

滇池水葫芦控制性种养适宜区域选择研究I

张迎颖¹, 刘海琴¹, 王亚雷¹, 张志勇¹, 严少华^{1*}, 何峰², 宋任彬²

(1. 江苏省农业科学院 资源与环境研究所, 江苏 南京 210014; 2. 昆明市滇池生态研究所, 云南 昆明 650228)

摘要:为了筛选水葫芦生长适宜区域,在滇池草海与外海共选择了6个试验点,采用围栏控制性种养水葫芦,开展不同水域条件下水葫芦生长特性与氮、磷吸收能力的对比试验。结果表明:在各试验点中,草海水面平稳,水体接近中性,氮磷浓度最高,是最适宜水葫芦生长的区域,该点水葫芦生物累积量最高,氮磷吸收能力最强;龙门村水域需规模化控养水葫芦形成优势种群,方能与大量富集的蓝藻构成生物竞争;富善村水域风浪拍打造成水葫芦植株损伤严重,不适宜水葫芦生长;白山湾地处湖湾,成片的水葫芦对风浪有消减作用,该点水葫芦生物累积量较大,氮磷吸收能力较强。

关键词:水葫芦;滇池;生长;适宜区域;氮;磷

中图分类号:X173 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-8581(2012)02-0140-05

Study I on Selection of Suitable Region for Controlled Planting of *Eichhornia crassipes* in the Dianchi Lake

ZHANG Ying-ying¹, LIU Hai-qin¹, WANG Ya-lei¹, ZHANG Zhi-yong¹, YAN Shao-hua^{1*}, HE Feng², SONG Ren-bin²

(1. Institute of Agricultural Resource and Environmental Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Institute of Kunming Dianchi Lake Ecology in Yunnan Province, Kunming 650228, China)

Abstract: In order to screen the suitable region for the growth of hyacinth (*Eichhornia crassipes*), it was planted by fence facilities at 6 experimental spots in Caohai and Waihai of the Dianchi Lake, and the comparative tests were conducted to observe their growth characteristics and absorption ability to N and P under different water conditions. The results showed that the Caohai water was calm and closed to neutral water body, and its concentrations of N and P were the highest among the six spots. In addition, in the Caohai, the accumulative biomass of hyacinth was the highest, and its absorption ability to N and P was the strongest. So the Caohai was the most suitable region for the growth of hyacinth among six experimental spots. In the water area of Longmen village, a large area of *Eichhornia crassipes* should be planted to produce dominant population, which could form biological competition with lots of blue-green algae enriched there. The water area of Fushan village was not suitable for the growth of *Eichhornia crassipes*, because the wind and storm wave could seriously hurt hyacinth plants. In Baishan bay, a certain area of grown hyacinth could reduce the wind and storm wave, so its accumulative biomass was higher and absorption ability to N and P was stronger.

Key words: *Eichhornia crassipes*; Dianchi Lake; Growth; Suitable region; Nitrogen; Phosphorus

水葫芦,又名凤眼莲,属雨久花科凤眼莲属,为多年生漂浮水生草本植物,原产美洲,喜高温湿润气候,一般25~35℃为生长发育的最适温度。水葫芦的克隆繁殖(无性繁殖)能力极强,生长速度快,生物产量高,对水体中氮磷等污染物质的吸收能力强^[1-3],因此被广泛应用于各类氮、磷含量高的污水处理,如生活污水、养殖废水及垃圾渗滤液等,特别是富营养化湖泊生态修复工程中^[4-7]。但是,近年来在太湖、滇池等湖泊控制性种养水葫芦的试验过程中发现,并非任何水域都适合水葫芦的生长。在一些水域出现水葫芦生长缓慢、植株矮小、叶片泛黄、根系过长等现象,其结果是水葫芦生物累积量降低,对水体中氮磷的消减能力减弱,影响了生态修复的效果。因此,本试验在滇池不同水域构建围栏控制性种养水葫芦,野外实地采集水样和植物样,研究不同水域条件

下水葫芦生长特性及氮、磷吸收能力,筛选水葫芦生长适宜区域,以期富营养化湖泊生态修复工程技术提供依据与参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点 滇池水域被海埂大坝隔成两部分(草海和外海)。其中,草海面积较小,约为10.67 km²,水深平均1~2 m,水面平稳,水质劣V类,重度富营养化,是昆明主城区西岸生活污水和污水处理厂排水的唯一受纳水体;外海是滇池的主体,面积约为288 km²,最深10.0 m,风浪较大,水质劣V类,中度富营养化,是昆明市东南部和东部城镇生活污水和流域内非点源的主要受纳水体^[8]。本研究在滇池选择6处典型水域构建围栏开展水葫芦控制性种养试验,其中草海水域为外草海和老干鱼塘,外海水域为龙门村、富善村、海口镇和白山湾,各试验

收稿日期:2011-12-09

基金项目:国家科技支撑计划“水葫芦安全种养和机械化采收技术集成研究与示范”(2009BAC63B01);云南省社会发展专项“滇池水葫芦富集氮磷及资源化利用研究与示范”(2009CA034)。

作者简介:张迎颖(1980—),女,江苏响水人,助理研究员,博士,研究方向:富营养化水体水生植物修复。*通讯作者:严少华。

水域具体分布见图1。

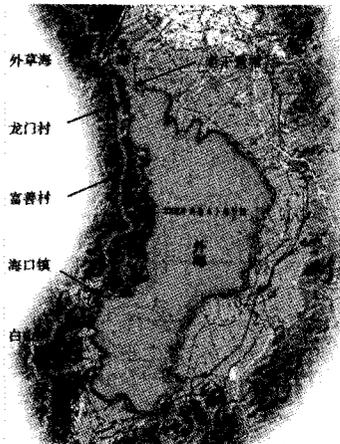


图1 滇池水葫芦控制性种养水域分布

1.2 试验材料与方法 供试材料取自滇池外海白山湾水葫芦控养基地。围栏采用锚基管架浮床设施^[9]构建,由15个2 m×1 m的小隔栏组成,每个隔栏内水葫芦的初始放养量为3 kg/m²。初始放养时,尽量选取植株差异较小的水葫芦,并随机选取多株测定初始生长特性,包括株高、根长及干物质含量等。

各试验点每两周进行1次试验,包括下述内容:(1)水质监测,于控养区和对照区分别采集3个平行样,测定水中的TN、TP和Chl-a,并记录当时的气温、水温、pH和DO;(2)水葫芦生长特性监测,定期监测水葫芦株高、根长、分蘖数和生物量,并计算其生物量增长速率,每次选择3个隔栏循环监测;(3)水葫芦氮磷吸收量监测,采集水葫芦植株样3份,将其分成茎叶(地上部)和根系(地下部),分别称取部位鲜质量,杀青烘干后称量部位干质量,粉碎制样以测定干物质及氮磷含量。

1.3 测定项目及方法 pH采用PHB-10型笔式pH计测定;DO采用JPB-607型便携式溶解氧仪测定;水体TN、TP,将水样消煮后采用AutoAnalyzer3 Applications流动分析仪测定;水体Chl-a采用体积分数为90%的丙酮萃取比色法测定;植物全氮采用混合催化剂硫酸消化凯式滴定法测定;植物全磷采用硫酸高氯酸消煮钼锑抗比色法测定。

2 结果与分析

2.1 试验水域的主要特征 试验过程中,采用围栏将水葫芦控制在限定区域内生长,但试验水域并未与外界分隔,水体自然流动存在物质交换。除了初始采样外,试验期间对各水域的控养区和对照区共进行了8次采样,水质状况的平均值见表1。

《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)中明确了湖泊V类水标准限值:TN 2.0 mg/L,TP 0.2 mg/L。如表1所示,外草海的pH为7.74,水体接近中性,TN、TP含量超过湖泊V类水限值,为劣V类,污染严重,呈现重度富营养化状态;老干鱼塘虽属于草海,但由于人工堤的间隔,使之成为相对封闭水域,pH为9.50,呈碱性,水体也为劣V类,污染较严重。

外海4个试验点水体均呈碱性。由于滇池常年盛行西南风,蓝藻堆积在外海北部,使龙门村水域成为蓝藻富集区,严重时水面犹如漂浮一层绿色油漆,采集的控养区水样中混入了少量蓝藻,消煮后测定发现TN、TP含量较高;富善村为滤食性鱼类养殖基地,水域特点是风浪大,水面长期处于波动状态;海口镇为外海的西南出水口,与其他试验点相比,TN、TP含量较低,水质较好,为V类水;白山湾是外海西南部的一个湖湾,风浪较大,水质相对较好,为66.67 hm²水葫芦控制性种养基地。

表1 试验水域的主要特征和水质状况

试验水域	水环境特征	控养区/对照区				
		TN/(mg/L)	TP/(mg/L)	pH	DO/(mg/L)	Chl-a/(μg/L)
外草海	接近中性,重度富营养化	6.38/5.63	0.639/0.621	7.74/7.98	4.40/7.10	249.29/154.87
老干鱼塘	呈碱性,封闭水域	3.05/3.07	0.573/0.448	9.50/9.59	7.30/10.10	512.62/161.23
龙门村	呈碱性,大量蓝藻富集区	12.24/4.28	1.159/0.282	9.01/9.05	5.50/6.50	8570.81/467.38
富善村	呈碱性,风浪大,水面波动	2.56/2.34	0.172/0.140	9.53/9.59	9.50/10.10	356.51/244.36
海口镇	呈碱性,水质较好,西南出水口	1.37/2.12	0.194/0.197	9.61/9.62	7.20/9.20	87.45/50.62
白山湾	湖湾,风浪较大,轻度富营养化	2.35/2.16	0.234/0.283	8.43/9.35	3.70/8.00	151.47/97.17

2.2 水葫芦的生长特性 在初始放养量3.0 kg/m²,试验周期4个月的条件下,滇池草海与外海水葫芦的生长特性具有明显差异,见表2、图2。外草海的水葫芦株高最大,茎秆粗壮且叶片肥大呈深绿色,根系较短呈灰黑色;茎叶达到全株质量的76.99%,根系仅占23.01%;植株含水率较高,干物质含量约为5.16%。老干鱼塘的水葫芦在试验前期生长缓慢,植株矮小且叶片发黄,雨季之后有所恢复,植株增高且叶片变绿;植株含水率低于外草海,干物质含量约为6.35%。

在外海的4个试验点中,龙门村水域富集了大量蓝

藻,而围栏内的水葫芦生物量较少,生物竞争作用影响了水葫芦的生长,其茎秆瘦长且叶片出现黑斑,根部附着一定量的蓝藻;植株含水率相对较高,干物质含量为6.23%。海口镇水体氮、磷含量较低,水葫芦的茎叶生长缓慢,根系迅速增长;叶片出现黑色病斑濒临死亡,将其移至外草海,逐渐恢复生机。白山湾水质相对较好,水葫芦的株高和根系逐渐增加,茎秆细长且叶片瘦小呈翠绿色,根系最长呈紫黑色;根系发达,达到全株质量的49.21%;植株含水率较低,干物质含量约为6.89%。富善村水域风浪较大,水葫芦的植株与根系损伤严重,最终

未能存活。

表 2 水葫芦的生长特性

试验水域	株高/cm	根长/cm	茎叶/全株(鲜质量)/%	茎叶/全株(干质量)/%	干物质含量/%
外草海	85.50 ± 4.00	25.00 ± 0.50	76.99 ± 3.57	72.39 ± 2.93	5.16 ± 0.14
老干鱼塘	26.60 ± 0.81	17.70 ± 0.78	59.44 ± 3.87	58.56 ± 5.52	6.35 ± 0.32
龙门村	19.00 ± 0.91	30.80 ± 1.37	54.35 ± 3.09	56.09 ± 3.48	6.23 ± 0.32
富善村	-	-	-	-	-
海口镇	16.20 ± 1.05	40.10 ± 2.62	49.73 ± 10.80	50.40 ± 10.26	6.29 ± 0.16
白山湾	22.50 ± 2.65	69.50 ± 3.95	50.79 ± 4.85	53.76 ± 2.82	6.89 ± 0.56

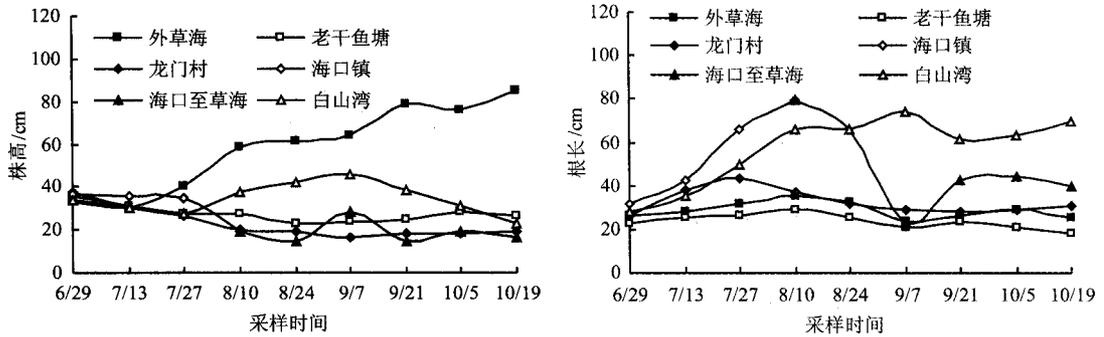


图 2 水葫芦的株高和根长

2.3 水葫芦的生物量增长速率 水葫芦净化富营养化水体的效果首要取决于累积生物量,而生物量增长速率(简称生长速率)是决定生物量的重要因素^[7]。各试验水域水葫芦的生长速率采用下列公式计算:

$$R = (Q_{n+1} - Q_n) / T \quad (1)$$

式(1)中, R 为水葫芦的生长速率($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$); Q_n 和 Q_{n+1} 分别为第 n 和 $n+1$ 次监测时的生物量(kg/m^2); T 为第 n 和 $n+1$ 次监测的时间间隔(d)。

由表 3、图 3 可知,外草海水域 TN、TP 含量很高,水葫芦迅速克隆繁殖,分蘖数达到 284 个,试验期间生长速率出现两次高值,第 3 次采样(8/10)达到 $1.132 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$,第 5 次采样(9/7)达到 $0.664 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$,后期由于围栏内单位面积生物密度过高,在一定程度限制了生长,但该点平均生长速率最高,累积生物量仍然远远高于其他各试验点,理论值达到 $97.56 \text{ kg}/\text{m}^2$,实测值达到 $85.37 \text{ kg}/\text{m}^2$,在实践工程中应及时采收打捞以获得最高生物

量^[10]。老干鱼塘为相对封闭水域, TN、TP 含量较高,试验初期水体 pH 值为 10.55,水葫芦生长速率较低,雨季 pH 值有所下降,克隆繁殖能力增强,分蘖数达到 135 个,平均生长速率达到 $0.240 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$,累积生物量为 $43.20 \text{ kg}/\text{m}^2$ 。

在滇池外海,龙门村水域 TN、TP 含量较高,本应适合水葫芦的生长,但由于过量富集的蓝藻生物群,与少量的水葫芦构成生物竞争,使其生长受到抑制,平均生长速率仅为 $136 \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$,但是分蘖数仍然较多,达到 99 个。海口镇水域污染程度较低,水葫芦濒临死亡,移至草海后生长速率迅速升高,但其生物量基数小,故累积生物量远低于原外草海试验点。白山湾水质相对较好,水体 pH 均值为 8.43,该点水葫芦的生长主要表现在株高和根长上,第 5 次采样时全株高度达到 119.3 cm,平均生长速率相对较高,达到 $0.275 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$,但其克隆繁殖能力较差,分蘖数较少,仅为 52 个。

表 3 水葫芦的分蘖速率和生长速率

试验水域	分蘖数/个	分蘖速率/(个/ $\text{m}^2 \cdot \text{d}$)	最大生长速率/($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)	平均生长速率/($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)	全年累积生物量/(kg/m^2)
外草海	284 ± 12	2.53 ± 0.12	1.132 ± 0.079	0.542	97.56(85.37)
老干鱼塘	135 ± 17	1.21 ± 0.12	0.417 ± 0.049	0.240	43.20
龙门村	99 ± 1	0.89 ± 0.01	0.174 ± 0.010	0.136	24.48
富善村	-	-	-	-	-
海口镇	57 ± 14	0.51 ± 0.13	0.143 ± 0.009	0.104	18.72
白山湾	52 ± 3	0.47 ± 0.03	0.275 ± 0.020	0.150	27.00

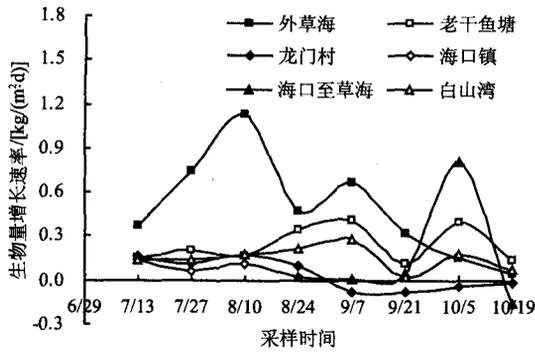
2.4 水葫芦氮磷吸收能力 利用水葫芦治理富营养化水体,着眼于水葫芦高效吸收氮磷的能力^[1-3]。利用下列公式可计算各试验点水葫芦对水体中氮、磷的吸收总量:

$$A_N = Q \times W_N \times 10^{-3} \quad (2)$$

$$A_P = Q \times W_P \times 10^{-3} \quad (3)$$

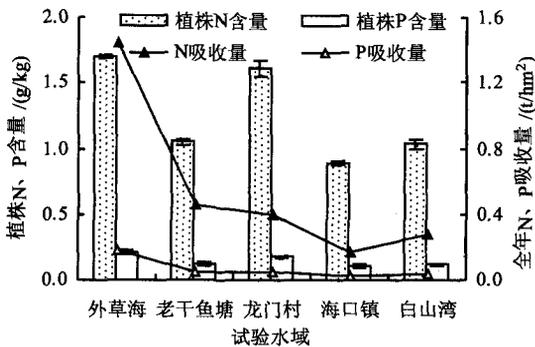
式(2)、(3)中, A_N 和 A_P 分别为水葫芦对水体氮和磷的吸收总量(t/hm^2); Q 为水葫芦全年累积生物量(t/hm^2); W_N 为水葫芦植株全氮含量(g/kg); W_P 为水葫芦植株全磷含量(g/kg)。通过计算可知各试验点水葫芦

的全年 N、P 吸收量,见图 4。



采样时间以外草海的采样日期为横坐标,
其他各点在相近几天内完成采样工作

图3 水葫芦的生物量增长速率曲线



图中数据为水葫芦生长旺盛期的监测数据平均值

图4 水葫芦氮磷吸收能力

在 6 个试验点中,外草海水葫芦累积生物量最大,根冠比最小,约为 0.30,即茎叶在植株体内所占比重最大,而茎叶是水葫芦植株体内氮磷的主要富集区,所以该点水葫芦植株全氮、全磷含量最高,分别达到 1.70 g/kg 和 0.21 g/kg,对水体中氮、磷的吸收能力最强,分别达到 1.449 t/hm² 和 0.181 t/hm²。老干鱼塘水葫芦生物累积量较大,根冠比较小,茎叶在植株体内所占比重较大,氮、磷吸收总量低于外草海,高于其他试验点。

龙门村控养区水样中混有蓝藻,以对照区水质作为参考,其 TN、TP 含量较高,分别为 4.28 mg/L 和 0.282 mg/L,水葫芦植株全氮、全磷含量相对较高,但由于蓝藻富集所产生的生物竞争作用,很大程度上抑制了水葫芦的生长,使得累积生物量远远低于外草海水域,水葫芦对水体中氮、磷的吸收能力低于外草海,但在外海水域中仍然较高,分别达到 0.399 t/hm² 和 0.043 t/hm²。白山湾水域水质相对较好,水葫芦的根冠比较高,约为 0.95,即根系在植株体内所占比重较大,这也表明低氮磷浓度会使水葫芦根系长度明显增加,以实现营养物质最大程度的吸收^[11],另外发达的根系可为微生物提供附着界面,从而加快有机物的降解速度^[12]。

3 讨论

先前的大量文献报道集中于水葫芦对富营养化水

体的净化效果,对于不同水域条件下水葫芦是否适宜生长及其主要影响因素等关注度较低,本试验侧重于水葫芦适宜生长区域的筛选研究,对于今后更好地利用水葫芦生态修复技术治理富营养化水体具有现实意义。

研究认为,随着水体总氮和总磷含量的增高,水葫芦的长势逐渐增强,N 是影响水葫芦生长的关键因素,主要促进水葫芦的向上生长,提高总生物量;P 促进水葫芦分裂和横向生长,提高水葫芦匍匐茎数和叶柄数^[13]。本试验结果同样显示,氮、磷含量较高的水域适宜水葫芦生长。在各试验点中,外草海水域污染最为严重,水体氮磷浓度最高,水葫芦植株最茂盛,分蘖最多,生长速率最高,全年累积生物量最大,氮磷吸收能力最强。海口镇水域污染较轻,水体氮磷浓度最低,水葫芦植株瘦弱,分蘖最少,生长速率最低,全年累积生物量最小,氮磷吸收能力最弱。

研究显示:水葫芦生长的最佳 pH 值为 6.9 ~ 7^[14],随着 pH 的升高,水葫芦的株高、根长及根系活力均明显降低^[15]。本试验也证实,pH 接近中性的水域有利于水葫芦生长。外草海水体 pH 范围为 7.22 ~ 8.06,水葫芦长势良好,茎秆粗长,叶片宽大呈深绿色,生长速率、累积生物量及氮磷吸收量均最高,净化富营养化水体效果最好。试验初期,老干鱼塘水体 pH 值范围为 10.02 ~ 10.55,水葫芦生长缓慢,茎秆矮小,叶片瘦小呈黄绿色,进入雨季, pH 值稳定在 9.07 ~ 9.83,水葫芦株高增加,叶片逐渐变绿,生长速率、累积生物量及氮磷吸收量增加,净化富营养化水体的效果有所改善。

控养水域的风浪状况对水葫芦生长也会产生重要影响。与其他试验点相比,富善村水域的特点是风浪极大,水面长期处于波动状态,水葫芦植株受到风浪的拍打而损伤严重,难以存活。而白山湾水域时有风浪,但该点地处湖湾,控养基地成片的水葫芦也具有一定的消浪作用,水葫芦生长速率虽然不及外草海,但在外海中仍属较高。

另外,龙门村水域蓝藻大量富集,对水葫芦的生长造成了一定的影响,该点水葫芦叶片上出现黑色病斑。有研究认为,大面积种养水葫芦可与蓝藻形成营养竞争,其茎叶遮光作用和根系分泌物也能产生克藻效应^[16],但本试验的种养围栏面积很小,仅为 30 m²,水葫芦生物量也很小,难以与高度富集的蓝藻抗衡,所以该点水葫芦的生长速率、累积生物量及氮磷吸收量相对较低。

4 结论

与外草海类似的水面平稳、pH 值接近中性、水体氮磷含量高的水域为水葫芦控制性种养适宜区域。对于风浪较大的区域,可采用联排木桩、泡沫浮球围网及抗浪钢柱等消浪设施,方能构建适宜水葫芦生长的水域条件;对于蓝藻富集区域,在 5 月初放养时需增加水葫芦种苗投放量,便于其快速形成优势种群,与蓝藻构成生物竞争,

方能有效发挥水葫芦净化污染的能力。在实际工程中,采用水葫芦生态修复技术时,应尽量选择风浪较小、水体呈中性、污染相对严重、入湖河道相对集中的水域作为控制性种养区域,及时采收与打捞以获取最大生物量和氮磷吸收量,并积极研发水葫芦资源化利用途径,从而实现湖泊内源污染治理与氮磷资源利用的双重功效。

参考文献:

- [1] El - Gendy A S, Biswas N, Bewtra J K. A floating aquatic system employing 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 (4): 227 - 240.
- [2] Polomski R F, Taylor M D, Bielenberg D G, et al. Nitrogen and phosphorus remediation by three floating aquatic macrophytes in greenhousebased laboratory - scale subsurface constructed wetlands [J]. Water Air and Soil Pollution, 2009, 197 (1 - 4): 223 - 232.
- [3] 郑建初, 盛婧, 张志勇, 等. 凤眼莲的生态功能及利用 [J]. 江苏农业学报, 2011, 27 (2): 426 - 429.
- [4] Casabianca M - L de, Laugier T, Posada F. Petroliferous wastewaters treatment with water hyacinths (Raffinerie de Provence, France): Experimental statement [J]. Waste Management, 1995, 15 (8): 651 - 655.
- [5] El - Gendy A. Leachate treatment using natural systems [D]. Windsor: University of Windsor, 2003.
- [6] 窦鸿身, 濮培民, 张圣照, 等. 太湖开阔水域凤眼莲的放养实验

(上接第 139 页)

互碰撞,容易受伤,这样会造成虾体的渗透压不稳定和调节失衡,导致虾苗在运输过程中很容易死亡,而加入盐类之后则可有效地降低因渗透压改变而引起的死亡。但较高浓度的盐溶液也容易引起虾苗的死亡,因此,寻找一个理想的浓度是降低虾苗死亡率的有效措施之一。本试验结果表明:体长 2 cm 的克氏原螯虾虾苗在 NaCl 和 Na₂SO₄ 盐度为 0% ~ 0.8% 的运输条件下,饲养 1 周后的成活率明显高于没有盐度的处理。NaCl 组和 Na₂SO₄ 组盐度为 0.4% 时,模拟运输虾苗饲养 1 周后成活率最高。在运输时间、盐度相同的条件下,虾苗饲养 1 周后,NaCl 组的成活率高于 Na₂SO₄ 组。

参考文献:

- [1] 何秀元,李知强. 不同操作方法对翘嘴红鲌鱼种运输成活率的影响 [J]. 内陆水产, 2005, 30 (5): 36 - 37.
- [2] 韩杰,孟军. 提高活鱼运输成活率的技术要点 [J]. 渔业现代化, 2006 (1): 49.
- [3] 焦晓平,赵勇. 活鱼运输方法 [J]. 黑龙江水产, 2006 (5): 13 - 14.
- [4] 阎太平,刘亚东. 提高活鱼运输成活率的方法与措施 [J]. 水产养殖, 2006 (5): 54 - 55.

- [J]. 植物资源与环境, 1995, 4 (1): 54 - 60.
- [7] 张志勇,刘海琴,严少华,等. 凤眼莲去除不同富营养化水体中氮、磷能力的比较 [J]. 江苏农业学报, 2009, 25 (5): 1039 - 1046.
- [8] 中华人民共和国环境保护部. 滇池流域水污染防治“十二五”规划编制大纲 [Z]. 北京: 环境保护部, 2010.
- [9] 宋任彬,杨璇,何锋,等. 水葫芦控制性种养技术研究 [J]. 环境科学导刊, 2011, 30 (4): 5 - 7, 16.
- [10] 盛婧,郑建初,陈留根,等. 基于富营养化水体修复的凤眼莲放养及采收条件研究 [J]. 植物资源与环境学报, 2011, 20 (2): 73 - 78.
- [11] Xie Y J, Yu D. The Significance of Lateral Roots in Phosphorus (P) Acquisition of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) [J]. Aquatic Botany, 2003, 75 (4): 311 - 321.
- [12] Kim Y, Kim W. Roles of water hyacinths and their roots for reducing algal concentrations in the effluent from waste stabilization ponds [J]. Water Research, 2000, 34 (13): 3285 - 3294.
- [13] 周喆. 水质条件对外来入侵生物凤眼莲生长的影响 [D]. 福州: 福建农林大学, 2008.
- [14] 严国安,任南,李益健. 环境因素对凤眼莲生长及净化作用的影响 [J]. 环境科学与技术, 1994 (1): 2 - 5, 27.
- [15] 林瑞余,陈天生,王兵,等. 入侵植物水葫芦对不同酸度条件的适应性 [J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2007, 36 (5): 525 - 531.
- [16] 孙文浩,俞子文,余叔文. 城市富营养化水域的生物治理和凤眼莲抑制藻类生长的机理 [J]. 环境科学学报, 1989, 9 (2): 187 - 195.

- [5] 郑善坚. 提高南美白对虾运输成活率的技术总结 [J]. 内陆水产, 2003, 28 (11): 14.
- [6] 孔祥瑞. 提高鱼苗成活率的措施 [J]. 渔业致富指南, 2008 (5): 34 - 35.
- [7] 李利,江敏,马允,等. 水产品保活运输方法综述 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (15): 7303 - 7305.
- [8] 何琳,江敏,马允,等. 罗非鱼在保活运输中关键因子调控技术研究 [J]. 湖南农业科学, 2011 (13): 151 - 154.
- [9] 郑善坚. 提高南美白对虾运输成活率的技术总结 [J]. 内陆水产, 2003, 28 (11): 14.
- [10] 刘建勇,卓健辉. 运输时间及水温对南美白对虾苗成活率的影响 [J]. 水产养殖, 2005, 26 (1): 14 - 17.
- [11] 柴继芳,周春芳,贾俊威. 利用配合饲料精养克氏原螯虾的试验 [J]. 畜牧与饲料科学, 2010, 31 (1): 49 - 50.
- [12] 蒋业林,王玲. 中华鳖病毒和克氏原螯虾白斑综合症病毒危害机理和集成防治 [J]. 畜牧与饲料科学, 2010, 31 (8): 120 - 121.
- [13] 何吉祥,吴朝. 抱卵青虾的选购、暂养和运输 [J]. 水利渔业, 2006, 26 (1): 50.
- [14] 刘洪军,王金山,王进河,等. 罗氏沼虾仔虾蚤状 XI 期幼体对盐度突变的适应试验 [J]. 海洋湖沼通报, 1998 (1): 70 - 76.
- [15] 孟和平,袁满川,任彩景,等. 长途运输南美白对虾苗试验 [J]. 内蒙古农业科技, 2002 (6): 37.