

## 6 种常见沉水植物对水体的净化作用研究

雷婷文<sup>1</sup>, 魏小飞<sup>1</sup>, 戴耀良<sup>2</sup>, 郭跃华<sup>1</sup>, 许建新<sup>1\*</sup>

科学院仙湖植物园, 广东深圳 518004)

(1. 深圳市铁汉生态环境股份有限公司, 广东深圳 518000; 2. 深圳市中国

**摘要** [目的] 探讨 6 种常见沉水植物对水体的净化效果。[方法] 利用苦草、金鱼藻、穗状狐尾藻、菹草、轮叶黑藻、伊乐藻 6 种常见沉水植物, 对富营养化水体进行净化, 分析不同沉水植物对水体氮、磷等营养物质的去除效果和动态规律。[结果] 6 种沉水植物均能够在富营养化水体中生长, 且均能够有效地去除水体中的氮、磷等营养盐; 与其他几种沉水植物相比, 苦草能够更加有效地降低水体中的总氮(TN)、总磷(TP)和氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)浓度; 试验结束时, 苦草组植物生物量最大, 但均集中于水体底部。[结论] 6 种沉水植物中, 苦草更适用于富营养化水体的生态修复。

**关键词** 富营养化; 沉水植物; 氮; 磷; 水体净化

**中图分类号** S181; X173 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)36-160-02

## Research on Water Purification of 6 Common Submerged Macrophytes

LEI Ting-wen<sup>1</sup>, WEI Xiao-fei<sup>1</sup>, DAI Yao-liang<sup>2</sup>, XU Jian-xin<sup>1\*</sup> et al (1. Shenzhen Techand Ecology and Environment Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000; 2. Fairy Lake Botanical Garden, Shenzhen & Chinese Academy of Science, Shenzhen, Guangdong 518004)

**Abstract** [Objective] The aim was to discuss the water purification effect of 6 common submerged macrophytes. [Method] 6 common submerged macrophytes (such as *Vallisneria spiralis*, *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton crispus*, *Hydrilla verticillata* and *Elodea nuttallii*) were used to purify simulated eutrophic water, and the removal effects and dynamic regulations of the 6 common submerged macrophytes on the nutrients (such as nitrogen and phosphorus) were analyzed. [Result] All of the 6 species above could grow in the eutrophic water and efficiently remove aquatic nutrients such as nitrogen and phosphorus. *V. spiralis* was the most efficient for removal of the nutrients among the 6 species. At the end of this experiment, *V. spiralis* had the biggest biomass, and all plants gathered at the bottom of the barrels. [Conclusion] In comparison with the other 5 species, *V. spiralis* is the most applicable for the restoration of eutrophic water.

**Key words** Eutrophication; Submerged macrophytes; Nitrogen; Phosphorus; Water purification

在现代社会的快速发展和人类活动的双重影响下, 湖泊富营养化引发的环境问题日趋严重<sup>[1-2]</sup>, 2007 年太湖发生大面积水华, 导致无锡数十万群众饮水出现问题<sup>[3]</sup>, 造成了严重的社会影响和经济损失。因此, 湖泊水体的富营养化问题急需解决。

沉水植物作为淡水生态的初级生产者, 能够为各种水生生物提供食物、栖息和繁育场所, 同时还能改善水体的溶氧和光照条件, 增加水体的空间生态位<sup>[4]</sup>, 还在水体物质和能量循环中起着重要作用<sup>[5]</sup>。研究表明, 沉水植物能明显改善富营养化水体中的营养盐含量及浮游藻类含量, 从而改善水质<sup>[6-10]</sup>。因此, 常利用沉水植物对富营养化湖泊水体进行生态修复。笔者利用 6 种常见的沉水植物, 对富营养化水体进行净化, 比较不同沉水植物的净化能力, 以期为今后富营养化水体的生态修复提供理论支持和科学依据。

## 1 材料与方 法

**1.1 试验材料** 试验所用苦草(*Vallisneria spiralis*)、金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、穗状狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)、菹草(*Potamogeton crispus*)、轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*)、伊乐藻(*Elodea nuttallii*)均采自东莞桥头镇生态农业示范园, 选择生长状态良好的植株, 洗净后修剪至规格一致

(10~15 cm)待用; 试验用水为东莞桥头镇生态农业示范园生活污水; 底泥采自东莞桥头镇生态农业示范园池塘, 筛网去除大型无脊椎动物和杂质后混匀待用; 试验装置为 500 L 白色聚乙烯桶, 规格为直径 1 m、高 0.84 m。

**1.2 试验设计** 试验共设 7 个处理组, 分别为苦草组、黑藻组、金鱼藻组、伊乐藻组、狐尾藻组、菹草组、空白组, 每个处理 3 个平行, 除空白组外, 每个平行种植植物生物量为 100 g。每个试验桶均铺设约 10 cm 厚底泥, 加水至距桶上沿约 5 cm 处, 待桶内水体条件稳定后, 种植沉水植物。试验于 2015 年 4 月 28 日~6 月 11 日进行, 共计 45 d; 试验期间水体温度为 25.3~31.8 ℃, 各处理组之间无明显差异。

**1.3 试验指标及测定方法** 试验过程中对所有试验桶水体总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)浓度进行测定, 待桶内水体条件稳定后, 采集水样一次作为本底值, 种植植物后每 3 d 采集水样一次, 用于水体理化指标的测定。同时 YSI 测定实时的水体温度、pH 等指标, 用于检测试验桶内是否存在异常情况。TN 测定采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法; TP 测定采用碱性过硫酸钾消解钼酸铵分光光度法; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 测定采用纳氏试剂比色法<sup>[11]</sup>。

**1.4 数据处理及统计分析** 所有试验数据均用 Microsoft Excel 2010 处理并生成图形; 所有试验数据的描述性统计分析及检验统计均采用 SPSS19.0 进行, 其中显著性水平为  $P < 0.05$ , 极显著性水平为  $P < 0.01$ 。

## 2 结果与分析

**2.1 不同处理组总氮浓度的变化** 由图 1 可知, 与 2015 年 4 月 28 日试验开始时相比, 6 月 11 日试验结束时菹草组与空白组 TN 浓度出现了显著的下降( $P < 0.05$ ), 苦草组、轮叶

**基金项目** 深圳市人居环境委资助项目: 功能型沉水植物筛选及其生态修复应用研究; 深圳市发改委资助项目: 生态修复抗逆植物育种及产业化项目(深发改[2014]880号); 广东省产业技术研究与开发专项资金项目: 广东省铁汉生态环境修复工程实验室。

**作者简介** 雷婷文(1989-), 女, 湖南郴州人, 助理工程师, 硕士, 从事水生态修复研究。\* 通讯作者, 高级工程师, 博士, 从事抗逆植物选育和生态修复技术研发工作。

**收稿日期** 2015-12-07

黑藻组、金鱼藻组、伊乐藻组、狐尾藻组的 TN 浓度均出现了极显著的下降 ( $P < 0.01$ ); 试验结束时, 金鱼藻组、伊乐藻组、苦草组 TN 的去除率较高, 分别为 62.70%、61.36% 和 59.62%, 其次为黑藻组 (53.06%)、狐尾藻组 (49.64%)、菹草组最低 (40.51%)。

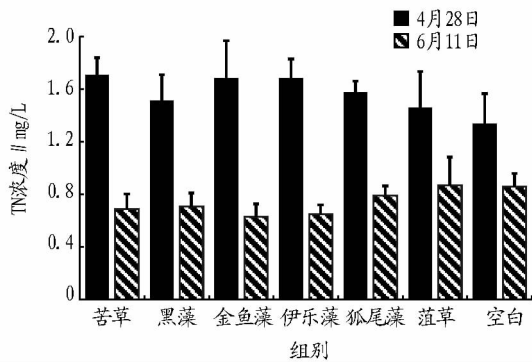


图1 不同处理总氮浓度变化

**2.2 不同处理氨氮浓度的变化** 由图2可知, 与4月28日试验开始相比, 6月11日试验结束时各处理组氨氮浓度均出现了极显著的下降 ( $P < 0.01$ ), 其中金鱼藻组、伊乐藻组、苦草组对氨氮的去除量高于其他组别; 而在氨氮的去除率方面, 苦草组、金鱼藻组的去除率较高, 分别为 73.8% 和 71.6%, 其次为菹草组 (68.9%)、伊乐藻组 (68.2%)、狐尾藻组 (66.5%)、黑藻组 (62.4%) 较低。

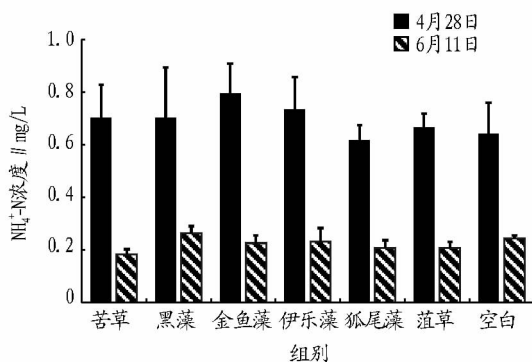


图2 不同处理氨氮浓度变化

**2.3 不同处理总磷浓度的变化** 由图3可知, 6月11日试验结束时, 各处理组总磷浓度均出现了下降, 但苦草组和伊乐藻组下降显著 ( $P < 0.05$ ), 其余组别均不显著 ( $P > 0.05$ ); 在对总磷的去除率方面, 苦草组和伊乐藻组也明显高于其他组别, 分别为 45.83% 和 47.06%, 其次为黑藻组 (20.00%)、狐尾藻组 (17.65%)、菹草组 (15.00%)、金鱼藻组的最低 (7.14%)。

**2.4 不同处理植物生物量的变化** 由图4可知, 6月11日试验结束时, 各处理组沉水植物生物量均出现了显著的增长 ( $P < 0.05$ ), 其中苦草组植物生物量最高, 为 2769.4 g, 增长了约 26 倍; 其次为伊乐藻组, 为 1775.2 g, 增长了约 17 倍, 其余组别均低于苦草组和伊乐藻组。在试验结束时, 苦草组植株均处于水体底部, 而其他组别的植株绝大多数已生长至水面, 与苦草组相比更容易形成植物群落的疯长, 因此在直接感官方面苦草要优于其他几种沉水植物。

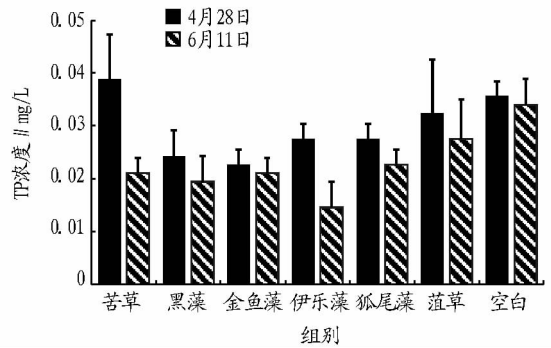


图3 不同处理总磷浓度变化

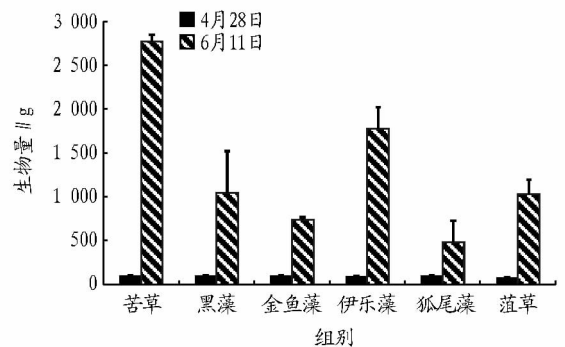


图4 不同处理植物生物量变化

### 3 讨论与结论

研究表明, 沉水植物能够有效地去除富营养化水体中氮、磷等营养盐, 降低水体的富营养化程度<sup>[12]</sup>, 且不同类型的沉水植物对氮、磷等营养盐的去除效率不同<sup>[13]</sup>。田琦等利用 5 种沉水植物对乌龙潭富营养化水体进行净化, 发现 5 种沉水植物均具有一定改善水环境的能力, 不同沉水植物对于总氮、总磷、溶解氧、叶绿素 a 的去除能力有所差异<sup>[14]</sup>; 任文君等也曾比较 4 种沉水植物对白洋淀富营养化水体的去除能力, 发现 4 种沉水植物对水体各形态氮磷的去除效率不同<sup>[15]</sup>。该研究显示, 试验所用 6 种沉水植物均能有效地去除水体中的氮、磷等营养盐含量; 在去除水体 TN 方面, 苦草、伊乐藻、金鱼藻的去除率更高, 相对于其他几种沉水植物体现出更好的去除效果; 在去除水体氨氮方面, 苦草和金鱼藻表现出更好的优势; 在去除 TP 方面, 苦草和伊乐藻则比其他几种沉水植物更加有效。因此, 苦草比其他几种沉水植物能更加有效地去除引发水体富营养化的氮、磷等营养元素。

在利用沉水植物进行富营养化水体生态修复时, 植物的大量繁殖一直是一个难以解决的问题, 尤其是伊乐藻和轮叶黑藻等冠层型沉水植物, 其生物量主要集中于水体表面, 容易引起水体底部的光照不足和缺氧, 从而影响整个水生生态系统<sup>[16]</sup>。在该试验中, 虽然在试验结束时苦草生物量最大, 但因为其属于草甸型沉水植物, 其生物量主要集中于沉积物表面, 不易引起水体下层的缺氧和光照不足, 同时还能有效地抑制由于鱼类活动等引起的沉积物再悬浮。在植物的生

(下转第 196 页)

质产生影响。从不同处理产量的结果来看,有机肥处理下果树产量显著高于其他处理。有机肥与化肥配施,不仅通过有机肥直接补充了苹果系统中的土壤养分,而且又通过调节土壤与化肥养分的释放强度和速率,从而使苹果各生育阶段得到更加均衡的矿质营养,从而提高了苹果产量<sup>[12]</sup>,其增产幅度为3.23%~8.92%。大量研究表明,施用有机肥可大幅度提高苹果的产量,同时增加果实中 $V_C$ 含量等指标,使果实品质得到改善<sup>[13-15]</sup>。该试验结果表明,施用有机肥可提高果实中 $V_C$ 含量、固酸比,改善苹果风味。这是由于有机肥含有植物生长必需的大量元素、微量元素及植物生长调节物质,可被植物直接吸收利用,而且有机肥含有大量的微生物和酶,对提高果实品质有着不可替代的作用。

苹果树的正常生长往往受土壤环境的影响,土壤理化性质与苹果质量息息相关。烟台地区是红富士苹果的主产区,近年来,土壤酸度是制约烟台地区苹果产量和品质的重要限制因素之一,已严重制约苹果质量的进一步提高。国内外相关研究普遍认为,有机物料可改善土壤酸度,可直接为作物提供养分,还可为微生物提供能源,从而间接提高土壤养分积累和供应能力<sup>[16]</sup>。该试验结果表明,与习惯施肥相比,施用生物有机肥可有效改善酸化土壤的化学性质,其土壤pH、碱解氮含量、有机质含量均有不同程度的提高。引起烟台果园酸化的原因主要是苹果园管理过程中的施肥环节常因施肥不平衡、偏施氮肥、少施有机肥以及氮肥的过量施用,造成盐基失衡、土壤饱和度下降、土壤pH降低,导致苹果园土壤酸化。相关研究表明,有机质对 $NH_4^+$ 进入晶原间有机物的阻碍作用,并且能够防止晶层的收缩,减少氮的固定。增施有机肥能够提高氮的利用率,并有效减弱化肥对土壤酸化的

强烈作用<sup>[17]</sup>。由此可见,有机质能显著提高土壤对酸碱的缓冲性,使土壤不致因施肥所引起的氢离子的增加而大幅度改变土壤的pH。

## 参考文献

- [1] 夏燕飞,张文会,沈向,等.有机质对苹果园土壤改良剂对果实产量品质的影响[J].北方园艺,2012(21):177-180.
  - [2] 王忠和,李早东,王义华.山东省烟台和威海地区果园土壤有机质含量普查分析[J].中国果树,2010(5):15-17.
  - [3] 隋秀奇,李洪研.果园土壤酸化对果树的危害及改良措施[J].烟台果树,2011(1):49.
  - [4] 谢凯.不同有机肥对梨树生长及土壤性状的影响[D].南京:南京农业大学,2012.
  - [5] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业出版社,1999.
  - [6] 曹健康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007.
  - [7] 王海云.土壤pH值对苹果生长发育影响及其酸害机理研究[D].泰安:山东农业大学,2008.
  - [8] 高晓燕.几种有机肥对梨树生长、果树品质及土壤性状的影响[D].北京:中国农业大学,2007.
  - [9] 韩晓日,邹德乙.主要农作物营养失调诊断图谱[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2011.
  - [10] 杨玉爱,叶正钱,陈峰,等.有机肥延缓日本黄瓜早衰作用的研究[J].土壤学报,1992,29(2):447-459.
  - [11] 文启孝.土壤有机质的组成、形成和分解[J].土壤,1984(4):121-129.
  - [12] 安贵阳.苹果叶营养元素含量的标准值及其影响因素研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2004.
  - [13] 秦承来,尹燕芬,王波,等.施肥对套袋红富士苹果品质的影响[J].落叶果树,2008(2):10-11.
  - [14] 彭水波,张世欣,于明德,等.邦龙TM鱼蛋白有机肥在苹果树上的应用试验[J].山西果树,2004(4):8-10.
  - [15] 屈军涛.旱地红富士苹果高产的生物学原理及精准化栽培技术体系研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2008.
  - [16] 云玲.有机肥对土壤理化性质的影响[J].农业与技术,2010,30(3):65-66.
  - [17] DEVRIES W, BREEUWSMA A. The relation between soil acidification and element cycling[J]. Water, air and soil pollution, 1987, 35: 293-302.
- 
- (上接第161页)
- 长方式和形态方面,苦草也要优于其他几种沉水植物,更适用于富营养化水体生态修复。因此,可以利用苦草有效地降低富营养化水体中的氮、磷等营养元素含量,同时尽量避免由于沉水植物疯长引起的水质恶化,从而恢复水生生态系统中的沉水植被,在整个生态修复过程中具有重要意义。
- ## 参考文献
- [1] 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.
  - [2] PAER H W. Assessing and managing nutrient enhanced eutrophication in estuarine and coastal waters: Interactive effects of human and climatic perturbations [J]. Ecological engineering, 2006, 26: 40-54.
  - [3] 吴峰,战金艳,邓祥征,等.中国湖泊富营养化影响因素研究:基于中国22个湖泊实证分析[J].生态环境学报,2012,21(1):94-100.
  - [4] VALK A G V. The biology of fresh water wetlands [M]. Oxford: Oxford University press, 2006: 113-145.
  - [5] TAKAMURA N, KADONO Y, FUKUSHIMA M, et al. Effects of aquatic macrophytes on water quality and phytoplankton communities in shallow lakes [J]. Ecol Res, 2003, 18: 381-395.
  - [6] 宋福,陈艳卿,乔建荣,等.常见沉水植物对草海水体(含底泥)总氮去除速率的研究[J].环境科学研究,1997,10(4):47-50.
  - [7] 吴振斌,邱东茹,贺锋,等.沉水植物重建对富营养化水体氮磷营养水平的影响[J].应用生态学报,2003,14(8):1351-1353.
  - [8] 童昌华,杨肖娥,濮国民.富营养化水体的水生植物净化试验研究[J].应用生态学报,2004,15(8):1448-1450.
  - [9] 王丽卿,李燕,张瑞雷.6种沉水植物系统对淀山湖水质净化效果的研究[J].农业环境科学学报,2008,27(3):1134-1139.
  - [10] 胡蓬,万成炎,沈建忠,等.沉水植物在富营养化水体生态恢复中的作用及前景[J].水利渔业,2006,26(5):69-71.
  - [11] 金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
  - [12] 张饮江,刘晓培,金晶,等.沉水植物对水体净化的研究进展[J].科学导报,2012,30(27):72-79.
  - [13] 林春风,曹国军,武鹏,等.四种沉水植物对富营养化水体的净化效果研究[J].安徽农业科学,2012,40(10):6083-6085.
  - [14] 田琦,王沛芳,欧阳萍,等.5种沉水植物对富营养化水体的净化能力研究[J].水资源保护,2009,25(1):14-17.
  - [15] 任文君,田在锋,宁国辉,等.4种沉水植物对白洋淀富营养化水体净化效果的研究[J].生态环境学报,2011,20(2):345-352.
  - [16] BARKO J W, SMART R M, MCFARLAND D G, et al. Interrelationships between the growth of *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle and sediment nutrient availability [J]. Aquat Bot, 1988, 32: 205-216.