

空心莲子草在稻田生态系统中的生长特性及 对水稻生长发育的影响*

刘雨芳¹ 彭梅芳¹ 曾强国¹ 苏文杰¹ 王成超¹ 刘文海¹ 万方浩^{2**}

(1. 湖南科技大学生命科学学院 湘潭 411201; 2. 中国农业科学院植物保护研究所
植物病虫害生物学国家重点实验室 北京 100081)

摘要 为了解空心莲子草在正常耕作稻田中的入侵能力与水稻对该草的抵抗能力, 本文通过在秧苗移栽后的稻田中移植少量空心莲子草繁殖体, 人工模拟空心莲子草入侵稻田的方法, 研究了该草在稻田中的入侵生长繁殖特性及其对水稻生长发育的影响。结果显示: 在人工移入空心莲子草后的第一个水稻生长季内, 空心莲子草长势较弱, 其植株克隆数与直立茎秆数从水稻分蘖前期至成熟期均无显著变化, 仅株高增长极显著, 但茎秆纤细柔软, 部分茎秆顶端弱化, 叶片弱小卷曲, 出芽量很低或几乎没有新芽生长。空心莲子草对水稻分蘖、有效分蘖与株高等参数均无显著影响。空心莲子草在田埂上与稻田边缘的生长主要表现为该草的覆盖度、直立茎秆数与株高的显著增加, 难以向稻田中扩散生长。研究结果表明, 空心莲子草在耕作稻田中不能形成严重入侵态势。建议保持稻田于耕作状态, 可有效防止空心莲子草的入侵。

关键词 空心莲子草 入侵能力 稻田生态系统 耕地 水稻 生长发育

中图分类号: S451.1 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2012)08-1043-05

Growth characteristics of alligator weed (*Alternanthera philoxeroides*) in rice ecosystems and effects on rice growth and development

LIU Yu-Fang¹, PENG Mei-Fang¹, ZENG Qiang-Guo¹, SU Wen-Jie¹,
WANG Cheng-Chao¹, LIU Wen-Hai¹, WAN Fang-Hao²

(1. College of Life Sciences, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests; Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract To understand the invading capability of alligator weed (*Alternanthera philoxeroides*) in cultivated rice fields and rice resistance to *A. philoxeroides* invasion, the growth characteristics of *A. philoxeroides* and effects on rice development at early invasion were studied. A paddy field invasion simulation was conducted through transplanting propagators of *A. philoxeroides* into cultivated rice fields after seedling transplant. The results showed that *A. philoxeroides* growth weakened in the first cultivation season of rice after field transplanting. The numbers of clones and erect caulis of *A. philoxeroides* decreased slightly from early tillering to late tillering and also increased slightly from late tillering to mature stage of rice (all insignificant). Although weed height increased significantly, weed stem grew small and soft with weak tops growth. *A. philoxeroides* weed leaves were generally small, weak and curly and produced few new buds in rice fields. No significant effects were noted regarding rice growth parameters such as number of tillers, effective tillering per cluster and plant height when only few *A. philoxeroides* propagators were transplanted into rice fields. *A. philoxeroides* near rice field margins and in rice field levees hardly grew or spread into main rice fields. Although only weed clone number, erect caulis and plant height increased significantly, weed vegetation cover grew thick. These findings suggested that both cultivated lands and rice fields controlled growth and reproduction of *A. philoxeroides*. It was also proposed to keep rice fields under cultivation to prevent weed invasion.

* 国家科技支撑计划项目(2006BAD08A18)、国家自然科学基金项目(30871638)、湖南省教育厅重点项目(11A035)、湖南省农业支撑计划项目(2011NK3082)和湖南省大学生研究性学习和创新性实验项目(湘教通[2010]244号)资助

** 通讯作者: 万方浩(1956—), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事外来入侵生物的风险评价及生物生态治理研究。E-mail: wanfangh@public3.bta.net.cn

刘雨芳(1964—), 女, 博士, 教授, 主要从事农业生态学与入侵生物风险评估研究。E-mail: yurainliu@yahoo.com.cn

收稿日期: 2012-01-16 接受日期: 2012-04-18

Key words *Alternanthera philoxeroides*, Invading capability, Paddy field ecosystem, Cultivated land, Rice, Growth and development

(Received Jan. 16, 2012; accepted Apr. 18, 2012)

空心莲子草 [*Alternanthera philoxeroides* (Martius) Grisebach] 是一种起源于南美的具有匍匐茎与地下茎的多年生草本植物, 被引入澳大利亚、亚洲和北美后, 成为当地难以控制的恶性杂草^[1-2]。目前空心莲子草已广泛分布于除非洲以外的世界各地淡水与陆地生境中^[1,3], 严重威胁入侵地的生物多样性^[4-6]。日本将空心莲子草作为马饲料于 20 世纪 30 年代引入我国, 该草现已遍布我国 23 个省、市、自治区, 成为华中与华东地区的恶性杂草^[3]。空心莲子草具有强大的繁殖能力, 通过茎芽与根芽进行无性繁殖, 即使一个很小的植株片段能很快在入侵地定居并繁殖成片^[7-8]。空心莲子草入侵农田生态系统后, 造成显著的经济损失与生态损害^[9-13]。控制空心莲子草入侵的研究已有很多报道, 如手工除草、机械防除、化学方法与生物防治等^[14-16], 这些方法有各自的优势与不足, 均不能有效控制空心莲子草的蔓延。

稻田生态系统是处于人工干预下周期性较强、有利于水稻生长而不利其他杂草生长的人工生态系统^[17], 但事实上, 部分稻田已被空心莲子草成功入侵。耕作稻田有无抵御空心莲子草入侵的能力, 可否人工强化或利用这种抵御能力, 阻止空心莲子草在稻田中的入侵、生长与扩散? 目前尚缺乏此类研究的报道。本研究通过将带有根和芽的空心莲子草繁殖体随机移入稻田, 人工模拟空心莲子草入侵稻田, 调查空心莲子草在耕作稻田中的生长特性及空心莲子草入侵后对水稻生长发育的影响, 同时调查空心莲子草在稻田边缘与田埂上的生长特征, 以探讨水稻抵御空心莲子草入侵的能力, 为利用农业手段阻止空心莲子草的入侵, 保护农业生态环境提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 人工模拟空心莲子草入侵稻田生境

在湖南湘潭县雅爱村的稻田生态系统中, 选择稻田中尚无空心莲子草入侵的整块耕作稻田约 1 600 m² 作为试验田, 为保证田间条件基本一致, 中间不设实际分隔, 采用标杆拉线虚分的方法, 将试验田分为 2 块, 除去边缘与标杆线位置两行不计作试验调查面积, 使每块试验田面积达到 667 m²。早稻秧苗扎根成活(抛秧约 2 周)后, 在其中一块稻田中移植具根和茎的空心莲子草(具 1~3 个明显的根, 2~4 个茎), 移植密度约 1 株·m⁻², 模拟空心莲子草入侵耕作稻

田生境, 称入侵田。另一块稻田不移入空心莲子草, 作对照田。同样采用标杆拉线的方法分别将人工模拟入侵田与对照田各虚分为 3 等份, 作重复调查。

1.2 空心莲子草在田埂上的生长生境

选择已有空心莲子草自然入侵生长的田埂, 做空心莲子草在田埂上的生长特性研究, 同时调查空心莲子草从田埂向稻田边缘的生长入侵特性, 了解该草向稻田中入侵扩散的能力。

1.3 水稻品种与农事管理

水稻品种为“G 优 F6”杂交稻。除实验稻田中不施除草剂外, 其余按常规农事操作管理水肥。

1.4 采样设计与数据采集

空心莲子草在耕作稻田中的入侵生长特性研究: 在人工模拟的入侵田中, 采用平行线跳跃取样法^[18], 同行每隔约 5 m 调查 1 个样方, 每样方 0.25 m², 两列间隔约 2 m, 行列之间的样方交错, 使整个样方呈棋盘式分布, 每次调查 35 个样方。调查各样方内空心莲子草的植株克隆数与直立茎秆数, 每样方随机测量 5 个茎秆(分枝)的高度, 当样方内直立茎秆数少于 5 时全部测量, 同时计算空心莲子草在调查样方中出现频率(有空心莲子草的样方数/总调查样方数×100%)。在移植空心莲子草后 2 周开始调查, 在水稻分蘖前期、分蘖后期、孕穗期与成熟期(收割前)各调查 1 次。

空心莲子草在稻田边缘生长入侵特性调查: 沿着田埂走向, 设长 1 m、从田埂边缘向稻田走向宽 0.2 m 为 1 个样方, 样方间隔 5 m, 每次调查 5 个样方, 计数每样方面积内空心莲子草的植株克隆数与直立茎秆数、每样方中随机测量 5 个茎秆(分枝)的高度。在水稻返青期、分蘖后期、孕穗期各调查 1 次。

空心莲子草在田埂上的生长特性调查: 沿着田埂走向, 设田埂长 1 m、宽 0.2 m(田埂自然宽度)为 1 个样方, 样方间隔 5 m, 每次调查 5 个样方, 调查每样方面积内空心莲子草的植株克隆数与直立茎秆数、每样方中随机测量 5 个茎秆(分枝)的高度。在水稻返青期、分蘖前期、分蘖后期、孕穗期、成熟期(收割前)各调查 1 次。

植株克隆与直立茎秆的计数方法: 空心莲子草为构件生物, 特别在旱生生境中生长的植株无明确边界。本文中对有明显粗根扎于地下, 并由此发出的分枝与直立茎秆, 计为 1 个植株克隆; 1 个样方内的所有克隆产生的直立分枝数, 计为单位样方面积

内的直立茎秆数。

空心莲子草入侵对水稻生长发育的影响研究方法：入侵田水稻分蘖后期，采用平行线跳跃取样法^[18]，随机确定 1 株水稻，测量其株高、分蘖数与有效分蘖，并使丛间距 5 m，共测量 50 丛。对照田作相同调查。

1.5 数据分析

采用 Excel 2003 与 SPSS 17.0 version 对数据进行统计计算、均值计算分析和 LSD 多重比较。

2 结果与分析

2.1 空心莲子草在人工模拟入侵稻田中的生长特性

在构建的入侵稻田中，空心莲子草的生长特性如表 1 所示。单位面积内的植株克隆数从水稻分蘖前期至分蘖后期略有增加，从分蘖后期到孕穗期、从孕穗期到成熟收割前期略有降低，但均无显著差异。直立茎秆数从水稻分蘖前期到分蘖后期略有增加，但无显著差异，而随着水稻的生长，田间郁闭

度增加，一些弱短茎进一步弱化，呈现茎秆数减少现象。在水稻生长各个时期，空心莲子草在样方中的出现频率无显著变化。空心莲子草株高在整个生长期均呈现明显增长趋势，且在水稻分蘖前期—分蘖后期、孕穗期—成熟期，株高增长极显著。

2.2 空心莲子草在耕作稻田边缘的生长特性

随着生育期推移，在稻田边缘的空心莲子草的克隆数、直立茎秆数显著增加，株高极显著增长，呈现与稻田中明显不同的生长格局，且在水稻分蘖后期—孕穗期呈现极显著生长态势。其中在分蘖后期调查时，因其他农事操作时不可避免的人为踩踏、干扰等导致株高出现明显降低现象，但其后空心莲子草进入生长旺盛期，株高迅速增加(表 2)。但是，通过观察，稻田边缘生长的空心莲子草仅在稻田边缘生长旺盛，却难以向稻田中扩散生长。

2.3 空心莲子草在田埂上的生长特性

在自然状态下，空心莲子草在耕作稻田田埂上的生长特性如表 3 所示。5—7 月，空心莲子草的植

表 1 空心莲子草在耕作稻田生境中的生长特性(湘潭, 2009)
Table 1 Growth characteristics of *A. philoxeroides* in paddy field (Xiangtan, 2009)

调查日期(月-日) Investigation date (month-day)	水稻生育期 Growth stage of rice	空心莲子草生长特性参数 Growth characteristic parameters of <i>A. philoxeroides</i>			
		克隆数 Number of clone (No.·0.25m ⁻²)	直立茎秆数 Number of erect stem (No.·0.25m ⁻²)	株高 Plant height (cm)	出现频率 Appearance frequency (%)
05-24	分蘖前期 Early tillering stage	2.20±0.44a	2.66±0.46ab	5.04±0.43A	77.14a
06-07	分蘖后期 Later tillering stage	2.80±0.60a	3.74±0.74b	14.63±1.41B	68.57a
06-21	孕穗期 Booting stage	2.71±0.37a	3.26±0.43b	16.53±1.66BC	82.86a
07-05	成熟期 Mature stage	2.00±0.30a	2.14±0.31a	27.04±1.86D	74.28a

同列不同小、大写字母表示差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)。Different small letters and capital letters in the same column mean significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same below.

表 2 空心莲子草在耕作稻田边缘的生长特性(湘潭, 2009)
Table 2 Growth characteristics of *A. philoxeroides* at the exterior margin of paddy field (Xiangtan, 2009)

调查日期(月-日) Investigation date (month-day)	水稻生育期 Growth stage of rice	空心莲子草生长特性参数 Growth characteristic parameters of <i>A. philoxeroides</i>			
		克隆数 Number of clone (No.·0.2m ⁻²)	直立茎秆数 Number of erect stem (No.·0.2m ⁻²)	株高 Plant height (cm)	出现频率 Appearance frequency (%)
05-24	分蘖前期 Early tillering stage	10.6±1.50a	14.0±2.88a	6.25±0.59B	100.00
06-07	分蘖后期 Later tillering stage	17.2±10.29ab	18.4±11.52ab	3.82±0.47A	100.00
06-21	孕穗期 Booting stage	73.2±12.58c	93±15.88c	35.52±2.19C	100.00

表 3 空心莲子草在耕作稻田田埂上的生长特性(湘潭, 2009)
Table 3 Growth characteristics of *A. philoxeroides* on the levee of paddy field (Xiangtan, 2009)

调查日期(月-日) Investigation date (month-day)	水稻生育期 Growth stage of rice	空心莲子草生长特性参数 Growth characteristic parameters of <i>A. philoxeroides</i>				
		克隆数 Number of clone (No.·0.2m ⁻²)	直立茎秆数 Number of erect stem (No.·0.2m ⁻²)	株高 Plant height (cm)	覆盖率 Cover rate (%)	出现频率 Appearance frequency (%)
05-10	返青期 Returning green stage	13.0±3.46b	44.6±13.91b	11.48±1.46a	9.4±3.06a	100.00
05-24	分蘖前期 Tillering prophase	46.2±2.65c	189.2±21.71cd	14.80±1.21ab	19.6±7.72b	100.00
06-07	分蘖后期 Later tillering stage	81.0±13.88cd	149.0±25.99c	14.72±1.97abc	79.0±7.48c	100.00
06-21	孕穗期 Booting stage	4.4±0.98a	4.8±0.86a	16.59±2.12abc	87.6±2.76cd	100.00
07-05	成熟期 Mature stage	132.5±13.46d	201.8±24.48d	33.37±2.14d	95.8±0.58e	100.00

株克隆数、直立茎秆数与覆盖率呈较快增长势头。在孕穗期调查前,农户按常规在田埂施用了除草剂,部分植株死亡,或直立茎顶端脱落,或落叶;在水稻孕穗期调查时,克隆数、直立茎秆数明显降低。而这正反映了空心莲子草在自然耕作条件与干扰生境中的生长特性。在早稻成熟期,正值空心莲子草进入生长旺盛季节,田埂遭受人为干扰程度也较轻,施用除草剂后,空心莲子草能快速恢复生长,植株

克隆数发展很快,营养繁殖加速,直立茎秆数显著增加,株高显著增长。

2.4 空心莲子草对水稻生长发育的影响

表 4 结果表明,在水稻分蘖后期,空心莲子草株高、分蘖数表现为入侵稻田略低于对照田,有效分蘖表现为入侵稻田略高于对照田,但均无显著差异($P>0.05$)。说明在水稻移植定根后,人工移入空心莲子草对水稻的生长与发育未造成显著影响。

表 4 空心莲子草入侵稻田后水稻的生长情况
Table 4 Plant height and tiller number of rice after *A. philoxeroides* invading

水稻参数 Parameters of rice	入侵田 Invading field	对照田 Control field	差异显著性 P 值 P value
株高 Plant height (cm)	42.07±0.61	42.15±0.67	0.922
分蘖数 Tiller number	6.62±0.29	6.88±0.42	0.574
每丛有效分蘖 Effective tillering per cluster	5.92±0.64	5.66±0.23	0.350

3 讨论

空心莲子草在水、陆生境中都能生长扩散^[1],也能在农耕干扰生境定殖^[19]。人和动物的踩踏、喷施除草剂及在稻田边缘开挖排水沟等干扰,一定程度上抑制了空心莲子草的生长与扩散,从而阻止了空心莲子草从田埂、田边向稻田中扩散生长。本研究中也观察到:空心莲子草在田埂上与稻田边缘的生长,主要表现为增加在田埂上的覆盖度与植株高度,难以向田中扩散,可能是水稻的优势生长与蔽光作用所致。在秧苗扎根后再移入少量的空心莲子草繁殖体,在移入后的第一个水稻生长季内,空心莲子草长势较弱,表现为茎秆纤细柔软,叶片小、弱且发红,部分直立茎秆顶端弱化,叶片卷曲未舒展,出芽量很低或几乎没有新芽生长。该草种群水平发生量较小,横向扩散缓慢或停滞,不能形成严重入侵态势。特别在孕穗期—水稻成熟收割前期,水稻的蔽光作用强,空心莲子草的嫩茎、芽不能伸展生长而呈退缩状态,导致其克隆数与直立茎秆数呈减少趋势。空心莲子草为了与水稻竞争阳光,原已成形的茎秆主要呈现向上生长。此现象可能源于正常耕作状态中,稻田群落中的水稻优势种作用使得水稻在与空心莲子草竞争阳光、水分和肥料时处于相对有利地位,从而有较强抑制空心莲子草生长繁殖的能力。

在秧苗扎根后移植少量的空心莲子草繁殖体进入稻田模拟入侵稻田生境,虽然在移入空心莲子草后的第一个水稻生长季对水稻的分蘖、有效分蘖与株高等水稻生长特性参数没有产生明显影响,但如果不能彻底清除空心莲子草,该草可能会迅速生长扩散,形成难以根除与控制的生境。因为在第一季

收割时会产生大量的小茎节繁殖片段,犁田与锄地等人工活动也将产生大量小根繁殖片段^[20],这些根茎繁殖片段均拥有强大的繁殖潜能^[8,13,19],能扩散到稻田中新的小生境或生态位中定殖。特别在稻田闲置期,这些片段可能先于水稻扎根繁殖,则水稻的竞争优势将受到极大限制。仅仅 1 至 2 个繁殖片段在经过 2 至 3 个作物生产季后可以繁殖覆盖整个作物地,一旦空心莲子草定殖成功,就很难根除^[21]。

土地耕种制度与土地利用模式的改变,可能是空心莲子草成功入侵稻田的重要原因之一。如双季改单季,冬春季闲置期过长,空心莲子草开始生长繁殖时,耕地仍处于未耕种状态,给空心莲子草入侵造成有利条件;同时粗耕与疏于田间管理也有利于空心莲子草的入侵、定殖。本研究结果证明,处于正常耕作状态中的稻田能抵抗空心莲子草的入侵、抑制其生长繁殖。因此,建议始终保持土地耕种、及时清除稻田中的小繁殖体、必要时在非作物生境与空闲地适时喷施除草剂等策略,综合防治空心莲子草将有利于提高和改进对空心莲子的管理,减轻其可能造成的入侵扩散生态风险。

参考文献

- [1] Sainty G, McCorkelle G, Julien M. Control and spread of alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. in Australia: Lessons for other regions[J]. Wetlands Ecology and Management, 1997, 5(3): 195–201
- [2] Barreto R W, Charudattan R, Pomella A, et al. Biological control of neotropical aquatic weeds with fungi[J]. Crop Prot, 2000, 19(8/10): 697–703
- [3] 刘雨芳, 刘文海, 万方浩. 空心莲子草在中国的扩散分布及防治研究[C]//中国植物保护学会 2008 年学术年会论文集

- 《植物保护科技创新与发展》. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008: 210–214
- [4] Julien M H, Skarratt B, Maywald G F. Potential geographical distribution of alligator weed and its biological control by *Agasicles hygrophila*[J]. J Aquat Plant Manage, 1995, 33: 55–60
- [5] Li J, Ye W H. Genetic diversity of alligator weed ecotypes is not the reason for their different responses to biological control[J]. Aquatic Botany, 2006, 85(2): 155–158
- [6] Tao Y, Chen F, Wan K Y, et al. The structural adaptation of aerial parts of invasive *Alternanthera philoxeroides* to water regime[J]. J Plant Biol, 2009, 52(5): 403–410
- [7] Wang B R, Li W G, Wang J B. Genetic diversity of *Alternanthera philoxeroides* in China[J]. Aquatic Botany, 2005, 81(3): 277–283
- [8] Lu X M, Ding J Q. Flooding compromises compensatory capacity of an invasive plant: Implications for biological control[J]. Biol Invasions, 2010, 12(1): 179–189
- [9] 王韧, 王远, 张格成, 等. 空心莲子草叶甲的寄主专一性测验[J]. 生物防治通报, 1988, 4(1): 14–17
- [10] Van Driesche R, Blossey B, Hoddle M, et al. Biological control of invasive plants in the eastern united states[M]. USDA Forest Service Publication FHTET- 2002-04, 2002: 5–13
- [11] Pomella A W V, Barreto R W, Charudattan R. *Nimbya alternantherae* a potential biocontrol agent for alligatorweed, *Alternanthera philoxeroides*[J]. Bio Control, 2007, 52(2): 271–288
- [12] Liu J, He W M, Zhang S M, et al. Effects of clonal integration on photosynthesis of the invasive clonal plant *Alternanthera philoxeroides*[J]. Photosynthetica, 2008, 46(2): 299–302
- [13] Liu C H, Yu D. The bud and root sprouting capacity of *Alternanthera philoxeroides* after over-wintering on sediments of a drained canal[J]. Hydrobiologia, 2009, 623(1): 251–256
- [14] Ding J Q, Richard R, Wu Y, et al. Biological control of invasive plants through collaboration between China and the United States of America: A perspective[J]. Biological Invasions, 2006, 8(7): 1439–1450
- [15] 刘雨芳, 刘文海, 万方浩. 空心莲子草叶甲室内大量繁殖研究[J]. 昆虫学报, 2009, 52(8): 867–874
- [16] 刘雨芳, 苏文杰, 曾强国, 等. 湖南湘潭地区空心莲子草叶甲自然种群的越冬虫态与越冬生境[J]. 昆虫学报, 2010, 53(10): 1190–1194
- [17] 刘雨芳. 稻田生态系统节肢动物群落结构研究[D]. 广州: 中山大学, 2000
- [18] 符明龙, 谢淑玲, 祝增荣, 等. 入侵移栽稻田的福寿螺卵块空间分布型及其抽样技术[J]. 植物保护学报, 2008, 35(4): 332–337
- [19] Jia X, Pan X Y, Li B, et al. Allometric growth, disturbance regime, and dilemmas of controlling invasive plants: A model analysis[J]. Biol Invasions, 2009, 11(3): 743–752
- [20] 潘晓云, 耿宇鹏, Sosa A, 等. 入侵植物喜旱莲子草——生物学、生态学及管理[J]. 植物分类学报, 2007, 45(6): 884–900
- [21] Tan W Z, Li Q J, Qing L. Biological control of alligatorweed (*Alternanthera philoxeroides*) with a *Fusarium* sp[J]. Bio-Control, 2002, 47(4): 463–479