

张迎颖, 吴富勤, 张志勇, 等. 凤眼莲有性繁殖与种子结构及其活力研究[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(1): 135-138

凤眼莲有性繁殖与种子结构及其活力研究

张迎颖¹, 吴富勤², 张志勇¹, 刘海琴¹, 王亚雷¹, 王智¹, 张君倩¹, 申仕康², 严少华^{1*}

(1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014; 2. 云南大学生命科学学院, 云南 昆明 650091)

摘要:为了探讨凤眼莲(*Eichhornia crassipes*)种子扩散潜在的生态风险,开展了滇池大水面凤眼莲有性繁殖和种子结构及其活力的研究。结果表明:滇池外海白山湾水域凤眼莲克隆繁殖能力较弱,大面积开花可进行有性繁殖,但结实率极低,约为5%~10%。凤眼莲种子极其微小,千粒质量仅为(0.429±0.009)g。肉眼观察其表观性状,成熟的种子呈黄褐色,状似枣核;以扫描电镜观察其种胚结构,为单胚种子,状如骨头,外包胚乳和种皮。87%~95%的饱满种子具有生活力。

关键词:凤眼莲;有性繁殖;种子结构;种子活力;生态风险

中图分类号:X173

文献标志码:A

文章编号:1000-2030(2012)01-0135-04

Research on sexual reproduction, seed structure and its vigor of *Eichhornia crassipes*

ZHANG Ying-ying¹, WU Fu-qin², ZHANG Zhi-yong¹, LIU Hai-qin¹, WANG Ya-lei¹,
WANG Zhi¹, ZHANG Jun-qian¹, SHEN Shi-kang², YAN Shao-hua^{1*}

(1. Institute of Agricultural Resources and Environmental Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. College of Life Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: Sexual reproduction, seed structure and its vigor of *Eichhornia crassipes* in Dianchi Lake were investigated in order to determine whether its seeds dispersion would initiate ecological risk. The results showed that *E. crassipes* preferred sexual reproduction by blossom with the ability of clonal propagation decreasing in Waihai Baishan Bay waters of Dianchi Lake, but the seed setting rate was very low, about 5%–10%. The seeds of *E. crassipes* were extremely small and the thousand seed weight was only (0.429±0.009) g. Observed with an unaided eye, the ripe seeds were of yellowish-brown color and shaped like common jujube seeds. Observed with scanning electric microscope (SEM), single embryo was shaped like bone which was surrounded by endosperm and spermoderm. Test results of seed vigor showed that 87%–95% of full seeds had a viability.

Key words: *Eichhornia crassipes*; sexual reproduction; seed structure; seed vigor; ecological risk

凤眼莲等漂浮植物生态修复技术是现阶段治理水体氮磷污染最有效的途径之一^[1-2],已广泛应用于太湖、滇池等富营养化水体中。目前规模化控养凤眼莲仍然存在争议,其原因在于凤眼莲克隆繁殖速度极快,过度疯长后会降低水体溶解氧,破坏生物多样性,影响人类生产生活^[3-4],采用抗风浪防逃逸控养设施可有效解决这些弊端。凤眼莲可通过开花结实的方式进行有性繁殖,其种子极其微小,容易随水流扩散,有研究者认为在河水干涸的条件下,种子存活力仍可保持15~20年^[5],在环境适宜时将萌发形成新植株并迅速克隆繁殖从而引发生态风险。本研究对凤眼莲繁殖方式进行野外调查与试验,探讨自然水域条件下凤眼莲有性繁殖水平低下的原因,观测种子的表观性状和种胚结构,开展种子活力检测试验,为防范生态风险奠定了理论和实践基础。

1 材料与方法

1.1 野外调查与生长试验

以云南省滇池草海水域(210.33 hm²)自然生长的凤眼莲和滇池外海白山湾水域(66.67 hm²)人工控养的凤眼莲为试验对象,观察大水域高密度凤眼莲繁殖方式的异同。在凤眼莲大面积开花时,随机选取60株带回实验室,记录花序数、蒴果数及种子数,并计算结实率。

收稿日期:2011-05-11

基金项目:国家科技支撑计划项目(2009BAC63B01);云南省社会发展专项(2009CA034)

作者简介:张迎颖,博士,助理研究员,主要从事富营养化水体水生植物修复方面的研究, E-mail: fly8006@163.com。*通讯作者:严少华,研究员,研究方向为水污染治理, E-mail: shyan@jaas.ac.cn。

在草海与外海白山湾均设置控养围栏,每个围栏由15个2 m×1 m的小隔栏组成,每个小隔栏内凤眼莲的初始放养量为3 kg·m⁻²。每隔2周监测凤眼莲的生物累积量,计算生物量增长速率和全年生物累积量。同时采集8次水样监测水质:草海种养区 pH 7.74、溶解率(DO) 4.40 mg·L⁻¹、总氮(TN) 6.38 mg·L⁻¹、总磷(TP) 0.639 mg·L⁻¹,为劣V类水,重度富营养化;外海白山湾种养区 pH 8.43、DO 3.70 mg·L⁻¹、TN 2.35 mg·L⁻¹、TP 0.234 mg·L⁻¹,为V类水,轻度富营养化。

1.2 凤眼莲人工授粉试验

将滇池外海白山湾水域已成花的凤眼莲及原水运回实验室,将凤眼莲放养在原水中,待其陆续开花后进行人工授粉。异花授粉时间选在天气晴朗日9:00—10:00。记录成功授粉的凤眼莲花序数、蒴果数及种子数,并计算结实率。

1.3 种子形态与种胚结构观测

2010年10月于滇池外海白山湾水域采集少量种子,自然风干后贮藏备用。随机选取100粒饱满种子,观察其形状、颜色等特征,并用最小刻度为0.02 mm的游标卡尺测定100粒种子的长度和宽度。另取100粒饱满种子,用万分之一的电子天平称其质量,重复10次。

选取黄褐色和黄绿色凤眼莲种子,经0.1 mol·L⁻¹ pH 7.0磷酸缓冲液(PBS)清洗;4%戊二醛溶液固定2 h, PBS清洗2次;2%锇酸溶液固定至种子发黑, PBS清洗3次;乙醇梯度脱水,醋酸异戊酯置换后,采用英国EMITECH K850临界点干燥仪干燥,在显微镜下切开种子,粘台后,以日本HITACHI E-1010离子溅射仪喷镀,制成种子表面、横截面和纵切面样品,利用荷兰FEI Quanta 200环境扫描电镜观察并成像^[6]。

1.4 种子活力检测

种子活力检测选用四唑法^[7]。试验设4种处理:常温(试验时室内温度18℃)浸种常温染色、常温浸种40℃染色、40℃浸种常温染色、40℃浸种40℃染色。染色结束后清水冲洗置于体式显微镜下观察。

2 结果与分析

2.1 凤眼莲的繁殖方式

在滇池草海水域,凤眼莲在其生命周期内未出现开花现象,繁殖方式以克隆繁殖(无性繁殖)为主,其分蘖速度极快,全年累积生物量约为85.37 kg·m⁻²;而在滇池外海白山湾水域,凤眼莲的分蘖较少,克隆繁殖能力相对较弱,全年累积生物量约为27.00 kg·m⁻²,远远低于草海水域。但是,滇池外海白山湾水域的凤眼莲在5月份气温较低的时候出现过少量开花,在9月底至10月初呈现大面积开花现象。在开花末期,花柄弯曲扎入水中,使得整个花序淹没于水体,其形成的蒴果约5%~10%内含乳白色、黄绿色或黄褐色种子,其余无籽或由于浸水时间过长呈深褐色腐烂状。

2.2 凤眼莲的有性繁殖

人工授粉试验中,成功授粉的凤眼莲有8株,8个花序,21个蒴果,每个蒴果均结有种子,合计种子数为3 318颗,平均每室种子数为158颗,即人工授粉条件下凤眼莲的结实率较高,达到100%;而在滇池外海白山湾水域采集的凤眼莲为60株,60个花序,551个蒴果,有种子的蒴果仅为30个,合计种子数为1 890颗,平均每室种子数为63颗,即在野外自然条件下凤眼莲的结实率极低,仅为5.44%。

2.3 凤眼莲种子结构观察

如图1所示,凤眼莲蒴果为卵形,呈褐色,种子数较多。凤眼莲种子极其微小,未成熟种子为黄绿色,成熟种子为黄褐色;千粒质量约为(0.429±0.009) g,长1.40~1.94 mm,宽0.70~0.90 mm;形状为枣核

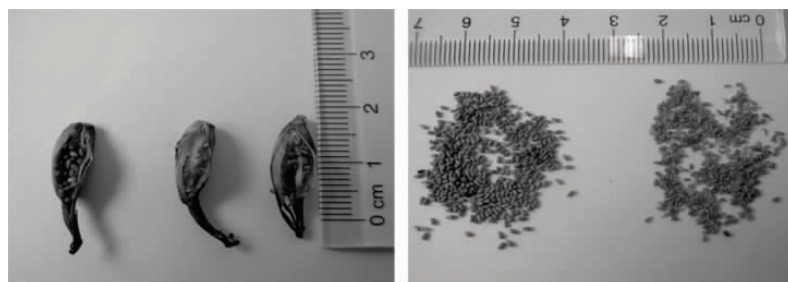


图1 凤眼莲的蒴果与种子

Fig. 1 Capsule and seeds of *Eichhornia crassipes*

状,一端小而尖,另一端大而圆。

如图 2 所示,初步判定种子尖端部分为种脐,海绵状突起为种阜,缝隙处应为种孔;种子圆端有一凹槽,种皮上均匀分布有 10 多条种棱;种皮上有多处裂缝,可能是表面失水或机械损伤所致。如图 3 所示,种子自内而外依次为种胚、胚乳和种皮,成熟种子胚乳与种胚明显分离,未成熟种子两者之间有丝状连接物;种子为单胚种子,种胚状似骨头,胚体内部切面呈玉米颗粒状。根据种子内部结构判断,在滇池外海白山湾水域采集的凤眼莲种子发育完全,具备发芽的可能性。

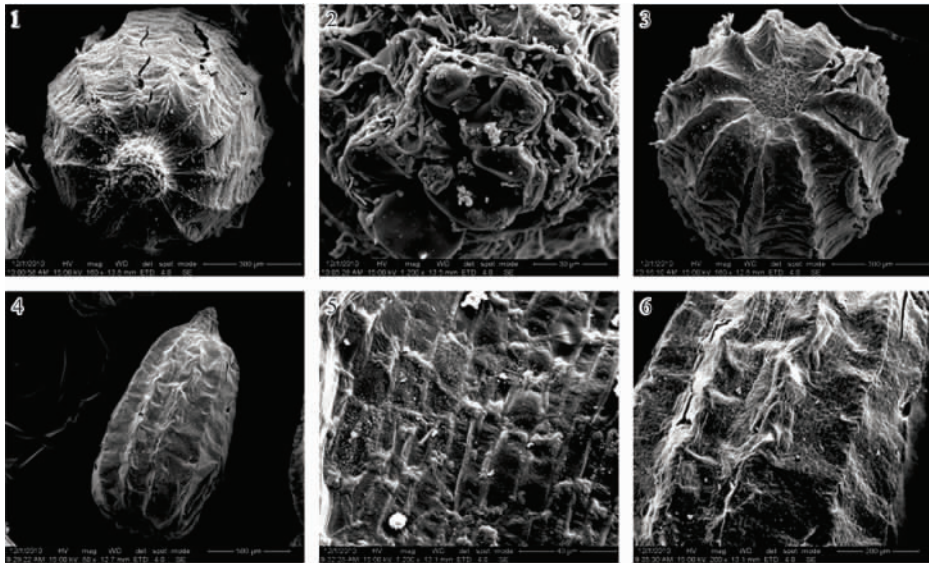


图 2 凤眼莲种子的表观性状

Fig. 2 Apparent characters of *E. crassipes* seeds

1. 种子尖端(×160) Tip of seed; 2. 种脐、种阜和种孔(×1 200) Hilum, caruncle and micropyle; 3. 种子圆端及种棱(×160) Rounded end of seed and sticking out aris on seed coat; 4. 种子外观(×80) Appearance of seed; 5. 种皮纹理(×1 200) Texture of seed coat; 6. 种棱(×200) Sticking out aris on seed coat

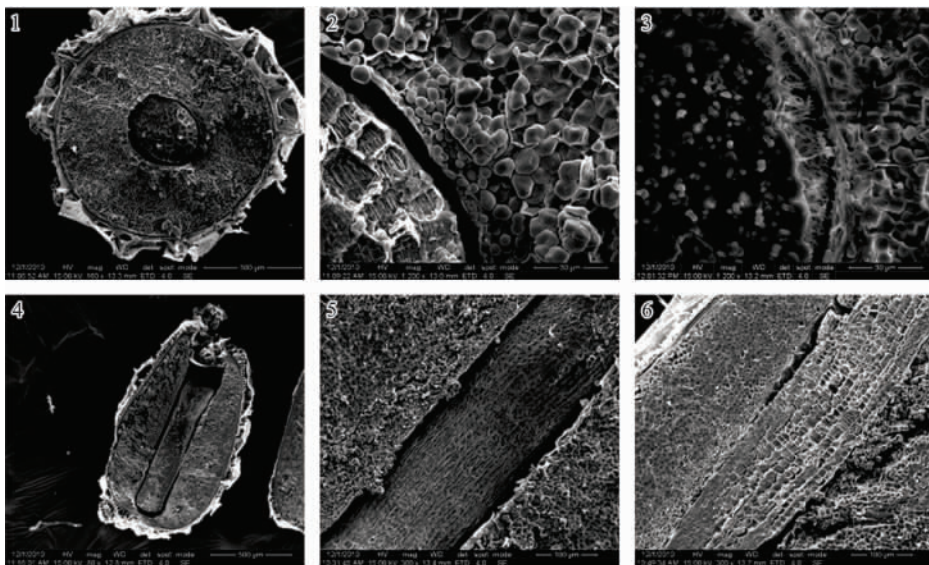


图 3 凤眼莲种子的内部结构

Fig. 3 Internal structure of *E. crassipes* seeds

1. 种子横截面全图(×160) Total graph of cross section of seed; 2. 成熟种子横截面(×1 200) Part graph of cross section of mature seed; 3. 未成熟种子横截面(×1 200) Part graph of cross section of immature seed; 4. 种子纵切面全图(×80) Total graph of longitudinal section of seed; 5. 种胚表面纹理(×300) Surface texture of embryo; 6. 种胚内部纹理(×300) Internal texture of embryo

2.4 凤眼莲种子活力研究

在常温(试验时室内温度 18 ℃)浸种常温染色的条件下,种胚顶端染色,颜色较浅,呈浅红色,染色种子的比例为 88%;在常温浸种 40 ℃染色的条件下,1/2 胚染色,颜色较深,染色种子的比例为 87%;在

40℃浸种常温染色的条件下,胚部分染色,颜色较深,染色种子的比例为92%;在40℃浸种40℃染色的条件下,种子整个胚染色,颜色深,呈鲜红色,染色种子的比例为95%,即在滇池外海白山湾水域野外采集的凤眼莲种子绝大部分具有生活力,在一定的条件下可以萌发。

3 讨论

凤眼莲的繁殖方式与其生境条件密切相关。草海水域氮、磷含量远远超过地表V类水,能够为凤眼莲提供快速克隆繁殖所需的大量营养物质^[8],且风浪较小,水面平稳,有利于凤眼莲大面积生长,其繁殖方式以克隆繁殖为主。而外海白山湾水域氮、磷含量相对较低,且风浪较大,对凤眼莲的根系与植株造成一定程度的损伤,其克隆繁殖速度远远低于草海水域,更多地以开花的方式进行有性繁殖,但结实率极低,仅为5%~10%。

凤眼莲花为两性花,雄蕊6枚,3长3短,花柱单一,线性,花内的雌雄异位程度较大,其有性繁殖方式为三型花柱,分为L、M、S花型^[9]。中国境内的凤眼莲种群大多数是只有M花型的单一种群,重庆和南宁等地存在L花型,由于S花型的缺失、传粉媒介缺少等原因,凤眼莲异交传粉的三型花柱繁育系统出现中断,使得野外条件下结实率极低^[10-12]。任明迅等^[10]调查了重庆的凤眼莲种群,结果显示在虫媒传粉条件下,M花型和L花型的结实率分别为3.96%和4.00%,本研究结果与其一致。凤眼莲还具有高度的自交亲和性,在福州、南宁、海口和重庆等地,出现少量具有促进花内自交潜能的半同长花柱花型,即柱头与花药相靠拢的M花型或L花型变异体,但是种子在野外自然条件下的萌发率很低,使得半同长花柱花型难以在种群内遗传^[10-12]。Barrett^[13]认为凤眼莲种子发芽需要与原产地南美亚马逊流域相似的光照和30℃的水温。提高水中的磷和硼浓度可有效促进凤眼莲的种子萌发^[14]。本研究显示,凤眼莲种子种胚结构发育完全,具有生活力,其萌发的具体条件需进一步探究。

值得注意的是,利用凤眼莲治理富营养化水体时,需采取有效措施防范生态风险。草海水域水面平稳,可采用“竹桩挂网”设施,外海白山湾水域风浪较大,可采用“锚基管架浮球围栏”设施^[15],将其控制在指定区域生长,既可发挥高效富集氮、磷的能力,又可有效防止逃逸现象的发生。草海水域,凤眼莲生长速度快,当生物量达到20~25 kg·m⁻²即可采收,每次采收量为生物量的2/3^[16];外海白山湾水域,可在10月初出现大面积开花现象之前进行采收,规避有性繁殖种子扩散的潜在风险。采收上岸的凤眼莲,通过挤压脱水、添加辅料、高温堆肥等工序可制成商品有机肥,从而实现其资源化利用。

(致谢:南京林业大学徐柏森、杨静、王纪在试验过程中给予了帮助,谨致谢意!)

参考文献:

- [1] 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
- [2] 孙文浩,俞子文,余叔文.城市富营养化水体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
- [3] Ogutu-Ohwayo R, Hecky R E, Cohen A S, et al. Human impacts on the African Great Lakes[J]. Environmental Biology of Fishes, 1997, 50(2): 117-131
- [4] Kathiresan R M. Allelopathic potential of native plants against water hyacinth[J]. Crop Protection, 2000, 19: 705-708
- [5] Forno I W, Wright A D. The biology of Australian weeds 5: *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms[J]. Journal of the Australian Institute of Agricultural Science, 1981, 47: 21-28
- [6] 徐柏森.生物电镜技术[M].北京:中国林业出版社,2000:92-100
- [7] 胡晋.种子生物学[M].北京:高等教育出版社,2006:200-201
- [8] 杨红玉,张江山,仝川,等.水环境中氮、磷营养水平对水葫芦生长的影响[J].安徽农学通报,2008,14(23):67-71
- [9] Barrett S C H. Tristyly in *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (Water Hyacinth) [J]. Biotropica, 1977, 9: 230-238
- [10] 任明迅,张全国,张大勇.入侵植物凤眼蓝繁育系统在中国境内的地理变异[J].植物生态学报,2004,28(6):753-760
- [11] 任明迅.入侵植物凤眼莲的遗传变异、克隆多样性与繁育系统进化[D].北京:北京师范大学,2004:37-49
- [12] Barrett S C H. Sexual reproduction in *Eichhornia crassipes* (Water Hyacinth) I: Fertility of clones from diverse regions[J]. Journal of Applied Ecology, 1980, 17: 101-112
- [13] Barrett S C H. Sexual reproduction in *Eichhornia crassipes* (Water Hyacinth) II: Seed production in natural populations[J]. Journal of Applied Ecology, 1980, 17: 113-124
- [14] Pérez E A, Téllez T R, Guzmán J M S. Influence of physico-chemical parameters of the aquatic medium on germination of *Eichhornia crassipes* seeds[J]. Plant Biology, 2011, 13(4): 643-648
- [15] 孙山.开放式水体控制性种养殖凤眼莲技术用的化浪浮床:中国,200920037084[P].2010-02-03
- [16] 盛婧,郝建初,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

责任编辑:沈波 刘怡辰