

喜旱莲子草入侵机制及防治策略研究进展

王 颖, 李为花, 李 丹, 张 震

(安徽农业大学 资源与环境学院, 安徽 合肥 230036)

摘要: 喜旱莲子草 *Alternanthera philoxeroides* 是全球性恶性入侵杂草, 近年来在中国已呈蔓延之势, 对经济及生态环境造成严重破坏。整理了近年来对喜旱莲子草的相关研究, 从其生物学特性和对环境的利用能力等方面对喜旱莲子草的入侵机制进行阐述, 表明该植物的形态、繁殖以及表型可塑性和适应性等特征, 有助于其成功入侵, 并在入侵地形成单优势种群。还从物理、化学、生物、生态防治等 4 个方面对其防治策略进行分析, 针对其入侵机制与防治研究中存在的问题提出了相应建议: 加强采用土壤动物和土壤微生物的方法开展该入侵植物的生物防治研究, 同时开展替代控制的生态控制策略探索实践。参 67

关键词: 植物生态学; 入侵机制; 生物防治; 替代控制; 防治策略; 综述

中图分类号: S451; Q948 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2015)04-0625-10

Research progress on invasion mechanism and prevention strategy of *Alternanthera philoxeroides*

WANG Ying, LI Weihua, LI Dan, ZHANG Zhen

(College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, Anhui, China)

Abstract: *Alternanthera philoxeroides* is a global malignant invasive weed. It has shown a tendency to spread and cause severe damage to economic and ecological environment in China. This paper reviewed the recent researches on the invasion of *A. philoxeroides*, elaborated its invasion mechanism from biological characteristics and its ability to exploit environment, indicating the characteristics of its morphology, reproduction, phenotypic plasticity and adaptability contribute to its successful invasion, and form a single dominant populations in the invaded area. The research analyzed the prevention strategy from four aspects including physics, chemistry, biology and ecology, and put forward the respective recommendations for the existing problems in the research on invasion mechanisms and prevention: strengthening the use of soil animals and soil microbial biological control methods to carry out the biocontrol research on invasive plants, while carrying out exploration and practice of ecological alternative control strategy. [Ch, 67 ref.]

Key words: plant ecology; invasion mechanism; biocontrol; alternative control; prevention strategy; review

喜旱莲子草 *Alternanthera philoxeroides* 又名空心莲子草, 俗称水花生、革命草, 苋科 *Amaranthaceae* 莲子草属 *Alternanthera* 多年生宿根草本植物, 原产于巴西。由于适应能力强、蔓延速度快、生长繁殖迅速, 喜旱莲子草现已广泛分布在美国、澳大利亚、新西兰、中国等多个国家^[1]。喜旱莲子草在 20 世纪 30 年代最早作为马饲料引入中国, 80 年代以后大面积扩散蔓延。目前, 黄河流域以南地区已广泛分布^[2]。近年来, 许多研究都针对喜旱莲子草的入侵危害及防治开展的探索, 如何将它们有效控制并变废为宝将

收稿日期: 2014-11-05; 修回日期: 2014-12-23

基金项目: 教育部博士点专项科研基金资助项目(20123418120008); 安徽高校省级自然科学研究重点资助项目(KJ2011A111); 安徽农业大学 2014 年学科骨干培育项目(2014XKPY-48)

作者简介: 王颖, 从事入侵生态学研究。E-mail: buer_xiaohai@sina.com。通信作者: 张震, 副教授, 博士, 从事植物生态学和生态恢复研究。E-mail: xjzhangzhen@163.com

其资源化利用也成为其研究热点。笔者综述了近年来对喜旱莲子草的入侵机制及其生物防治策略的研究成果, 以为控制喜旱莲子草入侵提供理论依据。

1 喜旱莲子草的入侵机制

在自然界长期的进化过程中, 生物与生物之间相互制约和相互协调, 将各自种群限制在一定的生境和数量基础上, 从而形成稳定的生态平衡系统^[3]。外来入侵植物, 在原环境和天敌等的协同制约下, 可能是一种良性或中性的物种^[4], 但当其传入新的生境之后, 由于缺乏有效的天敌抑制, 并在适宜的气候、土壤、水分及传播条件下, 脱离了人工控制逸生后, 则会疯狂扩散蔓延, 形成大面积单优群落, 与本地种抢夺资源, 破坏原有生态系统并造成其生物多样性的下降^[5]。一个外来种能否在生态系统成功入侵取决于2个方面的因素, 其一是外来种本身的生物学特性, 其二是该环境是否具有可被入侵种利用的资源条件^[6]。喜旱莲子草在形态、生理、繁殖、抗逆性以及适应性等方面特征决定了其入侵特性, 了解其适应机制和入侵特性对有效的防治喜旱莲子草的生长和蔓延具有重要的指导意义。

1.1 喜旱莲子草的生物学特性

1.1.1 形态学特性 喜旱莲子草系水陆两栖草本植物, 在不同的环境中可以改变自身的形态结构和生长发育特点, 从而表现出极强的适应能力。喜旱莲子草可通过节部生根形成不定根, 进行营养繁殖^[7]。在水生生境中, 喜旱莲子草通过广布于水中的大量须根直接吸收水分和营养, 在水面以上部分充分利用阳光, 拓展其空间范围并积累生物量^[8]。茎干中空有利于该种在水中漂浮和呼吸, 同时水生型植株的节间长度、不定根数以及不定根长度要明显大于旱生型。研究表明: 漂浮型根的爆发性生长有利于它在矿质稀薄的水体中浓缩营养并增加对茎体的浮力和支持力, 防止机械冲击, 同时发达的茎体也可以充分运输水分保证它在水体中扩散生长^[9-10]; 在中生或旱生环境中, 由于水分条件下降, 喜旱莲子草形成主根, 通过根系扩展地下空间并明显减少地上生物量, 形成半匍匐半直立状生长, 以获取土壤中的水分和营养; 茎表皮蜡质层增厚, 机械组织厚角细胞的层数、韧皮纤维的束数显著增多、叶片角质层增厚、气孔下陷、栅栏组织分层且细胞排列紧密并增加其抽枝率^[11]; 同时其叶片和茎干也根据水分条件的变化表现出叶面积变小及茎节变短等差异, 以增加其保水性^[12]。无论水生型还是旱生型喜旱莲子草, 都可以通过自身形态结构的变化而迅速在所入侵地形成地毯式的覆盖分布, 这种分布可以充分排斥他种生长并与该地的其他植物抢夺水分和营养, 且水中的覆盖分布还会影响光线进入水体, 削弱沉水植物的营养竞争。这也是喜旱莲子草能够形成蔓延式入侵的主要因素之一^[10,13]。

1.1.2 繁殖特性 外来入侵植物之所以能够在新生境迅速建群, 与其极强的繁殖能力是密不可分的^[4]。喜旱莲子草具有有性和无性繁殖2种方式。该植物开花现象较为普遍, 但由于花粉萌发率很低(仅为4.3%), 不结实或结实率很低, 导致其有性繁殖能力较低, 基本不依靠种子扩散, 入侵主要是依靠营养繁殖^[14-15]。喜旱莲子草具有发达的营养器官, 其根状茎具有三生结构^[16], 有利于通过副形成层(根部或茎节处)产生不定芽和不定根进行营养生殖^[17], 从而形成无性系小株^[18], 最终成为完整的植株。喜旱莲子草的根含有大量的径向和切向的薄壁结合组织, 能够迅速输导水分和营养物质并储藏在地下的薄壁细胞结合组织中, 因此即使当地下的肉质根互相切断, 也可以有足够的营养供给不定芽的生长。其肉质根上不定芽较多(10 cm根上有6个不定芽和15条不定根), 使它具有很强的克隆繁殖能力迅速入侵, 排挤本地种, 形成单一优势种群^[19]。

1.1.3 表型可塑性及适应性 表型可塑性(phenotypic plasticity)是指有机体能够根据不同的生物或非生物环境表现出不同的表型的能力^[20]。有研究指出: 表型可塑性也可能是增加植物入侵性的直接或间接的条件^[21]。在不同的自然因素如光照、温度、养分等环境因子的影响下, 喜旱莲子草均表现出一定的表型可塑性, 且植株的一些生长指标也有相应的变化^[22]。徐凯扬等^[23]研究了在不同强度光照处理下喜旱莲子草的表型可塑性, 发现随着光强的降低, 其分枝强度、株长、茎节长都显著降低, 根、茎、叶各构件的生物量也减少, 而高光照下总生物量的积累是弱光照的19.67倍。姜立志等^[24]发现全光照条件下能够促进喜旱莲子草生物量的积累, 而遮阳条件下该植物会通过增加株高或光合面积的方式适应弱光环境; 同时发现光照与氮素交互作用对总生物量和各构件生物量比也有显著影响。在适应性方面, 喜旱莲子草对各种环境因子的适应幅度较广, 具有较强抗逆性^[12]。沈建英等^[25]和张格成等^[26]研究了各环境因子的胁

胁迫作用,发现喜旱莲子草对低温和高温胁迫均不敏感,在 10~40 °C 的温度下均能出苗;0 °C 以下时,水面或地上部分死亡,但水下或地下部分仍有活力;35 °C 以上高温干旱仍能继续生长,被铲除的根茎或深埋的根茎也可继续膨大生长^[12]。刘爱荣等^[27]发现将喜旱莲子草植株置于 400 mmol·L⁻¹ 盐酸溶液环境中 40 d,该植物仍可以缓慢生长,表明其对盐生环境的适应性,然而进一步实验发现其耐盐度不强,高浓度会对其生长产生抑制作用。另外,喜旱莲子草对于某些重金属胁迫的反应也不同。有研究发现:高锰处理会抑制喜旱莲子草对钙、镁、钾的吸收,但同时会促进它对铁、铜、锌、硼、钼的吸收,如对铁的吸收可达到对照的 3.3 倍,对铜的吸收也比对照提高了 17%^[28]。通过水分和土壤养分对喜旱莲子草生理特性影响的实验表明:它可通过体内活性氧系统调节代谢平衡,以维持自身正常的水分需求,并调节总生物量及各器官的生物量来应对养分的变化^[29-31]。喜旱莲子草的表型可塑性能够拓宽其生态幅,同时扩展了可利用的潜在资源、获得更多的营养和占据更多样的生境^[32]。在异质性生境中,固着生长的植物只能通过改变自身构件形态及生物量的配置来获取需要,对入侵植物而言,表型可塑性和适应性对它在新环境中定植起到一种缓冲作用,使它不会因为外界环境的冲击而导致种群大量死亡。喜旱莲子草多为无性繁殖,种群内的遗传变异很低,但其强大的表型可塑性和适应性可以弥补其不足,在多变的环境中与土著种相比优势更为显著,这也是它能够迅速入侵和扩张的关键因素^[33]。

1.2 喜旱莲子草入侵的环境条件

外来物种的成功入侵是由于本地群落受到干扰导致资源波动,产生空余的生态位,给外来物种成功定植提供了条件。喜旱莲子草是一种比较容易入侵和定殖的生物,在河流、湖泊、沼泽等养分和水分条件比较优越的条件下多为优势种,相对盖度达到 90% 以上^[11,34],它可通过自身生长来改变入侵环境的土壤养分和酶活性,从而增强自身的竞争力,实现种群的进一步扩张,在新的栖息地中缺乏天敌也利于其迅速蔓延^[35]。有研究表明:二氧化碳浓度升高可增加 C₃ 植物的入侵性、生物量及资源利用效率,并且间接增加了土壤的水分和养分沉积,为入侵提供环境条件^[36-37]。同时,人类活动导致环境异质性增强,如工业排污、围湖造田等行为会导致生态环境破坏,生态系统稳定性受到干扰,此时环境变得脆弱也利于喜旱莲子草的入侵。

2 为害

喜旱莲子草主要在农田(包括水田和旱田)、空地、鱼塘、沟渠、河道等环境中生长为害^[16]。陆生型在农田建群后与本地农作物竞争,争夺水分、阳光、营养以及生长空间,取代原生本地植物,导致地区生物多样性下降^[12]。喜旱莲子草入侵可造成水稻 *Oryza sativa*, 小麦 *Triticum aestivum*, 玉米 *Zea mays*, 马铃薯 *Solanum tuberosum*, 棉花 *Gossypium hirsutum*, 大豆 *Glycine max*, 花生 *Arachis hypogaea* 等作物不同程度的减产,其中对水稻作物的影响较大,水稻的植株高度、有效茎蘖数、每穗实粒数、百粒质量和干谷产量均随喜旱莲子草密度增加明显下降;在水稻 100 株·m⁻² 种植密度下,接种喜旱莲子草茎 23~360 株·m⁻²,使水稻减产 43%~53%^[38-39]。

水生型喜旱莲子草常从岸边开始以匍匐茎交错延伸,从而形成浮垫覆盖于水面,阻塞水道^[40]。在浮垫的覆盖下,使得光线难以穿过水面,从而阻碍沉水植物光合作用,抑制其生长。大面积的覆盖也使得水体含氧量降低。喜旱莲子草腐败后污染水体,水体中的化学需氧量和生物耗氧量增高,鱼虾等水产生物因氧气不足而死亡,严重影响水产养殖及农业灌溉^[16]。喜旱莲子草在水域、路边、公共绿地以及居民区等地生长蔓延,严重影响了环境美观和卫生^[39]。因此,对喜旱莲子草进行有效的防除已经成为亟待解决的问题。

3 防治策略

关于喜旱莲子草的治理和控制的研究很多,主要集中在物理防治、药剂防治、生物防治和生态防治几个方面。其中物理防治和药剂防治是较为传统的防治方法。

3.1 传统防治

物理防治是对喜旱莲子草入侵区域进行人工挖除、铲除或打捞,并将全部茎叶进行晒干或焚烧,是一种人工防治的方法。这种方法在入侵初期较为有效,但该种方法需耗费大量的人力物力,成本高成效

小^[4]。对陆生型喜旱莲子草来说,刈割可能是一种有效的人工控制方法;但需频繁持久刈割,同时要防止喜旱莲子草根茎的破碎化,从而防止其破碎化片段再次进行营养繁殖。

中国较为常用的防治方法为药剂防治,即利用化学农药来对喜旱莲子草进行去除。国内外广泛研究表明,草甘膦、使它隆和复配水花生净等化学除草剂对喜旱莲子草具有较强的防除效果,但也具有自身的局限性。如水花生净使用后会在作物上残留甲磺隆,使作物受到伤害;草甘膦的防效慢,控草时间短,难以有效防除草害^[41];使它隆控草时间虽长但草根清除不彻底,易再生。所以,朱永群等^[42]通过选用百草枯、使它隆、使它隆+洗衣粉、使它隆+食盐、使它隆+草甘膦5种不同药剂(组合),对喜旱莲子草进行药剂防治实验,结果显示:添加食盐的组合效果较为显著,可以将喜旱莲子草连根杀死,且1次施药便可达到98.92%的除草率,无需2次除草。马明勇等^[43]研究了氯氟吡氧乙酸(fluroxypyr)和五氟磺草胺(penoxsulam)等2种除草剂对喜旱莲子草的防除效果,结果显示:作为一种低毒、有机杂环类选择性内吸传导型苗后选择性除草剂,氯氟吡氧乙酸药后15d,对不同生育期喜旱莲子草株防效均达100%,是水陆两生环境下防除喜旱莲子草的有效化学药剂。化学防除虽然效果明显,但化学农药会在作物上残留并污染土壤,对环境和人畜危害较大,不宜长期使用。

3.2 生物防治

生物防治是喜旱莲子草治理的一个清洁有效的措施,对环境破坏性小、控制时间持久,是近年研究的重点。针对入侵植物,目前主要有天敌防治、土壤动物防治和土壤微生物防治等3种生物防治措施。

3.2.1 天敌防治 美国农业部于20世纪60年代开始使用生物控制的方法进行喜旱莲子草的防除,在1964年和1971年分别引进了莲草直胸跳甲 *Agasicles hygrophila* 和莲子草钻茎虫 *Vogtia malloi*。研究发现:莲草直胸跳甲可以有效降低喜旱莲子草种群,并最终成功控制了美国南部和东部城市的水生喜旱莲子草^[44]。中国于1986年从美国引进了专食性天敌莲草直胸跳甲进行生物防治。马瑞燕等^[45]研究发现:该天敌的化蛹能力受喜旱莲子草不同生态型的影响,化蛹率与茎干节间长、茎干外直径、髓腔成简单正相关,与皮层薄壁细胞厚度和密度、维管束厚度及髓腔薄壁细胞的厚度成简单负相关,从而影响到其生物防治的效果。莲草直胸跳甲的成虫和幼虫取食其叶子和茎干,产生取食沟和叶沟,并将卵产在叶子上。在其中空的茎中幼虫化蛹。成虫、蛹和幼虫在越冬期(从11月开始)都在中空茎中生存或者是在下方地上部分的喜旱莲子草组织上生长直到春天(约4月)来临。该种生活方式也使得其成功越冬,在气候适宜的条件下明显抑制喜旱莲子草的繁殖,减缓其入侵速度,在防治方面具有重要的意义^[40]。但研究人员发现:莲草直胸跳甲受到环境的影响较大。孙燕等^[46]对3种水分条件(水生、半水生、旱生)下生长的喜旱莲子草进行施放甲虫实验,结果表明:植物在旱生生境下对于取食的耐受性要强于水生生境,即莲草直胸跳甲对旱生喜旱莲子草的防治作用比较低。同时,莲草直胸跳甲对于环境具有一定的要求,如在北方较冷的地区无法自然越冬,需要人为提供条件。除莲草直胸跳甲外,林冠伦等^[7]发现了多种取食喜旱莲子草的昆虫,其中虾钳菜披龟甲 *Cassida piperata* 对喜旱莲子草的嗜食性最强,该狭食性昆虫对喜旱莲子草的嗜食量是其他植物的7~10倍。王星等^[47]对3种昆虫空心莲子草野螟 *Herpetogramma fuscescens*, 缘黑黄野螟 *H. submarginalis*, 空心莲子草小野螟 *H. stultalis* 对喜旱莲子草的防治情况进行了研究,发现3种野螟通过取食而对陆生型空心莲子草的蔓延表现出明显抑制作用;3种野螟幼虫有发达的腹足和趾钩,腹部肌肉发达,行动敏捷迅速且繁殖量大,利于转株取食,并完全控制了所观察区域的喜旱莲子草,幼虫在2龄后吐丝将空心莲子草顶端的4~5片叶包裹成1个锥形包在其中取食,发生高峰期可致整片空心莲子草枯萎、死亡。但由于3种野螟在中国发现的时间较短,故对其食性以及作用还未有详细的研究,所以其防控潜力还有待进一步研究。近年来调查发现,喜旱莲子草的天敌有10余种,常见的如蚜虫 *Aphidoidea*, 叶甲 *Chrysomeloidea*, 夜蛾 *Noctuidae*, 灯蛾 *Arctiidae*, 蝽类 *Pentatomidae*, 负蝗 *Atractomorpha* sp., 蜗牛 *Fruticicolidae*, 蛞蝓 *Agriolimax agresti* 等,但因其专一性较差,故其对喜旱莲子草的防治作用仍有待研究^[7]。

3.2.2 土壤动物防治 植物作为生产者,为土壤生物提供有机碳,土壤生物分解的有机质则为植物生长提供相应的营养。由于外来入侵种与本地种的需求不同,所以土壤资源利用和消耗有所改变,进而提高其入侵潜力^[48]。外来入侵植物扩散到新的栖息地建群后会影响到入侵地的植物群落结构,进而引起土壤动物多样性和生态系统过程发生改变^[49]。国内外学者对多种入侵植物如互花米草 *Spartina alterniflora*, 加拿

大一枝黄花 *Solidago canadensis*, 火树 *Delonix regia*, 旱雀麦 *Bromus tectorum*, 紫茎泽兰 *Eupatorium adenophorum* 等与土壤动物的交互作用研究中发现, 植物入侵会通过各种机制影响土壤动物的数量^[50-55]。入侵植物改变土壤理化性质, 从而改变对土壤动物的资源提供方式, 进而影响土壤动物的资源利用以及食物网。同时, 由于种植密度、生长状况以及根系特征等性质的改变, 也会影响土壤动物的多样性。所以, 我们可以将此作为防控喜旱莲子草的一种方式, 即通过对不同生境和不同种植密度下喜旱莲子草土壤动物的多样性和数量的研究, 找出对喜旱莲子草具有特异性的动物, 在此基础上进行模拟试验, 探究是否某种土壤动物可以起到抑制喜旱莲子草种群大小的作用或探究在何种土壤动物多样性的组成下能够抑制喜旱莲子草的种群扩散。土壤动物在土壤食物网中扮演着重要的角色, 其营养类群结构的变化与土壤生态系统联系紧密。一些土壤根寄生线虫的比例也可能为入侵植物提供一种正反馈的作用。遗憾的是, 目前很少有研究能将植物入侵引起的土壤动物群落的改变与入侵防治联系起来, 这也许是今后研究的一个重要方向^[56]。

3.2.3 土壤微生物防治 喜旱莲子草天敌种类十分丰富, 尤以昆虫和致病真菌的种类居多, 其致病真菌的种类分属于 5 目 6 科 9 属 15 种, 即半知菌亚门的丝孢纲 Hyphomycetes, 腔孢纲 Coelomycetes 和担子菌亚门的冬孢菌纲 Teliomycetes。其中, 种类最多的为镰孢属 *Fusarium*, 达 7 种^[57]。目前国内外的研究都集中在莲子草假隔链格孢 *Nimbya alternantherae*, 链格孢 *Alternaria alternata* 和镰孢属几个种中, 并致力于研发真菌除草剂。向梅梅等^[58]在莲子草假隔链格孢菌侵染供试的 25 科 56 属 72 种植物的实验中发现, 除苋科莲子草属的喜旱莲子草和莲子草 *Alternanthera sessilis* 外, 该病菌不能侵染不同科及同科不同属的其他供试植物, 属于专一性和选择性极强的一种喜旱莲子草病原真菌。其安全性较强, 可以主要作用于植物的叶片, 使其光合作用能力下降, 从而降低植物丰度, 达到控制杂草蔓延的效果。刘长河等^[59]和聂亚峰等^[60]对喜旱莲子草生防菌株 SF-193 分生孢子对喜旱莲子草的防治研究中发现, SF-193 分生孢子萌发迅速, 在接种后 4 h 内完成萌发, 为快速侵染提供了基础条件; 接种 6 h 后形成芽管, 24 h 后次生侵染菌丝由气孔侵入叶组织导致气孔结构破坏, 从而导致呼吸光合紊乱, 影响能量传导, 最终导致植物凋谢死亡。郑燕梅等^[61]从自然发病的喜旱莲子草病组织上分离出了对其具有强致病性的病原真菌蕉斑镰刀菌 *Fusarium stoveri*, 具有极强的专一寄主性, 是可致喜旱莲子草地上茎腐烂、叶片上呈现褐色斑或黄化。该菌株的适宜生长温度为 20~30 °C; 当喷雾接种病原菌的孢子量为 1×10^9 个 $\cdot L^{-1}$ 时, 接种后 5 d 水花生地上部完全萎蔫, 15 d 后地下部完全腐烂; 接种后保湿超过 6 h 可以明显提高该菌株的致病效果; 接种孢子在 10^7 个 $\cdot L^{-1}$ 时可在 4 d 内杀死所有新生嫩叶; 在孢子悬浮液中添加质量分数为 $1.0 g \cdot kg^{-1}$ 的吐温-20 可以提高 51.8% 的致死效果^[62]。致病真菌属于生态系统的自然组成成分, 将其合理利用不会破坏生态环境, 而且同化学农药相比, 其清洁高效, 寄主也不会产生抗性。并且这些致病真菌都具有极强的专一寄主性, 也不会大规模爆发侵染其他植物造成流行病。微生物的生存条件较为简单, 容易培养, 作为喜旱莲子草生物防治措施具有极强的发展前景。

3.3 生态防治

替代控制主要针对外来植物, 是一种生态控制方法, 其核心是根据植物群落演替的自身规律用有经济或生态价值的本地植物取代外来入侵植物^[63]。替代控制植物一旦定植便长期控制入侵植物, 不必连年防治; 且在保持水土, 改良土壤, 涵养水源等方面具有一定作用; 用演替中后期出现的有经济价值的植物可使荒芜土地变成经济用地, 提高土地利用效率^[64]。所以, 替代控制是杂草生态防治的一种新的思路。

李永慧等^[65]分析了南方菟丝子 *Cuscuta australis* 寄生对喜旱莲子草各项生理指标的影响, 发现菟丝子的寄生会显著影响喜旱莲子草茎部结构及可溶性蛋白和次生代谢产物的含量, 同时菟丝子寄生会改变喜旱莲子草的叶片气孔导度, 导致喜旱莲子草的光合速率减弱, 光能利用率降低, 但由于喜旱莲子草在菟丝子多次寄生后会产生一定的耐性和抗性, 所以菟丝子只可作为一段时间内的替代控制材料。李朝会等^[66]采用苦楝 *Melia azedarach* 和水芹菜 *Oenanthe javanica* 植株粉末直接处理喜旱莲子草, 表明喜旱莲子草植株生长和根蘖萌生受到明显抑制, 并且抑制作用随着施用量增加而逐渐增强。李娟等^[67]利用芦苇 *Phragmites australis* 水浸提液作用于喜旱莲子草后发现, 芦苇水浸提液降低了喜旱莲子草的发芽率和生长发育, 生物量随浸提液质量浓度增强而减弱。张震等^[17]利用菵草浸提液对喜旱莲子草的营养生长进行了生物测定, 发现地下浸提液质量浓度为 $100 g \cdot L^{-1}$ 时喜旱莲子草的茎长最低, 比对照显著减少了

26.91%，地上浸提液对新生枝条也有明显影响，并对比分析对叶面积和繁殖力的影响综合得出菵草 *Humulus japonicus* 有可能作为替代控制材料。但由于目前使用替代控制的方法防治喜旱莲子草的研究还较少，所以尚需开展深入研究。由此可见，替代控制是防治杂草入侵的有效方法之一，在喜旱莲子草的防治方面具有广泛的研究前景。

4 问题与展望

喜旱莲子草已经对入侵地的生态、经济等造成严重影响，针对该入侵植物的防治策略开展了诸多研究，而生物防治是未来防治工作的主要研究方向。喜旱莲子草的适生范围较广，天敌对环境要求较高等问题在一定程度上增加了生物防治的成本并限制了防治效果，而不同生态型喜旱莲子草的防治策略的差异性也是开展生防工作的难点。为了进一步增强对入侵植物喜旱莲子草的防治效果，建议从以下几个方面进行防治策略的研究。①密切关注不同地区不同生长环境下喜旱莲子草的生长状况，在重视土著天敌的基础上积极发现新的天敌，针对性引入并对其进行适应性驯化，选育优化品系。②关注土壤生物群落，全面分析喜旱莲子草—土壤环境—土壤生物之间的相互作用关系，尤其是入侵导致的土壤动物和微生物群落特征变化及其对土壤环境的影响，在种群、群落和生态系统多个层面综合研究植物—土壤反馈 (plant-soil feedback) 途径；同时探索土壤动物对喜旱莲子草入侵的影响并进行模拟试验，从而进一步阐释其入侵机制和群落的可入侵性。③加快对陆生型喜旱莲子草微生物生防制剂的研究，开发具有防治潜力的微生物致病菌和毒素，提高生物防治的安全性和高效性。④在针对入侵地治理的同时，应利用种间竞争和物理因子的调控开展室内与大田试验，分析土著植物与喜旱莲子草之间的影响，筛选替代控制植物，进而以此开展生态防治。⑤入侵植物的防治，离不开公众的参与，相关部门要继续提高对喜旱莲子草入侵的重视程度，增强民众关注意识，从而更为有效地防止喜旱莲子草的进一步入侵扩散。

5 参考文献

- [1] van DRIESCHE R, BLOSSEY B, HODDLE M, et al. *Biological Control of Invasive Plants in the Eastern United States* [M]. Morgantown: USDA Forest Service, Publication FHTET, 2002: 5 – 15.
- [2] 王志勇, 赵昌明. 空心莲子草的可利用价值[J]. 河北农业科学, 2010, 14(10): 113 – 114, 116.
WANG Zhiyong, ZHAO Changming. Available values of alligator weed [J]. *J Hebei Agric Sci*, 2010, 14(10): 113 – 114, 116.
- [3] 丁建清. 外来生物的入侵机制及其对生态安全的影响[J]. 中国农业科技导报, 2002, 4(4): 16 – 20.
DING Jianqing. The mechanism of biological invasion and its effect on ecosystem safety [J]. *Rev China Agric Sci Technol*, 2002, 4(4): 16 – 20.
- [4] 徐正浩, 王一平. 外来入侵植物成灾的机制及防除对策[J]. 生态学杂志, 2004, 23(3): 124 – 127.
XU Zhenghao, WANG Yiping. Disastrous mechanisms and control of alien invasive plants [J]. *Chin J Ecol*, 2004, 23(3): 124 – 127.
- [5] 张光富, 陈瑞冰. 外来入侵植物喜旱莲子草的研究进展[J]. 安徽大学学报: 自然科学版, 2005, 29(6): 87 – 93.
ZHANG Guangfu, CHEN Ruijing. Progress in studies on the exotic invasive plants alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb [J]. *J Anhui Univ Nat Sci*, 2005, 29(6): 87 – 93.
- [6] 徐汝梅, 叶万辉. 生物入侵: 理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [7] 林冠伦, 杨益众, 胡进生. 空心莲子草生物学及防治研究[J]. 江苏农学院学报, 1990, 11(2): 57 – 62.
LIN Guanlun, YANG Yizhong, HU Jinsheng. Studies on biology and control of *Alternanthera philoxeroides* [J]. *J Jiangsu Agric Coll*, 1990, 11(2): 57 – 62.
- [8] 许凯扬, 叶万辉, 李静, 等. 入侵种喜旱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): 100 – 103.
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 China Norm Univ Nat Sci*, 2005, 39(1): 100 – 103.
- [9] 何池全, 赵魁义, 余国营. 湿地克隆植物的繁殖对策与生态适应性[J]. 生态学杂志, 1999, 18(6): 38 – 46.
HE Chiquan, ZHAO Kuiyi, YU Guoying. Advance in the ecological adaptability of the clonal plant in wetlands [J]. *Chin J Ecol*, 1999, 18(6): 38 – 46.

- [10] 陶勇, 陈少风, 汪明喜. 空心莲子草对水分变化的形态适应性研究[J]. 长江流域资源与环境, 2004, **13**(5): 454 – 459.
TAO Yong, CHEN Shaofeng, WANG Mingxi. Morphological adaptation of *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. to the change of water [J]. *Resour Environ Yangtze Basin*, 2004, **13**(5): 454 – 459.
- [11] 张文艳, 庞静. 空心莲子草的入侵机制及其防治对策[J]. 作物研究, 2013, **27**(3): 302 – 307.
ZHANG Wenyan, PANG Jing. Invasion mechanism of *Alternanthera philoxeroides* and its control measures [J]. *Crop Res*, 2013, **27**(3): 302 – 307.
- [12] 翁伯琦, 林嵩, 王义祥. 空心莲子草在我国的适应性及入侵机制[J]. 生态学报, 2006, **26**(7): 2373 – 2381.
WENG Boqi, LIN Song, WANG Yixiang. Discussion on adaptability and invasion mechanisms of *Alternanthera philoxeroides* in China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26**(7): 2373 – 2381.
- [13] 蔡一村, 宁泽倩, 刘美华, 等. 东苕溪喜旱莲子草群落研究[J]. 浙江农林大学学报, 2014, **31**(4): 583 – 588.
CAI Yicun, NING Zeqian, LIU Meihua, et al. *Alternanthera philoxeroides* community in the eastern Tiaoxi River [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2014, **31**(4): 583 – 588.
- [14] 付文竹, 陈振亚, 淮虎银. 空心莲子草地下茎克隆繁殖特征[J]. 生态科学, 2006, **25**(4): 316 – 319.
FU Wenzhu, CHEN Zhenya, HUAI Huyin. The characteristics of clonal reproduction of rhizome from *Alternanthera philoxeroides* [J]. *Ecol Sci*, 2006, **25**(4): 316 – 319.
- [15] 刘大胜, 张学杰, 常光玲, 等. 外来入侵物种空心莲子草花粉形态及生活力测定[J]. 安徽农业科学, 2008, **36**(35): 15447 – 15448.
LIU Dasheng, ZHANG Xuejie, CHANG Guangling, et al. Detection on pollen morphology and viability of alien invasive species *Alternanthera philoxeroides* [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2008, **36**(35): 15447 – 15448.
- [16] 沈国军, 徐正浩, 俞谷松. 空心莲子草的分布、危害与防除对策[J]. 植物保护, 2005, **31**(3): 14 – 18.
SHEN Guojun, XU Zhenghao, YU Gusong. Distribution and damage of alligator weed, *Alternanthera philoxeroides* and its control [J]. *Plant Prot*, 2005, **31**(3): 14 – 18.
- [17] 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**(1): 55 – 60.
- [18] 张震, 徐丽, 王育鹏, 等. 葎草水浸提物对外来入侵植物喜旱莲子草营养生长的影响[J]. 西北植物学报, 2012, **32**(9): 1844 – 1849.
ZHANG Zhen, XU Li, WANG Yupeng, et al. Effect of *Humulus scandens* water extracts on vegetative growth of invasive alien species *Alternanthera philoxeroides* [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2012, **32**(9): 1844 – 1849.
- [19] 娄远来, 王庆亚, 邓渊钰, 等. 空心莲子草根中异常结构及不定芽的发育解剖学研究[J]. 广西植物, 2004, **24**(2): 125 – 127, 138.
LOU Yuanlai, WANG Qingya, DENG Yuanyu, et al. The developmental anatomical study on anomalous in the root and adventitious buds of *Altemanthera philoxeroides* [J]. *Guihaia*, 2004, **24**(2): 125 – 127, 138.
- [20] 鞠瑞亭, 李慧, 石正人, 等. 近 10 年中国生物入侵研究进展[J]. 生物多样性, 2012, **20**(5): 581 – 611.
JU Ruiting, LI Hui, SHI Zhengren, et al. Progress of biological invasions research in China over the last decade [J]. *Biodiversity Sci*, 2012, **20**(5): 581 – 611.
- [21] DAEHLER C C. Performance of co-occurring native and alien invasive plants: implication for conservation and restoration[J]. *Annu Rev Ecol Evol Syst*, 2003, **34**: 183 – 211.
- [22] 常瑞英, 王仁卿, 张依然, 等. 入侵植物空心莲子草的入侵机制及综合管理[J]. 生态与农村环境学报, 2013, **29**(1): 17 – 23.
CHANG Ruiying, WANG Renqing, ZHANG Yiran, et al. Invasion mechanism and integrated management of invasive plant *Alternanthera philoxeroides* [J]. *J Ecol Rural Environ*, 2013, **29**(1): 17 – 23.
- [23] 徐凯扬, 叶万辉, 李国民, 等. 入侵种喜旱莲子草对光照强度的表型可塑性反应[J]. 武汉植物学研究, 2005, **23**(6): 560 – 563.
XU Kaiyang, YE Wanhui, LI Guomin, et al. Phenotypic plasticity in response to light intensity in the invasive species *Alternanthera philoxeroides* [J]. *J Wuhan Bot Res*, 2005, **23**(6): 560 – 563.
- [24] 姜立志, 王东, 谢树南, 等. 光照和氮素对喜旱莲子草形态特征和生物量分配的影响[J]. 水生生物学报, 2010, **34**(1): 101 – 107.

- JIANG Lizhi, WANG Dong, XIE Shunan, *et al.* Effect of light and nitrogen on morphological traits and biomass allocation of an invasive weed *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb [J]. *Acta Hydrobiol Sin*, 2010, **34**(1): 101 – 107
- [25] 沈健英, 黄渊智. 环境因子对空心莲子草出苗和生长的影响[J]. 上海农业学报, 2006, **22**(1): 34 – 38.
SHEN Jianying, HUANG Yuanzhi. Influence of environmental factors on emergence and growth of alligatorweed [J]. *Acta Agric Shanghai*, 2006, **22**(1): 34 – 38.
- [26] 张格成, 李继祥, 陈秀华. 空心莲子草主要生物学特性研究[J]. 杂草科学, 1993, **9**(2): 10 – 12.
ZHANG Gecheng, LI Jixiang, CHEN Xiuhua. Research on major biological characteristics of *Alternanthera philoxeroides* [J]. *Weed Sci*, 1993, **9**(2): 10 – 12.
- [27] 刘爱荣, 张远兵, 陈庆榆, 等. 盐胁迫对空心莲子草生长和光合作用的影响[J]. 云南植物研究, 2007, **29**(1): 85 – 90.
LIU Airon, ZHANG Yuanbing, CHEN Qingyu, *et al.* Effects of salt stress on the growth and the photosynthesis in *Alternanthera philoxeroides* (Amaranthaceae) [J]. *Acta Bot Yunnan*, 2007, **29**(1): 85 – 90.
- [28] 朱金文. 高锰胁迫下空心莲子草的生理生化特性和草甘膦耐性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
ZHU Jinwen. *Physiological and Biochemical Characteristics and Glyphosate Tolerance of Alligator Weed (Alternanthera philoxeroides) Under Manganese Stress* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.
- [29] 肖强, 高建明, 罗立廷, 等. 干旱胁迫对空心莲子草抗氧化酶活性和组织学的影响[J]. 生物技术通讯, 2006, **17**(4): 556 – 559.
XIAO Qiang, GAO Jianming, LUO Liting, *et al.* Effects of drought stress on the activities of anti-oxidant enzymes and histology in *Alternanthera philoxeroides* [J]. *Lett Biotechnol*, 2006, **17**(4): 556 – 559.
- [30] 黄永杰, 杨红飞, 杨集辉, 等. 铜胁迫对水花生生长及活性氧代谢的影响[J]. 生态学杂志, 2009, **28**(6): 1112 – 1116.
HUANG Yongjie, YANG Hongfei, YANG Jihui, *et al.* Effects of Cu stress on *Alternanthera philoxeroides* growth and reactive oxygen species metabolism [J]. *Chin J Ecol*, 2009, **28**(6): 1112 – 1116.
- [31] NAQVI S M, RIZVI S A. Accumulation of chromium and copper in three different soils and bioaccumulation in an aquatic plant, *Alternanthera philoxeroides* [J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 2002, **65**(1): 55 – 61.
- [32] SULTAN S E, BAZZAZ F A. Phenotypic plasticity in *Polygonum persicaria* (III) the evolution of ecological breath for nutrient environment [J]. *Evolution*, 1993, **47**(4): 1050 – 1071.
- [33] 耿宇鹏, 张文驹, 李博, 等. 表型可塑性与外来植物的入侵能力[J]. 生物多样性, 2004, **12**(4): 447 – 455.
GENG Yupeng, ZHANG Wenju, LI Bo, *et al.* Phenotypic plasticity and invasiveness of alien plants [J]. *Chin Biodivers*, 2004, **12**(4): 447 – 455.
- [34] PAN Xiaoyun, GENG Yupeng, ZHANG Wenju. Cover shift and morphological plasticity of invasive *Alternanthera philoxeroides* along a riparian zong in south China [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2006, **30**(5): 835 – 843.
- [35] 李保平, 孟玲. 杂草生物防治中天敌昆虫寄主专一性测定及其风险分析[J]. 中国生物防治, 2006, **22**(3): 161 – 168.
LI Baoping, MENG Ling. Host-specificity test for weed biological control agents and potential risk analysis [J]. *Chin J Biol Contr*, 2006, **22**(3): 161 – 168.
- [36] 宋莉英, 吴海昌, 彭少麟. 二氧化碳浓度升高对植物入侵的影响[J]. 生态环境, 2006, **15**(1): 158 – 163.
SONG Liying, WU Haichang, PENG Shaolin. Studies on effects of elevated atmospheric CO₂ on plant invasion [J]. *Ecol Environ*, 2006, **15**(1): 158 – 163.
- [37] WELTZIN J F, BELOTE R T, SANDERS N J. Biological invaders in a greenhouse world: will elevated CO₂ fuel plant invasions? [J]. *Front Ecol Environ*, 2003, **1**(3): 146 – 153.
- [38] 余柳青, FUJII Youshiharu, 周勇军, 等. 水生生物型空心莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*) 对环境因子的反应及与水稻的竞争[J]. 中国水稻科学, 2007, **21**(2): 209 – 214.
YU Liuqing, FUJII Youshiharu, ZHOU Yongjun, *et al.* Response of aquatic *Alternanthera philoxeroides* to environment factors and its competition with rice [J]. *Chin J Rice Sci*, 2007, **21**(2): 209 – 214.
- [39] 甄伟伟. 空心莲子草浸提液对三种作物化感效应的研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2012.
ZHEN Weiwei. *Reserch on Allelopatic Effects of Extracts from Alternanthera philoxeroides on Three Kinds of Crops*

- [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2012.
- [40] LU Xinmin, SIEMANN E, SHAO Xu, *et al.* Climate warming affects biological invasions by shifting interactions of plants and herbivores [J]. *Global Change Biol*, 2013, **19**(8): 2339 – 2347.
- [41] 叶梅荣, 孙玉林. 2 种除草剂对空心莲子草的防除效果比较[J]. 中国林副特产, 2010, **6**(1): 24 – 26.
YE Meirong, SUN Yulin. Effects of two herbicides on *Alternanthera philoxeroides* [J]. *For By-Prod Spec China*, 2010, **6**(1): 24 – 26.
- [42] 朱永群, 杜周和, 左艳春, 等. 空心莲子草的化学防治研究[J]. 西南农业学报, 2008, **21**(6): 1706 – 1710.
ZHU Yongqun, DU Zhouhe, ZUO Yanchun, *et al.* Study on chemical control on *Anararanthaceae philoxeroides* [J]. *Southwest China J Agric Sci*, 2008, **21**(6): 1706 – 1710.
- [43] 马明勇, 傅建炜, 朱道弘, 等. 不同除草剂对空心莲子草的控制作用评价[J]. 植物保护, 2009, **35**(4): 154 – 157.
MA Mingyong, FU Jianwei, ZHU Daohong, *et al.* Control effects of three herbicides on the alligator weed, *Alternanthera philoxeroides* [J]. *Plant Prot*, 2009, **35**(4): 154 – 157.
- [44] SAINTY G, McCORKELLE G, JULIEN M. Control and spread of alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb., in Australia: lessons for other regions [J]. *Wetland Ecol Manage*, 1998, **5**(3): 195 – 201.
- [45] 马瑞燕, 王韧. 不同生态型的喜旱莲子草对莲草直胸跳甲化蛹能力的影响[J]. 植物生态学报, 2004, **28**(1): 24 – 30.
MA Ruiyan, WANG Ren. Effect of morphological and physiological variations in the ecotypes of alligatorweed, *Alternanthera philoxeroides* on the population rate of its biocontrol agent *Agasicles hygrophila* [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2004, **28**(1): 24 – 30.
- [46] SUN Yan, DING Jianqing, REN Mingxun. Effects of simulated herbivory and resource availability on the invasive plant, *Alternanthera philoxeroides* in different habitats [J]. *Biol Contr*, 2009, **48**(3): 287 – 293.
- [47] 王星, 李密, 黄国华. 取食空心莲子草的 3 种野螟记述[J]. 中国农学通报, 2010, **26**(23): 302 – 304.
WANG Xing, LI Mi, HUANG Guohua. Notes on three Herpetogramma species feeding on *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.[J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2010, **26**(23): 302 – 304.
- [48] HARPOLE W S. Resource-ratio theory and the control of invasive plants [J]. *Plant Soil*, 2006, **280**(1/2): 23 – 27.
- [49] 陈慧丽, 李玉娟, 李博, 等. 外来植物入侵对土壤生物多样性和生态系统过程的影响[J]. 生物多样性, 2005, **13**(6): 555 – 565.
CHEN Huili, LI Yujuan, LI Bo, *et al.* Impacts of exotic plant invasions on soil biodiversity and ecosystem processes [J]. *Chin Biodivers*, 2005, **13**(6): 555 – 565.
- [50] WU Yutong, WANG Chenghuan, ZHANG Xiaodong, *et al.* Effects of Saltmarsh Invasion by *Spartina Alterniflora* on Arthropod Community Structure and Diets [J]. *Biol Invasions*, 2009, **11**(3): 635 – 649.
- [51] APLET G H. Alteration of earthworm community bio-mass by the alien *Myrica faya* in Hawaii [J]. *Oecologia*, 1990, **82**(3): 414 – 416.
- [52] KOURTEV P S, HUANG W Z, EHRENFELD J G. Differences in earthworm densities and nitrogen dynamics in soils under exotic and native plant species [J]. *Biol Invasions*, 1999, **1**(2/3): 237 – 245.
- [53] 陈雯, 李涛, 郑荣泉, 等. 加拿大一枝黄花入侵对土壤动物群落结构的影响[J]. 生态学报, 2012, **32**(22): 7072 – 7081.
CHEN Wen, LI Tao, ZHENG Rongquan, *et al.* Effects of the invasion by *Solidago canadensis* L. on the community structure of soil animals [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, **32**(22): 7072 – 7081.
- [54] BELNAP J, PHILLIPS S L. Soil biota in an ungrazed grassland: response to annual grass (*Bromus tectorum*) invasion [J]. *Ecol Appl*, 2001, **11**(5): 1261 – 1275.
- [55] FRENCH K, MAJOR R E. Effect of an exotic *Acacia* (Fabaceae) on ant assemblages in South African Fynbos [J]. *Aust Ecol*, 2001, **26**(4): 303 – 310.
- [56] 类延宝, 肖海峰, 冯玉龙. 外来植物入侵对生物多样性的影响及本地生物的进化响应[J]. 生物多样性, 2010, **18**(6): 622 – 630.
LEI Yanbao, XIAO Haifeng, FENG Yulong. Impacts of alien plant invasions on biodiversity and evolutionary responses of native species [J]. *Biodiversity Sci*, 2010, **18**(6): 622 – 630.
- [57] 陈磊, 蔡笃程, 陈青, 等. 喜旱莲子草生物防治作用物资源及其控制作用[J]. 中国生物防治, 2009, **25**(3): 271 –

- 275.
- CHEN Lei, CAI Ducheng, CHEN Qing, *et al.* Biological control agents and their controlling efficiency on *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb [J]. *Chin J Biol Contr*, 2009, **25**(3): 271 – 275.
- [58] 向梅梅, 曾永三, 刘任, 等. 莲子草假隔链格孢的寄主范围及对空心莲子草的控制作用[J]. 植物病理学报, 2002, **32**(3): 286 – 287.
- XIANG Meimei, ZENG Yongsan, LIU Ren, *et al.* Host range, condition for conidium-producing and efficacy alligator-weed of *Nimbya alternantherae* [J]. *Atca Phytopathol Sin*, 2002, **32**(3): 286 – 287.
- [59] 刘长河, 陈志谊, 聂亚锋, 等. 喜旱莲子草生防真菌 SF-193 分生孢子萌发条件及其侵入过程[J]. 中国生物防治, 2010, **26**(2): 154 – 159.
- LIU Changhe, CHEN Zhiyi, NIE Yafeng, *et al.* Conidial germination and infection process of biocontrol-fungi strain SF-193 on *Alternanthera philoxeroides* [J]. *Chin J Biol Contr*, 2010, **26**(2): 154 – 159.
- [60] 聂亚锋, 陈志谊, 刘永锋, 等. 假隔链格孢(*Nimbya alternantherae*)SF-193 防除空心莲子草田间高效使用技术研究[J]. 植物保护, 2008, **34**(3): 109 – 113.
- NIE Yafeng, CHEN Zhiyi, LIU Yongfeng, *et al.* High-efficiency application technology with the fungus *Nimbya Alternanthera* SF-193 against *Alternanthera philoxeroides* in the field [J]. *Plant Prot*, 2008, **34**(3): 109 – 113.
- [61] 郑燕梅, 王源超, 乔广行, 等. 水花生病原真菌的筛选与生防潜力的研究[J]. 南京农业大学学报, 2006, **29**(2): 57 – 60.
- ZHENG Yanmei, WANG Yuanchao, QIAO Guangxing, *et al.* Isolation and evaluation of pathogenic fungus WNJ01 as a potential bioherbid to *Alternanthera philoxeroides* [J]. *J Nanjing Agric Univ*, 2006, **29**(2): 57 – 60.
- [62] 庄义庆, 何东兵, 王源超, 等. 水花生病原菌——蕉斑镰刀菌菌株的筛选及其致病性测定[J]. 中国生物防治, 2008, **24**(3): 262 – 266.
- ZHUANG Yiqing, HE Dongbing, WANG Yuanchao, *et al.* Screening and pathogenicity test of *Fusarium stoveri* isolated from *Alternanthera philoxeroides* [J]. *Chin J Biol Contr*, 2008, **24**(3): 262 – 266.
- [63] 桑卫国. 我国外来杂草入侵特点的初步分析[J]. 中国农业科技导报, 2002, **4**(5): 59 – 61.
- SANG Weiguo. Primary analysis of invasive characteristics of alien weeds in China [J]. *Rev China Agric Sci Technol*, 2002, **4**(5): 59 – 61.
- [64] 关广清, 韩亚光, 尹睿, 等. 经济植物替代控制豚草的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1995, **26**(3): 277 – 283.
- GUAN Guangqing, HAN Yaguang, YIN Rui, *et al.* Studies on displacing and controlling of the ragweeds with economic plants [J]. *J Shenyang Agric Univ*, 1995, **26**(3): 277 – 283.
- [65] 李永慧. 入侵植物喜旱莲子草对南方菟丝子寄生的生态响应研究[D]. 太原: 山西师范大学, 2012.
- LI Yonghui. *Ecological Response of Alternanthera philoxeroides to the Local Parasitic Cuscuta australis* [D]. Taiyuan: Shanxi Normal University, 2012.
- [66] 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 *Melia azedarach* and *Oenanthe javanica* [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2014, **31**(3): 442 – 449.
- [67] 李娟, 刘伟, 杜静丽. 芦苇水提物对喜旱莲子草化感作用分析[J]. 上海化工, 2012, **37**(8): 1 – 2.
- LI Juan, LIU Wei, DU Jingli. Study of reed aqueous extract's allelopathy on *Alternanthera philoxeroides* [J]. *Shanghai Chem Ind*, 2012, **37**(8): 1 – 2.