

牧食损害对伊乐藻 (*Elodea nuttallii*) 生长的影响

李宽意^{1,2}, 刘正文^{1,3,*}, 杨宏伟^{4,1}, 李娟^{1,2}, 李传红³

(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)

摘要 : 在室外实验条件下, 研究了模拟牧食损害 (动物牧食所造成的损害) 对伊乐藻植株生长的影响。结果表明 3 种人工损害方式 (去除植株 50% 叶片, 去除植株顶端, 以及同时去除植物顶端与 50% 叶片) 对伊乐藻的生长率、主枝与分枝长度的增长、植物的干物质、氮、磷含量等均有不同程度的影响。其中, 去叶与去顶去叶损害显著抑制了伊乐藻的生长, 相对生长率分别占未受损植株的 62.8% 与 74.4% ; 去顶与去顶去叶损害使伊乐藻主枝生长几乎停止, 却显著促进了植物分枝的生长 ; 去叶损害对植株的生长率、主枝与分枝长度的生长无明显抑制但却显著地降低了分枝的重量。对受损伊乐藻生长的机理进行了分析, 探讨了东太湖伊乐藻现存量近年来迅速增加的原因并认为植物残体是伊乐藻种群扩张的重要因素之一。

关键词 : 损害 ; 伊乐藻 ; 生长 ; 东太湖

文章编号 : 1000-0933 (2007) 10-4209-05 中图分类号 : Q143, Q178.1, Q958 文献标识码 : A

Effects of mechanical damage on the growth of *Elodea nuttallii*

LI Kuan-Yi^{1,2}, LIU Zhen-Wen^{1,3,*}, YANG Hong-Wei^{4,1}, LI Juan^{1,2}, LI Chuan-Hong³

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

Acta Ecologica Sinica 2007, 27 (10) : 4209 ~ 4213.

Abstract : An outdoor experiment was conducted to examine effects of damage on the growth of submerged macrophyte *Elodea nuttallii* from May to July in 2006. There were three damage treatments : growing tips removed, 50% defoliation and 50% defoliation and growing tips removed. Results showed that three damage treatments affected plant relative growth rate, length of main shoot and lateral shoots, and content of dry mass, nitrogen and phosphorus of plant tissue. Compared with undamaged plant, plant relative growth rate was only 62.8% for 50% defoliation treatment and 74.4% for 50% defoliation and growing tips removed treatment. The main shoot growth of plant in removed growing tips treatment and 50% defoliation and growing tips removed treatment almost stopped, but lateral shoots grew significantly. This study suggests that plant fragments may be responsible for the increasing standing biomass of *E. nuttallii* in East Taihu Lake in recent years.

Key Words : Damage ; *Elodea nuttallii* ; Growth ; East Taihu Lake

基金项目 : 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) ; 国家 “863” 计划资助项目 (2006AA06Z337)

收稿日期 : 2007-02-11 ; 修订日期 : 2007-09-24

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 the project of CAS Knowledge Innovation Program (No. KZCX2-YW-419) ; National “973” Project of China (No. 2002CB412307) ; National “863” Project of China (No. 2006AA06Z337)

Received date 2007-02-11 ; **Accepted date** 2007-09-24

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

浅水湖泊存在以大型水生植物为主、自净能力较强的清水系统(草型湖泊)和以浮游植物为主的混水系统(藻型湖泊)^[1]。通过减少沉积物的再悬浮及降低内部营养负荷等作用机制,沉水植物在维持湖泊的清水态中起关键作用^[2,3]。然而,与陆生植物一样,牧食损害(包括对植物本身的牧食及牧食活动对植物体所造成的损害)可以对水生植物产生较大不利影响^[4,5]。一些水生动物能以沉水植物为食,如草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)每增加 500g 重量就要消耗一个中等产量湖泊中约 12 m²范围内的沉水植物生物量^[6],其摄食压力导致了沉水植被的衰竭^[7]。因此,通过牧食损害极大地降低沉水植物的现存量从而可能使湖泊从清水态转变为浊水态^[1]。

东太湖为太湖的一草型湖湾,是江苏省重要的水产品养殖基地。湖湾内的沉水植物——伊乐藻(*Elodea nuttallii*)是草食性鱼类的优质饲料^[8]。随着水产养殖规模的不断扩大,伊乐藻的现存量却从 1996 年的 6 万余吨增加到 2002 年的 24 万余吨^[9]。研究表明,草食动物摄食活动所遗留下的植物残体往往要比其直接消费的生物量要高得多^[10],一些水生植物的残体在适当条件下能迅速生长,并对植物的繁殖起重要作用^[11,12]。除了人类活动干涉等原因外,东太湖伊乐藻现存量的极大提高是不是与其植物残体的生长特性有关?目前,国内外关于受损沉水植物生长方面的研究极少^[13,14]。本研究以伊乐藻为材料,通过人工损害模拟草食动物对植株所造成的牧食损害,研究受损后伊乐藻的生长特性,从另一角度探讨东太湖伊乐藻现存量迅速增高的原因。

1 材料与方法

试验在聚乙烯塑料桶(桶高 70cm,上下底直径分别为 50cm、35cm)中进行,桶内注入 50cm 深经 500 目的筛绢网滤过的太湖湖水,桶内无沉积物。试验设 1 组对照(未受损)3 组受损处理,即植物顶端去除(去顶)、植物 50% 叶片去除(去叶)及植物顶端与 50% 叶片同时去除(去顶去叶)。植物 50% 叶片的去除方法是将伊乐藻的叶片每隔 1 轮剪除 1 轮。每个实验组设 3 个重复。

5 月初从东太湖采集伊乐藻在塑料箱中培育待用。6 月 12 日在培育箱内挑选长势基本一致、叶片颜色亮绿、无任何损伤的伊乐藻植株,剪取长约 15cm 的上部株段,用自来水冲洗去除植物表面的泥沙及附生物质,剔除主枝粗细不一或有明显分枝的植株。然后,随机选取伊乐藻进行 3 种损害处理:剪去植株约 0.5cm 顶端、剪去植株 50% 的叶片、同时剪去 0.5cm 顶端及 50% 叶片,损害处理工作在一天内完成。最后,选取已测定湿重的 10 棵植株放入长 20cm 宽 15cm 的网袋中(网目 0.5cm),每个网袋为一种处理方式,每个试验桶悬挂 3 个不同处理方式的网袋及 1 个未受损植物的网袋,网袋均匀悬挂在水面下约 10cm 处,下面系有铁块使之下垂。为保证植物生长的营养需求,每 5d 换一次水,虹吸出约 20cm 的水体,然后再补入同体积滤过的湖水。加入湖水的总氮、总磷含量分别为 $6.66 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \pm 1.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.51 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \pm 0.18 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。实验期间每天测定实验桶内水温(26~35℃),水温高于 35℃ 时用遮阳网遮盖试验桶降温,遮盖时间一般为 11:00~16:00。除了水温太高时用遮阳网降温外,其余时间均为露天自然光照条件。

实验持续 24d 后取出网袋,测定每个实验组中伊乐藻的主枝长、分枝长、湿重、干重及植物的干物质、氮、磷含量等指标。计算伊乐藻相对生长率,相对生长率计算公式如下: $RGR = \ln(W_j/W_i)/\text{天数}$,式中 W_i 和 W_j 分别为实验前后植物的湿重。植物中干物质、氮、磷的含量分析方法依据《湖泊生态调查观测与分析》^[15]。

2 结果

2.1 损害对伊乐藻生长的影响

3 种损害方式均抑制了伊乐藻的生长(图 1),去叶处理极大地抑制了植株的生长(t -test $p < 0.01$),植株的相对生长率为 $14.7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,只占对照植株生长率的 62.8%,去顶去叶处理显著抑制了植株的生长(t -test $p < 0.05$),其生长率为 $17.4 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,占对照植株的 74.4%,而去顶处理对植株生长的影响不显著(t -test $p > 0.05$),其生长率为 $19.1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,达到了对照植株的 81.6%。

2.2 损害对伊乐藻主枝及分枝生长的影响

3 种损害处理均降低了主枝的长度增长率(图 2)。其中,去顶与去顶去叶损害均极大地抑制了伊乐藻主

枝长度的增长 (t -test $p < 0.001$), 其增长率仅为对照组的 13% 左右, 而去叶损害对植物主枝长度生长的影响不显著 (t -test $p > 0.05$), 其增长率达到了对照处理的 86%。不同损害方式对伊乐藻分枝有不同程度的影响 (图 3)。去顶与去顶去叶损害显著地促进了分枝的生长, 分枝总长分别达到 95.7 cm 及 85.0 cm, 明显高于对照组 (50.3 cm) (t -test $p < 0.001$), 去叶处理对伊乐藻分枝生长影响不显著, 其分枝总长为 41.0 cm (t -test, $p > 0.05$)。此外, 去叶处理还显著抑制了伊乐藻分枝的总重 (t -test $p < 0.01$)。可见, 去顶与去顶去叶损害虽然极大地抑制了伊乐藻主枝的生长, 但却显著促进了植物分枝的生长, 去叶损害对植株主枝及分枝的长度生长无明显抑制但却显著地降低了分枝的总重。

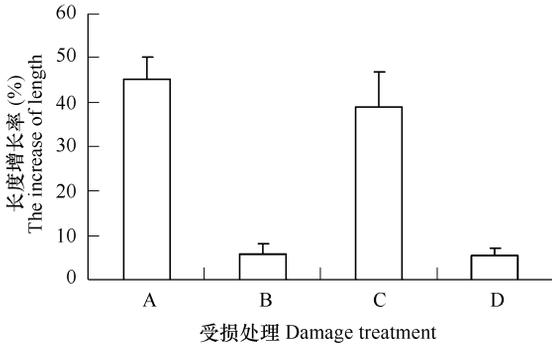


图 2 伊乐藻主枝的长度增长率 (平均值 \pm 标准误)

Fig. 2 Percentage increase of main shoot length of *E. nuttallii* at treatments (Mean \pm SE)

2.3 损害对伊乐藻干物质、氮、磷含量的影响

与对照组相比, 损害处理对伊乐藻干物质含量的影响不显著 (t -test $p > 0.05$) (图 4)。损害处理增加了植物干物质中的氮、磷含量 (图 5), 其中, 去顶植物中氮、磷含量最高, 分别达到了 $34.9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 及 $5.2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 去顶去叶植物氮、磷含量次之, 分别为 $33.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 及 $5.0 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; 去叶植物氮、磷含量再次之, 分别为 $33.3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 及 $4.1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; 未受损植物氮、磷含量最低, 分别仅为 $32.6 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 及 $4.0 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。统计分析表明, 去顶损害显著提高了植株中氮的含量 (t -test $p < 0.05$), 去顶与去顶去叶损害极大地提高了磷的含量 (t -test $p < 0.001$)。

3 讨论

3.1 损害对水生植物生长的影响

研究表明, 一些水生动物能对水生植物造成不同形式的摄食损害。Newman 等报道了一种象鼻虫 (*Euhrychiopsis lecontei*) 幼体通过对茎的损害破坏了穗花狐尾藻 (*Myriophyllum spicatum*) 体内碳水化合物的迁移与储存^[6]。Johnson 等和 Gross 等的研究均表明, 一种鳞翅类 (*Acentria ephemera*) 幼体对穗花狐尾藻 (*M. spicatum*) 的顶端分生组织造成了严重损害^[7, 18]。Pieczyńska 通过室内实验证明静水椎实螺 (*Lymnaea stagnalis*) 能对加拿大伊乐藻 (*E. canadensis*) 的叶片、茎干、顶端均造成不同程度的牧食损伤^[13]。李宽意等也

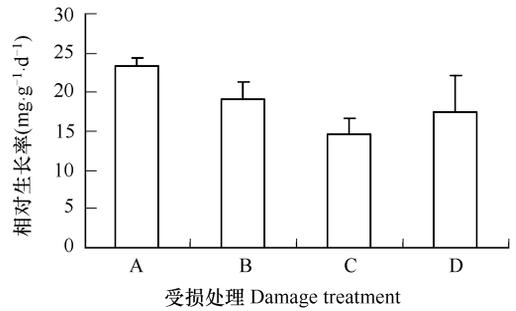


图 1 伊乐藻的相对生长率 (平均值 \pm 标准误)

Fig. 1 The relative growth rates of plant *E. nuttallii* at treatments (Mean \pm SE)

A-对照未受损植物 A- control undamaged plants ; B-去除植物顶端 B- growing tips removed ; C-去除 50% 叶片 C- 50% defoliation ; D-去除顶端与 50% 叶片 D- 50% defoliation and growing tips removed ; 下同 the same below

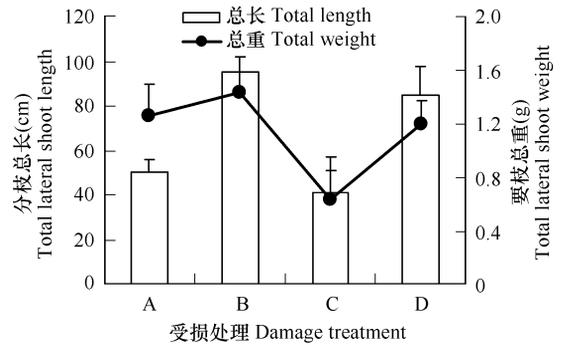


图 3 伊乐藻分枝的总长与总重 (平均值 \pm 标准误)

Fig. 3 Total length and total weight of lateral shoot of *E. nuttallii* at treatments (Mean \pm SE)

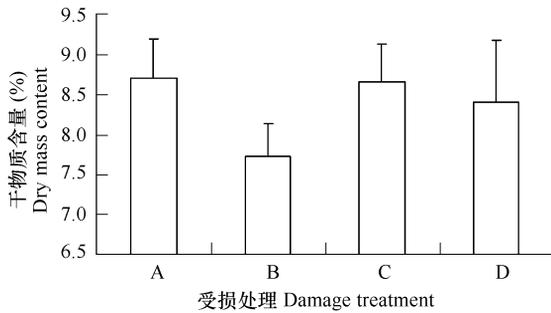


图4 伊乐藻的干物质含量 (平均值 ± 标准误)

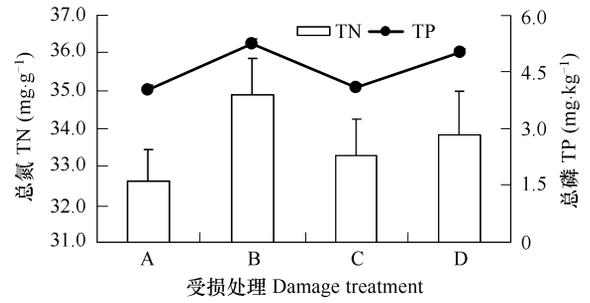
Fig. 4 Dry mass content of *E. nuttallii* at treatments (Mean ± SE)

图5 受损伊乐藻氮、磷的含量 (平均值 ± 标准误)

Fig. 5 Nitrogen and phosphorus content of *E. nuttallii* at treatments (Mean ± SE)

发现椭圆萝卜螺能对几种沉水植物叶片产生明显的损害^[9]。对某些水生植物种类而言,受损后遗留下的植物残体往往具有再生能力。如 Barrat-Segretain 等观察到 16 种水生植物的残体都具有再生能力,其中加拿大伊乐藻 (*E. canadensis*) 的残体均有极高的成活率及再生潜力^[2]。Gross 等也观察到牧食损伤后即使叶片缺失或茎颜色发黄,加拿大伊乐藻 (*E. canadensis*) 残体依然能够长出新的侧枝^[8]。可见,动物对叶片及顶端的损害是植物的常见受损方式,本实验以人工损害方式模拟水生动物对伊乐藻造成的牧食损害,受损后的伊乐藻也表现了明显的再生能力,实验结果与上述文献一致。

关于受损后水生植物生长方面的研究则极少。倪乐意研究表明,加拿大伊乐藻 (*E. canadensis*) 去顶后生长受到明显抑制,主枝的伸长几乎停止,侧枝生长量明显下降^[4]。该结论与本实验的研究结果部分一致,在本实验中,去顶后伊乐藻生长受到显著抑制,主枝也伸长几乎停止,但植物的侧枝长度明显高于未受损植物。其原因可能与实验条件(如水体营养盐的浓度,有无沉积物)等因素有关。伊乐藻侧枝生长的原理可能与陆生植物类似,因为植物的生长素集中在顶枝上,有促进顶枝伸长和抑制侧芽生长的两重作用,由于去顶解除了顶枝的伸长因素和侧芽的抑制因子,因此促进了分枝的生长和抑制了主枝的增高。本实验中,去叶处理也明显抑制了伊乐藻的生长,这与 Pieczyńska 的研究结果一致^[3],其原因是叶片的去除直接降低了植物的光合作用,从而抑制了受损植株的生长。

3.2 东太湖伊乐藻现存量显著增高的原因浅析

据调查资料,1981 年东太湖的沉水植被以轮叶黑藻 (*Hydrilla verticillata*)、竹叶眼子菜 (*Potamogeton malaiianu*)、苦草 (*Vallisneria spiralis*) 为优势种,1986 年引入伊乐藻后十余年,东太湖的沉水植被则主要以伊乐藻和无根植物金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*) 为优势种。其中,伊乐藻的现存总量从 1996 年的 6 万余吨迅速增加到 2002 年的 24 万余吨,分布面积在 2002 年达到了 126.7 km²^[9]。东太湖伊乐藻现存量迅速升高的原因尚未见报道,根据相关文献进行分析得出的主要影响因素有:为了适应迅速扩张的网围养蟹需要、扩充伊乐藻的生物量,在东太湖人为进行的水生植被改造^[20];伊乐藻的快速生长特性使其先于其它水草长到上层水面,在光照充足的上层水面大量分枝,从而抑制了其它水草的生长发育^[21];伊乐藻较耐寒,水温 5℃ 即可生长,而轮叶黑藻、竹叶眼子菜等冬季休眠期较长,早春它们还处于休眠期时,伊乐藻已处于生长期,因而伊乐藻在时空竞争方面占有优势^[21]。另外,由于外源氮、磷等营养物质的不断输入,加剧了东太湖水体的富营养化程度,而伊乐藻具有较强的耐污能力,这使得伊乐藻在与其他沉水植物竞争方面占有优势^[22]。本研究认为,植物的残体可能是东太湖伊乐藻的生物量与面积迅速扩张的另一重要因素,主要理由是:伊乐藻残体可以直接从水体中吸收营养,不宜腐烂死亡,这与其他大多数沉水植物不同^[8];无论何种损害,伊乐藻残体均具有较强的再生能力(本试验结果),每一个残体在条件适宜时着地生根就是一个新的植株,而对于某些水生植物,同有性繁殖相比,其无性繁殖具有更为突出的意义^[23];另外,种子库的分布格局对于植物种群的数量变化以及新种群的建立具有重要作用,由于人为或自然原因造成的种子库的迁移更有利于水生植物快速扩张地盘。

伊乐藻是东太湖网围养蟹的主要饲料来源,人工打捞作业及草食动物摄食所遗留下的伊乐藻的残体数量无疑是相当巨大的,因此东太湖的伊乐藻残体无疑是一个数量庞大的种子库,而实际上东太湖现有的伊乐藻均是1986年引进的雄性植株营养繁殖的后代。当然,植株残体在东太湖伊乐藻种群迅速扩张中的所起作用程度还需大量调查(如种子库调查)及相关原位实验研究来论证。

References :

- [1] Scheffer M, Hopper S H, Meijer M L, *et al.* Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology and Evolution*, 1993, 8 : 275 — 279.
- [2] Carpenter S R, Lodge D M. Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes. *Aquatic Botany*, 1986, 26 : 341 — 370.
- [3] 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.
- [4] Cyr H, Pace M L. Magnitude and patterns of herbivory in aquatic and terrestrial ecosystems. *Nature*, 1993, 361 : 148 — 150.
- [5] Lodge D M, Cronin G, van Donk E, *et al.* Impact of herbivory on plant standing crop : comparisons among biomes, between vascular and nonvascular plants, and among freshwater herbivore taxa. In : Jeppesen, E., Søndergaard, M., Søndergaard, M., Christoffersen, K. eds. *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes*. *Ecological Studies*, 1998. 131 : 149 — 174.
- [6] Chen H D, He C H. The biomass of aquatic macrophytes and reasonable utility of fishery in East Lake. *Memoirs of Hydrobiologia*, 1975, 5 (3) : 410 — 419.
- [7] Armellina A A D, Bezic C R, Gajardo O A. Submerged macrophyte control with herbivorous fish in irrigation channels of semiarid Argentina. *Hydrobiologia*, 1999, 415 : 265 — 269.
- [8] Yang Q X, Li W C. Migration of *Elodea nuttallii* in East Taihu Lake. No 6. *Memoirs of Nanjing Institute of Geography and Limnology*, Academia Sinica. Beijing : Science Press, 1989. 6 : 84 — 92.
- [9] Gu X H, Zhang S Z, Bai X L, *et al.* Evolution of community structure of aquatic macrophytes in East Taihu Lake and its wetlands. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 26 (7) : 1541 — 1548.
- [10] Lodge D M. Herbivory on freshwater macrophytes. *Aquatic Botany*, 1991, 41 : 195 — 244.
- [11] Hutchinson G E. A treatise on limnology III. *Limnological Botany*. Chichester : Wiley, 1975, 15 — 24.
- [12] Barrat-Segretain M H, Henry C P, Bornette G. Regeneration and colonization of aquatic plant fragments in relation to the disturbance frequency of their habitats. *Archiv fuer Hydrobiologie*, 1999, 145, 111 — 127.
- [13] 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.
- [14] Ni L Y. Effects of apex cutting on growth of *Elodea canadensis* St. John. *Acta Hydrobiologia Sinica*, 1999, 23 (4) : 297 — 303.
- [15] Huang X F. Survey, observation and analysis of lake ecology. Beijing : Standards Press of China, 1999. 72 — 79.
- [16] Newman R M, Holmberg K L, Biesboer D D, *et al.* Effects of a potential biocontrol agent, *Euhrychiopsis lecontei*, on Eurasian watermilfoil in experimental tanks. *Aquatic Botany*, 1996, 53 : 131 — 150.
- [17] Johnson R L, Gross E M, Hairston Jr N G. Decline of the invasive submersed macrophyte *Myriophyllum spicatum* (Haloragaceae) associated with herbivory by larvae of *Acentria ephemerella* (Lepidoptera). *Aquatic Ecology*, 1998, 31 : 273 — 282.
- [18] Gross E M, Johnson R L, Hairston Jr N G. Experimental evidence for changes in submersed macrophyte species composition caused by the herbivore *Acentria ephemerella* (Lepidoptera). *Oecologia*, 2001, 127 : 105 — 114.
- [19] Li K Y, Liu Z W, Hu Y H, *et al.* Snail *Radix swinhoei* (H. Adams) herbivory on three submersed plants. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (10) : 3221 — 3224.
- [20] Yang Q X. Ecological functions of aquatic vegetation in East Taihu Lake and its reasonable regulation. *Journal of Lake Sciences*, 1998, 10 (1) : 67 — 72.
- [21] Hu Y H. Testing study of biomass, production and competitive growth of *Elodea nuttallii* and other submersed plants. *Journal of Lake Sciences*, 1996, 8 (supplement) : 73 — 78.
- [22] Zhu W, Zhang L F, Cao J S, *et al.* Experimental research on growth of *Potamogeton crispus* and *Elodea nuttallii* under different polluted water. *Water Resources Protection*, 2006, 22 (3) : 36 — 39.
- [23] Grace J B. The adaptive significance of clonal reproduction in angiosperms : an aquatic perspective. *Aquatic Botany*, 1993, 44 : 159 — 180.

参考文献 :

- [6] 陈洪达,何楚华. 武昌东湖水生维管束植物生物量及其在渔业上的合理利用问题. *水生生物学集刊*, 1975, 5 (3) : 410 ~ 419.
- [8] 杨清心,李文朝. 伊乐藻在东太湖的引种. *中国科学院南京地理湖泊研究所集刊*, 第6号. 北京 : 科学出版社, 1989, 6 : 84 ~ 92.
- [9] 谷孝鸿,张圣照,白秀玲,等. 东太湖水生植物群落结构的演变及其沼泽化. *生态学报*, 2005, 25 (7) : 1541 — 1548.
- [14] 倪乐意. 切除顶枝对加拿大伊乐藻生长的影响. *水生生物学报*, 1999, 23 (4) : 297 — 303.
- [15] 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.
- [19] 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.
- [20] 杨清心. 东太湖水生植被的生态功能及调节机制. *湖泊科学*, 1998, 10 (1) : 67 ~ 72.
- [21] 胡耀辉. 伊乐藻等几种沉水植物的生物量和生产量测定以及竞争态势试验. *湖泊科学*, 1996, 8 (增刊) : 73 ~ 78.
- [22] 朱伟,张兰芳,操家顺,等. 水污染对菹草及伊乐藻生长的影响. *水资源保护*, 2006, 22 (3) : 36 ~ 39.