

14 条环太湖河流水质与茭草、水花生氮磷含量

王 强^{1,2}, 卢少勇^{2*}, 黄国忠¹, 金相灿^{2*}, 焦 伟², 许梦爽^{1,2}, 甘 树², 孙高敏²

(1.北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083; 2.中国环境科学研究院湖泊工程技术中心, 湖泊环境研究中心, 国家环境保护湖泊污染控制重点实验室, 北京 100012)

摘 要:选取环太湖 14 条主要河流为研究对象, 分析河流水质和水生植物优势种(水花生和茭草)中氮磷含量, 探讨两者的相关性。结果表明: 自实施综合整治以来, 环太湖河流水质有所好转, 氮污染是目前环太湖河流的主要污染特征, 有效削减其入河量是太湖入湖河流治理的重要任务; 水花生总氮(TN)和总磷(TP)累积能力均强于茭草, 水花生叶(茎)中 TN、TP 含量分别是 33.88~55.70 g·kg⁻¹(22.10~29.96 g·kg⁻¹)、4.44~8.96 g·kg⁻¹(3.43~8.02 g·kg⁻¹); 茭草叶(茎)中 TN、TP 含量分别是 12.30~21.41 g·kg⁻¹(21.75~31.22 g·kg⁻¹)、2.06~6.58 g·kg⁻¹(2.60~7.81 g·kg⁻¹)。水花生和茭草叶茎中 TN 含量与水体中 TN 浓度均无显著相关性, 但两种植物叶茎中 TP 含量与水体中 TP 浓度呈显著正相关, 即在一定浓度范围内, 水体中 P 浓度越高, 水花生和茭草体内 P 的累积量越大。

关键词:太湖; 河流; 水花生; 茭草; 相关性

中图分类号:X835 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)06-1189-06

Nitrogen and Phosphate Contents in *Zizania caduciflora* and *A.philoxeroides*(Mart.) Griseb and Water Qualities of 14 Rivers Around Taihu Lake, China

WANG Qiang^{1,2}, LU Shao-yong^{2*}, HUANG Guo-zhong¹, JIN Xiang-can^{2*}, JIAO Wei², XU Meng-shuang^{1,2}, GAN Shu², SUN Gao-min²

(1.Civil and Environmental Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2.Engineering and Technology Center of Lake, Research Center of Lake Environment, Chinese Research Academy of Environment Sciences, State Environmental Protection Key Laboratory for Lake Pollution Control, Beijing 100012, China)

Abstract: Total of 14 major rivers of Taihu Lake were investigated, the contents of nitrogen and phosphate in the rivers and advantage plants (*Zizania caduciflora* and *A.philoxeroides*(Mart.)Griseb) were analyzed, and the relations between them were also studied. The results showed that the water quality of rivers around Taihu Lake might be showing changes for better tendency, while the inflow river pollution was still severe. Reducing the amount of nitrogen into the river was most important. Accumulation of nitrogen and phosphorus in *Zizania caduciflora* was higher than that in *A.philoxeroides*(Mart.) Griseb, the contents of nitrogen and phosphorus in leaves(stems) of *Zizania caduciflora* were 33.88~55.70 g·kg⁻¹(22.10~29.96 g·kg⁻¹) and 4.44~8.96 g·kg⁻¹(3.43~8.02 g·kg⁻¹), for *A. philoxeroides*(Mart.) Griseb, the examined contents were 12.30~21.41 g·kg⁻¹(21.75~31.22 g·kg⁻¹) and 2.06~6.58 g·kg⁻¹(2.60~7.81 g·kg⁻¹) respectively. The contents of nitrogen in *Zizania caduciflora* and *A.philoxeroides*(Mart.) Griseb all had no significant correlation with nitrogen in rivers, however, the contents of phosphorus in two plants were positively related with the concentrations of phosphorus in rivers. i.e., the higher phosphorus concentration in river water, the greater phosphorus accumulation in *Zizania caduciflora* and *A.philoxeroides*(Mart.) Griseb.

Keywords: Taihu Lake; rivers; *Zizania caduciflora*; *A.philoxeroides*(Mart.)Griseb; correlation

收稿日期:2011-10-04

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07101-001, 2009ZX07101-009); 国家高技术研究发展计划项目(2005AA60101005)

作者简介:王 强(1985—), 河北承德人, 硕士研究生, 研究方向为水生植物特性及水质净化性能。E-mail: wq319320@126.com

* 通讯作者:金相灿 E-mail: jinxiangcan2004@163.com; 卢少勇 E-mail: lushy2000@163.com

面源污染是指各种相对分散的污染物随地表及地下径流汇入受纳水体并引起水体质量下降,较点源污染具有分散、隐蔽和随机性等特点^[1],这些污染物在传输过程中迁移转化,相当部分会通过多种渠道入河、入湖库,是导致受纳水体污染及富营养化的重要贡献者。有研究表明,太湖水体污染主要是因环湖污水直接入湖或经河流入湖^[2]。据测算,江苏省太湖流域 15 条主要入湖河流污染负荷占江苏入湖污染总负荷的 80%以上^[3],河道污染负荷输入是太湖流域点源、面源污染的综合体现^[4-7]。湿地作为氮、磷等源、汇的调节器,可以有效促进、延缓或遏制水环境的恶化趋势,湿地植被是湿地生态系统结构和功能的基础。近年来,人们开始认识到水生植被在水体生态修复方面的重要性。湿地植物既可直接吸收氮、磷等,又可产生根区效应,促进含氮物质的氧化分解^[8-10]。因此,充分利用河岸湿地中大型水生植物的生长吸收,可有效削减河流中氮磷等营养盐负荷。

本文对环太湖河流主要优势植物种水花生和茭草组织中的氮和磷含量进行了测定,并与水体中的氮和磷浓度进行了对比分析,旨在探讨水生植物氮磷累积与其生长环境的关系,可供相关工作参考。

1 材料与方法

1.1 采样区概况

太湖是我国第三大淡水湖,位于长江三角洲的南缘界,面积 2 338 km²;平均水深 1.89 m,最大水深 2.6

m,是一个典型的碟型浅水湖泊。太湖作为一个典型的平原地区大型浅水湖泊,其主要特点是环湖河道数量多,河流中有多种水生植物,其中水花生和茭草是重要的类型,优势植物种因季节而异。

1.2 采样点布设

采样点均位于各条河流出入湖口处,所调查的河流有 14 条:1# 直湖港、2# 太滬运河、3# 沙塘港、4# 烧香港、5# 官渎河、6# 大浦港、7# 乌溪港、8# 大港河、9# 小梅港、10# 幻溇港、11# 濮溇港、12# 太浦河、13# 浒光运河、14# 金墅港。用麦哲伦 315 型定位仪进行导航定位,具体采样点位见图 1。

1.3 样品采集与测定方法

2010 年 9 月,采集环太湖河流的植物样和水样。水样:用自制玻璃采水器采集 0~0.5 m 深水样,采集后装入洁净塑料采样瓶,低温保存,当日内测定总氮(TN)、氨氮(NH₃-N)、硝氮(NO₃-N),总磷(TP)和高锰酸盐指数(COD_{Mn})等指标,测定方法均参照标准方法^[11]。

植物样品:2010 年 9 月(植物生长季节)在每个采样点依据优势种原则,采集水花生、茭草样品,其中 1#~7# 河流优势植物为水花生,8#~14# 河流的优势植物为茭草,分析其茎、叶中 TN 和 TP 含量,测定方法均参照标准方法^[12]。

1.4 数据分析

利用 Excel 和 SPSS12.0 对数据进行统计分析,使用 Pearson 相关系数探讨优势种水花生和茭草中 TN、

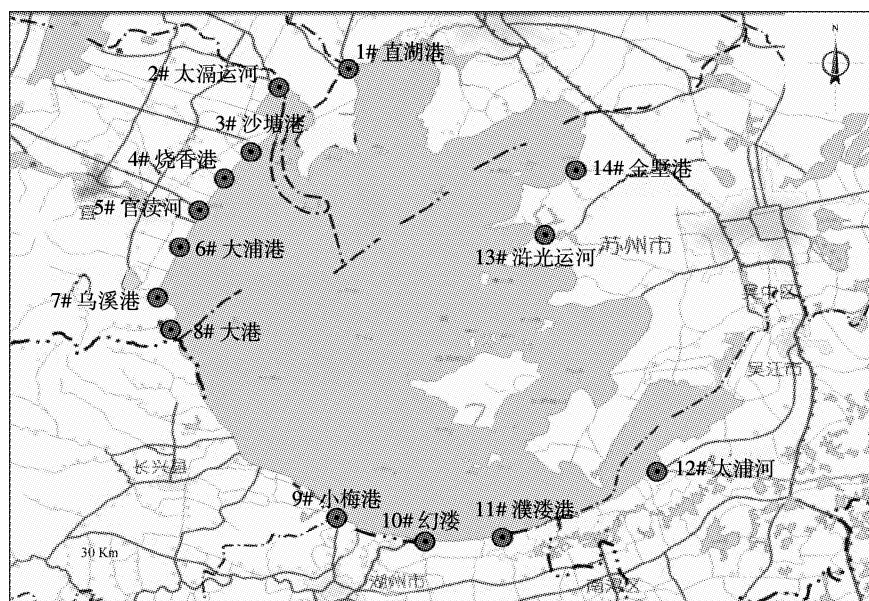


图 1 采样点布置图

Figure 1 Sample point layout

TP含量与河水中浓度的相互联系。所测样品均设两个平行,测量分析的相对标准偏差均保持在10%以内。

2 结果与分析

2.1 河流水质测定分析

河流水质指标测定结果见图2。由此可知,14条调查河流水质 $\rho(\text{TN})$ 平均为 $2.49 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。与GB 3838—2002《地表水环境质量标准》相比, $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 平均 $1.09 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,达Ⅳ类地表水标准; $\rho(\text{TP})$ 平均 $0.16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,达Ⅲ类地表水标准; $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ 平均 $6.03 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,达Ⅳ类地表水标准。

以水质达标率进行统计,本次调查河流达到Ⅲ类地表水标准的有5条,占总河流数的37%;达到Ⅳ类地表水标准的河流3条,占总河流数的21%;达到Ⅴ类地表水标准的河流3条,占总河流数的21%;劣于Ⅴ类地表水标准的河流3条,占总河流数的21%。由于TN不参评,本次调查河流水质整体以Ⅲ类水为主,说明2008年实施太湖流域综合整治以来,经各方人员共同努力,环湖河流水质有所改善。但监测发现河流 $\rho(\text{TN})$ 均值远高于湖泊Ⅴ类水质标准,可见N污染是环太湖河流的主要污染特征,控制入湖河流中N负荷的输入仍然是太湖治理的重点。这与余辉等的

研究结果基本一致,其应用多元统计法分析了2008年10月—2009年9月环太湖53条河流出入湖断面的水质监测数据,包括TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、TP、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 及TOC等十几种指标,发现影响河流水质的主导因素是TN和 $\text{NH}_3\text{-N}$,P次之^[13]。

2.2 植株体内TN、TP含量对比分析

2.2.1 茭草体内TN、TP含量

茭草体内TN和TP含量见图3。由图可知,茭草叶和茎中TN含量范围分别是 $21.75\sim 31.22$ 、 $12.30\sim 21.41 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。茭草叶中TN含量一般高于茎中含量,说明叶对N吸收能力强于茎,N与叶中叶绿素有密切关系,可以从叶面积的大小和叶色深浅来判断N素营养的供应状况;茭草叶和茎中TP含量范围分别是 $2.06\sim 6.58$ 、 $2.60\sim 7.81 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,茭草茎的吸收能力强于叶。P元素是重要的遗传元素,遗传物质核酸和核苷酸的组成,需要大量的P。P也是植物的能量元素,通过光合作用所产生的能量,首先要储存在三磷酸腺苷中。

2.2.2 水花生体内TN、TP含量

水花生体内TN、TP含量见图4。水花生叶和茎中TN含量范围分别是 $33.88\sim 55.70$ 、 $22.10\sim 29.96 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。水花生叶中TN含量一般高于茎中TN含量,说明水

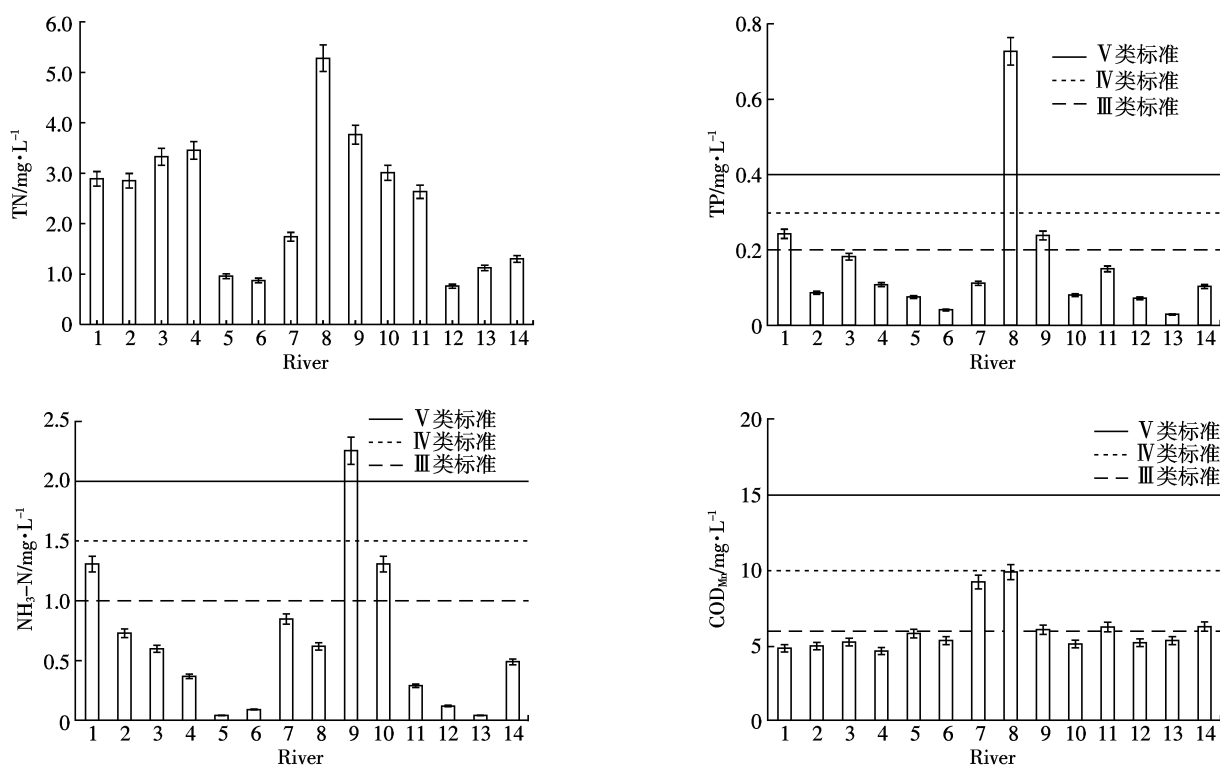


图2 河流水质指标

Figure 2 Water quality of inflow rivers

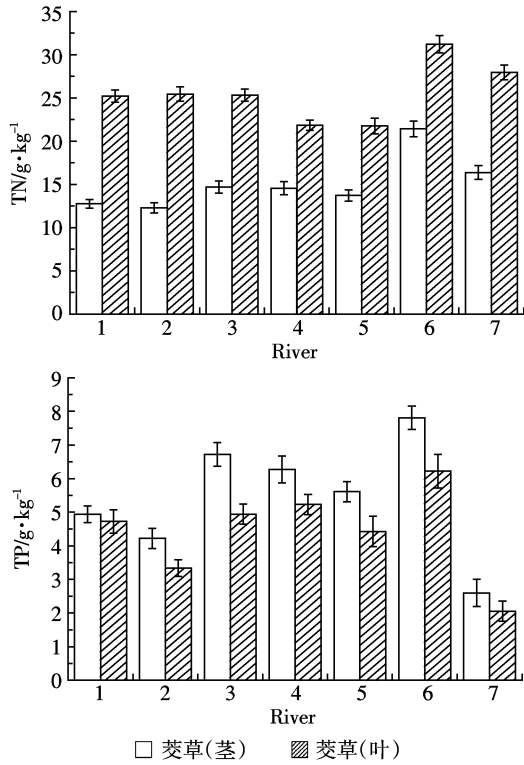


图 3 茭草茎叶中的氮磷含量

Figure 3 Nitrogen and phosphorus contents in *Zizania caduciflora*

花生叶对 N 的吸收能力强于茎;水花生叶和茎中 TP 含量范围分别是 4.44~8.96、3.43~8.02 g·kg⁻¹。水花生叶对 P 的吸收能力也强于茎。根据本次调查结果,环太湖河流优势种茭草和水花生茎、叶部分 TN 和 TP 含量范围分别为 17.73~40.33 g·kg⁻¹ 和 2.32~8.41 g·kg⁻¹,高于 Koerselman 和 Meuleman 从 40 篇关于各种类型湿地生境中植物 N、P 含量的论文中统计到的 6~20 g·kg⁻¹ 和 0.2~3.3 g·kg⁻¹ 的含量范围^[14],也高于鲁静等对洱海 44 种湿地植物 N、P 含量的测定值(分别为 6.4~34.3 g·kg⁻¹ 和 4~6.5 g·kg⁻¹)^[15]。

2.3 水生植物体内 TN、TP 含量的相关性分析

对环太湖 14 条河流水生植物优势种水花生和茭草茎叶中 TN、TP 含量进行相关性分析,结果表明(表 1),茭草茎叶中 TN、TP 含量呈显著正相关,说明植物体内 N、P 的需求有一定的比例关系,而水花生的茎叶中 TN、TP 含量的相关性未达显著。可见两种植物对 N、P 营养盐的吸收能力存在较大差异。

2.4 水生植物体内 N、P 含量与河水 N、P 浓度的相关性分析

对茭草和水花生体内 TN、TP 含量与所在河流水体中 TN、TP 浓度的相关性分别进行分析(表 2),发现其相关强度存在明显差异。茭草、水花生茎叶中 TN

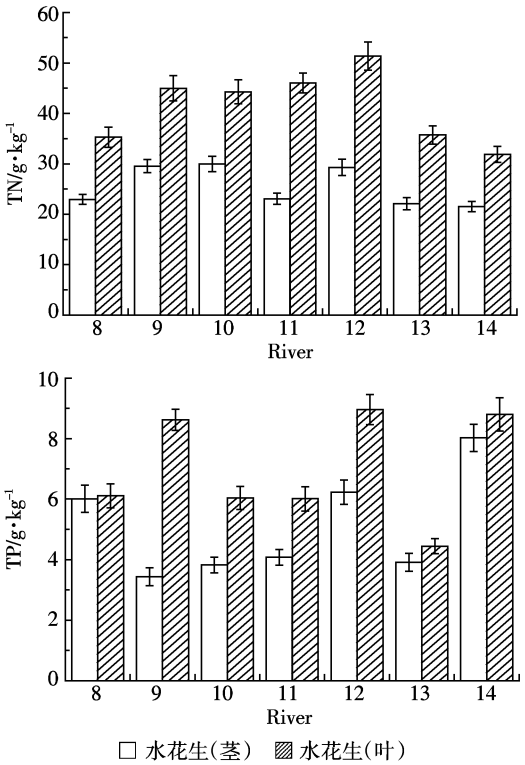


图 4 水花生茎叶中的氮磷含量

Figure 4 Nitrogen and phosphorus contents in *A. philoxeroides* (Mart.) Griseb

表 1 水生植物体内氮磷含量相关性				
Table 1 Correlation of N and P contents in aquatic macrophytes				
	茭草(茎)	茭草(叶)	水花生(茎)	水花生(叶)
茭草(茎)	1.000			
茭草(叶)	0.768*/0.963**	1.000		
水花生(茎)	-0.170/-0.054	-0.109/-0.239	1.000	
水花生(叶)	0.065/-0.107	0.363/-0.272	0.279/0.507	1.000

注: *P<0.05, **P<0.01。下同。

含量与河水中 TN 浓度相关性不显著;茭草和水花生茎叶中 TP 含量与河水中 TP 浓度呈显著性相关。不同水生植物对营养元素富集的阶段不同,或者说不同部分 N、P 含量差异是由不同物种基因型和不同生境等共同作用的结果。此外,在一些季节存在茎叶中的 N 和/或 P 向根系转移的现象。以上原因综合作用下,使得 9 月份两种植物茎叶中的 N 含量与河水中含量相关性不显著。

3 讨论

3.1 水生植物体内 TN、TP 含量的比较

本研究表明,环太湖河流中水花生体内 TN、TP 含量一般要高于茭草。水花生叶、茎中 TN、TP 含量范

表 2 水生植物体内氮磷含量与河水浓度相关性
Table 2 Correlation of N and P contents between aquatic
macrophytes and river water

项目	茭草(茎)	茭草(叶)	水花生(茎)	水花生(叶)
TN	0.126	0.298	-0.202	0.476
TP	0.887*	0.867*	0.846*	0.809*

围分别是 33.88~55.70、22.10~29.96 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 4.44~8.96、3.43~8.02 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 茭草叶、茎中 TN 和 TP 含量范围分别是 12.30~21.41、21.75~31.22 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 2.06~6.58、2.60~7.81 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。茭草叶中 TN 含量高于茎中含量, 水花生叶中 TN 含量高于茎中含量, 而茭草茎中 TP 含量普遍高于叶中含量, 水花生茎中 TP 含量要低于叶中含量。

Jackson 和 Kalff^[16]认为水生植物组织中常量营养元素浓度的变化与季节、植物年龄和生长阶段等因素相关, 这说明环太湖河流水生植物水花生、茭草体内的 N、P 含量分布一方面受外在水体环境条件的影响, 另一方面亦受物种的生物特性、不同生长发育阶段和生长差异等内在因素的影响。

3.2 水生植物 TN、TP 含量与河水 TN、TP 浓度的相关性

相关性分析表明, 环太湖出入河流水生植物优势种水花生、茭草茎叶中 TN 含量与河水 TN 浓度相关性不显著, 而水花生、茭草茎叶中 TP 含量与河水 TP 浓度存在显著正相关。植物干生物量中的氮磷比是一个具有重要生态意义的指标, 既可以反映植被的结构和功能特征, 同时也反映了群落水平的营养限制状况。当生境中 P 过剩而 N 不足时, 植物过量吸收 P, 此时 N/P 值通常小于 14, 植物生长表现为 N 限制; 反之, 则植物干生物量中的 N/P 值大于 16, 植物生长表现为 P 限制。本研究中, 两种调查植物的 N/P 值范围为 3.16~9.51, 显示环太湖河流优势植物茭草和水花生处于 N 限制状况, 从而过量吸收 P。因此, 在一定浓度范围内, 水体 P 浓度越高, 水花生和茭草体内 P 的累积量越大, 使得茎叶中 TP 含量与水体 TP 浓度存在显著正相关。

但据本次调查及前期已开展研究证实, N 污染是环太湖河流的主要污染特征, 理论上植物生长应不会出现 N 限制的情况。分析其原因认为, 可能是水生植物对营养元素的累积受物种基因型和生境共同作用, 不同物种间有一定的吸收差异性; 在不同月份, 不同水生植物对 N、P 的吸收强度也不同, 使得本次 9 月份调查水生植物的 TN 含量与上覆水 N 的相关性不显著。雷泽湘等对太湖水生植物 N 和 P 与湖水和沉

积物 N 和 P 含量关系进行了研究, 也发现 5 月份湖水中植物体内 N 与水体中 N 含量呈正相关性, P 与水体中 P 的含量无相关性, 9 月份湖水中植物体内 P 与河水中 P 含量间具有正相关性, 而此时 N 与水体中 N 含量无相关性^[17]。

4 结 论

(1) 本次调查显示环太湖河流水质有所好转, N 污染是目前环太湖河流的主要污染特征, 有效削减 N 入河量是太湖入湖河流污染防治的重要任务。

(2) 水花生体内 TN 和 TP 累积量均高于茭草。水花生和茭草茎叶中 TN 含量与水体 TN 浓度的相关性不显著, 而 TP 含量与水体 TP 浓度显著正相关, 表明水生植物对 P 的吸收具有较明显的规律性, 即在一定浓度范围内, 水体中 P 浓度越高, 水花生和茭草体内 P 的累积量越大。

参考文献:

- [1] 王键华, 陆根法, 钱 瑜, 等. 太湖流域面源污染控制对策研究[J]. 环境保护科学, 2003, 29(116): 16-18.
WANG Jian-hua, LU Gen-fa, QIAN Yu, et al. Study on control measures of the non-point source pollution of Taihu Lake region[J]. *Environmental Protection Science*, 2003, 29(116): 16-18.
- [2] 肖清芳. 太湖水质富营养化问题探讨 [J]. 江苏水利, 1998 (S1): 44-46.
XIAO Qing-fang. Eutrophication of Taihu Lake water quality[J]. *Jiangsu Water Resources*, 1998(S1): 44-46.
- [3] 张利民, 孙卫红, 程 炜, 等. 太湖入湖河流环境综合整治[J]. 中国资源综合利用, 2009, 21(5): 1-5.
ZHANG Li-min, SUN Wei-hong, CHENG Wei, et al. Overall treatment of water environment for inflow rivers of Taihu Lake[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2009, 21(5): 1-5.
- [4] 许朋柱, 秦伯强. 2001—2002 水文年环太湖河道的水量及污染物通量[J]. 湖泊科学, 2005, 17(3): 213-218.
XU Peng-zhu, QIN Bo-qiang. Water quantity and pollutant fluxes of the surrounding rivers of Lake Taihu during the hydrological year of 2001—2002[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2005, 17(3): 213-218.
- [5] 翟淑华, 张红举. 环太湖河流进出湖水量及污染负荷(2000—2002 年)[J]. 湖泊科学, 2006, 18(3): 225-230.
ZHAI Shu-hua, ZHANG Hong-ju. Water quantity and waste load variation of rivers Lake Taihu from 2000 to 2002[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2006, 18(3): 225-230.
- [6] CAI Q M, GAO X Y, CHEN Y W. Dynamic variations of water quality in Taihu Lake and multivariate analysis of its influential factors[J]. *The Journal of Chinese Geography*, 1997, 7(3): 72-82.
- [7] CHENG X Y, LI S J. An analysis on the evolvement processes of lake eutrophication and their characteristics of the typical lakes in the mid-

- dle and lower reaches of Yangtze River[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 12(13):77-87.
- [8] 吴振斌, 邱东茹, 贺 锋, 等. 水生植物对富营养水体水质净化作用研究[J]. *武汉植物学研究*, 2001, 19(4):299-303.
- WU Zhen-bin, QIU Dong-ru, HE Feng, et al. Studies on eutrophicated water quality improvement by means of aquatic macrophytes[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2001, 19(4):299-303.
- [9] Drizo A, Frosi C A, Smith K A, et al. Phosphate and ammonium removal by constructed wetlands with horizontal subsurface flow using shale as a substrate[J]. *Wat Sci Tech*, 1997, 35(5):95-102.
- [10] 卢少勇, 张彭义, 余 刚, 等. 农田排灌水人工湿地工程的设计[J]. *中国给水排水*, 2003, 19(11):75-77.
- LU Shao-yong, ZHANG Peng-yi, YU Gang, et al. Design land drainage and irrigation water artificial sites of the project[J]. *China Water & Wastewater*, 2003, 19(11):75-77.
- [11] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 第 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- Editorial Board of State Environmental Protection Administration of Water and Exhausted Water Monitoring Analysis Method. Water and exhausted water monitoring analysis method[M]. 4th Edition. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 2002.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- BAO Shi-dan. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000.
- [13] 余 辉, 燕姝雯, 徐 军. 太湖出入湖河流水质多元统计分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(6):696-702.
- YU Hui, YAN Shu-wen, XU Jun. Multivariate statistical analysis of water quality in the inflow and outflow rivers of Lake Taihu[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, 19(6):696-702.
- [14] Koerselman W, Meuleman A F M. The vegetation N:P ratio: A new tool to detect the nature of nutrient limitation[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1996, 33:1441-1450.
- [15] 鲁 静, 周虹霞, 田广宇, 等. 洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征[J]. *生态学报*, 2011, 31:709-715.
- LU Jing, ZHOU Hong-xia, TIAN Guang-yu, et al. Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31:709-715.
- [16] Jackson L J, Kalff J. Patterns in metal content of submerged aquatic macrophytes: The role of plant growth form[J]. *Freshwater Biology*, 1993, 29: 351-359.
- [17] 雷泽湘, 徐德兰, 谢贻发, 等. 太湖水生植物氮磷与湖水和沉积物氮磷含量的关系[J]. *植物生态学报*, 2008, 32(2):402-407.
- LEI Ze-xiang, XU De-lan, XIE Yi-fa, et al. Relationship between N and P contents in aquatic macrophytes water and sediment Taihu Lake[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(2):402-407.