

外来入侵植物飞机草的生物学特性及控制策略

全国明^{1,2}, 章家恩¹, 徐华勤¹, 毛丹鹃¹, 谢俊芳¹

¹华南农业大学热带亚热带生态研究所, 广州 510642;

²广州城市职业学院建筑、环境与食品工程学院, 广州 510405)

摘要:飞机草 *Eupatorium odoratum*, 菊科 *Compositae* 泽兰属 *Eupatorium* 植物, 原产于南美, 现广泛扩散到美洲、非洲和亚洲等地, 成为一种世界性的外来入侵杂草, 严重威胁当地的生物多样性、农业生产和生态安全。1934年, 飞机草在云南和海南尖峰山被首次发现, 现正在中国南部地区迅速扩散。此文对飞机草的生物学特性、入侵机制、造成的危害、开发利用以及控制策略等方面进行了较为系统的介绍, 并指出今后需要加强研究的内容领域: (1)飞机草入侵的本底调查与扩散预测; (2)飞机草的入侵过程、机制与影响因素; (3)飞机草的入侵效应与风险评估; (4)飞机草的科学管理与控制。

关键词:飞机草; 生物入侵; 入侵种; 防治

中图分类号: Q948.S451 文献标识码: A

Biological Characteristics and Control Strategies of Alien Invasive Plant *Eupatorium odoratum*

Quan Guoming^{1,2}, Zhang Jia'en¹, Xu Huaqin¹, Mao Danjuan¹, Xie Junfang¹

¹Institute of Tropical and Subtropical Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642;

²College of Architecture, Environment and Food Engineering, Guangzhou City Polytechnic, Guangzhou 510405)

Abstract: *Eupatorium odoratum* is a long-lived perennial plant of Eupatorium, Compositae family, native to South America. It has been bringing about some serious threats to biodiversity, agricultural production and ecological security in the regions where they have invaded and regarded as a global invasive alien weed from tropical to subtropical areas, including America, Africa and Asia. *Eupatorium odoratum* was first discovered in Yunnan and Hainan provinces in 1934, and now it is spreading rapidly in China, especially in southern China. This paper presented a detailed account of this species in relation to its invasion ecology, such as biological characteristics, invasive mechanisms, harms, utilizations and control strategies. Based on the current research progresses, some important study fields on the ecology and sustainable utilization of *Eupatorium odoratum* may focus on the following aspects in the future, including: (1)its comprehensive survey and diffusion prediction of invasion; (2)invasive process and its interaction mechanisms; (3)invasive effects and risk assessment; (4) scientific management and control countermeasures.

Key words: *Eupatorium odoratum*, bioinvasion, invasive species, control

基金项目:国家重大基础研究发展计划(973)(2006CB100206)“农业生物多样性综合应用模式与方法”;国家自然科学基金“华南地区稻田福寿螺的发生危害规律及稻田养鸭控制福寿螺的效果与机制研究”(30770403);教育部博士点基金“南方地区飞机草入侵对地下部土壤生物多样性的影响”(200805640012);广东省自然科学基金“植物地上部损伤对根际微生物与微生态的影响”(010274);广东省自然科学基金“作物间作系统中根系交错区的土壤微生物多样性与生态效应”(032246);广州市教育局资助项目“南方地区飞机草入侵对土壤微生物群落的影响及其反馈作用研究”(08C008)。

第一作者简介:全国明,男,1975年出生,博士研究生,讲师,主要从事农业生态学的教学和研究工作。通信地址:510642 华南农业大学热带亚热带生态研究所。Tel:020-83660986, E-mail: gzbyqgm@126.com。

通讯作者:章家恩,男,1968年出生,博士,教授,主要从事农业生态学、土壤生态学和生物多样性的研究工作。E-mail: jeanzh@scau.edu.cn。

收稿日期:2009-02-16, 修回日期:2009-04-08。

飞机草(*Eupatorium odoratum*),学名香泽兰,为菊科 *Compositae* 泽兰属 *Eupatorium* 植物。原产于南美洲安第斯山,曾作为观赏植物和肥料作物被引种到全球各地,现广泛分布于美洲、非洲和亚洲的泰国、印尼、菲律宾等地区,已成为一种世界性的恶性杂草,对当地的生物多样性、自然生态系统和社会经济发展构成了严重的威胁^[1-2]。1934年飞机草在中国云南南部和海南尖峰山被首次发现,现已入侵扩散至云南、海南、广东、香港、澳门、广西和贵州西南部等地^[3]。因其传播、繁殖速度极快,故名飞机草。目前飞机草在中国的发生面积近3000万 hm^2 ,其中海南是入侵范围最广的省份,云南南部和广东雷州半岛是发生较为严重的地区。2003年,飞机草被列入国家环保总局和中国科学院联合公布的首批外来入侵种名单。此文对飞机草的生物学特性、入侵机制、造成的危害以及控制策略等方面进行综述,旨在为相应的科学研究及飞机草的防治控制

提供理论依据。

1 生物学特征与分布

1.1 形态学特征

飞机草作为一种入侵性和危害程度均很强的外来物种,国内外很早就已开展了相应的研究工作。在形态学方面,飞机草属丛生型的多年生草本或亚灌木,植株高达2~3 m,分枝平展,幼茎柔嫩,木质化程度低,但老茎粗壮;叶对生,卵状三角形,两面被白色绒毛,叶缘具明显粗锯齿,挤碎后散发刺激性的气味;头状花序,15~40朵小花集生形成伞房状,蓝白色或淡黄色,每花序结籽达千粒以上;瘦果狭线形,有棱,上生有灰白色冠毛,能随风传播,而成熟季节恰值干燥多风的旱季,扩散、蔓延非常迅速;在海南岛1年开花2次,第1次4—5月,第2次9—10月^[1-3]。而在广州地区,飞机草一般在11月—翌年2月开花,2—4月结实和种子成熟(图1)。



图1 飞机草的形态学特征与生境分布

注:图中A:花序,B:营养体,C:路边生境,D:果园生境

1.2 群落分布

飞机草是喜热性杂草,主要分布于 30°N — 30°S 、海拔500~1500 m温暖潮湿的热带、亚热带地区,尤其以800 m左右的地段最多,并随海拔高度的上升其出现的频率逐渐下降;在低海拔地区,飞机草对坡向的反应不明显,但在海拔1000 m以上的山区,其主要分布在30度以下的阳坡或平缓地^[4];在年均温高于 19°C 以及最冷月均温在 12°C 以上、雨量900~2000 mm、相对湿

度75%~90%的地带生长特别旺盛^[2,5-6]。

飞机草的生态幅较广,对环境条件要求不严,可生于林缘、林内和采伐迹地、田埂、荒地、农田、路旁、水边、山坡等多种生境^[7]。能够忍受高温,对水分要求不严;喜生肥沃疏松的酸性土壤;全生育期内喜光,但种子萌发时需要一定的遮荫环境^[4,8]。扩散时首先侵入一些退化的生态系统,如植被破坏严重的路旁裸地、陡坡、火烧迹地、退化草场等,短时间内形成密集成丛或

成片的单优植物群落,并逐渐向其他生态系统如茶园、农田、森林等转移^[9]。吴邦兴^[10]曾对云南南部的飞机草群落特征做过详细调查,发现其群落种类组成复杂,共有高等植物110种(含蕨类3种,裸子植物1种,被子植物106种),其中偶见种多,常见种少,但主要为阳性植物或偏阳性植物,出现频次较多的伴生种包括鹊肾树(*Streblus asper*)、布渣叶(*Microcos paniculata*)、胜红蓟(*Ageratum conyzoides*)、蔓生莠竹(*Microstegium gratum*)、大叶臭黄皮(*Clausena dentata* var. *robusta*)和柳轩黍(*Panicum* sp.)等;群落具有明显的成丛性和2~3层结构,并且根据群落的种类组成、结构与生境差异,可将其生育期划分成发育初期、发育盛期和发育末期等。而最近在广西隆安的调查则显示,石灰岩山地的飞机草群落约有62种植物,以泛热带、热带亚洲分布类型为主,其中高位芽植物占大部分,群落结构简单,分层不明显,伴生的土著种主要有雀梅(*Sageretia theezans*)、龙须藤(*Bauhinia championii*)、灰毛浆果楝(*Cipadessa cinerascens*)、红背山麻杆(*Alchornea trewioides*)等灌木或藤本^[7]。在广东,飞机草的生境类型多样,空旷地、疏林地、公路边等均可生长,越往南其成片分布越明显,越往北则多呈群集分布,并常与马缨丹(*Lantana camara*)、大青(*Clerodendrum cyrtophyllum*)、鬼灯笼(*Clerodendrum fortunatum*)、银胶菊(*Parthenium hysterophorus*)、鬼针草(*Bidens pilosa*)、假烟叶(*Solanum erianthum*)、水茄(*Solanum torvum*)、火炭母(*Polygonum chinensis*)等植物混生^[3]。可见飞机草群落的种类组成、结构与外貌特征等随着分布区域、生境、发育阶段和人为干扰等因素的差异而有所不同。

2 成功入侵的机制

2.1 繁殖力高

外来种繁殖能力的高低对于入侵成功与否起着关键的作用,Barret^[10]曾指出外来种的入侵能力与繁殖力成正相关。飞机草既可进行有性繁殖又能进行无性繁殖,并且这两种繁殖方式的能力均较强。飞机草进行有性繁殖时每棵植株产生的种子数高达7.2~38.7万粒,种子极小而轻,千粒重仅0.164 g,适于风媒传播,在风速1 m/s时能飘至2.5~3 m高、5~10 m远的区域,并且其果实顶端的刺状冠毛能粘附在人畜体表传播到风力所不能及的角落^[4]。因此,风媒传播与人畜传播使飞机草的远距离大范围扩散成为可能。散落地面的飞机草种子只要水热条件适宜,4~5天即可开始萌发,当年植株高度可达1.7 m左右;而在长至0.5~0.8 m时自茎基部叶腋处萌生1或2个次生枝,第二节又萌生2或3个次生枝,然后在次生枝上复生2或3个新的枝

条,如此直到枝顶,这样每株飞机草便形成了具有多个分枝的植丛^[4];而匍匐于地面的次生枝,在30 ℃时只要10天左右就可以克隆繁殖出一个全新的植株^[11]。种子数量多、传播力强、萌发生长快、分枝与克隆繁殖能力高使飞机草在适宜的生境下密集成丛,极易形成单优群落而成功入侵。

2.2 生态适应能力强

光照、温度、营养和水分等环境条件是影响植物生长发育的主要因子,对入侵植物亦然。一般而言,与本地种相比,外来种对环境条件变化的适应能力更强^[12-13]。王俊峰等^[14]研究显示,飞机草在强光下能通过降低捕光色素复合体II的含量以减少光能吸收,同时提高最大净光合速率来增加光能利用;而在弱光下则通过降低比叶重、提高单位干重叶绿素含量、维持低日间热耗散和较高的光合系统II非环式电子传递效率来增强对光的吸收,使其能够充分利用环境中有限的光能。较高的光能利用效率和抵御强光破坏的能力为飞机草的旺盛生长和强入侵性奠定了基础。飞机草对温度胁迫尤其是高温胁迫具有较高的适应性,在高温或低温的异常环境下,飞机草均能够迅速启动其抗氧化酶系统,植株体内的超氧化物歧化酶(SOD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)和脱氢抗坏血酸还原酶(DHAR)的活性大幅提高,而过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、单脱氢抗坏血酸还原酶(MDAR)和谷胱甘肽还原酶(GR)的活性在高温环境下也显著上升,抗逆性增强,较好地保护自身免受活性氧自由基的伤害^[15]。

氮、磷是植物生长过程中最主要的养分限制因子,飞机草植株对土壤中氮、磷营养变动的可塑性较高^[16-17]。当营养缺乏时它可增加吸收器官的生物量分配来扩大吸收表面积,有利于养分资源的捕获和利用,缓解养分不足对植株生长的限制;而营养丰富时则把更多的生物量投入到同化器官,增加同化面积和同化能力,有利于碳积累,提高植株的竞争能力;较高的氮、磷营养能促进飞机草的入侵,使其通过提高最大净光合速率和叶面积指数,增大株高、分枝数和生物量等途径来荫蔽、排挤本地种。在干旱胁迫的条件下,除SOD、POD、APX、DHAR、MDAR和GR等抗氧化酶的活性升高外,飞机草还能增加植株的根冠比,减少地上部生物量的积累,把更多的资源分配到根系的生长上,并显著提高土壤水分的利用效率^[15,18]。在云南南部的干季里(11月—翌年4月),本地植物大部分都已干枯落叶或停止生长,但飞机草仍能维持较高的相对生长速率,在时间上可充分利用本地种不能利用的环境资源,大大提高了自身的竞争能力和建群速度^[16]。

2.3 化感作用

化感作用指植物(包括微生物)通过合成并向环境释放化学物质从而对其他植物或微生物的生长、分布产生直接或间接的影响,包括有利和有害两个方面。化感是外来植物成功入侵的重要机制之一,许多入侵中国的外来种如紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)、豚草(*Ambrosia artemisiifolia*)、凤眼莲(*Eichhornia crassipes*)、薇甘菊(*Mikania micrantha*)、马缨丹、加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)等植物均具有较强的化感作用,它们通过根系分泌、茎叶淋溶、植株挥发和凋落物分解等形式释放化感物质影响邻近植物的生长,从而使自身在竞争中获得更大的优势^[19-20]。何衍彪^[21]、凌冰^[22]等研究了飞机草的化感作用,发现其挥发物或乙醇浸提物对豇豆(*Vigna sinensis*)、四季豆(*Phaseolus vulgaris*)、青瓜(*Cucumis sativus*)、萝卜(*Raphanus sativus*)、菜心(*Brassica parachinensis*)、白菜(*Brassica chinensis*)、水稻(*Oryza sativa*)和稗草(*Echinochloa oryzicola*)、黑麦草(*Lolium multiflorum*)等多种植物的生长发育均有不同程度的影响作用,总体上呈现出“低(浓度)促高(浓度)抑”的现象,并且随着处理浓度增大其抑制作用不断增强,其中干物质为0.1 g/mL的乙醇提取物对菜心、白菜的种子萌发、幼苗生长和根生长的抑制作用最为明显,而挥发油的抑制作用大小为黑麦草>白菜>萝卜>四季豆>水稻。后续的研究进一步指出飞机草的化感化合物主要是黄酮类、生物碱和非蛋白氨基酸等物质^[23-25],而挥发油中则主要是萜类化合物、烷烃类化合物和含氧化合物^[22]。最近也有研究报道飞机草挥发油除主要含萜类化合物外,还有较多的脂肪族化合物和芳香族化合物^[26]。可见,如同其他大部分外来种一样,化感在飞机草入侵的过程中或许起着重要的作用。

2.4 生境的易入侵性

外来种的成功入侵除受自身的生物学特性制约外,还与入侵地的气候特点、生境类型密切相关。如果入侵区域的环境条件与原产地类似,那么外来种成功入侵的机率就会上升。飞机草喜高温、光照充足和潮湿的生长环境,而中国南部的低纬度地区横跨热带和南亚热带两个气候带,温暖潮湿、雨水充沛、太阳辐射强和热量丰富等气候条件与其原产地南美基本相似^[4]。这对飞机草的定殖、扩散非常有利,也与飞机草在中国海南、云南、广东、广西等省区的大面积入侵分布相符。在具体的入侵地段上,飞机草通常最先入侵弃荒地或受人类活动严重干扰的生境,而此时该退化生境的空间和资源状况正“虚位以待”,且竞争者少,

极利于飞机草的入侵,使之能顺利地占据一个空生态位^[27-28]。同时人类活动的干扰打破了本地生态系统的平衡状态,群落的物种组成与结构趋于简单化,生物多样性降低,其抵御外来入侵者的能力大大下降,亦使得外来种易于进入并定居^[29-30]。这也为飞机草的入侵提供了机会。另外,世界经济的一体化使贸易、运输、旅游业在全球范围内迅速发展,人为的引种和无意的带入亦有利于飞机草的传播和扩散,促进它们的成功入侵。

3 造成的危害

3.1 对生物多样性与生态系统的危害

飞机草可依靠种子和根茎进行繁殖,生长速度快,分枝多,再生能力强。在原产地,由于有大量的专一性昆虫取食和病原菌侵染,飞机草在当地并没有造成严重危害^[31]。但在入侵地区,由于缺乏这些天敌的控制,飞机草生长繁茂,密集成丛,常以成片的单优植物群落出现,侵占宜林荒山和椰林、橡胶林等经济林地,并通过遮荫作用和化感作用抑制其他物种的生长,使自身在新的环境中与本地物种竞争时处于优势地位,进而成功地将本地种排挤掉,大大降低入侵地区的生物多样性^[3,16]。而在林区,飞机草亦能够沿着道路两侧逐渐向纵深处传播,占据每一块伐木迹地和林间空隙,影响林木的生长与更新;并且飞机草极难根除,即使经过砍伐和焚烧后,只要土壤湿润,就能从埋于土中的多生年根系中迅速再生,长成灌丛,再继续扩散为害,对整个生态系统的结构和功能造成更严重的破坏^[32]。除形成单优群落排挤本地物种外,入侵种还可以通过杂交或基因渗透的方式污染土著植物的基因库,导致本地种基因型的流失,改变其遗传多样性,甚至导致本地种的灭绝;并且杂交很可能产生一个新的类群,其后代的入侵能力比亲本更强,从而造成更严重的生态后果^[33]。这种基因渗透或杂交现象已在互花米草(*Spartina alterniflora*)、加拿大一枝黄花、马缨丹等入侵植物中得到证实^[34-35],虽然目前飞机草尚没有这方面的研究报告,但其潜在的威胁不可忽视。

3.2 对农业生产和人类健康的危害

飞机草的入侵性极强,在适宜的条件下可入侵草地、农田、果园等生态系统,对当地的畜牧业和农业生产造成严重的危害。在草场,飞机草能够和牧草争夺阳光、水分、肥料,当高度达15 cm或更高时,便能明显地影响其他草本植物的生长,一般的牧草大都会被“排挤出局”,2~3年后草场就失去利用价值^[31]。在菲律宾,飞机草甚至导致牧场中的村庄被迫废弃^[36]。在农耕

地,飞机草造成粮食作物和烟草(*Nicotiana tabacum*)、桑叶(*Morus alba*)、甘蔗(*Saccharum officinarum*)、香蕉(*Musa nana*)等经济作物减产,并且致密的灌丛群落常成为老鼠(*Mus musculus*)和其他一些有害动物的隐匿场所,从而使周边的作物蒙受损失。据不完全统计,由于飞机草的危害,云南省大部分地区的农民每年要歉收2成以上的粮食,同时为防治、根除飞机草每年每户要多投入100~500元的资金^[31]。飞机草还入侵芒果(*Mangifera indica*)、荔枝(*Litchi chinensis*)、龙眼(*Dimocarpus longan*)、柑橘(*Citrus reticulata*)等果园,在短期内即能建立群落并成为优势草种,造成果树产量下降,并且在冬季其干枯植株极易燃烧,成为火灾的隐患。同时飞机草也是叶斑病病原 *Cercospora* sp. 的中间寄主^[37]。除此之外,飞机草对人、畜健康也有影响,其带冠毛的种子、花粉能引起马属动物哮喘病和支气管炎,甚至引起牲畜的组织坏死和死亡^[31]。叶片、幼芽含有较高的香豆素等有毒化合物,用来垫圈或下田沤肥会引起牲畜的蹄叉、人的手脚皮肤过敏,出现红肿、起泡等症状,坡鹿、畜禽和鱼类误食后发生中毒^[25]。

4 开发利用

4.1 医药材料的利用

飞机草在中国属传统的中草药,全草皆可入药,性温,味微酸,具有清热解毒、凉血利咽、散瘀消肿和止血的功效,常用于治疗咽喉肿痛、感冒发热、麻疹热毒、肺热喘咳和跌打外伤等,也可用于杀虫和止痒;另外,用新鲜茎叶捣碎后外涂可防蚂蟥吸咬,撒于水田沤烂可防钩端螺旋体感染^[4,24]。在东南亚,飞机草还用于临床治疗皮肤感染、齿槽炎和昆虫叮咬^[38]。现代药理学研究也表明,飞机草的叶提取物能够抑制绿脓杆菌(*Pseudomonas aeruginosa*)、大肠杆菌(*Escherichia coli*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、淋球菌(*Neisseria gonorrhoeae*)等病原菌的生长并促进伤口愈合^[4,26];对枯草杆菌(*Bacillus Subtilis*)、曲霉菌(*Aspergillus* sp.)和肺炎克氏杆菌(*Klebsiella pneumoniae*)同样表现出强烈的抗菌活性^[39-40]。目前从飞机草植株中已分离出山柰酚、槲皮黄素、刺槐素、柑桔素和谷甾醇等多种化学成分,其中槲皮黄素、山柰酚是主要的活性物质,具有镇咳、降血压血脂、增强毛细血管抵抗力和抗自由基氧化等多种生物活性与药理作用^[23,41]。

4.2 植物源农药的开发利用

利用飞机草的次生物质来进行各种病虫害的防治控制目前已有不少的研究报道。在动物性害虫的防治方面,飞机草的挥发物或乙醇提取物对小菜蛾

(*Plutella xylostella*)、黄曲条跳甲(*Phyllotreta striolata*)、美洲斑潜蝇(*Liomyza sativae*)和荔枝蒂蛀虫(*Conopomorpha sinensis*)等有显著的成虫产卵忌避作用,并且随着施用浓度的增加其产卵忌避作用加强,但随着接触时间的延长其作用力下降^[22,42-43];对棉铃虫(*Helicoverpa armigera*)有明显的拒食作用,并可致死香蕉交脉蚜(*Pentalonia nigronervosa*)^[44-45];对仓储谷物害虫如玉米象(*Sitophilus zeamais*)、四纹豆象(*Callosobruchus maculatus*)和赤拟谷盗(*Tribolium castaneum*)等也有较好的驱避和熏杀作用^[46-47]。在植物性病菌的防治方面,飞机草的粗提液对玉米大斑病菌(*Exserohilum turcicum*)、玉米小斑病菌(*Bipolaris maydis*)、芒果炭疽病菌(*Colletotrichum gloeosporioides*)、哈密瓜镰刀病菌(*Fusarium* sp.)、甘蓝黑斑病菌(*Alternaria brassicicola*)等多种病原菌的生长均有一定的抑制作用,其中甲醇、丙酮粗提液对花生炭疽病菌(*Colletotrichum* sp.)的抑菌率高达87.4%~94.4%,无水乙醇粗提液对香蕉炭疽病菌(*Colletotrichum musae*)、西瓜枯萎病菌(*Fusarium oxysporum*)的抑菌率更高达100%^[48]。飞机草的挥发油对水稻稻瘟病菌(*Pyricularia grisea*)、长春花疫病菌(*Phytophthora nicotianae*)、香蕉枯萎病菌(*Fusarium oxysporum*)的抑菌率也分别达到61.40%、29.27%和14.44%^[22]。在喜马拉雅山温暖地区飞机草还被用作毒鱼剂材料,并已分离出两种三萜烯醇类物质,即蛇麻脂醇和香树脂醇^[49]。这说明飞机草的次生化合物具有一定的毒杀、抗菌、拒食和产卵驱避活性,是一种潜在的植物保护剂,在植物源农药的开发生产中具有广阔的发展前景。

4.3 肥料的利用

飞机草植株含有较多的营养物质和矿质元素,干茎叶的N、P、K含量分别达到3.25%、0.68%和5.26%,而其生长迅速,生物量高,年产干物质可达4830 kg/hm²,20世纪60年代起广东省雷州半岛将其作为绿肥植物引入栽植,可明显提高土壤肥力,作物增产效果显著;而橡胶苗圃用飞机草覆盖地面50~60天后,胶苗出苗整齐,叶绿,少病虫害和落叶现象,同时土壤板结度和金龟子(*Coleoptera, Scarabeidae*)、地老虎(*Agrotis segetum*)等地下害虫减轻^[4]。木薯地施用12 000 kg/hm²的飞机草鲜样后亦能明显提高产量,而胡椒园使用飞机草覆盖地面后,抑制了一种病原线虫(*Heterodera marioni*)和根腐菌(*Pythium complectans* 或 *P. splendens*)的为害,间接地促进了胡椒(*Piper nigrum*)的生长^[32]。另外,飞机草茎干的纤维素含量较高,具有开发作为造纸和生物质原料的潜力^[50]。

5 控制对策

5.1 机械与化学防治

飞机草的防治控制在很长的一段时间内主要是利用机械防治和化学防治的方法。机械防治指用人力、火烧或机械的方式清除飞机草,一般先刈除植株的地上部分,再挖掘出根系晒干,此方法对清除入侵初期、尚未形成单优群落的飞机草有一定的作用,但需要的劳动力多,费用较高,且只能实现短期防治。机械防治处理时最好避开飞机草的开花结实期,以免造成种子的更大范围扩散。化学防治指通过施用化学除草剂进行治疗,2,4-D、2,4,5-T、毒莠定、麦草畏、绿草定等药剂较为常用。其中2,4-D、敌百隆、莠去津对飞机草的幼苗有效,而对定植多年的草丛则需2,4-D与2,4,5-T或毒莠定与麦草畏混用才可防除^[51-52],克无踪、百草枯等对飞机草的防治效果不明显^[53]。相对而言,化学防治的作用时间快、效果明显,但由于飞机草的根系较深,仅用一种除草剂难以奏效,且对于成熟灌丛其灭杀作用更弱,并容易导致出现环境污染与杂草抗性上升等问题,需要谨慎应用。

5.2 生物防治

生物防治指从原产地引进食性或寄主范围较为专一的天敌(包括昆虫、微生物),利用天敌将飞机草的种群密度控制在生态和经济危害水平之下的方法。飞机草的生物防治始于1966年,最初由CIBC(Commonwealth Institute of Biological Control)发起。通过在原产地调查、收集天敌昆虫资源进行治疗,共发现200多种节肢动物天敌,主要是双翅目、鳞翅目的一些昆虫,其中研究最多的是香泽兰灯蛾(*Pareuchaetes pseudoinsulata*)、褐黑象甲(*Apion brunneonigrum*)、香泽兰瘿实蝇(*Cecidochares connexa*)和安婀珍蝶(*Actinote antea*)^[25]。香泽兰灯蛾的幼虫能够大量啃食飞机草的叶片,褐黑象甲专门采食飞机草的种籽,香泽兰瘿实蝇的幼虫则可以取食飞机草的茎,从而导致飞机草整株枯萎死亡。在微生物方面也筛选、分离到飞机草尾孢菌(*Cercopora euatorii*)和链格孢菌(*Aliteriaia alternata*)这两种有潜力的生防菌种^[31]。但生物防治受环境条件尤其是气候因素的影响很大,并且治理时间较长,对爆发性灾害难以有效,目前在中国还没有依靠生物防治措施来控制飞机草扩散的成功事例。

5.3 替代控制

替代控制指利用植物的种间竞争规律(包括化感作用),用一种或多种植物的生长优势来抑制杂草的繁衍与扩散,从而达到完全控制或减轻为害的目的。其核心是根据当地植物群落的演替规律选择合适的替代

种来取代入侵植物,最终在入侵地重建替代植物群落,实现植被的生态恢复。一般而言,替代种最好选择生态适应性强、生长速度快、有一定经济价值的植物种类,如速生林木或优质牧草等。这样既可控制入侵植物,又能兼顾生态效益与经济效益,实现入侵种的持续控制。奎嘉祥等^[2]研究指出,采用豆科牧草大叶千斤拔(*Flemingia macrophylla*)、多年生落花生(*Arachis pintoi* cv. Amarillo)及禾本科的伏生臂形草(*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk)进行混播处理,能够有效控制云南南部牧场中飞机草的入侵,并明显改善土壤肥力和提高草场的质量。利用黑麦草、柱花草(*Stylosanthes guianensis*)、皇竹草(*Pennisetum hybridum*)、扁穗雀麦(*Bromus cartharticus*)、光叶紫花苕(*Vicia villosa*)、毛蔓豆(*Calopogonium mucunoides*)等进行替代防治也有一定的效果^[1]。国外亦有报道在果园中种植红花灰叶树(*Tephrosia purpurea*)、爪哇葛藤(*Pueraria phaseoloides*)、距瓣豆(*Centrosema pubescens*)等覆盖植物可抑制飞机草的滋生蔓延^[3,8]。在岩溶地区,潘玉梅等^[54]发现土著种黄荆条(*Vitex neundo*)的叶原液对飞机草种子萌发的抑制作用显著,其发芽率仅为对照处理的20.75%,可作为飞机草生物替代防治的优选植物。

6 研究展望

飞机草作为一种典型的外来入侵种,因其强大的生命力和繁殖能力被称为“绿色幽灵”,所到之处“远看碧水青山,近看毒草一片”,给当地的生态环境和经济发展造成了严重的威胁。目前,虽然国内外对飞机草的生物学特性和防治措施做了不少的研究探索,但总体而言非常薄弱,与飞机草的发生危害程度相去甚远。在对飞机草的研究进行全面述评的基础上,作者认为今后应着重加强以下领域的研究:(1)飞机草入侵的本底调查与扩散预测。包括飞机草在中国南方各省区的空间分布特征,其最易入侵的生态系统,其入侵通道与扩散途径、扩散速度大小及未来还可能入侵的地区等等,都值得开展研究;(2)飞机草的入侵过程、机制及其影响因素研究。如在飞机草的入侵能力、入侵过程、种间关系及其与当地环境因素的互作过程和反馈机制等方面开展个体、种群、群落、生态系统、景观等不同尺度水平的研究,以全方位地揭示飞机草入侵的相关机制;(3)飞机草的入侵效应与风险评估研究。包括对飞机草入侵后的生态效应和环境、社会、经济影响进行评价,以及对潜在的、尚未暴露的生态风险开展评估等方面的研究工作;(4)飞机草的科学管理与控制。如开展飞机草的生态控制与综合防控技术、因飞机草入侵而受损的自然生态系统恢复与重建技术、飞机草的

资源化开发利用技术、飞机草的种群监控技术以及相应的区域管理对策和应急预案等方面的研究。上述各方面都是与飞机草入侵密切相关的科学问题,急需开展相应的、深入而系统的研究,以便为飞机草入侵造成的和未来可能暴发的各种生态灾害防治提供必要的理论指导与技术支持。

参考文献

- [1] 吴仁润,张德银,卢欣石.紫茎泽兰和飞机草在云南省的分布、危害与防治.中国草地学报,1984,(2):17-22.
- [2] 奎嘉祥,匡崇义,和占星,等.中国云南南部建植臂形草混播草场防治飞机草的研究.中国草地,1997,(5):55-58.
- [3] 曹洪麟,葛学军,叶万辉.外来种飞机草在广东的分布与危害.广东林业科技,2004,20(2):57-59.
- [4] 吴邦兴.滇南飞机草群落的初步研究.西华师范大学学报:自然科学版,1981,(1):40-64.
- [5] 李扬汉.中国杂草志.北京:中国农业出版社,1998:315-316.
- [6] 刘国道,白昌军.臂形草属牧草品种比较实验.草业科学,1999,16(1):22-24.
- [7] 李志刚,郑启恩,黎桦,等.广西隆安屏山石灰岩山地飞机草群落特征分析.热带亚热带植物学报,2006,14(3):196-201.
- [8] 吴仁润.利用机械、耕作、化学、生物方法防治飞机草.国外畜牧学:草原与牧草,1992,(4):1-3.
- [9] 林福益.“外来草”入侵茂名森林公园:环境与发展.羊城晚报,2003-10-24.
- [10] Barret S C H. Crop mimicry in weeds. Economic Botany,1983,37:255-282.
- [11] 张建华,范志伟,沈奕德,等.外来杂草飞机草的特性及防治措施.广西热带农业,2008,(3):26-28,12.
- [12] Luken J O, Tholemeier T C, Kuddes L M, et al. Performance, plasticity and acclimation of the non-indigenous shrub *Lonicera maackii* (*Caprifoliaceae*) in contrasting light environments. Canadian Journal of Botany,1995,73:1953-1961.
- [13] Durand L Z, Goldstein G. Photosynthesis, photo-inhibition and nitrogen use efficiency in native and invasive tree ferns in Hawaii. Oecologia,2001,126:345-354.
- [14] 王俊峰,冯玉龙,李志.飞机草和兰花菊三七光合作用对生长光强的适应.植物生理与分子生物学报,2003,29(6):542-548.
- [15] 鲁萍,桑卫国,马克平.外来入侵种飞机草在不同环境胁迫下抗氧化酶系统的变化.生态学报,2006,26(11):3578-3585.
- [16] 王满莲,冯玉龙.紫茎泽兰和飞机草的形态、生物量分配和光合特性对氮营养的影响.植物生态学报,2005,29(5):695-705.
- [17] 王满莲,冯玉龙,李新.紫茎泽兰和飞机草的形态和光合特性对磷营养的响应.应用生态学报,2006,17(4):602-606.
- [18] 吴锦容,赵厚本,潘浣钰,等.土壤水分变化对外来入侵植物飞机草生长的影响.生态环境,2007,16(3):935-938.
- [19] Bais H P, Vepachedu R, Gilroy S, et al. Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions. Science, 2003,301:1377-1380.
- [20] 吴锦容,彭少麟.化感—外来入侵植物的 Novel Weapons.生态学报,2005,25(11):3093-3097.
- [21] 何衍彪,张茂新,何庭玉,等.飞机草化感作用的初步研究.华南农业大学学报:自然科学版,2002,23(3):60-63.
- [22] 凌冰,张茂新,孔垂华,等.飞机草挥发油的化学组成及其对植物、真菌和昆虫生长的影响.应用生态学报,2003,14(5):744-746.
- [23] 丁智慧,张学镭,刘吉开,等.飞机草中的化学成分.天然产物研究与开发,2001,13(5):22-24.
- [24] 陈进军,黎秋旋,肖俊梅.飞机草在广东的分布、危害及化学成分预试.生态环境,2005,14(5):686-689.
- [25] 张黎华,冯玉龙.飞机草的生防作用物.中国生物防治,2007,23(1):83-88.
- [26] 袁经权,冯洁,杨峻山,等.飞机草挥发油成分的GC-MS分析.中国现代应用药学杂志,2008,25(3):202-205.
- [27] Davis M A, Grime J P, Thompson K. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invisibility. Journal of Ecology, 2000,88:528-534.
- [28] 高增祥,季荣,徐汝梅,等.外来种入侵的过程、机理和预测.生态学报,2003,23(3):559-570.
- [29] Kennedy T A, Naem S, Howe K M, et al. Biodiversity as a barrier to ecological invasion. Nature, 2002,417:636-638.
- [30] 张黎,马友鑫,李红梅,等.云南临沧地区公路两侧紫茎泽兰分布格局.生态环境,2007,16(2):516-522.
- [31] 刘金海,黄必志,罗富成.飞机草的危害及防治措施简介.草业科学,2006,23(10):73-77.
- [32] 惠肇祥.飞机草及其防除.云南农业科技,1982(4):34-38,22.
- [33] 陈中义,李博,陈家宽.米草属植物入侵的生态后果及管理对策.生物多样性,2004,12(2):280-289.
- [34] Roger L, Hammer. The Lantana Mess a critical look at the Genus in Florida. The palmetto,2004,23(1):21-24.
- [35] 董梅,陆建忠,张文驹,等.加拿大一枝黄花——一种正在迅速扩张的外来入侵植物.植物分类学报,2006,44(1):72-85.
- [36] 唐湘梧.热带草地杂灌—飞机草的生物防治.中国草业科学,1988,5(4):36-37.
- [37] 国家环保总局.中国第一批外来入侵种名单.国务院公报,2003:23.
- [38] Bamba D, Bessiere J M, Marion C, et al. Essential oil of *Eupatorium odoratum*. Planta Medica,1993,59(2):184-185.
- [39] Iwu M.M, Chiori C.O. Antimicrobial activity of *Eupatorium Odoratum* extracts. Fitoterapia.1984,55(6):354-356.
- [40] Inya A S I, Oguntimein B O, Sofowora A, et al. Phytochemical and antibacterial studies on the essential oil of *Eupatorium Odoratum*. International Journal of Crude Drug Research,1987,25(1):49-52.
- [41] 付玉杰,刘威,侯春莲,等.RP-HPLC/二极管阵列检测器同时测定飞机草中3种黄酮.应用化学,2007,24(12):1452-1454.
- [42] 洗继东,詹根祥,梁广文,等.植物乙醇提取物对荔枝蛀茎蛀虫的防治研究.热带作物学报,2001,22(3):45-51.
- [43] 覃伟权,张茂新,凌冰,等.3种热带杂草挥发油干扰小菜蛾行为的研究.华南农业大学学报:自然科学版,2004,25(4):39-42.

- [44] 陆永跃,梁广文,邵婉婷,等.异源植物提取物对香蕉交脉蚜的控制作用.华中农业大学学报,2002,21(43):334-337.
- [45] 陈泽坦.飞机草粗提物对棉铃虫的生物活性.农药,2003,42(4):9,45.
- [46] Bouda H, Tapondjou L A, Fontem D A, et al. Effect of essential oil from leaves of *Ageratum conyzoides*, *Lantana camara* and *Chromolaena odorata* on the mortality of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae). *Stor Prod Res*, 2001,37:103-109.
- [47] Ebenezer O. Effect of some Ghanaian plant components on control of two stored product insect pests of cereals. *Stor Prod Res*, 2001, 37:85-91.
- [48] 刘晓妹,蒲金基,蒙美英.飞机草不同溶剂粗提液抑菌活性的测定.广西热带农业,2004,(6):1-3.
- [49] Taiapatra S. K. Flavonoid and terpenoid constituents of *Eupatorium odoratum*. *Phytochemistry*.1974,13(1):284.
- [50] 张黎华.紫茎泽兰和飞机草茎、叶若干成分含量的测定及红外光谱比较.云南大学学报:自然科学版,2007,29(S1):205-209.
- [51] George K. Herbicidal control of *Eupatorium odoratum*. *Indian Farming*,1968,94:817-818.
- [52] Madrid M T Jr. Evaluation of herbicides for the control of *Chromolaena odorata*. *Philippines Weed Science*,1974,1:25-29.
- [53] 吴仁润,徐学军.我国云南南部种植臂形草对飞机草耕作防治的研究.草业科学,1992,9 (5):18-20.
- [54] 潘玉梅,唐赛春,蒲高忠,等.岩溶区土著植物黄荆条和红背山麻杆水浸提液对入侵植物飞机草萌发的影响.中国岩溶,2008,27(2): 97-102.