

空心莲子草在我国的适应性及入侵机制

翁伯琦, 林 嵩, 王义祥

(福建省农业科学院农业生态研究所, 福建 福州 350013)

摘要:空心莲子草是入侵我国的重要杂草之一, 它在我国能广泛传播和迅速蔓延, 与其自身特有的形态生理适应性、强大的繁殖特性和竞争力, 以及传入地缺乏自然控制机制密切相关。空心莲子草从其原产地过渡到新的侵入地的过程中, 在生态环境适应方面发生重大变化, 产生一系列的形态结构、生理过程, 以求适应陆地生活条件。其表型可塑性使得空心莲子草有更宽的生态幅, 可利用的潜在资源范围也随之扩展; 强大的营养繁殖能力, 使其迅速产生大量的后代, 在失去自然天敌调控的情况下, 尤为适应其侵入种的生长、繁殖、发展和传播, 种群数量的激增又会加速其传播扩散速度, 导致空心莲子草爆发成灾。在综述空心莲子草在形态、生理、繁殖的适应性特征及天敌因素和入侵特性的基础上, 根据前人的有关论述, 分析了空心莲子草在我国的适应性特征及入侵机制, 指出了空心莲子草在我国适应性及入侵机制应着重研究的方向, 提出了综合治理和充分利用空心莲子草的对策。

关键词:空心莲子草; 适应性; 入侵; 机制; 表型可塑性

文章编号: 1000-0933(2006)07-2373-09 中图分类号: S451, Q948 文献标识码: A

Discussion on adaptability and invasion mechanisms of *Alternanthera philoxeroides* in China

WENG Bo-Qi, LIN Song, WANG Yi-Xiang (Agricultural Ecology Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2373 ~ 2381.

Abstract: *Alternanthera philoxeroides* is regarded as one of the worst weeds in China because of its invasiveness, potential for spreading, and economic and environmental impacts. It is a especially troublesome weed and invades both land and water, and it is very difficult to control. When growing on land it displaces other more favorable plants such as crops or native vegetation, and can be harmful to animals. When growing in fresh water, it can cover the entire water surface. Weed mats can also reduce oxygen exchange, affecting water plants and animals and reducing water quality. A successful invasion of *Alternanthera philoxeroides* not only depends on its bio-ecological of invasion, but also concerns the lack of nature control very nearly. The study on the invasive mechanism of *Alternanthera philoxeroides* will be beneficial for the prediction and management of this weed. *Alternanthera philoxeroides* grows and spreads quickly and does great harm to plant and animal in China due not only to its adaptability in morphologic and physiological, to its strong progenitive and rival capability, but also to the absence of natural controlled mechanisms. *Alternanthera philoxeroides* threatened the production and life of local people, did a lot of damage to the ecological systems, and affected the biodiversity. The mechanisms of *Alternanthera philoxeroides* spreading rapidly in China were their strong reproductive ability, adaptation and resistance, along with strong competitive ability and specific character, also with the resistance to barrenness and pollution and short of local competently competitive organisms or natural enemies. The anatomical structure of the organ of *Alternanthera philoxeroides* has both terrestrial characters and aquatic characters and the direction to which it is to develop will be determined by the water conditions in its habitats. The morphologic, physiological, progenitive adaptability of

基金项目:福建省科学技术厅重点资助项目(2003N044, 2005N029)

收稿日期:2005-12-22; **修订日期:**2006-05-18

作者简介:翁伯琦(1957~), 男, 福建福州人, 研究员, 主要从事土壤肥料与生态农业技术研究. E-mail: boqiwen@yahoo.com.cn

Foundation item: The project was supported by Fujian Provincial Science & Technology Department Key Project(No. 2003N044, 2005N029)

Received date: 2005-12-22; **Accepted date:** 2006-05-18

Biography: WENG Bo-Qi, Professor, mainly engaged in soil fertilizer and agricultural ecology. E-mail: boqiwen @ yahoo . com . cn

Alternanthera philoxeroides are reviewed in this paper. Main research direction in genetic foundation of adaptability and invasion mechanisms of *Alternanthera philoxeroides* in China is pointed out. And the study on the heredity structure of alligator weed should be combined with its adaptability and phenotype plasticity in China, which be propitious to identify the essence of successful invasion of *Alternanthera philoxeroides*. In terms of integrated control and utilization countermeasure, five aspects advanced in the paper are as follows: (1) it is principal to completely realize the distribution and harms of *Alternanthera philoxeroides* in China and collect correlative information; (2) it is essential to shut off the invasion approaches of alligator weed; (3) it is one of the effective measures to correctly choose biological and chemical herbicide and reduce secondary pollution; (4) natural enemies may be introduced or bred; (5) the study on the innocuous utilization of *Alternanthera philoxeroides* is probably effective control strategies. For example, study on decomposed water *Alternanthera philoxeroides* to be used as basal manure for crops should be carried out, and the technology of the weeds to be used as the material to produce the edible fungi and used as herbal medicine should be studied. The study on invasion of *Alternanthera philoxeroides* has already drawn scientists' attention now. So the paper is very important to summarize the past results, and the management approaches and strategies of *Alternanthera philoxeroides* suggested in this paper are also used for references.

Key words: *Alternanthera philoxeroides*; adaptability; invasion; mechanisms; phenotypic plasticity.

空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides* Griseb),属苋科、莲子属,又称喜旱莲子草、水花生、革命草,英文名 *Alligator weed*,称之为鳄鱼草。空心莲子草是多年生宿根草本植物,由于其广泛的适生性(水陆两栖均可生长)及繁殖迅速,蔓延速度快,已传播到华东、华中、华南和西南等地区,北至吉林,南至广东的 20 多个省、市、自治区都能找到空心莲子草的足迹^[1-4],现已沦为野生杂草。该草常常形成单一的优势群落,陆生型排挤了本土植物的正常生长,危害当地的生物多样性,在农田中与农作物争夺阳光、水分、肥料以及生长空间,造成减产,影响农田作业,同时,其群落内部本土植物的生长空间受到限制。该草在水生环境中生长迅速,覆盖水域,堵塞水道、影响淡水养殖和农田灌溉,成为世界公认的恶性杂草之一^[1-4],已被列入国家环保总局 2003 年公布的“中国第一批外来入侵生物名单”。空心莲子草之所以在我国能传播广泛,迅速蔓延,危害猖獗,与其自身特有的生态适应性、强大的繁殖特性和竞争力,以及传入地缺乏自然控制机制密切相关。本文通过空心莲子草的生物学和生态学特征探索其对生境的适应性机制及入侵特性。

1 空心莲子草在我国的适应性及入侵的主要特点

1.1 空心莲子草形态及组织结构上的适应性

1.1.1 空心莲子草的形态及对生境的适应性 空心莲子草上端直立,上部伸展,中空,有分枝,节腋处疏生细柔毛,节处生根,叶对生,长圆状倒卵形或倒卵状披针形,先端圆钝,有芒尖,基部渐狭,表面有贴生毛,边缘有睫毛。空心莲子草的根系属不定根系,不定根可进一步发育成肉质贮藏性根,即宿根,根直径 1cm 左右。头状花序单生于叶腋,具长梗,约 2~4cm,苞片和小苞片干膜质,宿存,花白色,花被 5 片,雄蕊 5 枚,基部合生成杯状;子房倒卵形,柱头头状,胞果圆形,成熟时黑色^[5]。

空心莲子草适应于水生和陆生的环境,在不同环境中,外形及解剖结构有较大差异,并且具有与环境条件相适应的生长发育特点和形态结构。水生生境中,空心莲子草为直立生长,湿生型和中生型空心莲子草为匍匐向前生长;旱生型空心莲子草为半直立半匍匐^[6]。水生型植株无根毛,茎长达 1.5~2.5m。陆生型植株可形成直径达 1cm 左右的肉质贮藏根,有根毛,株高一般 30cm,茎秆坚实,节间最长 15cm,直径 3~5mm,髓腔较小。水生型空心莲子草只有不定根,不形成根茎(主根)。湿生型空心莲子草可以形成少量的根茎,仍以不定根为主,根茎很少有芽^[5]。水生型空心莲子草一旦转移到湿生和中生生境中,其根系组成也会发生相应变化,形成与之生存环境相适应的主根,而湿生和中生甚至旱生型空心莲子草在水体环境中,产生大量须根,适应水生环境,这便是空心莲子草具有极强适应能力的一个特点^[6]。

空心莲子草茎反复分枝形成六边形或三角形的单元网络空间构型,这种空间构型有利于空心莲子草充分利用资源,增强对生境的适应能力^[7]。湿生型空心莲子草分枝强度显著高于水生型、中生型和旱生型^[6]。陶

勇等^[8]对3种生境类型(旱生型、挺水型、漂浮型)条件下的空心莲子草对水因子变化的形态适应机理研究结果表明,旱生型空心莲子草以地上部生长为主,然后才是根,形态上表现出的分枝较多;漂浮型的生长以增加群体在水体中的稳定性为主,形态上表现出茎增粗、根数量增多等特点;挺水型所处的环境介于两者之间,因而所表现出的形态特点也介于两者之间。空心莲子草形态对水分变化的不同反应是水分对空心莲子草作用的结果,也是它适应环境的结果^[9]。

1.1.2 器官组织结构上的适应性 根在结构上的适应性 根具有吸收、输送、贮藏、固着的功能,空心莲子草的根还具有繁殖的作用。娄远来等^[10]对空心莲子草根结构观察研究表明,空心莲子草的根除具有正常的初生和次生结构外,还有由额外形成层分化产生的三生构造,额外形成层分化产生多轮三生维管束和它们之间的薄壁结合组织。在三生结构中,含有大量的径向和切向的薄壁结合组织,这些结构特点可以使水分和营养物质能够迅速地疏导,并且将营养物质贮藏在地下的薄壁细胞结合组织中,因此当地下的肉质根即使互相切断,也可以有足够的营养供给不定芽的生长,为不定芽的发育提供了充分的营养。因此,食草动物的啃食或人工刈割难以阻止空心莲子草地下根部的营养供给。

茎在结构上的适应性 茎的主要功能是起输导作用和支持作用,茎可将根所吸收的物质输送到植物体的各个部分,同时也能把植物在光合作用过程中的产物输送到植物体所需的各个地方。陶勇等^[11]研究了空心莲子草茎的解剖结构对水分变化的适应。当水分减少到旱生状态时,厚角细胞的层数、韧皮纤维的束数显著增多;随着水分的逐级减少厚角细胞壁厚度却呈现逐级极显著增大的趋势,韧皮纤维细胞壁的厚度也表现出增加的趋势;茎表皮蜡质层厚度随水分逐级减少呈现出逐级显著或极显著增加的趋势,水分稍有减少就能在结构上表现出明显的保水反应。导管直径随着水分的增加呈极显著增加而导管束数却减少。在旱生环境中,导管数量增加既补偿了因导管的直径小造成的输导功能的不足,满足了旱生状态下对水分的需求,也增加了茎的支持能力。从茎的横切面观察,皮层薄壁细胞相邻的壁消失形成大小不一的空腔以及髓区薄壁细胞形成完整的空腔,又表现出一定的水生结构特点,以此推断空心莲子草对水分因子具有较宽适应幅度,茎组织结构的变化反映了空心莲子草对水分变化的适应特征^[11]。

叶片结构的适应性 空心莲子草能够在不同的生境条件下迅速蔓延,与其叶片的结构适应性的特点有一定的相关性。张彪等^[9]在不同生境下观察空心莲子草的叶片结构发现,空心莲子草在水生和旱生两种生境下叶片组织的形态结构有较大的差异,在旱生条件下,叶片角质层增厚,气孔下陷,栅栏组织分层且细胞排列紧密等,叶片结构表现出空心莲子草对旱生环境的明显适应;在水生条件下,叶片角质层薄,栅栏组织仅有一层细胞且细胞较大、排列疏松等,表现出了明显的适应水生环境的特点;不同生境叶片结构差异表明了空心莲子草具有适应不同生境的能力。

在我国空心莲子草的形态多样性是由于变异造成的,还是由于空心莲子草本身的形态可塑性所致,许多学者对空心莲子草在我国的遗传多样性进行了研究,并得出了相同的结论^[12~14]。尽管空心莲子草在我国分布非常广泛,但 RAPD、ISSR 分析结果显示其遗传多样性极端低。这表明低的遗传多样性没有影响空心莲子草在我国的成功入侵,其分布区迅速的扩大很可能是自引入后其大量无性繁殖的结果。Xu CY 等研究认为,对一个外来种来讲,其逃离天敌、与土著种的有利竞争和因杂交带来的新特性等适应性可以临时弥补其低遗传多样性的不利条件。然而预测因无性系低遗传变异引起的长期效应是比较困难的。另一方面,所观测到的遗传变异可能是入侵种类的结果而不是入侵的原因。许多带有有利基因型的无性繁殖系可能是其新群体的基本成分,尽管这些无性繁殖系的遗传变异性非常低。以上表明入侵种的成功本质上应当归功于有利的入侵基因型而不是遗传多样性。由此认为,对一个入侵种的生存来说,对当前环境的强的适应能力比其具有丰富的遗传多样性更为重要^[12]。

1.2 对环境条件的生理适应性

成功的外来种对各种环境因子的适应幅度较广,对环境有较强的忍耐力^[15],外来种在一些环境中获得对土著种的竞争优势,或能占据土著种不能利用的生态位^[16]。空心莲子草对营养和水分没有特殊的选择,在贫

瘠的土壤或污染较重的水体生长良好^[5]。

空心莲子草抗逆性强,对低温胁迫不敏感。张格成等报道在日均温 10℃ 以下停止生长,根和地下匍匐茎在 -5 ~ 3℃ 时冷冻 3 ~ 4d 不死;当冬季水温降至 0℃ 时,水面的植株已冻死,但水下部分仍有生活力;当春季温度达 10℃ 时,地下茎根即可萌发生长^[2,3]。生长在贫瘠土壤中经 30d、35℃ 以上的高温和干旱,能照常生长,被铲除的根茎曝晒 1 ~ 2d 仍能存活;深埋 1m 以下的根茎,数年不死,仍能继续膨大生长。刘华等^[17] 实验结果表明,水生环境下空心莲子草营养器官的抗氧化物质含量高于陆生环境下空心莲子草相应营养器官的含量,这是植物体内一种生理生化的生态适应。许凯扬等^[18] 通过水分胁迫空心莲子草生理适应性实验,探讨空心莲子草水分胁迫的适应性机制,结果表明,空心莲子草在水分胁迫下,通过体内活性氧清除系统各酶类之间的相互协调维持活性氧代谢平衡,阻止或减弱膜脂过氧化的伤害,维持空心莲子草正常的水分需求、叶绿素含量并保护细胞膜不受损害。空心莲子草具有较强的抗酸碱能力,其适应范围为 pH5 ~ 10 之间,最适范围为 pH6 ~ 8 之间,故植株能在各种环境中生长繁殖^[2]。空心莲子草对一定浓度的铜污染有逐步的适应能力,对低浓度 Cu^{2+} (不大于 40mg/L) 显示出较强的抗性和净化功能^[19],空心莲子草甚至可在无氧及 H_2S 和甲烷排放量高的污水环境中茂盛生长^[20]。

空心莲子草对光的适应范围比较广,无论在光线下,还是在荫蔽的地方都能生长^[5]。试验观察表明,空心莲子草在不同的生境中表现出竞争能力与其能在不同的光照下成功生长有明显的相关性^[21]。另有实验结果表明,空心莲子草具有耐受高浓度盐的能力^[22-24],在相对高盐浓度下细胞恢复能力比较强,Bolanos 等^[25] 研究发现根际的盐浓度从 50mmol/L 升高到最终的 400mmol/L 时,空心莲子草的水势降低,也就是说空心莲子草可以通过渗透调节而忍耐根际的盐度升高。但自然环境中没有观察到空心莲子草在高浓度盐的环境中生长^[25]。

1.3 生长与繁殖的适应性

入侵种一般都具有繁殖率高、扩展蔓延速度快等特点^[26]。空心莲子草具有发达的营养器官,生物量很大,春季温度适宜时,其旱地肉质贮藏根上可生长 10 余个不定芽^[2]。张格成等^[3] 报道,该草在重庆 5 ~ 10 月生长 162d,其重量可增加 20.4 ~ 165.7 倍,分枝数增加 4 ~ 9 倍,茎节数增加 26 ~ 25.9 倍,长度增长 7.1 ~ 37.3 倍,叶片数增加 3.58 ~ 14.2 倍;株日增重 1.2 ~ 2.4g,平均 1.56g;叶片日增长 0.6 ~ 4.2 张,平均 2.03 张,植株长度日增长 1.1 ~ 6.9cm,平均 4.26cm;夏季长度增加快,秋季主要是增加重量。Julien 等报道^[27] 在澳大利亚该草生长高峰期每天可生长 2 ~ 4cm。空心莲子草的地上部具有很强的蔓延能力,在湿润即土壤含水量适中的生境中空心莲子草生长速度比在干旱或水生环境中快、长势更好^[28]。娄远来等报道^[10],空心莲子草肉质根上不定芽较多,每 10cm 空心莲子草根上有 6 个不定芽,15 条不定根,表明植株的吸收能力强,促进了地上部分的光合,同时也促进了地下部分的积累,使其具有很强的克隆繁殖能力。

空心莲子草花期长,长江中下游地区 4 月份初花,花期可持续至翌年 1 月^[5],重庆地区花期在 5 月上旬至 10 月下旬^[3]。空心莲子草结果率低,在澳大利亚空心莲子草没有结果现象^[29,30],在自然条件下没有观察到实生苗^[5],主要靠无性繁殖。空心莲子草营养繁殖,营养再生能力极强,陆生型可断裂生长成地面匍匐茎,多年生的地下匍匐茎节间短缩,节膨大,在节处可以反复生出幼芽到达地面成为新的幼苗。在地下 60 ~ 70cm 深处,仍有根茎的分布,此深处的根茎上仍可以有幼芽存在,芽体幼芽呈粉红色,逐渐伸长向地面生长,农田的翻耕则会促使地下匍匐茎与根茎的传播。地上长有大量的匍匐茎,夏秋季,牲畜啃食、割草在土壤的表面留下很多的断枝,只要有一定的水分即可在节处长出新的幼苗和不定根^[5]。水生型主要以断裂的茎进行繁殖,茎的每一个节处都可以长出新的幼苗,随着水流扩散,在较短的时间内就可以形成稳定的群落,在一个生长季内一小段茎可以形成 1 ~ 3m 宽的群落^[5,31]。空心莲子草匍匐茎和根状茎的繁殖能力很强,1 节根状茎、匍匐茎或 0.2cm 肉质状根片段均可以成活^[28],这种特性给机械和人工防除空心莲子草带来了困难。因为该草的残茎很难清除干净,且只要残茎上有节点存在,条件适宜即可长出新的幼苗^[5]。

2 空心莲子草分布的生境特征及入侵机制

2.1 空心莲子草分布的生境特征

空心莲子草分布的生境类型表现出多样化,淮虎银等^[32]研究报告,空心莲子草在水生生境能形成密度很大的优势种群,表现出沉水型和挺水型两种生态型,通常从岸边或池塘四周向河流或池塘中心生长,以挺水型空心莲子草为优势种形成的群落是影响水域养殖业和阻塞航道的主要因素。空心莲子草在陆地上的分布类型广泛,一些土著植物都难以生长的旱生环境中,空心莲子草仍可以成功地入侵、定居,并形成盖度、密度都比较大的单优势群落,在比较干旱的路旁和人工草坪中,空心莲子草的入侵均表现出一定的随机性。

营养丰富的水体或土壤中的空心莲子草的植株密度、叶面积、茎的直径、植株高度相应比低营养区域的大^[5]。林金成等^[33]研究报告了不同生境对空心莲子草种群密度的影响,在路边和田边开阔地以及小河、小沟和湖的岸边,面积广,光照充足,土壤含水量也较高,种群密度很大;土壤含水量一般,人为干扰程度不高的农田隔离带如田埂以及农田中的沟壑,其种群密度不如前者;在一些菜地和果园中,土壤含水量都较低,偶尔有人管理,但管理粗放,种群密度较小。表明了土壤含水量和人为干扰是影响空心莲子草种群密度的主要因素。林金成等^[40]研究还表明了人为干扰程度加强,空心莲子草空心莲子草的种群密度下降;自然或半自然生境条件下样地空心莲子草种群密度极显著高于人工生境。

多数情况下,一个入侵种对土著群落的影响首先决定于入侵者是否能够在新的生境中生存和繁衍,即群落的可入侵性^[34],入侵种与群落的作用关系决定入侵的成功与否^[35]。空心莲子草比较容易入侵人工草坪,而且很难被根除,该草入侵某一植被后所呈现出的斑块状镶嵌体往往是由于一个基株通过不断的克隆生长而形成^[32]。空心莲子草还容易入侵一些人为活动影响比较大的陆生环境,可通过克隆繁殖和克隆生长的方式在一些农田、田埂、休闲地(或撂荒地)等生境中形成优势群落^[32]。许凯扬等^[36]对空心莲子草在不同群落里的入侵过程进行研究,结果显示,物种功能群丰富的群落可入侵程度较低,功能群数目相同而物种多样性不同的群落可入侵性没有显著性差异,功能群特征不同的群落也表现出可入侵性的差异,生活史周期短的单一物种群落和有着生物固氮功能的豆科植物群落可入侵程度较高,与空心莲子草属于同一功能群且有着相似生态位的土著种莲子草(*A. sessilis*)对入侵的抵抗力最强。

2.2 空心莲子草入侵机制分析

生物对外界的适应是多方面的,有形态的、生理的、行为的和生态的适应^[37]。外来生物从其原产地过渡地到新的侵入地的过程中,在生态环境适应方面必然发生重大变化^[38]。一般认为,成功的外来种对各种环境因子的适应幅度较广,对环境有较强的忍耐力,这使得外来种在一些环境中获得对土著种的竞争优势或能占据土著种不能利用的生态位,从而成功入侵^[39]。文中空心莲子草对生境形态上的适应性,生境的主要因子是水环境,因为水分是植物生长过程中重要的限制因子,分析物种在不同水分条件下的形态、结构和生殖分配等方面的可塑性差异,可以从中了解该物种对水环境的适应机制^[6,40],空心莲子草在原产地主要分布于淡水生境中^[23],但当空心莲子草到达新的生境后能够在干旱的陆地上生存,从水生到陆生,空心莲子草产生了一系列的形态结构、生理过程来适应陆地生活条件。如水分的减少或在旱生生境中,空心莲子草表现出茎表皮蜡质层增厚,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等变化来适应旱生环境^[8~11]。对生境的适应性表明了空心莲子草克服生态适应性的限制因素,这是空心莲子草形成入侵的关键所在。

如果外来种原产地的生境与入侵地的环境相差大,只有那些可塑性大的物种可入侵成功^[41]。可以用表型可塑性来解释空心莲子草对环境变化的适应性,许凯扬等^[6]认为可塑性程度高其本身很可能就是入侵种入侵性的一个重要表现形式,和其他诸如高种群增长速率、无性繁殖能力极强等特征一样,可塑性对入侵种的成功入侵起着至关重要的作用。表型可塑性被认为是预测外来种入侵性的一个特征^[6,42],是生物适应变化的环境的重要方式,表型可塑性使得物种具有更宽的生态幅和更好的耐受性,以占据更加广阔的地理范围和更加多样化的生境,即成为生态位理论中的广幅种^[43,44],空心莲子草在不同的生境条件下表现出相当强的形态和

生理可塑性,表型可塑性使得空心莲子草有更宽的生态幅,其可利用的潜在资源范围也随之扩展,这是空心莲子草竞争力和入侵能力的一个外在特征体现。

入侵种的繁殖特性对其在新栖息地种群的建立起着很大作用。通常成功的外来种都有很强的繁殖能力,能迅速产生大量的后代,如:有很强的营养繁殖能力,能由碎片长成植株^[45],无性繁殖的机制适于植物在局部爆发、增加物种的竞争力,有利于排挤其他物种,使外来植物种群在群落中占据优势地位^[46],空心莲子草无性繁殖能力很强,其营养体的片段能进行营养繁殖,土壤的扰动不会影响空心莲子草的续存,相反有助于其繁殖传播^[47],空心莲子草的无性繁殖适应性,很好地解释了用机械防除和人工防除不但不能起到控制空心莲子草蔓延扩散,反而助长其大量繁殖的原因。

2.3 “逃离生物限制假说”及其解析

“逃离生物限制假说”认为,入侵种在新区域得以生存和繁衍,不是因为入侵种本身具有的特性所致,是由于它们偶然到达了不具备天敌或其它生物限制的新环境,从而迅速扩散造成灾害^[48]。对于入侵种来说,自然控制因素在其原产地可能是控制其种群数量的关键因子^[49]。但是,在失去自然天敌调控的情况下自然条件又非常适合其入侵种的生长、繁殖、发展和传播,种群数量的激增又会加速其传播扩散速度,导致入侵种爆发成灾^[25]。空心莲子草在我国最初是作为牧草和饲料引进的,属于人为有意引入,但其原产地的天敌没有同时被引进(即使原产地的天敌引入,这些天敌也未必就能适应新的环境),而空心莲子草在新的侵入地区又没有合适的天敌种类可以控制其蔓延,也就是说在我国空心莲子草失去了其固有的自然控制因素,造成了种群增长异常迅速。在失去自然天敌调控的情况下,生物控制机制丧失,导致外来种的种群数量大幅增加,而种群数量的骤增又加速了入侵种的入侵速度^[50],最终爆发成灾。试想一下,如果新的入侵地充满了对空心莲子草致命的天敌,那么,即使环境条件非常适宜空心莲子草的生长,其种群数量是不可能无节制的扩大的。因此,可以这样认为空心莲子草在我国境内缺乏有效的生物防治是其得以迅速蔓延的重要原因。

空心莲子草在原产地一般不出现单一群落和爆发性种群增长,是因为空心莲子草在其原产地有多种与其具有共生或寄生关系的天敌群落,分别取食空心莲子草的不同器官和组织^[51-53],一些专化性很强的天敌能够将空心莲子草的种群控制在一个比较合理的范围内,在数量上维持动态平衡。当空心莲子草离开原产地后,这种平衡有可能被打破。在我国,林冠伦^[2]曾报道了空心莲子草的天敌有如蚜虫、叶甲、龟甲、卷叶螟、夜蛾、灯蛾、蛴螬、负蝗、蜗牛、蛞蝓,但都因空心莲子草夏日生长速度快,天敌繁殖速度慢等原因,效果不佳;而虾钳菜披龟甲虽对空心莲子草上部细嫩部位表现嗜食性,但不取食茎秆,控制效果不理想^[2,51]。

我国于1986年从美国引进空心莲子草叶甲(*Agasicles hygrophila* Selma&Vogt),1987对空心莲子草叶甲进行了食性专一性测定。自1987年起陆续一些省份利用自然寄主繁殖和大量释放,对水生型空心莲子草的防治取得了很好效果,但空心莲子草叶甲对陆生型空心莲子草的防治效果不佳。由于空心莲子草叶甲生活史中无滞育现象^[54],其食性过于专一,冬季食料源少,在寒冬季节或突遇寒流,容易造成大量死亡^[39];且该草的适应区域广,而空心莲子草叶甲由于冬季受到限制,在自然环境中分布的区域受到限制,如长江流域以北许多冬季气温较冷地区空心莲子草能存活,而空心莲子草叶甲却不能,因此这些地区空心莲子草的防治仍然是个难题^[33]。另外,农田生态系统中大量使用化学杀虫剂,也是制约空心莲子草叶甲的种群数量发展的一个因素。

在微生物防治空心莲子草方面,已分离出一些对空心莲子草有致病作用的真菌,如炭疽病菌(*Alternaria alternantherae*)^[51,55,56]、假隔链格孢菌(*Nimbya alternantherae*)^[51,56,57]、莲子草柱隔孢(*Ramularia alternantherae*)^[51,58]等病原菌、炭疽菌(*Colletotrichum gloeosporioides*)^[51,56]、立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)及链格孢(*Alternaria* sp.)^[51,56]、镰刀菌(*Fusarium* sp.)^[51,59],这些微生物天敌处于研究筛选阶段,尚未被证实能在自然环境中能有效控制空心莲子草的蔓延。

3 结 语

空心莲子草在形态、生理、繁殖的适应性特征以及其入侵特性,表明了空心莲子草是典型的外来入侵种。入侵种适应性机制应包括入侵种适应性遗传学基础、生理生态适应性体现以及适应性繁殖机制。入侵种遗传

特性对于成功入侵是非常重要的,空心莲子草在国外有多种生物型^[51],不同的生物型空心莲子草的地理分布、形态特征、染色体数目都存在差异。在我国空心莲子草的生物型也有待于研究。虽然,空心莲子草遗传多样性研究也有过报道^[12,60],李媛媛等^[61]通过实验分析得出上海空心莲子草来源于同一克隆的结论,但是,就目前的研究,空心莲子草入侵的适应性遗传学基础研究有待于加强,今后应注重从分子生物学水平上对空心莲子草的适应性和入侵性进行研究,重点研究空心莲子草种群的遗传结构上的特殊性与适应性及表型可塑性等导致其入侵成功的因素结合起来,这样才能对适应性和入侵性的解释更加全面,更接近于本质。在已有研究的基础上,进一步探索空心莲子草根与茎的发育及芽体萌发机理。

空心莲子草适应性机制及入侵特性的研究对于有效地防止空心莲子草的扩散蔓延,对农业、淡水养殖业及水利等生态系统的保护具有十分重要的意义。此外,研究并发展资源利用型的综合防治技术,也是减少空心莲子草传播的重要手段。空心莲子草的钾素含量很高,含 K_2O 绿色体平均的 0.57%,是一般作物秸秆的 10 倍左右,是很好的生物钾肥资源,沤制空心莲子草化废、害为宝产生良好的生态、社会、经济效益^[62],且空心莲子草中的钾缓慢释放,不易被粘土矿物固定,与等量 K_2O 的 KCl 相比,提高土壤有效钾的效果更好,对土壤有效磷也有良好作用。但是,关键要解决空心莲子草沤制工艺,使其不致再生形成草害。王德之等报道,利用空心莲子草栽培黑木耳可降低成本投入,经济效益可观^[63]。空心莲子草是很好的药源植物,空心莲子草鲜用有清热、凉血、利尿、解毒作用,可治肺病结核咳血、淋浊、麻疹、乙型脑炎、带状疱疹、疔疖和蛇咬伤,而且使用简便;空心莲子草对主要的流感病毒,如甲型流感病毒、乙型流感病毒和副流感病毒等都有抑制作用^[64,65]。

就综合防治与利用对策而言,要切实实际把握好 5 个环节:(1)分区分类普查,全面了解分布状况及危害状况,编制统筹防治规划,建立空心莲子草等恶性外来物种信息库(包括其分布、生物生态学特性、控制方法与技术、国外的防治与预防的经验),并长期维持与更新信息,以便指导各有关部门的工作^[66]。(2)切断入侵途径,空心莲子草主要造靠无性繁殖,因此,防范的关键在于切断人为引种的渠道,以防远距离传播;采用生物防治和化学防除相结合的方式进行综合治理,机械铲除的关键就是要解决有效铲除地下部分和营养体片段销毁的问题,要防止机械或人工防除造成地下根或残茎的传播;在空心莲子草生存的环境中组建合适的植物群落,利用植物间相互制约的特点限制其导管腔和髓腔的分化,可作为治理入侵蔓延,减轻危害的途径^[11]。(3)科学筛选防治药品,注重解决高效、低毒、对空心莲子草高度的专一性及能有效杀灭地下部分的农药,同时应考虑避免造成二次污染。(4)在生物防治方面应积极引进和开发新的天敌资源,应用专一性且不易造成新的生物入侵的天敌,培育适应当地的耐寒空心莲子草叶甲,对已发现的有潜力的微生物天敌,要进一步加大天敌的实际应用研究。(5)开展对空心莲子草的无害化利用研究,利用空心莲子草具有迅速形成植被覆盖以及其含生物量大且钾素高的特点,改进沤制工艺,提供农作物基肥;同时,要积极探索空心莲子草在中医药领域及食用菌生产的开发利用,力求变废为宝,提高有效防治效率,在综合治理中使经济效益、生态效益得以统一。

References:

- [1] Wang R, Wang Y. The discussion on feasibility of biological control and occurrence of *Alternanthera philoxeroides* in the south China. *J Weed Sci*, 1988, 3(1): 36 ~ 40.
- [2] Lin G L, Yang Y Z, Hu J S. Biology and control of the alligator weed. *Jiangsu Agricultural Research*, 1990, 11(2): 57 ~ 63.
- [3] Zhang G C, Li J X, Chen X H. Primary biology of alligator weed. *Weed Sci*, 1993, 2: 10 ~ 12.
- [4] Tan W Z. *Alternanthera philoxeroides* in the level and perpendicularities of China. *Journal of Weed Science*, 1994, 8 (2): 30 ~ 31.
- [5] Liu C H, Yu D. Invade mechanism and controls of *Alternanthera philoxeroides*. In: Xu R M, Ye W H, eds. *The theories and practice of biological invasion*. Beijing: Science Press, 2004. 219 ~ 235.
- [6] Xu K Y, Ye H, Li J, Huang Z L, et al. Phenotypic plasticity in response to soil water content in the invasive species *Alternanthera philoxeroides*. *Journal of Central China Normal University (Natural Sciences.)*, 2005, 39(1): 100 ~ 103.
- [7] Zhang X Y, Ye Y Z, Zhang X P, et al. The reproductive and invasive characteristics of *Alternanthera philoxeroides*. *Henan Science*, 2004, 22(1): 61 ~ 62.
- [8] Tao Y, Chen S F, Jiang M X. Morphological adaptation of *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) griseb to the change of water. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2004, 13(5): 454 ~ 459.
- [9] Zhang B, Jin Y G, Huai H Y, et al. Comparison leafy anatomical structure of *Alternanthera philoxeroides* under two habitats. *Weed Sciences*, 2001, 4: 6 ~ 8.
- [10] Lou Y L, Wan G Q Y, Deng Y Y, et al. The developmental anatomical study on anomalous in the root and adventitious buds of *Alternanthera philoxeroides*.

- Guihaia, 2004, 24 (2): 125 ~ 127.
- [11] Tao Y, Jiang M X. Study on anatomical structure adaptation of stem of *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb to various water condition. Journal of Wuhan Botanical Research, 2004, 22 (1): 65 ~ 71.
- [12] Xu C Y, Wen J U, Zhang W J, *et al.* Genetic diversity of alligator weed in China by RAPD analysis. Biodiversity and Conservation, 2003, 12(4): 637 ~ 645.
- [13] Ye W H, Mu H P, Cao H L, *et al.* Genetic structure of the invasive *Chromolaena odorata* in China. Weed Research, 2004, 44: 129 ~ 135.
- [14] Wang B R, Li W G, Wang J B. Genetic diversity of *Alternanthera philoxeroides* in China. Aquatic Botany, 2005, 81(3): 277 ~ 283.
- [15] Hertling U M, Lubke R A. Assessing the potential for biological invasion the case of *Ammophila arenaria* in South Africa. South African Journal of Science, 2000, 96 (9 ~ 10): 520 ~ 527.
- [16] Elton C S. The ecology of invasions by animals and plants. London: Methuen and Co Ltd, 1958. 181.
- [17] Liu H, Wu G R, Lu C Z, *et al.* Comparison of contents of antioxidant compounds of *Alternanthera philoxeroides* in aquatic and terrestrial environments. Guihaia, 2003, 23(3): 279 ~ 281.
- [18] Xu K Y, Ye W H, Duan X W, *et al.* Physiological adaptation of *Alternanthera philoxeroides* under water stress condition induced by polyethylene glycol. Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences), 2004, 30 (3): 271 ~ 277.
- [19] Yan S Z, Liang D, Peng X J. A research on the tolerance and purification ability of eight aquatic plants in heavy metal(Cu) contaminated sewage. China Environmental Science, 1990, 10(3): 166 ~ 170.
- [20] Sainty G R, McCorkelle G, Julien M H. Control and spread of alligator weed, *Alternanthera philoxeroides*, in Australia: lesson for other regions. Wetlands Ecol & Manage, 1998, 5: 195 ~ 201.
- [21] Longstrech D J, Strain B R. Effects of salinity and illumination on photosynthesis and waterbalance of spartina alterniflora Loisel, Oecologia, 1977, 31: 191 ~ 199.
- [22] Burkhalter A L P, Lazor L, Beach R L, *et al.* Aquatic weed identification and control manual. bureau of aquatic plant research control, Florida Department of Natural Resources, Tallahassee, USA, 1972. 41 ~ 42.
- [23] Longstreth D J, Bolanos J A, Smith J E. Salinity effects on photosynthesis and growth in *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. Plant Physiol, 1984, 75: 1044 ~ 1047.
- [24] Longstreth D J, Mason C B. The effect of light on growth and dry matter allocation patterns of *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. Bot Gazette, 1984, 145: 105 ~ 109.
- [25] Bolanos J A, Longstreth D J. Salinity effects on water potential components and bulk elastic modulus of *Alternanthera Philoxeroides* (Mart.) Griseb. Plant Physiol, 1984, 75: 281 ~ 284.
- [26] Li X C, Liu S C. The harm and prevention and cure of inuasive of Organsue. Songliao Journal(Natural Science Edition), 2002, (4): 96 ~ 111.
- [27] Julien M, Bourne A S, Low V. Growth of the weed *Alternanthera philoxeroides* (Martius) Grisebach, (alligator weed) in aquatic and terrestrial habitats in Australia. Plant Protection Quarterly, 1992, 7: 102 ~ 108.
- [28] Lin J C, Qiang S. Study on the vegetative propagation character of *Alternanthera philoxeroides*. Acta Agriculturae Shanghai, 2004, 20 (4): 96 ~ 101.
- [29] Sainty G T. Aquatic Plant identification guide. Water Conservation and Irrigation Commission of New South Walets, North Sydney, 1973. 69 ~ 70.
- [30] Julien M H. *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. In: Groves R H, Shepherd R C H, Richardson R C, eds. The Biology of Australian Weeds. Frankston, 1995. 1 ~ 12.
- [31] Sainty G, McCorkelle G, Julien M H. Control and spread of alligator weed, *Alternanthera philoxeroides*, in Australia: lessons for other regions. Wetlands Ecology. Management, 1998, 5: 195 ~ 201.
- [32] Huai H Y, Jin Y G, Zhang B, *et al.* Alien plant *Alternanthera philoxeroides* habitat diversity and characteristic. Weed Sciences, 2003, 1: 18 ~ 20.
- [33] Lin J C, Qiang S, Wu H R. Effect of *Alternanthera philoxeroides*, an invasive exotic weed, on plant biodiversity. Rural Eco-Environment, 2005, 21 (2): 28 ~ 32.
- [34] Dukes J S. Species composition and diversity affect grassland susceptibility and response to invasion. Ecological Applications, 2002, 12: 602 ~ 617.
- [35] Vitousek P M, Antonio C M, Loope L L, *et al.* Introduced species: a significant component of human-caused global change. New Zealand Journal of Ecology, 1997, 21(1): 1 ~ 16.
- [36] Xu K Y, Ye W H, Cao H L, *et al.* An experimental al study on the relationship between biodiversity and invasibility of plant communities. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(3): 385 ~ 391.
- [37] Yan Z C. Biologic competition and adaptation. Bulletin Biology, 2000, 35(3): 4 ~ 7.
- [38] Su R H, Lou Z P, Zang R Z. The thinking of the counter plan of biological invasion. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2002, (5): 335 ~ 338.
- [39] Wu Z Q, Cai Y C, Guo Z X, *et al.* Effect of temperature and humidity on the development of Agasicles. Journal of Fujian Agricultural and Forestry University (Natural Science Edition), 1994, 23(1): 46 ~ 40.
- [40] Stevens K J, Peterson R L, Stephenson G R. Morphological and anatomical responses of *Lythrum salicaria* L. (purple loosestrife) to an imposed water gradient. Int. J. Plant Sci., 1997, 158(2): 172 ~ 183.
- [41] Peng S L, Xiang Y C. The invasion of exotic plants and effects of eco-systems. Acta Ecologica Sinica, 1999, 4(19): 560 ~ 568.
- [42] Rejmanek M, Richardson D M. What attributes make some plant species more invasive ? Ecology, 1996, 77: 1655 ~ 1661.
- [43] Geng Y P, Zhang W J, Li B, *et al.* Phenotypic plasticity and invasiveness of alien plants. Biodiversity Science, 2004, 12(4): 447 ~ 455
- [44] Sultan S E. Phenotypic plasticity and plant adaptation. Acta Botanica Neerlandica, 1995, 44: 363 ~ 383.
- [45] Smith C M, Walters L J. Fragmentation as a strategy for caulerpa species: fates of fragments and implications for management of an invasive weed. Marine Ecology Publication Della Stazione Zoologica Di Napoli I, 1999, 20 (3 ~ 4): 307 ~ 319.
- [46] Sang W G. Primary analysis of invasive characteristics of Alien Weeds in China. Review of China Agricultural Science and Technology, 2002, 4(5): 59 ~ 61.
- [47] Deng X, Yang Q H, Ye W H, *et al.* The adaptive rapid evolutions of the invasive biology and the impacts. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2003, 42(suppl): 204 ~ 210.
- [48] Fagan W F, Bishop J G. Trophic actions during primary succession: herbivores slow a plant reinvasion at mount St. Helens. The American Naturalist, 2000, 155: 238 ~ 251.
- [49] Zang R Z, Kang L. The mechanism of invade pest become the disaster and the control of counter plan. Entomological Knowledge, 1999, 36(3): 181 ~

183.

- [50] Gao Z X, Ji R, Xu R M, *et al.* Biological invasions: process, mechanism and prediction. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3): 559 ~ 570.
- [51] Ma R Y, Wang R. Invasive mechanism and biological control of alligator weed, *Alternanthera philoxeroides*, in China. *China Journal Applied Environment Biology*, 2005, 11(2): 246 ~ 250.
- [52] Coulson J R. Biological control of alligator weed, 1959 ~ 1972: a review and evaluation. Technical Bulletin, 1547. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1977.
- [53] Vogt G B, McGuire J U R, Cushman A D. Probable evolution and morphological variation in South American disonychine flea beetles and their amaranthaceous hosts. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Research Service. Washington, D. C., 1979.
- [54] Lin G L, Sun J D, Wang Y, *et al.* Biological control of alligator weed, *Alternanthera philoxeroides* in U. S. A. and Australia. *Chinese Journal of Biological Control*, 1988, 4(2): 94 ~ 96.
- [55] Wan Z X, Qiang S, Xu S C, *et al.* Culture conditions for production of phytotoxin by *Alternanthera alternata* and plant range of toxicity. *Chinese Journal of Biological Control*, 2001, 17(1): 10 ~ 15.
- [56] Xiang M M, Zeng Y S, Liu R, *et al.* Herbicidal activity of metabolite produced by *Nimbya alternanthera*, a leafy spot pathogen of *Alternanthera philoxeroides*. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2002, 18 (2): 87 ~ 89.
- [57] Xiang M M, Liu R, Zeng Y S. *Nimbya alternantherae*, a new recode of the genus *nimbya* from China. *Mycosystema*, 1998, 17(3): 283 ~ 288.
- [58] Zhang T, Wang Y X, Zhang Z Y. Two new species of *Ramularia*. *Mycosystema*, 2002, 21(2): 185 ~ 187.
- [59] Tu Y Q, Xu X Y, Fu S Q, *et al.* Studies on herbicidal activity of a fungus and its metabolite which could produce *nimbya alternantherae*, a leaf spot pathogen of *Alternanthera philoxeroides*. *Journal of Biology*, 2004, 21(3): 27 ~ 28.
- [60] Ye W H, Li J, Cao H L, *et al.* Genetic uniformity of *Alternanthera philoxeroides* in South China. *Weed Research*, 2003, 43: 297 ~ 302.
- [61] Li Y Y, Zhao L, Cheng X Y, *et al.* The *Alternanthera philoxeroides* in Shanghai is come from the same clone. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2004, 2: 107 ~ 109.
- [62] Chang B, Ji X F, Ji Y M, *et al.* The study of decomposed water *Alternanthera philoxeroides* be used as basal manure for rice and wheat. *Chinese Journal of Soil Science*, 2000, 31(4): 180 ~ 182.
- [63] Wang D Z. Study of produce the black tree mushroom high yield using *Alternanthera philoxeroides*. *Journal of Xinyang Agricultural College*, 1999, 9(4): 10 ~ 12.
- [64] Lin Z C, Jang S, Wu H R. *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. *Weed Sciences*, 2003, (3): 36 ~ 38
- [65] Xiao J. *Alternanthera philoxeroides* is good medicine in water country. *Plant Magazine*, 2000, (5): 19.
- [66] Wan F H, Guo J Y, Wang D H. Alien invasive species in China: their damages and management strategies. *Biodiversity Science*, 2002, 10(1): 119 ~ 125.

参考文献:

- [1] 王韧, 王远. 我国南方水生花发生危害及生物防治调查. *杂草学报*, 1988, 2(1): 38 ~ 40.
- [2] 林冠伦, 杨益众, 胡进生. 空心莲子草生物学及防治研究. *江苏农学院学报*, 1990, 1(2): 57 ~ 63.
- [3] 张格成, 李继祥, 陈秀华. 空心莲子草重主要生物学特性研究. *杂草科学*, 1993, (2): 101 ~ 102.
- [4] 谭万忠. 空心莲子草在我国的水平和垂直分布. *杂草学报*, 1994, 8(2): 30 ~ 331.
- [5] 刘春花, 于丹. 空心莲子草入侵机制及控制. 徐汝梅, 叶万辉. 生物入侵——理论与实践. 北京: 科学出版社, 2004. 219 ~ 235.
- [6] 许凯扬, 叶万辉, 李静. 入侵种空心莲子草对土壤水分的表型可塑性反应. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 2005, 39(1): 246 ~ 250.
- [7] 张秀艳, 叶永忠, 张小平. 空心莲子草的生殖及入侵特性. *河南科学*, 2004, 22(1): 61 ~ 62.
- [8] 陶勇, 陈少风, 江明喜. 空心莲子草对水分变化的形态适应研究. *长江流域资源与环境*, 2004, 13(5): 454 ~ 459.
- [9] 张彪, 金银根, 淮虎银, 等. 两种生境条件下空心莲子草叶片解剖结构比较. *杂草科学*, 2001, (4): 6 ~ 7.
- [10] 姜远来, 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. *广西植物*, 2004, 24(2): 125 ~ 127.
- [11] 陶勇, 江明喜. 空心莲子草茎的解剖结构对不同水湿生境的适应研究. *武汉植物学研究*, 2004, 22(1): 65 ~ 71.
- [17] 刘华, 吴国荣, 陆长梅, 等. 不同生境下喜旱莲子草营养器官中抗氧化物质含量的比较. *广西植物*, 2003, 23(3): 279 ~ 281.
- [18] 许凯扬, 叶万辉, 段学武. PEG 诱导水分胁迫下空心莲子草的生理适应性. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2004, 30(3): 271 ~ 277.
- [19] 颜素珠, 梁东, 彭秀娟. 8 种水生植物对污水中重金属——铜的抗性及其净化能力的探讨. *中国环境科学*, 1990, 10(3): 166 ~ 170.
- [20] 李向忱, 刘少春. 生物入侵种的危害和防治. *松江学刊(自然科学版)*, 2002, (4): 96 ~ 111.
- [26] 林金成, 强胜. 喜旱莲子草营养繁殖特性研究. *上海农业学报*, 2004, 20 (4): 96 ~ 101.
- [32] 淮虎银, 金银根, 张彪, 等. 外来植物空心莲子草分布的生境多样性及其特征. *杂草科学*, 2003, (1): 18 ~ 20.
- [33] 林金成, 强胜, 吴海荣. 外来入侵杂草空心莲子草对植物生物多样性的影响. *农村生态环境*, 2005, 21(2): 28 ~ 32.
- [36] 许凯扬, 叶万辉, 曹洪麟, 等. 植物群落的生物多样性及其可入侵性关系的实验研究. *植物生态学报*, 2004, 28(3): 385 ~ 391.
- [39] 吴珍泉, 蔡元呈, 郭振铎, 等. 温、湿度对空心莲子草叶甲生长发育的影响. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 1994, 23(1): 46 ~ 40.
- [51] 马瑞燕, 王韧. 喜旱莲子草在中国的入侵机理及其生物防治. *应用与环境生物学报*, 2005, 11(2): 246 ~ 250.
- [54] 林冠伦, 孙进东, 王远, 等. 美国、澳大利亚空心莲子草的生物防治研究. *生物防治通报*, 1988, 4(2): 94 ~ 96.
- [55] 万佐玺, 强胜, 徐尚成, 等. 链格孢菌等产毒培养条件及其毒素的致病范围. *中国生物防治*, 2001, 17(1): 10 ~ 151.
- [56] 向梅梅, 曾永三, 刘任. 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. *植物病理学报*, 2002, 32(3): 286 ~ 287.
- [57] 向梅梅, 刘任, 曾永三. 假格链格孢属一新中国新记录种. *菌物系统*, 1998, 17(3): 283 ~ 288.
- [58] 张陶, 王英祥, 张中义. 柱隔孢属二新种. *菌物系统*, 2000, 21(2): 185 ~ 187.
- [59] 涂永勤, 胥秀英, 付善权. 空心莲子草叶斑病菌及代谢产物除草活性研究. *生物学杂志*, 2004, 21(3): 27 ~ 27.
- [62] 陈斌, 吉训凤, 季应明, 等. 沤制水花生作麦稻基肥的效应研究. *土壤通报*, 2000, 31(4): 180 ~ 182.
- [63] 王德之, 等. 利用水花生袋栽黑木耳高产技术研究. *信阳农业高等专科学校学报*, 1999, 9(4): 10 ~ 12.
- [64] 林金成, 强胜, 吴海荣, 等. 水花生 [*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.]. *杂草科学*, 2003, 3: 36 ~ 38.
- [65] 肖嘉. 水乡良药空心苋. *植物杂志*, 2000, (5): 19.
- [66] 万方浩, 郭建英, 王德辉. 国外来入侵生物的危害与管理对策. *生物多样性*, 2002, 10(1): 119 ~ 125.