

# 浮床植物系统对富营养化水体中氮、磷净化特征的初步研究\*

周小平 王建国 薛利红 徐晓峰 杨林章\*\*

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**【摘要】** 以浮床空心菜(*Ipomoea aquatica*)、水芹(*Oenanthe javanica*)和无植物系统为对象,研究了其在富营养化水体中对N、P的去除及其N<sub>2</sub>O的排放情况。结果表明,浮床植物系统对水体中N、P具有良好的净化效果,植物组织所累积的N、P量分别占各自系统去除量的40.32%~63.87%,说明植物的同化吸收作用是N、P去除的主要途径。换水周期内浮床植物系统中硝化反应进行充分,而反硝化反应相对缓慢,导致系统具有较高的NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N去除率,而产生NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N累积。植物的存在降低了系统中N<sub>2</sub>O的排放通量。生长较好的空心菜系统在换水前后平均N<sub>2</sub>O排放量最低,为17.14 μg N·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>,空白高达85.08 μg N·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>,水芹为37.38 μg N·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>。

**关键词** 富营养化 浮床植物系统 N、P 硝化和反硝化 净化 N<sub>2</sub>O

**文章编号** 1001-9332(2005)11-2199-05 **中图分类号** X171.4 **文献标识码** A

**N and P removal characters of eutrophic water body under planted float.** ZHOU Xiaoping, WANG Jianguo, XUE Lihong, XU Xiaofeng, YANG Linzhang (*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(11):2199~2203.

The study on the N and P removal and N<sub>2</sub>O release of eutrophic water body under planted float *Ipomoea aquatica* and *Oenanthe javanica* showed that planted float had a good effect on the removal of N and P from eutrophic water body. The bioaccumulation of N and P by the plants accounted for 40.32%~63.87% of the N and P removal, respectively, suggesting that plant uptake was the main removal process. Within the treating period, there was a rapid and sufficient nitrification but a slow and insufficient denitrification in the planted float system, and thereby, planted float system had a high NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N removal rate and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N accumulation. The presence of planted float reduced the release flux of N<sub>2</sub>O, which was 17.14 μg N·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> for *Ipomoea aquatica*, 37.38 μg N·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> for *Oenanthe javanica*, and 85.08 μg N·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> for the control.

**Key words** Eutrophication, Planted float system, N and P, Nitrification and denitrification, Removal, N<sub>2</sub>O.

## 1 引言

水体富营养化是我国水环境管理中的一个难题,水体中过高的N、P浓度是引起水体富营养化的主要原因<sup>[8]</sup>。控制和修复水体富营养化的植物生态工程技术方法很多,如人工湿地<sup>[10]</sup>、缓冲带<sup>[1,30]</sup>、植物塘<sup>[20,25]</sup>、浮床植物系统<sup>[2,3,12,13,15,23]</sup>(以下简称浮床系统)等。其中人工湿地技术成熟,应用广泛,而浮床系统出现的时间不长,是一种比较新的富营养化水体原位修复和控制技术。浮床系统技术主要具有以下优点:首先,它直接从水体中去除营养物,不会对沉积物中的营养成分再次利用;其次,它对废水进行原位处理,不另外占用土地;还有,它能适应各种水深,植株的管理和收获也较漂浮植物系统容易<sup>[12]</sup>。因此,浮床系统在我国的研究和应用日益增多,植物类型也由水稻<sup>[24]</sup>、黑麦草<sup>[2-4,13]</sup>和水芹<sup>[13]</sup>发展到香根草<sup>[15,23]</sup>、美人蕉<sup>[11]</sup>、空心菜<sup>[4]</sup>等多种水

生或陆生植物,并由试验室研究开始走向规模性示范和应用<sup>[4,18]</sup>。但是已有研究多侧重于浮床系统对水体的净化能力和效果,对其中去除特征和植物作用的研究不多。

湿地中的多数N是通过微生物硝化-反硝化途径转变为气态N化物(N<sub>2</sub>O或N<sub>2</sub>等),从而得以去除的。湿地植物组织中累积的N仅占系统去除N的一小部分<sup>[9,10,27,28]</sup>。湿地基质对P的去除起着重要作用<sup>[6,17,22]</sup>。浮床系统中缺少基质的作用,对其中的去除途径仍不清楚。因此,本研究将对浮床系统中植物作用及N<sub>2</sub>O的释放情况进行探索。

## 2 材料与方法

### 2.1 供试材料

空心菜(*Ipomoea aquatica*)和水芹(*Oenanthe javanica*)

\* 国家“十五”重大科学技术攻关资助项目(2002AA601012)。

\*\* 通讯联系人。

2004-11-23收稿,2005-05-23接受。

均来自当地,在供试水体中预培养2周后选取生长良好并均匀一致的植株用于本试验.供试水样为宜兴市大浦镇林庄河河水,并添加了一定量的碳酸氢铵和磷酸二氢铵,其N、P含量见表1.

表1 供试水样的N、P含量

浓度 Concentration	TN	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	TP	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P
	25.41±2.43	22.81±2.11	0.47±0.35	3.51±0.54	2.82±0.53

## 2.2 试验方法

植株采用泡沫板(50 cm×40 cm)浮床栽培,以方形PVC桶(68 cm×48 cm×42 cm)为容器,在泡沫板上以“4×3”布局均匀打孔12个,每孔栽入3株空心菜或1株水芹,用海绵条加以固定,每处理3次重复,另设无植物处理为对照,对照2次重复.换水周期为10 d,每次加水18 cm深,合计水量约59 L.在换水前后对每个处理取样.试验期间为了研究营养成分在换水周期内的动态变化,分别在换水后2、5和7 d进行采样.

试验中还培养箱内气体的N<sub>2</sub>O含量进行了分析.将容器顶部用双层塑料膜密封,再用铁丝将塑料膜嵌入水箱顶四周边凹槽中,在凹槽中加注水,使得塑料膜和水箱之间保持良好的密封性.密封后0、0.5和1.0 h分别采样,采样时用针头将预先抽真空的安瓿瓶和封闭塑料箱连通约2 min,然后将采气口用胶布封闭后带回实验室,待分析.

试验于宜兴市大浦镇温室大棚(科技部重大专项太湖面源污染控制宜兴基地)内进行,时间为2004年5月24日~2004年8月3日,计70 d.其中空心菜于6月23日和7月13日各刈割1次,于8月3日收获,水芹于7月23日收获.

## 2.3 分析方法

水样分析项目为TN、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、TP、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P.测试方法为<sup>[26]</sup>:TN采用K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>氧化紫外消解比色法;NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N采用靛酚蓝比色法;NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N采用硫酸联氨还原-重N化偶合比色法;TP采用紫外消解钼蓝比色法;PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P采用钼蓝比色法,分析仪器为荷兰Skalar公司的SA-4000型N、P流动分析仪.N<sub>2</sub>O含量分析仪器为HP 5890 II型气相色谱仪,变异系数为0.1%~0.4%,N<sub>2</sub>O的排放通量计算方法参考文献<sup>[29]</sup>.

收获时植株根、茎叶分开,并分别测定了其生物量及N、P含量,N、P含量采用浓H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消煮法<sup>[14]</sup>,调节pH后用上述流动分析仪进行测试.其中N、P去除率的计算公式为:去除率(%)=(C<sub>i</sub>-C<sub>e</sub>)/C<sub>i</sub>×100%,其中C<sub>i</sub>为处理前营养成分浓度,C<sub>e</sub>为处理后浓度.

表2 换水前后各处理的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N浓度

类型 Types	6.03	6.13	6.23	7.03	7.13	7.23	8.03
进水 Influent	0.22	0.03	0.06	0.05	0.67	1.28	0.13
对照 CK	13.72±0.26	14.19±0.09	14.96±0.54	10.60±0.13	13.76±0.17	13.67±0.45	13.71±0.49
空心菜 <i>Ipomoea aquatica</i>	7.33±0.86	4.02±0.76	9.77±0.90	3.19±0.91	4.13±1.18	6.03±1.58	5.15±1.54
水芹 <i>Oenanthe javanica</i>	12.12±0.27	6.41±0.25	7.05±0.75	8.94±0.17	11.60±0.22	12.19±0.15	-

- 植株已经收获 Plants had been harvested.

## 3 结果与分析

### 3.1 TN、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N和NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N的去除

浮床空心菜和水芹对TN的去除效果较对照显著.各处理包括对照对NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的去除率均很高,多数时候大于98%,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的浓度从进水的高浓度下降到几乎难以检出(图1).由于换水前后的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N浓度变化较大,用去除率难以表达其变化情况,因而将其值列于表2.由表2可以看出,处理后的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N浓度急剧增加,表明在培养箱内的硝化反应将大部分NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N转化成NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N.

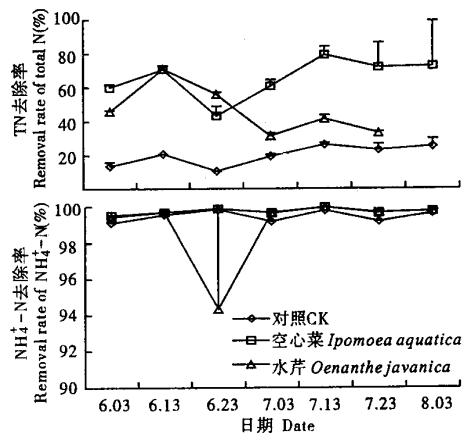


图1 各处理TN和NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N去除率的动态变化

Fig. 1 Dynamic changes of removal rates of TN and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N in different treatments.

对换水周期内的各种N形态浓度检测结果表明,各处理中TN的去除率在换水周期内随时间推移而增高,几乎呈直线增加(图2).第2 d时,各处理之间的TN去除率差别不大,随着时间的推移,空心菜系统TN去除率上升较快,空白TN去除率上升较慢,最后导致空心菜系统具有较高的TN去除率.这可能是由于空心菜具有较强的吸收同化作用.从表4也可以看出,植物同化累积的N占据了去除N的一半以上.

浮床空心菜系统的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N浓度从换水后呈直线增加,5 d时达到最大值,其后又呈直线下降,直至下次换水,而对照和水芹在整个换水周期内NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N逐渐增加,最后各处理中都有一定的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-

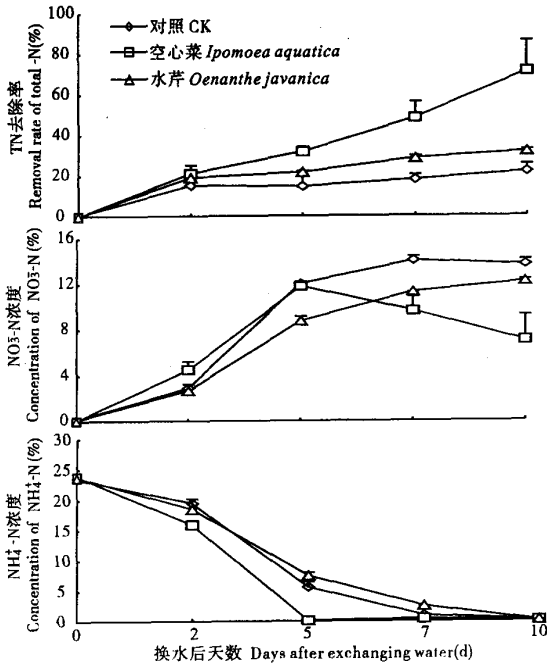


图 2 各处理 TN 去除率及  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度在换水周期内的动态变化  
Fig.2 Dynamic changes of removal rates of TN and concentration of  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  and  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  in different treatments under treatment time.

N 积累.浮床空心菜系统中的  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度最低,空白最高(图 2),说明生长较好的浮床空心菜系统的硝化反应较其它系统快,而且对  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的去除能力也较强.各处理  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度在换水周期内不断减少,换水前达到一个较低水平.各处理内  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度均呈此消彼长趋势(图 2),表明换水周期内的硝化反应不断地将  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  转化为  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ,且由于系统对  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  去除能力的限制,直至下次换水时  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度仍然较高.

已有研究表明,湿地对  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  具有较高的去除率<sup>[7,16]</sup>.在本研究中,植物浮床系统对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的转化率高而且迅速,但会产生  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  累积.因此,从理论上讲,在湿地前串联植物浮床系统或通过几级这样的串联系统,应该可以加强对水体 N 的去除.例如在太湖地区,河水中的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量相当高<sup>[29]</sup>,采用这种串联系统是否可以强化对 N 的去除,有待于进一步研究.

3.2 TP 和  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  去除规律

浮床系统对 P 的去除途径包括植物吸收、沉淀、吸附作用和微生物固定等.浮床空心菜和水芹系统对 TP 去除率多数时候高达 85% 以上且稳定,而对照 TP 去除率有 4 个换水周期为 60% 左右,但有

3 个值却小于 10%.空白的较高值与徐晓峰试验结果较为一致(图 3).造成 3 个换水周期内 TP 去除率较低的可能原因是:在 6 月 23 日、7 月 23 日和 8 月 3 日试验期间,环境温度较高,阳光充足,对照箱受到水绵污染,并生长迅速,水绵具有较大的表面积,能吸附水体中的 P,并阻碍 P 的沉淀,取样时为了不使水绵进入水样,对水体扰动较大,造成水绵吸持的 P 又重新进入水体,最后导致结果偏低.这也从另一个方面说明沉淀和吸附作用在对照系统 P 去除中起着重要作用,而植物箱内水绵很少,植物吸收、P 的沉淀和吸附共同作用导致系统具有较高的 P 去除率.植物吸收同化的 P 占系统所去除 P 的一半左右,说明植物的吸收作用在 P 的去除中起着重要作用(表 4). $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  的去除情况类似于 TP.

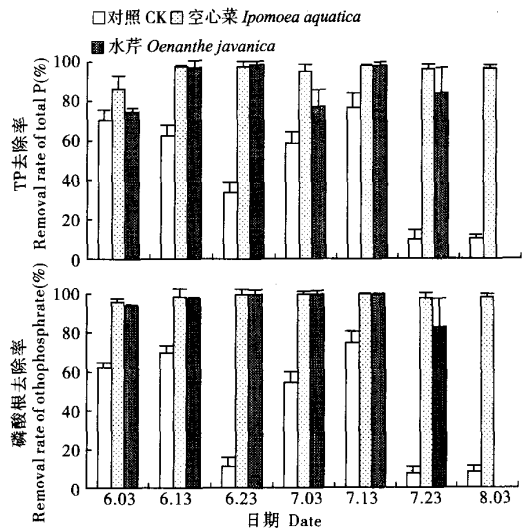


图 3 各处理 TP 和  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  去除率的动态变化  
Fig.3 Dynamic changes of removal ratios of TP and  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  in different treatments.

3.3  $\text{N}_2\text{O}$  的排放

换水前,无植物系统的  $\text{N}_2\text{O}$  排放速率远高于有植物系统,分别为浮床空心菜和水芹系统的 7.43 和 3.23 倍,其中水芹系统的  $\text{N}_2\text{O}$  排放速率是空心菜系统的 2.30 倍(表 3).换水后,仍以空心菜系统的  $\text{N}_2\text{O}$  排放速率最低,浮床水芹和对照系统的排放量都是空心菜系统的 2 倍左右.浮床系统排水前后平均  $\text{N}_2\text{O}$  的排放通量达到  $17.04 \sim 85.08 \mu\text{g N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ,这个值在水田土壤<sup>[29]</sup>、湖泊沉积物<sup>[21]</sup>和缓冲区<sup>[19]</sup>中的观测值范围内,但要低于营养液栽培植物中的观测值.营养液栽培系统中  $\text{N}_2\text{O}$  的排放通量一般为农田土壤的 5~10 倍<sup>[5]</sup>.

表3 换水前后  $N_2O$  的排放速率及  $NO_3^-$ -N 浓度Table 3 Release flux of  $N_2O$  and concentration of  $NO_3^-$ -N before and after water-exchange

项目 Item	换水前 Before water-exchange		换水后 After water-exchange		平均值 Average ( $\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ )
	$NO_3^-$ -N 浓度 Concentration of $NO_3^-$ -N ( $mg \cdot L^{-1}$ )	$N_2O$ -N 释放速率 Release flux of $N_2O$ -N ( $\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ )	$NO_3^-$ -N 浓度 Concentration of $NO_3^-$ -N ( $mg \cdot L^{-1}$ )	$N_2O$ -N 释放速率 Release flux of $N_2O$ -N ( $\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ )	
对照 CK	13.52 ± 1.37	141.08 ± 27.31	0.22 ± 0.04	29.08 ± 6.00	85.08
空心菜 <i>Ipomoea aquatica</i>	5.66 ± 2.28	18.98 ± 8.19	0.03 ± 0.01	15.31 ± 12.96	17.14
水芹 <i>Oenanthe javanica</i>	9.72 ± 2.61	43.67 ± 18.74	0.05 ± 0.00	31.09 ± 3.93	37.38

表4 各处理植物的生物量、累积营养及系统去除营养

Table 4 Plant biomass, bioaccumulation nutrients and removal nutrients in different treatments

项目 Item	对照 CK	空心菜 <i>Ipomoea aquatica</i>	水芹 <i>Oenanthe javanica</i>
总生物量 Total DW ( $g \cdot m^{-2}$ )	-	290.90 ± 52.48	167.89 ± 17.52
生长速率 Relative growth rate ( $g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ )	-	12.75 ± 2.30	8.58 ± 0.89
N 系统去除 Removal ( $g \cdot m^{-2}$ )	5.91 ± 0.40	21.11 ± 2.30	15.20 ± 0.28
植物累积 Bioaccumulation ( $g \cdot m^{-2}$ ) (%)	-	12.01 ± 2.33	6.13 ± 0.86
$N_2O$ -N ( $mg \cdot m^{-2}$ ) (%)	-	56.87	40.32
$N_2O$ -N ( $mg \cdot m^{-2}$ ) (%)	142.95 ± 17.89	28.80 ± 12.90	53.83 ± 15.38
P 系统去除 Removal ( $g \cdot m^{-2}$ )	1.13 ± 0.09	3.62 ± 0.27	2.91 ± 0.09
植物累积 Bioaccumulation ( $g \cdot m^{-2}$ ) (%)	-	2.33 ± 0.18	1.29 ± 0.40
$N_2O$ -N ( $mg \cdot m^{-2}$ ) (%)	-	63.87	44.29

\* 包括 2 次茎叶刈割生物量和最后收获生物量 Including mowed and harvested DW.

各处理换水前的  $N_2O$  释放速率都高于换水后, 对照尤为明显(表 3)。造成这种现象的原因是: 换入的试验水体经过 2 次抽取, 相当于进行了一个充气过程, 水体中含有较多的溶解氧, 而不利于厌氧型反硝化反应进行; 换水可能损失大部分的反硝化细菌; 另外, 换入水体的  $NO_3^-$ -N 浓度较低, 同样不利于反硝化进行。

浮床空心菜系统对富营养化水体中 N 的去除效果较好, 生长也较好, 但是换水前后  $N_2O$  的排放速率都以浮床空心菜最低, 而空白较高(表 3)。这与湿地中植物能提高系统中的反硝化能力观点不同<sup>[10, 28]</sup>, 推测其原因可能有: 1) 浮床系统中植物的根有一定的泌氧能力, 致使水体中溶解氧较高, 而不利于厌氧型反硝化细菌的生长和繁殖; 2) 试验水箱小, 水体内流动性和交换性强, 水体中的溶解氧含量较高且均一, 难以形成湿地中常有的厌氧-好氧交替环境, 从而使得浮床系统中硝化反应进行充分, 而反硝化反应进行缓慢; 3) 植物对反硝化作用底物——硝态 N 具有较强的吸收同化作用, 导致植物系统中  $NO_3^-$ -N 浓度要低于对照, 这点可以从表 2 的结果得以证实; 4) 浮床植物系统中的水溶液 pH 一般呈弱酸性到近中性, 而对照系统为 8.0 左右, 生长旺盛的植物其泌氧、吸收和分泌酸性物质的能力都较强, 所以造成有植物浮床系统的  $N_2O$  排放能力要弱于无植物系统, 生长较好的空心菜系统  $N_2O$  排放能力要

弱于水芹。Diemo 等<sup>[5]</sup>亦发现, 无土栽培系统中的反硝化速率主要受到营养液浓度、基质、植物、反硝化细菌和温度等气候因素的影响, 其中溶解氧的浓度对反硝化作用的影响较大, 中性或略偏碱性的环境有利于反硝化, 当 pH < 6 时, 无土栽培系统中气态 N 的损失会减少。

湿地中的亚硝化细菌数量和反硝化细菌数量都明显高于无植物系统, 具有较强的反硝化能力<sup>[9]</sup>。但是湿地系统整体处于厌氧状态, 不能为硝化作用提供良好的环境条件, 提高湿地 N 的去除速率最重要的是要提高湿地系统的硝化作用强度。湿地中的植物加强了系统的硝化作用, 从而提高了湿地系统的反硝化能力和 N 的去除能力。在浮床系统中, 硝化反应充分而反硝化反应较慢, 要提高浮床系统 N 的去除能力, 应该选用同化能力较强的植物或采取强化反硝化措施, 增强对  $NO_3^-$ -N 和 N 的去除能力。

### 3.4 系统内的物质平衡

空心菜和水芹在试验期间均生长良好。其中空心菜的长势要好于水芹, 所积累生物量和生长速率要大于水芹, 最后空心菜所累积的 N、P 也要高于水芹(表 4)。空心菜累积的 N、P 分别占系统去除量的 56.87% 和 63.87%, 水芹则为 40.32% 和 44.29%(表 4), 说明植物的吸收同化作用是 N、P 去除的主要途径, 植株体成为了富营养化水体 N、P 去除的一个中间“汇”, 最后可以通过收获植株将其彻底移出系统。湿地植物所累积的 N 一般不会超过所去除 N 的 30%<sup>[10, 27]</sup>, 本文所得的较高比值说明植物在浮床系统中对去除水体 N、P 的重要性, 浮床系统中植物所吸收的营养成分大部分直接来自于水体<sup>[12]</sup>。因此, 在利用浮床系统治理水体富营养化时, 植物生物量大小及植物的管理显得相当重要。空白系统中  $N_2O$  排放所损失的 N 占去除 N 的比例最高, 但也仅为 2.42%, 因而浮床系统中仍有相当一部分 N 的去向不明。

## 4 结 论

### 4.1 浮床植物系统对水体中 N、P 具有良好的净化

效果.浮床空心菜、水芹系统和空白对 TN 的多次平均去除率分别为 63.37%、46.40% 和 19.76%, TP 为 95.60%、88.44% 和 40.08%.

4.2 植物组织所累积的 N、P 量分别占各自系统去除量的 40.32%~63.87%.植物的吸收同化作用是 N、P 去除的主要途径.

4.3 在换水周期内,浮床系统中硝化反应进行充分,而反硝化反应相对缓慢,导致系统具有较高的  $\text{NH}_4^+$ -N 去除率,而产生  $\text{NO}_3^-$ -N 累积.要提高浮床系统 N 的去除能力,应该选用同化能力较强的植物或采取强化反硝化措施.

4.4 各处理换水后的  $\text{N}_2\text{O}$  排放量要远低于换水前,植物的存在降低了系统中  $\text{N}_2\text{O}$  的排放通量,以生长较好的空心菜系统在换水前后  $\text{N}_2\text{O}$  排放量最低,而空白最高.  $\text{N}_2\text{O}$ -N 所损失的 N 仅占系统去除氮的很小一部分.

致谢 中国科学院南京土壤研究所蔡祖聪研究员提供了采气的安瓶瓶,并在分析气样时给予帮助,在此深表谢意.

#### 参考文献

- Borin M, Vianello M, Morari F, et al. 2005. Effectiveness of buffer strips in removing pollutants in runoff from a cultivated field in North-East Italy. *Agric Ecosyst Environ*, 105:101~114
- Cheng S-P(程树培), Ding S-R(丁树荣), Hu Z-M(胡忠明). 1991. The study of purification of water spinach planted on artificial substrata on filtrate wastewater. *Environ Sci (环境科学)*, 12(4): 47~51(in Chinese)
- Dai Q-Y(戴全裕), Chen Z(陈钊). 1993. Purification of beer wastewater by *Lolium multiflorum*. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 4(3):334~337(in Chinese)
- Dai Q-Y(戴全裕), Jiang X-C(蒋兴昌), Wang Y-B(汪耀斌), et al. 1995. Eco-engineering simulation on pollutant control in river courses of Taihu Lake. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 6(2): 201~205(in Chinese)
- Diemo D, Manfred KS. 1998. Influence of nutrient solution pH on  $\text{N}_2\text{O}$  and  $\text{N}_2$  emissions from a soilless culture system. *Plant Soil*, 203:279~287
- Drizo A, Frost CA, Smith KA, et al. 1997. Phosphorus and ammonium removal by constructed wetlands with horizontal subsurface flow, using shale as a substrate. *Water Sci Technol*, 35(5):95~102
- James FR, Alex JH, Craig DM. 2000. Nitrate removal from a drinking water supply with large free-surface constructed wetlands prior to groundwater recharge. *Ecol Eng*, 14:33~47
- Jin X-C(金相灿), Liu S-K(刘树坤), Zhang Z-S(章宗涉), et al. 1995. China Lake Eutrophication. Beijing: China Ocean Press. (in Chinese)
- Jing Y-S(靖元孝), Yang D-Q(杨丹菁). 2004. Nitrogen removal and nitrogen-transformation bacteria in *Cyperus alternifolius* constructed wetland. *Ecol Sci (生态科学)*, 23(1): 89~91(in Chinese)
- Kivaisi AK. 2001. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: A review. *Ecol Eng*, 16:545~560
- Li F-B(李芳柏), Wu Q-T(吴启莹). 1997. Domestic wastewater treatment with means of soilless cultivated plants. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 8(1):88~92(in Chinese)
- Li W, Friedrich R. 2002. *In situ* removal of dissolved phosphorus in irrigation drainage water by planted floats: Preliminary results from growth chamber trial. *Agric Ecosyst Environ*, 90:9~15
- Liu S-Y(刘淑媛), Ren J-C(任久长), You W-H(由文辉). 1999. A study on purification of the eutrophic water body with economical plants soillessly cultivated on artificial substratum. *Acta Univ Pekinensis (Sci Nat) (北京大学学报·自然科学版)*, 35(4):518~522(in Chinese)
- Lu R-K(鲁如坤). 2000. Analysis Methods of Soil Agricultural Chemistry. Beijing: Agricultural Science Press. (in Chinese)
- Ma L-S(马立珊), Lou Y-M(骆水明), Wu L-H(吴龙华). 2000. The pilot study of purification development and efficiency of *Vetiveria zizanioides* with floating technologies on N and P in eutrophic water. *Soil (土壤)*, 2:99~101(in Chinese)
- Matheson FE, Nguyen ML, Cooper AB, et al. 2002. Fate of  $^{15}\text{N}$ -nitrate in unplanted, planted and harvested riparian wetland soil microcosms. *Ecol Eng*, 19:249~264
- Miao S-Y(缪绅裕), Chen G-Z(陈桂珠), Huang Y-S(黄玉山). 1999. Allocation and circulation of phosphorus in artificial wastewater within a simulated mangrove wetland system. *Acta Ecol Sin (生态学报)*, 19(2):236~241(in Chinese)
- Monnet F, Vaillant N, Hitmi A, et al. 2002. Treatment of domestic wastewater using the nutrient film technique(NFT) to produce horticultural roses. *Water Res*, 36:3489~3496
- Peter MG, Arthur JG, Kelly A. 2000. Nitrous oxide production in riparian zones and its importance to national emission inventories. *Chemosphere*, 2:291~299
- Quan W-M(全为民), Shen X-Q(沈新强), Yan L-J(严力蛟). 2003. Advances in research of biological purification of eutrophic water body. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 14(11):2057~2081(in Chinese)
- Roberto GR, Sarah NP, Brian AW. 1998. Denitrification and nitrous oxide production in sediments of the Wiske, a lowland eutrophic river. *Sci Total Environ*, 210:307~320
- Sakadevan K, Bavor HJ. 1998. Phosphate adsorption characteristics of soils, slags and zeolite to be used as substrates in constructed wetland systems. *Wat Res*, 32(2):393~399
- Si Y-B(司友斌), Bao J-J(包军杰), Cao D-J(曹德菊), et al. 2003. Purification of eutrophicated water body by *Vetiveria zizanioides*. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 14(2):277~279(in Chinese)
- Song X-F(宋祥甫), Zou G-Y(邹国燕), Wu W-M(吴伟明), et al. 1998. Study on the removal effect and regulation of rice plants a floating beds to main nutrients N and P in eutrophicated water bodies. *Acta Sci Circ (环境科学学报)*, 18(5):489~494(in Chinese)
- Sooknah RD, Wilkie AC. 2004. Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater. *Ecol Eng*, 22:27~42
- State Environmental Protection Administration of China(国家环境保护总局). 2002. Detecting and analyzing methods of water and wastewater. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press. (in Chinese)
- Susan BP, John MT. 1996. The role of plants in ecologically engineered wastewater treatment systems. *Ecol Eng*, 6:137~148
- Todd LI, Lawrence AB. 1998. Nitrate removal in wetland microcosms. *Wat Res*, 32(3):677~684
- Xu H(徐华), Xing G-X(邢光熹), Cai Z-C(蔡祖聪), et al. 1999. Effect of soil water regime and chemical N fertilizers application on  $\text{N}_2\text{O}$  emission from paddy field. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 10(2):186~188(in Chinese)
- Yin C-Q(尹澄清), Lan Z-W(兰智文), Yan W-J(晏维金). 1995. Retention of allochthonous nutrients by ecotones of Baiyangdian Lake. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 6(1):76~80(in Chinese)

作者简介 周小平,男,1977年生,博士研究生.主要从事面源污染、水体富营养化研究. E-mail: xpzhou@issas.ac.cn

# 浮床植物系统对富营养化水体中氮、磷净化特征的初步研究

作者: [周小平](#), [王建国](#), [薛利红](#), [徐晓峰](#), [杨林章](#), [ZHOU Xiaoping](#), [WANG Jianguo](#), [XUE Lihong](#), [XU Xiaofeng](#), [YANG Linzhang](#)  
作者单位: [中国科学院南京土壤研究所](#), 南京, 210008  
刊名: [应用生态学报](#) **ISTIC** **PKU**  
英文刊名: [CHINESE JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY](#)  
年, 卷(期): 2005, 16(11)  
被引用次数: 85次

## 参考文献(30条)

- [Borin M;Vianello M;Morari F Effectiveness of buffer strips in removing pollutants in runoff from a cultivated field in North-East Italy](#) 2005
- [程树培;丁树荣;胡忠明 The study of purification of water spinach planted on artificial substrata on filature wastewater](#) 1991
- [戴全裕;陈钊 Purification of beer wastewater by Lolium multiflorum](#) 1993(03)
- [戴全裕;蒋兴昌;汪耀斌 Eco-engineering simulation on pollutant control in river courses of Taihu Lake](#) 1995
- [Diemo D;Manfred KS Influence of nutrient solution pH on N<sub>2</sub>O and N<sub>2</sub> emissions from a soilless culture system](#)[外文期刊] 1998
- [Drizo A;Frost CA;Smith KA Phosphorus and ammonium removal by constructed wetlands with horizontal subsurface flow, using shale as a substrate](#) 1997(05)
- [James FR;Alex JH;Craig DM Nitrate removal from a drinking water supply with large free-surface constructed wetlands prior to groundwater recharge](#)[外文期刊] 2000
- [金相灿;刘树坤;章宗涉 China Lake Eutrophication](#) 1995
- [靖元孝;杨丹菁 Nitrogen removal and nitrogen-transformation bacteria in Cyperus alternifolius constructed wetland](#)[期刊论文]-[生态科学](#) 2004(01)
- [Kivaisi AK The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries:A review](#)[外文期刊] 2001(4)
- [李芳柏;吴启堂 Domestic wastewater treatment with means of soilless cultivated plants](#) 1997(01)
- [Li W;Friedrich R In situ removal of dissolved phosphorus in irrigation drainage water by planted floats:Preliminary results from growth chamber trial](#)[外文期刊] 2002
- [刘淑媛;任久长;由文辉 A study on purification of the eutrophic water body with economical plants soillessly cultivated on artificial substratum](#) 1999
- [鲁如坤 Analysis Methods of Soil Agricultural Chemistry](#) 2000
- [马立珊;骆永明;吴龙华 The pilot study of purification development and efficiency of Vetiveria zizanioids with floating technologies on N and P in eutrophic water](#) 2000(02)
- [Matheson FE;Nguyen ML;Cooper AB Fate of 15N-nitrate in unplanted, planted and harvested riparian wetland soil microcosms](#) 2002
- [缪绅裕;陈桂珠;黄玉山 Allocation and circulation of phosphorus in artificial wastewater within a simulated mangrove wetland system](#)[期刊论文]-[生态学报](#) 1999(2)

18. [Monnet F;Vaillant N;Hitmi A Treatment of domestic wastewater using the nutrient film technique\(NFT\) to produce horticultural roses\[外文期刊\] 2002](#)
19. [Peter MG;Arthur JG;Kelly A Nitrous oxide production in riparian zones and its importance to national emission inventories 2000](#)
20. [全为民;沈新强;严力蛟 Advances in research of biological purification of eutrophic water body\[期刊论文\]-应用生态学报 2003\(11\)](#)
21. [Roberto GR;Sarah NP;Brian AW Denitrification and nitrous oxide production in sediments of the Wiske, a lowland eutrophic river\[外文期刊\] 1998](#)
22. [Sakadevan K;Bavor HJ Phosphate adsorption characteristics of soils, slags and zeolite to be used as substrates in constructed wetland systems 1998\(02\)](#)
23. [司友斌;包军杰;曹德菊 Purification of eutrophicated water body by Vetiveria zizanioids\[期刊论文\]-应用生态学报 2003\(2\)](#)
24. [宋祥甫;邹国燕;吴伟明 Study on the removal effect and regulation of rice plants a floating beds to main nutrients N and Pin eutrophicated water bodies\[期刊论文\]-环境科学学报 1998\(5\)](#)
25. [Sookmh RD;Wilkie AC Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater\[外文期刊\] 2004\(1\)](#)
26. [国家环境保护总局 Detecting and analyzing methods of water and wastewater 2002](#)
27. [Susan BP;John MT The role of plants in ecologically engineered wastewater treatment systems 1996](#)
28. [Todd LI;Lawrence AB Nitrate removal in wetland microcosms\[外文期刊\] 1998\(03\)](#)
29. [徐华;邢光熹;蔡祖聪 Effect of soil water regime and chemical N fertilizers application on N<sub>2</sub>O emission from paddy field\[期刊论文\]-应用生态学报 1999\(2\)](#)
30. [尹澄清;兰智文;晏维金 Retention of allochthonous nutrients by ecotones of Baiyangdian Lake 1995\(01\)](#)

#### 本文读者也读过(3条)

1. [周真明. 陈灿瑜. 叶青. 赵志领. ZHOU Zhen-ming. CHEN Can-yu. YE Qing. ZHAO Zhi-ling 浮床植物系统对富营养化水体的净化效果\[期刊论文\]-华侨大学学报\(自然科学版\) 2010, 31\(5\)](#)
2. [周真明. 叶青. 沈春花. 赵志领. Zhou Zhenming. Ye Qing. Shen Chunhua. Zhao Zhiling 3种浮床植物系统对富营养化水体净化效果研究\[期刊论文\]-环境工程学报 2010, 4\(1\)](#)
3. [周小平. 徐晓峰. 王建国. 杨林章. ZHOU Xiao-Ping. XU Xiao-Feng. WANG Jian-Guo. YANG Lin-Zhang 3种植物浮床对冬季富营养化水体氮磷的去除效果研究\[期刊论文\]-中国生态农业学报 2007, 15\(4\)](#)

#### 引证文献(87条)

1. [牛小磊. 杨夏欣. 王志远. 刘宏斌 美人蕉对西安护城河水体净化功能的初步研究\[期刊论文\]-环境保护科学 2007\(6\)](#)
2. [牛昶. 韩烈保. 侯国华. 常智慧 浮床种植草坪草对富营养化水体的净化作用研究\[期刊论文\]-草业科学 2007\(10\)](#)
3. [茅孝仁. 周金波 几种生态浮床常用水生植物的水质净化能力研究\[期刊论文\]-浙江农业科学 2011\(1\)](#)
4. [陈生香. 闵峰. 尚旭. 唐树梅 富贵竹、黄花蒿、闭鞘姜对富营养化水体净化的初步研究\[期刊论文\]-热带农业科学 2009\(5\)](#)

5. 黄婧, 林惠凤, 朱联东, 李兆华 浮床水培蕹菜的生物学特征及水质净化效果[期刊论文]-环境科学与管理 2008(12)
6. 刘利华, 郭雪艳, 达良俊, 李静文 不同富营养化水平对挺水植物生长及氮磷吸收能力的影响[期刊论文]-华东师范大学学报(自然科学版) 2012(6)
7. 姚辉, 郭荣军, 叶建平, 陈若霞, 金树权 几种漂浮水生植物的净水能力分析 & 筛选[期刊论文]-宁波农业科技 2012(3)
8. 杨晓玲, 郭金耀 水蕹菜对富营养化养殖水的净化作用研究[期刊论文]-作物杂志 2012(1)
9. 李丽, 杨扬, 杨凤娟, 潘鸿 污染水体条件下生态浮床的植物生长特性与作用[期刊论文]-安全与环境学报 2011(3)
10. 汪小将, 刘旭昊, 黄文波, 朱清芳 3种蔬菜水培净化水质作用的研究[期刊论文]-广东农业科学 2011(6)
11. 李先宁, 宋海亮, 朱光灿, 李大成, 吕锡武 组合型生态浮床的动态水质净化特性[期刊论文]-环境科学 2007(11)
12. 李先宁, 宋海亮, 朱光灿, 李大成, 吕锡武 组合型浮床生态系统的构建及其改善湖泊水源地水质的效果[期刊论文]-湖泊科学 2007(4)
13. 杨晓玲, 郭金耀 辣椒幼苗对富营养化养殖水的净化作用研究[期刊论文]-北方园艺 2012(13)
14. 唐萍, 沈金超, 贾军洋 浮床栽培水芹净化养殖水体的研究[期刊论文]-北方园艺 2011(22)
15. 白少元, 张华, 解庆林 复合流人工浮岛系统植物与基质在污染水体修复中的作用[期刊论文]-净水技术 2010(1)
16. 白少元, 王明玉 复合介质人工浮岛对缓流水体N、P修复研究[期刊论文]-环境科学与技术 2010(7)
17. 铁柏清, 李希, 李杰峰, 彭陵文, 李高明 3种植物人工浮岛对生活污水水质动态净化特性的比较[期刊论文]-环境工程学报 2010(7)
18. 白少元, 王明玉 新型人工浮岛流场数值模拟与结构优化分析[期刊论文]-环境工程学报 2009(12)
19. 林惠凤, 黄婧, 朱联东, 李兆华 浮床栽培柳树在富营养化水体中的生长特性及水质净化效果研究[期刊论文]-湖北大学学报(自然科学版) 2009(2)
20. 李海英, 杨海华, 柯凡, 冯慕华, 李文朝 微曝气生态浮床的净化效果与生物膜特性研究[期刊论文]-中国给水排水 2009(7)
21. 周晓红, 王国祥, 杨飞, 陈秋敏, 汪丽 刈割对生态浮床植物黑麦草光合作用及其对氮磷等净化效果的影响[期刊论文]-环境科学 2008(12)
22. 赵丰, 张勇, 黄民生, 吴小慧, 张一瑶, 何岩 水生植物浮床对城市污染水体的净化效果研究[期刊论文]-华东师范大学学报(自然科学版) 2011(6)
23. 蒋跃, 童琰, 由文辉, 吴建强 3种浮床植物生长特性及氮、磷吸收的优化配置研究[期刊论文]-中国环境科学 2011(5)
24. 陈玉辉, 张勇, 黄民生, 何岩, 曹承进 梯级生态浮床系统净化富营养化水体的示范工程研究[期刊论文]-华东师范大学学报(自然科学版) 2011(1)
25. 宋超, 陈家长, 戈贤平, 吴伟, 范立民, 孟顺龙, 胡庚东 浮床栽培空心菜对罗非鱼养殖池塘水体中氮和磷的控制[期刊论文]-中国农学通报 2011(23)
26. 周真明, 陈灿瑜, 叶青, 赵志领 浮床植物系统对富营养化水体的净化效果[期刊论文]-华侨大学学报(自然科学版) 2010(5)
27. 富营养化水体灌溉对高羊茅生理生态特征的影响[期刊论文]-植物研究 2009(4)
28. 李威, 司马小峰, 陈晓国, 方涛 人工浮床对汾江河水质净化的研究[期刊论文]-环境工程学报 2012(11)
29. 周晓红, 王国祥, 杨飞 两种富营养化水体对植物生长及光合荧光特性的影响[期刊论文]-生态环境学报 2011(2)
30. 叶羨婧, 黄廷林, 张小林 秋季生态组合技术对人工湖水水质改善的动态实验研究[期刊论文]-科技信息 2011(20)



31. 刘娅琴, 邹国燕, 宋祥甫, 付子轼, 刘福兴, 潘琦, 范洁群 富营养水体浮游植物群落对新型生态浮床的响应[期刊论文]-环境科学研究 2011(11)
32. 张劲, 黄薇, 桑连海 浮床植物水质净化能力及其影响因素研究[期刊论文]-长江科学院院报 2011(12)
33. 朱玲, 关梅, 申晓东, 蒋晓红, 刘艳, 韩碧泽 人工生态浮床对池塘养殖水环境的影响[期刊论文]-贵州农业科学 2012(7)
34. 汪小将, 邓晓育, 刘飞, 刘旭昊 3种水培蔬菜对水质净化效果的研究[期刊论文]-安徽农业科学 2011(10)
35. 范子红, 刘超翔 溶氧条件对美人蕉和凤车草根系泌氧特征的影响[期刊论文]-城市环境与城市生态 2011(6)
36. 周真明, 叶青, 沈春花, 赵志领 3种浮床植物系统对富营养化水体净化效果研究[期刊论文]-环境工程学报 2010(1)
37. 刘娅琴, 邹国燕, 宋祥甫, 付子轼, 潘琦, 刘福兴, 范洁群 框式复合型生态浮床对富营养水体浮游植物群落结构的影响[期刊论文]-水生生物学报 2010(1)
38. 王伟, 胡庚东, 金兰仙, 杨琳 浮床植物系统对池塘水体微生物的动态影响[期刊论文]-中国环境科学 2008(9)
39. 陈祈春, 李正魁, 王易超, 吴凯, 范念文 沉水植物床-固定化微生物技术在水源地修复中的应用研究[期刊论文]-环境科学 2012(1)
40. 张毅敏, 高月香, 吴小敏, 陈楚星, 魏京玲 复合立体生物浮床技术对微污染水体氮磷的去除效果[期刊论文]-生态与农村环境学报 2010(z1)
41. 吴黎明, 丛海兵, 王霞芳, 章清琳 3种浮床植物及人工水草去除水中氮磷的研究[期刊论文]-环境科技 2010(3)
42. 郑剑锋, 罗固源, 许晓毅, 曹佳, 舒为群 低温下生态浮床净化重污染河水的研究[期刊论文]-中国给水排水 2008(21)
43. 李彬, 靖元孝, 王忠正, 杨丹菁 互叶白千层(*Melaleuca alternifolia*)浮床对生活污水净化效果研究初报[期刊论文]-华南师范大学学报(自然科学版) 2010(2)
44. 李艳蕾, 姜应和, 李兆华, 赵丽娅 陆生经济植物浮床去除富营养化水中氮素研究[期刊论文]-环境科学与技术 2010(8)
45. 金树权, 周金波, 朱晓丽, 姚永如, 蔡国成, 陈若霞 10种水生植物的氮磷吸收和水质净化能力比较研究[期刊论文]-农业环境科学学报 2010(8)
46. 陈家长, 孟顺龙, 胡庚东, 瞿建宏, 范立民 空心菜浮床栽培对集约化养殖鱼塘水质的影响[期刊论文]-生态与农村环境学报 2010(2)
47. 崔丽娟, 商晓静, 王义飞, 李伟, 张曼胤 北京地区不同湿地植物对生活污水的净化效果研究[期刊论文]-林业资源管理 2009(4)
48. 朱建坤, 竺维佳, 施练东, 陈航, 梁亮, 方勇 大型饮用水源水面植物生长效果应用研究[期刊论文]-环境科学与技术 2011(2)
49. 邹然, 张梦露, 赵浩旋, 陈英明, 丁忠浩 多功能浮床栽培几种贵重花卉及其对水质修复的研究[期刊论文]-武汉科技学院学报 2010(2)
50. 张彦海, 罗固源, 许晓毅, 葛铜岗 美人蕉浮床去除临江河N、P的动态试验研究[期刊论文]-三峡环境与生态 2009(2)
51. 张志勇, 冯明雷, 杨林章, 王建国 人工模拟污水净化系统去除生活污水氮、磷效果的比较研究[期刊论文]-土壤学报 2008(3)
52. 张志勇, 王建国, 杨林章, 冯明雷 植物吸收对模拟污水净化系统去除氮、磷贡献的研究[期刊论文]-土壤 2008(3)

53. 唐莹莹, 李秀珍, 周元清, 贾悦, 辛在军, 孙永光 浮床空心菜对氮循环细菌数量与分布和氮素净化效果的影响[期刊论文]-生态学报 2012(9)
54. 刘长娥, 刘福兴, 宋祥甫, 邹国燕, 付子斌, 潘琦, 刘娅琴, 王金庆 茭草(*Zizania latifolia*)在不同人工湿地中的生长适应性[期刊论文]-湖泊科学 2012(1)
55. 张志勇, 冯明雷, 杨林章 浮床植物净化生活污水中N、P的效果及N<sub>2</sub>O的排放[期刊论文]-生态学报 2007(10)
56. 王彦玲, 韩士群, 宋伟, 周庆, 黄建萍 植物与螺组合浮床对富营养化水体的净化效果[期刊论文]-江苏农业学报 2011(2)
57. 宋伟, 周庆, 王彦玲, 李国锋, 韩士群 几种植物净化能力的比较及浮床应用效果研究[期刊论文]-江苏农业科学 2010(5)
58. 陈秋夏, 郑坚, 金川, 周庄, 陈雷, 周泰来, 唐建军 水生植物对N、P的富集作用研究[期刊论文]-江西农业大学学报 2008(3)
59. 周云龙, 黄健锋, 林嘉 华南师范大学人工湖水体富营养化及其对策研究[期刊论文]-华南师范大学学报(自然科学版) 2010(1)
60. 毛文岭, 王勇, 刘绣华 富贵竹研究进展[期刊论文]-济源职业技术学院学报 2010(4)
61. 毛文岭, 王勇, 刘绣华 富贵竹研究进展[期刊论文]-济源职业技术学院学报 2010(4)
62. 罗固源, 肖华, 韩金奎, 吴松, 许晓毅, 王博 人工浮床处理重污染河水的效能分析[期刊论文]-重庆大学学报(自然科学版) 2008(8)
63. 周晓红, 王国祥, 杨飞, 何伟 酸模浮床对污染水体净化效果及机理分析[期刊论文]-水土保持学报 2008(5)
64. 微曝气生态浮床净化入湖河口污染河水原位模型实验[期刊论文]-湖泊科学 2009(6)
65. 罗固源, 郑剑锋, 许晓毅, 曹佳, 舒为群 4种浮床栽培植物生长特性及吸收氮磷能力的比较[期刊论文]-环境科学学报 2009(2)
66. 胡雄, 谢从新, 何绪刚, 杨慧君, 鲜莹, 陈见, 邵俭, 张松 几种空心菜在富营养池塘中的生长特性和去除氮磷效果比较[期刊论文]-渔业现代化 2010(3)
67. 罗固源, 郑剑锋, 许晓毅, 曹佳, 舒为群 4种浮床栽培植物生长特性及吸收氮磷能力的比较[期刊论文]-环境科学学报 2009(2)
68. 景连东, 敖鸿毅, 刘剑彤, 李小平 人工浮床运用于入湖河流原位净化模拟研究[期刊论文]-湖泊科学 2011(5)
69. 杨雁, 李永梅, 张怀志, 张维理 不同水稻品种对滇池富营养化水体中氮磷去除效果研究[期刊论文]-西南农业学报 2010(6)
70. 李静文, 施文, 余丽凡, 罗虹, 达良俊, 沈昆根 丽娃河受损退化生态系统的近自然恢复工程及效果分析[期刊论文]-华东师范大学学报(自然科学版) 2010(4)
71. 杜佳沐, 张饮江, 张磊, 袁祥, 何培民 框架式模块化植物浮床构建及其生态效应[期刊论文]-水产科技情报 2010(1)
72. 杨雁, 李永梅, 张怀志, 张维理 不同水稻品种对滇池富营养化水体中氮磷去除效果研究[期刊论文]-西南农业学报 2010(6)
73. 杨雁, 李永梅, 王自林, 张怀志, 张维理 漂浮栽培水生植物对入滇河流污水中磷的去除效果研究[期刊论文]-农业环境科学学报 2010(9)
74. 胡绵好, 施练东, 宋建坤, 奥岩松, 向律成, 杨肖娥 植物-浮床触生藻类对富营养化水体氮磷去除的协同效果[期刊论文]-农业环境科学学报 2008(3)

75. [胥丁文](#), [陈玲娜](#), [马前](#) [生态浮床技术的应用及研究新进展](#)[期刊论文]-[中国给水排水](#) 2010(14)
76. [周晓红](#), [王国祥](#), [杨飞](#) [浮床生态场空间分布特征](#)[期刊论文]-[生态学杂志](#) 2011(6)
77. [周晓红](#), [王国祥](#), [冯冰冰](#), [葛绪广](#) [3种景观植物对城市河道污染水体的净化效果](#)[期刊论文]-[环境科学研究](#) 2009(1)
78. [王劫](#), [刘阳](#), [王泽民](#), [胡筱敏](#) [人工浮岛技术应用前景](#)[期刊论文]-[环境保护科学](#) 2008(5)
79. [卫泽斌](#), [胡启智](#), [刘雯](#), [丘锦荣](#), [吴启堂](#) [利用磷富集植物去除和回收污水中的磷](#)[期刊论文]-[水处理技术](#) 2010(4)
80. [李翠芬](#), [熊燕梅](#), [夏汉平](#) [介绍一种新型的园林生态工艺——人工浮岛](#)[期刊论文]-[广东园林](#) 2007(4)
81. [辛在军](#), [李秀珍](#), [闫中正](#), [周元清](#), [贾悦](#), [唐莹莹](#), [郭文永](#), [孙永光](#) [冬季不同刈割水芹浮床连续净化过程及效果](#)[期刊论文]-[生态学杂志](#) 2011(12)
82. [唐莹莹](#), [李秀珍](#), [周元清](#), [贾悦](#), [辛在军](#), [孙永光](#) [浮床空心菜对氮循环细菌数量与分布和氮素净化效果的影响](#)[期刊论文]-[生态学报](#) 2012(9)
83. [张志勇](#), [冯明雷](#), [杨林章](#), [王建国](#) [间歇流模拟人工湿地去氮除磷效果及N<sub>2</sub>O排放的小试研究](#)[期刊论文]-[农业环境科学学报](#) 2007(6)
84. [陆东芳](#), [陈孝云](#) [水生植物原位修复水体污染应用研究进展](#)[期刊论文]-[科学技术与工程](#) 2011(21)
85. [孙永艳](#), [桑晓清](#), [张利平](#), [周利娟](#) [空心莲子草的研究进展](#)[期刊论文]-[广东农业科学](#) 2011(13)
86. [邢承华](#), [蔡妙珍](#), [刘鹏](#), [徐根娣](#) [植物根表铁锰氧化物胶膜的环境生态作用](#)[期刊论文]-[生态环境](#) 2006(6)
87. [张志勇](#), [冯明雷](#), [杨林章](#) [浮床植物净化生活污水中N、P的效果及N<sub>2</sub>O的排放](#)[期刊论文]-[生态学报](#) 2007(10)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_yystxb200511038.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_yystxb200511038.aspx)