

水葫芦富集水体养分及其农田施用研究

盛 婧, 郑建初, 陈留根, 朱普平, 薛新红

(江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014)

摘 要:采用自然水体养殖及农田施用试验方法,对水葫芦(*Eichhornia crassipes*)的 N、P、K 吸收能力及其在农田施用效果进行了研究。结果表明,在研究试验条件下,水葫芦对 N、P、K 的富集系数分别达到 N 6 641 倍、P 16 667 倍、K 6 560 倍,42 d 对 N、P、K 的吸收量可高达 40.57、6.95 和 81.14 g·m⁻²。与常规施肥处理相比,施用水葫芦处理(等量的 N、P 投入)的土壤速效 N 除了苗期显著降低外,其他各时期无显著差异,而速效 P 和速效 K 从苗期开始一直表现为不同程度的升高,说明施用水葫芦可促进土壤速效 P、K 的增加。但要获得较高的产量水平,应适当增加前中期氮肥施用水平。采用水葫芦控制性种养既可实现养分在水体与农田间的循环,还可减少农田化肥的施用量和农业面源污染,是一种良性的循环模式。

关键词:水葫芦;富营养化水体;养分;有机肥;小麦

中图分类号:X173 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)10-2119-05

Absorption of Water Nutrients by Hyacinth and Its Application in Wheat Production

SHENG Jing, ZHENG Jian-chu, CHEN Liu-gen, ZHU Pu-ping, XUE Xin-hong

(Institute of Agricultural Resources and Environments, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) has been widely used in recovery of eutrophicated waters. However, few studies have been focused on use of the harvested hyacinth and its integrated technologies. The objectives of this paper were to study hyacinth's ability to adsorb N P K and the effects of hyacinth as an organic fertilizer on wheat production. The results showed that hyacinth had high growth and N P K absorption rates in eutrophicated water. At our experimental conditions, hyacinth could absorb 40.57 g·m⁻² N, 6.95 g·m⁻² P and 81.14 g·m⁻² K from the water during a 42-day period. Compared with pure chemical fertilizer treatment, the combination of the hyacinth mulching and chemical fertilizer treatment did not cause significant difference in soil available N concentration, except that it caused a significant decrease at wheat seedling stage (56 days after the application of hyacinth mulching). The soil treated with combination of hyacinth mulching and chemical fertilizer showed higher available P and K concentrations during the entire growth period. Our results suggested that more chemical nitrogen should be applied at the early and middle stages of wheat growth to achieve high yield. The nutrient translocation from eutrophicated water to agricultural fields can be realized by controlled cultivation of hyacinth in eutrophicated water and its direct application as organic fertilizer in crop fields. This mode can also decrease amount of fertilizer applied, thus reduce the non-point pollution and alleviate water eutrophication.

Keywords: water hyacinth; eutrophicated water; nutrient; organic fertilizer; wheat

随着我国人口的增长和经济的迅速发展,排入江河、湖泊的废水和未经处理的生活污水不断增加,水域环境富营养化呈现加剧恶化的趋势^[1]。由于传统物理、化学处理方法存在难操作、易产生二次污染等问题,人们越来越多地开始关注水生植物修复方式,通

过水生植物发达的根系吸收和富集 N、P,最终以收获植物体的途径将 N、P 等成分移出水体,达到净化水质的目的。

水葫芦(*Eichhornia crassipes*)属雨久花科凤眼莲属,原产南美亚马逊河流域,是世界上公认的富集水体 N、P 能力最强的水生植物之一,它可在短期内迅速将水体 N、P 富集到体内,从而达到净化水体的目的,国内外已有许多应用水葫芦控制性种养技术去除水体富营养化的研究报道^[2-4]。在这一技术体系中,水葫芦的后续利用是其最关键的环节,决定着这一技术

收稿日期:2009-04-08

基金项目:国家科技支撑计划项目(2007BAD89B12)

作者简介:盛 婧(1978—),女,江苏靖江人,博士,副研究员,主要从事农业生态及作物栽培研究。E-mail:nhsj1@yahoo.com.cn

通讯作者:郑建初 E-mail:zjc@jaas.ac.cn

的应用前景。水葫芦植株富含氮磷钾,是良好的有机肥料。目前,关于水葫芦修复水体的研究多集中于对 N、P 去除效果上^[5-7],对水葫芦应用方面的研究还相对薄弱,特别是对其养分在农田利用的研究尚未见报道。本试验主要研究水葫芦的 N、P 吸收能力和水葫芦还田效应,试图通过水体养分水葫芦富集-水葫芦养分农田利用-部分养分流失进入水体的养分循环利用,减少 N、P、K 养分流失量,减轻面源污染。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 水葫芦生长试验

试验在江苏省农科院进行。于 2008 年 6 月 13 日,将毛竹围成 1 m² 的小框放置于自然水体中(主要养分指标为总氮 5.27 mg·L⁻¹,总磷 0.36 mg·L⁻¹,钾 10.67 mg·L⁻¹),称取 1 kg 水葫芦放入框内,每周观测其生长情况并称取重量、测定植株养分含量。

1.1.2 水葫芦农田施用试验

供试小麦品种为“宁麦 13”,播种量 60 kg·hm⁻²。土壤基础地力为速效氮 18.7 mg·kg⁻¹、速效磷 18.6 mg·kg⁻¹、速效钾 120.4 mg·kg⁻¹、有机质 33.2 g·kg⁻¹。小区面积为 6 m²,随机区组设计,重复 3 次。试验设两个处理。

①常规施肥处理:化学氮肥投入量为 202.5 kg·hm⁻²,施用基肥与穗肥比例为 7:3。化学 P、K 施入量均为 90 kg·hm⁻²,全部基施。

②水葫芦施用处理:将新鲜水葫芦从水体中捞出,在小麦播种后直接覆盖地表,施用量为 4 500 kg 干物质·hm⁻²(试验前测定的 N、P、K 含量分别为 3.5%、0.6%、7.0%,干基)。基施 N、P、K 不足部分用化学肥料补充,穗肥与常规施肥处理一致。各处理分别于苗期、分蘖期、孕穗期、成熟期采集 0~20 cm 土壤样品和植株样品,测定其 N、P、K 含量。

1.2 测定方法

1.2.1 土壤速效 N、P、K 含量

土壤硝态氮采用 2 mol·L⁻¹ KCl 浸提-紫外分光光度法;铵态氮采用 2 mol·L⁻¹ KCl 浸提-靛酚蓝比色法;速效磷用 0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法测定;速效钾采用 NH₄OAc 浸提-火焰光度法测定。

1.2.2 植株 N、P、K 含量

植株样品经 H₂SO₄ 消煮后,N 采用靛酚蓝比色法测定,P 采用钼锑抗比色法测定,K 采用火焰光度法

测定。

2 结果与分析

2.1 水葫芦 N、P、K 吸收能力

从图 1 可以看出,水葫芦在水中生长迅速。在初始放养量为 0.06 kg·m⁻² 条件下,7 d 生物量就增长至 0.14 kg·m⁻²,14 d 达到 0.29 kg·m⁻²,42 d 生物量可达 1.22 kg·m⁻²,其生物量变化符合 logistic 曲线方程($R^2=0.9987$)。当密度达到 0.49~0.86 kg·m⁻² 时,水葫芦增长速率最快,达到 0.053 kg·m⁻²·d⁻¹。水葫芦对水体 N、P、K 的富集能力很强,在水体养分浓度为 TN 5.27 mg·L⁻¹、TP 0.36 mg·L⁻¹、K 10.67 mg·L⁻¹ 条件下,水葫芦 N、P、K 富集系数分别为 N 6 641 倍、P 16 667 倍、K 6 560 倍,植株含 N、P、K 量分别达 3.5%、0.6%、7.0%,42 d 水葫芦 N、P、K 吸收总量分别达 40.57、6.95 和 81.14 g·m⁻²。

2.2 水葫芦农田施用对土壤养分含量的影响

水葫芦施用后随着植株腐烂分解,养分开始缓慢

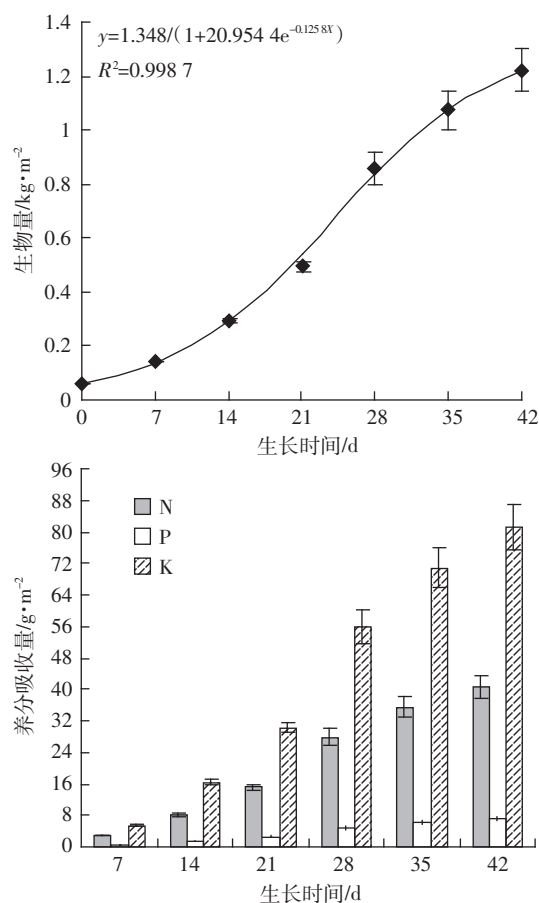


图 1 水葫芦生物量变化(上)及 N、P、K 累积(下)规律

Figure 1 Changes of hyacinth dry weight(upon) and N, P, K accumulated amount(down)

释放。在小麦苗期,由于水葫芦中大量的 N 尚未释放,水葫芦施用处理的土壤速效 N 含量显著低于常规施肥处理,而从分蘖期开始,两处理间的土壤速效 N 含量无显著差异(图 2 上)。对于土壤速效 P 含量,水葫芦施用处理一直高于常规施肥处理(图 2 下),特别是在苗期和成熟期,两处理间差异极显著($P=0.01$),而本研究中水葫芦施用处理与常规施肥处理 P 投入总量是一致的,表明水葫芦施用处理土壤速效 P 的增加并不是由于当季磷肥施用量的增加,而是由于水葫芦施用后分泌出有机酸可促进土壤难溶性化学磷的活化所致;而分蘖期至孕穗期是小麦需磷高峰期,小麦对磷素的吸收量增大,导致两处理土壤速效 P 含量差异减小。由于水葫芦 K 含量很高(7.0%),在腐解过程中极易被释放,水葫芦施用处理的 K 施用总量远远高于常规施肥处理(图 3),水葫芦施用处理的土壤速效 K 含量一直高于常规施肥处理,在苗期两处理间的差异就达到极显著水平($P=0.01$),表明水葫芦施用后 K 极易被释放。

2.3 水葫芦农田施用对小麦生长的影响

2.3.1 小麦植株养分含量

从表 1 可以看出,水葫芦施用处理成熟期小麦茎

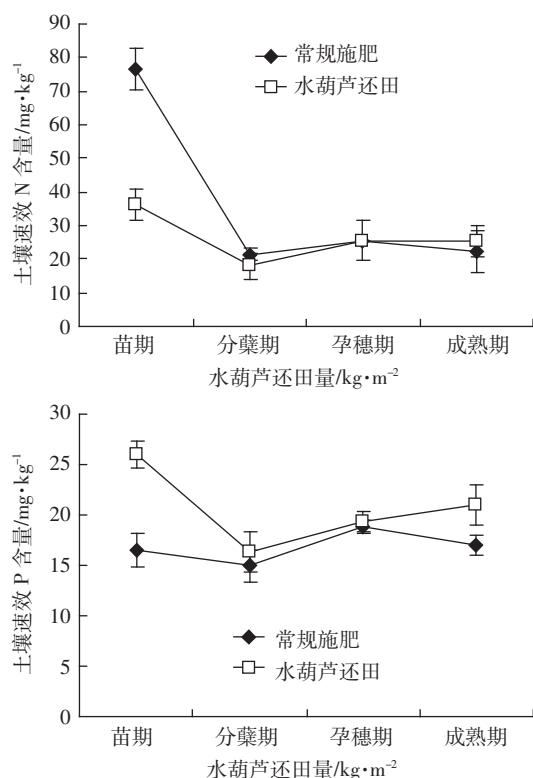


图 2 两处理土壤速效 N(上)、速效 P(下)含量变化

Figure 2 Soil available N (upon) and P (down) changes in two treatments

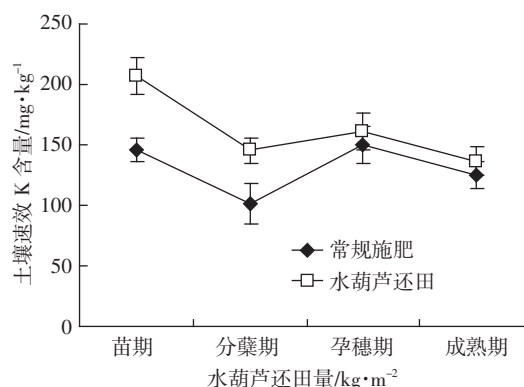


图 3 两处理土壤速效 K 含量变化

Figure 3 Soil available K changes in two treatments

秆 N、P、K 含量均高于常规施肥处理;籽粒中 N 含量也表现为水葫芦施用处理高于常规施肥处理,说明水葫芦可促进小麦籽粒蛋白质含量增加;P、K 含量两处理间差异较小。

表 1 小麦植株 N、P、K 含量

Table 1 Contents of N, P, K of wheat straw and grains

处理	成熟期茎秆			成熟期籽粒		
	N/%	P/%	K/%	N/%	P/%	K/%
常规施肥	0.42a	0.24a	1.24a	1.96a	0.50a	0.15a
水葫芦施用	0.54b	0.29b	1.47b	2.18b	0.51a	0.15a

注:同列数值间不同字母表明 Duncan's 多重比较差异显著 ($P<0.05$)。

2.3.2 小麦生长情况

从表 2 可以看出,两处理出苗数基本没有差异,说明 $4\ 500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 水葫芦(干物质质量)施用对出苗没有影响。从两处理产量及其构成来看,虽然水葫芦施用处理产量略低于常规处理,但其每亩穗数、每穗粒数、千粒重均与常规处理差异不大。

表 2 各处理小麦产量及构成

Table 2 Wheat yield and their composition

处理	出苗数/ 株 $\cdot\text{m}^{-2}$	产量/ $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$	穗数/ $10^4\cdot\text{hm}^{-2}$	每穗粒数/ 粒 $\cdot\text{穗}^{-1}$	千粒重/ g
常规施肥	254	7.24a	537a	30.8a	43.8a
水葫芦施用	247	6.54a	504a	29.53a	43.92a

3 小结与讨论

利用水生植物富集水体 N、P 是治理、调节和抑制湖泊富营养化的有效途径^[8]。目前用于富营养化水体净化的水生植物有多种,如水花生、空心菜、槐叶苹等,水葫芦由于其极快的生长速度、极高的 N、P、K 富

集系数和极强适应能力,成为一种适用于封闭条件的理想的富营养化水体净化植物^[7]。本试验研究表明,水葫芦对 N、P、K 的富集系数分别达到 N 6 641 倍、P 16 667 倍、K 6 560 倍,在低密度条件下,水葫芦每周几乎是成倍增长,42 d 对 N、P、K 的吸收量就能达到 40.57、6.95 和 81.14 g·m⁻²。关于水葫芦高富集 N、P 的机制还有待于进一步研究。

目前,有关有机质还田方面的研究主要集中在农作物的秸秆上,有关还田秸秆营养释放动态及其对作物产量的影响方面已有大量的研究报道。许多研究表明,秸秆还田后其中营养释放非常缓慢,如王允青等^[9]研究表明,小麦、油菜秸秆经过 120 d 露天处理后,40.2%~49.8% 秸秆被腐解,其中 N、P、K 分别有 58.7%~61.3%、92.1%~96.5%、56.0%~64.3% 被释放;而在还田初期,还田稻草还会对土壤中的 N 起到固定作用,从而有降低土壤速效 N 的效应^[10]。因此,长期的秸秆还田有利于土壤理化性质的改善和作物产量的提高^[11]。

本研究结果表明,施用到麦田后的水葫芦 N、P、K 营养释放动态与农作物秸秆表现出类似的规律:与常规施肥处理相比,冬季水葫芦施用处理的土壤速效 N 除了苗期(水葫芦施用后 56 d)显著降低外,从分蘖期(水葫芦施用后 116 d)开始的其他各时期无显著差异;而速效 P 和速效 K 从苗期开始一直表现为不同程度的升高,特别是在苗期,两处理间已达显著差异水平。就小麦 4 个关键时期土壤的速效 N、P、K 变化动态来看,从苗期到分蘖期,土壤速效 N、P、K 均表现为下降的趋势,说明小麦在此阶段大量吸收养分,水葫芦施用处理由于水葫芦养分尚未大量分解,养分供应较少,影响穗数的大量形成;分蘖期到孕穗期这一期间是穗粒数形成的关键时期,虽然水葫芦施用处理土壤速效 P、K 较高,但土壤速效 N 与常规施肥处理相比仍表现不足,穗粒数形成较少;孕穗期到成熟期之间是籽粒灌浆的时期,这一期间,水葫芦养分仍持续释放,籽粒养分供应充足,籽粒重量增加。由此可见,水葫芦施用处理应增加前中期氮肥施用。这一结论可为水葫芦施用田块实施适当的肥水管理措施提供依据。

在水体富营养化地区,利用水葫芦控制性种养实现养分在水体与农田间的循环可产生巨大的经济效益。一方面利用水葫芦对 N、P、K 极强的吸收能力,通过其控制性种养技术大量吸收水体的营养物质。根据我们的研究,1 hm² 水面可年生产鲜水葫芦

750 t,折算成干物质 45 t,采收后可从水体中带走 N 1.58 t、P 0.27 t、K 3.15 t。按《江苏省环境资源区域补偿办法(试行)》[苏政发(2007)149 号]的补偿标准,每从水体中去除 1 t 氮磷可获 10 万元补偿计算,生产 1 hm² 水葫芦可获得补偿 18.5 万元。另一方面,将打捞起来的水葫芦作为一种养分资源直接施用到农田中,可减少农田化肥的施用量,节约化肥施用成本:按每公顷农田需施用干物重为 4.5 t 的水葫芦计算,1 hm² 水面生产的水葫芦可为 10 hm² 农田提供有机肥源。

此外,农田化肥施用量的降低和施用水葫芦养分的缓慢释放(与化肥相比)还有利于降低农业面源污染,缓解目前许多地区严重的水体富营养化状况(许多研究表明,农业面源污染是水体富营养化的重要原因。据报道,在太湖流域,农业面源污染氮、磷排放分别占全流域排放量的 37.5%、15.1%;2005 年太湖流域稻麦田流失的总氮、总磷分别为 6 318 t、97 t^[12]),从而达到一种良性的循环模式。郑建初等^[4]研究表明,在众多的水体治理方法中,利用水葫芦处理水体 N、P 的效果最好、成本最低,去除每吨水体 N、P 的成本在 5 万元以下(远远低于江苏省环境资源区域补偿标准),而水葫芦施用到农田又是最为直接的水葫芦利用方式。因此,利用水葫芦净化水体和养分循环利用模式是最为经济的富营养化水体治理模式,考虑到其运输成本,水葫芦种养区应选择与农田距离较为接近的区域。

参考文献:

- [1] 唐静杰,周 青.生态浮床在富营养化水体修复中的应用[J].环境与可持续发展,2009,2:24-27.
TANG Jing-jie, ZHOU Qing. Floating-bed application in eutrophicated water renovation[J]. *Environment and Sustainable Development*, 2009, 2:24-27.
- [2] 童昌华,杨肖娥,濮培民.富营养化水体的水生植物净化试验研究[J].应用生态学报,2004,15(8):1447-1450.
TONG Chang-hua, YANG Xiao-e, PU Pei-min. Purification of eutrophicated water by aquatic plant[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(8):1447-1450.
- [3] Amanda M Nahlik, William J Mitsch. Tropical treatment wetlands dominated by free-floating macrophytes for water quality improvement in Costa Rica[J]. *Ecological Engineering*, 2006, 28:246-257.
- [4] 郑建初,常志州,陈留根,等.水葫芦治理太湖流域水体氮磷污染的可行性研究[J].江苏农业科学,2008,3:247-250.
ZHENG Jian-chu, CHANG Zhi-zhou, CHEN Liu-gen, et al. Study on feasibility of hyacinth treating water N and P pollution in the Taihu Lake area[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2008, 3:247-250.
- [5] El-Gendy A S, Biswas N, Bewtra J K. A floating aquatic system employ-

- ing water hyacinth for municipal landfill leachate treatment; Effect of leachate characteristics on the plant growth[J]. *Journal of the Environmental Engineering and Science*, 2005, 4: 227–240.
- [6] 陈进军, 郑 狮, 郑少奎. 表面流人工湿地中水生植被的净化效应与组合系统净化效果[J]. 环境科学学报, 2008, 28(10): 2029–2035.
- CHEN Jin-jun, ZHENG Chong, ZHENG Shao-kui. Pollutant purification performance of a surface flow constructed wetland planted with different aquatic macrophytes and their combination[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(10): 2029–2035.
- [7] Polomski R F, Taylor M D, Bielenberg D G, et al. Nitrogen and phosphorus remediation by three floating aquatic macrophytes in greenhouse-based laboratory-scale subsurface constructed wetlands[J]. *Water Air and Soil Pollution*, 2009, 197(1–4): 223–232.
- [8] 胡 萍, 周 青. 太湖水体富营养化的植物修复[J]. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(4): 447–451.
- HU Ping, ZHOU Qing. Phytoremediation of eutrophication repair in the Taihu Lake[J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2008, 24(4): 447–451.
- [9] 王允青, 郭熙盛. 不同还田方式作物秸秆腐解特征研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 607–610.
- WANG Yun-qing, GUO Xi-sheng. Decomposition characteristics of crop-stalk under different incorporation methods[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(3): 607–610.
- [10] 彭 娜, 王凯荣, 王开峰, 等. 不同氮肥配施方法下稻草还田短期效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 64–67.
- PENG Na, WANG Kai-rong, WANG Kai-feng, et al. Effect of incorporating rice straw into the soil on rice growth, soil N and P nutrients under different N and P fertilization models[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(4): 64–67.
- [11] 赵 鹏, 陈 阜. 秸秆还田配施化学氮肥对冬小麦氮效率和产量的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(6): 1014–1018.
- ZHAO Peng, CHEN Fu. Effects of straw mulching plus nitrogen fertilizer on nitrogen efficiency and grain yield in winter wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(6): 1014–1018.
- [12] 万晓红, 王海芹. 江苏太湖流域农业面源污染及防治对策措施分析[J]. 农业环境与发展, 2008, 25(3): 69–71.
- WAN Xiao-hong, WANG Hai-qin. Prevention measures of agricultural non-point source pollution in Taihu Lake basin of Jiangsu Province[J]. *Agro-Environment and Development*, 2008, 25(3): 69–71.