

4 种浮床植物吸收水体氮磷能力试验研究

吴建强¹,王敏¹,吴健^{1,2},蒋跃²,孙从军¹,曹勇¹

(1.上海市环境科学研究院,上海 200233; 2.华东师范大学环境科学系,上海 200062)

摘要:选取美人蕉、黄菖蒲、再力花和千屈菜 4 种常见植物作为研究对象,建立淀山湖富营养化防治植物浮床试验工程,对其生长特性和氮磷吸收能力进行试验研究. 结果表明,采用上下层尼龙网固定种植方式有利于浮床植物的快速生长繁殖,美人蕉和再力花的成活率均为 83.33%,高于千屈菜的 76.67% 和黄菖蒲的 53.33%. 11 月收割时美人蕉和再力花的分蘖数分别达到 64 株和 78 株,生物量(鲜重)分别为 32.0 kg/株和 38.6 kg/株. 美人蕉和再力花体内氮磷含量分布均为茎叶>根系,美人蕉茎叶和根系单位干物质量中氮、磷含量比分别为 1.40 和 1.21,再力花则分别为 1.59 和 1.08. 植物体内的氮磷累积量差异主要来自于生物量的差异,再力花对氮的吸收能力最强,收割时氮获得量达到 457.11 g/m²,美人蕉对磷的吸收能力最强,收割时磷获得量达到 41.29 g/m²,美人蕉茎叶氮、磷吸收量分别为根系的 2.17 倍和 1.86 倍;再力花分别为 1.73 倍和 1.17 倍. 美人蕉和再力花可以作为淀山湖水体富营养化防治的浮床栽培备选植物来进行推广应用.

关键词:浮床;植物;氮;磷;吸收能力

中图分类号:X524 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2011)04-0995-05

Study on the Nitrogen and Phosphorus Uptake Ability of Four Plants Cultivated on Floating-bed

WU Jian-qiang¹, WANG Min¹, WU Jian^{1,2}, JIANG Yue², SUN Cong-jun¹, CAO Yong¹

(1. Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China; 2. Department of Environment Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Plant floating-bed tested engineering was constructed for eutrophication control in Dian-shan Lake, the characteristics and nutrient uptake abilities of *Canna indica*, *Iris pseudacorus*, *Thalia dealbata* and *Lythrum salicaria* were compared. It shows that using upper and lower nylon nets to fix the plants on the floating-bed is beneficial for them to grow and reproduce rapidly. Survival rates of *Canna indica*, *Iris pseudacorus*, *Thalia dealbata* and *Lythrum salicaria* are 83.33%, 83.33%, 76.67% and 53.33% respectively. Ramets of *Canna indica* and *Thalia dealbata* are 64 and 78 respectively in November, and the biomass (fresh weight) of these two plants are 32.0 and 38.6 kg per individual plant. Nitrogen (N) and phosphorus (P) content in stems/leaves of *Canna indica* and *Thalia dealbata* are greater than those in roots. The ratio between stems/leaves and roots of N, P content in *Canna indica* are 1.40 and 1.21 respectively, while 1.59 and 1.08 in *Thalia dealbata*. The difference of cumulative N, P content in plants is mostly on account of different plant biomass. N uptake ability of *Thalia dealbata* is the highest, which is 457.11g per square; *Canna indica* has the highest P uptake ability, which is 41.29g per square. N, P uptake ability of stems/leaves in *Canna indica* are 2.17 and 1.86 times higher than that of roots, while 1.73 and 1.17 times higher respectively in *Thalia dealbata*. Thus, *Canna indica* and *Thalia dealbata* are recommended as the floating-bed plants to control the eutrophication in Dian-shan Lake.

Key words: floating-bed; plants; nitrogen; phosphorus; uptake ability

植物浮床技术是一种水环境治理与水生态修复相兼顾的实用技术,由于其具有效率高、投资少、运转费用低、可实现原位修复和控制污染物等特点,近年来受到国内外广泛关注^[1-5]. 目前,我国利用植物浮床技术防治水体富营养化已取得一定的研究成果. 如李先宁等^[6]研究了水生植物、水生动物及微生物膜构建的组合型浮床对富营养化湖泊水体的净化效果;周晓红等^[7]采用植物刈割的方式研究了黑麦草光合作用变化及其对水体氮磷吸收效果的影响;宋祥甫等^[8]利用浮床技术种植水稻,在收获农产品的同时对水体中的氮、磷也有很好的去除效果;马立珊等^[9]利用香根草浮床分别净化南京秦淮河、

金川河、玄武湖的富营养化水体;李欲如等^[10]在冬季低温条件下,研究了水芹菜、多花黑麦草以及大蒜浮床对富营养化水体的净化效果;屠清瑛等^[11]应用人工浮床技术修复什刹海富营养化水体,部分消除了蓝藻水华现象;罗固源等^[12]研究了 4 种水生植物浮床系统对重污染河水的净化效果. 然而,已有的众多研究大多侧重于植物浮床对小型封闭静态水体中污染物的总体净化效果,对有关浮床植物在开放

收稿日期:2010-05-05;修订日期:2010-07-09
基金项目:上海市科学技术委员会科技攻关计划项目(08DZ1203106)
作者简介:吴建强(1977~),男,硕士,工程师,主要研究方向为生态修复及湿地保护,E-mail: wujq@saes.sh.cn

性动态水体中的生长特性、植物自身吸收氮磷污染物的能力及其体内累积分布等方面的研究却少见报道.

本研究通过在淀山湖建立的植物浮床试验工程所开展的研究,对比分析不同浮床植物生长特性、植物体内氮磷累积分布、植物氮磷吸收能力等方面的差异,以期为淀山湖水体富营养化防治植物浮床技术应用中的植物遴选提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究地点位于淀湖北侧千墩浦入湖河口的西侧,地处北纬 31°10′54″~31°11′24″,东经 120°53′18″~120°58′54″,属北热带南缘,季节明显,日光充足,气候温和,雨量充沛,年平均气温16.1℃,最热月7月平均气温27.8℃,最冷月1月平均气温3.1℃,全年无霜期平均234 d,多年平均降雨量1 104 mm. 区域水体主要水质指标见表1.

表1 水体主要水质指标/mg·L⁻¹

Table 1 Main quality of tested water/mg·L ⁻¹				
氨氮	总氮	总磷	化学需氧量	悬浮物
2.58±0.78	11.15±1.21	1.01±0.23	28.43±2.23	46.43±33.26

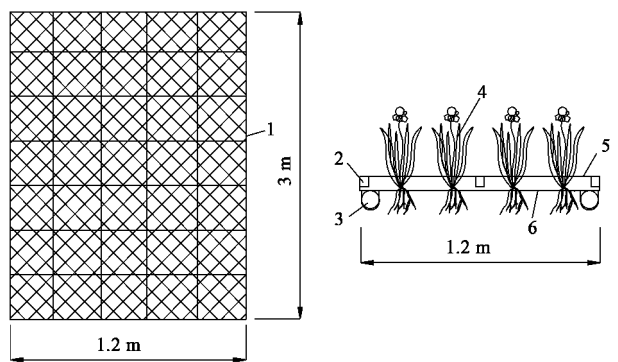
1.2 供试植物

选取美人蕉 (*Canna indica*)、黄菖蒲 (*Iris pseudacorus*)、再力花 (*Thalia dealbata*)、千屈菜 (*Lythrum salicaria*)4种上海地区常见且能越冬的植物作为研究对象. 美人蕉为美人蕉科美人蕉属,多年生宿根草本植物,喜阳光充足的温暖环境,可陆生,也可湿生、水生,块状根茎,病虫害少;再力花为竹芋科塔利亚属,多年生挺水草本植物,好温暖水湿、阳光充足的气候环境;千屈菜为千屈菜科千屈菜属,多年生草本植物,多生长在沼泽地、水旁湿地和河边、沟边;黄菖蒲为鸢尾科鸢尾属,多年生宿根草本植物,对环境的适应性强,喜光稍耐阴,耐旱也耐湿,分布广泛.

1.3 浮床系统构建

在淀湖北侧千墩浦入湖河口的西侧建设1.8万m²的植物浮床试验工程,长200 m,宽90 m;共设109组浮床单体,每个单体长18 m,宽3 m;每个单体再分为15个单元,长3 m,宽1.2 m,整体浮床覆盖率为32%. 浮床体框架采用角钢制作,四周角钢下方设置直径110 mm PVC浮管,角钢上下层分别用尼龙绳绑定作为植物种植网,上层网径100 mm×

100 mm,下层网径10 mm×10 mm. 在不同浮床单体中分别种植美人蕉、再力花、千屈菜、黄菖蒲,植物种植密度为10株/m²,如图1.



1. 浮床单元; 2. 角钢; 3. PVC浮管; 4. 植物;
5. 上层尼龙网; 6. 下层尼龙网

图1 浮床单元及植物栽种示意

Fig.1 Schematic diagram of unit floating-bed and plants

1.4 试验方法

植物于2009年4月底移栽,11月底收割. 试验过程中,观察植物的生长情况,统计成活率,定期进行植物采样,采样方法为现场随机抽取5株,采集植物现场洗净后即刻带回实验室分析,分根系和茎叶2部分进行测量,主要指标包括植物株高、分蘖数、鲜重、干重、植物体氮磷含量等指标. 鲜重指标测定之后,植物体放入烘箱105℃杀青3 h,然后在80℃下烘干至恒重,测定干重,最后粉碎过18目筛,再经过消煮、定容,经Skalar流动注射分析仪测定植物体氮磷含量.

2 结果与讨论

2.1 植物生长特性

4种植物单株分蘖数变化如图2所示. 随着时间的变化,4种植物都开始不断分蘖繁殖,体现出比较好的生长态势. 8月之前,千屈菜分蘖最为迅速,6月和8月分蘖数分别达到12株和20株;而8月之后,美人蕉和再力花则体现出了较强的分蘖繁殖能力,其中美人蕉10月分蘖数最多,达到57株,再力花11月分蘖数最多,达到78株;黄菖蒲在整个试验过程中分蘖数均为最少. 可以看出,千屈菜在夏季开始迅速分蘖繁殖,而美人蕉和再力花则在夏末秋初开始体现出更强的分蘖繁殖能力.

植物在生长7个月之后,生物量均有大幅度增加,美人蕉、黄菖蒲、再力花和千屈菜整株生物量(鲜重)分别为移栽前的364、111、585和119倍;其中美

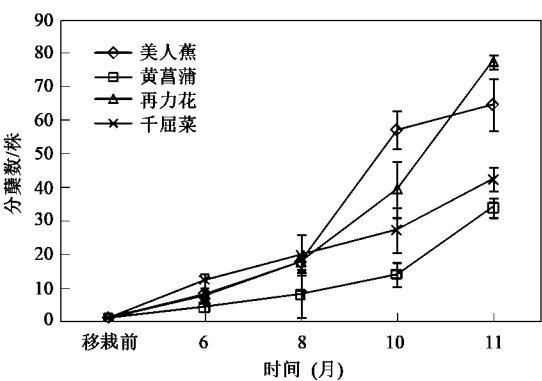


图2 植物分蘖数变化
Fig.2 Ramets of tested plants

人蕉和再力花 11 月收割时整株生物量(鲜重)平均值分别达到 32.0 kg 和 38.6 kg. 将植物生物量(鲜重)随时间变化表达为植物生长速率,结果如图 3 所示. 4 种植物生长速率随时间变化呈现出低→高→低的变化趋势,美人蕉、黄菖蒲和再力花都是在 10 月之前生长速度逐渐加快,并在 10 月出现生长速率的峰值,而此后虽然生物量还在增加,但生长速度逐渐放慢,而千屈菜的生长速率峰值出现在 8 月;美人蕉和再力花在 8~10 月之间,生长速率非常快,整株生物量(鲜重)日均增长量均超过 300 g,这跟 2 种植物在此期间迅速分蘖繁殖的生长特性是相符的.

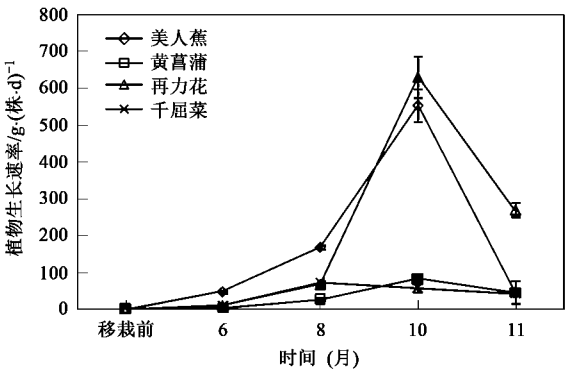


图3 植物生长速率变化
Fig.3 Growth rates of tested plants

从植物分蘖繁殖、生物量、生长速率等生理指标对比分析来看,本研究所采用的浮床植物上下层尼龙网固定种植方法,突破传统植物浮床采用泡沫聚乙烯板^[12,13]、塑料杯^[14,15]等植物穴种、杯栽的方式,不仅能降低浮床建设成本、方便浮床施工和植物栽种,更能消除传统种植方式种植基对植物生长的约束,有利于植物的纵向、横向自由快速生长繁殖.

2.2 植物体内氮磷含量及分布

图 4 和图 5 分别显示了 11 月份收割时不同植物茎叶和根系部位每 kg 干物质量所含的氮、磷量. 可以看出,4 种植物中整株单位干物质量含氮量黄菖蒲最高,达到 59.07 g/kg,其次分别为千屈菜、美人蕉和再力花,而含磷量则是美人蕉最高,达到 5.40 g/kg,其次分别为千屈菜、黄菖蒲和再力花;从 4 种植物不同部位单位干物质量所含氮、磷量分布来看,美人蕉和再力花均是茎叶>根系,而黄菖蒲和千屈菜则均是根系>茎叶,美人蕉茎叶、根系所含氮、磷量对比分别为 1.40 和 1.21,再力花则分别为 1.59 和 1.08. 因此,从浮床系统应用多年生植物净化水体氮磷污染物而言,无疑美人蕉和再力花通过水上部分茎叶的收割所去除的氮磷物质量要高于水下根系所保留的量,而黄菖蒲和千屈菜则正好相反.

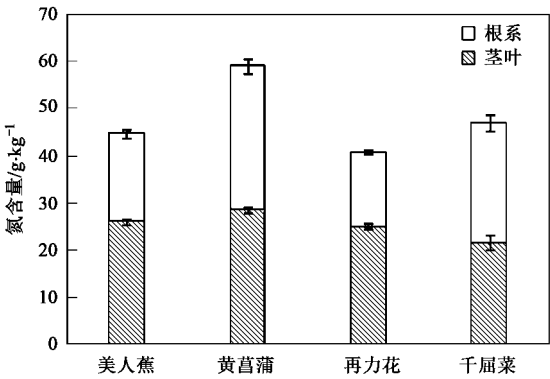


图4 不同植物体内氮含量及分布
Fig.4 Nitrogen contents and distribution in tested plants

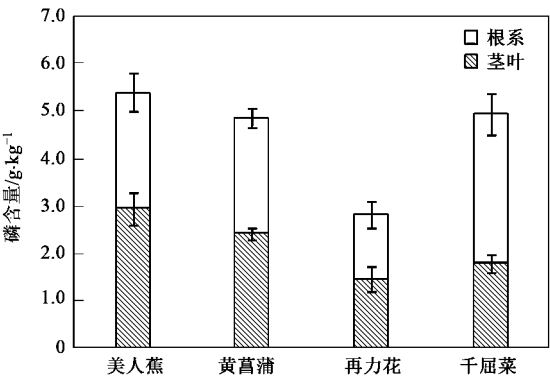


图5 不同植物体内磷含量及分布
Fig.5 Phosphorus contents and distribution in tested plants

2.3 不同植物浮床氮磷吸收量比较

表 2 数据反映了浮床系统各种植物移栽前、收割后的氮磷累积量及吸收量. 从收割后各种植物体整株氮累积量来看,再力花最高,达到 73.10 g/株,美人蕉其次,为 54.99 g/株,黄菖蒲最低,只有

12.00 g/株,磷累积量则是美人蕉最高,达到 6.60 g/株,其次为再力花,4.96 g/株,黄菖蒲依然是最低,只有 1.28 g/株,对比植物体单位干物质量所含氮磷量可以看出,植物体内的氮磷累积量差异主要来自于生物量的差异.

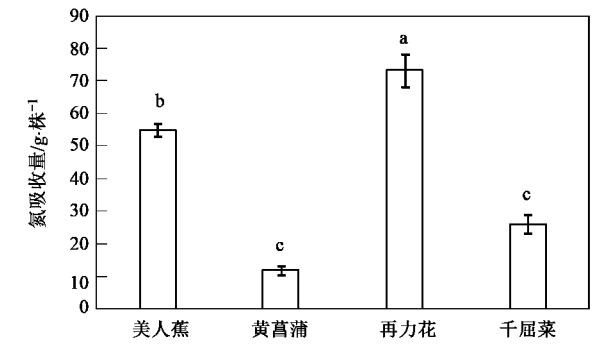
整株植物收割后体内氮磷累积量减去移栽前所含氮磷量即为其氮磷吸收量,再结合不同植物成活率,即可计算出单位面积不同植物氮磷吸收量. 根据计算结果,整株植物和单位面积氮吸收量均是再力花最高,分别达到 72.99 g/株和 608.20 g/m²,其次是美人蕉,分别为 54.86 g/株和 457.11 g/m²,黄菖蒲最低,分别只有 11.81 g/株和 62.98 g/m²;对于

磷吸收量而言,则是美人蕉最高,分别达到 6.58 g/株和 54.82 g/m²,再力花其次,分别为 4.95 g/株和 41.29 g/m²,黄菖蒲依然是最低,分别只有 1.27 g/株和 6.77 g/m²;再力花单位面积氮吸收量为黄菖蒲的 9.66 倍,美人蕉单位面积磷吸收量为黄菖蒲的 8.09 倍;从植物体不同部位氮磷吸收量对比来看,美人蕉和再力花均是茎叶 > 根系,其中美人蕉茎叶氮、磷吸收量分别为根系的 2.17 倍和 1.86 倍;再力花分别为 1.73 倍和 1.17 倍. 可以说明,通过浮床系统植物水上部分的收割,美人蕉和再力花最终能从水体中除去更多的氮磷污染物质,两者也更适合作为淀山湖浮床系统建设的备选植物.

表 2 浮床植物收获氮磷累积量
Table 2 Nitrogen and phosphorus uptake by tested plants

植物	部位	移栽前/g·株 ⁻¹			收割后/g·株 ⁻¹			吸收量/g·株 ⁻¹		成活率 /%	吸收量/g·m ⁻²	
		干重	氮	磷	干重	氮	磷	氮	磷		氮	磷
美人蕉	茎叶	2.90	0.079	0.008	1444	37.64	4.29	37.561	4.282	83.33	313.00	35.68
	根系	3.54	0.056	0.013	958	17.35	2.31	17.294	2.297		144.11	19.14
黄菖蒲	茎叶	3.16	0.061	0.004	371	2.70	0.23	2.639	0.226	53.33	14.07	1.21
	根系	5.88	0.129	0.006	486	9.30	1.05	9.171	1.044		48.91	5.57
再力花	茎叶	2.04	0.071	0.003	1852	46.33	2.67	46.259	2.667	83.33	385.48	22.22
	根系	3.24	0.042	0.002	1800	26.77	2.29	26.728	2.288		222.72	19.07
千屈菜	茎叶	6.96	0.184	0.007	516	14.04	1.17	13.856	1.163	76.67	106.23	8.92
	根系	8.21	0.128	0.004	481	12.28	1.48	12.152	1.476		93.17	11.32

研究对不同浮床植物整株氮磷吸收量数据进行方差分析(ANOVA,为了保证方差齐性,对数据进行了平方根转换),结果如图 6、图 7 所示. 可以看出,对于水体氮吸收能力而言,除了黄菖蒲和千屈菜之外,其他植物两两之间氮吸收量差异都达到显著水平($p < 0.05$);而对于磷吸收能力而言,4 种植物两两之间磷吸收量差异均达到显著水平($p < 0.05$).



不同字母表示其两两之间的差异为显著水平($p < 0.05$),下同
图 6 不同植物氮吸收能力比较
Fig. 6 Comparison of the nitrogen uptake ability for different tested plants

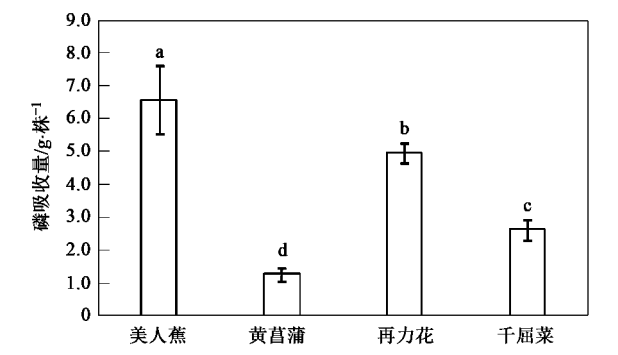


图 7 不同植物 P 吸收能力比较
Fig. 7 Comparison of the phosphorus uptake ability for different tested plants

2.4 不同植物生物量与氮磷吸收效果相关性
研究对不同植物收割后生物量和氮磷吸收量进行相关性分析. 可知对于氮吸收量而言,植物生物量(干重)和氮吸收量在 0.99 置信度下相关系数达到 0.895,说明两者相关性显著,两者曲线拟合结果如图 8;而对于磷吸收量而言,则是植物生物量(鲜重)和磷吸收量呈现出显著相关性,两者在 0.99 置

信度下相关系数达到 0.849,两者曲线拟合结果如图 9. 相关性分析结果与植物体内氮磷累积量差异主要来自于生物量差异的结论是相符的.

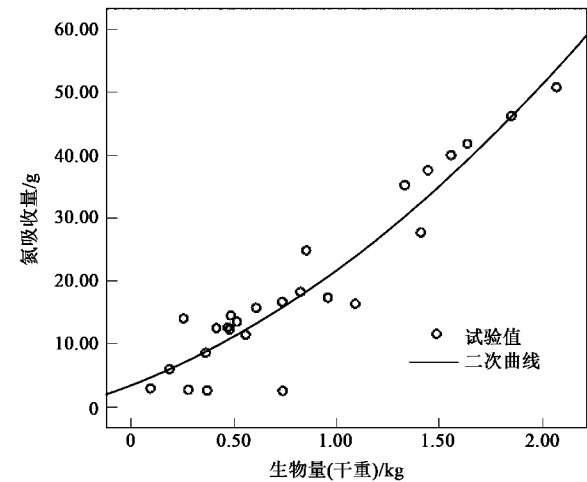


图 8 植物生物量(干重)与氮吸收量曲线拟合关系
Fig.8 Fitting curves of the plant biomass (dry weight) and nitrogen uptake

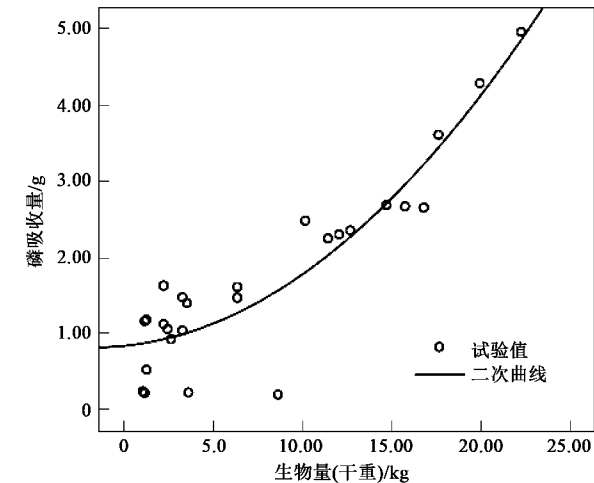


图 9 植物生物量(鲜重)与氮吸收量曲线拟合关系
Fig.9 Fitting curves of the plant biomass (fresh weight) and phosphorus uptake

3 结论

(1)相对于传统泡沫聚乙烯板种植基,采用上下层尼龙网固定种植方式有利于浮床植物纵向、横向自由快速生长繁殖. 4 种浮床植物中,美人蕉和再力花生长繁殖能力和成活率均高于黄菖蒲和千屈菜,11 月美人蕉和再力花的分蘖数分别达到 64 株和 78 株,生物量(鲜重)分别达到 32.0 kg 和 38.6 kg;4 种植物的生长速率随时间变化均呈现出低→

高→低的变化趋势,其中美人蕉和再力花 8~10 月份整株生物量(鲜重)日均增长量均超过 300 g.

(2)浮床植物体内的氮磷累积量差异主要来自于生物量的差异,美人蕉和再力花对氮磷的吸收能力显著高于黄菖蒲和千屈菜,再力花对氮的吸收能力最强,达到 457.11 g/m²,美人蕉对磷的吸收能力最强,达到 41.29 g/m²;美人蕉茎叶氮、磷吸收量分别为根系的 2.17 倍和 1.86 倍;再力花分别为 1.73 倍和 1.17 倍.

(3)从植物生长特性和植物水上部分收割所能移除水体中的氮磷污染物量角度来看,美人蕉和再力花可以作为淀山湖水体富营养化防治的浮床栽培植物来进行推广应用.

参考文献:

[1] Li W, Friedrich R. In situ removal of dissolved phosphorus in irrigation drainage water by planted floats: preliminary results from growth chamber trial[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2002, **90** (1): 9-15.

[2] 陈荷生,宋祥甫,邹国燕. 利用生态浮床技术治理污染水体[J]. 中国水利,2005, **5**: 50-53.

[3] Sooknah R D, Wilkie A C. Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater[J]. Ecological Engineering, 2004, **22**: 27-42.

[4] Batty L C, Atkin L, Manning D A. Assessment of the ecological potential of mine-water treatment wetlands using a baseline survey of macro invertebrate communities[J]. Environmental Pollution, 2005, **138**: 412-419.

[5] 任照阳,邓春光. 生态浮床技术应用研究进展[J]. 农业环境科学学报,2007, **26**(增刊): 261-263.

[6] 李先宁,宋海亮,朱光灿,等. 组合型生态浮床的动态水质净化特性[J]. 环境科学,2007, **28**(11): 2448-2452.

[7] 周晓红,王国祥,杨飞,等. 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[J]. 环境科学,2008, **29**(12): 3393-3399.

[8] 宋祥甫,邹国燕,吴伟明,等. 浮床水稻对富营养化水体中氮磷的去除效果及规律研究[J]. 环境科学学报,1998, **18**(5): 489-491.

[9] 马立珊,骆永明,吴龙华,等. 浮床香根草对富营养化水体氮磷去除动态及效率的初步研究[J]. 土壤,2000, **2**: 99-101.

[10] 李欲如,操家顺. 冬季低温条件下浮床植物对富营养化水体的净化效果[J]. 环境污染与防治,2005, **27**(7): 505-508.

[11] 屠清瑛,章永泰,杨贤智. 北京什刹海生态修复试验工程[J]. 湖泊科学,2004, **16**(1): 61-67.

[12] 罗固源,郑剑锋,许晓毅,等. 4 种浮床栽培植物生长特性及吸收氮磷能力的比较[J]. 环境科学学报,2009, **29**(2): 285-290.

[13] 黎华寿,聂呈荣,方文杰,等. 浮床栽培植物生长特性的研究[J]. 华南农业大学学报(自然科学版),2003, **24**(2): 12-15.

[14] 卢进登,陈红兵,赵丽娅,等. 人工浮床栽培 7 种植物在富营养化水体中的生长特性研究[J]. 环境污染治理技术与设备,2006, **7**(7): 58-61.

[15] 吴伟,胡庚东,金兰仙,等. 浮床植物系统对池塘水体微生物的动态影响[J]. 中国环境科学,2008, **28**(9): 791-795.