

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2016.01.001

海南典型有害植物的入侵扩散机理研究进展

黄乔乔, 沈奕德, 李晓霞, 范志伟*
中国热带农业科学院环境与植物保护研究所/农业部热带作物有害生物综合治理重点实验室/农业部
儋州农业环境科学观测实验站/海南省热带农业有害生物监测与控制重点实验室, 海南 海口 571101

摘要: 有害植物成灾会对农林业生态系统、经济和环境造成巨大影响。本文对海南典型入侵植物薇甘菊、假臭草及土著灾变植物金钟藤的成灾扩散机理研究做一综述, 以为海南有害植物的研究和管理提供依据。自然及人为干扰造成的薇甘菊匍匐茎克隆片段有较高的再生能力, 其再生能力和生长与储存在节间和叶子中的资源呈正相关。假臭草随土壤养分条件的改善比本地种获利更多, 说明农田施肥等干扰因素可能促进假臭草相对于本地种的种群优势。金钟藤已扩散至海南五指山有旅游活动的自然林; 调查和移栽试验发现, 其可能是先在受干扰严重的林缘和旅游小径边定植, 之后通过匍匐和攀爬生长扩散至附近的自然林。这些结果强调了人类活动、高养分条件及物种自身性状等在有害植物成灾中的作用。未来仍需系统、深入地研究有害植物成灾扩散的机理及其控制对策, 为减弱有害植物的扩散和危害提供参考, 并为海南国际旅游岛的建设提供安全保证。

关键词: 薇甘菊; 假臭草; 金钟藤; 入侵扩散机理; 干扰

Research progress on the mechanisms of invasion and spread of typical harmful plants in Hainan

Qiao-qiao HUANG, Yi-de SHEN, Xiao-xia LI, Zhi-wei FAN*
Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops, Ministry of Agriculture/Danzhou Scientific Observing and Experimental Station of Agro-Environment, Ministry of Agriculture/Hainan Key Laboratory for Monitoring and Control of Tropical Agricultural Pests, Haikou, Hainan 571101, China

Abstract: The population explosion of harmful plants causes significant negative impacts to agricultural and forestry ecosystems, economy and the environment. This paper reviews the mechanisms of invasion and spread of the typical invasive *Mikania micrantha* and *Eupatorium catarium* and the native exploding *Merremia boissiana* in Hainan to provide a scientific foundation for the research and management of harmful plants in Hainan. Natural and human caused clonal stolon fragments of *M. micrantha* have a high regeneration capacity, and the regeneration capacity and subsequent growth are positively associated with the resources stored in stolon internodes and leaves. *E. catarium* can benefit more from resource addition than native plants, indicating that disturbance and fertilization in agriculture may promote the population advantage of *E. catarium* relative to natives. *M. boissiana* has spread to natural forests in Wuzhi Mountain frequented by tourists. Surveys and transplant experiment revealed that *M. boissiana* may establish in disturbed forest margins and near the tourist path, and then spread to the nearby natural forests facilitated by its creeping and climbing growth forms. These results highlight the importance of disturbance, human activities, high nutrient conditions and species traits in the population explosion of harmful plants. Future studies should systematically examine the mechanisms underlying the explosion of harmful plants and their control strategies in order to reduce the harmful effects and the spreading rate and provide a safety guarantee for the development of international tourism on the island.

Key words: *Mikania micrantha*; *Eupatorium catarium*; *Merremia boissiana*; mechanism of invasion and spread; disturbance

收稿日期(Received): 2015-06-08 接受日期(Accepted): 2015-10-26
基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201403075); 国家自然科学基金项目(31400485)
作者简介: 黄乔乔, 男, 副研究员, 博士。研究方向: 植物入侵生态学。E-mail: cosplete@126.com
* 通讯作者(Author for correspondence), E-mail: fanweed@163.com

外来植物入侵会对农林业生态系统、经济和环境造成巨大影响 (Vilà *et al.*, 2011)。外来植物入侵扩散的机理是入侵生态学研究的核心问题之一,其结果对于入侵植物的防控具有重要意义。海南作为一个岛屿,是我国遭受外来植物入侵最严重的地区之一 (Huang *et al.*, 2011)。近几十年来全球气候的变化,人类活动的增多,尤其是海南国际旅游岛的建设,使海南与国际间的交流频率与日俱增,外来植物入侵的风险也大大增加,严重危害当地生态安全以及国民经济的健康发展。除此之外,一些土著植物也可能在环境变化的背景下暴发成灾。本文对海南典型入侵植物薇甘菊 *Mikania micrantha* Kunth、假臭草 *Eupatorium catarium* Veldkamp 及土著灾变植物金钟藤 *Merremia boissiana* (Gagnep. Oostr.) 的成灾扩散机理研究做一综述,并对未来的研究方向提出一些建议,以期对海南有害植物的研究和管理提供依据。

薇甘菊为具匍匐茎的多年生草质藤本植物,兼有性和无性繁殖,主要入侵农林业生态系统 (Li *et al.*, 2013);假臭草为菊科一年生植物,有性繁殖,常在受干扰严重的农田、荒地、路边等生境暴发成灾,为众多此类入侵植物(如三叶鬼针草 *Bidens pilosa* L.、胜红蓟 *Ageratum conyzoides* L.、银胶菊 *Parthenium hysterophorus* L.等)的代表 (李光明等, 2012);金钟藤为多年生常绿木质藤本植物,常在林业生态系统暴发成灾 (黄乔乔等, 2013)。这 3 种植物为海南陆生生境中典型的有害植物,且被人们关注、研究得最多,也取得了一定的成果。

1 薇甘菊的成灾扩散机理

在海南,薇甘菊首次于 2003 年在海口和文昌被发现 (范志伟等, 2010)。至 2010 年,薇甘菊已在海口、文昌、琼海、临高、五指山、澄迈、屯昌、定安、昌江、东方 10 个市县约 40 个乡镇发生,危害面积约 1105.3 hm^2 (范志伟等, 2010)。当前,薇甘菊在海南的分布区域和危害面积进一步扩大。薇甘菊常在受干扰严重的干扰林、次生林、人工林、公路边、荒地入侵,其快速扩散与各种干扰因素和薇甘菊强大的无性繁殖能力有关。海南岛的干扰因素如台风、洪水、滑坡、动物践踏及人类农业活动等较为频繁,易造成薇甘菊地上部分匍匐茎的片段化;小的、单节的克隆片段往往难以引人注意且容易被传播。盆栽试验表明:单节的薇甘菊匍匐茎克隆片

段具较高的再生能力,种植 8 周后,再生和成活率达到 67.5%;成活率和收获时的生物量随节间长度、茎粗度的增加而增大,且节上叶子的存在能够提高成活率和生物量,说明储存在节间和叶片中的资源可转用于克隆片段的再生和生长;克隆片段再生所需的时间一般小于 1 个月,平均为 8.066 d,节间长度的增加和节上叶子的存在可降低再生所需的时间 (Huang Q Q *et al.*, 2015a)。埋藏深度增加能够显著降低克隆片段的出土和成活率,埋藏深度在 8 cm 时成活率只有 2.19%,但节间长度的增加能在一定程度上促进被埋藏后的出土率 (Li *et al.*, 2013)。这些结果表明,在对薇甘菊的防控(尤其是人工和机械控制)中,要避免薇甘菊匍匐茎克隆片段的产生和传播,并且要根据其再生所需的时间做好二次控制。例如,在首次控制后 1~2 个月可进行二次控制,此时再生的薇甘菊较小,即便再次产生克隆片段也难以再生。

除无性繁殖外,有性繁殖及其与无性繁殖的相互作用如何影响薇甘菊的快速扩散,以及克隆整合如何影响薇甘菊在生境中的扩展是未来的研究方向。对广东薇甘菊种群的调查表明,在薇甘菊入侵中心的种群产生的种子较大,传播能力较弱,而在扩散边缘的种群产生的种子较小,传播能力较强;盆栽试验表明,薇甘菊产生的种子大小和传播能力与其种群在野外的密度相关 (Huang F F *et al.*, 2015)。这些结果表明,种子大小和传播能力的表型可塑性和遗传分化都可能促进薇甘菊的快速传播 (Huang F F *et al.*, 2015)。在海南多样的生境条件下,薇甘菊可能根据环境条件调节资源在有性和无性繁殖中的分配,从而在生境中快速扩散或蔓延。对于多年生克隆性入侵植物来说,在扩散至一个生境后,无性繁殖或克隆整合对其种群扩展可能起重要作用 (黄乔乔等, 2012);但克隆整合的能力或程度可能随物种、基因型或生境的不同而不同 (Song *et al.*, 2013)。研究克隆整合如何影响薇甘菊在海南多样的生境条件下(土壤养分、水分、光照、竞争条件的变异,克隆内不同分株处于不同的环境条件下)扩展种群,对于理解薇甘菊的成灾机理及对其管理具有重要意义。

高光条件可显著提高薇甘菊的净光合速率、比叶重、叶绿素含量,说明薇甘菊可通过表型可塑性提高对光照条件变异的适应性 (程汉亭等, 2012)。

相对于广东,海南对薇甘菊的研究较为缺乏;而广东及云南对薇甘菊及其伴生种的生理生态性状(宋莉英等,2009)、遗传多样性(Wang *et al.*, 2008)、入侵生境及影响(Chen *et al.*, 2009; Hou *et al.*, 2011)、天敌资源及其生物控制(申时才等,2012; 王瑞龙等,2013; Yu *et al.*, 2009)已有较多的研究。未来应加强对海南薇甘菊与其相似伴生种的对比、薇甘菊入侵生境的特征及生境对入侵的抵抗力,以及薇甘菊综合防控技术等研究。

鉴于薇甘菊近些年在海南的扩散蔓延和危害程度越来越重,农业部每年投入大量的人力、财力对海南的薇甘菊进行控制。除前面提到的对薇甘菊匍匐茎克隆片段的控制和管理建议外,广东的相关研究也具一定的借鉴意义。在广东珠海淇澳岛的干扰林,薇甘菊的化感物质可改变土壤理化性质以利于自身生长(Chen *et al.*, 2009);而鼎湖山自然林的树种产生的化感物质可抑制薇甘菊种子萌发和幼苗生长(Hou *et al.*, 2011)。因此,在管理上,应尽量减少对森林的干扰,以增强森林对薇甘菊的抵抗力;同时,在不对其他物种和环境产生较大危害的前提下,可尝试通过田野菟丝子 *Cuscuta campestris* Yuncker 寄生控制薇甘菊(Yu *et al.*, 2009)。

2 假臭草的成灾扩散机理

假臭草为起源于南美洲的一年生菊科植物,首次于20世纪80年代在中国香港被发现,90年代开始在华南地区快速扩散(李光明等,2012)。海南省于2004年首次记录了假臭草(秦新生等,2004),但之前就可能已经存在并蔓延。假臭草在海南入侵扩散速度极快,目前,已在海南广泛分布,常在受干扰严重的农田、果园、荒地、路边等生境成为优势种(李传军等,2011)。假臭草全年可生长和结实,瘦果较小、产量大且容易随风传播。假臭草有较强的化感作用,其叶片水提液能抑制伴生植物的生长,且不同生境中假臭草化感作用存在差异(陈志云等,2011; 刘振迪等,2012)。假臭草有一定的耐干旱、盐分胁迫的能力,这种能力可能促进其适应海南多样的生境条件(阚丽艳等,2009a、2009b);然而,作者通过与相似的伴生种胜红蓟和夜香牛 *Vernonia cinerea* (L.) Less. 的对比试验发现,假臭草耐干旱胁迫的能力不比胜红蓟和夜香牛强。高的土壤养分条件及强表型可塑性常促进外来种的入侵(Huang Q Q *et al.*, 2015b)。对比试验发现,在低土

壤养分条件下,无论有无竞争,外来入侵种假臭草和胜红蓟与本地常见伴生种夜香牛的生物量均没有明显差别;而在高土壤养分条件下,无竞争时假臭草和胜红蓟比夜香牛产生更大的生物量,在与红尾翎 *Digitaria radicata* (Presl) Miq. 竞争条件下,假臭草和胜红蓟相对于夜香牛的生长优势进一步提高(Huang *et al.*, 2016)。此外,假臭草和胜红蓟在土壤养分条件改变时比叶面积的可塑性比夜香牛更强(Huang *et al.*, 2016)。这些结果说明农田施肥等干扰因素造成的土壤养分条件的改善可能促进假臭草和胜红蓟的入侵及其相对于相似本地种的种群优势。假臭草种子在15~45℃条件下都能萌发,其中在25℃条件下萌发情况最好(阚丽艳等,2008)。在广东的一项研究表明,假臭草比本地伴生植物千里光 *Senecio scandens* Buch.-Ham.、佩兰 *Eupatorium fortunei* Turcz. 等更能耐受高温胁迫(Hou *et al.*, 2014)。此外,对海南不同市县的假臭草种群的调查发现,假臭草存在较高的遗传多样性,这表明快速进化可能是促进假臭草入侵扩散的一种手段(李传军等,2011)。

当前对假臭草的研究取得了一定的进展,但缺乏其与相似伴生种之间的对比,研究的种群较少,缺乏不同地理种群间的变异和适应性进化研究以及原产地和入侵地种群间的变异研究,未来可从这些方面检验多种入侵假说在假臭草入侵中的作用机制。在控制和管理上,由于假臭草一般在高养分条件下入侵性强,应加强对土壤养分条件较好的地域或生境中假臭草的控制和管理;同时可通过降低土壤养分条件和培育本地植物群落来抵抗假臭草的入侵;可在种子成熟前铲除植株,还可以通过化学除草剂如草甘膦进行防除。此外,调查发现,野外的假臭草有叶斑病和丛枝病发生(李光明等,2012; 杨叶等,2012),对这些病菌的深入研究可为假臭草的生物控制提供重要依据。

3 金钟藤的成灾扩散机理

金钟藤为旋花科多年生常绿木质藤本植物,为海南原产,在加里曼丹岛、越南、老挝等南亚地区也有分布(王伯荪等,2005)。在海南,金钟藤最早于1882年在澄迈、1922年在儋州被发现,20世纪40年代已发生于崖州、陵水、万宁、乐东、白沙,1990年后广泛分布于海南岛(王伯荪等,2005)。金钟藤于1915年作为一个新种被发表,模式标本采自中南半

岛(王伯荪等,2007)。金钟藤于近 20 年来开始在海南造成危害(吴林芳等,2007),其在一个新地方以种子定植,之后通过匍匐茎的伸长和分枝生长覆盖生境(Li *et al.*,2009)。金钟藤有较强的化感作用,其叶片水提液可抑制伴生植物鸡屎藤 *Paederia scandens* (Lour.) Merr. 的生长(Huang *et al.*,2013);但其化感作用存在表型可塑性(黄乔乔等,2015),生长在高光干旱胁迫条件下的金钟藤化感作用最弱,说明在胁迫生境下金钟藤可能降低了对化感物质的资源投入(黄乔乔等,2015)。广东学者从温度(叶有华等,2006)、光合速率(李鸣光等,2006)、对干旱的耐受性(李玲等,2008)等角度研究了金钟藤的成灾机理。总体来说,对金钟藤的研究缺乏与相似种(如山猪菜 *Merremia umbellata* subsp. *orientalis*) 的对比,研究的成灾机理(如与土壤的互作、是否存在地理分化、灾变是否是在进化后产生、造成金钟藤灾变的外因等)还不够全面。

金钟藤一般入侵受干扰严重的人工林、次生林和灌木林,但调查发现,金钟藤已扩散至五指山有旅游活动的自然林。旅游活动可促进金钟藤的入侵,因为旅游可能将种子带入自然林,并且停车场及旅游小径等可能带来利于金钟藤定植的干扰。作为一种藤本植物,金钟藤可能在森林中的土壤萌芽、定植并生长至冠层,也可能在受干扰严重的林缘、旅游小径附近定植,并通过匍匐和攀爬生长至附近的自然林。为此,作者调查了金钟藤成体(生长至森林冠层)、较大的幼苗(至少 3 片真叶)、刚出土的幼苗(3 片真叶以下)分布的地方。连续 2 年(2012—2013 年)的调查发现,金钟藤成体主要分布于距离林缘 20 m 以内的地方,但少数可分布于超过林缘 40 m 的自然林;87% 以上的冠层有金钟藤的样方,其下也有金钟藤幼苗出土,但这些幼苗难以存活;较大的幼苗距离旅游小径不超过 6.19 m,其平均距旅游小径的距离也比成体及刚出土的幼苗距旅游小径的距离小。将仅有子叶的金钟藤幼苗移栽到林缘和自然林深处,1 年后调查发现,自然林深处移栽的幼苗全部死亡,而在林缘处的幼苗成活率达到 22.5%。此外,将金钟藤幼苗种植于五指山干扰林和自然林下采集的土壤中,在其他条件一致的情况下,在 2 种土壤中生长的金钟藤幼苗生物量没有差别,说明并不是土壤造成了自然林对金钟藤的高抵抗力(黄乔乔等,2013)。这些结

果表明,金钟藤很可能是先在受干扰严重的旅游小径边定植,之后通过匍匐和攀爬生长扩散至附近的自然林。因此,在五指山自然林中应加强管理旅游小径边、停车场等受干扰严重的地方的金钟藤,及时清除较大的可能生长至冠层的金钟藤幼苗。

通过物理和化学手段控制金钟藤难以成功。金钟藤蔓延成片,主藤茎可在地下扩散蔓延数十米,难以确定其位置,控制中常将地表和冠层连接处砍断,但之后金钟藤较下的一部分可迅速长出不定根和不定芽,继续扩散蔓延(徐声杰和李伟雄,1994)。化学控制虽可使其叶片和幼小嫩枝枯死,但对较粗的藤茎不起作用,药效过后其可继续再生和扩散蔓延。目前尚未筛选出有效的化学防除途径(王伯荪等,2009)。综合防治,即将物理、化学、生物及生态恢复相结合的方式,对于金钟藤可能是一种较为可行的防治措施。该方法不是彻底消灭金钟藤,而是将其危害性降低到一个水平。例如,可通过培育相对于金钟藤有较高竞争力的本地植物群落,并结合物理和化学防除方法控制金钟藤的扩散蔓延;降低对森林的干扰,通过提高森林冠层的郁闭度而降低金钟藤幼苗的成活率;同时,加强对金钟藤的开发利用,如可作为猪饲料、提取活性物质等(李晓霞等,2014)。

4 展望

近年来对海南有害植物的研究取得了一定的进展,主要表现:人类活动等干扰因素促进了有害植物的入侵和扩散;高表型可塑性、强大的繁殖能力(包括有性和无性繁殖)促进了外来种的入侵;高土壤养分条件促进了典型菊科入侵种假臭草和胜红蓟的成灾等。但相较于其他地区,海南对有害植物的研究还不够系统和深入。未来应加强相应科研人才队伍和科研平台建设,深入、系统地研究海南典型有害植物的入侵扩散机理及防控对策,为减弱有害植物的扩散和危害提供参考,并为海南国际旅游岛的建设提供安全保证。

参考文献

- 陈志云, 梁水凤, 李东文, 冯卓森, 李伟华, 彭长连, 田兴山, 周先叶, 2011. 假臭草等 12 种植物对白花鬼针草幼苗的化感作用. 热带亚热带植物学报, 19(5): 454–462.
- 程汉亭, 范志伟, 黄乔乔, 李晓霞, 沈奕德, 刘丽珍, 2012. 薇甘菊在不同光环境下的生理生态研究. 热带作物学报,

- 33(3): 523–528.
- 范志伟, 程汉亨, 沈奕德, 刘丽珍, 2010. 海南薇甘菊调查监测及其风险评估. 热带作物学报, 31(9): 1596–1601.
- 黄乔乔, 沈奕德, 范志伟, 李晓霞, 宋鑫, 程汉亨, 侯玉平, 2013. 五指山不同林型土壤对金钟藤幼苗生长的影响. 生态环境学报, 22(1): 95–99.
- 黄乔乔, 沈奕德, 李晓霞, 程汉亨, 宋鑫, 范志伟, 2012. 外来入侵植物在中国的分布及入侵能力研究进展. 生态环境学报, 21(5): 977–985.
- 黄乔乔, 沈奕德, 李晓霞, 张国良, 黄东东, 范志伟, 2015. 不同光照和水分条件对土著灾变种金钟藤形态性状和化感作用的影响. 生态学杂志, 34(2): 438–444.
- 阚丽艳, 谢贵水, 安锋, 肖爱选, 陈炫, 2008. 海南省入侵植物假臭草种子萌芽分析及其防治对策. 广西农业科学, 39(1): 46–50.
- 阚丽艳, 谢贵水, 王纪坤, 2009a. 盐胁迫对假臭草种子萌芽特性的影响. 热带农业科学, 29(8): 26–31, 36.
- 阚丽艳, 谢贵水, 王纪坤, 2009b. 干旱胁迫对入侵植物假臭草幼苗生长和生理生态指标的影响. 热带作物学报, 30(5): 608–612.
- 李传军, 杨礼富, 袁坤, 王真辉, 陈秋波, 2011. 海南假臭草地理群遗传多样性 RAPD 分析. 热带作物学报, 32(8): 1523–1526.
- 李光明, 袁坤, 邹智, 杨礼富, 陈秋波, 王真辉, 2012. 海南岛假臭草入侵情况及丛枝病发病情况研究. 热带农业科学, 32(5): 66–70.
- 李玲, 徐志防, 韦霄, 曹洪麟, 粟娟, 叶万辉, 2008. 金钟藤和葛藤在干旱与复水条件下的生理比较. 广西植物, 28(6): 806–810.
- 李鸣光, 成秀媛, 刘斌, 余华, 2006. 金钟藤的快速生长和强光合能力. 中山大学学报(自然科学版), 45(3): 70–72, 81.
- 李晓霞, 黄乔乔, 范志伟, 沈奕德, 程汉亨, 刘丽珍, 2014. 金钟藤叶挥发油化学成分分析及其化感潜力研究. 热带作物学报, 35(8): 1643–1647.
- 刘振迪, 李光义, 李勤奋, 刘强, 2012. 海南和广东不同地区假臭草化感作用的比较研究. 湖北农业科学, 51(14): 3000–3003.
- 秦新生, 严岳鸿, 陈红锋, 邢福武, 2004. 海南植物增补(VI-II). 华南农业大学学报(自然科学版), 25(1): 122–123.
- 申时才, 徐高峰, 张付斗, 李天林, 张玉华, 2012. 红薯对薇甘菊的竞争效应. 生态学杂志, 31(4): 850–855.
- 宋莉英, 彭长连, 彭少麟, 2009. 华南地区 3 种入侵植物与本地植物叶片建成成本的比较. 生物多样性, 17(4): 378–384.
- 王伯荪, 李鸣光, 廖文波, 粟娟, 丘华兴, 丁明艳, 李富荣, 彭少麟, 2005. 金钟藤的地理分布. 生态环境, 14(4): 451–454.
- 王伯荪, 彭少麟, 李代江, 周婷, 2009. 金钟藤研究述评. 生态学杂志, 28(11): 2360–2365.
- 王伯荪, 丘华兴, 廖文波, 李鸣光, 丁明艳, 彭少麟, 2007. 金钟藤分类考证及补充描述. 广西植物, 27(4): 527–536.
- 王瑞龙, 潘婉文, 杨娇瑜, 张晖, 夏晴晴, 苏贻娟, 曾任森, 2013. 薇甘菊萎蔫病毒感染对薇甘菊光合特性和 4 种酶活性的影响. 生态学报, 33(5): 1667–1674.
- 吴林芳, 梁永勤, 陈康, 李忠超, 曹洪麟, 2007. 金钟藤在海南的危害与防治. 广东林业科技, 23(1): 83–86.
- 徐声杰, 李伟雄, 1994. 木质藤本植物——金钟藤的防除方法. 广东林业科技(1): 46.
- 杨叶, 张宇, 王兰英, 王萌, 李超萍, 2012. 海南假臭草叶斑病菌分离及生物学特性. 热带农业科学, 32(6): 65–69.
- 叶有华, 周凯, 刘爱君, 赵娜, 俞龙生, 彭少麟, 2006. 金钟藤的年轮生长量与气候因子的相互关系. 生态环境, 15(6): 1250–1253.
- Chen B M, Peng S L and Ni G Y, 2009. Effects of the invasive plant *Mikania micrantha* H.B.K. on soil nitrogen availability through allelopathy in South China. *Biological Invasions*, 11(6): 1291–1299.
- Hou Q Q, Chen B M, Peng S L and Chen L Y, 2014. Effects of extreme temperature on seedling establishment of non-native invasive plants. *Biological Invasions*, 16(10): 2049–2061.
- Hou Y P, Peng S L, Chen B M and Ni G Y, 2011. Inhibition of an invasive plant (*Mikania micrantha* H.B.K.) by soils of three different forests in lower subtropical China. *Biological Invasions*, 13(2): 381–391.
- Huang F F, Peng S L, Chen B M, Liao H X, Huang Q Q, Lin Z G and Liu G, 2015. Rapid evolution of dispersal-related traits during range expansion of an invasive vine *Mikania micrantha*. *Oikos*, 124(8): 1023–1030.
- Huang Q Q, Shen Y D, Li X X, Fan Z W, Li M G and Cheng H T, 2013. Native expanding *Merremia boissiana* is not more allelopathic than its non-expanding congener *M. vitifolia* in the expanded range in Hainan. *American Journal of Plant Sciences*, 4(4): 774–779.
- Huang Q Q, Shen Y D, Li X X, Zhang G L, Huang D D and Fan Z W, 2015a. Regeneration capacity of the small clonal fragments of the invasive *Mikania micrantha* HBK: effects of the stolon thickness, internode length and presence of leaves. *Weed Biology and Management*, 15(2): 70–77.
- Huang Q Q, Pan X Y, Fan Z W and Peng S L, 2015b. Stress relief may promote the evolution of greater phenotypic plas-

- ticity in exotic invasive species; a hypothesis. *Ecology and Evolution*, 5(6): 1169–1177.
- Huang Q Q, Shen Y D, Li X X, Li S L and Fan Z W, 2016. Invasive *Eupatorium catarium* and *Ageratum conyzoides* benefit more than does a common native plant from nutrient addition in both competitive and non-competitive environments. *Ecological Research*, 31(1): 145–152.
- Huang Q Q, Wang G X, Hou Y P and Peng S L, 2011. Distribution of invasive plants in China in relation to geographical origin and life cycle. *Weed Research*, 51(5): 534–542.
- Li M G, Liu H Y, Li F L, Cheng X Y, Guo B and Fan Z W, 2009. Seed, cutting and air-layering reproductive inefficiency of noxious woody vine *Merremia biosiana* and its implications for management strategy. *Frontiers of Biology in China*, 4(3): 342–349.
- Li X X, Shen Y D, Huang Q Q, Fan Z W and Huang D D, 2013. Regeneration capacity of small clonal fragments of the invasive *Mikania micrantha* H.B.K.: effects of burial depth and stolon internode length. *PLoS ONE*, 8(12): e84657.
- Song Y B, Yu F H, Keser L H, Dawson W, Fischer M, Dong M and van Kleunen M, 2013. United we stand, divided we fall: a meta-analysis of experiments on clonal integration and its relationship to invasiveness. *Oecologia*, 171(2): 317–327.
- Vilà M, Espinar J L, Hejda M, Hulme P E, Jarošík V, Maron J L, Pergl J, Schaffner U, Sun Y and Pyšek P, 2011. Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecology Letters*, 14(7): 702–708.
- Wang T, Su Y J and Chen G P, 2008. Population genetic variation and structure of the invasive weed *Mikania micrantha* in Southern China: consequences of rapid range expansion. *Journal of Heredity*, 99(1): 22–33.
- Yu H, He W M, Liu J, Miao S L and Dong M, 2009. Native *Cuscuta campestris* restrains exotic *Mikania micrantha* and enhances soil resources beneficial to natives in the invaded communities. *Biological Invasions*, 11(4): 835–844.

(责任编辑:杨郁霞)