

云南菊科入侵植物入侵机制及其利用研究进展

王德艳, 张大才, 胡世俊, 闫晓慧*

西南林业大学林学院/云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 云南 昆明 650224

摘要: 植物入侵已对生物多样性、社会经济和人类健康造成了严重的威胁。云南由于地形复杂、气候和生态系统类型多样而成为植物入侵的重灾区。菊科是入侵植物中最多的一个科;但目前尚缺乏有关云南菊科入侵植物入侵机制和利用的报道。云南菊科入侵植物约有 86 种,入侵的主要机制;云南地形复杂,气候和生态系统类型多样,为入侵植物的生存提供了适宜的环境;同时,这些菊科入侵植物具有较强的繁殖能力和竞争能力、多样化的生态对策及丰富的化感物质,且其天敌缺乏等。这些因素的综合作用使很多菊科外来植物成功入侵云南。综合利用是治理入侵植物的一种有效措施。云南菊科入侵植物资源丰富,产量高,在医药、饲料、工业原料等方面具有一定的开发利用价值。

关键词: 菊科; 入侵植物; 入侵机制; 利用

Understanding the invasion mechanism and utilization of invasive Asteraceae in Yunnan Province

WANG Deyan, ZHANG Dacai, HU Shijun, YAN Xiaohui*

College of Forestry, Southwest Forestry University/Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control of Yunnan Province, Kunming, Yunnan 650224, China

Abstract: Plant invasion pose serious threats to biodiversity, economy, and human health. There are many invasive plants in Yunnan Province, compounded with the complicate topography, diverse climate and ecosystem types. Asteraceae is the family with the largest number of invasive plants world-wide. At present, there is a lack of a comprehensive understanding of the invasion mechanism and utilization of the invasive plants of Asteraceae in Yunnan. We know of 86 invasive plants in Yunnan Province. These plants have strong reproductive and competitive ability, and varied ecological strategies and allelopathic effects, and a lack of natural enemies. The combined effects of these factors lead to the successful invasion. Comprehensive utilization is an effective measure for the control of invasive plants. The invasive plants of Asteraceae in Yunnan Province have certain possibilities for exploitation and utilization as medicine, feed, and industrial raw materials.

Key words: Asteraceae; invasive plant; invasion mechanism; utilization

外来物种入侵(alien species invasion)是指外来种由原生地经自然或人为途径进入另一个生态环境,并在该生态系统中定居、自行繁殖建群和扩散而逐渐占领新栖息地的一种生态现象(胡隐昌等, 2012)。入侵植物(invasive plants)是指通过自然和人类等无意或有意地传播或引入到异域的植物,通过归化自身建立可繁殖的种群,进而影响侵入地的生物多样性,使其生态环境受到破坏,并造成经济

影响或损失(马金双, 2013)。植物入侵的历史非常悠久,早在 19 世纪达尔文就已经关注到了生物入侵现象,但入侵生物学在我国的发展起步较晚,直到 20 世纪 90 年代后期,才有一些零散的研究(万方浩等, 2011)。不当引入外来物种是造成入侵的最主要原因。据调查,入侵中国的有害植物中有 58%是为了食用、药用以及园林绿化、农业林业生产等目的引进的(孙富玉, 2004; Wang *et al.*,

收稿日期(Received): 2017-05-11 接受日期(Accepted): 2017-07-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(31200265、31200319); 云南省高校优势特色重点学科(生物学、生态学)建设项目; 云南省林学一流学科建设经费资助

作者简介: 王德艳, 女, 硕士研究生。研究方向: 植物多样性保护与利用。E-mail: 15559762920@163.com

* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: luckyxh@163.com

2006)。随着现代经济的发展,人类活动将会增加外来种入侵的机会。近年来,外来入侵植物所产生的危害逐年增大,特别是近 30 年来,这些危害显得尤为突出(何家庆,2012; 万方浩等,2009; 徐海根和强胜,2011; Vilà *et al.*, 2011)。例如,紫茎泽兰 *Ageratina adenophora* Spreng. 含有的化感物质可导致人畜患病,1979 年曾造成云南省的 52 个县几乎成了“无马县”,牛羊数量锐减(刘鹏程,2004)。云南省普洱市墨江县一个牧场的马匹因紫茎泽兰诱发哮喘,全部死亡,牛也因无饲草急速减少(张玉娟等,2004)。飞机草 *Eupatorium odoratum* L. 的危害导致云南南部大部分地区的农民每年要欠收两成以上的粮食(陶川,2012),造成了巨大的经济损失,并导致当地生物多样性的散失。

云南具有丰富的菊科入侵植物种类。2006 年,丁莉等(2006)报道了云南外来入侵菊科植物有 23 属 31 种。2013 年,马金双(2013)报道,云南入侵植物共有 565 种,其中菊科入侵植物有 55 属 86 种,占云南省入侵植物总数的 15.22%,是云南入侵植物最多的一个科。云南是世界十大生物多样性热点地区之一的东喜马拉雅地区的核心区域,生物种类及特有类群均居全国之首。菊科入侵植物的传播对云南生物多样性造成了严重的影响,但目前尚缺乏有关云南菊科入侵植物入侵机制及利用方面的报道。本文对该方面的研究进展进行综述,为云南菊科外来入侵植物的科学管理、监测和防控提供参考。

1 入侵机制

1.1 云南的地理气候条件

云南地处中国西南边陲,有 25 个边境县,国境线长达 4060 km,有 11 个国家级口岸,10 个省级口岸,83 个主要边境通道和边民互市点,15 个民族跨境而居(张玉娟等,2004),这为入侵植物的传入提供了重要的通道。云南占全国陆地总面积的 4.10%,居全国第八位;具有山地、高原、丘陵、盆地、河谷等多种类型的地貌,东部与贵州省、广西壮族自治区为邻,北部同四川省相连,西北隅紧倚西藏自治区,西部同缅甸接壤,南同老挝、越南毗连。从整个位置看,北依广袤的亚洲大陆,南连位于辽阔

的太平洋和印度洋的东南亚半岛,处在东南季风和西南季风控制之下,又受西藏高原的影响,从而形成了复杂多样的自然地理环境,为外来生物的侵入创造了自然条件(李春雪,2010)。因此,云南适合各类入侵植物生长,是植物入侵的重灾区,16 个地州目前均已外来入侵植物的踪迹,除了少数自然保护区外,其他地区或多或少都存在外来入侵植物(徐成东和陆树刚,2006)。在菊科外来入侵植物中,很多种类在云南局部地区集中分布,部分种类的入侵历史已达几十年甚至逾 100 年。如 1936 年在云南勐海发现了刺苞果 *Acanthospermum australe* (L.) Kuntze; 藿香蓟 *Ageratum conyzoides* L. 在 19 世纪初由中南半岛蔓延至云南南部;由缅甸传入的飞机草于 1934 年在云南南部被发现,目前在云南干热河谷地区常见(李振宇和解焱,2002)。部分入侵植物因其种群数量极大、繁殖扩散快,已严重危害云南的热带、亚热带生态系统,急剧地影响着云南的生物多样性,如由缅甸传入的薇甘菊 *Mikania micrantha* Kunth, 2005 年已在云南德宏州盈江、瑞丽、陇川等地定居并扩散,造成覆盖稻田,攀缘森林树木、果园、竹林及橡胶林等现象。

1.2 菊科入侵植物较强的繁殖能力

菊科入侵植物具有生长发育快、果实数量大等特点,在繁殖上也具有诸多优势,如有效的传播、扩散机制,良好的集群能力,以及不需要特化传粉者等,这些特性有利于其扩大分布面积和占据居住生境,使其快速蔓延,成为入侵植物最多的类群之一(倪广艳等,2014; 朱世新等,2005)。研究发现,具有无性繁殖特性,能借助风媒或能自花传粉、自花授粉的入侵植物比需要传粉媒介的入侵植物具有更广泛的分布区(Bartomeus & Vilà, 2009)。菊科植物的果实为瘦果,具冠毛,种子产量高,能够随着气流和风飘扬而广泛传播。如飞机草的每个花序结籽达千粒以上;加拿大一枝黄花 *Solidago canadensis* L. 结实率较低,但其结实量巨大,可形成量大、生活力长的种子库,其花序结构特征有利于增加异交的机率(郝建华等,2009);三叶鬼针草 *Bidens pilosa* L. 所具有的灵活交配机制是其入侵成功的重要因素,此外,其结实量大,种子产生迅速且适于传播,也增强了其入侵性(郝建华等,2009)。

1.3 菊科入侵植物较强的竞争能力

较强的繁殖能力可以使入侵植物产生较多子代,但子代的幼苗还需要比许多本土植物具有较强的竞争能力才能快速占据生境而成功生存发展。生长速率是体现植物竞争能力的关键性状,因为生存与繁殖都依赖于生长,高的生长速率与高的光合速率相关(Zheng *et al.*, 2009)。因此,比较入侵植物与本土植物的光合作用及相关性状有助于理解植物入侵中的基本问题(徐林波等, 2006; Feng *et al.*, 2009)。此外,很多入侵植物具有较强的资源吸收、利用能力,这也是其竞争能力的来源。如相对于本土近缘种,紫茎泽兰具有较高的资源吸收与利用能力(徐林波等, 2006; Shen *et al.*, 2006)。入侵中国的飞机草比原产地墨西哥的飞机草具有更强的竞争能力,但前者的防御能力比后者弱;研究表明,一些入侵种较强的竞争能力来源于体内物质结构的调整和化学防御物质的重新分配(Qin *et al.*, 2013)。飞机草和薇甘菊的生长和防御能力均优于本土植物,但它们的碳同化能力相近,因此,入侵植物特殊的内在资源分配与利用机制可能是其成功入侵的关键(倪广艳等, 2014)。

1.4 菊科入侵植物多样的生态对策

菊科入侵植物具有多样的生态对策。有些入侵植物生长发育速度较快,能快速完成生长繁殖全过程,如肿柄菊 *Tithonia diversifolia* A. Gray、鬼针草等;有些为多年生植物,具有发达的根状茎,可以进行营养繁殖,适应性强,如加拿大一枝黄花、紫茎泽兰可依靠强大的根状茎快速扩展蔓延;有“植物杀手”之称的薇甘菊为微木质藤本植物,具有较强的攀援、扩散能力,覆盖于其他植物冠层上,造成其他植物死亡;有的菊科入侵植物种子具钩刺,可附着于人类衣服或动物皮毛上,传播范围广,如鬼针草、苍耳 *Xanthium sibiricum* Patr. ex Widder 等。研究表明,外来入侵植物通常在不同的环境中可以表现出不同的形态,这也是入侵植物成功入侵和扩散的原因之一(许凯扬等, 2005)。此外,入侵植物的快速遗传分化有助于其适应不同的生境,如紫茎泽兰在中国具有高的遗传多样性,有许多地理种群,表现出较强的形态结构可塑性(Wan *et al.*, 2010)。

1.5 菊科入侵植物的“化学武器”

植物在长期的进化过程中,产生了对病原菌及昆虫侵染的防御机制。植物的次生代谢产物是其防御病虫害侵染的“化学武器”,这些次生产物主要包括苯丙基类、聚乙酸盐类、萜类化合物、生物碱类等。植物化感作用是植物(包括微生物)通过产生并向环境中释放化学物质而对其他植物发生的直接或间接、有害或有益的作用(陈圣宾和李振基, 2005)。外来入侵植物不仅可以通过抑制种子萌发和植株生长来排挤本土植物,形成单优种群落,而且可以通过拒食、延迟发育和毒性作用等减少植食性昆虫和大型动物对它的取食,从而实现成功入侵。针对这种现象,学者们提出了“化学武器假说(chemical weapons hypothesis)”(Jensen, 2000)。

紫茎泽兰具有较强的化感作用,可以抑制本土植物的生长,并且其不同生境中的化感能力有差异(于兴军等, 2004)。郑丽和冯玉龙(2005)发现紫茎泽兰叶片提取液对10种受体植物种子萌发和幼苗生长均有化感作用,不同浓度的提取液对植物的化感作用强度不同,低浓度时较弱,高浓度时较强。紫茎泽兰可以释放挥发性化学成分,影响入侵地本土植物的种子萌发和幼苗生长(Inderjit *et al.*, 2011)。加拿大一枝黄花也具有化感效应,与其生物学性状等因素一起决定了该植物的入侵性(杨如意等, 2011)。飞机草的入侵种群已进化出对广食性昆虫的抗性,入侵地的飞机草比原产地种群有较强的结构与化学防御性状(Liao *et al.*, 2014)。

1.6 菊科入侵植物的天敌缺乏

在外来物种的原产地,由于多年的协同进化作用,各物种之间形成了相对固定的食物链关系。但入侵地的外来物种没有相应的天敌控制,为外来物种的入侵提供了较大的生存空间,这就是“天敌逃避假说”。生物控制机制的丧失,导致外来物种的种群数量大幅增加(张巧和郝建锋, 2011)。因此,利用天敌控制入侵生物成为一个研究热点。泽兰实蝇 *Procecidochares utilis* Stone 是紫茎泽兰的专食性天敌昆虫,其卵产在紫茎泽兰生长点上,孵化后即蛀入幼嫩部分取食。我国于20世纪80年代开始研究泽兰实蝇的生物学特性、安全性测试及繁殖释放技术,1984年将泽兰实蝇引入云南部分地区用

于控制紫茎泽兰,目前已在紫茎泽兰分布地区形成自然种群。但有研究表明,在实际防治过程中,泽兰实蝇虽能在一定程度上抑制紫茎泽兰的生长,但由于其繁殖力低,扩散速度远远落后于紫茎泽兰的扩散速度(孙劲等,2003;张智英等,1988),因此很难达到控制的目的(李爱芳等,2006)。云南本地昆虫也能不同程度地取食紫茎泽兰,近年云南加强了本地昆虫取食紫茎泽兰的研究,但对取食的原因和取食后昆虫体内毒素的积累研究甚少。牛燕芬等(2015)研究了斜纹夜蛾 *Prodenia litura* (Fabricius) 幼虫取食紫茎泽兰后的生理变化,发现斜纹夜蛾可能通过分解乙酰胆碱酯酶使体内的乙酰胆碱水解而失去毒性,因此没有中毒症状。可见,斜纹夜蛾在紫茎泽兰的生物防治上有一定的利用价值。

1.7 其他机制

外来物种并不一定会成为入侵物种,外来物种要演变成入侵物种需要经历很复杂的过程(陈玲玲和林振山,2008)。植物入侵的历史非常悠久,实际入侵的种类及数目远远超过文献记载;但近百年来,由于生物入侵对生态环境产生了威胁才越来越被人们重视。另有不少假说对植物入侵机制进行了解释,如“资源机遇假说”“生态位机遇假说”“氮分配进化假说”“增强竞争力进化假说”等。如紫茎泽兰在入侵地会增加光合结构中的氮元素含量,减少细胞壁中的氮元素分配,从而减少了结构防御的投资,提高了生长速率,提升了竞争能力(Feng *et al.*, 2009, 2011)。

不同的入侵植物具有不同的生物学特征,其入侵机制也不尽相同,很难单独用某一种假说来解释所有的生物入侵现象(Blumenthal, 2006)。各种假说对入侵现象的解释存在很多不一致的地方,可能由于不同的研究关注了入侵过程中的不同阶段,因此,对入侵机制的研究要综合入侵过程中的各个阶段,进行全面的研究。

2 菊科入侵植物的利用

2.1 生物农药

很多入侵植物具有很强的抵御病虫害的能力,这与其体内具有丰富的抗菌、杀虫物质有关,具有开发生物农药的价值。紫茎泽兰汁液石油醚萃取物对马铃薯晚疫病菌 *Phytophthora infestans* 的菌丝

生长有较好的抑制效果(张培花等,2006);紫茎泽兰发酵液对甘蓝蚜 *Brevicoryne brassicae* (L.) 具有较好的防治效果(徐锐等,2007)。加拿大一枝黄花的水提取液对螨虫具有一定杀灭效果(张基胜等,2008);加拿大一枝黄花甲醇提取物的乙酸乙酯萃取部位抑菌活性最强,正丁醇萃取部位次之,石油醚萃取部位抑菌活性最差,推测与乙酸乙酯萃取部位中的酚类化合物有关(郭婕和崔桂友,2009)。

2.2 生物医药

入侵植物的很多活性成分对人类疾病具有很好的治疗作用。紫茎泽兰鲜叶汁涂抹于患处具有治疗蚊虫叮咬的作用,鲜茎叶煎水清洗患处可治疗不明缘由的皮肤荨麻疹(周启武等,2014)。一年蓬 *Erigeron annuus* (L.) Pers. 是我国传统的中草药之一,具有清热解毒、抗疟疾、助消化之功效(黄丽娜, 2011)。加拿大一枝黄花对糖尿病、慢性肾病、膀胱炎、风湿病、尿结石等有一定疗效,可作抗炎剂(王贵春等,2011)。肿柄菊的浓缩热水提取物无细胞毒素,能很好地抑制滤过性病毒 HSV 的感染和抗白血病(Chiang *et al.*, 2004);从肿柄菊中分离到的圆叶肿柄菊素 C,是一种抗疟原虫的倍半萜内酯,具有抗疟疾作用(Ziémons *et al.*, 2004)。在印度、孟加拉国、菲律宾和一些非洲国家,薇甘菊被用作传统医药的成分(王志远和莫南,2014)。

2.3 饲料

很多菊科入侵植物含有丰富的营养成分和微量元素,可以作为饲料加工利用。紫茎泽兰生物量大,蛋白质含量高,且含有 16 种氨基酸,经脱毒处理后可作为饲料利用,不仅节约了治理成本,还可解决我国饲料原料短缺的困难,是一种较为理想的饲料资源,市场前景广阔(韩龙等,2010;王文琪, 2013;张培花等,2006)。采用固态微生物脱毒剂和中药解毒剂按一定比例同时混入紫茎泽兰的湿料中进行堆积发酵,脱毒率达 99%,且发酵后具有酒香味,提高了适口性,如果能利用云南省紫茎泽兰总量的 1%,就可大量增加饲料资源(谢全喜等, 2013)。在我国南方,农民将薇甘菊做成猪饲料。在云南德宏,薇甘菊有时会被牛、羊取食,还被用作饲草喂猪。在国外,薇甘菊因其口味鲜美也作为牛、羊的饲料(张敏,2014)。

2.4 工业原料

外来入侵植物多具有繁殖快、生物产量大等特点,可以作为工业原料开发应用。加拿大一枝黄花植株含有较为丰富的纤维资源,其纤维素含量达到了42.63%,与竹类纤维资源相似,现已有以其为主要原料用于造纸及制造纤维板材的报道(黄莹等,2014)。紫茎泽兰茎秆中纤维素含量为26.45%,其与松树、玉米等木本和草本植物具有类似的物质组成特征(杨亚峰,2006)。四川、云南等地用老化的紫茎泽兰茎秆加工成天花板、纤维板,其质量指标符合国家标准(徐妙芳等,2007);昆明人造板机器厂利用紫茎泽兰制成刨花板等建材。郭珍等(2010)研究发现,薇甘菊含有多种可用于染料制造的化学成分,可以作为自然芳香的天然植物染料;在云南大理巍山,人们利用紫茎泽兰对布料进行染色,染出的黄色布料色彩鲜明且不易褪色。万寿菊 *Tagetes erecta* L. 含有丰富的叶黄素,已被广泛用于植物染料生产(潘丽娜和贾丽霞,2008)。

2.5 其他

入侵植物在日常生活中的各个方面均具有一定的应用价值。飞机草植株因含有较多的营养物质和矿质元素而被作为绿肥引入栽植(全国明等,2009)。紫茎泽兰也是一种优良的野生有机肥原料;同时,紫茎泽兰可作为食用菌培养料,可栽培平菇、凤尾菇、金针菇、木耳和猴头菇等7种食用菌(韩龙等,2010)。紫茎泽兰具有与木屑相似的疏松结构,可制备活性炭产品,替代木质和煤质活性炭,用于净化水质等方面(朱光洲,2012)。以紫茎泽兰叶的提取物为主要成分制备植物源保鲜剂,可用于水果保鲜,具有杀菌抑菌作用;利用紫茎泽兰和粘结剂可以做成一种气味保留时间长的植物蚊香,对人体没有任何毒副作用(杨茵茵,2015)。贵州昌泰科技开发有限公司以紫茎泽兰为主要原料成功研制出发热量高的清洁炭;云南一些工厂用紫茎泽兰调制生产日化香精。

3 展望

近年来,随着我国外来植物入侵发生频度和危害程度的迅速增强,外来植物的入侵机制及综合利用研究逐渐受到人们关注。我国环境保护部门先

后两批对全国入侵种进行了普查,由于新的物种的不断引入和侵入,目前我国究竟有多少入侵种仍不清楚(Ding *et al.*, 2011; Li & Ma, 2010)。有关部门应加大对外来入侵植物种类及其危害的宣传力度,加强检疫,以减少人为的传播。此外,应加强菊科入侵植物的入侵机制、生态影响、控制与利用等方面的研究,为有效治理该类植物提供依据。

参考文献

- 陈玲玲, 林振山, 2008. 不同栖息地状态下外来种入侵及对本地种生存影响的模拟. 生态学报, 28(4): 1366-1375.
- 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.
- 丁莉, 杜凡, 张大才, 2006. 云南的外来入侵植物研究. 西部林业科学, 35(4): 98-103.
- 郭婕, 崔桂友, 2009. 加拿大一枝黄花甲醇提取物抑菌活性研究. 湖北农业科学, 48(9): 2154-2156.
- 郭珍, 宋晓静, 李化, 李华民, 张呈瑞, 2010. 薇甘菊染料化学成分分析. 安徽农业科学, 38(22): 11698-11700.
- 韩龙, 唐华, 郭芸江, 2010. 紫茎泽兰作为饲料原料的研究进展. 江西饲料(1): 22-24.
- 郝建华, 刘倩倩, 强胜, 2009. 菊科入侵植物三叶鬼针草的繁殖特征及其与入侵性的关系. 植物学报, 44(6): 656-665.
- 何家庆, 2012. 中国外来植物. 上海: 上海科学技术出版社.
- 胡隐昌, 宋红梅, 牟希东, 罗建仁, 2012. 浅议我国外来物种入侵问题及其防治对策. 生物安全学报, 21(4): 256-261.
- 黄丽娜, 2011. 一年蓬的生物学鉴别研究. 浙江中医杂志, 46(10): 763-765.
- 黄莹, 陈欢, 李丽珍, 谢利波, 付永前, 2014. 加拿大一枝黄花生物资源利用的研究进展. 广州化工, 42(8): 17-19.
- 李爱芳, 黄荣祥, 高贤明, 黄荣祥, 邓祖平, 2006. 泽兰实蝇寄生状况及其对紫茎泽兰生长与生殖的影响. 植物生态学报, 30(3): 496-503.
- 李春雪, 2010. 基于博弈分析的云南矿产资源开发中的利益分配协调机制研究. 硕士学位论文. 昆明: 云南财经大学.
- 李振宇, 解焱, 2002. 中国外来入侵种. 北京: 中国林业出版社.
- 刘鹏程, 2004. 云南省防治外来生物入侵刻不容缓. 林业调查规划, 129(2): 94-98.
- 马金双, 2013. 中国入侵植物名录. 北京: 高等教育出版社.
- 倪广艳, 朱丽薇, 牛俊峰, 着秀华, 张振振, 2014. 三种菊科入侵植物的生长与化学防御的关系研究. 生态环境学

- 报, 23(1): 1-6.
- 牛燕芬, 莫丽玲, 张永福, 刘春丽, 王林波, 2015. 云南本地昆虫取食紫茎泽兰的原因研究. 云南农业大学学报(自然科学版), 30(4): 489-493.
- 潘丽娜, 贾丽霞, 2008. 植物染料的研究现状及趋势. 纺织科技进展 (3): 36-37.
- 郝建华, 钱海军, 姜雯, 沈宗根, 2009. 加拿大一枝黄花有性生殖特征研究. 生态环境学报, 18(6): 2278-2282.
- 全国明, 章家恩, 徐华勤, 毛丹鹃, 谢俊芳, 2009. 外来入侵植物飞机草的生物学特性及控制策略. 中国农学通报, 25(9): 236-243.
- 孙富玉, 2004. 人祸: 外来有害生物入侵的“帮凶”. 中国林业 (21): 41.
- 孙劲, 王海龙, 王甸洪, 徐彪, 2003. 紫茎泽兰防治概述. 云南畜牧兽医 (4): 11-13.
- 陶川, 2012. 云南普洱外来入侵植物的初步调查. 思茅师范高等专科学校学报, 28(6): 1-5.
- 万方浩, 郭建英, 张峰, 2009. 中国生物入侵研究. 北京: 科学出版社.
- 万方浩, 严盈, 王瑞, 杨国庆, 2011. 中国入侵生物学学科的构建与发展. 生物安全学报, 20(1): 1-19.
- 王贵春, 侯应霞, 吴山, 2011. 外来入侵植物加拿大一枝黄花的利用研究进展. 安徽农业科学, 39(36): 22378-22379.
- 王文琪, 2013. 紫茎泽兰的防除及利用研究. 湖北农业科学, 52(4): 754-757.
- 王志远, 莫南, 2014. 外来入侵植物薇甘菊的综合利用与开发. 中国园艺摘录 (1): 214-217.
- 谢全喜, 张建梅, 张文, 2013. 入侵物种紫茎泽兰研究进展. 畜牧与饲料科学, 34(9): 85-89.
- 徐成东, 陆树刚, 2006. 云南的外来入侵植物. 广西植物, 26(3): 227-234.
- 徐海根, 强胜, 2011. 中国外来入侵生物. 北京: 科学出版社.
- 徐林波, 刘爱萍, 王慧, 2006. 外来恶性杂草——紫茎泽兰研究进展及展望// 中国植物保护学会. 科技创新与绿色植保——中国植物保护学会 2006 学术年会论文集. 北京: 中国植物保护学会: 38-43.
- 徐妙芳, 唐志荣, 陈集双, 2007. 入侵有害植物资源化利用及相关问题. 生态安全 (13): 34-36.
- 徐锐, 吴迪, 杨松, 尹芳, 刘士清, 2007. 紫茎泽兰发酵液对甘蓝蚜的防治效果及对天敌的影响. 安徽农学通报, 13(16): 71-73.
- 许凯扬, 叶万辉, 李静, 李国民, 2005. 入侵物种喜旱莲子草对土壤养分的表型可塑性反应. 生态环境, 14(5): 723-726.
- 杨如意, 咎树婷, 唐建军, 陈欣, 2011. 加拿大一枝黄花的入侵机理研究进展. 生态学报, 31(4): 1185-1194.
- 杨亚峰, 2006. 紫茎泽兰制造中密度纤维板的研究. 中国人造板 (10): 13-16.
- 杨茵茵, 2015. 外来入侵植物防治的国内专利技术进展. 经济与法, 44(3): 67-75.
- 于兴军, 于丹, 马克平, 2004. 不同生境条件下紫茎泽兰化感作用的变化与入侵力关系的研究. 植物生态学报, 28(6): 773-780.
- 张基胜, 俞惠明, 毕洪波, 杨文英, 2008. 有害植物一枝黄花的杀虫活性研究. 现代农药, 7(6): 47-49.
- 张敏, 2014. 薇甘菊中黄酮的提取分离及生物活性研究. 硕士学位论文. 广州: 广东工业大学.
- 张培花, 罗文富, 杨艳丽, 2006. 紫茎泽兰汁液及其萃取物对马铃薯晚疫病病菌的抑制作用. 西南农业学报, 19(2): 246-250.
- 张巧, 郝建锋, 2011. 外来物种入侵机制的研究进展. 贵州农业科学, 39(6): 94-98.
- 张玉娟, 张乃明, 高阳俊, 2004. 云南省生物入侵现状分析. 环境科学导刊, 23(1): 10-14.
- 张智英, 魏艺, 何大愚, 1988. 泽兰实蝇生物学特性的初步研究. 生物防治通报, 4(1): 10-13.
- 郑丽, 冯玉龙, 2005. 紫茎泽兰叶片化感作用对 10 种草本植物种子萌发和幼苗生长的影响. 生态学报, 25(10): 2782-2787.
- 周启武, 于龙凤, 王绍梅, 李晓君, 彭泽琴, 赵宝玉, 2014. 入侵植物紫茎泽兰的危害及综合防控与利用. 动物医学进展, 35(5): 108-113.
- 朱世新, 覃海宁, 陈艺林, 2005. 中国菊科植物外来种概述. 广西植物, 25(1): 69-76.
- 朱先洲, 2012. 入侵植物紫茎泽兰资源化利用研究进展. 湖北农业科学, 51(14): 2905-2907.
- BARTOMEUS I, VILÀ M, 2009. Breeding system and pollen limitation in two supergeneralist alien plants invading Mediterranean shrublands. *Australian Journal of Botany*, 59(2): 109-115.
- BLUMENTHAL D M, 2006. Interactions between resource availability and enemy release in plant invasion. *Ecology Letters*, 9(7): 887-895.
- CHIANG L, CHENG H, CHEN C C, LIN C C, 2004. In vitro anti-leukemic and antiviral activities of traditionally used medicinal plants in Taiwan. *The American Journal of Chinese Medicine*, 32(5): 695-704.

- DING H, XU H G, QIANG S, 2011. Status quo and trends of biological invasion into China. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 27(3): 35–41.
- FENG Y L, LEI Y B, WANG R F, RAGAN M, ALFONSO V B, INDERJIT, LI Y P, ZHENG Y L, 2009. Evolutionary tradeoffs for nitrogen allocation to photosynthesis versus cell walls in an invasive plant. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(6): 1853–1856.
- FENG Y L, LI Y P, WANG R F, CALLAWAY R M, 2011. A quicker return energy-use strategy by populations of a subtropical invader in the non-native range: a potential mechanism for the evolution of increased competitive ability. *Journal of Ecology*, 99(5): 1116–1123.
- INDERJIT, EVANS H, CROCOLL C, BAJPAI D, KAUR R, FENG Y L, SILVA C, CARREÓN J T, GERSHENZON J, CALLAWAY R M, 2011. Volatile chemicals from leaf litter are associated with invasiveness of a Neotropical weed in Asia. *Ecology*, 92(2): 316–324.
- JENSEN M N, 2000. Plant invader may use chemical weapons. *Science*, 290: 421–422.
- LI B, MA K P, 2010. Biological invasions: opportunities and challenges facing. *Biodiversity Science*, 16(8): 529–533.
- LIAO Z Y, ZHENG Y L, LEI Y B, FENG Y L, 2014. Evolutionary increases in defense during a biological invasion. *Oecologia*, 174(4): 1205–1214.
- QIN R M, ZHENG Y L, VALIENTE-BANUET A, CALLAWAY R M, BARCLAY G F, 2013. The evolution of increased competitive ability, innate competitive advantages, and novel biochemical weapons act in concert for a tropical invader. *New Phytologist*, 197(3): 979–988.
- SHEN Y X, LIU W Y, BASKIN J M, CAO M, 2006. Persistent soil seed banks of the globally significant invasive species, *Eupatorium adenophorum*, in Yunnan Province, southwestern China. *Seed Science Research*, 16(2): 157–162.
- VILÀ M, ESPINAR J L, HEJDA M, HULME P E, JAROŠÍK V, MARON J L, PGL J, SCHAFFNER U, SUN Y, 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.
- WAN F H, LIU W X, GUO J Y, QIANG S, LI B P, 2010. Invasive mechanism and control strategy of *Ageratina adenophora* (Sprengel). *Science in China Life Sciences*, 53(11): 1291–1298.
- WANG Q, AN S Q, MA Z J, ZHAO B, CHEN J K, LI B, 2006. Invasive *Spartina alterniflora*: biology, ecology and management. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 44(5): 559–588.
- ZHENG Y L, FENG Y L, LIU W X, 2009. Growth, biomass allocation, morphology, and photosynthesis of invasive *Eupatorium adenophorum* and its native congeners grown at four irradiances. *Plant Ecology*, 203(2): 263–271.
- ZIÉMONS E, COFFIN E, LEJEUNE R, ANGENOT L, THUNUS L, 2004. FT-IR measurement of tagitinin C after solvent extraction from *Tithonia diversifolia*. *Talanta*, 62(2): 383–387.

(责任编辑: 杨郁霞)