

王子臣, 朱普平, 盛 婧, 等. 水葫芦的生物学特征[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(3): 531-536.

水葫芦的生物学特征

王子臣, 朱普平, 盛 婧, 郑建初
(江苏省农业科学院, 江苏 南京 210014)

摘要: 长期观测水葫芦的生长情况, 以探明水葫芦的生物学特征。结果表明, 水葫芦在适宜条件下属无限生长型, 每生长 1 张叶片平均需要有效积温 52.0 °C, 在有效积温达 544.4 °C 时叶片衰老死亡; 单株水葫芦的分株生长与叶龄存在 $n-3$ 的同伸关系, 群体分株生长随有效积温的增加呈多项式曲线型增长; 水葫芦从幼苗至第 1 次开花需要至少 13 张叶片的基本营养生长期, 营养生长低于 13 张叶片时水葫芦不开花, 花后植株在经过一段时间营养生长后, 条件适宜时会再次开花。

关键词: 水葫芦; 生物学特征; 有效积温; 分株; 出叶速度

中图分类号: S184 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2011)03-0531-06

Biological characteristics of water hyacinth

WANG Zi-chen, ZHU Pu-ping, SHENG Jing, ZHENG Jian-chu
(*Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China*)

Abstract: The biological characteristics of water hyacinth were studied through long-term observation. Water hyacinth kept growing indeterminately in suitable conditions. The growth of each leaf needed an average effective accumulated temperature of 52.0 °C, and the consenscence, 544.4 °C. The tillering of individual plant displayed an $n-3$ stretch relationship with the leaf age of water hyacinth, while the tillering of the population showed a polynomial curve type growth with the increase of effective accumulated temperatures. A vegetative growth stage of 13 leaves was crucial for the flowering of water hyacinth from seedling. Under the appropriate growth conditions, the blossomed plant will flower again after a period of vegetative growth.

Key words: water hyacinth; biological characteristic; effective accumulated temperature; tiller; leaf growth rate

水葫芦(Water hyacinth)学名凤眼莲[*Eichhornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach], 又称凤眼兰、洋水仙、水凤仙、水荷花、水凤信子、布袋莲等, 属雨久花科、凤眼莲属, 原产南美洲热带、亚热带地区的巴西及委内瑞拉等国家^[1-6], 性喜温暖, 生长繁殖快, 是一种多年生浮水草本植物, 生长于河流、湖泊、池塘、水库等水流缓慢的水域。国内外研究已表明水

葫芦对氮、磷、钾、钙等多种无机元素有较强的富集作用, 是治理水体污染较好的水生植物^[7-10]。而对水葫芦具体生物学特征的研究则报道甚少^[11]。本研究通过长期定株定期观察并测定相关环境因素, 试图探明水葫芦的生长发育规律, 为进一步实现水葫芦的有效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2010 年 6 月至 10 月在江苏省农业科学院太湖水污染治理中试基地附近的雅浦港河道内进行, 平均水深 1.5 m, 水体总氮、总磷浓度分别为 4.668 mg/L、0.219 mg/L, 属富营养化水体。选取 2

收稿日期: 2010-12-20

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BAC63B01)

作者简介: 王子臣(1986-), 男, 安徽亳州人, 硕士研究生, 主要从事农业生态和作物栽培研究。(E-mail) wzc20101@sina.com

通讯作者: 郑建初, (Tel) 025-84390006; (E-mail) zjc@jaas.ac.cn

叶1心的水葫芦新生植株(连带母本)和刚开花的水葫芦植株(去除所有分株)作为试验材料,分别放养在1 m × 2 m、2 m × 2 m的小竹筐内。

1.2 试验设计

将2叶1心的水葫芦新生植株(连带母本,确保水葫芦幼苗的成活)放入固定在水面上的不同面积竹筐内让其自然生长,达4叶时去除连带的母本,用于观察分株生长和叶片生长。取刚开花的水葫芦植株(去除所有分株)和与刚开花植株大小一致但未开花的植株同时放养在水面的竹筐内,用于观察花后叶片的生长及分株生长。

1.3 调查内容与方法

1.3.1 水葫芦叶片生长的测定 每天记录幼苗叶片的生长情况,在植株第4片叶上用记号笔圈定位置以方便定期采用便携式叶绿素计 SPAD-502 测定叶片 SPAD 值。

1.3.2 水葫芦分株生长的测定 每天记录单株幼苗的分株情况;每隔1 d记录群体所繁殖的所有分株数量。

1.3.3 实际温度的测定 将 ZDR-11 温度记录仪绑定在竹筐上方,取其24 h的记录数据计算日平均气温。根据水葫芦生物学繁殖温度 13~40 °C^[12]来计算有效积温(K),按 $K=(t-t_0)y$ 计算,其中 t_0 为生物学零度,定为 13 °C; t 为日均温; y 为叶片生长所

需的天数。

1.4 数据处理与统计分析

试验数据采用 EXCEL 软件处理,应用 SPSS 13.0 软件的 Duncan's 法进行统计分析。

2 结果

2.1 水葫芦叶片的生长特点

结果表明水葫芦在适宜温度、光照、水体营养、密度条件下属无限生长型。在水葫芦生长前期,每长出1叶平均所需有效积温为 37.0 °C 左右,即在日均气温 28.0 °C (日均有效积温 15.0 °C) 的条件下需要 2~3 d。随着叶龄的增加,每长出1片新叶所需有效积温会呈现升高的趋势;从 3~14 片叶的发育情况可知,平均每生长1片叶需要 3.2 d (累积有效积温 52.0 °C) (表1、表2)。

单张叶片的最长寿命在 34 d 左右,叶片生命周期内累积有效积温达 544.4 °C,而自然条件下由于病虫害及逆境影响多数叶片未达到该积温就已经死亡并逐渐脱落。水葫芦第4片叶整个生命周期内的叶绿素含量(SPAD 值)随有效积温的增加呈先升高后降低的趋势,当有效积温达到 544.4 °C (历时 34 d) 左右时叶片便自然衰老死亡,叶片的 SPAD 值降至最低(图1)。

表1 水葫芦出叶所需时间

Table 1 Time needed for the emergence of each individual leaf of water hyacinth plant

叶序	植株号						平均
	1	2	3	4	5	6	
	时间 (d)						
3	2.5	3.0	2.0	2.5	2.0	3.0	2.5
4	2.5	2.0	2.0	2.0	3.5	2.5	2.4
5	4.0	4.0	4.0	2.0	4.5	2.5	3.5
6	4.0	4.0	4.0	4.0	3.0	4.0	3.8
7	2.0	2.0	2.0	4.0	3.0	4.0	2.8
8	4.0	4.0	4.0	4.0	3.0	2.0	3.5
9	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	3.3
10	4.0	4.0	2.0	2.0	3.5	3.0	3.1
11	3.0	3.0	4.5	4.0	3.5	4.0	3.7
12	3.0	2.5	2.5	3.0	2.5	3.5	2.8
13	4.0	3.5	3.0	5.0	2.5	3.5	3.6
平均	3.3	3.2	3.0	3.2	3.2	3.3	3.2

表2 水葫芦出叶所需有效积温

Table 2 Effective accumulated temperatures needed for the emergence of water hyacinth leaf

叶序	植株号						平均
	1	2	3	4	5	6	
	有效积温 (°C)						
3	36.9	44.5	29.0	41.1	29.0	45.6	37.7
4	38.8	31.3	31.3	29.0	54.3	39.2	37.3
5	54.2	54.2	54.2	31.3	57.1	37.8	48.2
6	52.0	52.0	52.0	54.2	42.2	49.6	50.3
7	34.4	34.4	34.4	52.0	52.4	60.4	44.7
8	68.5	68.5	68.5	68.6	51.6	34.2	60.0
9	50.8	50.8	50.8	51.6	65.0	68.5	56.3
10	66.0	66.0	31.6	33.5	60.9	48.1	51.0
11	55.9	55.9	80.3	66.0	70.7	70.3	66.5
12	60.7	51.0	40.9	55.9	46.9	71.0	54.4
13	71.2	63.3	57.3	96.5	43.6	63.3	65.9
平均	53.6	52.0	48.2	52.7	52.2	53.5	52.0

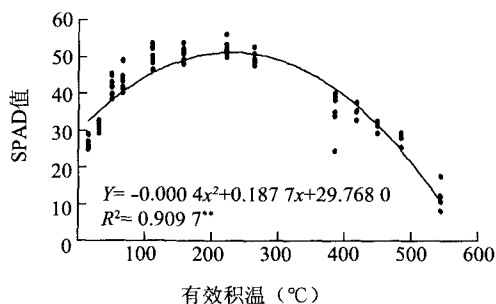


图1 水葫芦第4片叶整个生育期 SPAD 值的变化情况

Fig. 1 Changes of the fourth leaf SPAD during the whole growth stage

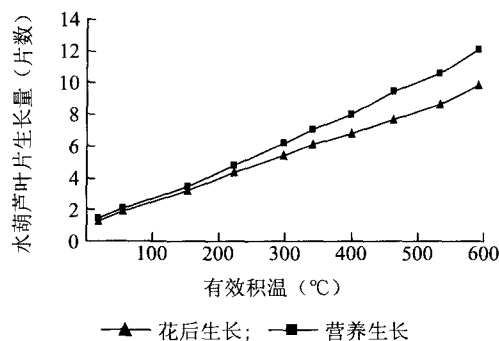


图2 开花对水葫芦叶片生长的影响

Fig. 2 Effects of blossom on the growth of water hyacinth leaf

水葫芦植株开花会明显延缓花后叶片的生长。图2显示:在有效积温达 54.7 °C 时(放养 3 d),处于营养生长阶段的植株长出 2.06 张叶片,而花后植株仅生长了 1.87 张叶片,两者相差 0.19 个叶龄;当有效积温达 341.0 °C 时(放养 19 d),营养生长期的植株长出 7.04 张叶片,而花后植株只长出 6.09 张叶片,两者差 0.95 个叶龄;当有效积温达 532.0 °C 时(放养 31 d),两者差了 1.97 个叶龄。

2.2 水葫芦分株生长特点

水葫芦单株在生长空间不受约束的条件下分株生长与叶龄存在 $n-3$ 的同伸关系,随着水葫芦生长密度的增大,分株生长会逐渐减缓,直至不发生新分株。

由表3可以看出:主株叶龄为 8 叶时,植株第 5 叶位均已经有新的分株产生,当天 3 号植株的第 5 叶位产生的分株叶龄已达 2.3;6 号植株的第 1 叶位分株(5.9 叶龄)的两个二级分株(3.7 叶龄和 3.0 叶龄)也已经有了新的分株,叶龄分别为 1.0 和 0.2。

观测数据显示:1 个由母本附带 1 株 2 叶 1 心分株的水葫芦构成的小群体,在初期密度小的一段时间内分株生长呈指数型增长,随密度增大群体分株生长逐渐缓慢,总体呈多项式曲线型增长。在 6 d(有效积温 92.0 °C)后植株数量平均达到 9 株,在 12 d(有效积温 172.0 °C)后植株数量平均达到 19.7 株,而 30 d(有效积温 474.0 °C)后,则达到 215 株(图 3、图 4)。

表 3 单株水葫芦 8 叶期时分株生长与叶龄的对应关系

Table 3 Relationship between tillering of individual plant and leaf age of water hyacinth at 8-leaf stage

植株号	叶龄	新增分株的叶龄												
		第 1 叶 (不完全叶)			第 2 叶			第 3 叶		第 4 叶		第 5 叶	第 6 叶	第 7 叶
1	8.0	4.2			4.6			4.3	3.4	0.2	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	1.1	1.0	0.9	0	0	0	0	0
2	8.0	0			3.9			4.0	3.1	1.2	0.7	0	0	
		0	0	1.0	0	0	1.2	1.0	1.0	0	0	0	0	0
3	8.2	0			5.0			4.9	4.2	2.3	0	0	0	
		0	0	3.2	1.2	0.3	2.5	2.7	2.2	0	0	0	0	
		0	0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	7.9	5.0			5.0			4.7	3.6	2.0	0	0	0	
		0	0	4.0	1.5	0	2.3	1.0	0.6	0	0	0	0	
5	8.1	4.0			5.0			4.7	4.0	1.7	0	0	0	
		0	0	3.0	1.7	0	2.0	1.5	1.4	0.2	0	0	0	
6	8.1	5.9			5.3			4.7	3.9	1.0	0.2	0	0	
		3.7	3.0	3.3	2.0	0	2.2	1.1	1.0	0	0	0	0	
		1.0	0.2	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

表中 0 表示该叶位或者该分株暂时没有新生分株。

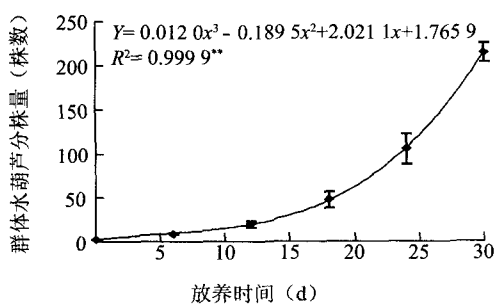


图 3 群体水葫芦分株量与放养时间的关系
Fig.3 Relationship between the tillering of hyacinth population and duration of culturing

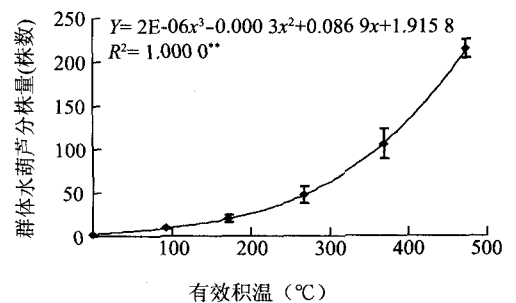


图 4 群体水葫芦分株量与有效积温的关系
Fig.4 Relationship between the tillering of hyacinth population and effective accumulated temperature

2.3 水葫芦的开花特点

水葫芦从幼苗至第 1 次开花需要一个基本营养生长期。在自然条件下,水葫芦营养生长在不足 13 张叶片时不会开花,营养生长达到 13 张叶片以后在遇连续 5 d 日均温度达到 31 °C 以上的情况下将会

生长出 1 张变态小叶,变态小叶即花序轴的包叶,其伸长后便会开花;花后植株在接下来的生长过程中遇到连续 5 d 日均温度达到 31 °C 以上时便会再次开花,但两次开花之间也需要一个营养生长阶段(表 4)。

表4 高温天气下水葫芦的开花特点

Table 4 Hyacinth blossom at high temperature

植株状态	植株号	测定项目	日均气温 31 ℃ 以上日期 (月-日)		
			07-31 ~ 08-05	08-10 ~ 08-15	08-20 ~ 08-24
2 叶 1 心	1	叶龄	11.0 ~ 12.9	14.0 ~ 15.0	16.2 ~ 17.2
		开花叶序	×	4 叶	×
	2	叶龄	11.1 ~ 13.2	15.0 ~ 17.0	18.2 ~ 19.8
		开花叶序	×	×	20 叶
	3	叶龄	11.3 ~ 13.2	15.4 ~ 17.1	18.4 ~ 20.0
		开花叶序	×	15 叶	×
	4	叶龄	12.0 ~ 13.0	15.1 ~ 16.9	18.0 ~ 19.7
		开花叶序	×	×	19 叶
	5	叶龄	10.7 ~ 12.5	14.0 ~ 16.2	17.5 ~ 19.0
		开花叶序	×	15 叶	×
	6	叶龄	11.9 ~ 13.9	15.0 ~ 17.4	18.8 ~ 20.0
		开花叶序	×	16 叶	×
花后	1	花后叶龄	9.0 ~ 10.9	12.0 ~ 14.0	15.2 ~ 16.2
		开花叶序	×	13 叶	×
	2	花后叶龄	9.3 ~ 11.2	12.8 ~ 14.8	16.0 ~ 17.5
		开花叶序	×	×	17 叶

×表示未开花。

3 讨论

观测结果表明水葫芦生长属无限生长型,即在适宜的环境条件下水葫芦会一直出叶生长,并产生分株。实际自然条件下,水葫芦叶片的生长速度随叶龄的增加而变缓,每生长 1 张叶片所需有效积温也会逐步增多。原因在于水葫芦生长前期生长空间大,植株密度小,生长没有被限制。随着叶龄的增加,植株密度变大,水葫芦的生长受到自身生物之间的抑制,生长变缓慢。开花对水葫芦的生长有影响,是因为生殖生长消耗了叶片的部分光合产物。观测数据显示水葫芦叶片自然死亡时寿命最长为 34 d (有效积温 544.4 ℃),而大多数叶片则由于病虫害、高温等原因会出现病斑叶腐、青枯等不正常死亡。

水葫芦的生命力旺盛,繁殖力极强。有研究者认为在适宜的条件下水葫芦长势凶猛,植株数量可在 5 d 内增加 1 倍,形成盖度为 100 % 的单优群落,初始放养量的干重为 0.06 kg/m²,7 d 生物量就会增长至 0.14 kg/m²,14 d 时达到 0.29 kg/m²,42 d 时则可达 1.22 kg/m²^[13]。也有人认为水葫芦扩展蔓延速度极

快,可呈几何数量级增长,每株分出多枝匍匐茎,茎端又可分出新植株,只要条件允许,单株水葫芦 1 年内可以产生 1.4×10⁸ 颗分株,可以铺满 140 hm² 水面,鲜重可达 2 800 t^[14]。本研究得出在生长空间不受限制的条件下单株水葫芦分株与叶龄呈 $n-3$ 的关系,照此推算群体分株生长将成指数型增长,而实际群体分株生长与有效积温是呈多项式型增长,原因是群体中每个单株的生长之间相互有影响。

水葫芦的繁殖有无性繁殖和有性繁殖两种方式。无性繁殖又叫分株繁殖,主要靠叶腋抽生匍匐枝,在匍匐枝的顶端长出新株,新株经一段时间生长后又可长出新株,依次不断繁殖,生长很快。有性繁殖又叫种子繁殖,水葫芦营养体生长到一定时期就开花结籽,种子在适宜条件下萌发产生新株^[12]。本研究结果表明,在自然条件下,水葫芦营养生长少于 13 张叶片时不会开花,营养生长达 13 张叶片以后遇到连续 5 d 日均温度在 31 ℃ 以上的情况下将会生长出 1 张变态小叶,变态小叶即花序轴的包叶,花序轴伸长后便开花。开花后的植株在接下来的生长过程中再遇到连续 5 d 日均温度达到 31 ℃ 以上时

便会再次开花,但两次开花之间也需要一个营养生长阶段。这与生殖生长建立在营养生长基础上的理论相一致。

参考文献:

- [1] HOWARD G W, HARLEY K L S. How do floating aquatic weeds affect wetland conservation and development? How can these effects be minimized? [J]. *Wetlands Ecology and Management*, 1998, 5: 215-225.
- [2] 张 璐, 郝民杰, 高红莉, 等. 添加水葫芦对牛粪厌氧产沼气的影晌[J]. *江苏农业科学*, 2011(1): 449-451.
- [3] 杜 静, 常志州, 黄红英, 等. 水葫芦脱水工艺参数优化研究[J]. *江苏农业科学*, 2010(2): 267-269.
- [4] 沈明星, 刘凤军, 施林林, 等. 水葫芦沼液肥对菜薹产量和品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2009(4): 168-169.
- [5] 范 铮, 徐 俊, 郑晓峰, 等. 水葫芦提取物抑菌作用的初步研究[J]. *江苏农业科学*, 2009(3): 143-144.
- [6] 刘海琴, 宋 伟, 姜继辉, 等. 控温和添加垃圾液对水葫芦发酵效果影响的研究[J]. *江苏农业科学*, 2009(3): 374-376.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 张志勇, 郑建初, 刘海琴, 等. 不同水力负荷下凤眼莲对富营养化水体氮磷去除的表观贡献[J]. *江苏农业学报*, 2011, 27(2): 288-294.
- [10] 张志勇, 刘海琴, 严少华, 等. 水葫芦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.
- [11] 胡 彬. 凤眼莲的形态指标及其与若干生态因子关系的研究[D]. 重庆: 西南大学资源与环境学院, 2008.
- [12] 焦 彬. 中国绿肥[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 593-594.
- [13] 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.
- [14] JAMIL K, MADHAVENDRA S S, JAMIL M Z. Studies on water hyacinth as a biological filter for treating contaminants from agriculture wastes and industrial effluents [J]. *Environmental Science and Health*, 1987, 22(1): 103-112.