

滇池湖湾大水域种养水葫芦对水质的影响分析

王智¹ 张志勇¹ 韩亚平² 张迎颖¹ 王亚雷¹ 严少华^{1*}

(1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014; 2. 昆明市滇池生态研究所, 昆明 650011)

摘要 为了探讨大水域种养水葫芦对滇池湖湾水质的影响,于2010年8—10月对滇池白山湾约70 hm²水葫芦种养区域的水质特征进行动态监测。结果表明,水葫芦区水体中总磷、总氮及高锰酸钾指数从9月中旬后开始逐步上升。水葫芦区水体溶解氧、pH较近水葫芦区和远水葫芦区显著降低,但水葫芦区溶解氧仍维持在较高水平;总磷、总氮及高锰酸钾指数较近水葫芦区和远水葫芦区显著升高;在水葫芦周围水体(近水葫芦区)水质得到明显改善,表现为水体透明度显著高于水葫芦区及远水葫芦区,总磷、正磷酸盐、总氮及叶绿素a明显低于水葫芦区及远水葫芦区。

关键词 水葫芦 大水域 氮 磷 滇池

中图分类号 X524 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2012)11-3827-06

Effects of large-area planting water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) on water quality in the bay of Lake Dianchi

Wang Zhi¹ Zhang Zhiyong¹ Han Yaping² Zhang Yingying¹ Wang Yalei¹ Yan Shaohua¹

(1. Institute of Agricultural Resource and Environmental Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China;
2. Ecologic Institute of Lake Dianchi, Kunming 650011, China)

Abstract To evaluate the effects of large-area planting water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) on water quality in the bay of Lake Dianchi, consecutive water sampling investigations in the planting, near-planting and far-planting areas of water hyacinth were carried out from August to October 2010. Results showed that total phosphorus, total nitrogen and permanganate index in the water of the planting areas increased since mid-September. Compared with near-planting and far-planting areas, dissolve oxygen and pH in planting area significant decreased, but the dissolved oxygen remained at high levels; however, total phosphorus, total nitrogen and permanganate index obviously increased. The water transparency in the near-planting area was higher than those in the planting and far-planting areas, and total phosphorus, orthophosphate, total nitrogen and chlorophyll-a were lower than those in the planting and far-planting areas, showing that the water quality was improved in the near-planting area.

Key words water hyacinth; large-area; nitrogen; phosphorus; Lake Dianchi

近些年来,由于工农业的迅速发展,大量的氮、磷等营养元素排入水体,造成水体(湖泊、河流及池塘)严重富营养化。目前,在亚太地区,54%的湖泊水体富营养化^[1];在我国,富营养化湖泊及水库达到66%以上^[2]。湖泊富营养化不仅对湖泊水质有严重影响,而且影响到周边水环境和人文景观,甚至通过给水系统危害到公众的健康^[3]。因此,水体富营养化治理成为当前世界的热点问题。滇池是我国最为著名的高原淡水湖,海拔1 884.4 m,面积约300 km²,平均水深4.2 m^[4]。自20世纪80年代以来,滇池入湖污染物不断增加,水体水质日趋恶劣,富营养化及蓝藻水华日益严重,成为我国重点治理的“三湖三河”之一。

水生植物生长过程中能吸收大量氮、磷等营养元素合成自身物质,能够有效地吸收水体中的氮、磷等元素,从而减轻水体的富营养化程度,因此,水生

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划“水葫芦安全种养和机械化采收技术集成研究与示范”项目(2009BAC63B01);云南省社会发展专项“滇池水葫芦富集氮磷及资源化利用研究与示范”(2009CA034);江苏省人社厅博士后基金“水葫芦对湖泊水生态系统的影响研究”(5311105)

收稿日期:2011-05-15; **修订日期:**2011-06-19

作者简介:王智(1983~),男,博士,助理研究员,主要从事湖泊富营养化治理方面的研究工作。E-mail: wazh519@hotmail.com

* 通讯联系人, E-mail: shyan@jaas.ac.cn

植物修复技术已成为世界各国控制水体富营养化的主要措施之一^[5-7]。水葫芦,学名凤眼莲(*Eichhornia crassipes*),雨久花科凤眼莲属,为多年生漂浮性草本植物。由于其具有极强的氮、磷吸收能力以及重金属富集能力而被广泛用于水环境污染的治理^[8-10]。2010年,江苏省农业科学院利用水葫芦快速吸收水体氮磷的优势,联合昆明市滇池生态研究所于滇池白山湾开展了“滇池水葫芦富集氮磷与资源化利用研究与示范”项目,大水域控制性种养水葫芦约70 hm²,来达到净化滇池湖湾水质的目的。如此大水域控制性种养水葫芦来净化滇池水质的生态工程项目尚属首次,因此研究大水域水葫芦种养对水质的影响尤为必要。先前关于水葫芦对水体水质的影响研究主要集中在小试实验中^[11-13],而在富营养化湖泊开放性水域大面积控制性种养水葫芦对水体水质的影响未见报道。本研究主要探讨大水域控制性种养水葫芦对滇池白山湾水体理化因子的影响,以期合理利用水葫芦修复富营养化湖泊提供科学指导。

1 材料与方 法

1.1 工程区域简介

白山湾位于滇池西南岸,如图1所示。面积约0.7 km²,平均水深约2.5 m,水体富营养化,蓝藻水华频发。由于受湾外风浪的影响,白山湾水体藻类密度较大。2010年春夏,云南省社会发展项目“滇池水葫芦富集氮磷与资源化利用研究与示范”利用泡沫浮球、不锈钢钢管及围网在白山湾控制性种养水葫芦约70 hm²,由于受风向等原因,水葫芦密集分布于工程区内侧(图1)。

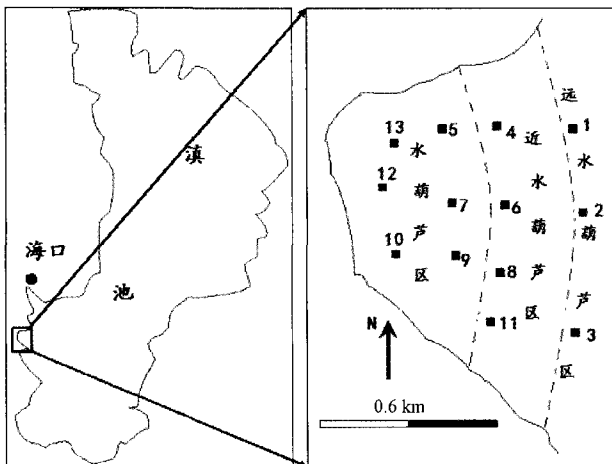


图1 实验区域采样点分布图

Fig. 1 Sampling sites in the testing area of Lake Dianchi

1.2 样品采集

为了评价大水域种养水葫芦对水质的影响,于白山湾水葫芦区域内外设置13个采样点,根据水葫芦分布特征将采样区分为3个区域(图1),水葫芦区(样点5、7、9、10、12和13号),近水葫芦区(过渡对照区,样点4、6、8和11号)以及远水葫芦区(外围对照区,样点1、2和3号)。

水葫芦于7月份种养完毕。本研究于水葫芦种植后生长旺盛期至水葫芦打捞前(2010年8—10月),以每月2次的频率对13个样点进行采样。采用有机玻璃采水器分层采取水样,每个点分表层(距表层0~0.5 m)、中层(距表层1.0~1.5 m)、底层(湖底上0.5 m处)3层次进行采集,混合后装于已洗净的1 L采样瓶中,带回实验室尽快分析各水质指标。

1.3 分析方法

溶解氧(DO)、水温(t)、pH采用便携式DO仪及便携式pH计现场测定,透明度采用Secchi圆盘现场目测。总磷(TP)、总氮(TN)、正磷酸盐(PO_4^{3-})、氨氮(NH_4^+-N)、硝氮(NO_3^--N)及高锰酸盐指数(COD_{Mn})的测定按照《水和废水监测分析方法(第4版)》方法进行^[14]。TP采用过硫酸钾消解-钼酸盐分光光度法测定,TN采用碱性过硫酸钾消解分光光度法测定, PO_4^{3-} 采用0.45 μm 醋酸纤维滤膜过滤后钼酸盐分光光度法测定, NH_4^+-N 采用纳氏试剂分光光度法测定, NO_3^--N 采用酚二磺酸分光光度法测定, COD_{Mn} 采用酸性高锰酸钾氧化法测定。叶绿素a(Chl-a)采用90%丙酮萃取比色法测定^[15]。

1.4 数据处理

所有数据均由均值 \pm 标准差表示。所有统计处理采用统计软件SPSS 16.0。不同区域水质参数比较差异采用方差分析LSD检验(利用Levene's-test进行不同组间方差齐次性检验,若方差不齐,则进行倒数转换),显著性水平设置为 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 水温

在水葫芦种植后至打捞前(8—10月),采样区域平均水温从8月份的24 $^{\circ}\text{C}$ 缓慢降至10月份的20.2 $^{\circ}\text{C}$ 。方差分析显示,不同采样区域的水温差异不显著($p > 0.05$)。

2.2 溶解氧、pH及透明度

水葫芦区、近水葫芦区及远水葫芦区的DO、pH及透明度动态变化如图2所示。3个区域中,在水

葫芦种养后生长旺盛期至打捞前,水体 DO 表现出一种先下降后逐步增加的趋势。方差分析表明,3 个区域水体 DO 组间差异显著($p < 0.05$)。进一步

分析表明,水葫芦区 DO 水平显著性低于近水葫芦区和远水葫芦区($p < 0.05$),而近水葫芦区和远水葫芦区水体 DO 不存在显著性差异。

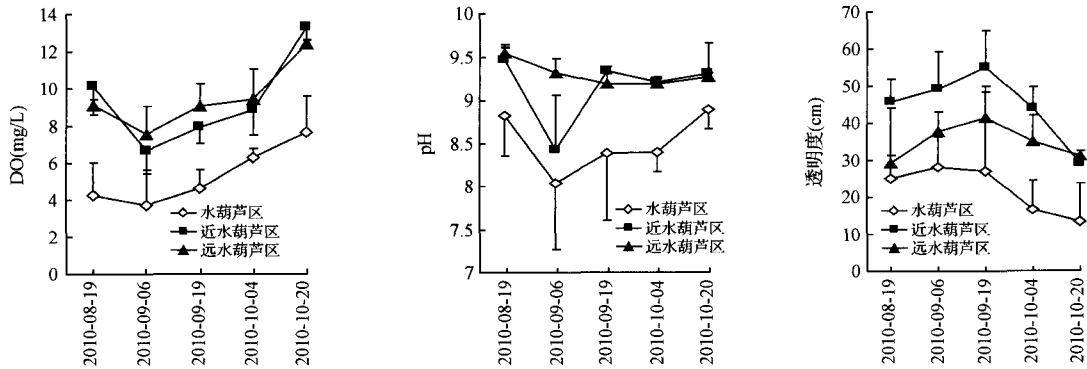


图 2 实验区域水体溶解氧(DO)、pH 及透明度的变化

Fig. 2 Changes of dissolved oxygen, pH and transparency in water column of the testing area

水体 pH 在水葫芦区及近水葫芦区表现为先降低后上升的趋势,而在远水葫芦区水体 pH 基本稳定在 9.3 的水平。统计分析表明,水葫芦区水体 pH 显著性低于近水葫芦区和远水葫芦区($p < 0.05$)。

采样区域透明度呈现出先缓慢上升后逐步下降的趋势。从整个采样周期来看,水葫芦区透明度显著低于近水葫芦区及远水葫芦区($p < 0.05$),近水葫芦区和远水葫芦区透明度不存在显著性差异($p > 0.05$);而从 8 月 19 日—10 月 4 日的采样比较来看,发现各采样区域透明度均存在显著性差异($p < 0.05$),其透明度从高到低依次为近水葫芦区、远水葫芦区及水葫芦区。近水葫芦区透明度在 8 月 19 日—10 月 4 日期间显著高于远水葫芦区($p < 0.05$),而到了 10 月 20 日近水葫芦区透明度迅速下降至远水葫芦区水平,其原因可能是由于 10 月 20 日,采样区域风浪较大(现场即时风速达 6 m/s),风浪搅动使近水葫芦区和远水葫芦区水体充分混合。

2.3 总磷及正磷酸盐

实验区不同区域水体 TP 及 PO_4^{3-} 的浓度变化如图 3 所示。3 个采样区域水体 TP 均表现为先下降后上升的趋势,尤其是水葫芦区。这可能是由于水葫芦区水体受水葫芦的直接影响,在初始阶段,水体 TP 下降主要是由于水葫芦的生长吸收,而后期迅速上升主要是由于水葫芦的衰亡释放营养盐的缘故。比较 3 个区域水体 TP 发现,近水葫芦区 TP 显著性低于水葫芦区及远水葫芦区($p < 0.05$),表明水葫芦对水葫芦周围水体水质的改善具有积极作用。

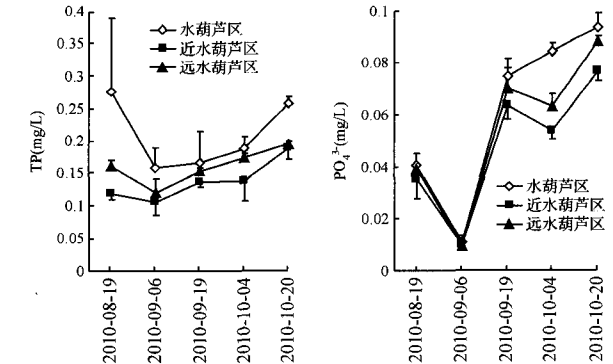


图 3 实验区域水体中 TP 及 PO_4^{3-} 的含量变化

Fig. 3 Changes of total phosphorus (TP) and orthophosphate (PO_4^{3-}) in water column of the testing area

3 个区域正磷酸盐浓度与 TP 类似,均表现为先降低后升高的趋势。比较各区域,发现水体 PO_4^{3-} 在初始阶段差异不明显,而在后期表现出与 TP 类似的近水葫芦区 < 远水葫芦区 < 水葫芦区的现象。

2.4 总氮、氨氮及硝酸盐氮

3 个不同区域水体中 TN、 NH_4^+-N 和 $NO_3^- -N$ 的含量如图 4 所示。由图 4 可知,9 月 19 日后,3 个采样区域 TN 表现出一种升高的趋势,可能是由于水葫芦的衰亡腐败释放出 N 营养盐以及风浪造成底泥营养盐释放的缘故。统计学分析表明,在采样初期(08-19—09-19),近水葫芦区 TN 显著性低于水葫芦区和远水葫芦区($p < 0.05$),而在采样后期,其差异不显著。采样后期的 TN 在各个区域差异较小可能主要是由于风浪的搅拌混合作用所致。

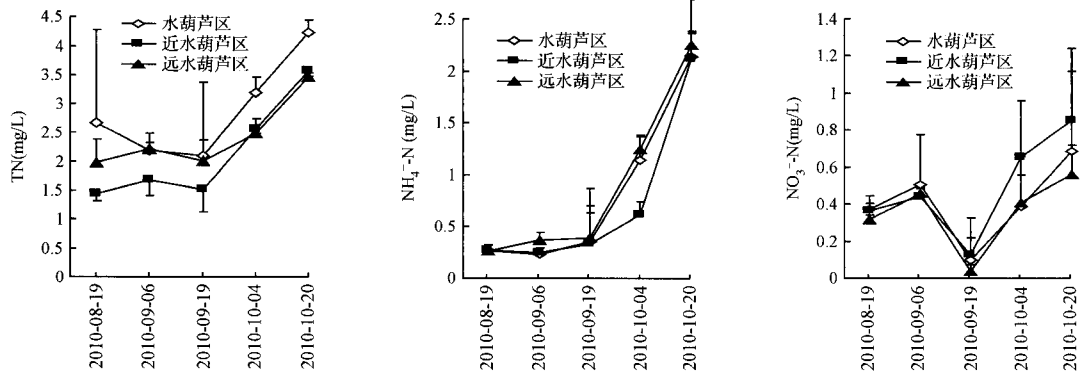


图4 实验区域水体中 TN、NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 的含量变化

Fig. 4 Changes of total nitrogen (TN), ammonia nitrogen (NH₄⁺-N) and nitrate nitrogen (NO₃⁻-N) in water column of the testing area

3 个区域中, NH₄⁺-N 与 TN 类似, 在 9 月 19 日之后其表现出一种明显的增加趋势, 可能与水葫芦的衰败及风浪导致的底泥营养盐释放有关。从 3 个区域比较来看, 水葫芦区和近水葫芦区水体 NH₄⁺-N 低于远水葫芦区。NO₃⁻-N 的含量在 9 月 19 日之后其表现出一种明显的增加趋势。比较 3 个区域 NO₃⁻-N 的含量, 发现近水葫芦区略高于水葫芦区, 水葫芦区略高于远水葫芦区。

2.5 叶绿素 a 与高锰酸盐指数

3 个区域水体中 Chl-a 及 COD_{Mn} 含量如图 5 所示。在近水葫芦区和远水葫芦区, 叶绿素 a 在 8 月 19 日—9 月 6 日存在一个明显的升高, 之后趋于稳定; 而在水葫芦区, 叶绿素 a 含量处于一个上升的趋势。叶绿素 a 在水葫芦区持续上升, 可能是由于水葫芦根系对蓝藻的拦截捕获所致。方差分析表明, 近水葫芦区 Chl-a 浓度显著性低于水葫芦区和远水葫芦区 ($p < 0.05$)。

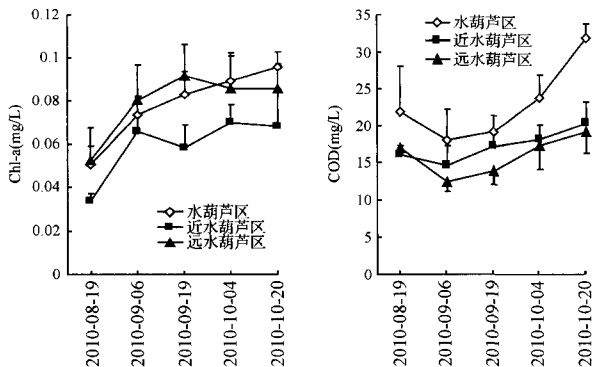


图5 实验区域水体叶绿素 a (Chl-a) 及 COD_{Mn} 含量

Fig. 5 Chlorophyll-a and potassium permanganate index (COD_{Mn}) in water column of the testing area

3 个采样区域, COD_{Mn} 在初始阶段呈下降趋势, 后期呈上升趋势, 尤其是水葫芦区。比较 3 个区域 COD_{Mn} 平均值, 发现水葫芦 > 近水葫芦区 > 远水葫芦区, 其中水葫芦区显著高于近水葫芦区及远水葫芦区 ($p < 0.05$)。

3 讨论

在富营养化湖泊中大面积控制性种养水葫芦并定期采收, 对于削减富营养化湖泊内源污染具有重要的作用。主要针对滇池湖湾 70 hm² 控制性种养的水葫芦, 探讨了其对水葫芦区域内外水体水质变化特征, 这对于利用水葫芦等漂浮植物来修复富营养化湖泊水体具有重要的实际意义。

本研究发现, 在水葫芦区, 水体 DO、pH 较对照区域均有所降低 (图 2)。Rommens 等^[16] 对非洲某一富营养化湖泊的研究发现, 水葫芦覆盖区域水体 DO 及 pH 显著性低于无水葫芦覆盖区; 我国学者蔡雷鸣^[17] 对福建闽江水口库区漂浮植物覆盖对水体水质的影响研究中也得出类似的结论。水体 DO 受水体初级生产者光合作用放氧、大气复氧及水体有机物分解耗氧的影响。水葫芦的存在一方面阻碍了水体初级生产者对水体光能的利用从而减少了水体初级生产者的光合放氧^[18]; 另一方面由于水葫芦的紧密覆盖而阻断了大气向水体复氧^[19]; 此外, 水葫芦残体的腐烂分解要消耗水体中的溶解氧, 从而造成水葫芦区水体 DO 较水葫芦外围低。研究表明, 水葫芦是水体良好的 pH 稳定剂^[20]。富营养化的滇池水体中, pH 呈碱性 (其 pH 为 8 ~ 10^[4]), 水葫芦的存在对于滇池湖湾 pH 的稳定具有积极的作

用。水葫芦区 pH 较对照区降低的原因是:一方面由于水生动物的呼吸作用产生 CO_2 以及腐烂死亡的水葫芦有机质中碳的最终氧化降解产生 CO_2 , 另一方面由于水葫芦覆盖造成水面下可利用的光能减少, 使水体中产生的 CO_2 无法通过光合作用而吸收转化。

在水葫芦区, 水体的 TP、 PO_4^{3-} 、TN 和 COD_{Mn} 均高于近水葫芦区及远水葫芦区(图 3 ~ 图 5), 这可能是由于以下原因: 第一, 水葫芦的腐败死亡而造成其残体中 N、P 及有机质等释放到水体中; 第二, 水葫芦根系能吸附水体中悬浮颗粒及藻类^[21, 22], 从而造成水葫芦区水体 N、P 含量高于对照区; 第三, 由于水葫芦的覆盖造成水葫芦区水体 DO 降低, 而低 DO 有利于水体底泥中 N、P 及 COD 向水体中释放^[23]。本研究发现, 近水葫芦区水体透明度、TP、 PO_4^{3-} 、Chl-a 和 TN 均低于水葫芦区及远水葫芦区(图 3 ~ 图 5), 说明水葫芦对水体 N、P 以及悬浮物具有明显的去除作用。此处可以这样理解, 水葫芦根系对氮、磷的吸收, 对悬浮物(这里包括悬浮固体颗粒物及藻类)的拦截吸附^[21, 22] 以及其根际微生物的作用, 使得与水葫芦接触的近水葫芦区水体氮磷以及悬浮物含量下降。而先前刘国锋等^[24] 对太湖的研究发现 TN 及 Chl-a 浓度呈现出一种从种养区向外围逐渐降低的现象。本研究与太湖^[24] 的研究现象存在差异的原因可能是: 在太湖, 水葫芦种养在竺山湖湖心, 风浪较大, 更有利于水体交换的缘故。

本研究还发现一个有趣的现象, 水葫芦区和近水葫芦区水体 NH_4^+ -N 含量低于远水葫芦区, 而 NO_3^- -N 的含量高于远水葫芦区(图 4), 这似乎与水葫芦区水体 DO 较低相矛盾(图 2), 事实上这可能是由于水葫芦能更好地吸收利用水体中的 NH_4^+ -N 的缘故。先前 Rommens 等^[16] 的研究表明, 水葫芦对 NH_4^+ -N 的吸收能力(2.6 mg N/(h · kg 鲜重)) 高于对 NO_3^- -N 的吸收能力(1.3 mg N/(h · kg 鲜重)); 另一方面, 水葫芦根际存在较多的硝化细菌, 有利于 NH_4^+ -N 的转化, 具体原因还有待以后详细的实验加以分析。

水葫芦用于富营养化水体修复的一个关键阻碍因素是其能降低水体的溶解氧, 水体溶解氧的降低可能会造成水生生态系统的破坏。事实上, 在富营养化湖泊中, 由于藻类的光合作用, 水体的 DO 一般处于过饱和的状态^[4, 25], 只要控制水葫芦在一定的覆盖度, 其水体 DO 能维持在一个可以接受的水平, 如本工程区水葫芦区域水体 DO > 3.8 mg/L, 均值为 5.3 mg/L(图 2), 此溶氧水平将不会给生态系统带来明显的影响。先前 McVea 等^[26] 对 0.4 hm² 的实

验塘的研究发现, 当水葫芦覆盖度 < 25% 时, 其水体 DO 未降低到对鱼类产生危害的水平。在水葫芦应用于富营养化湖泊的生态修复中, 为了减少或规避其可能产生的不利影响, 一方面必须构建围栏控制性种养, 控制一定的覆盖度以及防止水葫芦逃逸; 另一方面, 必须加强采收, 防止水葫芦在生长后期的腐烂而造成二次污染。本研究发现, 在滇池的气候环境中, 水葫芦区水体 TP、TN 和 COD_{Mn} 在 9 月份(9 月 19 日)后出现明显的上升趋势(图 3 ~ 图 5), 说明水葫芦开始腐烂。因此, 利用水葫芦修复滇池水体, 宜在 9 月份即开始大规模采收。本研究仅探讨了水葫芦放养后至采收前(8—10 月)的水质参数变化特征, 初步说明了水葫芦在大型富营养化湖泊中种养对水质的影响规律。今后, 我们将加大力度探讨水葫芦大水域种养前, 种养中以及采收后水体水质的长期变化规律。

4 结 论

在水葫芦区域, 水体水质存在一定程度的下降, 主要是由于水葫芦的存在降低了水体的 DO、水葫芦根系对悬浮物的捕获以及水葫芦和悬浮物的腐烂所造成的, 因此, 在利用水葫芦修复水体时, 必须注意定时采收。而在水葫芦区域外(近水葫芦区), 水体水质明显改善, 说明利用水葫芦修复富营养湖泊具有可行性。

参 考 文 献

- [1] Chorus I., Bartram J. Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring, and management. London: E and FN Spon, 1999
- [2] 黄漪平, 范成新, 濮培民, 等. 太湖水环境及其污染控制. 北京: 科学出版社, 2001
- [3] 陈庆锋, 单保庆, 马君健, 等. 不同水生植物在暴雨湿地中的水质净化作用. 环境科学与技术, 2010, 33(4): 24-28
Chen Qingfeng, Shan Baoqing, Ma Junjian, et al. Comparative study on different aquatic plants' roles in purification of storm runoff by wetlands. Environmental Science and Technology, 2010, 33(4): 24-28 (in Chinese)
- [4] Wang Z., Xiao B. D., Wu X. Q., et al. Linear alkylbenzene sulfonate (LAS) in water of Lake Dianchi—spatial and seasonal variation, and kinetics of biodegradation. Environmental Monitor and Assessment, 2010, 171(1-4): 501-512
- [5] 成小英, 王国祥, 濮培民, 等. 冬季富营养化湖泊中水生植物的恢复及净化作用. 湖泊科学, 2002, 14(2): 139-144
Chen Xiaoying, Wang Guoxiang, Pu Peiming, et al. Res-

- toration and purification of macrophytes in an eutrophic lake during autumn and winter. *Journal of Lake Sciences*, **2002**, 14(2): 139-144 (in Chinese)
- [6] Rodríguez-Gallego L., Mazzeo N., Gorga J., et al. The effects of an artificial wetland dominated by free-floating plants on the restoration of a subtropical, hypertrophic lake. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, **2004**, 9(3-4): 203-215
- [7] 柴夏, 刘从玉, 谢超, 等. 生态系统修复与构建过程中的水生植物品种选择——以惠州西湖生态系统的修复与构建工程为例. *污染防治技术*, **2008**, 21(2): 18-21
Chai Xia, Liu Congyu, Xie Chao, et al. Choice of hydrophyte species in remediation and building of ecosystem—taking Huizhou ecosystem in Hunan Province as an example. *Pollution Control Technology*, **2008**, 21(2): 18-21 (in Chinese)
- [8] Malik A. Environmental challenge vis a vis opportunity: The case of water hyacinth. *Environment International*, **2007**, 33(1): 122-138
- [9] Skinner E., Wright N., Porter-Goff E. Mercury uptake and accumulation by four species of aquatic plants. *Environmental Pollution*, **2007**, 145(1): 234-237
- [10] 常志州, 郑建初. 水葫芦放养的生态风险及控制对策. *江苏农业科学*, **2008**, (3): 251-253
Chang Zhizhou, Zheng Jianchu. Evaluation on environmental risk of hyacinth (*Eichhornia crassipes*) planting and its control strategy. *Jiangsu Agricultural Sciences*, **2008**, (3): 251-253 (in Chinese)
- [11] Dunigan E., Phelan R., Shamsuddin Z. Use of water hyacinths to remove nitrogen and phosphorus from eutrophic waters. *Hyacinth Control Journal*, **1975**, 13: 59-61
- [12] Jayaweera M., Kasturiarachchi J. Removal of nitrogen and phosphorus from industrial wastewaters by phytoremediation using water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms). *Water Science and Technology*, **2004**, 50(6): 217-225
- [13] 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. *江苏农业学报*, **2009**, 25(5): 1039-1046
Zhang Zhiyong, Liu Haiqing, Yan Shaohua, et al. Comparison of the removal ability of nitrogen and phosphorus by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in differently eutrophic water. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, **2009**, 25(5): 1039-1046 (in Chinese)
- [14] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第4版). 北京: 中国环境科学出版社, **2002**
- [15] Lewitus A., Koepfler E., Morris J. Seasonal variation in the regulation of phytoplankton by nitrogen and grazing in a salt marsh estuary. *Limnology and Oceanography*, **1998**, 43(4): 636-646
- [16] Rommens W., Maes J., Dekeza N., et al. The impact of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in a eutrophic subtropical impoundment (Lake Chivero, Zimbabwe). I. Water quality. *Archiv für Hydrobiologie*, **2003**, 158(3): 373-388
- [17] 蔡雷鸣. 福建闽江水口库区漂浮植物覆盖对水体环境的影响. *湖泊科学*, **2006**, 18(3): 250-254
Cai Leiming. Impact of floating vegetation in Shuikou Impoundment, Minjiang River, Fujian Province. *Journal of Lake Sciences*, **2006**, 18(3): 250-254 (in Chinese)
- [18] Meerhoff M., Mazzeo N., Moss B., et al. The structuring role of free-floating versus submerged plants in a subtropical shallow lake. *Aquatic Ecology*, **2003**, 37(4): 377-391
- [19] Hunt R. J., Christiansen I. H. *Understanding Dissolved Oxygen in Streams*. Information Kit. Townsville: CRC Sugar Technical Publication (CRC Sustainable Sugar Production), **2000**
- [20] Giraldo E., Garzon A. The potential for water hyacinth to improve the quality of Bogota River water in the Muna Reservoir: Comparison with the performance of waste stabilization ponds. *Water Science and Technology*, **2002**, 42(1): 103-110
- [21] Kim Y., Kim W. Roles of water hyacinths and their roots for reducing algal concentration in the effluent from waste stabilization ponds. *Water Research*, **2000**, 34(13): 3285-3294
- [22] 华常春, 高桂枝. 水葫芦治理瘦西湖污染可行性分析. *现代农业科技*, **2010**, (5): 264-266
Hua Changchun, Gao Guizhi. Feasibility analysis on pollution control in Slender West Lake by hyacinth. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, **2010**, (5): 264-266 (in Chinese)
- [23] 朱健, 李捍东, 王平. 环境因子对底泥释放 COD、TN 和 TP 的影响研究. *水处理技术*, **2009**, 35(8): 44-49
Zhu Jian, Li Handong, Wang Ping. The impact of environmental factors on COD, TN, TP release from sediment. *Technology for Water Treatment*, **2009**, 35(8): 44-49 (in Chinese)
- [24] 刘国锋, 刘海琴, 张志勇, 等. 大水面放养凤眼莲对底栖动物群落结构及其生物量的影响. *环境科学*, **2010**, 31(12): 92-98
Liu Guofeng, Liu Haiqing, Zhang Zhiyong, et al. Effects of large-area planting water hyacinth on macro-benthos community structure and biomass. *Environmental Sciences*, **2010**, 31(12): 92-98 (in Chinese)
- [25] 王仕禄. 太湖梅梁湾温室气体 (CO₂, CH₄ 和 N₂O) 浓度的昼夜变化及其控制因素. *第四纪研究*, **2010**, 30(6): 1186-1192
Wang Silu. Diurnal variations in the concentration of greenhouse gases (CO₂, CH₄ and N₂O) in the Meiliang Bay of Taihu Lake. *Quaternary Sciences*, **2010**, 30(6): 1186-1192 (in Chinese)
- [26] McVea C., Boyd C. E. Effects of water-hyacinth cover on water chemistry, phytoplankton, and fish in Ponds. *Journal of Environmental Quality*, **1975**, 4(3): 375-378