

外来植物肿柄菊对入侵生境的生态影响及其防控对策

吴甜^{1,2}, 申科², 贾涛³, 夏体渊^{1*}, 蒋智林^{2*}

¹昆明学院农学与生命科学学院, 云南昆明 650214; ²普洱学院普洱市绿色经济发展研究院, 云南普洱 665000; ³农业农村部农业生态与资源保护总站, 北京 100125

摘要: 入侵杂草肿柄菊对我国热带和亚热带地区的生物多样性和生态系统功能产生严重影响, 且其入侵呈现快速扩张态势。为提高对肿柄菊入侵危害的认识水平, 加强对肿柄菊的监测预警及防控, 本文通过搜集、整理和分析相关文献资料, 总结肿柄菊在世界各国不同地区的入侵情况及其影响, 分析肿柄菊在我国入侵的历史、分布现状及其入侵对遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性的影响。结合肿柄菊生态入侵防控研究与应用实践, 指出肿柄菊入侵防控存在的主要问题和面临的挑战, 并针对肿柄菊监测和高效防控技术体系提出高度重视肿柄菊入侵危害影响的分类风险评价、多元化开展肿柄菊入侵扩张的基础科学研究、建立早监测早预防的预警机制和构建针对肿柄菊入侵防控的综合技术体系等防控对策。

关键词: 肿柄菊; 入侵杂草; 生境; 防控对策



开放科学标识码
(OSID 码)

Ecological effects of the exotic plant *Tithonia diversifolia* on invasive habitats and its control strategies

WU Tian^{1,2}, SHEN Ke², JIA Tao³, XIA Tiyuan^{1*}, JIANG Zhilin^{2*}

¹College of Agronomy and Life Sciences, Kunming University, Kunming, Yunnan 650214, China; ²Pu'er Green Economy Development Research Institute, Pu'er University, Pu'er, Yunnan 665000, China; ³Rural Energy and Environment Agency, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China

Abstract: The invasive weed, *Tithonia diversifolia* A. Gray poses a considerable threat to biodiversity and ecosystem function in the tropical and subtropical regions of China, due to its rapid expansion. To improve awareness of the impact caused by *T. diversifolia*, it is imperative to enhance monitoring, early warning, and control measures. This study is a thorough review of a range of literature. We present a comprehensive analysis of the impacts of *T. diversifolia* invasion and expansion across various countries and regions. The historical background and distribution and its impact on genetic, species, and ecosystem diversity are described. Combined with scientific research and application practices of the ecological invasion prevention and control technology of *T. diversifolia*, the main problems and challenges of the ecological invasion prevention and control technology of *T. diversifolia* are presented. To effectively monitor and prevent the ecological invasion of *T. diversifolia*, a multi-level risk assessment should be conducted. Diversified scientific research should be conducted on the expansion of the invasion. Early monitoring, prevention, and warning mechanisms should be established; and a comprehensive technical system for prevention and control should be constructed.

Key words: *Tithonia diversifolia*; invasive weeds; habitat; prevention and control strategies

外来入侵植物指从原生地传播到新生境后快速生长、繁殖、扩散, 并威胁、破坏当地生态系统的植物(梁景等, 2021; 杨期和等, 2002)。植物入侵途径主要有无意引进、自然传入和有意引进 3 种,

其中, 有意引进是主要的传播方式(王磊等, 2016)。入侵植物因具有适应性强、繁殖能力高、扩散速度快等特点, 对入侵生境中其他植物的生长产生严重抑制甚至灭绝影响, 从而形成外来入侵植物单优种

收稿日期(Received): 2023-02-01 接受日期(Accepted): 2023-05-09

基金项目: 云南省教育厅研究生类项目(2022Y698); 云南省中青年学术与技术带头人后备人才项目(2014HB027); 云南省教育厅研究生类项目(2022Y701); 普洱学院创新团队项目(CXTD005)

作者简介: 吴甜, 女, 硕士研究生。研究方向: 植物资源利用与保护。E-mail: 2728027885@qq.com

* 通信作者(Author for correspondence), 夏体渊, E-mail: 149162175@qq.com; 蒋智林, E-mail: 11640375@qq.com

群,降低生境生物多样性与生态系统的稳定性(张文馨等,2020),进而改变生境群落结构和生态功能,甚至影响经济发展和人类健康安全(翟元杰和梁佩芳,2021)。随着经济和人类活动全球化,尤其是跨区域的交通运输和旅游频繁化,外来植物入侵态势愈发复杂和严峻(赵添羽等,2022)。同时,由于治理难度大和不易彻底治理,外来植物入侵给农业生产、生态环境、经济发展和人类健康安全等造成严重威胁(陈宝雄等,2020;高尚宾,2017;唐龙等,2021)。因此,如何预防、监测和有效控制外来植物入侵已成为生物安全领域重要的课题之一。

肿柄菊 *Tithonia diversifolia* A. Gray 原产于墨西哥及中美洲地区,其入侵给世界多地带来了颇为严重的影响。研究发现,肿柄菊能在不同类型的土壤中生长,在湿润肥沃的土壤中生长最盛且容易形成单优种群(中国科学院植物研究所,1987)。很多学者陆续对肿柄菊的地理分布现状(朱枫等,2018)、繁殖(张应青,2017)、生长特性(焦杨等,2020)、种群和群落特征(陈剑等,2020)、活性成分分析(赵立华等,2017)、化感作用(蒋智林等,2020;田学军等,2015)以及其趋利避害特性与应用(黄琳芸等,2018;张余杰和秦小萍等,2013)等开展了相关研究。对肿柄菊的入侵扩张影响研究表明,肿柄菊入侵东南亚、非洲、太平洋等热带和亚热带地区,其快速扩张对入侵生境的生物多样性和生态系统功能造成严重影响(Jama *et al.*, 2000; Yang *et al.*, 2012)。肿柄菊在我国公路沿线和撂荒地等区域的入侵也呈现快速扩散趋势,由于其种子依附交通工具、人畜和其他媒介远距离传播,扩散分布变得更为复杂(陈剑等,2021;焦杨等,2020)。鉴于此,本文通过文献研究法和资料归类分析法,对肿柄菊入侵扩张与分布状况、生态影响、存在的主要问题与面临的挑战等进行综述,并提出对肿柄菊的防控对策与建议,以期提高人们对入侵杂草肿柄菊的认知水平,提升对肿柄菊的科学防治能力。

1 肿柄菊入侵扩张与分布状况概述

肿柄菊常被作为观赏性花卉、绿肥资源和水土保持植物引种到世界各地,并广泛扩散分布于不同生境。早在 100 年前,肿柄菊就被引入非洲的乌干达,后被作为观赏植物、有机肥料、饲料等引种到亚洲、非洲、美洲和澳洲等 70 余个国家和地区(Laduke *et al.*, 1982),在热带、亚热带地区一些国

家和地区大量分布并已成为重要的入侵杂草,逐渐形成单一优势种群,给入侵地生境的农业生产和生物多样性带来严重影响(Jama *et al.*, 2000; Kriticos & Kriticos, 2021; Obiakara *et al.*, 2018)。20 世纪 90 年代,肿柄菊被引入泰国后外逸,在泰国北部山地广泛蔓延形成入侵,导致入侵生境生物多样性降低(Tongma *et al.*, 1999)。近年来,肿柄菊已广泛分布于乌干达、肯尼亚、坦桑尼亚、南非、马拉维和赞比亚等部分地区,而在津巴布韦分布较少(Shackleton *et al.*, 2019)。Kriticos & Kriticos (2021) 研究表明,在赞比亚,肿柄菊对原生植被、物质流动性或获取、水供应、作物产量和动物健康等产生了较大负面影响。在印度,肿柄菊被作为观赏和水土保持植物应用后发生逃逸扩散而造成入侵,对入侵生境生物多样性造成严重影响。

肿柄菊在我国亦有较长的入侵历史和较大的扩散范围。20 世纪 30 年代,肿柄菊被作为绿肥和饲料引入到中国云南,后被作为观赏植物引种到广东、海南、福建等地(王四海等,2004),其种子借助交通工具、动物和鸟类媒介以及水流和风传等广泛扩散,逸散到广西壮族自治区和台湾省,破坏生境原有植物群落甚至生态系统的结构和功能,对入侵生境植物多样性和农业生产等造成不同程度的威胁(邓自发等,2006;国怀亮和柳江,2014;王四海等,2019)。

2 肿柄菊对入侵生境生态影响分析

2.1 对遗传多样性的影响

遗传多样性是生物长期进化的产物,是其生存适应和发展进化的前提。肿柄菊通过异速生长和杂交进化,改变其体内遗传物质从而获得生存和生态位优势,排挤本地物种的生长和繁衍。如肿柄菊能快速适应环境获得生存并繁殖后代,衍变出异速生长(强大的克隆繁殖能力),其靠近地表的茎能生出不定根克隆繁殖,且不同分枝基茎粗度、分枝长度、枝密度和花序数都表现出显著的异序数(焦杨等,2020),表现为从母体向四周蔓延,从而抑制周边其他植物生长,最终形成单优种群(王四海等,2008)。

肿柄菊还能通过调整植株各部位之间的关系改变生长方式,表现为植株各部位的异速生长特征和遗传特性(王四海等,2004;王峥峰和彭少麟,2003);肿柄菊与其他物种种群的遗传相似性较低,

但遗传多样性水平高,同一物种个体之间遗传信息交流频繁(Obiakara & Fourcade, 2018)。当肿柄菊有与当地物种杂交机会时,便会趁机通过杂交实现基因重组,导致肿柄菊基因发生变异从而更加适应生存环境;但与肿柄菊杂交的本地物种遗传基因常被同化,造成其遗传特异性减少或丧失(王钊等, 2022; 王峥峰和彭少麟, 2003)。此外,对肿柄菊群体的遗传多样性和变异研究亦发现,其自身能够保持较高的遗传多样性水平和抗性,而本地物种由于肿柄菊入侵而发生群体间杂交,导致入侵生境本地物种的遗传多样性水平降低和抗性下降(Yang *et al.*, 2012)。

2.2 对物种多样性的影响

肿柄菊进入新环境后迅速生长并扩散,通过适应、竞争、化感、遮蔽、覆盖等作用,与当地物种竞争生存空间与养分,排挤当地植物,成为优势种群,导致物种多样性显著降低。肿柄菊结籽量多、种子量大和繁殖能力强,能够快速侵占入侵生境,造成当地物种多样性减少甚至单一化,且其由于生态适应性强,不断向北和高海拔地区扩散,给入侵生境的物种多样性带来越来越大的影响和潜在威慑(陈剑等, 2021, 2020; 王四海等, 2019; 朱枫等, 2018)。化感作用相关研究表明,肿柄菊对绿豆 *Vigna radiata* (L.) Wilczek、水稻 *Oryza sativa* L. 和鬼针草 *Bidens pilosa* L. 等种子萌发和生长具有较强的化感抑制作用,给入侵生境农业生产和物种多样性丰富度带来较大影响(田学军等, 2015; 杨海艳等, 2011)。

2.3 对生态系统多样性的影响

肿柄菊入侵会破坏原有生态系统平衡,造成功能紊乱,导致物质循环、能量流动和信息传递不能正常进行,从而影响生态系统的完整性和多样性(陆树刚等, 2006; 殷根深等, 2023; Xu *et al.*, 2022)。肿柄菊常通过改变生态环境使自身达到生长和繁衍最佳条件(张应青, 2017),霸占当地植物的生存空间并抑制其生长,导致入侵生境的物种结构和功能发生变化、生态系统丰富度和稳定性降低(徐成东等, 2007; 翟元杰和梁佩芳, 2021; Yelenik & D'antonio, 2013)。如在养分贫瘠的生境,肿柄菊能通过腐解增加土壤中的可利用 N、P、K 含量,促进自身生长,同时产生化感物质破坏周围植物种子细胞膜、降低种子活力及抑制幼苗生长(李军和王瑞龙, 2015; 蒋智林等, 2020; 杨海艳等, 2011)。

在生态系统中,因肿柄菊生物量能够快速达到环境承载力饱和程度,从而破坏生态平衡导致生态系统多样性功能紊乱(彭少麟和向言词, 1999; Parepa *et al.*, 2013);此外,由于肿柄菊花颜色鲜明、花冠大、散发特殊气味而吸引昆虫访花频率明显高于当地植物,自身授花传粉高从而影响当地植物授花传粉(林慧等, 2018; 万方浩, 2002; 吴冉冉等, 2019; Aronson *et al.*, 2007),给入侵生境生态系统植物群落的正常建立、物种组成机构和功能多样性带来不利影响。

3 肿柄菊入侵防控面临的主要问题与挑战

3.1 入侵危害和潜在机理研究不透

外来物种对入侵生境的危害和影响机理研究在我国起步较晚,肿柄菊没有被列入外来重点入侵防控物种目录,对其缺乏相应认识与研究投入。一方面,对肿柄菊入侵危害认知存在盲区或滞后。目前,部分群众尚不清楚肿柄菊属于入侵物种,对于肿柄菊的危害认识较少,部分群众甚至认为其花朵艳丽,将其视作观赏植物。另一方面,对肿柄菊入侵的潜在机理认识薄弱或存在缺失。由于对肿柄菊入侵影响和专业技术知识的科普宣传较少,目前对其入侵的生态机理研究不深,对其入侵的原因尚不清楚,导致肿柄菊的生态防控缺乏成熟的理论基础与技术支持。

3.2 入侵扩张监测与风险评估薄弱

我国是全球外来入侵物种最多和受入侵影响最为严重的国家和地区之一(段婷婷等, 2022)。一直以来,对外来入侵物种缺乏全面普查和调查,关于外来入侵物种的监测和风险评估较薄弱。目前,仅针对农林业生产密切相关和人类生命健康安全具有较大威慑的入侵物种开展了研究,而对诸多外来入侵物种尚未实施监测和风险评估,对肿柄菊的发生监测和风险评估也不够重视,其生态入侵扩展速度、扩散途径和入侵影响等相关研究数据匮乏。

3.3 高效防控技术和模式尚未形成

自 20 世纪 80 年代来,我国对肿柄菊的各类研究报道约 80 余篇,内容主要集中于其形态特征、繁殖栽培、地理分布和扩散格局、生态危害和化感影响等方面,鲜见针对肿柄菊的发生规律、替代控制、生态抵御与生物多样性防控等方面的研究,尤其是关于肿柄菊的防治技术尚停留在传统物理清除和简单的化学灭除,肿柄菊的高效防控

技术体系没有切实构建起来,尚未形成有效的防控实践应用模式。

4 肿柄菊防控对策与研究展望

4.1 科学推进肿柄菊的监测与风险评估

我国对于外来入侵物种的监测和防控工作日益重视。2019年,农业农村部印发《关于做好农业生态环境监测工作的通知》,提出加强入侵物种的调查和监测;2021年4月15日,《中华人民共和国生物安全法》正式施行,强化了防范外来物种入侵在国家生物安全治理体系中的重要地位;2021年10月,中共中央、国务院在《关于进一步加强生物多样性保护的意見》中明确提出,提升外来入侵物种防控管理水平,开展外来入侵物种普查。开展肿柄菊的普查和监测调查是我国外来入侵物种防控的重要组成部分之一,应将其列入入侵植物重点监测的范畴,进一步掌握肿柄菊的发生危害特征和扩散风险,全面提高防控能力。

目前,我国肿柄菊风险评估尚存在数据信息不全、适应扩展分析方法应用缺乏、风险评估体系尚未科学构建等3方面的问题。应加大对肿柄菊基础和基础研究投入,构建肿柄菊信息数据库;并在此基础上,应用气候模型或生态位模型等精准开展肿柄菊的专项或系统风险评估,科学掌握肿柄菊的入侵影响和潜在风险。

4.2 肿柄菊物理根除、化学杀灭和生态防控措施

肿柄菊不仅能通过种子有性繁殖,其根、茎也能进行无性繁殖,应在肿柄菊刚进入新生境且植株密度较小时,在其花期之前开展物理清除,在清除过程中要对其根和茎进行灭活性处理,避免根、茎再次长成植株并形成入侵。

应用绿色生物药剂开展有害生物防控是当今和未来的重要选择(王小武等,2017; Tagne *et al.*, 2018)。在对肿柄菊的化学杀灭措施中,应选用低毒、安全、高效易分解、对生态环境影响小的环境友好型生物药剂,并结合肿柄菊的生长发育和生理生态特征,择时定量用药进行精准防控从而达到高效灭除。同时,可通过多种方式对肿柄菊实施生态防控:一是利用当地植物与微生物间的反馈机制形成微生物群落抵抗或抵御肿柄菊入侵;二是控制生态环境因子(光照、温度、水分、养分)限制或控制肿柄菊入侵扩张;三是利用植物间的化感作用反向抵御或抑制肿柄菊的生长。

4.3 加强对肿柄菊防控技术创新研究和综合利用

加强肿柄菊防控的基础与应用研究是实施高效防控肿柄菊的科技支撑和决策依据。在基础研究方面,应加强对肿柄菊繁育生理生态竞争特征、定殖和扩散规律、生境适应机理及其与环境因子互作关系、化感影响以及生态反馈效应等方面的研究,明确肿柄菊生存和扩张的限制性或控制性机理。在应用研究方面,开展不同生境、不同措施对肿柄菊综合防控技术示范,建设天敌繁育和扩繁基地,探索科学化、综合化和社会化治理多元融合,构建高效、可复制、易推广的综合治理技术模式。

挖掘肿柄菊功效并予以应用是控制肿柄菊的重要方向:一是肿柄菊具有美学价值,常用作观赏植物;二是肿柄菊具有药用价值,可入药;三是肿柄菊在开发新型绿色农药、化感作用及有机肥料方面具有较广阔的应用前景。对肿柄菊的趋利避害特性开展系统研究并进行应用实践,在综合利用中提高对其的防控。

此外,在外来入侵物种普查和防控体系下,加强对肿柄菊入侵和防控知识普及宣传,引导并提高公众对肿柄菊入侵危害的认识与防控意识,实施肿柄菊防控技术实践,建立全面、深层次防控肿柄菊入侵工作体系、管控制度和全民参与机制。

参考文献

- 陈宝雄, 孙玉芳, 韩智华, 黄宏坤, 张宏斌, 李垚奎, 张国良, 刘万学, 2020. 我国外来入侵生物防控现状、问题和对策. *生物安全学报*, 29(3): 157-163.
- 陈剑, 王四海, 杨卫, 吴超, 2020. 外来入侵植物肿柄菊群落动态变化特征. *生态学杂志*, 39(2): 469-477.
- 陈剑, 王四海, 朱枫, 袁春明, 2021. 外来入侵植物肿柄菊在云南的扩散风险研究. *广西植物*, 41(5): 789-798.
- 邓自发, 安树青, 智颖飙, 周长芳, 陈琳, 赵聪蛟, 方淑波, 李红丽, 2006. 外来种互花米草入侵模式与爆发机制. *生态学报*, 26(8): 2678-2686.
- 段婷婷, 何文亮, 杨嘉琦, 林梓颖, 赖广志, 卢柏铖, 吴钿, 李进, 2022. 湛江市外来植物入侵状况. *生物安全学报*, 31(3): 245-251.
- 高尚宾, 张宏斌, 孙玉芳, 张国良, 2017. 植物替代控制3种入侵杂草技术的研究与应用进展. *生物安全学报*, 26(1): 18-22, 102.
- 国怀亮, 柳江, 2014. 路域生态系统中外来入侵植物分布格局及其影响因素研究综述. *云南大学学报(自然科学版)*,

- 36(S1): 148-153.
- 黄琳芸, 黄瑞松, 屈信成, 2018. 壮药肿柄菊的生药学研究. 中国民族医药杂志, 24(5): 43-44.
- 蒋智林, 杨丽萍, 申科, 刘万学, 2020. 4种菊科入侵植物叶水浸提液对狗牙根种子萌发的化感作用. 西南农业学报, 33(12): 2943-2947.
- 焦杨, 程希平, 王四海, 2020. 外来入侵植物肿柄菊的异速生长特征. 西部林业科学, 49(1): 156-161.
- 李军, 王瑞龙, 2015. 入侵植物肿柄菊叶片凋落物化感潜力的研究. 生态科学, 34(6): 100-104.
- 梁景, 黄瑞鹏, 韩其昌, 2021. 外来植物入侵及防控探析. 现代农业科技(8): 92-94.
- 林慧, 张明莉, 王鹏鹏, 马森, 2018. 外来入侵植物意大利苍耳的传粉生态学特性. 生态学报, 38(5): 1810-1816.
- 陆树刚, 徐成东, 董晓东, 段玉清, 王奕, 2006. 中国西南纵向岭谷区外来入侵植物对生物多样性的影响(英文). 云南植物研究, 28(6): 607-614.
- 彭少麟, 向言词, 1999. 植物外来种入侵及其对生态系统的影响. 生态学报, 19(4): 560-568.
- 唐龙, 李绍军, 周庆诗, 高扬, 汪承焕, 2021. 外来植物入侵力主要理论与展望. 地球环境学报, 12(6): 585-594.
- 田学军, 沈云玫, 陶宏征, 沈登荣, 何超, 2015. 入侵植物肿柄菊对三叶鬼针草的化感作用. 生态环境学报, 24(7): 1128-1131.
- 万方浩, 郭建英, 王德辉, 2002. 中国外来入侵生物的危害与管理对策. 生物多样性, 10(1): 119-125.
- 王钿, 付开赟, 丁新华, 何江, 吐尔逊·阿合买提, 张国良, 付卫东, 文俊, 加马力丁·吾拉扎汗, 王兰, 郭文超, 2022. 基于 ISSR 的豚草和三裂叶豚草遗传多样性研究. 生物安全学报, 31(2): 128-134.
- 王磊, 张彤, 卢训令, 王晓辉, 谷艳芳, 2016. 河南省鸡公山国家级自然保护区外来入侵植物 1994—2014 年间的变化. 植物科学学报, 34(3): 361-370.
- 王四海, 陈剑, 李宁云, 孙卫邦, 吴超, 2019. 外来植物肿柄菊结籽量影响因素分析. 生态环境学报, 28(7): 1369-1378.
- 王四海, 孙卫邦, 成晓, 2004. 逃逸外来植物肿柄菊在云南的生长繁殖特性、地理分布现状及群落特征. 生态学报, 24(3): 444-449.
- 王四海, 孙卫邦, 成晓, 杨宇明, 2008. 外来植物肿柄菊 (*Tithonia diversifolia*) 的繁殖特性及其地理扩散. 生态学报, 28(3): 1307-1313.
- 王小武, 丁新华, 吐尔逊·阿合买提, 付开赟, 何江, 付文君, 郭文超, 2017. 不同生物药剂对稻水象甲的毒力、拒食活性及防效分析. 生物安全学报, 26(1): 68-74.
- 王峥峰, 彭少麟, 2003. 杂交产生的遗传危害——以植物为例. 生物多样性, 11(4): 333-339.
- 吴冉冉, 刘林德, 张莉, 侯玉平, 王丽娟, 2019. 入侵植物美洲商陆的传粉生态学特性. 生态学杂志, 38(8): 2420-2425.
- 徐成东, 杨雪, 陆树刚, 2007. 中国的外来入侵植物肿柄菊. 广西植物, 27(4): 564-569.
- 杨海艳, 罗中泽, 李桂花, 徐成东, 2011. 肿柄菊对绿豆和水稻种子的化感作用. 安徽农业科学, 39(13): 7576-7578.
- 杨期和, 叶万辉, 邓雄, 许凯扬, 2002. 我国外来植物入侵的特点及入侵的危害. 生态科学, 21(3): 269-274.
- 殷根深, 张双双, 程文磊, 席辉辉, 董洪进, 2023. 云南省外来入侵植物的区系成分及多样性分析. 生物安全学报, 32(1): 16-24.
- 翟元杰, 梁佩芳, 2021. 外来植物入侵对乡土植物土壤氮素及其代谢酶活性的影响. 水土保持通报, 41(6): 29-33, 42.
- 张文馨, 王蕙, 范小莉, 囤兴建, 房用, 梁玉, 2020. 山东刺槐林对林下植物物种多样性及谱系多样性的影响. 生态学杂志, 39(9): 2868-2877.
- 张应青, 2017. 入侵植物肿柄菊 (*Tithonia diversifolia*) 生长和繁殖功能性状研究. 硕士学位论文. 昆明: 云南大学.
- 张余杰, 秦小萍, 2013. 肿柄菊有机肥料的研究进展. 化学与生物工程, 30(11): 15-18.
- 赵立华, 董家红, 苏晓霞, 李顺林, 张洁, 徐弢, 周晓吉, 张仲凯, 陈海如, 2017. 肿柄菊中倍半萜类化合物对番茄斑萎病毒的抑制活性分析. 烟草科技, 50(6): 21-25.
- 赵添羽, 何蕊, 华玉涛, 2022. 我国“十三五”时期重要外来物种入侵防控科技进展与展望. 生物安全学报, 31(2): 95-102.
- 中国科学院植物研究所, 1987. 中国高等植物图鉴: 第四册. 北京: 科学出版社.
- 朱枫, 王四海, 陈剑, 李宁云, 吴超, 2018. 外来入侵植物肿柄菊在云南的分布特征及其影响因素. 生态学杂志, 37(9): 2573-2580.
- ARONSON M F, HANDEL S N, CLEMANTS S E, 2007. Fruit type, life form and origin determine the success of woody plant invaders in an urban landscape. *Biological Invasions*, 9(4): 465-475.
- JAMA B, PALM C A, BURESH R J, NIANG A, GACHENGO C, NZIGUHEBA G, AMADALO B, 2000. *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western Kenya; a review. *Agroforestry Systems*, 49(2): 201-221.

- 王宇超, 吕金林, 毛祝新, 李倩, 2023. 本土蒿属植物浸提液对农田入侵杂草生长的化感效应. *西北农业学报*, 32(1): 117-129.
- 王玉莹, 袁梦琦, 吴生海, 兰雪涵, 徐炳芳, 张凯鹏, 徐海峰, 杜凤国, 2022. 干旱胁迫对三裂叶豚草种子萌发及幼根生长的影响. *北华大学学报(自然科学版)*, 23(4): 449-454.
- 徐振朋, 宛涛, 蔡萍, 张雅荣, 于静, 孟超, 2015. PEG 模拟干旱胁迫对罗布麻种子萌发及生理特性的影响. *中国草地学报*, 37(5): 75-80.
- 中国科学院中国植物志编辑委员会, 1978. *中国植物志(第五十四卷)*. 北京: 科学出版社.
- 诸葛晓龙, 朱敏, 季璐, 崔旭红, 2011. 入侵杂草小飞蓬和钻形紫菀种子风传扩散生物学特性研究. *农业环境科学学报*, 30(10): 1978-1984.
- WANG C, ZHOU L B, ZHANG G B, XU Y, GAO X, JIANG N, ZHANG L Y, SHAO M B, 2019. Effects of drought stress simulated by polyethylene glycol on seed germination, root and seedling growth, and seedling antioxidant characteristics in job's tears. *Agricultural Sciences*, 9(8): 991-1006.
- WENSUO J, JIANHUA Z, 2008. Stomatal movements and long distance signaling in plants. *Plant Signaling & Behavior*, 3(10): 772-777.
- (责任编辑: 陈晓雯)
-
- (上接第 11 页)
- KRITICOS J M, KRITICOS D J, 2021. Pretty (and) invasive: the potential global distribution of *Tithonia diversifolia* under current and future climates. *Invasive Plant Science and Management*, 14(4): 205-213.
- LADUKE J C, 1982. Revision of *Tithonia*. *Rhodora*, 84: 453-522.
- OBIAKARA M C, FOURCADE Y, 2018. Climatic niche and potential distribution of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray in Africa. *PLoS ONE*, 13(9): e0202421.
- PAREPA M, FISCHER M, BOSSDORF O, 2013. Environmental variability promotes plant invasion. *Nature Communications*, 4(1): 1604.
- SHACKLETON R T, NUNDA W, BEALE T, VAN WILGEN B W, WITT A B, 2019. Distribution of invasive alien *Tithonia* (*Asteraceae*) species in eastern and southern Africa and the socioecological impacts of *T. diversifolia* in Zambia. *Bothalia-African Biodiversity & Conservation*, 49(1): 1-11.
- TAGNE A M, MARINO F, COSENTINO M, 2018. *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray as a medicinal plant: a comprehensive review of its ethnopharmacology, phytochemistry, pharmacotoxicology and clinical relevance. *Journal of Ethnopharmacology*, 220: 94-116.
- TONGMA S, KOBAYASHI K, USUI K, 1999. Allelopathic activity and movement of water leachate from Mexican sunflower *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray leaves in soil. *Journal of Weed Science and Technology*, 44(1): 51-58.
- XU H W, LIU Q, WANG S Y, YANG G S, XUE S, 2022. A global meta-analysis of the impacts of exotic plant species invasion on plant diversity and soil properties. *Science of the Total Environment*, 810: 152286.
- YANG J, TANG L, GUAN Y L, SUN W B, 2012. Genetic diversity of an alien invasive plant Mexican sunflower (*Tithonia diversifolia*) in China. *Weed Science*, 60(4): 552-557.
- YELENIK S G, D'ANTONIO C M, 2013. Self-reinforcing impacts of plant invasions change over time. *Nature*, 503: 517-520.
- (责任编辑: 郑姗姗)