

两种水生植物对重富营养化水体修复效果研究

常会庆¹, 王世华¹, 徐晓峰¹, 何俊瑜²

(1. 河南科技大学 农学院, 河南 洛阳 471003; 2 贵州大学 农学院, 贵阳 550025)

摘要:为了探索重富营养化水体的植物修复方法,在人工模拟条件下选取了两种水生植物伊乐藻(*Elodea nuttallii*)和黄花水龙(*Jussiaea stipulacea Ohwi*),采用漂浮生长方式对富营养化水体中养分的去除效果进行研究。结果表明:沉水植物伊乐藻在水面漂浮条件下可起到净化水体的作用,对总氮、氨态氮、硝态氮、总磷、COD、叶绿素 a 的去除率分别为 62.9%, 90.83%, 53.90%, 71.21%, 43.33%, 50.05%;漂浮植物黄花水龙对上述污染物的去除效果分别为 93.56%, 97.38%, 99.44%, 97.74%, 52.49%, 58.34%。变异分析表明,两者对这些养分的去除达到了显著水平($P < 0.05$)。黄花水龙对上述污染物的去除效果明显好于漂浮培养条件下的伊乐藻,适合重富营养化水体中养分的去除,而伊乐藻则在水质维持方面发挥更大作用。

关键词:重富营养化; 水生植物; 去除效果

中图分类号:X522

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)05-0262-04

Effects of Two Aquatic Macrophytes on Phytoremediation to Severe Eutrophic Water

CHANG Hui-qing¹, WANG Shi-Hua¹, XU Xiao-feng¹, HE Jun-yu²

(1. College of Agriculture, He'nan University of Science and Technology, Luoyang, He'nan 471003, China; 2. College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: In order to find a feasible phytoremediation to restore severe eutrophic water, two aquatic macrophytes *Elodea nuttallii* and *Jussiaea stipulacea Ohwi* were employed in floating artificial eutrophic water to get insight into differences involved in nutrient removal during incubation periods. The results illuminated that the removal percentages of total nitrogen (TN), ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrate, phosphorus (TP), COD and Chlorophyll by *Elodea nuttallii* were 62.9%, 90.83%, 53.90%, 71.21%, 43.33% and 50.05%, respectively. Corresponding percentages for *Jussiaea stipulacea Ohwi* were 93.56%, 97.38%, 99.44%, 97.74%, 52.49% and 58.34%, respectively. Analysis of variance revealed difference of removal effects between two aquatic macrophytes was significant ($P < 0.05$). So *Jussiaea stipulacea Ohwi* is suited to restore severe eutrophic water because of its strong nutrient removal ability, while *Elodea nuttallii* can play great role in maintaining the water quality.

Key words: severe eutrophic water; aquatic macrophyte; nutrient removal

近年来,地表水体富营养化的加剧已经成为全世界水质最为关注的问题^[1],中国水体富营养化问题尤为突出,已经威胁到人们引用水体的供应,即使在水源丰富的地区,也因为水质的下降导致淡水的缺乏。植物修复技术是处理富营养化水体最具前景的生物技术之一。生长快速并有较高去除养分能力的水生植物用于废水处理和资源化已经引起了研究者的关注。例如水生植物系统可以高效的去除畜禽废水^[2]、生活废水^[3]、工业废水^[4]、水产养殖废水中的养分含量,并可用于处理土壤渗透液^[5]。植物修复技术

还用于处理太湖富营养化水体引用水源工程中^[6]。因此本研究选择漂浮和沉水两种水生植物,采用漂浮式生长方式,研究它们在同一环境条件下对富营养化水体养分的去除效果,为确定有效的植物修复方式和富营养化水体植物深度修复技术提供基础依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

选择两种水生植物伊乐藻(*Elodea nuttallii*)和黄花水龙(*Jussiaea stipulacea Ohwi*)作为试验材料。

收稿日期:2012-03-18

修回日期:2012-04-20

资助项目:河南科技大学博士生基金(2006-09001158)

作者简介:常会庆(1974—),男,山西太谷人,博士,主要从事污染水体修复研究。E-mail:hqchang@126.com

伊乐藻虽然是沉水植物,但是由于它可以直接从水体中吸收养分,因此可以以漂浮的方式进行培养,而且便于收获。伊乐藻不但生长较快,而且是水产养殖良好的饲料,水产养殖方面得到了广泛的应用^[7]。黄花水龙是一种生长在浅水湖泊或河道中的漂浮水生植物。这两种水生植物在太湖流域分布较为广泛,将收集的两种植物于试验开始一周前驯养于温室中。

1.2 试验处理和实施

试验包括3个处理,分别为对照(CK)、沉水植物(*Elodea nuttallii*)(S)和漂浮植物(*Jussiaea stipulacea* Ohwi)(F),每个处理设3次重复。培养容器体积约为60 L,直径为0.6 m,有效深度0.6 m,表面积为0.28 m²。试验设在温室内进行(其中气温为25~35℃,水温27~32℃)。采用人工模拟的富营养化水体,在试验处理前加入葡萄糖, NH₄NO₃ 和 NaH₂PO₄,使得水体中总氮、总磷和氨态氮浓度分别为40.2, 7.99, 19.85 mg/L; pH和COD分别调整至7.02, 41.26 mg/L; 叶绿素a的浓度为75.46 μg/L。第个处理中加入200 g的水生植物,使得水体植物的覆盖率达到容器表面积的一半,空白处理在其上漂浮一个盖子以阻止藻类的生长。伊乐藻漂浮于水面下约0.2 m处。每个处理中加入模拟的富营养化水60 L,每隔一天用去离子水补足由于蒸发而损失的水量,植物生长的温室温度变化为22.4~35.3℃,水温为23.20~32.6℃,试验处理19 d后结束。

1.3 取样和分析

分别在0, 2, 6, 12, 19 d进行水样采集,每次采样

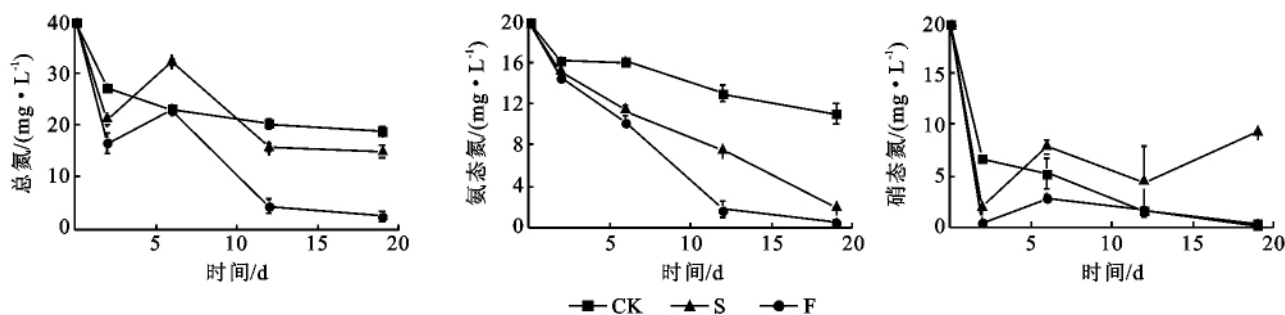


图1 不同处理对富营养化水体总氮、氨态氮、硝态氮的影响

2.2 重富营养化水体中总磷的变化

各培养系统中TP的变化过程见图2。在第2天时,总磷在各处理中由于pH的上升导致TP的下降。而且总磷浓度在有漂浮植物的处理中要比沉水植物降低的快。

试验结束时漂浮植物与其它两个处理相比较,总磷浓度的差异达到显著水平($P < 0.05$)。总磷在3个处理中的值分别为(3.94 ± 0.71) mg/L, (2.30 ± 0.15) mg/L, (0.81 ± 0.13) mg/L。

固定在上午8:00,用100 ml的量筒在水面下0.35 m处的3个地方进行采样。试验参数的测定根据水和废水的标准监测分析方法^[8]。水生植物生物量和养分含量在试验开始和结束时分别进行测定,植物样品中的氮含量经消煮后用凯氏法测定,磷含量用比色法测定^[9]。

2 结果与分析

2.1 重富营养化水体中总氮、氨态氮和硝态氮的变化

总氮浓度除了对照随试验处理的过程而降低外,其它处理呈波动变化。有水生植物的培养系统中,总氮在第6天时,由于此时培养的水生体植物部分碎屑腐烂呈现上升趋势;此后总氮在漂浮植物处理中呈下降趋势。在试验结束时总氮含量最低的出现在漂浮植物(F)处理中,此时总氮的水平为(2.59 ± 0.88) mg/L,并且与其它处理呈显著性差异($P < 0.05$)(图1)。

氨态氮浓度在试验中呈下降趋势,两种水生植物的氨态氮浓度都比对照低。有漂浮植物(F)处理要比有沉水植物(S)处理去除的氨态氮更多。培养结束时,3个处理氨态氮的浓度分别为(10.96 ± 1.04) mg/L, (1.82 ± 0.17) mg/L, (0.52 ± 0.02) mg/L。

硝态氮的变化与总氮的变化趋势相似,经过19 d后3个处理的硝态氮浓度分别降低到(0.31 ± 0.22) mg/L, (9.1 ± 0.16) mg/L, (0.11 ± 0.01) mg/L。与有沉水植物(S)的处理相比,对照总是可以减少更多的硝态氮。沉水植物处理中硝态氮的浓度与其它处理呈显著性差异。

2.3 重富营养化水体中COD和叶绿素a的变化

试验结束时对照处理的COD降低了56.39%。沉水植物(S)处理对COD降低能力最低,其值为43.33%。COD的降低主要是依靠系统中微生物和藻类的生长对其中碳源的利用;还有植物根系对其颗粒有机物的过滤作用。水体中叶绿素a的含量与水体中藻类的含量成正相关,种植水生植物可以有效的抑制藻类的生长繁殖。对照与其它处理相比较水体中的叶绿素含量最高。试验结束时漂浮植物(F)对叶绿

素 a 的降低最高为 58.34%。类似于 COD 的变化,植物系统更有效的降低了叶绿素 a 的含量(图 3)。

2.4 各处理中养分去除效率

试验各处理在 19 d 试验期间总氮、总磷和氨态氮的去除率见图 4。在第 19 天时漂浮植物(F)处理中总氮去除率最高,沉水植物的处理对总氮的降低率最低。与伊乐藻相比较黄花水龙可以去除较多的氮素,在第 19 天时比沉水植物多去除 31%。在试验结束时氨态氮在各处理都达到最低的水平,在 F 处理中氨态氮的降低量为 97.38%。对照与其它处理相比,氨态氮降低效果不明显。然而沉水植物和漂浮植物对氨态氮的

去除在第 19 天时为 95%~100%。总磷的降低在有水生植物处理中与对照相比显著降低,在 F 处理达到了 97.75%,比有沉水植物的处理要高出约 25%。

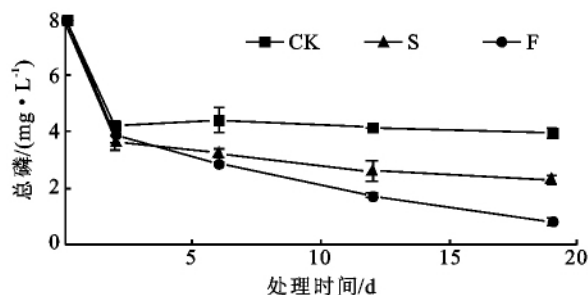


图 2 不同处理对富营养化水体中总磷影响

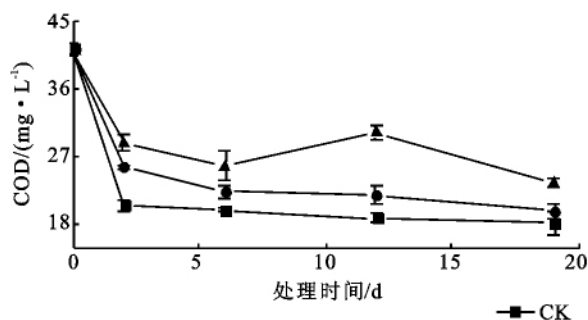


图 3 不同处理对富营养化水体中 COD 和叶绿素 a 影响

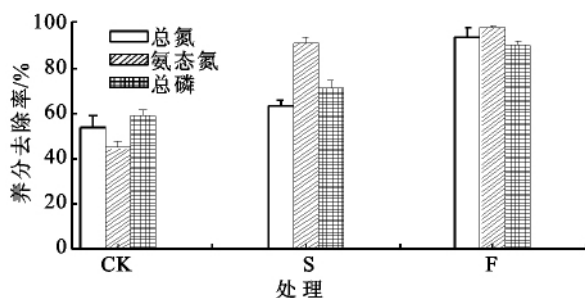


图 4 不同处理试验时期养分去除效果

2.5 重富营养化水体中 pH 和 DO 的变化

pH 在试验开始时约为 7.0, 试验结束时在各处理中都有不同程度的增加。有沉水植物(S)的处理与

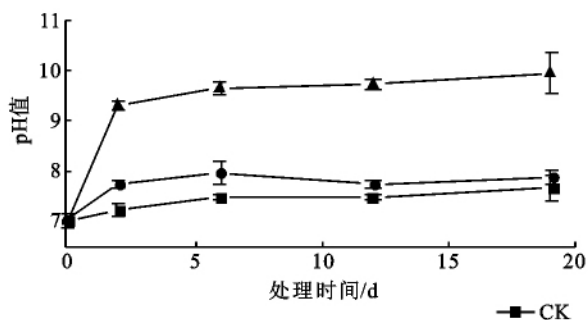


图 5 不同处理对富营养化水体中 pH 和 DO 的影响

3 结论

该研究表明沉水植物伊乐藻不但可以漂浮生长在水面上,而且可以对水质起到一定的净化作用。因此

对照相比 pH 的增加约为两个单位(图 5)。而有漂浮植物(F)的处理与对照相比变化较小,约增加了 0.7 个单位。较高的 pH 有利于降低磷的可溶性和生物有效性,同时也阻止了硝化和反硝化作用的进行。有漂浮植物(F)的处理, pH 总是小于 8.02, 因此与有伊乐藻的处理相比较,在这样的 pH 范围内适合硝化和反硝化作用的进行。

溶解氧的浓度在试验开始为 2.64 mg/L, 有 S 的处理可以增加 90% 的水体溶解氧, S 与漂浮植物(F)的处理相比,有较高浓度的溶解氧(图 5)。这些结果表明,沉水植物在白天可以增加光合作用的产氧量。

在富营养化程度低的水体中可以尝试用漂浮栽培的方式进行,这样不但便于植物的收获,而且对养分去除和藻类的生长起到了抑制作用。就养分的去除而言,黄花水龙可以更好去除养分提高水质。在试验过程中黄

花水龙要比伊乐藻生长快速,生长的根系较长较密。试验期间对总氮,氨态氮,硝态氮,总磷,COD,叶绿素a的去除分别达到了93.56%,97.38%,99.44%,97.74%,52.49%,58.34%。因此漂浮植物黄花水龙更适用于重富营养化水体中养分的去除,而伊乐藻更适合修复富营养化程度较低的污水水体并对其水质起到维持作用,而且收获的伊乐藻具有较高的营养价值可直接作为水产养殖的饲料使用。

4 讨论

本研究的结果表明:漂浮植物黄花水龙对水质的提高效果最为明显。伊乐藻对水质的影响表明:选取植物进行修复富营养化水体时,要针对不同的水体特性来合理的进行植物的选取和培养,如当处理水体中有较低的pH和DO时,则可以选用伊乐藻,并把它培养在水体的表面,这样有利用二者的提高,然后再镶嵌其它的水生植物将会有较好的修复水体的效果。

在各系统中溶解氧DO水平不同,主要是由于各体系中具有不同的产氧率,以及氧气在输氧组织和根区交换造成的。Moorhead等^[10]的研究表明,水生植物根系的量越少,输氧效率越高,主要由于根系多的水生植物由于根系呼吸作用会消耗掉更多的氧气。本研究中也证实了这一结论。

本试验漂浮植物处理体系中,由于生物量增加而去除的总氮和总磷最高为36.32%和34.68%。而Taylor研究的水生植物处理系统中由植物吸收和收获而去除的总氮仅为3%,这个差异可能与他们种植的植物处于低的生产率时期有关。由于体系中总氮和总磷的质量平衡可以根据体系中输入和输出的量进行推导^[11-12]。其中在一些植物系统中通常把反硝化作用去除对氮素作为不能加以定量计算而损失的部分,约占到总氮去除对10%~20%^[13-14],因此这些机理仍然需要进一步研究。

参考文献:

- [1] Carpentar S R, Caraco N F, Correll D F, et al. Nonpoint pollution of surface waters with nitrogen and phosphorus [J]. Ecological Applications, 1998, 8(3): 559-568.
- [2] Sooknah R D, Wilkie A C. Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater [J]. Ecological Engineering, 2004, 22(1): 27-42.
- [3] Vaillant N, Monnet F, Sallanon H. Treatment of domestic wastewater by an hydroponic NFT system [J]. Chemosphere, 2003, 50(1): 121-129.
- [4] Xia H L, Ma X J. Phytoremediation of ethion by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) from water [J]. Bioresource Technology, 2006, 97(8): 1050-1054.
- [5] Fraser L H, Carty S M, Steer D. A test of four plant species to reduce total nitrogen and total phosphorus from soil leachate in subsurface wetland microcosms [J]. Bioresource Technology, 2004, 94(2): 185-192.
- [6] 苏玉萍, 林颖昕, 林佳, 等. 福建省典型饮用水源地水库富营养化状况调查与 [J]. 亚热带资源与环境学报, 2008, 3(1): 59-56.
- [7] 谷孝鸿, 陈开宁, 胡耀辉. 东太湖伊乐藻的营养繁殖及对渔业污水的净化 [J]. 上海环境科学, 2002, 21(1): 43-45.
- [8] 魏复盛. 水和废水监测分析方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1981.
- [10] Moorhead K K, Reddy K R. Oxygen transport through selected aquatic macrophytes [J]. J. Environ. Qual., 1988, 17(1): 138-142.
- [11] Reddy K R. Fate of nitrogen and phosphorus in a waste-water retention reservoir containing aquatic macrophytes [J]. J. Environ. Qual., 1983, 12(1): 137-143.
- [12] Reddy K R, Tucker J C. Growth and nutrient uptake of pennywort (*Hydrocotyle umbellata* L.) as influenced by the nitrogen concentration of the water [J]. J. Aquat. Plant Manage., 1985, 23: 35-40.
- [13] Alaerts G J, Mahbubar M R, Kelderman P. Performance of a full-scale duckweed-covered sewage lagoon [J]. Wat. Res., 1996, 30(4): 843-852.
- [14] Vermaat J E, Hanif M K. Performance of common duckweed species (Lemnaceae) and the waterfern *Azolla Filiculoides* on different types of wastewater [J]. Wat. Res., 1998, 32(9): 2569-2576.