

徐寸发, 张志勇, 秦红杰, 等. 不同生活型水生植物改善滇池草海水体的效果[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(6): 307–311.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.06.101

不同生活型水生植物改善滇池草海水体的效果

徐寸发¹, 张志勇², 秦红杰², 韩亚平³, 闻学政², 张迎颖², 刘海琴², 张晋华¹

(1. 南京理工大学环境与生物工程学院, 江苏南京 210094; 2. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏南京 210014;
3. 昆明市滇池生态研究所, 云南昆明 650000)

摘要: 为了比较 3 种不同生活型水生植物对滇池草海富营养化水体改善效果, 选取漂浮植物水葫芦、沉水植物轮叶黑藻和挺水植物香蒲为材料进行模拟试验。结果发现, 在初始生物量相同的情况下, 水生植物组对水体初始 TN、TP、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 COD_{Mn} 、Chl-a 的去除率分别为 10.97%、0.93%、2.23%、14.12%、0.51 mg/L, 显著高于对照组, 其中水葫芦对水体这 5 个参数的去除率分别达 86.87%、94.62%、97.31%、44.62%、100.00%, 轮叶黑藻的去除率分别为 78.58%、77.42%、97.31%、29.60%、98.04%, 香蒲的去除率分别为 82.41%、92.47%、94.62%、43.91%、98.04%; 3 种水生植物均引起底泥中氮、磷的释放, 而且生长迅速的水葫芦吸收带走系统的氮量、磷量分别为轮叶黑藻的 1.2 倍、1.3 倍, 分别为香蒲的 1.5 倍、2.0 倍。以上结果表明, 3 种水生植物对富营养化水体水质均有显著的净化效果, 其中水葫芦效果最佳, 轮叶黑藻最差。

关键词: 水生植物; 水体改善; 富营养化; 草海; 氮; 磷

中图分类号: X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)06-0307-04

湖泊、水库等水体富营养化已成为当今世界普遍存在的环境问题之一, 我国水体富营养化现象尤为严重, 特别是污染严重的“三湖”(滇池、太湖和巢湖)^[1]。水体富营养化不仅造成水质恶化、破坏生态系统, 而且影响周围人文景观和公众健康, 进一步加剧水资源的短缺^[2-3]。如何有效地治理水体富营养化, 已成为世界研究热点。滇池是我国第六大淡水湖泊, 集养殖、灌溉、旅游等多功能于一体。在“十一五”期间, 政府投入大量人力物力对重度富营养化滇池进行治理, 如外源截污、底泥疏浚等工程, 但水质并没有得到明显改善。根据《2013 年中国环境状况公报》, 滇池仍然处于重度富营养化状态。

氮、磷含量超标是引起水体富营养化的主要原因^[4]。根据目前已有的研究, 水生植物不仅能高效富集水体氮、磷, 还能吸收有机物、重金属, 分泌化感物质抑制藻类生长等^[5-8]。利用水生植物修复富营养化水体是国内外常用且有效的技术^[9-13]。张志勇等根据模拟试验发现水葫芦对不同程度富营养化水体有不同净化效果^[14]; 吴娟等通过模拟试验发现轮叶黑藻具有较高富集水体氮、磷的能力^[15]; 田立民等研究发现香蒲对富营养化水体具有显著的净化效果^[16]。然而已有研究多局限于水生植物对人工配制的富营养化水体的净化, 且缺乏不同生活型水生植物修复同一自然富营养化水体效果及其对底泥氮、磷含量影响的研究。

本研究以滇池草海富营养化水体为净化对象, 考察水葫芦、轮叶黑藻和香蒲 3 种不同生活型水生植物对同一自然富营养化水体的净化效果, 以期为后续富营养化水体生物治理工程的水生植物选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

水葫芦, 学名凤眼莲(*Eichhornia crassipes*), 为雨久花科凤眼莲属多年生漂浮植物; 轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*), 为水鳖科黑藻属多年生沉水植物; 香蒲(*Typha angustifolia*) 为香蒲科香蒲属多年生挺水植物; 3 种植物均采集于滇池草海(24°58'44.2"N、102°37'57.7"E)。为提高浮游藻类浓度, 试验水体为加入藻浆的草海原水, 其中取草海浮游藻类浓度较高水体富集成藻浆, 该藻浆叶绿素 a 浓度为 17.73 mg/L。草海原水及底泥取自草海明波基地(24°58'44.2"N、102°37'57.7"E), 底泥经晒干后去除杂物并压碎混匀, 含水率为 58.0%。采用 15 个约 300 L 的白色水箱作为试验容器, 水箱长、宽、高分别为 78、57、60 cm。

1.2 试验设计

试验从 2013 年 6 月 8 日至 8 月 31 日, 在滇池草海西北岸(24°58'11.4"N、102°38'04.5"E) 一个通风透光的挡雨棚中进行, 试验期间水温为 19~26℃。每个水箱先加入 30 kg 底泥(厚约 8 cm, 含水率 58.0%), 然后加入 210 L 滇池草海原水及 5 L 混合均匀的藻浆, 并画出标准水位线, 静置 3 d 后开始试验, 试验水体初始水质如表 1 所示。在开始试验前将采集的水生植物用自来水冲洗干净, 去除根系茎叶间附着的杂质, 然后选择各自大小相近且健壮的植株进行试验。本试验设置 4 个处理组, 每组 3 个平行, 分别为水葫芦处理组、香蒲处理组、轮叶黑藻处理组和对照组。水葫芦处理组是 3 个水

收稿日期: 2014-07-01

基金项目: 国家“十二五”滇池水专项(编号: 2012ZX07102-004-002-003)。

作者简介: 徐寸发(1991—), 男, 江西赣州人, 硕士研究生, 研究方向为水体生态修复。E-mail: 1017324376@qq.com。

通信作者: 张晋华, 博士, 副教授, 主要从事水体污染研究。E-mail: jhzhang-123@yahoo.com.cn。

箱里分别投放 1 kg 鲜质量水葫芦在水面上;香蒲处理组和轮叶黑藻处理组是在每个水箱里各自种植 1 kg 鲜质量的植株于底泥中(尽可能不扰动底泥并用木枝将香蒲固定)。试验期分为前期(6月8日至7月6日)、中期(7月7日至8月3日)和后期(8月4日至8月31日),每 14 d 采样 1 次,分别测定氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、总磷(TP)、总氮(TN)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})及叶绿素 a($\text{Chl} - \text{a}$)指标,试验前、后分别测定植株和底泥氮、磷含量。为了避免水分蒸发,每周补充适当的蒸馏水至标准水位线。试验结束时(2013 年 8 月 31 日),水葫芦直接移出水面采收,而香蒲和轮叶黑藻需将底泥中的根系一起采收,并用自来水冲洗干净。

表 1 试验水体的初始水质

参数	含量 (mg/L)
TN	10.97 ± 0.02
TP	0.93 ± 0.08
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	2.23 ± 0.07
COD_{Mn}	14.12 ± 0.72
$\text{Chl} - \text{a}$	0.51 ± 0.01

1.3 试验方法与数据处理

取好水样后,当天处理。为了避免试验误差,取样时间均在 09:00 左右。水体氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、总磷(TP)、总氮(TN)含量采用 SEAL AA3 连续流动分析仪测定, COD_{Mn} 采用高锰酸钾酸性法^[17]测定, $\text{Chl} - \text{a}$ 含量采用热乙醇法^[18]测定,水生植物鲜质量测定采用称质量法,植株总氮(TN)含量和总磷(TP)含量采用浓 $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 消解后测定,测定方法详见《土壤农化分析》^[19]。底泥 TN 含量采用凯氏定氮法^[20]测定,底泥 TP 含量采用 Ruban 等发展的 SMT 方法^[21]测定。

试验数据结果用“平均值±标准差”表示,统计分析采用 SPSS 20.0 软件处理,不同区域水质参数比较差异采用方差分析 LSD 检验,显著性水平设置为 $P < 0.05$,而作图均采用 Origin 8.0 软件。

2 结果与分析

2.1 水生植物对水体高锰酸盐指数的去除效果

试验过程中,水葫芦处理组、轮叶黑藻处理组和香蒲处理组水体高锰酸盐指数(COD_{Mn})变化均呈现下降的趋势(图 1),由最初的 14.12 mg/L,分别降至 7.82、9.94、7.92mg/L,优于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类水标准,降解率分别为 44.62%、29.60%、43.91%;而对照组 COD_{Mn} 变化较小,试验结束时为 14.01mg/L,仍接近 GB 3838—2002 中Ⅴ类水标准。结果表明,3 个植物处理组对 COD_{Mn} 均有明显的去除效果,其中以水葫芦处理组效果最好,但 3 个植物处理组水体 COD_{Mn} 差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 水生植物对水体叶绿素 a 的去除效果

处理组与对照组水体的 $\text{Chl} - \text{a}$ 含量变化规律基本一致,均于试验前期急剧下降,中后期下降幅度较小(图 2)。试验结束时水葫芦处理组、轮叶黑藻处理组、香蒲处理组水体 $\text{Chl} - \text{a}$ 含量由初始 0.51 mg/L 分别降至 0、0.01、0.01 mg/L,去除率分别为 100.00%、98.04%、98.04%;而对照组水体

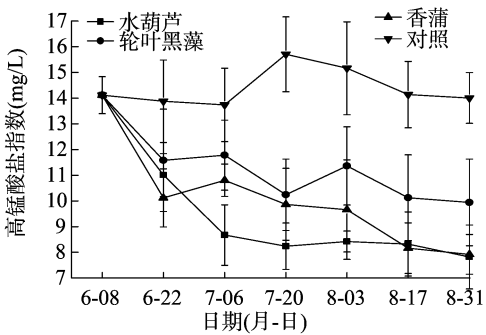


图 1 试验期间高锰酸盐指数的变化

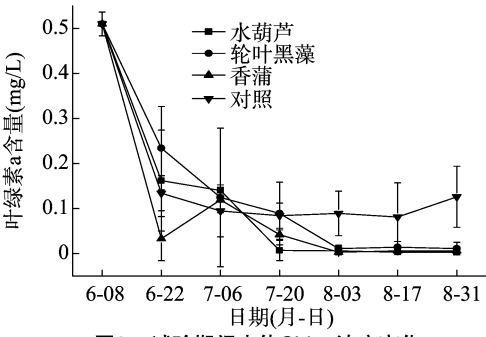


图 2 试验期间水体 Chl-a 浓度变化

$\text{Chl} - \text{a}$ 含量下降至 0.13 mg/L,去除率为 74.51%。由此可见,3 种植物对藻类繁殖具有一定抑制作用,但各处理组间水体 $\text{Chl} - \text{a}$ 含量差异不显著($P > 0.05$)。

2.3 水生植物对水体 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果

各处理组水体 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 在试验前期快速下降、中期回升、后期继续下降且整体呈下降的趋势(图 3)。水生植物处理组间水体 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 无显著差异($P > 0.05$),但水葫芦处理组和轮叶黑藻处理组水体 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 显著低于对照组($P < 0.05$)。试验结束时水葫芦处理组、轮叶黑藻处理组、香蒲处理组、对照组的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 由初始 2.23 mg/L 分别降至 0.06 mg/L、0.06、0.12、0.70mg/L,去除率分别为 97.31%、97.31%、94.62%、68.61%。说明 3 种水生植物对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 均有很好的去除作用,经 3 种植物净化后 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度优于 GB 3838—2002 中Ⅰ类水标准。

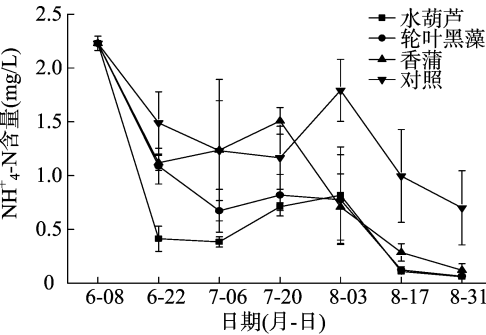


图 3 试验期间水体 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的变化

2.4 水生植物对水体 TN 和 TP 的去除效果

水体 TN、TP 浓度均呈现下降的趋势,其中主要在试验前期快速下降(图 4)。水葫芦处理组、轮叶黑藻处理组、香蒲处

理组、对照组 TN 浓度分别由初始 10.97 mg/L 降至试验结束时的 1.44、2.35、1.93、5.38 mg/L(图 4-a),去除率分别为 86.87%、78.58%、82.41%、50.96%;TP 浓度由初始 0.93 mg/L 分别降至 0.05、0.21、0.07、0.24 mg/L(图 4-b),去除率分别为 94.62%、77.42%、92.47%、74.19%。由此可见,水体氮、磷的净化效果以水葫芦处理最优。根据统计分析,植物处理组间水体 TN 差异不显著($P>0.05$),但水葫芦处理组和对照组存在显著性差异($P<0.05$),而水体 TP 在处理和对照组间没有显著性差异($P>0.05$)。

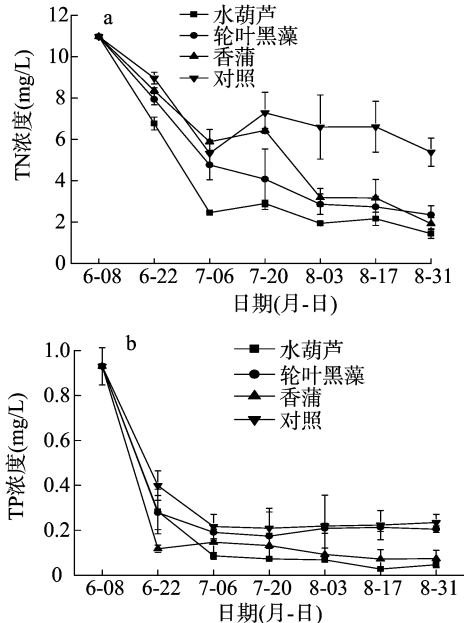


图4 试验期间水体TN和TP的变化

2.5 水生植物生物量及其体内氮、磷含量

试验初始和结束时 3 种植物主要指标见表 2,试验结束时水葫芦鲜质量为 6.65 kg,增长率高达 565.0%,而香蒲和轮叶黑藻鲜质量分别为 1.85 kg 和 1.59 kg,增长率仅为 85.0%、59.0%,但是香蒲干物质含量显著高于轮叶黑藻与水葫芦($P<0.05$)。试验结束时除水葫芦外,其他 2 种植株干物质氮、磷含量均高于初始的。通过比较试验初始和结束时植株体内氮、磷含量,可知水葫芦吸收同化作用带走系统的氮、磷分别是 3.94、0.50 g,轮叶黑藻吸收同化作用带走系统的氮、磷分别是 3.39、0.40 g,而香蒲的则是 2.72、0.25g。可见,3 种植物吸收同化的氮、磷均高于初始水体 TN 含量 2.36 g、TP 含量 0.20 g。其中水葫芦同化作用带走模拟系统的氮、磷量是轮叶黑藻同化氮的 1.2 倍、磷的 1.3 倍,是香蒲同化氮的 1.5 倍、磷的 2.0 倍,这可能是与水生植物生物特性有关。统计分析表明,香蒲同化的氮、磷显著低于轮叶黑藻和水葫芦的($P<0.05$)。

2.6 底泥 TN 和 TP 含量的消减

底泥是植物生长体系中不可或缺的一部分,试验初始和结束时底泥 TN 和 TP 变化如表 3 所示。初始底泥 TN、TP 的含量分别为 2 963.98、1 990.95 mg/kg(干底泥)。试验结束时,除对照组外,其他 3 组底泥中 TN、TP 含量均有一定下降,削减了底泥中氮、磷含量。根据初始底泥 30 kg(含水率 58.0%)计算,水葫芦处理组、轮叶黑藻处理组、香蒲处理组削减底泥氮量分别为 0.87、0.67、0.57 g,磷量分别为 0.49、0.32、0.20 g。然而对照组底泥氮、磷量分别增加 0.11、0.40 g,这可能与蓝藻衰亡后沉至底泥有关。可见,3 种植物引起了底泥中氮、磷的释放,其中水葫芦组释放的氮、磷量显著高于香蒲组($P<0.05$)。

表 2 试验前、后水生植物生物量及其体内氮磷含量

时期	水生植物	生物量 (kg)	干物质含量 (%)	干物质氮含量 (%)	干物质磷含量 (%)	氮含量 (g)	磷含量 (g)
初始	水葫芦	1.00	4.70 ± 0.53	2.76 ± 0.51	0.41 ± 0.10	1.31	0.19
	轮叶黑藻	1.00	6.16 ± 0.42	3.44 ± 0.16	0.56 ± 0.02	2.12	0.34
	香蒲	1.00	16.42 ± 0.41	1.15 ± 0.16	0.26 ± 0.07	1.89	0.43
结束	水葫芦	6.65 ± 0.61	6.92 ± 0.23	1.14 ± 0.02	0.17 ± 0.02	5.25	0.78
	轮叶黑藻	1.59 ± 0.14	7.27 ± 0.19	4.78 ± 0.23	0.64 ± 0.02	5.51	0.74
	香蒲	1.85 ± 0.12	14.21 ± 2.28	1.75 ± 0.19	0.26 ± 0.03	4.61	0.68

表 3 试验初始、结束底泥总氮和总磷含量 (mg/kg 干底泥)

处理组	试验初始底泥		试验结束底泥	
	TN 含量	TP 含量	TN 含量	TP 含量
水葫芦	2 963.98 ± 112.49	1 990.95 ± 49.71	2 894.84 ± 253.04	1 952.29 ± 50.72
轮叶黑藻	2 963.98 ± 112.49	1 990.95 ± 49.71	2 911.05 ± 353.97	1 965.75 ± 66.16
香蒲	2 963.98 ± 112.49	1 990.95 ± 49.71	2 918.63 ± 141.92	1 974.79 ± 48.34
对照	2 963.98 ± 112.49	1 990.95 ± 49.71	2 973.18 ± 402.03	2 023.06 ± 83.13

3 讨论

研究结果表明,3 种不同生活型水生植物对 COD_{Mn}、Chl-a 均有不同的去除效果。水体 COD_{Mn} 间接代表水中有机物的含量,其下降主要与植物吸收、微生物分解、絮凝沉淀等^[22]作用有关。本研究水葫芦处理组 COD_{Mn} 去除率高于轮

叶黑藻和香蒲的原因可能是悬浮的茂密根系附着的大量微生物易形成生物膜直接作用于水体,以及根系为微生物提供更多的营养物质和创造更有利于微生物降解有机物的微环境。此外水体浮游藻类含有大量有机物,根据水体 Chl-a 的变化,发现水葫芦对浮游藻类的抑制效果也优于轮叶黑藻和香蒲。这与水葫芦对 COD_{Mn} 的去除率高于其他 2 种植物相符

合。事实上,自 Hasler 在 1949 年首次发现水生植物对藻类就有抑制效果以来,国内外专家对此已进行了大量研究,证实了水生植物可以抑制藻类^[23-27]。不过水生植物种类的不同,对藻类生长抑制机理也有所不同。水葫芦对藻类的抑制除了在营养物质和光能利用上的竞争外,还有根系分泌以胺类为主的化感物质及根系吸附拦截作用;轮叶黑藻抑制藻类生长主要原因可能是营养物质竞争和释放以多酚类为主的分泌物;香蒲对藻类的抑制更多可能是化感物质的作用,王红强等发现香蒲中的挥发油对藻类具有显著的抑制作用^[28]。本试验前期 Chl-a 均快速下降,一方面原因可能是部分藻类因搅拌作用导致藻类细胞破裂死亡以及藻类浓度较高导致一些未死亡的藻类和细胞破裂的藻类一起沉至底泥;另一方面是上述 3 种植物对藻类的抑制作用。试验中后期因植物残枝败叶在水体中可能浸出一些抑藻物质等^[26]因素导致 Chl-a 进一步下降。而水葫芦对藻类的抑制效果优于轮叶黑藻和香蒲的原因可能是水葫芦根系分泌的化感物质直接作用于水体,以及与藻类的光能竞争和其根系吸附作用。

氮、磷均是植物的营养元素。氮、磷的去除主要与植物吸收、吸附沉淀、微生物作用等^[29-30]因素有关。试验前期植物处理组的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 快速下降可能是植物生长吸收及微生物的硝化作用;中期可能因植物的生长和继续吸收使 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 降至较低水平,促使底泥中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的释放,而且蓝藻的衰亡腐解释放 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 等因素导致 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 回升;后期可能是微生物硝化作用,引起 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 进一步下降,这与傅金祥等的研究结果^[31]一致。研究表明,植物处理组水体 TN 和 TP 的去除率均在 75%~95% 之间,试验前期 TN、TP 快速下降除上述原因外,蓝藻衰亡沉降也是一个重要因素;试验中后期可能引起底泥氮、磷的释放,且植物生长减缓等因素导致 TN、TP 下降幅度较小。同比之下,水葫芦处理组水体 TN、TP 的去除均优于轮叶黑藻和香蒲,这与其生物增长量和吸收同化氮、磷含量是一致的。此外,在没有外源进入以及试验周期较长的情况下,底泥释放营养盐(主要是氮、磷)是满足植物生长需求的唯一途径,研究表明 3 种植物组均引起底泥氮、磷的释放,这应该是因为 3 种植物同化的氮、磷含量均高于初始水体的氮、磷含量。然而童昌华等通过水生植物控制湖泊底泥释放效果与机理的研究,发现水生植物能明显抑制底泥中的氮、磷释放,尤其是沉水植物狐尾藻直接接触底泥,不仅吸收从底泥释放的营养盐,还能直接吸收底泥的养分,抑制作用更加明显^[32]。结论不一致的原因可能是童昌华等的研究试验周期较短,上覆水的氮、磷仍能满足水生植物的生长需要。

4 结论

通过模拟试验得出以下结论:(1)水葫芦、轮叶黑藻和香蒲对富营养化水体中 TN、TP、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 COD_{Mn} 和 Chl-a 均有较好的去除效果;(2)水葫芦生物增长量及同化吸收的氮、磷含量均高于轮叶黑藻和香蒲;(3)水葫芦、轮叶黑藻和香蒲不仅能吸收上覆水体中的营养盐,还能削减底泥氮、磷负荷。

参考文献:

[1]魏东慧,张江汀,魏学智. 4 种水生植物对富营养化水体氮磷去除效果的研究[J]. 中国野生植物资源,2012,31(5):12-17.

- [2]王淑娟. 水体的富营养化及其防治[J]. 锦州师范学院学报:自然科学版,2003,24(2):16-18.
- [3]王 智,张志勇,张君倩,等. 两种水生植物对滇池草海富营养化水体水质的影响[J]. 中国环境科学,2013,33(2):328-335.
- [4]付春平,钟成华,邓春光. 水体富营养化成因分析[J]. 重庆建筑大学学报,2005,27(1):128-131.
- [5]Rahman M A, Hasegawa H. Aquatic Arsenic: phytoremediation using floating macrophytes[J]. Chemosphere, 2011, 83(5): 633-646.
- [6]Jayaweera M W, Kasturiarachchi J C. Removal of nitrogen and phosphorus from industrial wastewaters by phytoremediation using water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)[J]. Water Science and Technology, 2004, 50(6): 217-225.
- [7]常会庆,王世华,徐晓峰,等. 两种水生植物对重富营养化水体修复效果研究[J]. 水土保持研究,2012,19(5):262-265.
- [8]Chunkao K, Nimpee C, Duangmal K. The king's initiatives using water hyacinth to remove heavy metals and plant nutrients from wastewater through bueng makkasan in Bangkok, Thailand[J]. Ecological Engineering, 2012, 39: 40-52.
- [9]Lu Qin, He Z L, Graetz D A, et al. Phytoremediation to remove nutrients and improve eutrophic stormwaters using water lettuce (*Pistia stratiotes* L.)[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2010, 17(1): 84-96.
- [10]Li X N, Song H L, Li W, et al. An integrated ecological floating-bed employing plant, freshwater clam and biofilm carrier for purification of eutrophic water[J]. Ecological Engineering, 2010, 36(4): 382-390.
- [11]Clive H W. Studies on the ability of a *Potamogeton pectinatus* community to remove dissolved Nitrogen and Phosphorus compounds from lake water[J]. Journal of Applied Ecology, 1981, 18: 619-637.
- [12]Meerhoff M, Mazzeo N, Moss B, et al. The structuring role of free-floating versus submerged plants in a subtropical shallow lake[J]. Aquatic Ecology, 2003, 37(4): 377-391.
- [13]Wang Z, Zhang Z Y, Zhang J Q, et al. Large-scale utilization of water hyacinth for nutrient removal in Lake Dianchi in China: the effects on the water quality, macrozoobenthos and zooplankton[J]. Chemosphere, 2012, 89(10): 1255-1261.
- [14]张志勇,刘海琴,严少华,等. 水葫芦去除不同富营养化水体中氮、磷能力的比较[J]. 江苏农业学报,2009,25(5):1039-1046.
- [15]吴 娟,吴振斌,成水平. 黑藻对水体和沉积物理化性质的改善和营养元素的去除作用[J]. 水生生物学报,2009,33(4):589-595.
- [16]田立民,王晓英. 芦苇和香蒲对富营养化水体的净化效果[J]. 江苏农业科学,2010,24(4):409-411.
- [17]GB 11892—1989 水质 高锰酸盐指数的测定[S]. 北京:中国标准出版社,1989.
- [18]张丽彬,王启山,徐新惠,等. 乙醇法测定浮游植物叶绿素 a 含量的讨论[J]. 中国环境监测,2008,24(6):9-10.
- [19]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [20]吴晓荣,叶祥盛,赵竹青. 流动注射法与凯氏定氮法测定土壤全氮的比较[J]. 华中农业大学学报,2009,28(5):560-563.
- [21]Ruban V, López - Sánchez J F, Pardo P, et al. Harmonized protocol and certified reference material for the determination of extractable contents of phosphorus in freshwater sediments—a synthesis of recent works[J]. Fresenius' Journal of Analytical Chemistry, 2001, 370(2/3): 224-228.

唐兆民. 太湖竺山湾水沉积物界面底泥理化性状测定分析[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(6): 311–314.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.06.102

太湖竺山湾水沉积物界面底泥理化性状测定分析

唐兆民

(钦州学院资源与环境学院, 广西钦州 535000)

摘要:对太湖竺山湾 14 个水质和 4 个底泥站点取样, 测定其理化性质, 研究水-表层沉积物边界层氮磷交换情况。结果表明: 竺山湾污染比较严重, 污染项目主要是 TN(总氮)、TP(总磷)。TN 变化范围 1.2~37.5 mg/L, 相对于 V 类水体超标 89.13%。TP 含量在 0.028~21.4 mg/L 之间, 相对于 V 类水体超标 20.80%。近底层水样铁、锰的含量远低于底泥含量, 而硝酸盐含量接近或大于底泥含量。竺山湾不同站点的氮磷释放率跟底泥的硬度、孔隙度有关, 呈正相关关系, 氮的释放率普遍高于磷的释放率, 表明竺山湾富营养化现象主要受 N 控制。

关键词:太湖; 竺山湾; 水沉积物界面; 污染物; 释放规律; 底泥; 总氮; 总磷

中图分类号: X524

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2015)06-0311-04

竺山湾位于太湖的西北部, 是太湖上游来水的主要湖区。竺山湾由河口湾区、平原河网区组成, 是浅水湖泊, 水深 1.9 m 左右。河口湾南北长 13 km 左右, 东西最长处 9.7 km (大桩头), 东西最窄处(沙塘港)4.5 km。以沙塘港为界, 分为内湾、外湾。港口多分布在内湾, 如百渎港、殷村港、沙塘港、雅浦港等。是太溇运河、殷村港入湖河、沙塘港入湖河、雅浦港入湖河等众多河流入射湖湾的河口湾。受入湖河道排污河和过度渔业养殖等影响, 加上湖湾水流不畅, 污染物易于累积, 底泥有机污染严重^[1]。本研究对竺山湾水质进行定点监测, 通过竺山湾底泥生化指标、重金属等监测, 研究竺山湾底泥污染及水底边界层氮磷交换情况, 为太湖治理提供依据。

1 调查内容与方法

试验设 14 个水质监测点, 4 个底泥采样点(图 1)。14 个

收稿日期: 2014-03-26

基金项目: 国家科技重大水专项(编号: 2009ZX07526-005-04); 教育部人文社会科学研究专项(编号: 13JDC021); 钦州学院引进人才科研启动基金(编号: 201308)。

作者简介: 唐兆民(1969—), 男, 山东省莘县人, 博士, 副教授, 从事环境科学与系统工程研究。E-mail: eetzhl03@163.com。

水质监测点采集水样测定生化指标[pH 值、总氮(TN)、总磷(TP)], 重金属(铜、铅、锌、镉、汞、砷、硒、六价铬)含量。4 个底泥采样点采集到的底泥分成上、中、下 3 部分, 分别离心得到间隙水, 测量铁、锰、氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐、磷酸盐 6 项指标, 与各站点近底水样进行对比分析。同时测定 4 个站点底泥的生化指标[有机质、pH 值、底泥需氧量(SOD)、TN、TP]等。依据测定结果, 计算底泥氮、磷释放率和污染通量。

氮、磷释放率: 底泥间隙水氮磷与底泥的比例, 表征从沉降到底泥的有机质向底泥间隙水释放无机粒子的比率。用底泥总氮、总磷的平均值乘以底泥的厚度来计算污染通量, 单位是 g/m², 用来表征不同区域的污染程度。有机质通量、底泥需氧量(SOD)、氮通量、磷通量的也用类似方法计算, 单位分别为 g/m²、g/(m²·d)、g/m²、g/m²。

底泥需氧量(SOD)测定, 所用试验装置主要有柱状底泥采样器和光学溶解氧测量仪(YSI ProDO), 其中底泥采样器委托北京新地标土壤设备有限公司, 仿照挪威国立水研究所(NIVA)柱状采样器, 做了 3 根直径 0.15 m、长 1 m 的气囊式、柱状沉积物采样器。以这 4 个站点取样分析水-底泥表层沉积物界面 DO 变化, 来计算底泥需氧量(SOD), 并进行理化性状分析。SOD 的计算方法参考方宇翹等的方法^[2]。

[22] 汪秀芳, 许开平, 叶碎高, 等. 四种冬季水生植物组合对富营养化水体的净化效果[J]. 生态学报, 2013, 32(2): 401–406.

[23] Soltan M E, Rashed M N. Laboratory study on the survival of water hyacinth under several conditions of heavy metal concentrations[J]. Advances in Environmental Research, 2003, 7(2): 321–334.

[24] Sharma A, Mahendra K G, Pradeep K S. Toxic effect of leachate of water hyacinth decay on the growth of *Scenedesmus obliquus*[J]. Water Research, 1996, 30(10): 2281–2286.

[25] 李锋民, 胡洪营. 大型水生植物浸出液对藻类的化感抑制作用[J]. 中国给水排水, 2004, 20(11): 18–21.

[26] 洪喻. 水生植物化感物质抑藻作用研究与应用[J]. 科学通报, 2009, 54(3): 287–293.

[27] Leu E, Krieger-Liszkay A, Goussias C, et al. Polyphenolic allelo-

chemicals from the aquatic angiosperm *Myriophyllum spicatum* inhibit photosystem II[J]. Plant Physiology, 2002, 130(4): 2011–2018.

[28] 王红强, 刘建华, 张列宁, 等. 香蒲中挥发油对铜绿微囊藻的化感抑制作用[J]. 环境污染与防治, 2011, 33(7): 19–21, 26.

[29] 梅汝波, 徐维敏. 植物微生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 201–216.

[30] 张鸿, 陈光荣, 吴振斌, 等. 两种人工湿地中氮、磷净化率与细菌分布关系的初步研究[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 1999, 33(4): 575–578.

[31] 傅金祥, 韩晋英, 齐建华, 等. 常温下 pH 对短程硝化反硝化的影响[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2010, 26(2): 316–320.

[32] 童昌华, 杨肖娥, 濮培民. 水生植物控制湖泊底泥营养盐释放的效果与机理[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(6): 673–676.