

## 草海湿地喜旱莲子草基于株高和盖度的水深生态幅研究

廖小锋, 龙秀琴, 李安定, 谢元贵

(贵州科学院 贵州省山地资源研究所, 贵州 贵阳 550001)

**摘要:** 为了给喜旱莲子草 *Alternanthera philoxeroides* 的入侵机制和防治研究提供参考, 采用样方法调查了不同水深条件下草海高原湿地生态系统入侵植物喜旱莲子草的株高和盖度, 并采用高斯模型分析了喜旱莲子草的水深生态幅。结果表明: ①喜旱莲子草基于株高的水深梯度最适生态幅区间为 $[-0.73\text{ cm}, 69.99\text{ cm}]$ , 最适生长点为 34.63 cm。②喜旱莲子草基于盖度的水深梯度最适生态幅区间为 $[9.55\text{ cm}, 67.29\text{ cm}]$ , 最适生长点为 38.40 cm。③喜旱莲子草基于株高和盖度的最适生态幅区间为 $[9.55\text{ cm}, 67.29\text{ cm}]$ , 最适生长点为 37.53 cm。④喜旱莲子草在其入侵的草海湿地生境中对水深的适应性总体表现为随着水深的增加, 株高和盖度呈现先增加后下降的趋势。喜旱莲子草较宽的水深生态幅为其成功入侵草海湿地生态系统提供了保障, 同时喜旱莲子草对水深的适应性为其防除提供了新的思路。图 2 表 1 参 18

**关键词:** 植物学; 喜旱莲子草; 生态幅; 水深梯度; 草海湿地

**中图分类号:** S765.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2015)04-0643-05

## Water depth ecological amplitude of *Alternanthera philoxeroides* based on coverage and plant height in the Caohai Wetland

LIAO Xiaofeng, LONG Xiuqin, LI Anding, XIE Yuanguai

(Institute of Mountain Resources, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, Guizhou, China)

**Abstract:** To provide a reference for invasive techniques and prevention concerning *Alternanthera philoxeroides*, plant height and coverage of invasive *A. philoxeroides* in the Caohai Plateau Wetland ecosystem were surveyed at different water depths using a quadrat survey method with setting 45 temporary plots(1 m×1 m) radomly and achieving 29 samples of data. Then, the water ecological amplitude of *A. philoxeroides* was determined using the Gaussian Model. Results showed that (1) based on plant height, the optimal ecological amplitude interval was  $[-0.73\text{ cm}, 69.99\text{ cm}]$ , and plant height reached the maximum at 34.63 cm. (2) Based on coverage, the optimal ecological amplitude interval was  $[9.55\text{ cm}, 67.29\text{ cm}]$ , and coverage reached the maximum at 38.40 cm. (3) Based on coverage and plant height, the optimal ecological amplitude interval was  $[9.55\text{ cm}, 67.29\text{ cm}]$ , and the growth of *A. philoxeroides* reached the best at 37.53 cm. (4) In Caohai Wetland habitats, *A. philoxeroides* adaptability to water depth increased although it decreased with coverage and plant height. An ecological amplitude with a greater depth successfully provided protection from invasion in the Caohai Wetland ecosystems. Overall, the adaptability of *A. philoxeroides* to water depth provided new ideas for controlling wetlands. [Ch, 2 fig. 1 tab. 18 ref.]

**Key words:** botany; *Alternanthera philoxeroides*; ecological amplitude; depth of gradient; Caohai Wetland

喜旱莲子草 *Alternanthera philoxeroides*, 又叫空心莲子草, 原产于南美洲的巴西等地<sup>[1]</sup>, 属于苋科

收稿日期: 2014-10-10; 修回日期: 2014-11-09

基金项目: “十二五” 国家科技支撑计划项目(2011BAC02B0202; 2011BAC02B0201)

作者简介: 廖小锋, 助理研究员, 从事生态学、土地规划与水土保持等研究。E-mail: lxfsnd@163.com。通信作者: 谢元贵, 副研究员, 从事林学、土地规划与水土保持等研究。E-mail: yuanguai\_xie@163.com

Amaranthaceae 莲子草属 *Alternanthera* 多年生宿根草本植物, 现已入侵、蔓延至世界上大多数国家和地区。喜旱莲子草于 20 世纪 30 年代末传入中国<sup>[2]</sup>, 至今已遍布中国南方各省, 且有进一步蔓延的趋势。喜旱莲子草极强的可塑性造就了其强大的适应能力, 其入侵的生境呈现多样化, 如农田、河道、沟渠以及鱼塘等是其入侵的主要生境类型。喜旱莲子草的入侵不仅给农、林、养殖业造成了巨大的经济损失, 而且由于其在河道内的迅速繁殖导致河道淤塞, 给交通运输业造成了巨大的影响<sup>[3-4]</sup>。喜旱莲子草已于 20 世纪 80 年代被定为恶性杂草, 且被国家环保总局列入“中国第一批外来入侵物种名单”<sup>[5-6]</sup>。贵州省位于中国西部高原山地, 素有“八山一水一分田”之说, 其多样化的地形地貌为喜旱莲子草的入侵提供了便利的条件。喜旱莲子草在入侵地通过改变土壤性质和微生物环境等途径排挤土著物种, 形成单一优势群落, 造成入侵地生物多样性减少, 农作物减产以及水域面积缩小等一系列恶果。威宁草海作为贵州最大的淡水湖, 素有“高原明珠”“鸟的王国”之称。近年来, 威宁草海却面临着生物入侵的巨大危险, 现已发现的入侵动植物包括喜旱莲子草、满江红 *Azolla imbricata*, 苔菜 *Nymphoides peltata*, 紫萍 *Spirodela polyrhiza*, 浮萍 *Lemna minor*, 黄魮鱼 *Hypseleotris swinhonis* 和彩石鲃 *Rhodeus lighti* 等<sup>[7]</sup>, 其中喜旱莲子草入侵造成的生物多样性减少和水域面积缩小已逐渐凸显, 严重破坏了整个草海湿地的生态系统。本研究对贵州草海湿地不同水深的喜旱莲子草株高和盖度进行了调查, 探讨喜旱莲子草基于株高和盖度的水深生态幅, 为其入侵机制及其防治理论研究提供数据支撑。

## 1 研究地概况与方法

### 1.1 研究地自然概况

研究区设在威宁草海国家级自然保护区, 位于贵州威宁彝族回族苗族自治县县城西南侧, 地处乌蒙山麓腹地, 海拔为 2 170~2 300 m, 26°47'32"~26°52'52"N, 104°10'16"~104°20'40"E。草海保护区总面积为 96 km<sup>2</sup>, 其中草海湖面积为 25 km<sup>2</sup>, 平均水深为 1.35 m, 蓄水量为 3 900 万 m<sup>3</sup>, 四周水系呈放射状分布<sup>[8]</sup>。草海保护区属亚热带季风气候区, 日照丰富、冬暖夏凉、冬干夏湿; 年平均气温为 10.5 °C, ≥ 10 °C 积温 2 568.7 °C, 无霜期 208.6 d, 年均降水量 950.9 mm, 多年平均日照时数 1 805.4 h, 是贵州日照最充足的地方。区内土壤有黄棕壤、石灰土、石质土、沼泽土, 其中耕地土壤有黄灰泡土、黑灰泡土、火石灰泡土等 15 个土种, 而湖盆周围的油泥土和黑海子土呈中性反应, 肥力最高<sup>[9]</sup>。区内种子植物有 124 科 372 属 672 种, 水生维管束植物有 25 科 37 属 49 种, 淡水鱼 6 科 12 属 14 种, 鸟类有 17 目 34 科 203 种<sup>[10]</sup>。草海湖水体常规项目没有明显恶化, 但重金属和有机污染较为严重, 其中砷、铅、铬、汞、铜、锌的为严重污染, 有机物质为重污染<sup>[11]</sup>。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样方调查 2012 年 5 月, 在草海高原湿地选择有喜旱莲子草入侵的水生、湿生 2 种生境以喜旱莲子草作为研究对象, 共设置 1.0 m × 1.0 m 临时样方 45 个, 样方设置时充分考虑了不同环境梯度、优势种以及空间广布性等条件, 并根据采样区域及长期水深观测, 将它们分为若干个梯度变化间隔组。调查内容包括样方内水深、喜旱莲子草株高和盖度, 每个样方的喜旱莲子草株高、盖度及水深数据分别加和后求平均值, 排除异常值, 共有 29 个样点数据。不同采样点喜旱莲子草特征及水深情况见表 1。

1.2.2 数据处理 植物种和环境的关系一般都符合高斯模型<sup>[12]</sup>。根据前人在其他物种上的研究经验, 本研究拟引入高斯模型来探讨喜旱莲子草的水深生态幅。高斯模型方程为:

$$y=c\exp[-0.5(x-u)^2/t^2]。 \quad (1)$$

式(1)中:  $y$  为能够代表植物种生物生态特征的一个指标, 可以是多度、盖度、密度、生物量等;  $c$  为对应指标的最大值;  $u$  为植物种对某种环境因子的最适值, 即相应的生物指标达到最大值时所对应的环境因子值;  $t$  为该植物种的耐度, 是描述植物种生态幅的一个指标。一般来说, 一个物种的生态幅区间为  $[u-2t, u+2t]$ , 最适生态幅区间为  $[u-t, u+t]$ 。数据处理采用 Excel 2003 和 SPASS 17.0 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 喜旱莲子草株高对水深梯度的响应

将喜旱莲子草株高取自然对数后与水深进行一元二次曲线拟合, 所得到的一元二次曲线符合高斯模

表 1 不同采样点喜旱莲子草特征及水深情况

Table 1 Water depth and characteristics of *Alternanthera philoxeroides* in different sampling points

样点号	水深/cm	喜旱莲子草平均高度/cm	喜旱莲子草盖度/%	喜旱莲子草平均高度自然对数值	喜旱莲子草盖度自然对数值
01	15.00	43.33	40.00	3.77	-0.92
02	22.00	70.00	90.00	4.25	-0.11
03	0.00	31.67	60.00	3.46	-0.51
04	25.00	31.67	60.00	3.46	-0.51
05	6.00	31.67	60.00	3.46	-0.51
06	6.00	31.67	70.00	3.46	-0.36
07	0.00	15.00	5.00	2.71	-3.00
08	40.00	28.33	80.00	3.34	-0.22
09	60.00	21.67	90.00	3.08	-0.11
10	80.00	18.33	60.00	2.91	-0.51
11	0.00	13.33	35.00	2.59	-1.05
12	25.00	20.00	80.00	3.00	-0.22
13	0.00	11.00	15.00	2.40	-1.90
14	20.00	28.33	65.00	3.34	-0.43
15	50.00	33.33	9.00	3.51	-2.41
16	4.00	20.00	20.00	3.00	-1.61
17	8.00	26.67	90.00	3.28	-0.11
18	13.00	25.00	85.00	3.22	-0.16
19	5.00	15.00	50.00	2.71	-0.69
20	8.00	26.67	90.00	3.28	-0.11
21	13.00	25.00	95.00	3.22	-0.05
22	16.00	28.33	95.00	3.34	-0.05
23	20.00	26.67	85.00	3.28	-0.16
24	3.00	31.67	60.00	3.46	-0.51
25	5.00	31.67	10.00	3.46	-2.30
26	10.00	31.67	85.00	3.46	-0.16
27	15.00	30.00	100.00	3.40	0.00
28	20.00	21.00	50.00	3.04	-0.69
29	8.00	33.33	20.00	3.51	-1.61

型(图 1), 拟合曲线的相关系数为  $R^2=0.2347$ ,  $P<0.05$ , 喜旱莲子草株高自然对数值与水深具有显著相关性。则喜旱莲子草株高对水深的高斯回归方程为:

$$y=33.31\exp[-0.5(x-34.63)^2/35.36^2]。 \quad (2)$$

由式(2)可知: 喜旱莲子草基于株高的水深梯度最适生态幅区间为 $[-0.73 \text{ cm}, 69.99 \text{ cm}]$ , 当水深为 34.63 cm 左右时, 喜旱莲子草株高达到最大值。

## 2.2 喜旱莲子草盖度对水深梯度的响应

将喜旱莲子草盖度取自然对数后与水深进行一元二次曲线拟合, 所得到的一元二次曲线符合高斯模型(图 2), 拟合曲线的相关系数为  $R^2=0.1316$ ,  $P<0.01$ , 喜旱莲子草盖度自然对数值与水深具有显著相关性。则喜旱莲子草盖度对水深的高斯回归方程为:

$$y=0.77\exp[-0.5(x-38.42)^2/28.87^2]。 \quad (3)$$

从式(3)可以看出: 基于盖度的水深梯度最适生态幅区间为 $[9.55 \text{ cm}, 67.29 \text{ cm}]$ , 当水深为 38.42 cm 左右时, 喜旱莲子草盖度达到最大值。

## 2.3 喜旱莲子草适宜水深生态幅

将上述喜旱莲子草株高和盖度的最适水深生态幅区间加以叠加, 得出喜旱莲子草在草海湿地最适水深生态幅区间为 $[9.55 \text{ cm}, 67.29 \text{ cm}]$ , 最适生长点取平均值为 37.53 cm。因此, 水深为 37.53 cm 左右

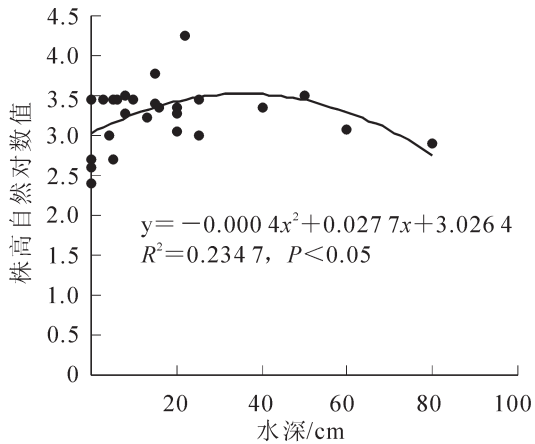


图1 水深与喜旱莲子草的株高基于高斯模型的二次非线性回归

Figure 1 Secondary nonlinear regression based on Gaussian Model of *Alternanthera philoxeroides* height and water depth

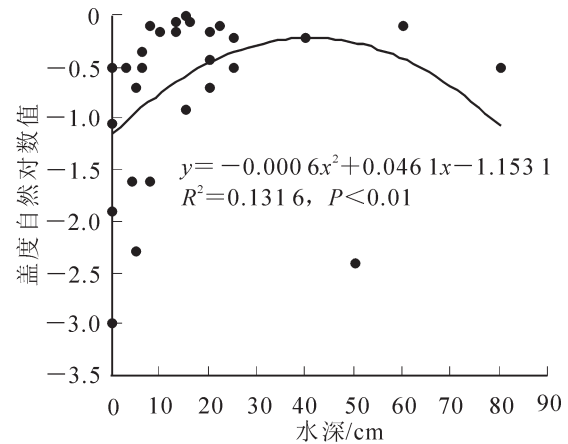


图2 水深与喜旱莲子草的盖度基于高斯模型的二次非线性回归

Figure 2 Secondary nonlinear regression based on Gaussian Model of *Alternanthera philoxeroides* coverage and water depth

时,喜旱莲子草种群生长最好。

### 3 讨论

水是湿地生态系统最为敏感的环境因子,它制约着湿地植物的空间布局、生态过程的顺畅运行与生态系统服务功能的正常发挥<sup>[13]</sup>。入侵植物喜旱莲子草在原产地主要分布于淡水生境中<sup>[14]</sup>,因此,研究其在入侵生境中不同水深条件下生长情况对了解该物种对水环境的适应机制十分必要<sup>[15]</sup>。水生植物对水深的变化会在形态上产生一系列的响应<sup>[16]</sup>。

研究表明:喜旱莲子草的株高随着水深的增加呈现先增加后下降的趋势,随着水深的增加,植株可利用的光能不断减少,植株为了充分获得有利的光照环境,会将光合作用合成的物质主要用于植株株高的增加,从而导致植株株高随水深增加而增加<sup>[17]</sup>,但随着水深的进一步增加,光照进一步减弱,植物获取的光能不足以维持其增加株高向高处发展<sup>[18]</sup>,同时可能由于随着水深的增加水流运动对植株生长的影响明显加强,会进一步影响植株能量上的分配。与水深对株高的影响类似,喜旱莲子草的盖度也是随着水深的增加呈现先增加后下降的趋势。这可能是由于随着水深的增加,喜旱莲子草为了获取更多的资源和稳定植株采取的一种生存策略,但随着水深的进一步增加,喜旱莲子草所能获得的资源迅速减少,种内竞争加剧,导致盖度下降。综合来看,喜旱莲子草在入侵的草海湿地生境中对水深的适应性很强,但在不同水深条件下盖度和株高存在较大的差异,总体表现为随着水深的增加,喜旱莲子草的株高和盖度呈现先增加后下降的趋势。与草海湿地其他植物相比,喜旱莲子草具有更宽的水深生态幅和更好的耐受性,这也是喜旱莲子草在草海湿地快速蔓延的原因。本研究对喜旱莲子草的防除也有一定的指导意义,基于其最适生态幅为[9.55 cm, 67.29 cm],提出2种防除措施:一是在水深低于67.29 cm时,可以采取隔离排水的方法短时间内改变喜旱莲子草的生境除去大面积喜旱莲子草,之后对于少量残存的喜旱莲子草营养器官(其繁殖方式主要是克隆繁殖)用人工清除的方法彻底的清除;二是对于水深大于67.29 cm水深时,由于已超出其水深最适生态幅的最大值,种群相对较小,人工清除的工作量不大,故可采用刈割处理或打捞的方式予以清除。

### 4 参考文献

- [1] MADHUSOODANAN P V, KUMAR K G A. *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb: a fast spreading weed in Kerala, south India [J]. *J Econ Taxon Bot*, 1993, 17(3): 651 - 654.
- [2] 李朝会, 陈斯, 岳春雷, 等. 苦楝和水芹菜对空心莲子草的化感防治作用[J]. 浙江农林大学学报, 2014, 31(3): 442-449.  
LI Chaohui, CHEN Si, YUE Chunlei, et al. Allelopathic control of *Alternanthera philoxeroides* using *Picrasma quas-*

- sioides* and *Oenanthe javanica* [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2014, **31**(3): 442 – 449.
- [3] 李博, 徐炳声, 陈家宽. 从上海外来杂草区系剖析植物入侵的一般特征[J]. 生物多样性, 2001, **9**(4): 446 – 457.  
LI Bo, XU Bingsheng, CHEN Jiakuan. Perspectives on general trends of plant invasions with special reference to alien weed flora of Shanghai [J]. *Biodivers Sci*, 2001, **9**(4): 446 – 457.
- [4] 刘全儒, 于明, 周云龙. 北京地区外来入侵植物的初步研究[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2002, **38**(3): 399 – 404.  
LIU Quanru, YU Ming, ZHOU Yunlong. A preliminary study on the invasive plants in Beijing [J]. *J Beijing Norm Univ Nat Sci*, 2002, **38**(3): 399 – 404.
- [5] 中国国家环境保护总局, 中国科学院. 关于发布中国第一批外来入侵物种名单的通知(环发[2013]11号)[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2003(23): 40 – 46.
- [6] 王桂芹, 高瑞如, 王玉良, 等. 异质生境空心莲子草的结构基础与生态适应性[J]. 草业学报, 2011, **20**(4): 143 – 152.  
WANG Guiqin, GAO Ruiru, WANG Yuliang, *et al.* Structural foundation and ecological adaptability of *Alternanthera philoxeroides* in heterogeneous habitats [J]. *Acta Pratac Sin*, 2011, **20**(4): 143 – 152.
- [7] 王虹扬, 黄沈发, 何春光, 等. 中国湿地生态系统的外来入侵种研究[J]. 湿地科学, 2006, **4**(1): 7 – 12.  
WANG Hongyang, HUANG Shenfa, HE Chunguang, *et al.* Invasive species in wetland ecosystems, China [J]. *Wetland Sci*, 2006, **4**(1): 7 – 12.
- [8] 李峰, 王济虹, 秦洪超. 草海国家级自然保护区夏季的浮游动物及生物量的研究[G]//张华海, 李明晶, 姚松林. 草海研究. 贵阳: 贵州科技出版社, 2007: 33 – 50.
- [9] 廖德平. 草海国家级自然保护区土壤特点研究 [C]//张华海, 李明晶, 姚松林. 草海研究. 贵阳: 贵州科技出版社, 2007: 12 – 20.
- [10] 张华海, 李明晶, 姚松林. 草海研究综述[C]//张华海, 李明晶, 姚松林. 草海研究. 贵阳: 贵州科技出版社, 2007: 1 – 11.
- [11] 刘国柱, 谢峰, 涂成龙. 草海水体的理化性质及其污染状况检测与研究[C]//张华海, 李明晶, 姚松林. 草海研究. 贵阳: 贵州科技出版社, 2007: 21 – 32.
- [12] 王芳, 梁瑞驹, 杨小柳, 等. 中国西北地区生态需水研究(1)干旱半干旱地区生态需水理论分析[J]. 自然资源学报, 2002, **16**(1): 1 – 8.  
WANG Fang, LIANG Ruiju, YANG Xiaoliu, *et al.* A study of ecological water requirements in northwest China ( I ) theoretical analysis [J]. *J Nat Resour*, 2002, **16**(1): 1 – 8.
- [13] 谭学界, 赵欣胜. 水深梯度下湿地植被空间分布与生态适应[J]. 生态学杂志, 2006, **25**(12): 1460 – 1464.  
TAN Xuejie, ZHAO Xincheng. Spatial distribution and ecological adaptability of wetland vegetation in Yellow River Delta along a watertable depth gradient [J]. *Chin J Ecol*, 2006, **25**(12): 1460 – 1464.
- [14] LONGSTRETH D J, BOLANOS J A, SMITH J E. Salinity effects on photosynthesis and growth in *Alternanthera philoxeroides* (Mart.)Griseb. [J]. *Plant Physiol*, 1984, **75**(4): 1044 – 1047.
- [15] 许凯扬, 叶万辉, 李静, 等. 入侵种空心莲子草对土壤水分的表型可塑性反应 [J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2005, **39**(1): 246 – 250.  
XU Kaiyang, YE Wanhui, LI Jing, *et al.* Phenotypic plasticity in response to soil water content in the invasive species *Alternanthera philoxeroides* [J]. *J Cent Norm Univ Nat Sci*, 2005, **39**(1): 246 – 250.
- [16] VRETARE V, WEISNER S E B, STRAND J A, *et al.* Phenotypic plasticity in *Phragmites australis* as a functional response to water depth [J]. *Aquatic Bot*, 2001, **69**(2/3/4): 127 – 145.
- [17] 李强, 王国祥. 水体泥沙对黑藻幼苗生长发育的影响[J]. 生态学报, 2010, **30**(4): 995 – 1002.  
LI Qiang, WANG Guoxiang. Influence of silts on growth and development of *Hydrilla verticillata*'s seedling in silt waters [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, **30**(4): 995 – 1002.
- [18] 陈小峰, 王庆亚, 陈开宁. 不同光照条件对菹草外部形态与内部结构的影响[J]. 武汉植物学研究, 2008, **26**(2): 163 – 169.  
CHEN Xiaofeng, WANG Qingya, CHEN Kaining. Impacts of different light intensity on morphology and structure of *Potamogeton crispus* [J]. *J Wuhan Bot Res*, 2008, **26**(2): 163 – 169.