

喜旱莲子草在我国的潜在空间分布及主要防控手段

黄 旬, Faisal Hayat, 谭宇辉, 赵丽娅, 李兆华*

湖北大学资源环境学院, 湖北 武汉
Email: *zli@hubu.edu.cn

收稿日期: 2020年11月6日; 录用日期: 2020年12月2日; 发布日期: 2020年12月9日

摘 要

喜旱莲子草是一种入侵我国的恶性杂草, 自入侵以来快速传播和蔓延, 造成了巨大的生态环境危害和经济损失。目前, 对于该草的防控研究已取得了较大进展, 但有些地区的防控问题仍未解决, 全球气候变化和氮沉降又给防控形势带来了新的考验。本文概述了喜旱莲子草在我国的潜在空间分布及主要防控手段, 提出了一些目前存在的问题及建议, 以期今后有效防控该杂草提供指导。

关键词

喜旱莲子草, 空间分布, 防控手段

The Potential Spatial Distribution and Main Prevention and Control Measures of *Alternanthera philoxeroides* in China

Xun Huang, Faisal Hayat, Yuhui Tan, Liya Zhao, Zhaohua Li*

Faculty of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan Hubei
Email: *zli@hubu.edu.cn

Received: Nov. 6th, 2020; accepted: Dec. 2nd, 2020; published: Dec. 9th, 2020

Abstract

As a malignant alien species, *Alternanthera philoxeroides* has rapidly spread across parts of China,

*通讯作者。

文章引用: 黄旬, Faisal Hayat, 谭宇辉, 赵丽娅, 李兆华. 喜旱莲子草在我国的潜在空间分布及主要防控手段[J]. 环境保护前沿, 2020, 10(6): 831-838. DOI: 10.12677/aep.2020.106100

made a serious threat to the ecological environment, and a huge economic loss. Today, great progress has been achieved in the researches on the prevention and control of this grass, but in some areas, prevention and control still are unresolved problems. In light of the global climate change and nitrogen deposition, the current prevention and control of *Alternanthera philoxeroides* faces more new challenges now. In this article, *Alternanthera philoxeroides*'s potential spatial distribution in China was summarized and the main prevention and control research progress were reviewed. We put forward some suggestions to guide the effective prevention and control of this weed in the future.

Keywords

Alternanthera philoxeroides, Spatial Distribution, Prevention and Control Measures

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

喜旱莲子草学名: *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb [1]; 俗名: 空心莲子草、水花生、革命草, 苋科莲子草属, 多年生草本植物, 起源于南美洲, 原生生境主要分布在巴西、阿根廷、乌拉圭等国家, 目前广泛分布在世界热带、亚热带和东南暖温带地区[2], 美洲从南纬 38°到北纬 36°、亚洲从南纬 36°到北纬 32°范围都有分布[3], 且基本完成归化[4]。喜旱莲子草已经危害我国亚热带地区, 且正在对我国温带地区造成威胁, 是中国生态环境部 2003 年公布的首批外来入侵物种之一。根据外来物种环境风险评估与控制研究[5], 喜旱莲子草在我国为高风险入侵种(S=25) [6], 对我国原有生态系统及生物多样性形成严重危害, 造成每年高达 6 亿元的经济损失[7], 十分有必要对其潜在分布区进行预测, 对未入侵的适生区进行严防死控[2]。

喜旱莲子草是水陆双生植物, 克隆繁殖能力强, 在其入侵地由于缺乏天敌, 呈现爆发式生长, 在很多地方已出现“一草独霸”的局面。每年喜旱莲子草出芽前就应该开始采取物理、化学、生物等有效手段进行防除, 及时阻止喜旱莲子草的进一步入侵和爆发。目前, 澳大利亚和韩国等国家和地区已将喜旱莲子草纳入其有害生物检疫体系[8], 利用行政手段从宏观上对喜旱莲子草进行防控, 以降低其危害。

2. 在我国的入侵及潜在分布

喜旱莲子草在我国最早于 1892 年出现在上海附近的岛屿, 经过了 50 年左右的停滞期后, 20 世纪 30 年代末日本人当作马饲料引种至上海郊区、浙江杭嘉湖[9], 1958 年后, 作为猪饲料人为引种到北京、天津、辽宁、山东、河北、四川、重庆、湖南、湖北、安徽、江西、苏州、浙江、福建、广东、广西、云南、贵州等省市[3], 由于缺乏控制, 逸为野生, 在我国中部和南部的广大区域迅速蔓延传播。2000 年以后还扩散到陕西、河南、海南等 28 个省市[10]。2017 年, 利用 MaxEnt 模型和 ArcGIS 分析该物种在中国的时空分布格局, 预测出当前气候条件下该物种在中国的适生区域为 91.8°E~122.7°E 和 18.2°N~39.8°N, 高度适宜区主要分布在能提供稳定温暖、湿润气候的广西、上海、湖北、重庆和四川地区, 总的适生面积为 $213.24 \times 10^4 \text{ km}^2$, 约占我国国土面积的 22.2% [2]。

河流网络系统和人为引种传播是其跨区域扩散的主要原因。在气候变化的影响下, 华北地区降水增多, 华南地区洪涝灾害频发, 以及水体中氮沉降和磷输入, 将扩大喜旱莲子草沿河网扩散的范围且加剧对水生态环境的影响[11], 未来水域生态系统可能会面临更严重的入侵威胁[12]。在经济持续繁荣下, 喜旱莲子草有可能被用于污水净化[13]、水产养殖和污染地块生态修复[14], 以及由于人们对喜旱莲子草的

危害缺乏认识,在国际旅游、贸易活动中无意识的携带,都使喜旱莲子草具备较大人为引种传播的风险。因此,在我国 40°N 以下的省份极易形成喜旱莲子草的大规模扩散区。

我国作为一个高氮沉降集中区增加了喜旱莲子草向贫瘠土壤和弱光环境拓展的风险[15]。喜旱莲子草的克隆整合能力让其在异质性土壤中比本地种更加适宜生长[16] [17],增加了在一些异质性生境中进一步扩散的可能;表型可塑性,使其能很好的适应水-陆过渡带,能入侵河流、湖泊、水库等的消落带[18]。喜旱莲子草主要生长在低海拔地区,一般以一月份 0℃等温线为其在我国的分布北限,在高海拔地区很少观察到,但在全球气候变暖条件下,现在已经开始扩散到我国北部,且这种扩散可能存在一定的基因适应性[19] [20],有持续向北扩散的潜能。

3. 主要的防除手段

3.1. 物理防除

物理防除的具体方法有很多,最常见的方法有人工挖除、翻根、刈割、植物覆盖、水上打捞,每年 4~5 月份对露青时的喜旱莲子草挖除土壤中的根茎后,集中晒干和烧毁,可起到较好的防除效果[21]。通过对翻根、刈割、覆盖 3 种物理处理方式进行对比,覆盖处理对喜旱莲子草的杀灭效果最明显,光照强度低于 9%以下时,会显著抑制喜旱莲子草的生长[22],但覆盖处理只适用于不需要考虑植被生长的地方。喜旱莲子草在水面呈厚织的毯状,需要采用机械打捞,从水体打捞上岸后应及时深埋或沤制,以免造成二次污染。物理防除法环境友好、目标针对性强、效果即刻显现,但是需连年防治、成本较高。

3.2. 化学防除

化学防控的最佳时间是 5 月中下旬至 6 月上旬喜旱莲子草开花之前,开花前喜旱莲子草生长量大,生命活动旺盛,叶片吸收、传导快,且此时喜旱莲子草尚未建立强大的种群,有利于发挥最大药效。选择合适的除草剂种类、浓度、打药时间,保证用药的时效性,这是化学防除喜旱莲子草的一个关键环节[23]。目前最常用的化学药剂是一种灭生型茎叶传导剂草甘膦(农达),会在绿色植物进行光合作用时随叶绿素在茎叶中快速传导,使植物叶片失水萎蔫,对喜旱莲子草的地上部分有较好的杀灭效果,但对地下部分基本无效,在美国、澳大利亚等国家登记允许使用于水域,在我国实际使用中常加入食盐、洗衣粉等助剂来增加对喜旱莲子草的杀灭效果。化学除草剂短期内对地上部分有效,但对喜旱莲子草的老茎和根部作用效果差,并且化学除草剂选择性差,在农田、果园、水库、河流等处使用时技术要求较高,并且会造成抗药性,化学药品如若使用不当,易引发对空气、土壤、水体的二次污染,或影响其他动植物的生长。我国一些研究人员正在考虑将化学除草剂与生长抑制剂[24]和植物激素、助渗剂[25]等连用,以增加喜旱莲子草的防除效果,减轻杂草的抗药性。

3.3. 生物防除

3.3.1. 天敌防除

1986 年中国农业科学院生物防治研究所从美国引入莲草直胸跳甲,该跳甲在自然条件下完成一代需 25 天,成虫寿命平均 48 天,在我国广西一年可发生 8~9 代,雌雄比近于 1:1,平均每雌产卵 1127 粒,虫卵 3~4 天就可孵化。莲草直胸跳甲幼虫及成虫均取食叶片,蛹期阶段钻进茎干中化蛹,使喜旱莲子草茎干受损,被害伤口易引起病原微生物侵染,加速空心莲子草生活力的下降,在水流和强风的作用下易被折断,且成簇的草被分散[26]。莲草直胸跳甲引入初期在我国四川、湖南、福建取得了很好的防治效果并成功建立种群,目前主要分布在我国湖南、湖北、广西、广州、广东、福建、重庆、四川、海南等地。每平方米释放 4 对叶甲就能对喜旱莲子草起到很好的防治效果[27],环境中 CO₂ 浓度升高对莲草直胸跳

甲防控喜旱莲子草也可能起到一定的促进作用[28]。

莲草直胸跳甲虫卵对热较敏感,可将虫卵 HSP 基因作为其耐热性的生物标记预测叶甲地理分布[29],当温度高于 37.5℃时,虫卵数量开始降低,在炎热的夏季应采取适当的虫卵保护措施,保持其在全球气温升高趋势下的生物防治效果[30]。莲草直胸跳甲不耐低温,在五岭以北地区难以自然越冬,冬季需人工越冬保护;在具有紧密次生结构的陆生型喜旱莲子草中的化蛹能力较差[31],其对陆生型喜旱莲子草无明显防控效果[8],且随着气候和环境的变化,陆生型喜旱莲子草受水分胁迫的机率增加,也间接降低了莲草直胸跳甲的生防效果[32]。应加强莲草直胸跳甲的耐寒性驯化、耐热研究[33]及化蛹能力研究。

同时,我国研究人员也正在积极找寻其他本地天敌,在野外观察到虾钳菜披龟甲[34]、甜菜白带野螟[35]对喜旱莲子草有较大啃食性。

3.3.2. 微生物防除

一般 6 月上旬至 8 月中旬期间的温度和湿度最有利于微生物对喜旱莲子草进行侵染与致病,是微生物进行田间防除的最佳时期[36],可以在田间大剂量使用,人为地制造喜旱莲子草的病害大流行。我国利用微生物防治喜旱莲子草目前仍处于生物防治物的筛选阶段,研究较多的是莲子草假隔链格孢菌,已经发展到应用研究阶段,适宜的生长发育条件是 20℃~30℃及 pH 6.5~8.5,其菌丝、孢子和代谢产物都能为害喜旱莲子草的叶和茎,使植物体内保护酶系统发生变化,造成叶片枯死脱落,严重影响植物光合作用,降低喜旱莲子草的种群密度[37][38]。微生物除草剂具有很强的目标选择性、环境负荷小、易于控制及大面积应用,同时还能解决杂草的抗药性问题[39],其孢子与除草剂连用能起到增效的作用[40],但微生物除草剂的除草效果受环境条件制约,施用技术要求太严。

3.3.3. 植物替代

许多植物可通过向环境中释放化感物质或与喜旱莲子草争夺生态位、水分、光照、营养物质等,抑制喜旱莲子草的生长和扩散。植物替代研究进展缓慢,我国已发现对喜旱莲子草有化感作用的植物主要有芦苇、红薯、葎草,同时还有许多禾本科、菊科对喜旱莲子草的化感作用有待研究。有研究者在实际野外观察中,发现马唐、牛筋草、早熟禾等禾本科植物、接骨草与喜旱莲子草通过抢夺生态位和资源降低了喜旱莲子草在群落中的重要值,使植物群落多样性增加。许多学者认为本土群落物种多样性丰富,可有效抵抗喜旱莲子草的入侵[41],与我们在武汉 114.2°E~114.3°E, 30.1°N~33.2°N 实际观察到的结果一致。南方菟丝子可天然寄生喜旱莲子草,降低喜旱莲子草的生物量,但其可能带来的负面效应还有待进一步研究[42]。详见表 1。

Table 1. Several plants that have a controlling effect on *Alternanthera philoxeroides*

表 1. 对喜旱莲子草有控制作用的几种植物

植物名称	科属	替代物价值	作用机理	作用效果
芦苇	禾本科	药用价值 景观价值 园林价值 畜牧价值 工业价值	化感作用 种间替代	芦苇乙醇浸提液对无性系小株新生芽数、根冠比、叶绿素的抑制率最高分别可达 69.2%, 89.2%, 26.2%, 对喜旱莲子草的抑制效果明显[43]。
红薯	旋花科	药用价值 食用价值 工业价值	化感作用 种间替代	0.1 mg/l 的红薯水提物可显著抑制喜旱莲子草的吸水、保水能力和对养分的吸收;红薯产量大、茎长、叶大、养分竞争力强及耐贫瘠,且与喜旱莲子草拥有类似的生长周期,能在喜旱莲子草刚刚萌芽时就与其形成竞争[44]。
葎草	桑科	药用价值 畜牧价值 生态价值	化感作用 种间替代	葎草与喜旱莲子草 4:2 种植可显著降低喜旱莲子草的光合速率[45]。0.1 mol/l 的葎草地下部分水提液能将喜旱莲子草叶片大小降低 40.21%,抑制其根茎的分蘖,有效抑制了喜旱莲子草的生长[10]。
接骨草	忍冬科	药用价值	种间竞争	在一些林下和林缘等中度遮荫生境中,接骨草已取代喜旱莲子草成为草本层的优势种[46]。

Continued

马唐、牛筋草、早熟禾等	禾本科	生态价值	种间竞争	禾本科植物可提高本土物种的多样性，生态位与喜旱莲子草较为接近，且株高一般高于喜旱莲子草，可以更多占据空间上方的光照资源等，降低喜旱莲子草在群落中的重要值[3] [41]。
南方菟丝子	旋花科	药用价值 生态价值	种间竞争 寄生	南方菟丝子通过对喜旱莲子草的寄生缠绕，直接抑制了喜旱莲子草的克隆繁殖和扩散，同时通过吸器吸收喜旱莲子草的同化物质和营养，可将其生物量降低 42.1% [42]。

植物替代对各种生境内的喜旱莲子草都有控制效果，既可使荒地变为生态经济用地，又可提高土地利用效率，一旦成功定植便能长期抑制喜旱莲子草，效果持久，节约人力物力，且还能较为彻底的恢复生态系统的功能，具有良好的生态效益[47]。因此，选择生态位较高、生物量大、具有竞争优势和一定经济价值的本土植物，利用化感作用和种间竞争来替代喜旱莲子草，是控制喜旱莲子草泛滥的有效措施之一。

4. 结论

目前，喜旱莲子草的潜在分布区仍大于实际分布区，在已被入侵的 28 个省市中，四川西部、陕西和河北北部、以及甘肃、山西、辽宁和云南的大部分地区还未受到该物种的入侵，但这些地区目前已被入侵区域所包围，有较大的潜在入侵风险。

物理防除在喜旱莲子草入侵初期、入侵面积较小时可快速有针对性的去除该草，只能作为较小范围内解决喜旱莲子草草害的短期方案。

化学防除在喜旱莲子草大面积爆发时可快速减少喜旱莲子草的地上生物量，但会将新的污染物引入环境中，仅适用于特定的区域。

莲草直胸跳甲只在其适生范围内起到防控作用，但其在我国的分布范围远小于喜旱莲子草，引入初期在部分地区取得了较好的防控效果，但长期来看效果并不理想，且作为外来物种对我国生态系统的潜在威胁也需要进一步研究。

微生物除草剂发酵及剂型加工困难，影响了其商品化进程，目前尚处于研究阶段。

植物替代是控制喜旱莲子草入侵、保持当地生态环境健康和稳定发展的一种有效措施，在严重入侵的地区，可人工去除喜旱莲子草后，配植繁殖能力强、建叶成本低、光合速率和资源利用率高的本地功能群植物，进行抚育管理，逐步恢复当地生态。

5. 展望

喜旱莲子草在我国的蔓延危害仍在继续，严重影响了生态可持续发展，其生长繁殖的侵略性决定了防控工作的艰巨性和复杂性，单一方法难以有效防治，必须引起各级政府的重视，增强民众防治意识。在防控工作上，从喜旱莲子草与环境的整体关系出发，采取“预防为主，综合防控”的策略：1) 进行科学预测，定期分区分类普查，全面了解喜旱莲子草的分布和危害状况，并制定科学、便捷、高效的监测预警管控机制[48]，及时进行风险预警，以便有关部门指导工作，各相关部门应统筹编制防治规划、风险预警方案来指导喜旱莲子草的防治。2) 将喜旱莲子草纳入我国植物检疫名单，构建良好的植物检疫工作体系，合理有效利用科学检疫技术，搭建国际国内信息技术共享平台[49]，阻止喜旱莲子草的远距离传播，严防喜旱莲子草从国外或国内传播到我国未发生地区。3) 对利用喜旱莲子草进行经济活动、科学研究和环境治理的场所要加强监管，防止其不恰当的废弃物处理方式导致喜旱莲子草逸出扩散。4) 引入公众参与机制，全面宣传喜旱莲子草的危害及成因，普及喜旱莲子草防控知识和技术，提高广大群众防控喜旱莲子草的自觉性和积极性，减少无意识的人为传播行为。5) 采用物理、化学、生物有机结合的方式进行综合治理，在每年喜旱莲子草出芽前就开始进行有效防除，及时阻止喜旱莲子草的进一步入侵和爆发。

加强针对性的基础研究和以生物防治为主的实际应用研究, 进行综合治理示范与推广。6) 加大生态环境治理力度, 逐步改善环境污染和生态破坏状况, 以创造不利于喜旱莲子草生长的环境, 遏制喜旱莲子草增殖。

基金项目

农业农村部项目“湖北省重大危害外来入侵物种调查监测与综合防控”(编号: 13200290)项目资助。

参考文献

- [1] 李扬汉. 中国杂草志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 81-82.
- [2] Yan, H.Y., Feng, L., Zhao, Y.F., Li, F., Di, W. and Zhu, C.P. (2020) Prediction of the Spatial Distribution of *Alternanthera philoxeroides* in China Based on ArcGIS and MaxEnt. *Global Ecology and Conservation*, **21**, e00856. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00856>
- [3] 彭雪梅. 贵州草海湿地空心莲子草入侵迹地植物群落结构数量特征[D]: [博士学位论文]. 长春: 东北师范大学, 2018.
- [4] 刘伟. 喜旱莲子草的生物防治技术机理及资源化利用研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2012.
- [5] 徐海根, 吴军, 陈洁君. 外来物种环境风险评估与控制研究[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [6] 谢国文, 江月玲, 聂国娇, 王惟荣, 何静欣. 我国外来入侵物种喜旱莲子草的生态风险及预警[C]//风险分析和危机反应的创新理论和方法——中国灾害防御协会风险分析专业委员会第五届年会论文集. 2012.
- [7] 刘晓梅, 邢芬, 武梅, 周红杰, 李宏群. 基于Maxent模型的中国喜旱莲子草时空传播规律研究[J]. *安徽农学通报*, 2016, 22(23): 36-37.
- [8] Julien, M.H. and Griffiths, M.W. (1998) Biological Control of Weeds: A World Catalogue of Agents and Their Target Weeds. 4th Edition, CABI Publishing, Wallingford, 223.
- [9] Diao, Z.G. (1990) Aquatic Weed in China. Chongqing Publishing House, Chongqing.
- [10] 张震, 徐丽, 王育鹏, 李丹. 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.
- [11] Wu, H. and Ding, J.Q. (2019) Global Change Sharpens the Double-Edged Sword Effect of Aquatic Alien Plants in China and Beyond. *Frontiers in Plant Science*, **10**, 787. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00787>
- [12] 吴昊. 水生空心莲子草入侵群落数量分类及其物种分布的环境解释[J]. *西北植物学报*, 2019, 39(2): 319-329.
- [13] Qu, W., He, D.L., Guo, Y.N., Tang, Y.N. and Song, R.-J. (2019) Characterization of Modified *Alternanthera philoxeroides* by Diethylenetriamine and Its Application in the Adsorption of Copper(II) Ions in Aqueous Solution. *Environmental Science and Pollution Research*, **21**, 21189-21200. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05472-9>
- [14] Huang, Y.P., Song, Y.Z., Johnson, D., Huang, J.Y., Dong, R. and Liu, H.G. (2019) Selenium Enhanced Phytoremediation of Diesel Contaminated Soil by *Alternanthera philoxeroides*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **173**, 347-352. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.040>
- [15] 龙富波, 张伟, 张学江. 入侵植物喜旱莲子草对光、氮及其互作的表型可塑性反应[J]. *贵州农业科学*, 2011, 39(4): 38-41.
- [16] Liang, J.F., Yuan, W.Y., Gao, J.Q., Roilola, S.R., Song, M.H., Zhang, X.Y. and Yu, F.H. (2020) Soil Resource Heterogeneity Competitively Favors an Invasive Clonal Plant over a Native One. *Oecologia*, **193**, 155-165. <https://doi.org/10.1007/s00442-020-04660-6>
- [17] Han, C.M., Xi, G.D., Guo, W.B., Bai, B., Li, Y.P., Hu, A.A. and You, W.H. (2020) The Effects of Clonal Integration on Two Ecotypes of *Alternanthera philoxeroides* under Heterogeneous Resource Conditions. *Botanical Research*, **9**, 354-361. <https://doi.org/10.12677/BR.2020.94043>
- [18] Yang, C.D., Yang, X.L., Zhang, X., Zhou, C.Y., Zhang, F., Wang, X. and Wang, Q.F. (2019) Anatomical Structures of Alligator Weed (*Alternanthera philoxeroides*) Suggest It Is Well Adapted to the Aquatic-Terrestrial Transition Zone. *Flora*, **253**, 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.02.013>
- [19] Luo, L.D., Kong, X.X., Gao, Z., Zheng, Y., Yang, Y.Q., Li, X., Yang, D.N., Geng, Y.P. and Yang, Y.P. (2020) Comparative Transcriptome Analysis Reveals Ecological Adaption of Cold Tolerance in Northward Invasion of *Alternanthera philoxeroides*. *BMC Genomics*, **21**, Article No. 532. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-06941-z>
- [20] Liu, D.S., Horvath, D., Li, P. and Liu, W.M. (2019) RNA Sequencing Characterizes Transcriptomes Differences in

- Cold Response between Northern and Southern *Alternanthera philoxeroides* and Highlight Adaptations Associated with Northward Expansion. *Frontiers in Plant Science*, **10**, 24. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00024>
- [21] 陈连举, 覃立安, 覃拥军, 郭世赞, 陈芳莉. 长阳农田水花生发生现状及防治对策[J]. 湖北植保, 2015(6): 13-15.
- [22] 陈中义, 陈燕丽, 李华成. 几种物理方式控制空心莲子草种群生长的效应研究[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2014, 11(17): 47-51.
- [23] 肖杰, 蒋双林, 王业鹏, 黄翠娥. 水花生的危害及防控对策研究——以湖北省天门市为例[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(32): 271-273.
- [24] 王琼瑶, 张楚儿, 宁华, 王岚, 程祖强, 王映佳, 刘海萍. 水花生生长抑制剂与防治技术研究[J]. 资源开发与市场, 2015, 31(11): 1283-1288.
- [25] 张家宏, 王守红, 金银根, 毕建花, 唐鹤军, 盖玉芳, 寇祥明. 恶性杂草水花生的化学防治及资源化利用技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2006, 3(414): 3415, 3446.
- [26] 丁波. 空心莲子草及其天敌莲草直胸跳甲对 CO₂ 浓度升高的响应[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福建农林大学, 2017.
- [27] 宋振, 张瑞海, 张国良, 余文畅, 熊佳林, 王然, 黄成成, 付卫东. 空心莲子草叶甲释放量对空心莲子草防控效果的研究[J]. 生态环境学报, 2018, 27(11): 2033-2038.
- [28] Shi, M.Z., Li, J.Y., Ding, B., Fu, J.W., Zheng, L.Z. and Hsin, C. (2019) Indirect Effect of Elevated CO₂ on Population Parameters and Growth of *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae); a Biocontrol Agent of Alligatorweed (Amaranthaceae). *Journal of Economic Entomology*, **2**, 1120-1129. <https://doi.org/10.1093/jee/toz015>
- [29] Jia, D., Liu, Y.H., Zhang, B., Ji, Z.Y., Wang, Y.X., Gao, L.L. and Ma, R.Y. (2020) Induction of Heat Shock Protein Genes Is the Hallmark of Egg Heat Tolerance in *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology*, **4**, 1972-1981. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa105>
- [30] Jia, D., Yuan, X.F., Liu, Y.H., Xu, C.Q., Wang, Y.X., Gao, L.L. and Ma, R.Y. (2020) Heat Sensitivity of Eggs Attributes to the Reduction in *Agasicles hygrophila* Population. *Insect Science*, **1**, 159-169. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12611>
- [31] 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.
- [32] 付淑慧, 申洁, 原祥鹤, 郝炯, 马瑞燕. 水分胁迫寄主植物对莲草直胸跳甲生长发育的影响[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(5): 91-97.
- [33] 张虹. 高温胁迫下莲草直胸跳甲的代谢响应机制[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- [34] 戴红君. 入侵杂草水花生对本地昆虫虾蛄菜披龟甲的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2009.
- [35] 高同军, 强胜, 朱云枝, 宋小玲. 甜菜白带野螟对空心莲子草的生物防治潜力研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(13): 3023-3024.
- [36] 王晓艳. 生防菌株 SF-193 对空心莲子草的防除作用及应用潜力研究[D]: [硕士学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2007.
- [37] 周兵, 陈洁, 马胜平, 殷帅文, 王宁. 空心莲子草致病菌链格孢菌不同菌株的致病性及培养条件[J]. 西南农业学报, 2016, 2(29): 321-326.
- [38] 董章勇. 莲子草假隔链格孢菌效应子 Na₂-g9900 及其蛋白和应用[P]. 中国, CN201810102172.8. 2018-02-01.
- [39] Cutler, H.G. (1988) Perspectives on Discovery of Microbial Phytotoxins with Herbicide Activity. *Weed Technology*, **2**, 525-532. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00032395>
- [40] 向梅梅, 游明龙. 几种除草剂与莲子草假隔链格孢菌混用防除空心莲子草的初步研究[J]. 仲恺农业技术学院学报, 1999, 12(4): 11-14.
- [41] 吴昊, 蔡东章, 高靓文, 任雨轩, 饶本强. 信阳市入侵植物空心莲子草群落数量分类及功能群研究[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2020, 33(2): 250-257.
- [42] 韩翠敏, 胡安安, 郭文兵, 白冰, 李燕萍, 游文华. 南方菟丝子寄生对入侵植物喜旱莲子草及其近缘种的影响[J]. 植物学研究, 2020, 9(4): 374-379.
- [43] 邓丽丽, 刘静, 王力超, 张震. 芦苇乙醇浸提液对入侵植物喜旱莲子草的化感作用[C]//第五届全国入侵生物学大会——入侵生物与生态安全. 2018.
- [44] Deng, L.L., Lyu, P., Huang, X.Q., Zhang, Z., Wang, L.C. and Liu, Y. (2020) Allelopathic Effects of Water Extracts from Sweet Potato on the Growth of Invasive Alien Species *Alternanthera philoxeroides*. *The Journal of Applied Ecology*, **7**, 2202-2210.
- [45] 代宇雨, 王力超, 王一帆, 张震. 不同替代程度对菹草控制喜旱莲子草光合作用的影响[J]. 安徽农业科学, 2019,

- 47(2): 123-126, 149.
- [46] 班芷桦, 王琼. 喜旱莲子草和接骨草竞争对模拟增温的响应[J]. 植物生态学报, 2015, 39(1): 43-51.
- [47] 张震, 代宇雨, 王一帆, 吕得林, 王瑞. 入侵植物替代控制中土著种选择机制的研究[J]. 生物安全学报, 2018, 27(3): 178-185.
- [48] 董波, 崔礼克, 刘婕, 林波, 凌小佳. 苏州河水生植物监测预警机制研究[J]. 环境卫生工程, 2019, 27(4): 75-79.
- [49] 李潇楠, 王晓亮, 杨清坡, 冯晓东, 姜培, 朱莉, 王福祥. 加强一带一路沿线国家植物检疫合作策略探讨[J]. 中国植保导刊, 2020(8): 84-90+107.