

基于富营养化水体修复的凤眼莲放养及采收条件研究

盛 婧, 郑建初^①, 陈留根, 朱普平, 周 炜

(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: 为实现富营养化水体的修复,对影响凤眼莲[*Eichhornia crassipes* (Mart.) Sloms]高产高效的放养及采收条件(包括初始放养日期、采收标准和采收比例)进行了研究,并对凤眼莲的生长曲线以及N、P和K的积累量进行了分析。实验结果表明:在总氮、总磷和钾含量分别为3.41~7.18、0.05~0.27和2.24~5.18 mg·L⁻¹的水体中,在生长前期由于产生分蘖和植株个体生长,凤眼莲生物量快速增加;当植株生长至一定高度,生物量增幅减小;通过这一生长过程,凤眼莲的最高生物量可达28.28 kg·m⁻²。初始放养日期对凤眼莲的生长曲线和生物量均有明显影响,随初始放养日期的推迟生物量逐渐增大,在4月10日、4月17日、4月24日、5月1日和5月8日放养的凤眼莲经过63 d的放养,生物量均明显增加,其中,5月8日放养的凤眼莲总生物量最高,达到24.36 kg·m⁻²。采收标准和采收比例对凤眼莲的采收频率和累计采收量以及N、P和K积累量具有显著影响。按照10~15、15~20、20~25、25 kg·m⁻²以上及最高生物量的采收标准以及1/2和2/3的采收比例进行采收,凤眼莲的累计采收量均高于一次性采收(对照),且与其生物量呈抛物线型关系,但采收频率则与生物量成反比;采取不同的采收标准及采收比例,凤眼莲的干物质含量及N、P和K含量及总量均有一定的差异,但除干物质含量外,N、P和K含量及总量均明显高于一次性采收;总体上,采用20~25 kg·m⁻²的采收标准及2/3采收比例,凤眼莲的累计采收量最高、采收频率较少,对N、P和K的积累量最大。综合比较结果显示:在南京地区凤眼莲可于4月初开始放养,4月至5月分蘖,6月以后正常生长,并可按照20~25 kg·m⁻²的采收标准和2/3的采收比例进行采收。

关键词: 凤眼莲; 累计采收量; 养分吸收; 放养日期; 采收标准; 采收比例

中图分类号: Q948.8; X173; X52 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2011)02-0073-06

Study on planting and harvest conditions of *Eichhornia crassipes* for eutrophic water remediation

SHENG Jing, ZHENG Jian-chu^①, CHEN Liu-gen, ZHU Pu-ping, ZHOU Wei (Institute of Agricultural Resources and Environments, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2011, 20(2): 73-78

Abstract: In order to achieve remediation of eutrophic water, the planting and harvest conditions (including initial planting date, harvest standard and ratio) effected on high production and high efficiency of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Sloms were studied, and also, growth curve and accumulative amount of N, P and K were analyzed. The results show that in water with TN, TP and K contents of 3.41-7.18, 0.05-0.27 and 2.24-5.18 mg·L⁻¹, respectively, *E. crassipes* biomass increases rapidly due to tiller emergency and plant growth at the beginning of growth period, and the range of biomass increasing begins to decrease when the plant grows to a certain height. And the highest biomass reaches 28.28 kg·m⁻² during the whole growth process. The initial planting date has an obvious effect on growth curve and biomass, and the biomass increases gradually with delaying of the initial planting date. The biomasses of *E. crassipes* planted respectively on 10th, 17th, 24th of April and 1st, 8th of May for 63 d all increase obviously, in which, that planted on 8th May is the highest with a value of 24.36 kg·m⁻². Harvest standard and ratio have significant effects on harvest frequency, cumulative harvest and accumulative amount of N, P and K. And the cumulative harvests of *E. crassipes* harvested according to the harvest standard of 10-15, 15-20, 20-25, >25 kg·m⁻² and the highest biomass and the harvest

收稿日期: 2010-06-30

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2007BAD89B12; 2009BAC63B01)

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方面的研究。

^①通信作者 E-mail: zjc@jaas.ac.cn

ratio of 1/2 and 2/3 all are higher than that of one-time harvest (the control), and have a parabola relationship with biomass, but the harvest frequency is inversely proportional to biomass. In *E. crassipes* harvested according to different harvest standards and different harvest ratios, the content of dry matter and the contents and total amounts of N, P and K all have some differences, but these all are obviously higher than that of one-time harvest except dry matter content. Generally, according to the harvest standard of 20–25 kg · m⁻² and 2/3 harvest ratio *E. crassipes* has the highest cumulative harvest, fewer harvest frequency and the highest accumulative amount of N, P and K. The comprehensive comparison result suggests that in Nanjing, *E. crassipes* should be planted initially in early April, tillering from April to May and normally growing after June, and be harvested according to the harvest standard of 20–25 kg · m⁻² and 2/3 harvest ratio.

Key words: *Eichhornia crassipes* (Mart.) Sloms; cumulative harvest; nutrient absorption; planting date; harvest standard; harvest ratio

利用水生植物治理富营养化水体在水体治理众多措施中最为经济有效^[1-2]。凤眼莲 [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Sloms], 又名水葫芦, 是国际上公认的氮、磷吸收能力较强的水生植物之一。但是, 对于将凤眼莲用于治理富营养化水体的工程实践, 一直存在较大的争议^[3-4], 争议的焦点在于: 凤眼莲生长非常迅速且易随水漂移, 在开放性水域易发生堵塞航道、降低水体溶氧及破坏水生生态系统结构等生态风险^[5-6], 甚至在一些地区已成为恶性的外来入侵植物。近年来, 许多研究者提出了“限制面积”和“围栏种养”的控制性种养措施, 对凤眼莲种养可能引发的生态风险进行控制^[1,7], 具有较好的控制效果, 从而提高了用凤眼莲治理富营养化水体的可行性, 但这些措施在一定程度上增加了用凤眼莲治理水体的种养成本。因而, 要实现较好的净化效果, 就要求对凤眼莲进行高产高效种养, 使凤眼莲在有限面积内的产量和养分吸收量达到最大。然而相关的研究较少^[8-9], 特别是针对富营养化水体净化的凤眼莲高产高效种养方面的研究尚未见报道。

鉴于此, 作者研究了不同初始放养日期凤眼莲的生长规律, 并对不同采收标准和采收比例对凤眼莲生物量和 N、P、K 吸收量的影响进行了比较分析, 初步总结出控制性条件下凤眼莲的高产采收流程, 以为富营养化水体治理提供更为经济可行的方法。

1 材料和方法

1.1 材料

实验于 2009 年在江苏省农业科学院内的池塘中进行, 池塘面积为 40 m × 120 m, 水源来自于降雨和城市生活污水, 采用水泵调节水量, 平均水深约 3.5 m。

池塘水体总氮、总磷和钾的质量浓度分别为 3.41 ~ 7.18、0.05 ~ 0.27 和 2.24 ~ 5.18 mg · L⁻¹, 属于富营养化水体。

1.2 方法

1.2.1 初始放养日期及测定周期的设置 凤眼莲初始放养日期分别设置为 4 月 10 日、4 月 17 日、4 月 24 日、5 月 1 日、5 月 8 日和 5 月 15 日, 初始放养量为 2 kg · m⁻²; 采用毛竹围栏小区, 小区面积为 2 m², 每个处理 10 个小区; 实验期间每天测定气温。4 月 10 日、4 月 17 日、4 月 24 日和 5 月 1 日放养的 4 个处理组每隔 7 d 测定 1 次鲜质量; 5 月 8 日和 5 月 15 日放养的 2 个处理组在放养的 0 ~ 42 d 内每隔 7 d 测定 1 次, 42 d 后每隔 14 d 测定 1 次。同时, 采用 ZDR-21 型温度记录仪 (杭州泽大仪器有限公司生产) 同步测定气温, 2 h 记录 1 次温度。

1.2.2 采收标准和采收比例及取样过程的设置 凤眼莲初始放养日期设置为 5 月 12 日, 初始放养量为 2 kg · m⁻²。采收标准依据单位面积凤眼莲鲜质量共设置 5 个处理, 分别为 10 ~ 15、15 ~ 20、20 ~ 25、25 kg · m⁻² 以上及最高生物量; 根据采收面积占总面积的比值确定采收比例, 设置 2 个处理, 分别为采收面积占总面积的 1/2 和 2/3。实验于 10 月 11 日结束, 实验结束时各处理组的最后一次采收为全部采收。对照组则为一次性采收。小区面积为 2 m², 每个处理 5 个小区。测定每次采收时各处理组凤眼莲的生物量, 并计算实验期间各处理组凤眼莲的累计采收量。实验结束时从各处理组中采集一定量的凤眼莲用于干质量及 N、P 和 K 含量的测定。

1.2.3 干质量及 N、P 和 K 含量的测定 凤眼莲鲜样 (全株) 于 105 °C 烘箱内杀青 15 min 后, 在 60 °C 条件下烘干至恒质量, 称取干质量。

将上述烘干样品研磨粉碎,称取一定量的样品粉末,用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮,采用 FIAstar 500 流动注射分析仪(瑞典 FOSS 公司生产)测定 N 和 P 含量,采用 FP-640 火焰光度计(上海精密科学仪器有限公司生产)测定 K 含量。

1.3 数据计算及分析方法

风眼莲中干物质含量和某一元素(N、P、K)总量的计算公式分别为:干物质含量=(全株干质量/全株鲜质量) $\times 100\%$;某一元素总量=累计采收量 $\times 1\ 000 \times$ 干物质含量 \times 该元素的含量。

实验数据采用 SPSS 13.0 软件进行统计分析。

2 结果和分析

2.1 风眼莲生长规律

2.1.1 风眼莲生长过程 连续 2 年(2008 年至 2009 年)的观测结果表明:风眼莲的生长经历 3 个过程:首先在分布密度较低(鲜质量在 $11.5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 以下)时进行快速无性繁殖,大量发生分枝并占领生态位;分蘖一段时间后分布密度增大(鲜质量超过 $11.5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$),在分布较为拥挤时开始进行个体的营养生长,植株高度迅速增加,此时进入对数生长期;随生长的持续,营养生长逐渐减慢,当植株达到一定高度时就不再生长,部分分枝由于个体长大、空间拥挤而逐渐消亡。因此,要获得较高的风眼莲产量,必须在风眼莲进入缓慢营养生长期前(即在对数生长期)进行采收。

另外,作者还对风眼莲的最高生物量进行了多次测定,结果表明:在本实验水体养分条件下风眼莲最高生物量可达 $28.28\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,此时水上部分株高为 102 cm,根长为 20 cm。

2.1.2 风眼莲生长曲线分析 选择 2 个具有代表性的放养初始日期处理,对其生长曲线(图 1)进行研究。从图 1 可以看出:在初始放养日期为 4 月 10 日和 5 月 15 日的 2 个处理组中,随生长时间的持续,风眼莲的生物量均呈现在生长前期快速增加、生长后期增幅减缓、最后基本维持不变的趋势。但 2 个处理风眼莲生物量从快速增长期进入缓慢增长期的时间不一致。在初始放养量为 $2\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 条件下,初始放养日期为 4 月 10 日的风眼莲在放养 42 d 后开始进入缓慢生长期,此时风眼莲生物量为 $13.67\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,植株水上部分高度为 28 cm;而初始放养日期为 5 月 15

日的风眼莲则在放养 70 d 后才开始进入缓慢生长期,此时风眼莲生物量为 $26.65\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,植株水上部分高度达到 76 cm。实验结果表明:初始放养日期不同的风眼莲生长曲线有一定的差异,针对初始放养日期不同的风眼莲,根据生长曲线可以确定其相应的采收时间。

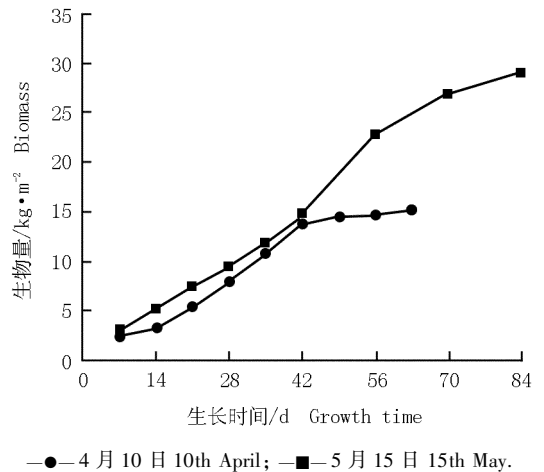


图 1 不同初始放养日期(4月10日和5月15日)风眼莲的生长曲线
Fig. 1 Growth curve of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Sloms with different initial planting dates (10th April and 15th May)

2.1.3 初始放养日期对风眼莲生物量的影响 初始放养日期对风眼莲生物量的影响见表 1。由表 1 可以看出:在初始放养量为 $2\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 条件下,初始放养日期为 4 月 10 日、4 月 17 日、4 月 24 日、5 月 1 日和 5 月 8 日的风眼莲在放养 63 d 后的总生物量分别达到 15.26、15.31、18.91、19.68 和 $24.36\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,表现出随初始放养日期的推迟而增加的趋势。其中,初始放养日期为 5 月 8 日的风眼莲总生物量显著高于其他处理组;而初始放养日期为 4 月 10 日和 4 月 17 日的风眼莲总生物量显著低于 4 月 24 日和 5 月 1 日放养的风眼莲。在整个实验处理过程中,各处理组对应的平均气温也呈现出随初始放养日期推迟而增加的趋势。相关性分析结果表明:风眼莲的生物量与生长期平均气温有极显著的正相关关系($R^2=0.84$)。

以放养后 35 d(各处理组风眼莲的分布密度均接近 $11.5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$)作为分界线,整个实验处理过程划分为 0~35 d(分蘖发生期)和 36~63 d(营养生长期)2 个阶段。在 0~35 d,各处理组风眼莲的生物量增长量可达 $8.83\sim 9.72\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,每周平均增长量为 $1.77\sim 1.94\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,不同处理间无显著差异;而在 36~63 d,各处理组风眼莲的生物量增长量表现出随

初始放养日期推迟而增加的趋势,4月10日和4月17日放养的风眼莲生物量增长量较低,5月8日放养的风眼莲生物量增长量最高(13.21 kg·m⁻²),且显著高于其他处理组。此外,相关分析结果表明:在0~35和36~63 d这2个生长阶段,风眼莲生长量的增长量与平均气温呈显著正相关, R^2 分别为0.79和

0.94。

研究表明:初始放养日期对风眼莲的生物量有明显影响,南京地区4月初即可进行风眼莲的放养,初始放养日期选择在5月上旬为最佳;与分蘖发生期相比,营养生长期风眼莲生长受初始放养时间的影响更大;气温与风眼莲的生长速率显著相关。

表1 在不同的初始放养日期和气温条件下风眼莲生物量的比较¹⁾

Table 1 Comparison of biomass of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Sloms under different initial planting dates and air temperature conditions¹⁾

初始放养日期 (MM-DD) Initial planting date (MM-DD)	0-35 d		36-63 d		0-63 d	
	平均气温/℃ Average air temperature	生物量增长量/kg·m ⁻² Biomass increment	平均气温/℃ Average air temperature	生物量增长量/kg·m ⁻² Biomass increment	平均气温/℃ Average air temperature	总生物量/kg·m ⁻² Total biomass
04-10	20.4	8.83a	22.3	4.43c	21.2	15.26c
04-17	20.9	8.99a	23.9	4.32c	22.3	15.31c
04-24	21.9	9.51a	25.3	7.40b	23.4	18.91b
05-01	22.9	9.72a	25.5	7.96b	24.1	19.68b
05-08	22.2	9.15a	28.0	13.21a	24.7	24.36a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示在0.05水平上差异显著 Different small letters in the same column indicate the significant difference at 0.05 level.

2.2 采收标准和采收比例对风眼莲采收量的影响

适时适量采收是获得风眼莲高产的根本保证,环境温度对风眼莲的生长速率有显著影响,因此,根据单位面积风眼莲的鲜质量(即生物量)来确定采收时间最为适宜。不同生长阶段风眼莲的最适采收生物量不同,考虑到生产上的可操作性,应从采收标准和采收比例两方面对风眼莲的最适采收量进行比较。表2结果表明:从初始放养日期5月12日至10月11日最终收获,在整个实验期间分别按照风眼莲生物量10~15、15~20、20~25、25 kg·m⁻²以上和最高生物量以及一次性采收(对照)为标准进行采收,并将1/2采收比例和2/3采收比例合并计算,平均累计采收量分别为60.70、63.51、66.43、53.51、43.27和27.47 kg·m⁻²,累计采收量与风眼莲生物量呈抛物线型关系。在风眼莲生物量达到20~25 kg·m⁻²时进行采收,平均累计采收量最高,为66.43 kg·m⁻²;一次性采收的平均累计采收量最低,仅为27.47 kg·m⁻²,显著低于其他处理组。由此可见,在本实验条件下,风眼莲的最佳采收标准为生物量达到20~25 kg·m⁻²时进行采收。

从采收比例来看,按照1/2和2/3采收比例进行采收,风眼莲的平均累计采收量分别为56.03和58.93 kg·m⁻²,后者略高于前者,但二者差异不显著。

采收频率决定了采收成本,在采收量相同的条件

下,采收频率越高则采收成本越高。由表2还可见:风眼莲的采收频率与采收时的生物量(即采收标准)成反比,采收时生物量大,采收频率低;但累计采收量与采收标准则呈抛物线型关系;采用2/3采收比例,不同处理组风眼莲的累计采收量均高于采用1/2采收比例后各处理组的累计采收量。按照累计采收量越高、采收频率越低的原则,较为适宜的风眼莲采收

表2 采收标准和采收比例对风眼莲采收频率及累计采收量的影响¹⁾
Table 2 Effects of different harvest standards and ratios on harvest frequency and cumulative harvest of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Sloms¹⁾

采收标准 Harvest standard	采收频率 Harvest frequency	累计采收量/kg·m ⁻² Cumulative harvest
一次性采收 One-time harvest(CK)	1	27.47
1/2 采收比例 1/2 harvest ratio		
10-15 kg·m ⁻²	9	59.59
15-20 kg·m ⁻²	7	61.22
20-25 kg·m ⁻²	5	64.86
>25 kg·m ⁻²	4	52.34
最高生物量 The highest biomass	3	42.13
2/3 采收比例 2/3 harvest ratio		
10-15 kg·m ⁻²	8	61.80
15-20 kg·m ⁻²	6	65.79
20-25 kg·m ⁻²	4	68.00
>25 kg·m ⁻²	4	54.67
最高生物量 The highest biomass	3	44.41

¹⁾ 各处理的最后一次采收均为全量采收 The last harvest of every treatment group is in all.

标准为 $20 \sim 25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 、采收比例为 $2/3$,在此条件下采收频率仅4次但累计采收量可达 $68.00 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

2.3 采收标准和采收比例对凤眼莲干物质以及 N、P、K 积累量的影响

2.3.1 对干物质及 N、P 和 K 最终含量的影响 采用不同的采收标准和采收比例对凤眼莲进行采收,凤眼莲全株干物质及 N、P、K 的最终含量见表3。由表3可以看出:采用一次性采收的方法(对照),凤眼莲全株干物质的最终含量最高,达到 7.94% ;而采取不同的采收标准及采收比例,对凤眼莲全株干物质的最终含量均有一定影响。随采收标准的提高(也即凤眼莲生物量的提高),其干物质的最终含量也逐渐增加;采用相同的采收标准,采取 $2/3$ 采收比例,则凤眼莲全株的干物质含量均略高于 $1/2$ 采收比例处理组。

由表3还可见:采用一次性采收的方法,凤眼莲全株 N、P 和 K 的最终含量均最低,分别为 1.98% 、 0.24% 和 4.45% ;而采用不同的采收标准和采收比例,凤眼莲全株 N、P 和 K 的最终含量均高于对照。采用不同的采收标准,凤眼莲全株 N、P 和 K 的最终含量有明显的差异,其中,采用 $20 \sim 25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 的采收标准,在 $1/2$ 和 $2/3$ 采收比例条件下植株中 N 和 K 的最终含量均最高,分别为 2.69% 、 6.18% 和 2.75% 、 6.22% ;采用 $25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上采收标准及 $1/2$ 和 $2/3$ 采收比例,植株中 P 的最终含量均最高,分别为 0.38% 和 0.36% 。

表3 采收标准和采收比例对凤眼莲中干物质(DM)及 N、P 和 K 含量的影响¹⁾

Table 3 Effects of different harvest standards and ratios on contents of dry matter (DM) and N, P and K in *Eichhornia crassipes* (Mart.) Sloms¹⁾

采收标准 Harvest standard	含量/% Content			
	DM	N	P	K
一次性采收 One-time harvest (CK)	7.94a	1.98	0.24	4.45
1/2 采收比例 1/2 harvest ratio				
15-20 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	5.20c	2.59	0.31	5.94
20-25 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	5.31c	2.69	0.35	6.18
>25 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	5.42c	2.33	0.38	5.76
最高生物量 The highest biomass	6.55b	2.30	0.34	5.85
2/3 采收比例 2/3 harvest ratio				
15-20 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	5.36c	2.58	0.31	5.73
20-25 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	5.54bc	2.75	0.33	6.22
>25 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	5.70b	2.31	0.36	6.01
最高生物量 The highest biomass	6.80a	2.11	0.33	5.93

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 Different small letters in the same column indicate the significant difference at 0.05 level.

2.3.2 对 N、P 和 K 总量的影响 采用不同的采收标准和采收比例对凤眼莲进行采收,单位面积凤眼莲 N、P 和 K 总量见表4。由表4可以看出:采用相同的采收标准,按 $2/3$ 采收比例进行采收,凤眼莲 N、P 和 K 总量均略高于 $1/2$ 采收比例。采取不同的采收标准,凤眼莲 N、P 和 K 总量差异较大。采用 $20 \sim 25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 采收标准,按 $1/2$ 和 $2/3$ 采收比例进行采收, N、P 和 K 总量均最高,分别为 92.44 、 12.05 、 212.71 和 103.61 、 12.24 、 $234.09 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$;采用其他3个采收标准, N、P 和 K 总量均低于 $20 \sim 25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 采收标准但高于一次性采收(对照)处理。采用一次性采收方法, N、P 和 K 总量均最低,分别为 43.27 、 5.31 和 $97.16 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,仅为采收标准 $20 \sim 25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $2/3$ 采收比例处理组 N、P 和 K 总量的 41.76% 、 43.38% 和 41.51% 。由此可见,采用 $20 \sim 25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 采收标准和 $2/3$ 采收比例,单位面积凤眼莲中 N、P 和 K 总量最高,表明这种采收方式可使凤眼莲对水体中 N、P 和 K 的吸收达到较好的效果。

表4 采收标准和采收比例对凤眼莲 N、P 和 K 总量的影响
Table 4 Effects of different harvest standards and ratios on total amounts of N, P and K in *Eichhornia crassipes* (Mart.) Sloms

采收标准 Harvest standard	总量/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ Total amount		
	N	P	K
一次性采收 One-time harvest (CK)	43.27	5.31	97.16
1/2 采收比例 1/2 harvest ratio			
15-20 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	82.61	9.73	189.18
20-25 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	92.44	12.05	212.71
>25 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	66.03	10.83	163.54
最高生物量 The highest biomass	63.58	9.46	161.33
2/3 采收比例 2/3 harvest ratio			
15-20 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	90.81	11.10	201.89
20-25 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	103.61	12.24	234.09
>25 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	71.85	11.12	187.19
最高生物量 The highest biomass	63.71	9.82	178.84

3 讨论和结论

目前,关于凤眼莲种养技术方面的研究较少。刘大圣等^[8]的研究结果表明:凤眼莲可在气温上升到 $13 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上、越冬种株发出新叶时开始放养;在放养后 $1 \sim 2$ 个月植株生长繁殖茂盛时可开始采收,采收量为全部植株数量的 $1/4 \sim 1/3$;夏季每隔 $5 \sim 7 \text{ d}$ 即可采收1次。卢隆杰等^[9]的研究也得出了类似的结果。

但这些研究均是以获取饲料为目的种养凤眼莲,其目的也是能使凤眼莲在小面积范围内持续产出,而针对大面积水体净化的凤眼莲种养则是以节省劳动力及氮、磷吸收量最大化为目标。为此,针对水体净化,有必要开展凤眼莲生长规律以及基于水体修复的高产种养技术的研究。

实验结果表明:凤眼莲在生长前期由于产生分蘖和植株个体生长,生物量快速增加;当植株生长至一定高度,生物量增速减缓,最后基本保持不变。初始放养日期对凤眼莲的生长动态和生长速率有明显影响,而这种影响效应主要出现在营养生长阶段,对分蘖发生期的影响相对较小。温度是影响凤眼莲生长速率的重要因素之一,在4月份至5月份平均气温达20℃以上的条件下,凤眼莲能迅速产生分蘖;而5月中旬至6月中旬气温虽有所升高,但对凤眼莲的生长而言仍未达到最佳,因而凤眼莲植株高度生长受到限制;6月中旬以后气温较高,达28℃以上,凤眼莲个体生长迅速,植株高度进一步增加;此外,作者也在3月下旬进行了凤眼莲的放养实验,但由于放养初期温度较低,出现了凤眼莲死亡的现象,致使凤眼莲生物量降低(另文报道)。因此,根据本研究结果,建议在进行凤眼莲种养时,应在4月份至5月份进行放养,并将凤眼莲的正常生长调节至6月以后,这将更有利于实现凤眼莲的高产增效。

及时采收是凤眼莲高产的根本保证,要获得较高的产量,必须在凤眼莲进入缓慢营养生长期前进行采收。作者对生产上可操作的适合于全年的凤眼莲最佳采收标准和采收比例进行研究,结果表明:在水体中总氮含量 $3.41 \sim 7.18 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、总磷含量 $0.05 \sim 0.27 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和钾含量 $2.24 \sim 5.18 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的条件下,采用 $20 \sim 25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 的采收标准和2/3的采收比例,凤眼莲的累计采收量最高、采收次数较少,对N、P

和K积累量最大,植株中N、P和K的总量分别达到 103.61 、 12.24 和 $234.09 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。采取这一采收方法,可实现凤眼莲的全年高产和高效吸收水体中N、P和K的双重目标。

本实验是在面积较小的池塘内进行的,其结果适用于风浪较小和水面相对静止的水体(如河道和池塘等)中凤眼莲的种养。而在开放性水域,凤眼莲的生长会受到风浪的影响,因此,其种养技术有待于进一步的研究。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Yi Q T, Hur C Y, Kim Y C. Modeling nitrogen removal in water hyacinth ponds receiving effluent from waste stabilization ponds[J]. Ecological Engineering, 2009, 35(1): 75-84.
- [3] Polprasert C, Kongsricharoern N, Kanjanaprapin W. Production of feed and fertilizer from water hyacinth plants in the tropics[J]. Waste Management and Research, 1994, 12(1): 3-11.
- [4] Opande G O, Onyango J C, Wagai S O. Lake victoria; the water hyacinth [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms], its socio-economic effects, control measures and resurgence in the Winam gulf[J]. Limnologia-Ecology and Management of Inland Waters, 2004, 34(1/2): 105-109.
- [5] 陈彬.流域水葫芦控制与利用生态工程研究[D].上海:同济大学环境科学与工程学院,2007:58-69.
- [6] Malik A. Environmental challenge vis a vis opportunity: the case of water hyacinth[J]. Environment International, 2007, 33(1): 122-138.
- [7] 窦鸿身,濮培民,张圣照,等.太湖开阔水域凤眼莲的放养实验[J].植物资源与环境,1995,4(1):54-60.
- [8] 刘大圣,陈舒启,王祥军,等.水葫芦高产栽培技术[J].耕作与栽培,1994(2):60-61.
- [9] 卢隆杰,苏浓,岳森.低投入、高产、多用途的凤眼莲[J].中国畜牧杂志,2004,40(8):60-61.

(责任编辑:张明霞)