

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2019.02.005

入侵植物马缨丹研究进展

李玉霞^{1,2}, 尚春琼², 朱珣之^{1*}

¹江苏省中国科学院植物研究所, 江苏 南京 210014; ²江苏科技大学生物技术学院, 江苏 镇江 212018

摘要: 马缨丹原产于热带美洲, 现已扩散至世界热带和亚热带地区, 并严重威胁入侵地本地植物的生长。马缨丹因具有观赏价值而被我国大量引进, 但由于疏于管理, 发展成为入侵杂草, 对我国农业、畜牧业及生态环境造成严重危害。目前对马缨丹的入侵机制还没有全面系统的认识。本文从马缨丹的生物学特性、入侵机制、生态学效应、防治与应用等方面进行综述, 总结其研究进展, 以期对马缨丹的防治工作提供依据。研究结果显示: 马缨丹成功入侵的关键因素源于其独特的生物学性征; 对农林业造成的危害的原因主要为它的化感作用; 马缨丹的防治方法主要包括物理、化学和生物防治; 马缨丹在防虫除虫、污染修复、药用价值等方面有所应用。此外, 分析当前研究中的不足后发现, 今后应加强马缨丹在自然环境中的适应机制、应用潜力、防治方法等的研究。

关键词: 马缨丹; 外来种; 入侵机制; 防治; 利用

Progress on the research on the invasive west Indian *Lantana* (*Lantana camara*, Verbenaceae)

LI Yuxia^{1,2}, SHANG Chunqiong², ZHU Xunzhi^{1*}

¹Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210014, China; ²College of Biotechnology, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang, Jiangsu 212018, China

Abstract: *Lantana camara* L., native to tropical America, now has spread to tropical and subtropical regions of the world. It has become a serious threat to the growth of native plants and is considered one of the most problematic invasive plants world-wide. Due to its ornamental value, it has been introduced into China in large quantities, and has developed into an invasive weed, causing serious harm to agriculture, animal husbandry and the environment. The invasion mechanism of *L. camara* has not yet been fully and systematically understood. This paper reviews the biological characteristics, invasion mechanisms, ecological impacts, prevention and management of *L. camara*, and summarizes the research progress, in order to provide a scientific basis for the control of *L. camara*. The key factor of *L. camara* invasion success is its unique combination of biological characteristics. The main reason for its damage to agriculture and forestry is allelopathic effects. The control methods of *L. camara* include physical, chemical and biological control methods. *L. camara* has been applied in pest control, pollution remediation and a source of medicine. Further studies are needed about the adaptive mechanism in natural environment, application potential and additional control methods.

Key words: *Lantana camara*; exotic species; invasion mechanism; prevention; utilization

马缨丹 *Lantana camara* L. 是一种多年生常绿灌木, 属马鞭草科 Verbenaceae 缨丹属 *Lantana*, 英文名 common lantana。因其树体微有异味和花色多变, 故华北地区称为五色梅, 福建地区称为五彩花, 而广东、广西地区称为臭草、如意草(中国科学院中国植物志编辑委员会, 1982)。马缨丹原产于美洲热带地区, 现在广泛扩散至世界热带和亚热带各地 (Ghisalberti, 2000), 是世界十大恶性杂草之一 (Sharma *et al.*, 2010)。1645 年, 因马缨丹具有观赏价值, 经荷兰引入我国台湾, 后逸为野生, 现主要分布于香港、台湾、福建、海南、广东、云南、四川、广西等热带和亚热带地区 (Ghisalberti, 2000), 已被我国

收稿日期 (Received): 2018-09-28 接受日期 (Accepted): 2018-12-02

基金项目: 国家自然科学基金青年项目 (31300466); 江苏省水利科技项目 (2016037); 江苏省科技项目基础研究计划 (自然科学基金) 青年基金项目 (BK20170619)

作者简介: 李玉霞, 女, 硕士研究生。研究方向: 植物育种。E-mail: 1622938302@qq.com

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: zxx412@sina.com

环境保护部列入第二批外来物种名单(闫小玲等, 2012), 并被编入“极高风险的外来入侵植物”名录(冯建孟等, 2011)。

马缨丹繁殖力及竞争力极强, 具有强大的入侵性和生态适应性。其化感物质可由活体及残体产生, 使其他植物生长受到抑制甚至无法生存, 进而发展成为单优群落(陈圣宾和李振基, 2005)。马缨丹的入侵会引起生物多样性的减少甚至丧失, 并严重损坏生态系统, 直接或间接影响及损害农林业发展, 造成经济损失(林英等, 2008)。为探索马缨丹作为外来植物在我国顺利入侵的原因, 需要从马缨丹的入侵过程着手, 从个体、种群、群落和生态系统多个方面来探究其入侵潜力、遗传分化、生态适应性及防御机制, 从而进行有效的遏制, 防止进一步危害农林业。本文将重点从马缨丹的生物学特性, 结合其入侵机制和生态学效应以及防治利用等各方面进行系统总结, 展望未来的研究重点, 以期对马缨丹的科学管理和利用有所帮助。

1 马缨丹的生物学特性

1.1 生物学特征

马缨丹是常绿灌木, 在自然界中茎枝常以四棱形存在, 且伴有短的倒钩, 形状如刺般; 叶对生, 叶型为卵形或卵圆形, 叶片表面粗糙并有短柔毛, 背面有小刚毛, 揉烂后有臭味; 开花后, 黄色或橙黄色的花冠为其常态, 随着开花, 花冠逐渐为深红色, 全年开花; 浆果球形, 成熟时为紫黑色(中国科学院中国植物志编辑委员会, 1982)。

马缨丹的繁殖力强, 通过有性繁殖来实现长距离传播。种子小、种子量大, 据统计, 一株马缨丹每年能产生约 12000 粒种子(Swarbrick & Hart, 2001)。鸟类、猴类和羊群摄食马缨丹果实后, 通过空投或排泄的方式使种子得以传播。据记载, 马缨丹种子通过鸟类可传播至几千米之外(Lake & Leishman, 2004)。马缨丹种子的发芽率高, 播种 7 周后有 75% 能发芽; 花期长, 一般从 4 月中、下旬到第 2 年 2 月中旬左右开花, 几乎整年都开花, 长花期增加了马缨丹总的繁殖量(Morton, 1994)。无性繁殖方面, 马缨丹的茎具有生根发芽能力, 全年均可进行扦插, 取当年生壮枝, 保持土壤湿润, 30~40 d 就可萌芽。马缨丹因其独特的物候特征, 喜高温、高湿, 适合在阳光充足和不耐寒的环境中生存, 最适生长温度为 20~32 ℃, 夏季温度高于 35 ℃ 时仍

可持续生长, 但冬季越冬时温度不宜低于 5 ℃, 低于 0 ℃ 时会受冻死亡(马金华等, 2003)。马缨丹染色体为二倍体或多倍体, 有 $2n=22, 33, 44, 55, 66$ 等多种基因型(Brandão *et al.*, 2007), 与其他二倍体植物相比, 马缨丹的这种特性使其具有更强的占据开放生境的能力, 从而加强入侵。

1.2 化学成分

目前, 关于马缨丹化学成分的研究主要集中在叶和根 2 个部分, 现已从中分离鉴定出多种化学物质。刘少群和贾正晖(2002)从马缨丹叶片中的挥发油中鉴定出 19 种化合物, 主要为 α -子丁香烯和 β -子丁香烯, 分别占总挥发油含量的 16.29% 和 22.29%, 其次为大牛耳烯 B 和大牛耳烯 D, 分别占挥发油含量的 9.73% 和 11.85%。任立云等(2006)从马缨丹挥发油中检测出 43 种化学成分, 其中桉树脑含量最高(11.76%), 其次是反式-石竹烯(10.48%)、 β -蛇床烯(7.51%), 另外还包括一些含量较低并对昆虫存在影响(杀虫、趋避、拒食)的化学成分, 如 α -蒎烯(0.29%)、 β -蒎烯(0.98%)、樟脑(1.71%)、苯并噻唑(0.80%)、丁二酸二异丁酯(0.88%)等。周晔(2009)测得马缨丹的叶挥发油中含有 48 种化学成分, 占马缨丹挥发油总量的 80.66%, 其中含量较高的为 α -葑草烯(15.22%)、石竹烯(15.07%)、 β -葑草烯(8.73%); 从花的挥发油中鉴定出 45 种化学成分, 占其挥发油总量的 63.34%, 含量较高的为 α -葑草烯(8.55%)和石竹烯(7.68%)。Misra & Laatsch(2000)同样发现, 挥发性次生化合物主要为 α -葑子烯(8.11%)、Eudesma-3, 11-diene(7.12%)、 α -葑草烯(5.75%)、 β -葑草烯(6.73%)、 δ -葑草烯(6.47%)、异长叶酯(7.79%)等单萜、倍半萜化合物, 其中 α -葑子烯、Eudesma-3, 11-diene、 α -葑草烯、 β -葑草烯等倍半萜占了近 65%, 挥发性次生化合物占总化合物总浓度的 85%。彭富全等(2006)从马缨丹叶片挥发油中分离出 27 种化学成分, 占挥发油总成分相对含量的 88.17%, 并鉴定出其中 13 种, 主要为 aromadendrene IV(18.63%)、异丁香烯(15.9%)、 α -香烯(13.43%)、[+]-Aromadendrene(9.07%)、Junipene(7.09%)、 β -香烯(5.77%)。

马缨丹除挥发性成分外, 还存在五环三萜、四环三萜类化合物、呋喃萜酮、环烯醚萜苷、苯乙醇苷等丰富的非挥发性次生化合物, 其中含量最高是五

环三萜化合物 (Ghisalberti, 2000)。到目前为止, 从马缨丹中分离出五环三萜化合物共 40 多种, 从马缨丹叶中提取出的三萜类化合物为马缨丹甲素 (I)、马缨丹乙素 (II) 和 Lantanilic acid (III)、三齐墩果酮酸、岩茨烯 A、岩茨烯 B、和马缨丹黄酮甙 (马伟杰, 2004; 潘文斗等, 1993), 其中马缨丹甲素和马缨丹乙素具有抗肿瘤活性, 马缨丹甲素可以抑制由 TPA 诱导的 Raji 细胞中爱巴病毒的活性; 马缨丹乙素可延迟小鼠皮肤乳头瘤的形成, 降低荷瘤率及肿瘤数 (朱小微和李红珠, 2002)。马缨丹茎叶和果实中含有马缨丹烯 A、马缨丹烯 B、马缨丹烯、类马缨丹酸、马缨丹异酸、鞣质、生物碱以及树脂等化学物质, 研究表明, 马缨丹烯 A 会引起哺乳类动物中毒 (Deena & Thoppil, 2000), 也有研究发现马缨丹烯 A 和马缨丹烯 B 会抑制哺乳动物瘤乳头状瘤的数量, 表现出致癌抑制作用 (王华娟等, 2011)。

2 入侵机制

2.1 竞争优势

马缨丹对土壤营养的竞争及对光资源的捕获能力较强。康小武和代婷婷 (2016) 对马缨丹土壤酶活性、土壤养分、微生物含量和功能的影响进行了研究, 发现马缨丹的入侵显著增加了土壤中有机质、氮、磷、钾含量和微生物碳、氮、磷含量; 有机质、氮钾含量与 CK (无马缨丹生长荒地的表层土壤) 相比, 分别增加 0.47、0.38、0.30 倍; 根际土壤全磷含量分别比 CK、非根际土壤增加 0.65 和 0.58 倍。同时, 马缨丹提高了土壤中的各种酶 (蛋白酶、脲酶、纤维素酶、过氧化氢酶和蔗糖酶等) 活性、土壤微生物群落活性、碳源利用率, 其对非根际土壤的促进作用低于根际土壤。

朱慧和马瑞君 (2009) 比较了马缨丹及其伴生种鬼针草 *Bidens pilosa* L.、肖梵天花 *Urena lobate* L.、土牛膝 *Achyranthes asperav* L. 在不同 CO₂ 浓度下的光合生理指标, 结果显示: 光饱和点时, 马缨丹的表观量子效率为 0.05 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 仅次于鬼针草, 显著高于肖梵天花, 说明马缨丹的光能利用力较强, 在荫凉环境下的生长能力较强; 马缨丹具有较强的耐旱性, 在强的光照射下, 马缨丹的水分利用率显著高于另外 3 种植物, 水分利用率随着 CO₂ 浓度的升高而升高并维持在相对高的程度。该研究表明, 马缨丹比其他 3 种伴生种有更强的适应能力及更宽的光合生态幅。

2.2 化感作用

马缨丹的茎叶部分和根系均含有化感物质, 且不同提取物的化感作用不同。马缨丹水提取液对黑麦草 *Lolium multiflorum* Lam.、水葫芦 *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms、铜绿微囊藻 *Microcystis aeruginosa* (Kützinger) 和热带豆科牧草柱花草 *Stylosanthes guianensis* (Aubl) Sw 有化感作用, 能在不同程度上抑制上述杂草或藻类生长 (戚春林等, 2013; Kong et al., 2010; Sing et al., 1989; Zheng et al., 2006)。马缨丹不同部位水提液对一串红 *Salvia splendens* L. 的种子萌发、幼苗生长均有影响, 其中果实水提液对一串红种子萌发率、幼苗根长、芽长的抑制作用最为明显, 叶片、茎的抑制作用次之, 不同部位水提液对一串红发芽势的抑制作用大小为叶片 > 果实 > 茎干 (全国明等, 2009)。也有研究发现, 马缨丹叶片和根水浸液对油菜 *Brassica campestris* L.、水稻 *Oryza sativa* L. 和小麦 *Triticum aestivum* L. 等作物种子的萌发存在抑制作用, 且叶片水浸液对这 3 种作物的抑制作用大于根系水浸液, 同时, 油菜对马缨丹水浸液的化感作用最敏感 (卢向荣等, 2013)。田学军等 (2013) 在室内用马缨丹叶片水提液处理豌豆 *Pisum sativum* L. 种子及其幼苗, 并测定了根尖细胞微核率、种子活力、幼苗过氧化物酶活性、丙二醛浓度及细胞膜通透性的变化, 结果显示, 种子活力和幼苗生长显著降低, 根尖微核率、丙二醛浓度和细胞膜的透性明显提高, 在细胞水平和生理学水平初步揭示了马缨丹对豌豆的化感作用 (抑制作用)。此外, 马缨丹叶片乙醇提取物在光照条件下抑制莴苣 *Lactuca sativa* L. 种子的萌发及幼苗生长, 但当缺乏光照且乙醇提取物浓度低于 250 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时对莴苣种子的萌发率及幼苗生长有一定的促进作用, 在黑暗条件下当乙醇提取物浓度高于 250 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时则抑制莴苣种子的萌发及幼苗生长 (余细红和向亚林, 2014)。

马缨丹在入侵蔓延过程中能通过植株挥发化学物质的途径影响邻近植物和农作物的生长, 并且挥发物的浓度越高, 所产生的危害越严重。康小武等 (2014) 用马缨丹叶片挥发物对伴生土著种鬼针草、萝卜 *Raphanus sativus* L.、生菜 *Lactuca sativa* var. *ramose* 进行室内模拟实验, 发现马缨丹叶片挥发物能抑制 3 种植物的种子萌发与幼苗生长, 且随着叶片挥发物浓度的增加, 抑制作用增强。进一步研究

发现,马缨丹所含的化感物质主要集中在根、茎、叶和果实中,其中 β -蒎烯、戊烯、桂皮酸、1,8-桉叶油素、阿魏酸、肉豆蔻酸、棕榈酸、 p -对羟苯丙烯酸等化合物经过挥发、雨水淋溶和根系分泌等,对邻近和伴生植物具有显著的化感作用(Mishra,2015)。

3 马缨丹入侵的生态学效应

马缨丹入侵会长期持续抑制入侵地物种的生长,使本地物种的丰度和丰富度大幅度下降,与未入侵地相比,蕨类植物种类减少 70%,灌木物种丰富度相似,但灌木密度是非入侵地的约 10 倍;同时导致物种组成与原来物种相差较大,马缨丹入侵后比未入侵地物种多 1.2 ~ 2.5 倍(Gooden *et al.*, 2009)。在马来西亚森林中,马缨丹影响阈值为马缨丹覆盖率的 75%~80%,马缨丹覆盖率超过 75%时,本地物种数量迅速下降,覆盖率在 25%~35%对蕨类丰富度表现出相对较低的影响,覆盖率在 55%~60%的地点草本物种的数量最多;覆盖率在 0~60%,外来物种丰富度逐渐增加,而覆盖率超过 60%时,外来物种丰富度则迅速下降;覆盖率 75%以上,大约有 2 种本地物种在森林群落中失踪,本地物种丰富度下降到典型非入侵地点的物种数量的约 76%(Ben *et al.*,2009)。

蒋智林等(2009)通过研究马缨丹不同入侵程度(裸露地、未入侵、轻度入侵和重度入侵)下土壤理化性质及各种土壤酶(磷酸酶、脲酶和蛋白酶)的活性变化,结果发现,马缨丹入侵会导致土壤碱化,并改变根际土壤酶活性及土壤养分平衡,其入侵导致了根际土壤有机质、全氮、全钾、铵态氮、硝态氮和速效钾的含量增高。马缨丹重度入侵地的土壤氮、钾含量为裸露地的 4.1 和 2.3 倍,为未入侵生境的 2.0 和 1.7 倍,铵态氮、硝态氮的含量分别为未入侵生境的 1.9 和 1.6 倍,为裸露地的 4.1 和 5.4 倍,速效钾的含量比未入侵升高 9.4%,比裸露地升高 38.8%。由于马缨丹的入侵导致了土壤中的全磷和速效磷的含量大幅降低,在重度入侵土壤中磷含量与裸露地相比降低了 51.2%,而速效磷的含量分别比未入侵地和裸露地的降低了 43.5%和 65.5%。此外,土壤中各种酶活性均与土壤 pH 值、有机质和氮、钾含量存在正相关关系,与土壤中的磷含量存在显著的负相关关系。另有研究发现,在城市和农村 2 个环境中,蝴蝶物种丰度的日变化及季节变化随马缨丹的开花模式而改变,蝴蝶种类多少与马缨

丹数量、开花时间呈正相关,农村比城市多 25 种蝴蝶,蝴蝶的相对丰度与马缨丹花的密度成正比,且马缨丹花在夏季和季风后盛开,蝴蝶在夏季(3—5 月)和季风后(9—11 月)出现一个高峰,在冬季和中季风期间随着马缨丹花的数量增加而降低(Mukherjee *et al.*,2015)。

4 马缨丹的生物防治

在众多马缨丹的天敌昆虫中,半翅目天敌昆虫中的网蝽 *Teleonemia scrupulosa* Stl. 幼虫和成虫可吸食马缨丹叶汁,可抑制绝大多数基因型马缨丹生长;叶甲科昆虫可破坏南非马缨丹根部,进而可以使其易受致病菌群攻击,由于该种昆虫专一性强,不会轻易危害非靶标植物,故可用于控制马缨丹(Simelane, 2005);缨翅目昆虫蓟马 *Frankliniella lantanae* (Mound *et al.*, 2005)、鞘翅目昆虫金梳龟甲 *Aspidomorpha sanctaerucis* Fabricius 和蜘蛛目的幼虫和成虫均以马缨丹的叶片为食,造成叶片萎焉,可显著抑制马缨丹扩散(Heshula *et al.*,2013)。

马缨丹柄锈菌 *Puccinia lantanae* Farl. 是一种微小锈菌,该菌接种 6 d 后开始出现症状,能相继感染马缨丹叶片、叶柄、茎,15 d 后出现脓疱、腐烂病和顶枯病,最终使叶片早熟并脱落(Jorge & Ellison, 2004);亚热带瘤状锈菌 *Prospodium tuberculatum* (Kuntze) 是一种单主寄生的锈菌,马缨丹的叶片在该菌的作用下会迅速衰老,在低密度条件下接种会引起叶片早熟、脱落(Thomas *et al.*,2006)。植物烟草赤星病 *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler 病原体的无细胞培养滤液(CFCF)使马缨丹叶片、芽和幼苗坏死,经鉴定,CFCF 中存在毒性代谢物细交链孢菌酮酸,在 75% CFCF 浓度下,马缨丹毒性初始症状是施用 6 h 内出现坏死斑块,随着处理时间推移,出现严重坏死、晚卷曲和萎焉(Sanodiya *et al.*,2010),可用于开发马缨丹天然除草剂。

5 马缨丹的应用

5.1 防虫和除虫作用

利用马缨丹提取物防治农林业害虫主要利用其驱避、产卵抑制以及拒食作用等。马缨丹乙醇提取物能抑制美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* Blanchard 种群增长,其干扰作用控制指数为 0.136,使菜豆免受为害,对美洲斑潜蝇防治效果达到 86.40%(洗继东等,2003)。其挥发油对美洲斑潜蝇成虫的产卵

有强烈的趋避作用,干扰作用控制指数和拒食率分别为0.37、59.70%(任立云等,2005)。其乙醇提取物能触杀、驱避红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren(钟平生等,2008)和黄胸散白蚁 *Reticulitermes flaviceps* Os-hima(孙骊珠等,2017)。马缨丹甲醇提取液中的总岩茨烯对小菜蛾 *Plutella xylostella* L.、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Fabricius)和柚叶螟 *Eutectona machaeralis* (Walker)的幼虫存在拒食作用(董易之等,2005),并对根结线虫 *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White)和玉米象 *Sitophilus zeamais* Motsch 等存在抑杀作用(柯云和潘沧桑,2007)。马缨丹的甲醇、乙酸乙酯、氯仿和水提取物对杨梦尼夜蛾 *Orthosia incerta* Hufnagl 以及春尺蠖 *Apocheima cinerarius* Er-shoff 存在触杀作用,其中,浓度 $100 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的乙酸乙酯提取液对杨梦尼夜蛾触杀率极高;而 ddH_2O 和甲醇提取液对这2种昆虫具有相同的触杀活性,触杀率均在55.00%左右;氯仿提取液对2种昆虫的触杀活性较低(张志田和王龙,2013)。

田耀加等(2010)用12.5%马缨丹乳油及其与1.5%除虫菊水乳剂、0.3%印楝乳油、7.5%鱼藤酮乳油混配的联合制剂对黄曲条跳甲 *Phyllotreta striolata* (Fabricius)成虫拒食活性和持效性进行测定,结果发现,黄曲条跳甲成虫在12.5%马缨丹乳油制剂中具有较强的拒食性,其中200、400倍液的拒食性好,分别能达到76%、68%的拒食率。12.5%马缨丹乳油与7.5%鱼藤酮乳油混配时,以5:5比例混合配制使用时的增效最为明显,其拒食中浓度为 $5.25 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$,共毒系数为213;马缨丹乳油与1.5%除虫菊水乳剂以1:9比例混配使用时增效作用次之,其拒食中浓度为 $4.49 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$,共毒系数为149;与0.3%印楝乳油不论以何种比例混配使用时,其共毒系数均小于100,对黄曲条跳甲无任何作用,表现为相互拮抗作用。有研究发现,马缨丹花序能引诱中华微刺盲蝽 *Campylomma chinensis* Schuh 成虫,其花序挥发物将盲蝽引诱至花序,盲蝽以取食蓟马等小型节肢动物为主,故民间常把马缨丹用作诱杀剂(吴伟坚等,2005)。

5.2 生物修复

马缨丹对镉有很强的耐受性及富集作用,能使镉污染矿区的土壤得到有效修复,有研究表明,低浓度镉($30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)处理能使促进马缨丹生长,而高浓度镉($60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)处理能显著抑制马缨丹

生长(贾永霞等,2013)。另有研究表明,当镉浓度 $< 90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时对马缨丹的生长发育没有任何影响,当镉浓度 $> 150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时则会抑制马缨丹生长;镉浓度达到 $210 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,马缨丹各部位(根、茎、叶)的镉含量均达到最高,分别为165.2、123.8和 $112.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,马缨丹的茎、叶镉富集量占全植株的91.15%(方继宇等,2014)。方继宇(2015)研究发现,低浓度的镉处理会促进马缨丹的生长,高浓度则抑制马缨丹生长,每株马缨丹地上部镉富集量最大值可达 $1148.5 \mu\text{L}$ 。傅阳等(2018)研究了不同镉浓度下根内球囊霉 *Glomus intraradices* (GI)对马缨丹吸收、转运镉的影响,结果表明,马缨丹在低污染土壤($10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)中对镉具有较高的提取效率;当镉水平为50、 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,接种根内球囊霉则会显著提高马缨丹的镉提取量,镉含量为 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,接种根内球囊霉的地上部镉提取量约为 Cd_{50} 的5.51倍。同时也有研究发现,在镉污染土壤中,单独或联合接种丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)和添加蚯蚓,均能提高马缨丹地上部镉含量和吸收量,同时提高对镉污染土壤的修复效率(傅阳等,2018)。

5.3 药用价值

吴萍等(2002)观察马缨丹根的水煮醇提取液对小鼠热致痛和醋酸致痛的影响,与给药前比差异均显著,表明其提取液具有较好的镇痛镇静作用。莫云雁等(2004)同样证实马缨丹根三萜类物质对醋酸致痛具有明显的止痛作用,同时还能抑制二甲苯所致炎性水肿。徐彬和孔小明(2000)发现马缨丹叶提取物可诱发豚鼠形成胆石。Hawas(2012)发现,马缨丹的甲醇提取物在自由基清除(DPPH)实验中表现出显著的抗氧化性, IC_{50} 为 $27.2 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,表明马缨丹提取物能改善由对乙酰氨基酚诱导的组织病理学和组织化学改变,即马缨丹提取物对对乙酰氨基酚引起的肝损伤具有保肝作用。

Zhu et al. (2014)将微生物金黄色葡萄球菌 *Staphylococcus aureus* (MRSA)配制成 $2.40 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的悬液,接种在M-H琼脂培养皿上,分别贴上马缨丹茎、叶、果实粗提物药敏纸片,在 35°C 孵育24 h,并测定抑菌圈大小,结果表明,马缨丹的茎、叶、果实的粗提取物中岩茨烯A对金黄色葡萄球菌具有一定的抑菌活性,其抑菌活性与岩茨烯A含量呈正比关系。Han et al. (2015)研究发现,马缨丹

提取物使人类乳腺癌细胞系 MCF-7 表现出细胞死亡特性,诱导 MCF-7 凋亡,且该细胞凋亡由 Bcl-2 家族调控,从而表现出抗癌作用。Pour & Sasidharan (2011)用马缨丹根、茎、叶、花、果甲醇提取物对卤虫进行致死性实验,结果表明,马缨丹根提取物对卤虫的 LC_{50} 为 $3.5 \sim 26.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (标准的抗癌药环磷酰胺为 $6 \sim 25.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),故马缨丹根提取物可能是抗癌植物化学物质。

5.4 其他应用

马缨丹叶片提取液会对水葫芦 *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms 产生氧胁迫 (Zheng *et al.*, 2006)。马缨丹叶片提取液及酚类化合物会抑制水葫芦的生长,水葫芦在马缨丹叶水提物高浓度下 6 d 则整株干枯死亡 (易振等, 2006)。马缨丹提取液对枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis* Cleveas、金黄色葡萄球菌和大肠杆菌 *Escherichia coli* (VTEC) 等 3 种细菌均有不同程度的抑制作用 (林燕文和童义平, 2009)。因此,马缨丹可用于开发食品及饲料防腐、化妆品等方面的研究。马缨丹挥发油和提取物具有较强的清除 $ABTS^+$ 自由基能力和自由基清除活性 (DPPH),马缨丹挥发油对 $ABTS^+$ 和 DPPH 的清除率高达 52.50%、21.05%;同时 $ABTS^+$ 和 DPPH 的还原能力随着马缨丹挥发油和提取物的浓度增大而增强,故马缨丹可作为天然抗氧化剂 (郭占京等, 2013; Mahdipour *et al.*, 2012)。

6 展望

马缨丹在农业、畜牧业和人类生活中已经造成了一系列危害,目前科学界还都侧重于研究化感物质对其他植物种子的萌发和幼苗生长,其降解和影响机制以及与土壤微生物群落之间的相关研究还远远不够,在未来应加大力度着手研究探讨马缨丹入侵的内在规律、化感物质的内在作用机理,为马缨丹的防治找到一条更好的途径。近年来,在观赏植物、污染场地的生物修复、药用价值和防虫治虫等方面有所涉及,许多潜在的应用价值还有待进一步的发现和深究。

目前已有的防治方法对马缨丹的防治可以起到一定的作用,但马缨丹的入侵形势依然严峻。因此,应积极寻找先进的防治方法 (如研制高效可靠的除草剂、新技术的应用、有效的生物防治方法以及这些方法的综合利用等) 以方便对马缨丹进行更

有效的防治,同时也为其他外来入侵植物的防治提供参考。

参考文献

- 陈圣宾, 李振基, 2005. 外来植物入侵的化感作用机制探讨. 生态科学, 24(1): 69-74.
- 董易之, 张茂新, 凌冰, 2005. 马缨丹总岩茨烯对小菜蛾和斜纹夜蛾幼虫的拒食作用. 应用生态学报, 16(12): 2361-2364.
- 方继宇, 2015. 马缨丹对镉、铅的耐性机理及富集特征研究. 硕士学位论文. 成都: 四川农业大学.
- 方继宇, 贾永霞, 张春梅, 张世熔, 徐小逊, 蒲玉琳, 李婷, 李云, 2014. 马缨丹对镉的生长响应及其富集、转运和亚细胞分布特点研究. 生态环境学报, 23(10): 1677-1682.
- 冯建孟, 董晓东, 徐成东, 查凤书, 2011. 中国外来入侵植物的风险评价及空间分布格局. 西南大学学报 (自然科学版), 33(2): 57-63.
- 傅阳, 凡玲, 黄雪莹, 2017. 马缨丹对镉的耐性及 *Glomus intraradices* 对镉吸收转运的影响. 华南师范大学学报 (自然科学版), 49(2): 122-128.
- 傅阳, 凡玲, 黄雪莹, 2018. 丛枝菌根真菌与蚯蚓对马缨丹镉吸收和抗氧化酶活性的影响. 华南师范大学学报 (自然科学版), 50(3): 51-57.
- 郭占京, 王勤, 黄宏妙, 程世贤, 周丽霞, 尧昊秋, 2013. 马缨丹挥发油体外抗氧化活性研究. 中国实验方剂学杂志, 19(11): 235-237.
- 贾永霞, 张世熔, 张春梅, 黄添杨, 胡欣, 方继宇, 2013. 土壤不同镉水平对马缨丹生长及其抗氧化酶活性的影响. 西北植物学报, 33(9): 1838-1844.
- 蒋智林, 刘万学, 万方浩, 李正跃, 陶玫, 孙蔚青, 2009. 马缨丹入侵对草坪土壤养分特征的影响. 云南农业大学学报, 24(2): 159-163.
- 康小武, 代婷婷, 2016. 马缨丹入侵对根际和非根际土壤理化性质的影响. 现代农业科技 (20): 84-86.
- 康小武, 全国明, 章家恩, 严文斌, 2014. 入侵植物马缨丹叶片挥发物的化感作用. 中国农学通报, 30(22): 287-291.
- 柯云, 潘沧桑, 2007. 几种植物提取液对根结线虫的抑杀作用. 厦门大学学报 (自然科学版), 46(5): 711-714.
- 林燕文, 童义平, 2009. 马缨丹抑菌试验研究. 生物技术, 19(6): 83-85.
- 林英, 戴志聪, 司春灿, 杜道林, 2008. 入侵植物马缨丹 (*Lantana camara*) 入侵状况及入侵机理研究概况与展望. 海南师范大学学报 (自然科学版), 21(1): 87-93.
- 刘少群, 贾正晖, 2002. 马缨丹叶片水提物与挥发油的生物活性及化学成分研究. 广西植物, 22(2): 185-188.
- 卢向荣, 谭忠奇, 林益明, 柴纬明, 周海超, 2013. 入侵植

- 物马缨丹对4种农作物的化感作用. 厦门大学学报(自然科学版), 52(1): 133-138.
- 马金华, 罗强, 袁颖, 2003. 马缨丹的综合利用价值及其发展前景. 西昌农业高等专科学校学报, 17(1): 28-29.
- 马伟杰, 肖定军, 邓松之, 2004. 马缨丹叶的三萜类化学成分研究. 广州化学, 29(4): 14-19.
- 莫云雁, 李安, 黄祖良, 2004. 五色梅根三萜类物质镇痛和抗炎的实验研究. 时珍国医国药, 15(8): 477-478.
- 潘文斗, 麦浪天, 李毓敬, 徐信兰, 于德泉, 1993. 马缨丹叶的化学成分研究. 药科学报, 1(1): 35-39.
- 彭富全, 周宁, 魏刚, 2006. 五色梅叶挥发油成分的气相色谱-质谱联用分析. 时珍国医国药, 17(3): 362-363.
- 戚春林, 谢贵水, 李剑碧, 2013. 不同生境中马缨丹不同部位水提液的化感效应研究. 中国农学通报, 29(9): 184-189.
- 全国明, 章家恩, 徐华勤, 毛丹鹃, 秦钟, 2009. 入侵植物马缨丹不同部位的化感作用研究. 中国农学通报, 25(12): 102-106.
- 任立云, 曾玲, 陆永跃, 黄寿山, 张茂新, 2006. 马缨丹挥发油成分及其对美洲斑潜蝇成虫产卵、取食行为的影响. 基因组学与应用生物学, 25(1): 43-47.
- 任立云, 曾玲, 张茂新, 2005. 马缨丹提取物对美洲斑潜蝇成虫的驱避作用. 华南农业大学学报, 26(1): 53-55.
- 孙骊珠, 徐伟丽, 罗兰, 袁忠林, 2017. 黄胸散白蚁对马缨丹叶片提取物的嗅觉行为反应. 应用昆虫学报, 54(2): 265-272.
- 田学军, 沈云玫, 袁寒, 陶宏征, 2013. 马缨丹 *Lantana camara* L. 对豌豆 *Pisum sativum* L. 的化感作用. 西南师范大学学报(自然科学版), 38(5): 63-67.
- 田耀加, 张茂新, 曾玲, 凌冰, 董易之, 2010. 马缨丹乳油及其混剂对黄曲条跳甲的拒食活性. 生态学杂志, 29(5): 973-977.
- 王华娟, 曲韵智, 潘辉, 2011. 马缨丹化学成分及药理研究进展. 中国医药技术经济与管理(3): 76-79.
- 吴萍, 李振中, 李安, 2002. 马缨丹根水煮醇提部位镇痛镇静作用的研究. 现代中药研究与实践, 16(2): 20-21.
- 吴伟坚, 高泽正, 余金咏, 梁广文, 2005. 嗅觉和视觉在中华微刺盲蝽对马缨丹定向行为中的作用. 应用生态学报, 16(7): 1322-1325.
- 冼继东, 庞雄飞, 曾玲, 2003. 异源次生化合物对美洲斑潜蝇种群控制作用的田间试验. 应用生态学报, 14(1): 97-100.
- 徐彬, 孔小明, 2000. 马缨丹叶提取物诱发豚鼠胆石症的病理组化研究. 畜牧兽医学报, 31(2): 179-185.
- 闫小玲, 寿海洋, 马金双, 2012. 中国外来入侵植物研究现状及存在的问题. 植物分类与资源学报, 34(3): 287-313.
- 易振, 张茂新, 凌冰, 徐迪, 叶景中, 2006. 马缨丹及其酚类化合物对水葫芦生长的抑制作用. 应用生态学报, 17(9): 1637-1640.
- 余细红, 向亚林, 2014. 马缨丹对莴苣种子萌发和幼苗生长的影响. 安徽农业科学(23): 7806-7807.
- 朱小薇, 李红珠, 2002. 马缨丹化学成分与生物活性. 现代药物与临床, 17(3): 93-96.
- 张志田, 王龙, 2013. 马缨丹提取液对杨梦尼夜蛾和春尺蠖的活性测定. 林业科技, 38(1): 40-41.
- 中国科学院中国植物志编辑委员会, 1982. 中国植物志: 马鞭草科. 北京: 科学出版社.
- 钟平生, 赵瑾, 张颂声, 冯菊香, 2008. 几种植物提取物对红火蚁的室内毒杀活性试验. 惠州学院学报, 28(6): 41-44.
- 周晔, 2009. 马缨丹挥发油的化学成分分析. 亚太传统医药, 5(7): 25-28.
- 朱慧, 马瑞君, 2009. 入侵植物马缨丹(*Lantana camara*)及其伴生种的光合特性. 生态学报, 29(5): 2701-2709.
- BEN G, KRIS F, PETERJ T, 2009. Invasion and management of a woody plant, *Lantana camara* L. alters vegetation diversity within wet sclerophyll forest in southeastern australia. *Forest Ecology & Management*, 257(3): 960-967.
- BRANDÃO A D, VICCINI L F, SALIMENA F R, VANZELA A L, RECCOPIMENTEL S M, 2007. Cytogenetic characterization of *Lippia alba* and *Lantana camara* (Verbenaceae) from Brazil. *Journal of Plant Research*, 120(2): 317-321.
- DEENA M J, THOPPIL J E, 2000. Antimicrobial activity of the essential oil of *Lantana camara*. *Fitoterapia*, 71(4): 453-455.
- GHISALBERTI E L, 2000. *Lantana camara* L. (Verbenaceae). *Fitoterapia*, 71(5): 467-486.
- GOODEN B, FRENCH K, TURNER P J, DOWNEY P O, 2009. Impact threshold for an alien plant invader, *Lantana camara* L. on native plant communities. *Biological Conservation*, 142(11): 2631-2641.
- HAN E B, CHANG B Y, JUNG Y S, KIM S Y, 2015. *Lantana camara* induces apoptosis by Bcl-2 family and caspases activation. *Pathology & Oncology Research*, 21(2): 325-331.
- HAWAS U W, 2012. Digalacturonide flavones from Egyptian *Lantana camara* flowers with *in vitro* antioxidant and *in vivo* hepatoprotective activities; *Zeitschrift für Naturforschung C. A Journal of Biosciences*, 67(7/8): 381-390.
- HESHULA L U P, HILL M P, TOURLE R, 2013. Factors contributing to the failure of the biological control agent, *Falconia intermedia* (Miridae: Hemiptera), on *Lantana camara* (Verbenaceae) in South Africa // WU Y, JOHNSON T, SING S, RAGHU S, WHEELER G, PRATT P, WARNER K, CENTER T, GOOLSBY J, REARDON R. *Proceedings of the XIII international symposium on biological control*

- of weeds*; 377–388.
- KONG C H, WANG P, ZHANG C X, ZHANG M X, HU F, 2010. Herbicidal potential of allelochemicals from *Lantana camara* against eichhornia crassipes and the alga microcystis aeruginosa. *Weed Research*, 46(4): 290–295.
- JORGE L R B, ELLISON C, 2004. Potential biological control of *Lantana camara* in the galapagos using the rust puccinia *Lantanae*. *Sida Contributions to Botany*, 21(2): 1009–1017.
- LAKE J C, LEISHMAN M R, 2004. Invasion success of exotic plants in natural ecosystems: the role of disturbance, plant attributes and freedom from herbivores. *Biological Conservation*, 117(2): 215–226.
- MAHDIPOUR B, JOTHY S L, LATHA L, CHENY Y, SASIDHARAN S, 2012. Antioxidant activity of methanol extracts of different parts of *Lantana camara*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(12): 960–965.
- MISHRA A, 2015. Allelopathic properties of *Lantana camara*. *International Research Journal of Basic and Clinical Studies*, 3(1): 13–28.
- MISRA L, LAATSCH H, 2000. Triterpenoids, essential oil and photo-oxidative 28→13-lactonization of oleanolic acid from *Lantana camara*. *Phytochemistry*, 54(8): 969–974.
- MORTON J F, 1994. *Lantana*, or red sage (*Lantana camara* L., Verbenaceae), notorious weed and popular garden flower: some cases of poisoning in Florida. *Economic Botany*, 48(3): 259–270.
- MOUND L A, NAKAHARA S, DAY M D, 2005. *Frankliniella lantanae* sp. n. (Thysanoptera: Thripidae), a polymorphic alien thrips damaging *Lantana* leaves in Australia. *Austral Entomology*, 44(3): 279–283.
- MUKHERJEE S, BANERJEE S, BASU P, SAHA G, ADITYA G, 2015. *Lantana camara* and butterfly abundance in an urban landscape: benefits for conservation or species invasion? *Ekológia*, 34(4): 309–328.
- POUR B M, SASIDHARAN S, 2011. *In vivo* toxicity study of *Lantana camara*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 1(3): 230–232.
- SANODIYA B S, THAKUR G S, BAGHEL R K, PANDEY A K, PRASAD G B K S, BISEN P S, 2010. Isolation and characterization of tenuazonic acid produced by *Alternaria alternata*, a potential bioherbicidal agent for control of *Lantana camara*. *Journal of Plant Protection Research*, 50(2): 133–139.
- SHARMA G P, RAGHUBANSHI A S, SINGH J S, 2010. *Lantana* invasion: an overview. *Weed Biology & Management*, 5(4): 157–165.
- SIMELANE D O, 2005. Biological control of *Lantana camara* in South Africa: targeting a different niche with a root-feeding agent, *Longitarsus* sp. *Biocontrol*, 50(2): 375–387.
- SING M, TAMMA R V, NIGG H N, 1989. Hplc identification of allelopathic compounds from *Lantana camara*. *Journal of Chemical Ecology*, 15(1): 81–90.
- SWARBRICK J T, HART R, 2001. Environmental weeds of Christmas Island (Indian Ocean) and their management. *Plant Protection Quarterly*, 16(2): 54–57.
- THOMAS S E, ELLISON C A, TOMLEY A J, 2006. Studies on the rust *Prospodium tuberculatum*, a new classical biological. *Australasian Plant Pathology*, 35(3): 321–328.
- ZHENG H Q, WEI N, WANG L F, HE P, 2006. Effects of *Lantana camara* leaf extract on the activity of superoxide dismutase and accumulation of H_2O_2 in water hyacinth leaf. *Journal of Plant Physiology & Molecular Biology*, 32(2): 189–194.
- ZHU F, WEIHONG L U, HUANG M, JINGSHU W U, CHEN X, 2014. Determination of lantadene a contents in the crude extracts from stems, leaves and fruits of *Lantana camara* L. and their antibacterial activities. *Medicinal Plant*, 5: 40–42.

(责任编辑:郭莹)