cm,上下底直径分别为50、35cm)中进行,桶内放入15cm厚沉积物并注入50cm深经500目的筛绢网滤过的太湖湖水。实验设2个影响因子(沉积物类型与螺类牧食)4个处理组,即:湖泥(营养盐较丰富)、湖泥+螺;岸泥(营养盐较贫瘠);岸泥+螺。湖泥采自太湖梅梁湾,岸泥为梅梁湾岸边黄土,均经过60目的筛绢网过筛混匀后使用,每个处理组设3个重复,共12个实验水桶,整个实验在露天条件下进行。7月13日从塑料箱内挑选叶片颜色亮绿、无损伤的苦草移栽到各实验桶中,每桶10株植物,各桶中植物的株高、湿重基本一致。5d后按实验设计放入萝卜螺,有螺处理组中每桶放规格一致的萝卜螺30只,即每平方米水面240只,该密度是通过室内预实验确定的(该密度在池塘水体中存在,高于东太湖水体中萝卜螺的密度),在预实验中这种密度的萝卜螺对苦草的生长有明显损害。8月10日采集水样分析水体氮、磷浓度,其方法依据《湖泊生态调查观测与分析》^[19]。8月13日实验结束(实验持续一个月后)拔出苦草测定湿重,地上与地下部分重量,块茎数与块茎重,根须数等指标。计算苦草的相对生长率,其计算公式如下: $RGR = \ln(W_f/W_i) / \text{天数}$,式中 W_i 和 W_f 分别为实验前后植物的湿重。

实验期间每天观察实验桶内螺与水草生长情况,将繁殖出的小螺移出水体,死螺以相同规格的活螺替代。每日测定实验桶内水温(水温变化范围为23~35℃),水温高于35℃时用遮阳网遮盖试验桶降温,遮盖时间一般从11:00到16:00。

2 结果

2.1 两种沉积物中营养物质的含量

由表1可见,实验所选用的两种沉积物中的营养物质含量有极显著差异(t -test, $p < 0.001$),湖泥的总氮、总磷及有机质含量是岸泥的1倍多。

表1 两种沉积物中营养物质的含量(平均值±标准误)(Mean±SE)

Table 1 The content of total nitrogen, total phosphorus and organic matter in sediments			
沉积物类型 Sediment type	总氮 Total nitrogen (mg·g ⁻¹)	总磷 Total phosphorus (mg·g ⁻¹)	有机质 Organic matter (mg·g ⁻¹)
湖泥 Lake sediment	1.49±0.04	0.67±0.03	25.99±0.60
岸泥 Soil	0.72±0.06	0.24±0.03	12.42±1.09

2.2 对苦草生长的影响

椭圆萝卜螺的牧食对苦草生长影响显著(t -test, $p < 0.001$),牧食损害使湖泥处理组中的苦草的相对生长率下降了51.1%,岸泥处理组中则下降了105.8%,表现为负生长(-0.22 ± 0.34) mg·g⁻¹·d⁻¹)(图1)。沉积物类型对苦草生长也有明显影响(t -test, $p < 0.001$),生长在湖泥中的苦草的相对生长率为(9.59 ± 0.88)

$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,而生长在岸泥中的苦草生长率仅为 $(3.84 \pm 1.04) \text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (图 1) 。然而 ,螺类牧食损害与沉积物类型的交互作用对苦草生长影响不显著 (ANOVA $p > 0.05$) 。对于苦草的地下与地上生物量比值 (B/A) 而言 ,虽然牧食损害使湖泥中苦草的 B/A 值有所升高 ,苦草的 B/A 值在湖泥中 (0.22 ± 0.01) 也高于岸泥 (0.17 ± 0.04) (图 2) ,但牧食损害、沉积物类型及两者的交互作用对苦草 B/A 值的影响并不明显 (ANOVA $p > 0.05$) 。

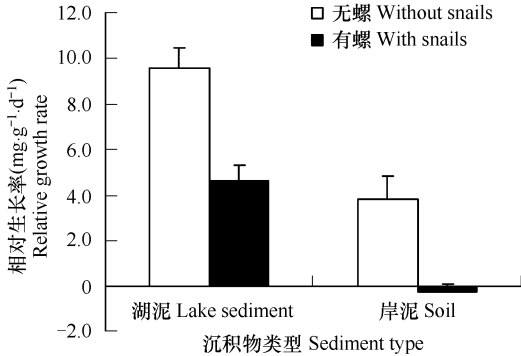


图 1 不同处理中苦草的相对生长率 (平均值 ± 标准误)

Fig. 1 The relative growth rates of *V. spiralis* in treatments (Mean ± SE)

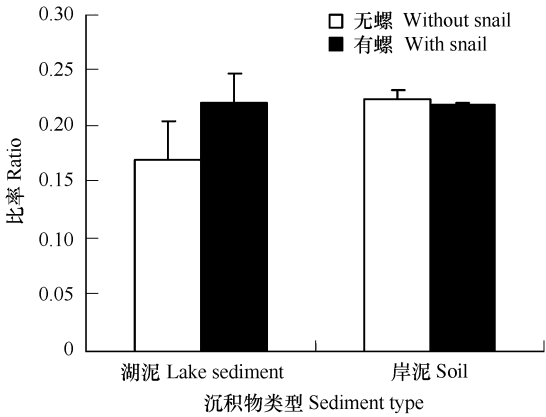


图 2 不同处理中苦草地下与地上生物量的比值 (平均值 ± 标准误)

Fig. 2 The ratio between belowground and aboveground biomass in treatments (Mean ± SE)

2.3 对苦草块茎与根系的影响

牧食损害与沉积物类型对苦草块茎数量的影响均不显著 (t -test $p > 0.05$) ,但对苦草块茎重量有较大影响 ,螺类牧食降低了块茎重量 ,生长在湖泥中苦草的块茎重要显著低于岸泥 (t -test $p < 0.001$) ,但牧食损害与沉积物类型的交互作用对苦草块茎的生长则无明显影响 (图 3) 。沉积物类型对根系的影响极为明显 ,岸泥中苦草的根须数远高于湖泥 (t -test $p < 0.01$) ,但牧食损害对苦草根须数的影响并不显著 (t -test $p > 0.05$) ,螺类牧食使生长在湖泥中苦草根须数有所增加 ,而使岸泥中根须数下降 (图 4) ,同样 ,牧食损害与沉积物类型的交互作用对苦草根须数无明显影响。

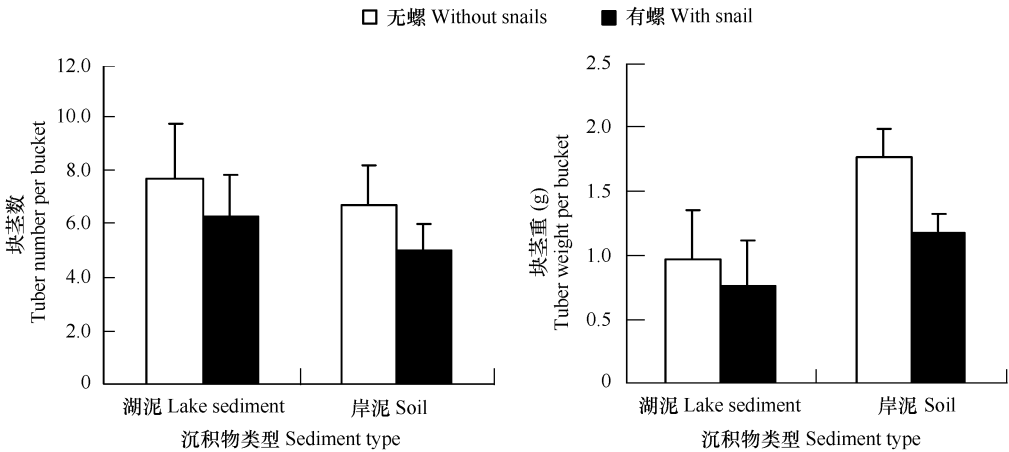


图 3 不同处理中苦草的块茎数与块茎重 (平均值 ± 标准误)

Fig. 3 Tuber number and wet weight of plant *V. spiralis* in treatments (Mean ± SE)

2.4 对水环境的影响

沉积物类型对水体营养盐的浓度有极大影响 (图 5) ,湖泥处理组中水体的营养盐浓度均远高于岸泥处理

水体 (t -test $p < 0.001$)。螺类牧食对水体营养盐的浓度也有较大影响,有螺处理中水体的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 与 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的浓度均高于无螺处理组 (t -test $p < 0.05$),但螺类牧食与沉积物类型的交互作用对水体营养盐浓度无明显影响。

3 讨论

关于螺类牧食损害对沉水植物生长影响方面的研究极少,Pinowska 实验证明了一种椎实螺 (*Lymanaea turricula*) 的牧食降低了伊乐藻的生物量,并推测对伊乐藻的生长可能会产生负面影响^[20]。本实验直接证明了螺类牧食损害能显著影响沉水植物的生长,如苦草的生长率明显降低、块茎数及块茎重下降等。实验中还观察

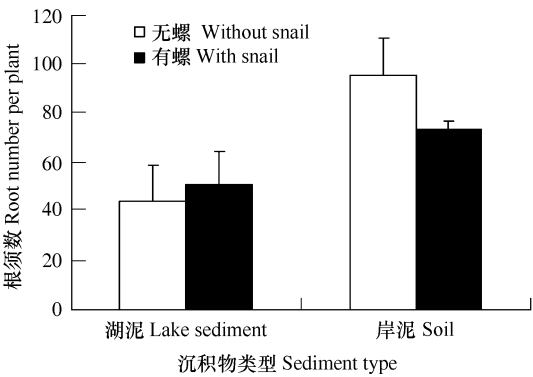


图 4 不同处理中苦草的根须数 (平均值 ± 标准误)
Fig. 4 Root number per plant in treatments (Mean ± SE)

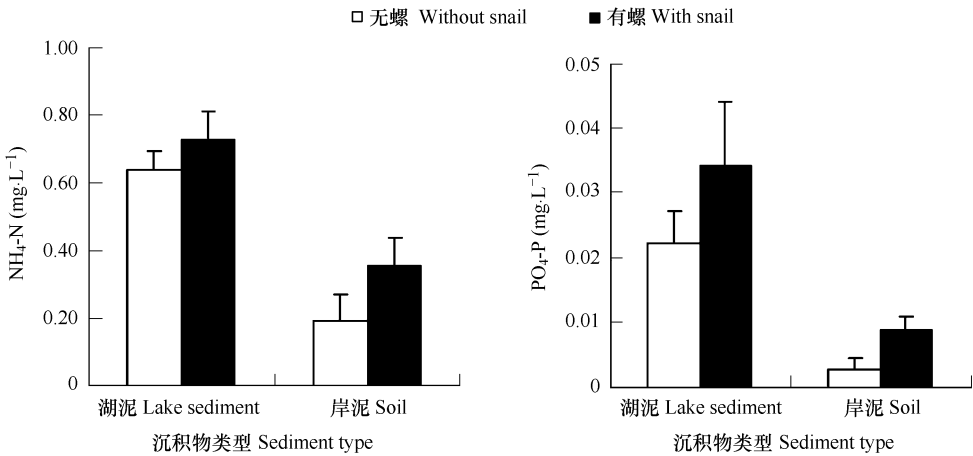


图 5 不同处理中水体 $\text{NH}_4\text{-N}$ 与 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度 (平均值 ± 标准误)
Fig. 5 The concentrations of $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ in water in treatments (Mean ± SE)

到萝卜螺对苦草有明显的牧食损害,如苦草叶片上有较多牧食留下的疤痕,水面经常有漂浮的破碎叶片等。椭圆萝卜螺会不会对沉水植物直接造成损害,这与螺类密度有关。虽然椭圆萝卜螺能牧食多种水生植物^[18],但如果有足够量的附生生物存在,萝卜螺还是优先选食附生生物,附生物量不足时转而牧食植物组织。本实验中高密度萝卜螺 ($240\text{ 个}/\text{m}^2$) 明显地牧食苦草并使其生长速率降低,是因为螺类喜食的附生生物数量相对不足造成的。

沉积物的营养水平对苦草生长有明显影响。无牧食损害时,苦草的相对生长率在高营养湖泥处理中要远高于岸泥处理 (图 1),其地下与地上生物量比值 (B/A) 则低于营养相对贫瘠的岸泥处理 (图 2)。本实验结果与 Van 等的一致,他们发现美国苦草 (*V. americana*) 在高营养水平基质中生长较快, B/A 值在低营养水平基质中则高一些^[21]。Pagano 和 Titus 也证实了加拿大伊乐藻 (*E. canadensis*) 的生长及根部生物量与植株总生物量的比值存在类似规律^[22]。沉积物类型对苦草块茎及根系均有较大影响,无论有无牧食损害,湖泥处理中苦草块茎数均高于岸泥处理中的苦草,块茎重量却低于生长在岸泥中的苦草 (图 3),可能是受营养限制时植物会增加根部特别是繁殖器官上面的物质分配^[23-24],因为块茎对后代植物的生长、存活及植株表型都有极大影响^[25-26]。无论有无牧食损害,岸泥处理中苦草的根须数量均远高于湖泥处理中的苦草 (图 4),这可能是植物对营养贫乏的一种适应,为了吸收足够的营养满足生长繁殖的需要故增生了大量的根须,这与 Lorenzena 等^[27]及雷泽湘等^[28]的研究结果一致。

本实验中,湖泥处理组中水体营养盐浓度高于岸泥处理组,这是由于底泥营养释放所致。另外,随着螺密度增加,水体中氨氮与磷酸盐的含量也不同程度地升高(图5),主要应归因于萝卜螺的营养释放。椭圆萝卜螺所释放的氮、磷80%以上为磷酸盐及氨氮,在水温25~30℃时其磷酸盐及氨氮释放率分别为 $45.93\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 与 $0.58\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 。水体营养盐的升高是否能促进沉水植物的生长?基于大量研究的基础上,Barko等认为,绝大多数沉水植物的根部是吸收氮、磷及微量营养元素最主要的途径,而叶片吸收是钙、镁、钠、钾及硫酸盐最主要的途径^[14],故绝大多数有根沉水植物(如苦草)主要从沉积物中吸收营养^[15-29]。因此,本实验各处理间水体营养盐浓度的不一致对苦草生长的影响是次要的。

总之,椭圆萝卜螺的牧食损害和沉积物类型对苦草的生长有显著的影响。

References :

[1] Jeppesen E, Søndergaard M, Christoffersen K, eds. The structuring role of submerged macrophytes in lakes. New York : Springer , 1998. 420 — 425.

[2] Pieczyńska E, Kolodziejczyk A, Rybak J I. The responses of littoral invertebrates to eutrophication-linked changes in plant communities. Hydrobiologia , 1999 , 391 : 9 — 21.

[3] Carpenter S R, Lodge D M. Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes. Aquatic Botany , 1986 , 26 : 341 — 370.

[4] van Donk E. Switches between clear and turbid water states in a biomanipulated lake (1986 — 1996) : the role of herbivory on macrophytes. In : Jeppesen E. , Søndergaard M. , Søndergaard M. , Christoffersen K, eds. The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes. New York : Springer , 1998. 290 — 297.

[5] Knapton R W, Petrie S A. Changes in distribution and abundance of submerged macrophytes in the Inner Bay at Long Point , Lake Erie : implications for foraging waterfowl. Journal of Great Lakes Research , 1999 , 25 : 783 — 798.

[6] Jacobsen D, Sand-Jensen K. Herbivory of invertebrates on submerged macrophytes from Danish fresh waters. Freshwater Biology , 1992 , 28 : 301 — 308.

[7] Kornijów R, Gulati R D, Ozimek T. Food preference of freshwater invertebrates : comparing fresh and decomposed angiosperm and a filamentous alga. Freshwater Biology , 1995 , 33 : 205 — 212.

[8] Pieczyńska E. Effect of damage by the snail *Lymnaea (Lymnaea) stagnalis* (L.) on the growth of *Elodea canadensis* Michx. Aquatic Botany , 2003 , 75 : 137 — 145.

[9] Steinman A D. Effects of grazers on freshwater benthic algae. In Stevenson , R. J. , M. L. Bothwell & R. L. Lowe , eds. Algal Ecology. San Diego : Academic Press , 1996. 341 — 373.

[10] Scheffer M, Hosper S H, Meijer M L , et al. Alternative equilibria in shallow lakes. Trends in Ecology and Evolution , 1993 , 8 : 275 — 279.

[11] Sheldon S P. The effects of herbivorous snails on submerged macrophyte communities in Minnesota lakes. Ecology , 1987 , 68 : 1920 — 1931.

[12] Gaudet C L, Keddy P A. Competitive performance and species distribution in shoreline plant communities : a comparative approach. Ecology , 1995 , 76 : 280 — 291.

[13] Hutchinson G E. A treatise on limnology III. Limnological botany. Chichester : Wiley , 1975. 1 — 15.

[14] Barko J W, Gunnison D, Carpenter S R. Sediment interactions with submersed macrophyte growth and community dynamics. Aquatic Botany , 1991 , 41 : 41 — 65.

[15] Carignan R, Kalff J. Phosphorus sources for aquatic weeds : water or sediments ? Science , 1980 , 207 : 987 — 989.

[16] Barko J W, Smart R M. Sediment-related mechanisms of growth limitation in submersed macrophytes. Ecology , 1986 , 67 : 1328 — 1340.

[17] Titus J E. Submersed macrophyte growth at low pH. II. CO₂ × sediment interactions. Oecologia , 1992 , 92 : 391 — 398.

[18] Li K Y, Liu Z W, Hu Y H , et al. Snail *Radix swinhoei* (H. Adams) herbivory on three submerged plants. Acta Ecologica Sinica , 2006 , 26 (10) : 3221 — 3224.

[19] Huang X F. Survey , observation and analysis of lake ecology. Beijing : Standards Press of China , 1999. 72 — 279.

[20] Pinowska A. Effects of snail grazing and nutrient release on growth of the macrophytes *Ceratophyllum demersum* and *Elodea canadensis* and the filamentous green alga *Cladophora* sp. Hydrobiologia , 2002 , 479 : 83 — 94.

[21] Van T K, Wheeler G S, Center T D. Competition between *Hydrilla verticillata* and *Vallisneria americana* as influenced by soil fertility. Aquatic Botany , 1999 , 62 : 225 — 233.

[22] Pagano A M, Titus J E. Submersed macrophyte growth at low pH : contrasting responses of three species to dissolved inorganic carbon enrichment and sediment type. Aquatic Botany , 2004 , 79 : 65 — 74.

[23] Chapin III F S. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* ,1980 ,11 :233 — 260.

[24] Fitter A H. Acquisition and utilization of resources. In :Crawley ,M. J. ed. *Plant Ecology*. Oxford :Blackwell ,1986 ,375 — 406.

[25] Idestam-Almquist J ,Kautsky L. Plastic responses in morphology of *Potamogeton pectinatus* L. to sediment and above-sediment conditions at two sites in the northern Baltic proper. *Aquatic Botany* ,1995 ,52 :205 — 216.

[26] Vermaat J E ,Hootsmans M J M. Intraspecific variation in *Potamogeton pectinatus* L. , a controlled laboratory experiment. In :M. J. M. Hootsmans and J. E. Vermaat , *Macrophytes. A key to understanding changes caused by eutrophication in shallow freshwater ecosystems*. Ph. D. Thesis. Wageningen Agricultural University ,1991. 7 — 26.

[27] Lorenzena B , Hans B , Mendelssohn A I , *et al.* Growth , biomass allocation and nutrient use efficiency in *Cladium jamaicense* and *Typha domingensis* as affected by phosphorus and oxygen availability. *Aquatic Botany* ,2001 ,70 :117 — 133.

[28] Lei Z X ,Xie Y F ,Liu Z W. Effects of different sediments from Meiliang Bay of Taihu Lake on the growth of three submersed aquatic macrophytes. *Journal of Central China Normal University (Nat. Sci)* ,2006 ,40 (2) :260 — 264.

[29] Borchardt M A. Nutrients. In Stevenson R. J. ,M. L. Bothwell & R. L. Lowe ,eds. *Algal Ecology*. San Diego :Academic Press ,1996. 183 — 227.

参考文献：

[18] 李宽意 ,刘正文 ,胡耀辉 ,等. 椭圆萝卜螺对三种沉水植物的牧食研究. *生态学报* ,2006 ,26 (10) :3221 ~ 3224.

[19] 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 ~ 279.

[28] 雷泽湘 ,谢贻发 ,刘正文. 太湖梅梁湾不同沉积物对 3 种沉水植物生长的影响. *华中师范大学学报 (自然科学版)* ,2006 ,40 (2) :260 ~ 264.