

不同基质下菹草的生长及其对水体营养盐的吸收*

高华梅^{1,2}, 谷孝鸿^{1**}, 曾庆飞¹, 毛志刚^{1,2}, 周露洪^{1,2}

(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 100049)

摘要: 设置两组实验分别研究不同基质对菹草生长繁殖的影响以及菹草对不同基质下水体营养盐的吸收净化作用. 结果表明: 湖泥、混合基质及黄土三种基质对菹草的生物量变化及石芽的形成有比较明显的差别, 氮磷养分含量高的湖泥更有利于菹草植株的生长, 其生物量增长幅度最大, 混合基质次之, 氮磷含量最低的黄土最差; 黄土基质下菹草石芽产生的时间最早; 混合基质下产生石芽数量最多. 3、4 月份菹草水体中不同形态的氮浓度均低于空白组, 最大净化效率达 74%, 构成水体营养盐氮的汇; 菹草对不同基质下水体中氮的净化效率表现为: 湖泥 > 混合底泥 > 黄土; 菹草对水体磷的控制吸收作用不明显, 甚至有加快磷转换释放的作用; 6 月份处于腐败分解阶段的水草组水体营养盐浓度普遍高于对照组, 构成水体营养增加的源.

关键词: 菹草; 基质; 生长繁殖; 营养盐

Growth of *Potamogeton crispus* L. and its influence on the water quality under different substrate types

GAO Huamei^{1,2}, GU Xiaohong¹, ZENG Qingfei¹, MAO Zhigang^{1,2} & ZHOU Luhong^{1,2}

(1: State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China)

(2: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P. R. China)

Abstract: Two groups of experiments were set up to study the growth and reproduction of *Potamogeton crispus* L. and the absorption of *Potamogeton crispus* L. to nutrients in the water body on different substrates. The results showed that lake mud, mixed substrate and loess had different effect on the growth of plants. The formation of turion appeared earliest under loess-substrate and the number was highest under mixed-substrate. Different forms of nitrogen concentration in experimental group were lower than the control group, with the largest removal efficiency up to 74% during March and April. The purification efficiencies of water under three kinds of substrates was as follows: lake mud > mixed sediment > loess. Absorption of phosphorus of *P. crispus* was not obvious, however, *P. crispus* speeded up the transformation and the release. Nutrient concentration in the water under experimental groups was generally higher than control groups in the decomposition phase of the group of water plants.

Keywords: *Potamogeton crispus* L.; sediments; growth and reproduction; nutrition

菹草 (*Potamogeton crispus* L.) 是一种世界广布的眼子菜科多年生沉水植物, 秋季发芽, 冬春生长, 4-5 月份开始繁殖, 形成无性繁殖器官石芽, 之后逐渐衰退腐烂^[1]. 菹草的发芽及生长受温度、光照、底泥的营养盐状况及溶氧条件等多种环境因子的影响^[2-6]. 菹草对污染水体具有较高的净化效率^[7-9], 特别是在冬季净化水体中起重要作用. 菹草的生长还能提高环境的生物多样性^[10], 对维持生态系统平衡具有重要意义. 然而菹草的过度繁殖也会对环境带来一定的危害^[11].

国内外对菹草的研究表明, 菹草主要通过根系获得大量的营养盐, 因此菹草的生物量、植株密度及组织

* 国家水专项项目(2008ZX07101-012-02)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(SCX2-YW-N-47-03)联合资助.
2009-12-04 收稿; 2010-03-23 收修改稿. 高华梅, 女, 1984 年生, 硕士; E-mail: gaohuamei2007@126.com.

** 通讯作者; E-mail: xhgu@niglas.ac.cn.

中营养盐浓度等都主要依赖于基质类型^[12],但菹草的生长还可以降低水体中氮磷含量及 COD 等,并提高水体透明度和溶解氧含量^[13],对生态系统重建具有重要作用.但是对于菹草在何种基质下的生长最有利于水体中氮磷含量等的降低,以及菹草在其生活史的不同阶段对水体氮磷的影响程度的研究还比较少.因此本实验通过人工构建模拟生态系统,开展基质对菹草的生长繁殖的影响,以及菹草吸收降低水体营养盐所需基质条件和生长阶段的研究.

1 材料与方法

1.1 实验材料

2008 年 8 月收集东太湖菹草石芽,悬置于湖水中使其发芽.2008 年 11 月挑选出生长状况相近的幼苗以供实验.选取太湖梅梁湾中的底泥及岸边的黄土,设计成湖泥、混合底泥(湖泥与黄土 1:1 均匀混合)及黄土三种基质.湖泥营养物质包括 2.543g/kg 总氮、0.866g/kg 总磷、5.024% 有机质;混合底泥营养物质包括 2.397g/kg 总氮、0.648g/kg 总磷、3.773% 有机质;黄土营养物质包括 1.944g/kg 总氮、0.498g/kg 总磷、3.182% 有机质.实验用水取自太湖梅梁湾.

1.2 实验设计

为研究基质对菹草生长繁殖的影响,取 6 个直径 15cm,高 30cm 的圆柱形容器,编号 1-6 号;取混合均匀的上述三种基质(湖泥、混合底泥、黄土),1、3、5 号及 2、4、6 号容器(两组重复)分别装入 10cm 厚以上各基质;选取植株叶片数量和长短相近的菹草 42 株,按其平均重量分为 6 份并植入各容器内;用原位湖水注满容器,并在实验过程中及时用蒸馏水补充由于蒸发损失的水分.实验在温室下进行,于 2008 年 11 月 23 日开始,到 2009 年 4 月 9 日结束.

为研究菹草的生长对不同水体营养盐浓度变化的影响,取 12 个容积为 60L 的蓝色塑料桶,编号 1-12 号,分三组(1-4 号、5-8 号、9-12 号),每组前三个为实验组(3 个重复),后一个为空白对照.各组分别加入 15cm 厚的以上三种底质;每个实验组分别移入 10 株长度为 10-15cm 的菹草.小心地向各实验组和空白组中注入 40L 原位湖水.实验在自然环境下进行,于 2008 年 11 月 19 日开始,到 2009 年 7 月 2 日结束.每月采集上覆水 2-4 次进行水质监测,并观察菹草生长状况.实验过程中及时添加蒸馏水补充由于蒸发损失的水分.

1.3 参数测定及其方法

水质指标的测定:采集的水样由玻璃纤维滤膜(Whatman GF/C)过滤后,测其溶解性总氮(DTN)、溶解性总磷(DTP)、氨氮($\text{NH}_4^+ \text{-N}$)、亚硝态氮($\text{NO}_2^- \text{-N}$)、硝态氮($\text{NO}_3^- \text{-N}$)及磷酸根($\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$)等指标.其中 DTN、DTP 采用过硫酸钾消解法同时测定, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 采用纳氏试剂法测定, $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 采用 N-(1-萘基)乙二胺光度法测定, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 采用酚二磺酸法测定, $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ 采用钼锑抗比色法测定.以上测定方法均参照《湖泊富营养化调查规范》^[14].

2 结果与分析

2.1 基质对菹草生长及繁殖的影响

2.1.1 基质对菹草生物量的影响 对第一组实验的分析结果可以看出,湖泥、混合底泥及黄土三种基质下菹草的生长状况具有明显差别.实验结束时菹草平均株长分别增加了 3.0、1.8 和 1.2 倍;总株重分别增加了 33.8、25.6 和 14.4 倍(图 1).三种基质下,湖泥最有利于菹草的生长,混合底泥次之,黄土最差,说明营养状况较好的底泥环境更适合菹草生长.

实验结束时三种基质下,植株地上部分与地下部分生物量之比分别为 10.9、5.3 和 4.0,有明显的下降趋势.实验测得根系的平均长度分别为 13、23.1、15.8cm,以混合底泥下最长;湖泥基质下根系容易断裂,并且根尖出现了腐烂变黑的现象.由此可见,在营养状况较差的基质下,菹草会将更多的物质和能量分配给根系来保证营养盐的吸收,而富营养化的底泥则由于其较强的还原性而对根系产生一定的毒害作用.

2.1.2 基质对菹草石芽产生数量的影响 观察发现,黄土下的菹草在 3 月下旬即开始形成石芽,同期其它基

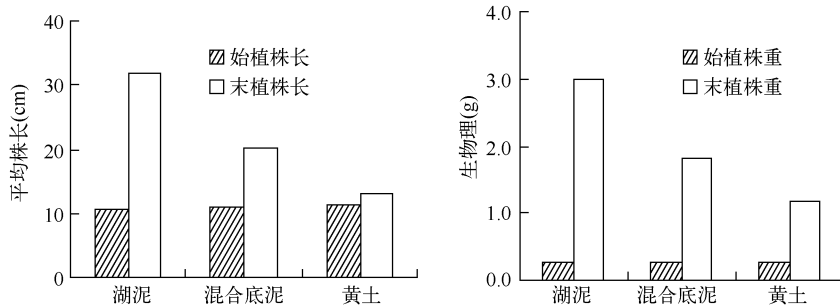


图1 实验前后菹草平均株长及生物量变化情况

Fig. 1 Changes of the average length and biomass of *Potanmongeton crispus* L. during the experimental time

质下的菹草未出现石芽;各基质下菹草石芽产生时间的先后顺序为:黄土最早,混合底泥次之,湖泥最晚.至4月初,各实验组的菹草均已石芽生成,有的已经开始成熟脱落.2009年4月9日对各实验组的菹草进行收割,各实验组石芽产生情况见表1.

菹草石芽产生的平均个数以混合底泥

条件下最多,湖泥与黄土基质下石芽产生的个数则相差不大.石芽的总重量以湖泥下最小,另外两种基质下则相差不大,这与袁龙义等得到的低营养底质下石芽生物量显著高于高营养底质的结论相似^[15].石芽的平均重量以黄土基质下最大,这是由于黄土基质下石芽开始形成和成熟最早,实验结束时黄土基质和混合底泥下菹草石芽已基本成熟,而湖泥下的仍处于发育中期.

2.2 菹草对不同基质下水体营养盐的吸收净化作用

2.2.1 不同生长阶段菹草对氮的吸收净化作用 由第二组实验发现,3月份开始菹草生长旺盛,三种基质下的菹草以湖泥条件下生长最好,混合底泥次之,黄土最差.4月份,各实验组菹草达到其生长最旺盛的时期,各实验组水体均透明见底,水质明显好于对照组.4月底菹草开始产生石芽,5月份逐渐成熟至脱落;6月初菹草开始死亡分解,但尚有水绵等生长.根据以上现象将实验分为正常生长期(3、4月),石芽产生期(5月),死亡分解期(6、7月)进行研究.

菹草生长对水体氮有明显的吸收作用,而死亡分解增加了水体的氮含量.实验组水体中各种形态的氮浓度大都随着时间先下降后上升:4月份最低,6月份最高,7月份又有所下降(图2).湖泥基质下菹草对水体各种形态的氮尤其是 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的净化作用明显;对混合底泥及黄土下水体氮也有一定的净化作用.从5月份起实验组各种形态的氮浓度普遍高于对照组,说明随着死亡及分解,菹草开始向水体释放营养盐氮.

从去除效果来看,菹草对DTN及 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 等的去除效果以湖泥水体最好,混合底泥次之,黄土最差.与空白组相比,4月份湖泥下菹草对水体DTN的去除率为74.0%,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率可达到92.2%,混合底泥下对水体DTN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率分别为42.5%和10.5%,黄土下对水体DTN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率分别只有18.8%和4.1%.5月份起菹草对水体营养盐氮的净化效果明显降低,实验组水体氮浓度开始高于空白组.7月份湖泥下菹草对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率下降到15.5%,DTN浓度则比空白组高出41.8%;黄土下实验组的相应浓度则比空白组高出217.6%和60.6%.这说明处于生长阶段的菹草是水体尤其是富营养化水体中氮的一个明显的汇,而处于分解阶段的菹草则是一个污染源.

2.2.2 不同生长阶段菹草对磷的吸收净化作用 菹草生长对水体磷有一定的吸收作用,其死亡分解则向水体释放磷.各种基质下水体中磷浓度的变化趋势均为先下降后上升;各组水体中磷含量在3月份处于最低,随后逐渐升高,5月份水体中溶解性总磷浓度明显升高,相应的磷酸根浓度则变化不大(图3).与氮浓度变

表1 不同基质下菹草石芽产生个数及重量比较

Tab. 1 The number and weight of *Potanmongeton crispus* L. turions on the different sediments

基质类型	平均数(个)	最大数(个)	平均重量(g)	总重量(g)
湖泥	8.5	10	0.02	0.21
混合底泥	15	23	0.08	1.17
黄土	9.5	13	0.11	1.01

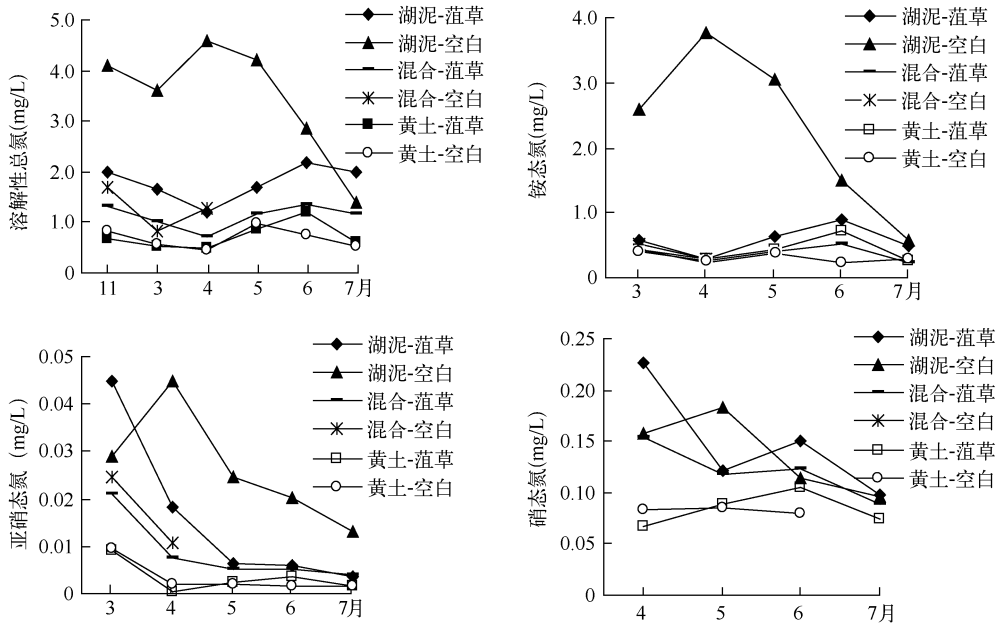


图2 水体中溶解性总氮、铵态氮、亚硝态氮及硝态氮浓度随时间变化

Fig. 2 Changes of the concentration of DTN, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$, $\text{NO}_2^- \text{-N}$ and $\text{NO}_3^- \text{-N}$ in the water column

化不同的是,从4月份起,各基质下实验组水体中的磷浓度几乎均高于空白组,说明菹草对水体营养盐磷的吸收净化作用不如氮明显.

菹草对水体磷的吸收不如对氮明显,而菹草死亡则会使水体氮含量明显上升.与空白组相比,湖泥下菹草在3月份对水体DTP和 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ 的去除率最大,分别为40.4%和10.8%,4月份起则开始为负值;黄土组水体的磷含量普遍高于空白组,这可能是由于在营养浓度较低的水体中,菹草的生长有利于底泥中的磷向水体释放.

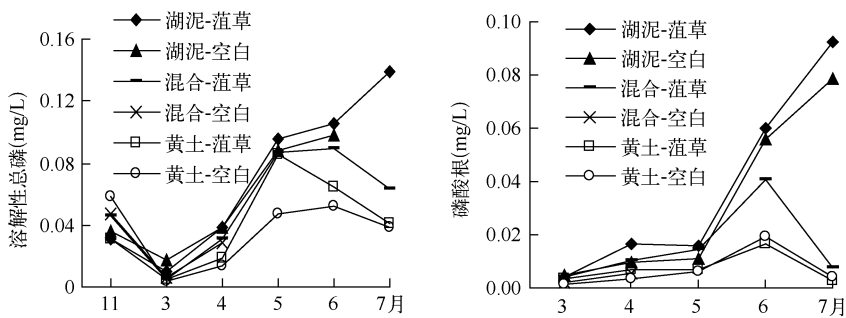


图3 水体中溶解性总磷及磷酸根浓度随时间变化

Fig. 3 Changes of the concentration of DTP and $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ in the water column

3 讨论

菹草是一种对富营养条件具有较强耐受性的沉水植物,在底泥及水体营养盐浓度较高的条件下仍能够较好生长,并且基质的营养状况直接影响菹草的生长繁殖.在一定范围内,营养水平较高的基质对菹草拓殖具有积极作用,甚至容易造成暴发式生长^[11],但就单株菹草来说,基质营养盐含量过高或过低都会造成一定

的生长限制.底泥营养盐胁迫会造成菹草根系统与叶冠的相对生长速率差异^[15],营养盐浓度过高会使菹草叶冠的生长速率大于根系生长速率,并且由于腐殖质含量过高的底泥造成的厌氧条件容易对植株根系造成损伤,不利于菹草对风浪等的防御能力以及其自身的生长繁殖;基质营养盐含量过低则会导致根系的生长速率较大,植株需要消耗大量能量应对不利环境.基质的营养状况对菹草的影响还表现在石芽的产生时间和数量上.实验条件下菹草石芽形成时间提前比在自然水体中早,并且营养状况最差的黄土基质下石芽产生的时间最早,说明菹草的繁殖受基质及生长环境影响较大,但同时也说明菹草具有较强的适应能力,可作为污染水体生态修复的一种先锋植物.

沉水植物对水体营养盐的直接吸收转化能力的研究是利用沉水植物进行生态修复的一个主要内容.研究表明,菹草对水体中的氮有一定的去除效果,对磷的去除效果则不如氮明显^[8].金送笛等认为,菹草主要从底泥中吸收氮磷,茎叶对水体中的营养盐的吸收也是以 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 为主,对 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ 的吸收很少^[7].但从总体上看,菹草有利于富营养化水体中氮磷的去除,并且由于其冬春生长的特殊生活史,菹草也成为冬春时期进行生态修复的优选物种.由于菹草一般是在温度较高的6、7月份死亡腐败,因而在大范围的菹草水体中可能会导致水体可溶性氮磷的增多.可溶性氮磷可以直接被蓝藻等吸收利用,在利用菹草进行生态修复中,如果任其腐烂分解,则有可能促进蓝藻的过度生长.因此在利用菹草进行水质净化时需在4月底或5月初对菹草进行收割,避免造成二次污染.

4 参考文献

- [1] Catling PM, Dobson I. The biology of Canadian weeds. 69. *Potamogeton crispus* L. *Canadian Journal of Plant Sci*, 1985, **65**: 655-668.
- [2] 陈小峰,陈开宁,肖月娥等.光和基质对菹草石芽萌发、幼苗生长及叶片光合作用效率的影响.应用生态学报,2006,**17**(8):1413-1418.
- [3] 简永兴,王建波,何国庆等.水深、基质、光和去苗对菹草石芽萌发的影响.水生生物学报,2001,**25**(3):224-229.
- [4] Wu J, Cheng SP, Liang W *et al.* Effects of sediment anoxia and light on turion germination and early growth of *Potamogeton crispus*. *Hydrobiologia*, 2009, **628**(1): 111-119.
- [5] Jiang JH, Zhou CF, An SQ *et al.* Sediment type, population density and their combined effect greatly change the short-time growth of two common submerged macrophytes. *Ecological Engineering*, 2008, **34**(2): 79-90.
- [6] 金送笛,李永涵,王永利.几种生态因子对菹草光合作用的影响.水生生物学报,1991,**15**(4):295-301.
- [7] 金送笛,李永涵,倪彩虹等.菹草对水中氮、磷的吸收及若干影响因素.生态学报,1994,**14**(2):168-173.
- [8] 王文林,王国祥,李强等.菹草-伊乐藻群落对富营养化水体水质的净化效果.南京师大学报(自然科学版),2006,**29**(4):111-116.
- [9] Mi WJ, Zhu DW, Zhou YY *et al.* Influence of *Potamogeton crispus* growth on nutrients in the sediment and water of Lake Tangxunhu. *Hydrobiologia*, 2008, **603**: 139-146.
- [10] 李永涵,金送笛,刘国才.菹草型水体的理化因子和水生生物状况.大连水产学院学报,1992,**6**(2):1-11.
- [11] 张金路,段登选,王志忠.东平湖菹草大面积衰亡的危害及防治对策.环境研究与监测,2009,(2):31-33.
- [12] Chambers PA, Prepas EE, Bothwell ML *et al.* Roots versus shoots in nutrient uptake by aquatic macrophytes in flowing waters. *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Sciences*, 1989, **46**: 435-439.
- [13] Wang B, Zhou LP, Li W. Preliminary studies on the purifying function and its physiological reaction of *Potamogeton crispus* under different water qualities. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2002, **20**:150-152.
- [14] 金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范.北京:中国环境科学出版社,1990.
- [15] 袁龙义,陶玲,李伟等.底质营养盐对菹草生长及养分分配的影响.长江流域资源与环境,2009,**18**(3): 234-240.