

# 一种环保型人工浮岛的制作方法及其对农业集水区中氮磷的净化效果<sup>①</sup>

李伟<sup>1</sup>, 王建国<sup>1\*</sup>, 王岩<sup>2</sup>, 薄录吉<sup>1</sup>, 杨林章<sup>1</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 江苏省农业科学院, 南京 210014)

**摘要:** 针对目前人工浮岛制作和应用过程中存在的问题(工艺复杂、成本高、产生二次污染、选材局限性等)以及农业集水区N、P污染严重的现状,采用稻秸秆、毛竹和煤渣等廉价或废弃物为原料,制作人工浮岛,并将其运用于农业集水区。结果表明,本人工浮岛制作成本低,工艺简单,无二次污染;当人工浮岛覆盖率为8%时,对水体N、P的净化率分别达到60.1%和54.9%;黑麦草是一种较为理想的冬季浮岛植物;煤渣是一种较为理想的浮岛植物培养基质。

**关键词:** 氮磷污染;覆盖率;净化率;稻秸秆;毛竹;煤渣

**中图分类号:** X703

近年来,随着点源污染的有效管理和控制,由农业面源污染而引致的水体N、P富营养化已成为我国水体环境污染的核心问题<sup>[1-2]</sup>。针对这一问题,开展了许多水体污染治理及修复理论与应用研究<sup>[3-6]</sup>。研究结果表明,在治理与修复水体N、P富营养化诸项技术中,人工浮岛被公认为是一项具有广阔应用前景的技术<sup>[5-7]</sup>。但由于目前人工浮岛在制作和应用过程中所存在的工艺复杂、成本高、产生二次污染、制作材料的局限性等一种或多种原因,限制了该项技术的推广应用。为此,本研究采用毛竹、稻秸秆、煤渣等廉价或废弃物为原料,制作环保型人工浮岛,并将其应用于农业集水区。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验集水区介绍

试验集水区位于江苏省宜兴市丁蜀镇以北5 km处,东经119°53.898',北纬31°17.295'。试验集水区宽3.7 m,长20 m,水域面积约74 m<sup>2</sup>,最大水深1.3 m,总N和总P浓度分别为3.98 mg/L和0.295 mg/L,属于严重富营养化水体。

### 1.2 人工浮岛的制作方法<sup>②</sup>

**1.2.1 浮岛平台的制作** 以竹竿和铁丝为材料制成格子状长方形(2 m × 1 m),其中外边框采用8~10 cm的竹竿,内部采用2~3 cm的毛竹,内部格子边长为5 cm,用铁丝加固,如图1。

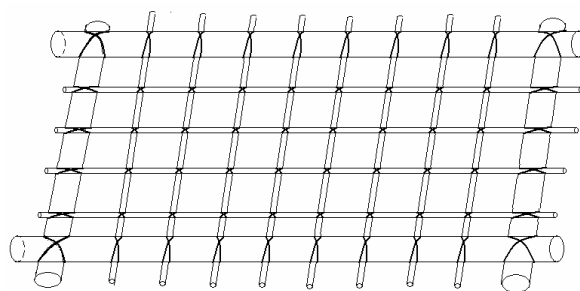


图1 浮岛平台

Fig. 1 Platform of designed floating island

**1.2.2 植物栽培载体的制作** 以废弃稻秸秆为原料,将其破碎(长度小于50 mm)和粉碎(长度小于5 mm)后,按1:1比例混合,再加入一定比例的环保型降解胶黏剂、固化剂和防水剂,混合均匀后热压(温度:120~135℃,压力:13 MPa),成型(时间2~5 min)为分格状(图2)。

<sup>①</sup>基金项目:国家科技支撑项目(2006BAD17B03),国家自然科学基金面上项目(40771119),农业科技成果转化基金项目(2007GB24910479),江苏省社会发展基金项目(BS2006093)和中国科学院知识创新工程领域前沿项目资助。

\* 通讯作者(jgwang@issas.ac.cn)

作者简介:李伟(1983—),男,湖北武汉人,硕士研究生,主要从事面源污染治理技术研究。E-mail:liwei@issas.ac.cn

<sup>②</sup>专利:王建国,王岩,李伟,杨林章.一种环保型低成本人工浮岛的制作方法.专利申请号:20081.242997.6

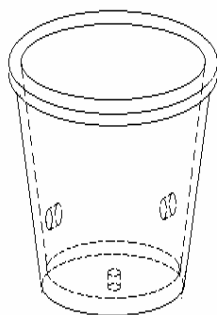


图2 植物栽培载体

Fig. 2 Carrier for plant cultivation

### 1.3 试验设计

**1.3.1 植物固定基质的选择** 根据笔者先前的试验结果，在煤渣、碎石、碎砖头、碎陶片等几种基质中，煤渣对 N、P 的去除效果最好，加之煤渣质轻，故选煤渣作为植物固定基质。

**1.3.2 植物的选择** 根据笔者先前的试验结果，在冬季，黑麦草和水芹对水体 N、P 有较强的净化能力，故选其作为本试验浮岛植物。

**1.3.3 人工浮岛覆盖率的设置** 考虑到试验期间，一是集水区外源性水补给较少；二是试验周期较长，将人工浮岛覆盖率（通常设置为 30% 左右）设置为较低水平，即 8%，本试验共设置 3 个浮岛，其中一个种植黑麦草，两个种植水芹。

**1.3.4 水样采集和分析方法** 水样的采样时间为浮岛下水时采样测原始浓度，之后 7 天、14 天、28 天、

56 天和 112 天采样。

每次采水样 14 个，其中浮岛外部采样 5 个，每个浮岛中间采样 3 个，水样中分析项目为总 N 和总 P，总 N 采用荷兰 Skalar 公司的 SA24000 型 N、P 流动分析仪分析，总 P 用钼蓝比色法分析。

**1.3.5 植物样和煤渣样的采集和分析** 在浮岛制作好下水时分别采植物样和煤渣样，记录植物生物量和煤渣用量，之后定期采样分析，样品分析项目为总 N 和总 P。采样后将样品消解，然后分别用凯氏定氮法和比色法测定总 N 和总 P 含量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 浮岛中煤渣基质对水体中氮磷的吸附及其意义

浮岛中煤渣基质对水体中 N、P 的吸附量随时间的变化见图 3。由图 3 可知，在 0~14 天内，煤渣对 N、P 的吸附随着时间的增加而快速增加，并于第 14 天时吸附量出现拐点，此时基质对 N、P 的吸附量分别达到 0.83 g/kg 和 0.14 g/kg，分别占最大吸附量的 67.5% 和 73.7%。此后随着时间的延长，煤渣对 N、P 的吸附量增加缓慢，100 天左右后，对 N、P 的吸附量接近饱和。导致这一结果的主要原因可能是，煤渣表面孔隙多，对 N、P 的吸附比较快；煤渣内部孔隙较少，内部孔隙对 N、P 的吸附需要大孔隙的传导。煤渣对 N 和 P 之间吸附量上的差异，可能与煤渣 N 和 P 吸附位的多寡有关。浮岛中煤渣前期对 N、P 的吸附速率快且吸附量大的直接意义在于为浮岛中植物的快速生长提供较直接的营养源。

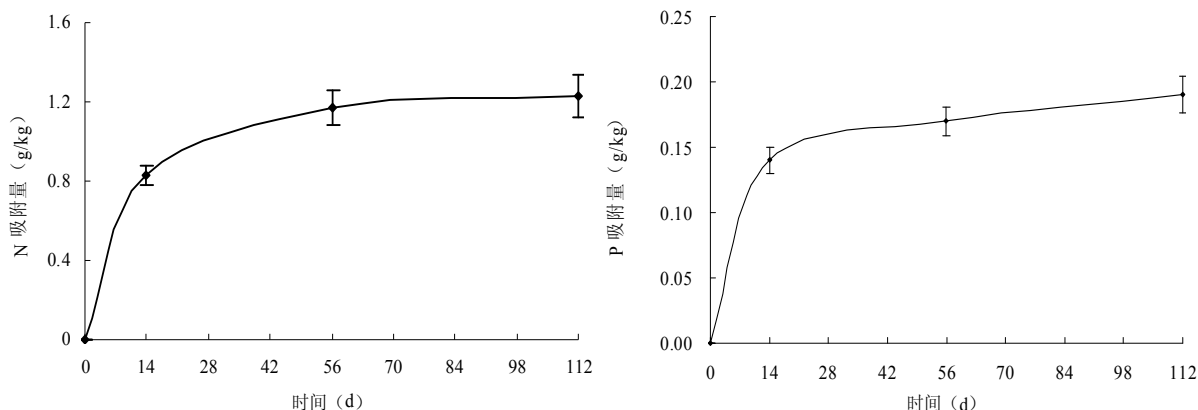


图3 基质煤渣对 N、P 的吸附动态

Fig. 3 Adsorption dynamics of cinder matrix to N and P

### 2.2 浮岛植物生物量及其氮磷含量的动态变化

浮岛植物生物量随时间的变化见表 1。从表 1 可以看出，在 0~14 天内，浮岛植物的生物量增加较少，

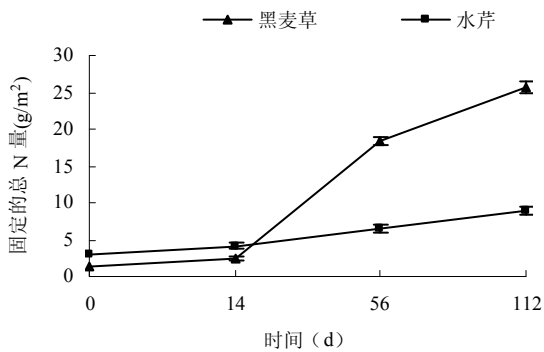
主要原因是植物处于缓苗期。在 15~56 天内，植物快速生长，生长速率和单位时间内浮岛生物量的增加量达到最大。在 57~112 天内，植物的生长速率减缓，

单位时间内浮岛生物量增加量降低。

表 1 浮岛植物生物量随时间的变化

Table 1 Biomass of floating island plants under different time

时间 (d)	黑麦草生物量 (g/m <sup>2</sup> )	水芹生物量 (g/m <sup>2</sup> )
0	110 ± 9	1 150 ± 22
14	190 ± 16	1 580 ± 29
56	1 460 ± 21	2 490 ± 52
112	2 040 ± 29	3 470 ± 34



浮岛植物对 N、P 的固定量随时间的变化见图 4。从图 4 中可以看出, 在 0~14 天内, 浮岛植物对 N、P 的固定量没有明显增加, 主要原因是植物处于缓苗期, 植物生物量增加缓慢, 固定的 N、P 量少。在 15~56 天内, 黑麦草对 N、P 的固定速率均较快, 但对 N 的固定量远大于 P; 水芹对 P 的固定速率较快, 对 N 的固定速率增加较缓慢。在 57~112 天内, 水芹对 N、P 的固定量与 15~56 天内的趋势基本相同, 而黑麦草对 N、P 的固定速率变慢, 主要原因可能是, 同种植物与其生育期有关, 不同植物与其对 N、P 的吸收特性有关。

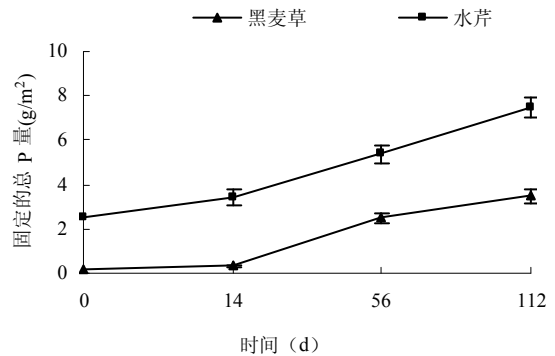


图 4 浮岛植物固定的 N、P 量随时间的变化

Fig. 4 TN and TP capacities fixed by floating island plants under different time

### 2.3 浮岛对水体中氮磷的去除动态及其效率

浮岛对水体中 N、P 的去除动态及其效率见图 5, 从图 5 中可以看出, 在 0~7 天内, 随试验时间的增加, 浮岛对水体中 N、P 的去除率在不断增大, 第 7 天时的 N、P 去除率分别为 6.8% 和 4.7%。这主要是浮岛中煤渣基质的吸附作用。在 8~28 天内, 随试验时间的增加, 浮岛对水体中 N、P 的去除率较快速的提高, 第 28 天时的 N、P 去除率分别达到 50.5% 和 47.1%。这主要是根区微生物脱 N 除 P、基质吸附和植物吸收等联合作用的结果, 其中根区微生物的脱 N 除 P 在 N、P 去除方面

起着主导作用。在 29~56 天内, 随着试验的继续, 浮岛对水体中 N、P 的去除率变化较缓慢, 于第 56 天达到 N、P 去除率的最大值 (N: 60.1%, P: 54.9%)。其主要原因, 一是基质的吸附已近饱和, 二是根区微生物活性变低, 三是植物对 N、P 的吸收速率变低。在 57~112 天内, 随着试验的进行, 浮岛对水体中 N、P 的去除率基本维持在最大值不变。这可能是三方面的原因造成的, 一是基质、根区微生物和植物的联合作用变弱, 二是由于水面蒸发使水体 N、P 浓度变大, 三是植物未进行刈割。

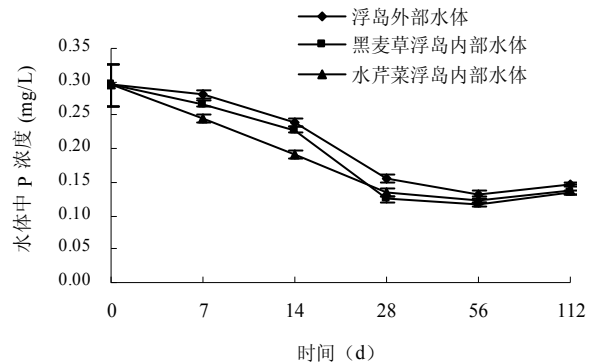
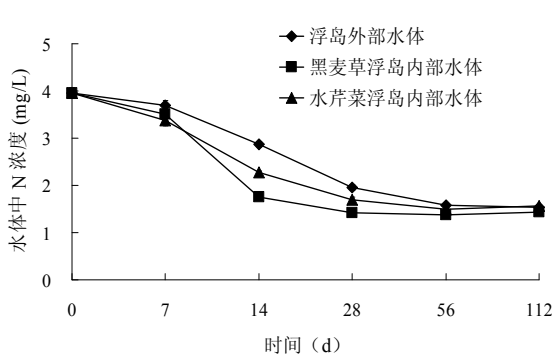


图 5 水体 N、P 浓度的动态变化

Fig. 5 Dynamic changes of TN and TP densities

不同浮岛内部 N、P 去除率存在的差异, 主要是由所种植植物不同引起的。浮岛外部水体与浮岛内部水体

N、P 去除率所存在的差异, 主要是由于在无外力的条件下, 依靠浓度梯度所进行的扩散需要一定时间。

人工浮岛对N、P的净化机理主要有植物吸收、基质材料吸附、生物膜净化、硝化反硝化和微生物吸附沉降等<sup>[7]</sup>，在本浮岛试验中，植物吸收的N、P对水体中N、P去除的贡献率分别占到24.6%和135.4%；基质吸附N、P去除的贡献率分别为7.6%和16.3%。植物对P的吸收量大于水体中P的去除量，原因可能是浮岛植物的根系延伸至底泥中，从而从其中吸收了大量的P。

本浮岛试验对水体中N、P的去除率（60.1%和54.9%）不及中国环境科学院在太湖西五里湖的工程示范结果（70%以上）<sup>[8]</sup>，主要原因是，本试验浮岛覆盖率仅为8%，而中国环境科学院的工程示范浮岛覆盖率为30%。

#### 2.4 人工浮岛的制作成本

本人工浮岛的制作成本为55元/m<sup>2</sup>左右，其中毛竹和铁丝为24元，秸秆盆钵19元，人工费12元（按30元每个工作日计），规模化制作时预计可节约成本约25%。这与卢进登副教授等<sup>[9]</sup>采用泡沫板和人工蛭石袋栽培的人工浮岛800元左右每平方米的造价相比，成本是很低的，采用廉价和废弃物作为原材料可以有效地节省人工浮岛制作成本。

#### 2.5 人工浮岛材料和浮岛植物的后期处理

浮岛平台可以重复使用；作为植物固定基质的吸附材料，由于吸附了大量的活性N、P等营养元素，是一种很好的景观植物盆栽基质，具有很好的利用价值；未破损的植物栽培载体——秸秆盆钵也可以重复使用制作浮岛，已破损的经过堆肥处理后是一种很好的有机肥料；黑麦草是一种很好的畜牧养殖饲料；水芹菜可供人食用，具有较高的经济价值。

### 3 结论

（1）采用稻秸秆、毛竹和煤渣等廉价材料或废弃物为原料制作人工浮岛，不仅成本低、工艺简单、无二次污染，还体现了以废治废的环保理念，便于推广应用。

（2）人工浮岛对农业集水区N、P净化效果好。

（3）黑麦草不论从净化效果还是经济效益上，都是一种较理想的冬季浮岛植物。

（4）煤渣无论从成本上还是从N、P的吸附性上都是一般较理想的植物栽培基质。

#### 参考文献：

- [1] 朱兆良, 孙波, 杨林章, 张林秀. 我国农业面源污染的控制政策和措施. 农业科技导报, 2005, 23(4): 47-51
- [2] 杨林章, 王德建, 夏立忠. 太湖地区农业面源污染特征及控制途径. 中国水利, 2004(20): 29-30
- [3] 杨林章, 周小平, 王建国, 王德建, 施卫明, 史龙新. 用于农田非点源污染控制的生态拦截型沟渠系统及其效果. 生态学杂志, 2005, 24(11): 1371-1374
- [4] 许春华, 周琪, 宋乐平. 人工湿地在农业面源污染控制方面的应用. 重庆环境科学, 2001, 23(3): 70-72
- [5] 白雪梅, 王增长. 人工生态浮床处理污染水体的应用现状及前景展望. 科技情报开发与经济, 2008, 18(35): 103-105
- [6] 张隽. 生态浮床技术治理污染水体的应用. 能源与环境, 2008, 21: 101-102
- [7] 唐林森, 陈进, 黄苗. 人工生物浮岛在富营养化水体治理中的应用. 长江科学院院报, 2008, 25(1): 21-24
- [8] 武琳慈, 吴林林, 黄民生, 阮宇鹰. 人工浮床及其在污染水体治理中应用进展. 净水技术, 2006, 25(4): 8-10
- [9] 卢进登, 赵丽娅, 康群, 帅方敏, 李兆华. 人工生物浮床技术治理富营养化水体研究现状. 湖南环境生物职业技术学院学报, 2005, 11(3): 214-218

## An Environment-friendly Floating Bed and Its Water Purification Efficiency of N and P on Farmland Catchments Areas

LI Wei<sup>1</sup>, WANG Jian-guo<sup>1</sup>, WANG Yan<sup>2</sup>, BO Lu-ji<sup>1</sup>, YANG Lin-zhang<sup>1</sup>

(1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** In view of the current problems existing in the production and application of artificial floating islands, such as complex process, high cost, bringing secondary pollution, limited materials and as well as the fact of the serious nitrogen and phosphorus pollution in the agricultural catchments areas, rice straw, bamboos, cinder and some other cheap or waste raw materials were used to make artificial floating islands for purifying the water in farmland catchments areas. The results showed that our artificial floating island owned the advantages of low cost, simple process and could avoid secondary pollution; when the coverage of artificial floating islands took 8% of total area of water, the purification rates of nitrogen and phosphorus were 60.1% and 54.9%, respectively; ryegrass was a more ideal floating-islands plant in winter; cinder was a more ideal matrix for plant cultivation.

**Key words:** Nitrogen and phosphorus pollution, Coverage, Purification efficiency, Rice straw, Bamboos, Cinder