

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.

## 凤眼莲的生态功能及其利用

郑建初, 盛 婧, 张志勇, 李 霞, 白云峰, 叶小梅, 朱普平  
(江苏省农业科学院循环农业研究中心, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 凤眼莲(*Eichharnia crassipes*)俗称水葫芦, 是世界上公认的富集水体氮磷能力最强的水生植物之一。研究凤眼莲的生态功能, 尤其是资源化利用潜力, 对正确认识该植物、发挥其在水体环境治理和物质、能量循环利用中的作用具有重要的意义。文章系统地归纳总结了凤眼莲的生态功能, 并对其利用研究进行了综述。

**关键词:** 水葫芦; 生态功能; 利用

**中图分类号:** X173      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-4440(2011)02-0426-04

## Ecological function of hyacinth and its utilization

ZHENG Jian-chu, SHENG Jing, ZHANG Zhi-yong, LI Xia, BAI Yun-feng, YE Xiao-mei, ZHU Pu-ping  
(Circular Agricultural Research Center, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** Water hyacinth is one of the aquatic plants with higher nitrogen and phosphorus absorption ability. It is significant in eutrophic water purification as well as matter and energy recycle. In this paper, ecological functions of water hyacinth were systematically summarized. Meanwhile, its utilization was reviewed.

**Key words:** water hyacinth; ecological function; utilization

凤眼莲(*Eichharnia crassipes*)俗称水葫芦, 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氮磷能力最强的水生植物之一, 它可在短期内迅速将水体氮磷富集到体内, 从而达到净化水体的目的, 国内外已有许多应用凤眼莲控制性种养技术去除水体富营养化的研究报道<sup>[1-3]</sup>。由于其繁殖能力较强, 种植后不及时处理易出现漂逸堵塞航道, 腐烂后易造成二次污染等问题, 导致人们对凤眼莲的应用争议很大。因此进一步研究凤眼莲的生态功能, 尤其是资源化利用潜力, 对正确认识凤眼莲, 发挥其在水体环境治理和物质、能量循环利用中的作用具有重大意义。

### 1 凤眼莲的生态功能

#### 1.1 高生物质积累能力与能源功能

1.1.1 凤眼莲高生物质积累能力 早在 20 世纪 80 年代, 袁从祎等<sup>[4]</sup>在太湖流域的研究结果表明, 凤眼莲的年生长量鲜重可达  $6.21 \times 10^5$  kg/hm<sup>2</sup>, 折合干物质  $4.72 \times 10^4$  kg/hm<sup>2</sup>, 氮、磷吸收量分别为 739.50 kg/hm<sup>2</sup> 和 127.50 kg/hm<sup>2</sup>。窦鸿身等<sup>[5]</sup>研究结果表明, 在太湖大水面每种植 1 hm<sup>2</sup> 凤眼莲, 在 7 ~ 8 月间每天可增重 5 ~ 7 t。江苏省农业科学院在太湖和南京的试验结果表明, 凤眼莲在水中生长迅速。初始放养量为干重 0.06 kg/m<sup>2</sup>, 7 d 生物量就增长至 0.14 kg/m<sup>2</sup>, 14 d 达到 0.29 kg/m<sup>2</sup>, 42 d 生物量可达 1.22 kg/m<sup>2</sup>, 其生物量变化符合 Logistic 曲线方程 [ $Y = 1.348 \cdot 0 / (1.000 \cdot 0 + 20.954 \cdot 4 \times 10^{-0.125 \cdot 8x})$ ],  $R^2 = 0.998 \cdot 7$ 。当密度达到 0.49 ~ 0.86 kg/m<sup>2</sup> 时, 凤眼莲增长速率最快, 达到 0.053 kg/(m<sup>2</sup> · d)。

收稿日期: 2010-12-20

基金项目: 国家支撑计划项目(2009BAC63B00)

作者简介: 郑建初(1956-), 男, 江苏无锡人, 研究员, 研究方向为农业生态与耕作制度。

1.1.2 能源生产潜力 作者对几种植物的能值研究表明,凤眼莲单位面积生产的能值最高,为 $5.79 \times 10^5$  MJ/hm<sup>2</sup>,玉米其次,为 $3.42 \times 10^5$  MJ/hm<sup>2</sup>,而油菜生产的能值最低,仅为凤眼莲的39.9%。1 hm<sup>2</sup>凤眼莲生产的能量相当于19 755 kg 标准煤释放的能量,分别是水稻产能的2.18倍、玉米的1.69倍、油菜的2.50倍、甘薯的2.11倍。由此可见,凤眼莲生长过程是一个巨大的生物质能源生产的过程。凤眼莲在治理污染水体的同时,可实现巨大的生物质能源的生产。

## 1.2 高光合能力与固碳功能

1.2.1 凤眼莲的光合能力 作者对江苏地区凤眼莲、典型C<sub>3</sub>植物水稻、C<sub>4</sub>植物玉米的光合参数进行测定,结果(表1)表明,凤眼莲虽然是C<sub>3</sub>植物,但是其光饱和点、最大光合速率与C<sub>4</sub>植物玉米相仿,并具有较宽的光合生态位[20~2 458 μmol/(m<sup>2</sup>·s)],对低光照度有较强的利用能力,对高光照度有较强的适应能力(图1),该特征促使它能最大限度地利用太阳光合成有机物质。

表1 江苏地区凤眼莲与典型C<sub>3</sub>植物水稻和C<sub>4</sub>植物玉米光合参数的比较

Table 1 Comparison of photosynthesis parameters among water hyacinth and rice as well as maize in Jiangsu area

参数	凤眼莲	水稻	玉米
光饱和点 [μmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	2 458	1 641	2 550
最大光合速率 [μmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	34.5	19.56	30.36
光补偿点 [μmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	20.25	38.56	29.75
表观量子效率	0.053 2	0.026 9	0.042 7

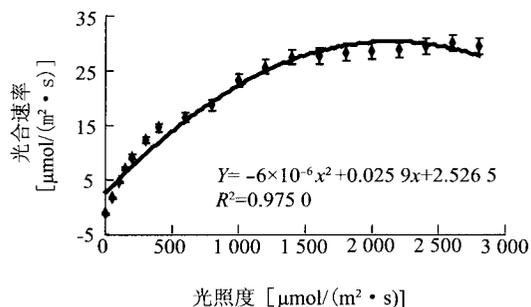


图1 凤眼莲功能叶片光合速率对光照度的响应曲线

Fig. 1 Response of photosynthetic rate to light intensity in functional leaves of water hyacinth

凤眼莲由于光合能力较强,因此具有较高的光能利用率。研究结果(表2)表明,水稻、玉米、油菜的光能利用率均在1.40%以下,而凤眼莲则高达1.89%。

表2 几种植物的光能利用率比较

Table 2 Light use efficiency comparisons of several plant species

植物	能量 ( $\times 10^5$ MJ/hm <sup>2</sup> )	累计太阳辐射量 ( $\times 10^5$ MJ/hm <sup>2</sup> )	光能利用率 (%)
凤眼莲	5.79	306.9	1.89
水稻	2.66	255.0	1.04
玉米	3.42	255.0	1.34
油菜	2.31	191.7	1.21

1.2.2 凤眼莲固碳潜力 植物进行光合作用需要吸收大气中的CO<sub>2</sub>,同时释放出O<sub>2</sub>,因此植物生长对于减少空气中CO<sub>2</sub>含量,减轻温室效应,固定碳源具有重要意义。根据光合作用方程式(每形成1 g干物质,需要1.62 g CO<sub>2</sub>,释放1.2 g O<sub>2</sub>)计算,水生植物中单位面积的固碳量以凤眼莲最高,为60 750 kg/hm<sup>2</sup>(CO<sub>2</sub>),芦苇次之,为31 470 kg/hm<sup>2</sup>(CO<sub>2</sub>),菱角最低;与大宗作物水稻相比,凤眼莲的固碳量高出1.5倍;森林树木的固碳量相对较低,仅为凤眼莲固碳量的5.1%(表3)。由此可见,凤眼莲群体是巨大的碳汇。

表3 不同植物的固碳效果

Table 3 Carbon fixation abilities of different plant species

植物类型	名称	干物质 (kg/hm <sup>2</sup> )	固碳量 (kg/hm <sup>2</sup> , CO <sub>2</sub> )
水生植物	凤眼莲	37 500	60 750
	芦苇	19 425	31 470
	菱角	7 200	11 664
粮食作物	水稻	15 000	34 300
森林	树木	1 913	3 099

## 1.3 养分富集能力及净化水体功能

凤眼莲生长繁殖快,能从水体中大量吸收氮、磷、钾等营养物质,对富营养化水体具有很强的净化作用。万志刚等<sup>[6]</sup>对10种水生维管束植物吸收水体氮、磷的效果比较试验表明,水葫芦对总氮和总磷

的吸收能力最强,吸收率分别为83.09%和80.30%;空心菜次之,吸收率为77.9%和68.18%,槐叶萍最低;仅为44.94%和10.61%。作者通过试验结果表明,在5~10月间平均气温为20~35℃、凤眼莲密度为鲜重9~180 t/hm<sup>2</sup>情况下,平均日增长量为5.25 t/hm<sup>2</sup>,最大生物量可达300 t/hm<sup>2</sup>。如及时合理地采收,凤眼莲全年鲜草产量可达850.5 t/hm<sup>2</sup>。凤眼莲平均干物质含量为6.56%,干基氮、磷、钾含量分别为3.07%、0.46%、5.70%。因此,种养1 hm<sup>2</sup>凤眼莲一年可从富营养化水体中带走1 713 kg氮、257 kg磷和3 180 kg钾。

Zhu等<sup>[7]</sup>研究表明,凤眼莲对水体中的重金属Cd<sup>2+</sup>、Cr<sup>6+</sup>、Se<sup>6+</sup>、Cu<sup>2+</sup>、As<sup>5+</sup>、Ni<sup>2+</sup>等有很强的吸收能力。袁蓉等<sup>[8]</sup>研究表明,凤眼莲对污水中的萘有很强的净化能力,净化率达到85%左右。张志勇等<sup>[9]</sup>研究表明,在进水总氮、总磷浓度分别为5.15 mg/L和0.33 mg/L(劣V类水)、凤眼莲初始生长量3 kg/m<sup>2</sup>、日交换量14%条件下,日氮、磷去除率分别达到84%和78%,劣V类水1 d改善成Ⅲ类水以下;在日交换量20%条件下,氮磷去除率分别达79%和73%,劣V类水1 d改善成Ⅳ类水以下。

## 2 凤眼莲的资源化利用

### 2.1 凤眼莲的能源化利用

将水葫芦用作厌氧发酵原料产沼气最早可追溯到20世纪70年代。Chanakya等<sup>[10]</sup>研究发现,水葫芦含有较高的可发酵物质,具有较高的产气潜力。作者通过试验也发现,凤眼莲是良好的沼气发酵材料。新鲜凤眼莲的产气高峰期在第5~12 d,甲烷含量最高可达70%以上,培养19 d测得凤眼莲产气潜力为336 ml/g(TS)、517 ml/g(VS),TS降解率为33%,VS降解率为46.6%,1 t新鲜凤眼莲可产沼气16.8 m<sup>3</sup>,折合标准煤23 kg。

水葫芦比重轻,含水量高,在厌氧发酵反应器中易漂浮,进出料困难且易堵塞,将水葫芦切碎在传统的批次反应器中仍然存在困难。为了克服水葫芦易漂浮、易堵塞进出料管道以及进料困难、产气效率低的缺点,许多研究者进行了不同的发酵工艺试验。Annachatre等<sup>[11]</sup>用碱预处理水葫芦,结合细胞固定化技术,采用两相法(酸化相与产甲烷相),获得了比批次工艺高得多的产气效率。作

者将水葫芦进行固液分离,对分离后的汁进行厌氧发酵产沼气,试验结果表明,该技术路线不仅克服了水葫芦作为厌氧发酵底物固有的困难,且使水力滞留时间大大缩短;采用升流式厌氧污泥床工艺,水力滞留时间为3 d,可以使底物中COD消减80%以上,容积产气率达1.0 m<sup>3</sup>/(m<sup>3</sup>·d)以上,1 t新鲜凤眼莲挤压出来的汁产沼气3.5 m<sup>3</sup>,甲烷含量>65%。每15.0 m<sup>3</sup>沼气发酵装置可处理1 hm<sup>2</sup>水面日生产的凤眼莲。

### 2.2 凤眼莲的肥料化利用

凤眼莲生物学产量高,氮、钾养分含量高,是良好的有机肥原料,尤其适合需钾量高的作物,如水果、茄果类蔬菜、马铃薯等作物。新鲜凤眼莲含有大量的水分,含水量在95%左右,在制作有机肥时首先需要挤压脱水,当含水量在80%左右时,即可进行高温堆肥。挤压渣堆体无需添加任何辅料,堆肥后25 d物料即腐熟,可安全使用。生产出的凤眼莲有机肥全氮含量为2.1%,有机质含量为34.05%。凤眼莲发酵后产生的沼液也是优质的有机肥料。1 t凤眼莲发酵可产生沼液800.0 kg左右,其中含氮928 g、磷128 g、钾2 240 g,相当于尿素(N,46%)2.0 kg、过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,18%)0.7 kg、氯化钾(K<sub>2</sub>O,52%)4.3 kg。

### 2.3 凤眼莲的饲料化利用

由于凤眼莲含有十分丰富的蛋白质、氨基酸、粗纤维、胡萝卜素和微量元素,可用作饲料。在太湖流域种养凤眼莲的典型代表性水域太湖二湾、雅浦港、桃坞、鹅真荡、江苏省农业科学院3号塘5个地点采集凤眼莲样品,测定其重金属含量,分析凤眼莲用作饲料的安全性。结果(表4)表明,5个地点的凤眼莲重金属含量不同,且茎叶的重金属含量远低于根系。对照饲料卫生标准(GB13078-2001),采样水域凤眼莲茎叶和根系重金属铅、镉含量均未超标。因此,这5个水域生长的凤眼莲用作饲料是安全的。

白云峰等<sup>[12]</sup>对凤眼莲饲料研究表明,凤眼莲(渣)与玉米粉、醋糟或组合发酵,在7~8月份自然条件下,发酵15 d即达到饲喂水平。将凤眼莲(渣)与玉米粉、醋糟或组合发酵的饲料喂羊,羊的采食状况良好。以凤眼莲(渣)为粗饲料饲喂羊,日平均增重101~109 g/d,比饲喂羊草的羊增重20 g以上。

表4 不同水域凤眼莲重金属含量

Table 4 Heavy metal contents in water hyacinths growing in different water bodies

采样点	植株部位	重金属含量(以鲜重计)			
		Cd	Cu	Pb	Zn
		(mg/kg)			
二湾	茎叶	0.005	0.439	0.195	2.632
	根系	0.052	1.978	0.872	6.398
雅浦港	茎叶	0.014	1.580	0.383	10.720
	根系	0.267	11.820	2.259	107.100
桃坞	茎叶	0.000	1.246	0.299	9.721
	根系	0.091	4.947	3.696	44.690
鹅真荡	茎叶	0.015	1.641	0.398	9.299
	根系	1.159	5.251	2.226	108.400
江苏省农业科学院	茎叶	0.005	0.583	0.389	2.381
	根系	0.048	1.496	0.658	4.310

## 参考文献:

- [1] 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.
- [2] NAHLIK A M, MITSCH W J. Tropical treatment wetlands dominated by free-floating macrophytes for water quality improvement in Costa Rica[J]. Ecological Engineering, 2006, 28: 246-257.
- [3] 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.
- [4] 袁从祎,赵强基,吴宗云. “三水”作物在农田生态系统物质循环中的潜力[J]. 江苏农业科学,1983(9):27-29.
- [5] 窦鸿身,濮培民,张圣照,等. 太湖开阔水域凤眼莲的放养试验[J]. 植物资源与环境,1995,4(1):54-60.
- [6] 万志刚,沈颂东,顾福根,等. 几种水生维管束植物对水中氮、磷吸收率的比较[J]. 淡水渔业,2004,34(5):6-8.
- [7] ZHU Y L, ZAYED A M, QIAN J H, et al. Phytocumulation of trace elements by wetland plants: II. water hyacinth[J]. Journal of Environmental Quality, 1999, 28(1): 339-344.
- [8] 袁 蓉,刘建武,成旦红,等. 凤眼莲对多环芳烃(萘)有机废水的净化[J]. 上海大学学报:自然科学版,2004,10(3):272-276.
- [9] 张志勇,常志州,刘海琴,等. 不同水力负荷下凤眼莲去除氮、磷效果比较[J]. 生态与农村环境学报,2010,26(2):148-154.
- [10] CHANAKYA H N, BORGAONKAR S, MEENA G, et al. Solid-phase biogas production with garbage or water hyacinth[J]. Biore-source Technology, 1993, 46(3): 227-231.
- [11] ANNACHHATRE A P, KHANNA P. Methane recovery from water hyacinth through whole-cell immobilization technology[J]. Biotechnology and Bioengineering, 1987, 29(7): 805-818.
- [12] 白云峰,周卫星,严少华,等. 水葫芦青贮饲喂羊的育肥效果[J]. 江苏农业学报,2010,26(5):1108-1110.