

水葫芦根系脱落物的氮磷含量分析

张迎颖¹, 闻学政¹, 刘海琴¹, 李晓铭², 严少华¹, 秦红杰¹, 张志勇^{1*}

(1.江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014; 2.昆明市环境监测中心, 云南 昆明 650032)

摘要:为了探讨水葫芦净化富营养化水体过程中根系脱落物的氮磷释放对于水质的影响,在滇池草海水域,利用围栏控制性种养水葫芦,于2013年5—11月,每隔30 d监测单元框内水葫芦生物量(鲜重)与干重,采集水葫芦样品测定植株氮磷含量;收集单元框内根系脱落物,并监测鲜重与干重及其氮磷含量。结果显示:(1)5—9月(旺盛生长期)和10—11月(逐渐枯萎期)的水葫芦植株干物质氮磷含量无显著差异($P>0.05$),但是旺盛生长期水葫芦的生长速率明显高于逐渐枯萎期($P<0.05$),使得旺盛生长期水葫芦对水体氮磷的净化效果明显优于逐渐枯萎期。(2)根系脱落物的鲜重仅占水葫芦鲜重增加值的7.72%;根系脱落物的干重仅占水葫芦干重增加值的2.10%,根系脱落物含氮量仅占水葫芦植株含氮量增加值的2.50%;根系脱落物含磷量仅占水葫芦植株含磷量增加值的3.05%。分析认为,与水葫芦植株从水体带走的氮磷量相比,随着根系脱落物降解释放而返回水体的氮磷量极少,不会对湖泊水质造成负面影响。

关键词:水葫芦;根系脱落物;氮;磷;富营养化水体

中图分类号:X173

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2015)05-0485-05

doi: 10.13254/j.jare.2015.0057

Analysis on the Content of Nitrogen and Phosphorus in Root Exfoliation of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*)

ZHANG Ying-ying¹, WEN Xue-zheng¹, LIU Hai-qin¹, LI Xiao-ming², YAN Shao-hua¹, QIN Hong-jie¹, ZHANG Zhi-yong^{1*}

(1.Institute of Agricultural Resources and Environmental Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2.Kunming Environmental Monitoring Center, Kunming 650032, China)

Abstract: In order to discuss the effect of the release of nitrogen and phosphorus from root exfoliation of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) on water quality during the course of eutrophic water purification, water hyacinth was cultivated in confined fence facilities in the Caohai of Dianchi Lake. The plant and root exfoliation were collected every 30 days from May to November in the year of 2013, and fresh and dry weight as well as nitrogen and phosphorus contents were determined. The results showed there was no significant difference ($P>0.05$) between May-Sep (rapid growth period) and Oct-Nov (gradual withering period) on the contents of nitrogen and phosphorus in dry matter of water hyacinth, while the growth rate of water hyacinth in rapid growth period was significantly ($P<0.05$) higher than that in gradual withering period. As a result, the purification of nitrogen and phosphorus in water by water hyacinth was more evident in rapid growth period than that in gradual withering period. The fresh weight, dry weight, nitrogen content, and phosphorus content of root exfoliation only accounted for 7.72%, 2.10%, 2.50%, and 3.05% of the increment of fresh weight, dry weight, nitrogen content, and phosphorus content of water hyacinth, respectively. The results implied that compared with the amount of nitrogen and phosphorus taken out of the lake water by water hyacinth, the amount returned into the lake water through root exfoliation was much lower. Confined growth of water hyacinth in the lake exerted no negative effect on the lake water quality.

Keywords: water hyacinth; root exfoliation; nitrogen; phosphorus; eutrophic water

利用水葫芦生物修复技术治理富营养化湖泊,已经取得明显成效^[1-4]。“滇池水葫芦治理污染试验性工

程”的实践显示:2011年,滇池草海控制性种养水葫芦555.5 hm²,约占草海面积的52%,草海水体总氮(TN)、总磷(TP)由2010年的11.14 mg·L⁻¹和0.61 mg·L⁻¹,下降至2011年的6.11 mg·L⁻¹和0.24 mg·L⁻¹,同比降低了45.2%和60.7%;2012年,滇池外海控制性种养水葫芦555.6 hm²,集中于外海北部蓝藻富集的重污染区域,外海水体TN浓度由2011年的2.82 mg·L⁻¹下降至2012年的2.13 mg·L⁻¹,同比降低了24.5%,TP浓度则与往年基本持平,优于地表V类水

收稿日期:2015-03-10

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(41201533);国家“水体污染控制与治理”科技重大专项(2012ZX07102-004-002-003);江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(13)5047)

作者简介:张迎颖(1980—),女,江苏响水人,博士,副研究员,主要从事富营养化湖泊水生植物生态修复方面的研究。

E-mail: fly8006@163.com

*通信作者:张志勇 E-mail: jaaszyzhang@126.com

标准^[5]。

据工程实践结果可知,利用水葫芦对富营养化湖泊进行生态修复,能有效降低水体氮磷浓度,改善湖泊水质;但也有专家质疑,虽然通过机械化打捞装备,可将水葫芦植株带出湖泊水体,但在水葫芦种养期间,其根系脱落物进入水体,腐烂后氮、磷等物质释放,将对湖泊水体造成“二次污染”。对于这一问题的相关研究,尚未见报道;据此,课题组开展了水葫芦根系脱落物收集试验,以监测水葫芦生长期间,其根系脱落物鲜重、干重及其氮磷含量,分析与评价水葫芦根系脱落物对湖泊水质是否存在显著的负面影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料与地点

试验植物为水葫芦(*Eichhornia crassipes*, 雨久花科凤眼蓝属,多年生漂浮性草本植物),取自滇池草海水葫芦规模化种养围栏内(25°1'11.76"N, 102°39'50.58"E)。试验地点在滇池草海南部临近老干鱼塘堤坝的外草海水域(24°58'3.13"N, 102°38'46.43"E)。

1.2 试验设计

在长期定位试验的滇池草海水葫芦控制性种养围栏内(图 1),利用 PVC 管和塑料网片制作 1 m×1 m 的网框,网框内水葫芦初始放养量为 4.00 kg·m⁻²,设置 4 个平行,其中 3 个平行用于监测水葫芦生物量(鲜重)与干重,并收集根系脱落物以测定脱落物鲜重、干重及其氮磷含量,1 个平行用于采集少量水葫芦植株样品测定植株氮磷含量,另外设置 2 个空白,网框内不放养水葫芦,用于收集水体自然产生的沉积物。初始放养时间是 2013 年 5 月 15 日,于 6—11 月,每隔 30 d(每月 15 号)采样 1 次。



图 1 滇池草海水葫芦控制性种养围栏

Figure 1 Man-made fence for control cultivation of water hyacinth in Caohai of Dianchi Lake

1.3 测定方法

水葫芦植株生物量(鲜重)将其从水中捞起放在筛网上,直至无滴水时称重而得。水葫芦植株、根系脱落物及沉积物的干物质含量,称取鲜重,用烘箱烘干后,称取干重,计算可得;水葫芦植株、根系脱落物及沉积物的干物质全氮,采用混合催化剂硫酸消化凯式滴定法测定;水葫芦植株、根系脱落物及沉积物的干物质全磷,采用硫酸高氯酸消煮钼锑抗比色法测定。

1.4 数据处理与计算方法

试验数据取 3 个平行样品的平均值,由平均值±标准差表示,统计处理采用 Excel 2003。对于不同时期内水葫芦植株干物质氮磷含量和生长速率的显著性差异分析,采用软件 SPSS 13.0 的独立样本 T 检验。

水葫芦干重利用以下公式计算:

$$Q_d = Q_f \times C_d \times 10 \quad (1)$$

式(1)中, Q_d 为水葫芦植株、根系脱落物及沉积物的干重, g·m⁻²; Q_f 为水葫芦植株、根系脱落物及沉积物的鲜重, kg·m⁻²; C_d 为水葫芦植株、根系脱落物及沉积物的干物质含量, %。

水葫芦植株、根系脱落物及沉积物的氮磷含量利用以下公式计算:

$$A_N = Q_d \times C_N \times 10^{-2} \quad (2)$$

$$A_P = Q_d \times C_P \times 10^{-2} \quad (3)$$

式(2)~式(3)中, A_N 和 A_P 分别为单位面积的水葫芦植株、根系脱落物及沉积物的氮磷含量, g·m⁻²; Q_d 为水葫芦植株、根系脱落物及沉积物的干重, g·m⁻²; C_N 为水葫芦植株、根系脱落物及沉积物的干物质中全氮含量, %; C_P 为水葫芦植株、根系脱落物及沉积物的干物质中全磷含量, %。

水葫芦的生长速率利用以下公式计算:

$$R = \frac{Q_{n+1} - Q_n}{t} \quad (4)$$

式(4)中, R 为水葫芦的生长速率, g·m⁻²·d⁻¹; Q_n 和 Q_{n+1} 分别为第 n 和 $n+1$ 次监测时的水葫芦累积生物量(鲜重), g·m⁻²; t 为第 n 和 $n+1$ 次监测的时间间隔, d。

2 结果与分析

2.1 水葫芦生物量(鲜重)与干重变化

如图 2 所示,2013 年 5 月中旬,水葫芦初始放养量为 4.00 kg·m⁻²,6—11 月,水葫芦生物量(鲜重)持续增加,11 月 15 日达到 23.50 kg·m⁻²,累计增加 19.50 kg·m⁻²。水葫芦干重初始值为 196.00 g·m⁻²,6—11 月,水葫芦干重随着生物量的增加也持续增加,11 月 15

日达到 $1\,334.80\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, 累计增加 $1\,138.80\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

2.2 根系脱落物鲜重与干重变化

如图 3 所示,2013 年 6—8 月,水葫芦根系脱落物鲜重相对较低,分别为 125.00 、 190.00 、 $135.00\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, 平均值为 $150.00\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, 可能是水葫芦处于幼苗及旺盛生长期,根系相对较少,根系脱落物也较少。9 月滇池流域气温仍然较高,水葫芦仍在快速生长,使得生物量累积较大,根系较多且老根也随之增多,从 9 月份开始,水葫芦根系脱落物开始增加。9—11 月,根系脱落物鲜重相对较高,分别为 320.00 、 290.00 、 $445.00\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, 平均值为 $351.67\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。与鲜重的变化情况类似,2013 年 6—8 月,根系脱落物干重相对较低,平均值为 $1.85\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,9—11 月,根系脱落物干重相对较高,平均值为 $6.11\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

2.3 水葫芦生物量与氮磷含量

据表 1 中水葫芦生物量计算可知,5—9 月的水葫芦生长速率为 $128\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, 远高于 10—11 月的生长速率 $70\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, 两者之间存在显著差异($P>0.05$)。试验期间,水葫芦生物量(鲜重)增加值为 $19.50\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, 干重增加值为 $1\,138.80\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。水葫芦干物质氮含量在 $2.67\%\sim 2.97\%$ 之间变化, 干物质磷含量在

$0.20\%\sim 0.26\%$ 之间变化。采用 SPSS 的独立 T 检验,对比分析 5—9 月和 10—11 月的水葫芦植株干物质氮磷含量,两者之间无显著性差异($P<0.05$)。试验结束时,水葫芦植株含氮量增加值为 $30.35\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, 植株含磷量增加值为 $2.96\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

2.4 水葫芦根系脱落物鲜重与氮磷含量

如表 2 所示,试验的 6—11 月,水葫芦根系脱落物鲜重累计为 $1\,505.00\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, 占水葫芦植株鲜重增加值的 7.72% 。干物质含量在 $1.14\%\sim 1.83\%$ 之间变化,脱落物干重累计为 $23.87\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, 占水葫芦植株干重增加值的 2.10% 。脱落物的干物质氮含量约为 3.17% , 磷含量约为 0.39% 。试验结束时,根系脱落物含氮量为 $0.76\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, 占水葫芦植株含氮量增加值的 2.50% ; 根系脱落物含磷量为 $0.09\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, 占水葫芦植株含磷量增加值的 3.05% 。

2.5 空白处理沉积物鲜重与氮磷含量

如表 3 所示,试验的 6—11 月,空白处理沉积物鲜重合计为 $76.78\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, 干物质含量在 $1.09\%\sim 1.49\%$ 之间变化,沉积物干重累计为 $0.99\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, 干物质氮含量为 1.88% , 磷含量为 0.20% 。试验结束时,沉积物含氮量为 $0.02\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, 占水葫芦根系脱落物含氮量增加

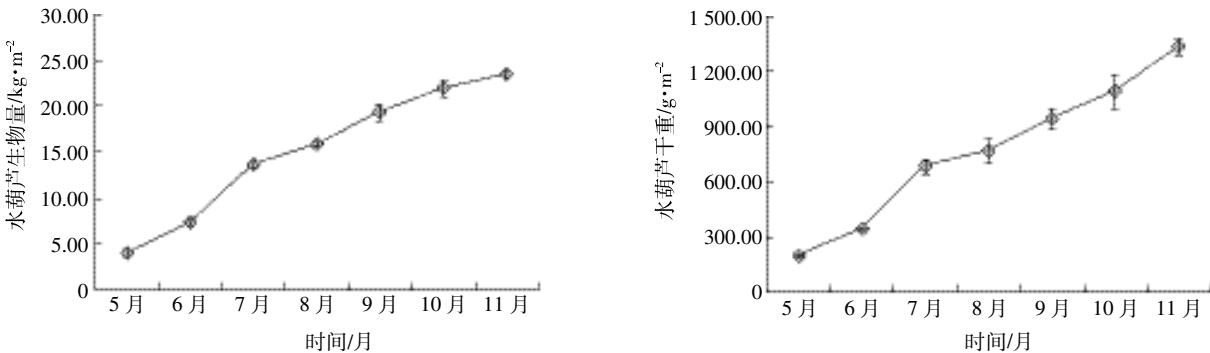


图 2 试验期间水葫芦生物量(鲜重)和干重变化

Figure 2 Changes of biomass (fresh weight) and dry weight of water hyacinth during experiment

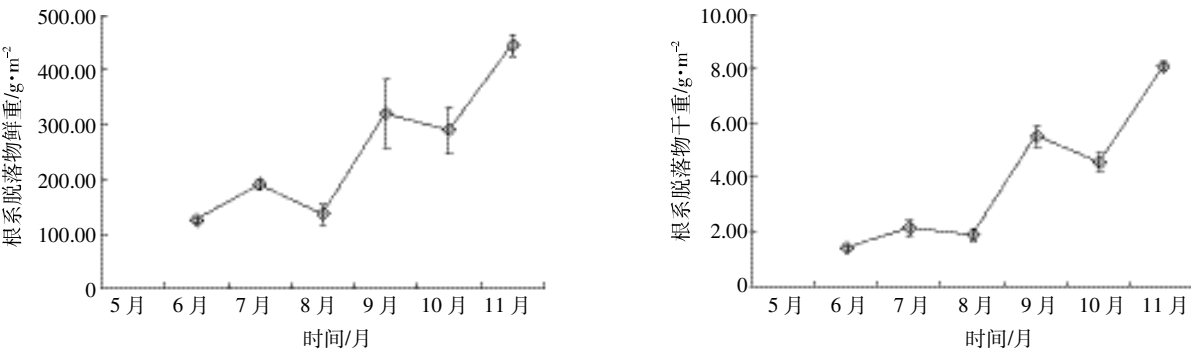


图 3 试验期间水葫芦根系脱落物鲜重和干重

Figure 3 Changes of fresh weight and dry weight of root exfoliation during experiment

表 1 水葫芦生物量(鲜重)与氮磷含量

Table 1 Biomass (fresh weight) and content of nitrogen and phosphorus of water hyacinth

月份	水葫芦生物量/kg·m ⁻²	干物质含量/%	水葫芦干重/g·m ⁻²	干物质氮含量/%	水葫芦含氮量/g·m ⁻²	干物质磷含量/%	水葫芦含磷量/g·m ⁻²
5	4.00±0.00	4.90±0.21	196.00	2.70±0.11a	5.29	0.26±0.02a	0.51
6	7.30±0.31	4.70±0.08	343.10	2.94±0.21a	10.09	0.23±0.05a	0.79
7	13.60±0.40	5.03±0.28	684.08	2.92±0.25a	19.98	0.21±0.04a	1.44
8	15.90±0.32	4.83±0.41	767.97	2.86±0.14a	21.96	0.20±0.02a	1.54
9	19.30±0.93	4.89±0.31	943.77	2.97±0.16a	28.03	0.23±0.03a	2.17
10	21.90±0.95	4.99±0.41	1 092.81	2.80±0.24a	30.60	0.24±0.05a	2.62
11	23.50±0.38	5.68±0.20	1 334.80	2.67±0.22a	35.64	0.26±0.04a	3.47
增加值	19.50		1 138.80		30.35		2.96

注:采用 SPSS 的“Independent-Samples T Test”对 5—9 月和 10—11 月的水葫芦干物质氮磷含量进行独立样本 T 检验,同一列中不同字母表示差异显著($P>0.05$)。

值的 2.63%;沉积物含磷量为 $0.002\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,占水葫芦根系脱落物含磷量增加值的 2.22%。

3 讨论

5—9 月份滇池流域气温较高,水葫芦快速生长扩繁,为旺盛生长期;10—11 月,滇池流域气温逐渐降低,水葫芦生长缓慢,进入逐渐枯萎期。对表 1 中 5—9 月和 10—11 月水葫芦干物质氮磷含量进行独立样本 T 检验,结果显示:水葫芦植株干物质氮磷含量在旺盛生长期与逐渐枯萎期,并无显著性差异($P>0.05$)。但值得注意的是,在这两个时间段内,水葫芦

的生长速率存在明显差异($P<0.05$),5—9 月份,水葫芦的生长速率高达 $128\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$,而 10—11 月,水葫芦的生长速率仅为 $70\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。即水葫芦在旺盛生长期生物量快速累积,从而高效富集水体氮磷;而水葫芦进入逐渐枯萎期,生物量累积速率也降低,富集水体氮磷能力也随之减弱。由此可知,旺盛生长期水葫芦对水体氮磷的净化效果明显优于逐渐枯萎期。因此,为了避免水葫芦枯萎之后,在水体腐烂分解,氮磷释放回到水体,必须在其枯萎之前及时打捞,方可保证水葫芦对富营养化水体氮磷等污染物的净化效果。

表 2 水葫芦根系脱落物鲜重与氮磷含量

Table 2 Fresh weight and content of nitrogen and phosphorus of root exfoliation

月份	脱落物鲜重/g·m ⁻²	干物质含量/%	脱落物干重/g·m ⁻²	干物质氮含量/%	脱落物含氮量/g·m ⁻²	干物质磷含量/%	脱落物含磷量/g·m ⁻²
5	—	—	—	—	—	—	—
6	125.00±1.41	1.14±0.01	1.43	3.17±0.19		0.39±0.04	
7	190.00±3.65	1.15±0.30	2.19				
8	135.00±6.24	1.43±0.48	1.93				
9	320.00±8.44	1.74±0.09	5.57				
10	290.00±3.90	1.59±0.43	4.61				
11	445.00±0.35	1.83±0.05	8.14				
累计	1 505.00		23.87		0.76		0.09

表 3 空白处理沉积物鲜重与氮磷含量

Table 3 Fresh weight and content of nitrogen and phosphorus of sediment in blank treatment

月份	沉积物鲜重/g·m ⁻²	干物质含量/%	沉积物干重/g·m ⁻²	干物质氮含量/%	沉积物含氮量/g·m ⁻²	干物质磷含量/%	沉积物含磷量/g·m ⁻²
5	—	—	—	—	—	—	—
6	4.37	1.24	0.05	1.88±0.10		0.20±0.03	
7	5.45	1.28	0.07				
8	14.06	1.49	0.21				
9	12.36	1.09	0.13				
10	19.42	1.36	0.26				
11	21.13	1.26	0.27				
累计	76.78		0.99		0.02		0.002

试验期间,水葫芦根系脱落物的鲜重仅占水葫芦鲜重增加值的 7.72%,根系脱落物的干重仅占水葫芦干重增加值的 2.10%,根系脱落物含氮量仅占水葫芦植株含氮量增加值的 2.50%,根系脱落物含磷量仅占水葫芦植株含磷量增加值的 3.05%。空白处理沉积物量很少,仅占根系脱落物鲜重的 5.10%,其氮磷含量更是微乎其微。研究显示,水葫芦植株氮磷含量的增加值均为水葫芦生长过程中从富营养化水体带出的氮磷^[6-7];与水葫芦植株从水体带走的氮磷量相比,通过根系脱落而返回水体的氮磷量是很微小的部分,因此,人们所担心脱落物降解后的氮磷释放并不会对水质恶化造成严重影响,更不存在所谓的“二次污染”问题。

与其他生物治理方式相比,生态浮床技术一般采用高分子材料(如泡沫板)构建浮床^[8-9],耐久性相对较差,且泡沫易造成污染;而常见的人工湿地技术更适合于湖滨带修复^[10],不适合富营养化湖泊氮磷污染物的直接提取。利用水葫芦生态修复技术治理富营养化湖泊之后,通过机械化打捞装置将水葫芦从水中采收上岸,可将水葫芦所吸收富集的氮磷等污染物质彻底带出水体,后续对所采收的水葫芦研发多种综合利用途径,例如生产有机肥、青贮饲料、沼气或栽培基质等^[11-12],完成富营养化水体氮磷污染物质的资源化利用,实现环境效益与经济效益的双赢。

4 结论

(1)虽然 5—9 月(旺盛生长期)和 10—11 月(逐渐枯萎期)的水葫芦植株干物质氮磷含量无显著差异,但是旺盛生长期水葫芦的生长速率明显高于逐渐枯萎期,使得旺盛生长期水葫芦对水体氮磷的净化效果明显优于逐渐枯萎期。

(2)水葫芦根系脱落物含氮量、含磷量仅占水葫芦植株含氮量、含磷量增加值的 2.50%和 3.05%,即与水葫芦植株从水体带走的氮磷量相比,随着根系脱落物降解释放而返回水体的氮磷量极少,不会对湖泊水质造成负面影响。

参考文献:

- [1] Amanda M A, William J M. Tropical treatment wetlands dominated by free-floating macrophytes for water quality improvement in Costa Rica [J]. *Ecological Engineering*, 2006, 28: 246-257.
- [2] 吴富勤,申仕康,王跃华,等. 凤眼莲种植对滇池水体环境质量的影响[J]. *生态科学*, 2013, 32(1): 110-114.
WU Fu-qin, SHEN Shi-kang, WANG Yue-hua, et al. Effect of *Eichhornia crassipes* plantation on water quality in the Dianchi Lake[J]. *Ecological Science*, 2013, 32(1): 110-114. (in Chinese)
- [3] 高运强. 凤眼莲净化富营养化水体及其能源化利用[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2008.
GAO Yun-qiang. Water hyacinth sewage purifying and energy utilization[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- [4] 张迎颖,张志勇,王亚雷,等. 滇池不同水域凤眼莲生长特性及氮磷富集能力[J]. *生态与农村环境学报*, 2011, 27(6): 73-77.
ZHANG Ying-ying, ZHANG Zhi-yong, WANG Ya-lei, et al. Research on the growth characteristics and accumulation ability to N and P of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in different water area of Dianchi Lake[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2011, 27(6): 73-77. (in Chinese)
- [5] 张志勇,张迎颖,刘海琴,等. 滇池水域凤眼莲规模化种养种群扩张特征与水质改善效果[J]. *江苏农业学报*, 2014, 30(2): 310-318.
ZHANG Zhi-yong, ZHANG Ying-ying, LIU Hai-qin, et al. Population propagation characteristics and water improving effect of large-scale cultivated water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in Dianchi Lake[J]. *Jiangsu J of Agr Sci*, 2014, 30(2): 310-318. (in Chinese)
- [6] Wang Z, Zhang Z, Zhang Y, et al. Nitrogen removal from Lake Caohai, a typical ultra-eutrophic lake in China with large scale confined growth of *Eichhornia crassipes*[J]. *Chemosphere*, 2013, 92(2): 177-183.
- [7] 陈志超,张志勇,刘海琴,等. 4 种水生植物除磷效果及系统磷迁移规律研究[J]. *南京农业大学学报*, 2015, 38(1): 107-112.
CHEN Zhi-chao, ZHANG Zhi-yong, LIU Hai-qin, et al. Research on removal efficiency of phosphorus by four aquatic macrophytes and rule of phosphorus migration in systems[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2015, 38(1): 107-112. (in Chinese)
- [8] 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.
REN Zhao-yang, DENG Chun-guang. Application of ecological floating bed technology[J]. *Journal of Agri-Environment Science*, 2007, 26 (Supp): 261-263. (in Chinese)
- [9] 王 晓,杨雅银,徐玉良,等. 不同植物浮床系统处理景观再生水试验研究[J]. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 2013, 41(6): 106-109.
WANG Xiao, YANG Ya-yin, XU Yu-liang, et al. Reclaimed water for landscape purification by ecological floating bed[J]. *Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition)*, 2013, 41(6): 106-109. (in Chinese)
- [10] 吴 迪,岳 峰,罗祖奎,等. 上海大莲湖湖滨带湿地的生态修复[J]. *生态学报*, 2011, 31(11): 2999-3009.
WU Di, YUE Feng, LUO Zu-kui, et al. Ecological effect of lakeside wetlands restoration in Dalian Lake, Shanghai[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(11): 2999-3009. (in Chinese)
- [11] 郑建初,盛 婧,张志勇,等. 凤眼莲的生态功能及其利用[J]. *江苏农业学报*, 2011, 27(2): 426-429.
ZHENG Jian-chu, SHENG Jing, ZHANG Zhi-yong, et al. Ecological function of hyacinth and its utilization[J]. *Jiangsu J of Agr Sci*, 2011, 27 (2): 426-429. (in Chinese)
- [12] 白云峰,周卫星,严少华,等. 水葫芦青贮条件及水葫芦负荷青贮对山羊生产性能的影响[J]. *动物营养学报*, 2011, 23(2): 330-335.
BAI Yun-feng, ZHOU Wei-xing, YAN Shao-hua, et al. Ensiling water hyacinth: Effects of water hyacinth compound silage on the performance of goats[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(2): 330-335. (in Chinese)