

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2019.01.013

印加孔雀草入侵生态风险评估及其 管理措施

张瑞海, 张国良, 宋 振, 王忠辉, 付卫东*
中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081

摘要:【目的】印加孔雀草为菊科一年生草本植物,原产南美洲,现已在我国多个地区发现,局部呈现生态危害。分析印加孔雀草生态适应性特点,可以有针对性地提出其风险指标体系和判断标准,确定其危险级别。【方法】对印加孔雀草的分布、危害情况及生物学特性进行调查,定性分析其生态适应性特点,定量分析评估其生态风险,确定其危险级别。【结果】根据风险指标体系准则层的赋值,其中入侵性 R_1 为 83,适应性 R_2 为 88,扩散性 R_3 为 65,危害性 R_4 为 84,计算得出印加孔雀草风险值(R)= $80>61$,属于具有危害性和侵入性的物种。【结论】印加孔雀草为具有危害性和侵入性的物种,应严格禁止引入。由于该植物已经传入我国,应采取必要的应急措施,开展检疫、监测和灭除,防止其传入其他还未发生的地区。
关键词: 印加孔雀草; 风险评估; 管理措施; 入侵植物

The invasive assessment and management measure of *Tagetes minuta* L.

ZHANG Ruihai, ZHANG Guoliang, SONG Zhen, WANG Zhonghui, FU Weidong*

Institute of Agricultural Environment and Sustainable Development, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081, China

Abstract:【Aim】*Tagetes minuta* L. is an annual alien plant introduced from South America to many areas of China, and is currently causing ecological damage. The aim of this paper was to analyze the ecological adaptive characteristics of *T. minuta* and propose the risk index system to determine its risk level.【Method】The distribution, level of hazard and biological characteristics of *T. minuta* were investigated. The ecological adaptability of *T. minuta* was qualitatively analyzed, and the ecological risk was quantitatively analyzed.【Result】The risk value of *T. minuta* was $R=80>61$ according to the evaluation of the risk indicator system ($R_1=83$, $R_2=88$, $R_3=65$, $R_4=84$), indicating that *T. minuta* was aggressive invasive species.【Conclusion】*T. minuta* should be strictly prohibited. Since *T. minuta* has been disseminated to China, it's necessary to carry out emergency measures to quarantine, monitor and eradicate, and prevent its spread into other areas of China.

Key words: *Tagetes minuta*; risk assessment; management measure; invasive plant

印加孔雀草 *Tagetes minuta* L. 属菊科 Asteraceae 万寿菊属 *Tagetes*, 一年生草本植物,原产南美洲,植株高大,最高可达 2.5 m,具有浓烈的芳香性气味,2006 年我国台湾发现有印加孔雀草归化,近年来已在北京、河北、山东、西藏等多地发现定植,其种群呈现快速扩散趋势,大面积入侵危害潜在风险增高,已引起各级农业部门的高度重视。本文对印加孔雀草的分布、危害情况及生物学特性进行调查与分析,建立合适的风险评估体系,通过定量分析的

办法确定印加孔雀草危险级别,为印加孔雀草的检疫决策及防治提供科学依据。

1 定性分析

1.1 印加孔雀草起源与分布

1.1.1 起源及境外分布 印加孔雀草原产于南美洲南部温带草原和山区,包括阿根廷、智利、玻利维亚、秘鲁和巴拉圭等国,目前广泛分布于北美洲(美国)、欧洲(西班牙、法国、葡萄牙、瑞士)、亚洲(日本、印度、中国)、非洲(南非、肯尼亚、安哥拉、突尼

收稿日期(Received): 2018-08-12 接受日期(Accepted): 2018-09-26

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC1201203)

作者简介: 张瑞海,男,博士。研究方向: 外来入侵植物综合治理。E-mail: ruihai.321@163.com

* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: fuweidong@caas.cn

斯、也门、马达加斯加)、大洋洲(澳大利亚)等世界 20 多个国家和地区(许敏和扎西次仁, 2015; 张劲林等, 2014; Naqinzhad & Mehrvarz, 2007; Sadia *et al.*, 2013; Singh & Kaul, 2003; Wang & Chen, 2006; Wanjala & Wanzala, 2016)。

1.1.2 传入途径及国内分布 印加孔雀草传入我国的途径尚不清晰, 专家推测可能是随境外引入的花卉种苗带入。1990 年 10 月首次在北京植物园发现(贺士元, 1992), 2006 在台湾台中市的中部高山地区发现印加孔雀草归化种(Wang & Chen, 2006), 2009 年在西藏林芝采集到印加孔雀草标本(许敏和扎西次仁, 2015), 2011 年在北京昌平回龙观、兴寿镇苹果园、公路边发现大面积种群(张劲林等, 2014), 2013 年在江苏连云港后云台山下发现该物种(董振国等, 2013)。经调查发现, 目前在河北石家庄、山东济南与青岛等地发现大面积的印加孔雀草自然定植种群, 并呈现种群暴发扩张为害趋势。

1.1.3 分布生境 印加孔雀草适应性广, 入侵生境多样, 易在公路沿线、房前屋后、撂荒地、沟渠两岸、农田、果园、林地、路边、田埂甚至绿化地带等发生。

1.2 印加孔雀草入侵生态学

1.2.1 繁殖及传播能力 印加孔雀草单株种子产量与株高、分枝数相关, 单株种子量一般为 6000 ~ 9000 粒, 最高达 29000 多粒(Hulina, 2008)。印加孔雀草头状花序密集, 在茎顶排列成伞房花序, 种子为瘦果, 呈黑色, 线性, 长 6 ~ 7 mm, 具白伏毛; 冠毛有 1 或 2 个 3 mm 的刚毛, 3 或 4 个 1 mm 的鳞片, 顶端有纤毛, 易扩散传播(张劲林等, 2014)。研究发现, 印加孔雀草种子主要通过风力、水流、交通工具、动物及人类活动进行中远距离传播。

1.2.2 种子休眠特性 印加孔雀草种子没有休眠特性, 自然条件下当年成熟种子萌发率可达 64%, 次年种子萌发率 22%, 种子在土表萌发率低, 受扰动土壤种子萌发率高(Green, 1963)。但据笔者观察, 国内不同地区的印加孔雀草种子萌发率有较大差异, 具体原因未知。

1.2.3 种子萌发能力 研究发现, 印加孔雀草种子在温室内 25 ℃、100%光照下, 种子萌发率 7 d 内可达到 100%。种子在低于 10 ℃或高于 35 ℃不能萌发, 印加孔雀草种子具有明显的热抑制效应。在光照或黑暗中, 种子在 35 ℃下持续 4 d 没有萌发迹象, 但转移至 25 ℃、100%光照条件后, 这些种子在

24 h 内发芽。在 25 ℃下用赤霉素 GA₃ 和 GA₄₊₇ 处理种子, 可加速种子发芽(Drewes & Staden, 1990; Forsyth & Staden, 1983)。

1.2.4 抗逆能力 印加孔雀草耐干旱、盐碱、瘠薄, 其成功入侵与其对异质生境较强的适应能力和对人为干扰较强耐受能力密切相关(Hulina, 2008)。

1.3 印加孔雀草危害性

1.3.1 经济影响 研究表明, 印加孔雀草中含有多种精油成份, 且具有较强的化感作用, 对作物种子萌发和生长发育有很强的抑制作用, 当这些物质被释放至土壤后, 所有试验植物的生长速率和干物质都相应减少(Arora, 2015; Arora *et al.*, 2016; Kil & Shim, 2006; López *et al.*, 2008)。印加孔雀草具有很强的竞争优势, 能入侵农田与作物争夺生存空间、阳光、水分、养分, 造成农作物减产。

1.3.2 对生态的影响 由于印加孔雀草化感作用强, 其化感物质被释放到自然生态系统后, 能显著影响周围植物的萌发、生长、叶绿素含量和呼吸能力, 排挤本土植物, 侵占本土植物生境, 造成植物群落单一化, 群落稳定性差(Arora, 2015)。

1.3.3 检疫难易程度 交通的快捷化、农畜产品和种子种苗调运便捷化, 为开展产地检疫, 防止印加孔雀草植物活体、种子、干枯花蕾扩散传播带来巨大挑战。且万寿菊属各种之间的差异不大, 形态鉴定有一定困难, 而目前的鉴定手段又主要集中在形态鉴定, 增加了鉴定的不确定因素。

1.3.4 防治难易程度 对印加孔雀草的防治目前仅依赖物理和化学防治, 防治成本较高且对环境的影响大。因此, 研制新型环保除草剂、利用天敌和综合防治成为首选。

物理防治: 在种子未成熟之前迅速铲除, 消灭印加孔雀草的有效种源, 并将根茎集中烧毁, 严格控制带有残茎的土壤异地人为传播。一般用锄头深挖, 确保根系全部出土, 然后用塑料袋密封包装, 运输到安全地带晒干, 再将干草运到指定垃圾场烧毁, 以防扩散蔓延。

化学防治: 在非农田地防治时, 可用二甲四氯钠盐水剂、草甘膦水剂靶标喷雾; 在农田周边包括果园、牧场等防治时, 可用氨基吡啶酸防除。

农业防治: 印加孔雀草的发生和其周围的生态环境有一定的关系, 其覆盖度和有效管理时间长短一致。长时间不管理的地块, 印加孔雀草生长茂

盛,密度高,危害级别也越高;相反,苗圃、果园等地由于采取了各种栽培措施,水肥管理好,外加人工物理化学除草,印加孔雀草则发生轻或没有发生。

1.4 利用价值

国际上如南非、印度等国开发利用印加孔雀草作为植物源杀虫灭菌和趋避剂(Wanjala & Wanzala, 2016)。印加孔雀草特有的挥发油气味,富含多种次生化合物,包括无环、单环和双环单萜、倍半萜、类黄酮、噻吩和芳香族化合物,能有效抑制多种生物体,包括真菌、细菌、线虫等(Hethelyi *et al.*, 1986)。测试表明,印加孔雀草精油对革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌和真菌的抑制作用分别达 100%、95%和 100%(Senatore *et al.*, 2004)。印加孔雀草对病虫害有天然的抵制能力,尤其对螨类和根结线虫等害虫有强烈的趋避作用,其具有的恶臭气味,使得食草动物也不喜食(Massuh *et al.*, 2017)。

2 定量分析

参照相关外来物种风险评估方法(丁晖等, 2006; 张国良等, 2018),提出印加孔雀草风险指标

体系和判断标准,该指标体系准则层包括入侵性、适应性、扩散性和危害性,指标层有 17 个指标和 32 个问题,并给出了各指标参数的数量化依据(表 1)。每个参数赋值的高低,反映了这个参数的不同风险程度以及引起入侵可能性的大小。设定印加孔雀草风险 R 为 100,其中 R_1 赋值 40, R_2 赋值 15, R_3 赋值 20, R_4 赋值 25。按 $R=R_1\times0.4+R_2\times0.15+R_3\times0.20+R_4\times0.25$ 计算风险值,确定危险级别。若 $R>61$,该应禁止引入;若 $29.5<R\leq61$,必须严格限制引入,特殊需要引入后,必须有足够的措施限制其逃逸和扩散,并加强监测工作;若 $11<R\leq29.5$,应适当限制引入的目的、区域、数量和次数;若 $R\leq11$,则可以引入,但也应该记录在案。

通过计算得出, $R=80>61$,表明印加孔雀草是具有危害性和侵入性的物种,因此,其为严格禁止引入植物。由于该物种已经传入我国,但发生面积较小,故应采取必要的应急措施,开展检疫、监测和灭除行动,防止传入我国还没有发生的地区。

表 1 印加孔雀草风险评估指标值
Table 1 Risk assessment indicator values of *T. minuta*

准则层 Criteria layer (R_i)	指标层 Index layer (R_{ij})	指标的属性和参数 Attribute and parameter of index	判断标准及赋值 Criterion and assignment				取值范围 Data range
			A	B	C	D	
入侵性 Invasibility (R_1)	国外分布情况 Foreign distribution (R_{11})	Q1. 国外分布范围 Foreign distribution range	12				$R_1 = 83$
		Q2. 国外重要性地位 Foreign importance status		6			
	国内分布情况 Domestic distribution (R_{12})	Q3. 国内分布范围 Domestic distribution		9			
		Q4. 国内重要性地位 Domestic importance status		5			
	传播方式 Propagation ways (R_{13})	Q5. 自然传播 Natural propagation		4			
		Q6. 人为传播 Artificial propagation	13				
	检验鉴定难度 Difficulty in inspection and identification (R_{14})	Q7. 检验鉴定难度 Difficulty in inspection and identification	8				
		Q8. 人工防除 Manual control		5			
	除害处理的难度 Difficulty of decontamination (R_{15})	Q9. 化学防除 Chemical control		5			
		Q10. 生物防除 Biological control	6				
		Q11. 根除难度 Eradicate difficulty	10				
适生性 Adaptability (R_2)	气候适宜度 Climate suitability (R_{21})	Q12. 中国气候的适宜度 Climate suitability in China	28				$R_2 = 88$

续表 1

准则层 Criteria layer (R_i)	指标层 Index layer (R_{ij})	指标的属性和参数 Attribute and parameter of index	判断标准及赋值 Criterion and assignment				取值范围 Data range
			A	B	C	D	
	环境条件 Environmental condition (R_{22})	Q13. 生存环境条件 Living environment conditions	9				
	分布生境特点 Distributed habitat characteristics (R_{23})	Q14. 生境类型多样性 Habitat type diversity	11				
	耐逆性 Stress tolerance (R_{24})	Q15. 耐逆性 Stress tolerance	22				
	天敌分布情况 Distribution of natural enemies (R_{25})	Q16. 天敌分布情况 Distribution of natural enemies	18				
扩散性 Diffusivity (R_3)	生活史 Life history (R_{31})	Q17. 生活周期 Life cycle	8				$R_3 = 65$
	繁殖能力 Reproductive capacity (R_{32})	Q18. 传粉受精方式 Pollination and fertilization method	4				
		Q19. 种子数量 The number of seeds	12				
		Q20. 繁殖体休眠特性 Propagation characteristics	7				
	Q21. 成苗率大小 Seedling rate	12					
	遗传特性 Genetic characteristics (R_{33})	Q22. 遗传稳定性 Genetic stability	8				
		Q23. 杂交可能性 Hybrid possibility	14				
危害性 Harmfulness (R_4)	经济危害 Economic hazard (R_{41})	Q24. 危害作物的类别 Category of hazardous crops	11				$R_4 = 84$
	生态环境影响 Ecological environment impact (R_{42})	Q25. 危害作物的面积 Area of hazardous crops	11				
		Q26. 对产量品质的影响 Effect on yield quality	14				
		Q27. 增加生产成本 Increase production costs	5				
		Q28. 传带其他有害生物 Carrying other pests	3				
		Q29. 对多样性的影响 Impact on diversity	10				
		Q30. 对生态平衡的影响 Impact on ecological balance	10				
		Q31. 对水体、土壤影响 Impact on water and soil	8				
	人类健康重要性 Human health importance (R_{43})	Q32. 对社会的危害程度 Degree of harm to society	12				

3 讨论与建议

目前,对有害生物风险评估的方法主要采取定性分析为主,然而,对各种影响风险因素的量化却是风险分析的基础工作。只有通过量化,才能使不同种类和类型的风险分析结果具有可比性,最终为检疫决策提供更确切的科学依据(张国良等, 2018)。本文通过定量分析的办法将印加孔雀草归属于具有危害性和侵入性的物种,为防止其进一步扩散,建议相关管理部门采取如下措施加强管理。

- (1)加强宣传培训。引导媒体正确报道印加孔雀草发生及控制情况,防止炒作,避免失实报道。在印加孔雀草发生区,强化对农技人员的技术培训,掌握正确识别、监测和防控的技术要点。进行科普宣传,提高公众的防控意识。
- (2)加强检疫和监测。加强对农畜产品、种子种苗、农机具和交通运输工具的检疫。对印加孔雀草适宜生存定殖的区域开展全面普查和重点监测,对机场、码头、车站、停车场、机关、学校、厂矿、农舍、庭院、街道

周边及主要交通干线两旁区域、有外运产品的生产单位以及物流集散地全面清查,对印加孔雀草发生的村、乡镇、县(市)、区重点监测,建立早期监测预警网点。

(3)采取应急处置措施。对低密度、零星发生区采用人工或机械措施清除;对成片发生区域可采用先人工或机械割除,再分步施药,最终灭除的方法,推荐使用草甘膦水剂、氨基吡啶酸、二甲四氯钠盐等除草剂。在印加孔雀草幼苗期(2~9片叶)可直接进行化学药剂喷雾,成苗(开花期)可先人工或机械割除地上部分,再施用灭生性化学除草剂。

参考文献

丁晖, 石碧清, 徐海根, 2006. 外来物种风险评估指标体系和评估方法. 生态与农村环境学报, 22(2): 92-96.

董振国, 刘启新, 胡君, 邓懋彬, 熊豫宁, 2013. 中国大陆归化植物新记录. 广西植物, 33(3): 432-434.

贺士元, 1992. 北京植物志(上卷). 北京: 科学出版社.

许敏, 扎西次仁, 2015. 青藏高原一新归化种. 广西植物, 35(4): 554-555.

张国良, 付卫东, 孙玉芳, 王忠辉, 张瑞海, 2018. 外来入侵物种监测与控制. 北京: 中国农业出版社.

张劲林, 吕玉峰, 边勇, 刘若思, 江璐, 2014. 中国境内(内地)一种新的入侵植物——印加孔雀草. 植物检疫, 28(2): 65-67.

ARORA K, 2015. Allelopathic potential of the essential oil of wild marigold (*Tagetes minuta* L.) against some invasive weeds. *Journal of Agricultural Food & Environmental Sciences*, 3: 56-60.

ARORA K, BATISH D, SINGH H P, KOHLI R K, 2016. Comparative account of allelopathic potential of essential oil of *Tagetes minuta* L. and its major component cis- β -Ocimene. *Annals of Plant Sciences*, 5(9): 1428.

GREEN D H, 1963. Further simple experiments on the greenhouse germination of some east African weed species. *Pest Articles & News Summaries*, 9(1): 43-46.

DREWES F E, VAN STADEN J, 1990. Germination of *Tagetes minuta* L. II. Role of gibberellins. *Plant Growth Regulation*, 9(4): 285-291.

FORSYTH C, STADEN J V, 1983. Germination of *Tagetes minuta* L. I. Temperature effects. *Annals of Botany*, 52(5): 659-666.

HETHELYI E, DANOS B, TETENYI P, KOCZKA I, 1986. GC-MS analysis of the essential oils of four tagetes species

and the anti-microbial activity of *Tagetes minuta*. *Flavour and Fragrance Journal*, 1(4/5): 169-173.

HULINA N, 2008. Wild marigold — *Tagetes minuta* L. new weed on the island of Hvar, and new contribution to the knowledge of its distribution in Dalmatia (Croatia). *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 73(1): 1036-1048.

KIL J H, SHIM K C, 2006. Allelopathic effects of *Tagetes minuta* L. and *Eupatorium rugosum* Houltt. aqueous extracts on seedling growth of some plants. *Allelopathy Journal*, 18(2): 315-321.

LÓPEZ M L, BONZANI N E, ZYGADLO J A, 2008. Allelopathic potential of *Tagetes minuta* terpenes by a chemical, anatomical and phytotoxic approach. *Biochemical Systematics & Ecology*, 36(12): 882-890.

MASSUH Y, CRUZ-ESTRADA A, GONZÁLEZ-COLOMA A, OJEDA M S, ZYGADLO J A, ANDRÉS M F, 2017. Nematicidal activity of the essential oil of three varieties of *Tagetes minuta* from Argentina. *Natural Product Communications*, 12(5): 705-707.

NAQINEZHAD A, MEHRVARZ S S, 2007. Some new records for Iran and Flora Iranica area collected from Boujagh National Park, N. Iran. *Iranian Journal of Botany*, 13(2): 112-119.

SADIA S, KHALID S, QURESHI R, Bajwa A A, 2013. *Tagetes minuta* L. a useful underutilized plant of family Asteraceae: a review. *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 19(2): 179-189.

SENATORE F, NAPOLITANO F, MOHAMED M A H, HARRIS, P J C, MNKENI, P N S, HENDERSON, J, 2004. Antibacterial activity of *Tagetes minuta* L. (Asteraceae) essential oil with different chemical composition. *Flavour and Fragrance Journal*, 19(6): 574-578.

SINGH V, KAUL V K, 2003. Domestication of wild marigold (*Tagetes minuta* L.) as a potential economic crop in Western Himalaya and North Indian plains. *Economic Botany*, 57(4): 535-544.

WANG C M, CHEN C H, 2006. *Tagetes minuta* L. (Asteraceae), a newly naturalized plant in Taiwan. *Taiwania*, 51(1): 32-35.

WANJALA C W, WANZALA W, 2016. *Tagetes* (*Tagetes minuta*) oils//PREEDY V R. *Essential oils in food preservation, flavor and safety*. Pittsburgh: Academic Press: 791-802.

<http://www.jbscn.org>