

◆ 药效与应用 ◆

无人机喷施高效氟吡甲禾灵防治 互花米草试验初报

孙希玉¹, 刘福祥¹, 李金洋¹, 孙攀攀², 刘瑞宾², 白霜¹, 李凌绪^{1*}

(1. 青岛农业大学植物医学学院, 山东青岛 266109; 2. 山东康乔生物科技有限公司, 山东博兴 256500)

摘要: 选用大疆T30植保无人机施用108 g/L高效氟吡甲禾灵乳油, 研究了其有效成分用量、喷水量、雾滴粒径等不同因子对防治互花米草的影响。试验结果表明, 无人机喷施108 g/L高效氟吡甲禾灵乳油的适宜有效成分用量为450~600 g/hm², 药后120 d的株防效、地上部鲜重防效均高于95%; 在有效成分用量600 g/hm²时, 适宜喷液量为30~45 L/hm², 药后120 d的株防效和鲜重防效高于95%; 药剂适宜喷雾粒径为90~120 μm或250~300 μm, 对互花米草的株防效和鲜重防效均高于98%, 显著优于喷雾粒径为150~200 μm的防效。无人机喷施108 g/L高效氟吡甲禾灵乳油对互花米草防治效果好, 作业便利, 受环境因素影响小, 可作为特定条件下防除互花米草的重要选择。

关键词: 无人机; 高效氟吡甲禾灵; 互花米草; 防治效果

中图分类号: S 459 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2025.01.012

Preliminary study on the control of haloxyfop-P-methyl against *Spartina alterniflora* by unmanned aerial vehicle

SUN Xiyu¹, LIU Fuxiang¹, LI Jinyang¹, SUN Panpan², LIU Ruibin², BAI Shuang¹, LI Lingxu^{1*}

(1. College of Plant Health and Medicine, Qingdao Agricultural University, Shandong Qingdao 266109, China; 2. Shandong Kangqiao Bio-technology Co., Ltd., Shandong Boxing 256500, China)

Abstract: The effects of different factors such as active ingredient dosage, spraying volume and droplet size on the control effect of *Spartina alterniflora* were studied, using haloxyfop-P-methyl 108 g/L EC, spraying by unmanned aerial vehicle (UAV). The results showed that the suitable active ingredient dosages of haloxyfop-P-methyl 108 g/L EC were 450-600 g/hm², the plant control effects and above ground fresh weight control effects on *S. alterniflora* were all above 95% at the 120th day after spraying. The suitable spraying amounts were 37.5-45 L/hm², at the active ingredient dosage of 600 g/hm², the plant control effects and fresh weight control effects on *S. alterniflora* were all higher than 95%. The suitable droplet sizes were 90~120 μm and 250~300 μm, the plant control effects and fresh weight control effects were all above 98%, which were significantly better than that of 150~200 μm. Haloxyfop-P-methyl 108 g/L EC could control *S. alterniflora* efficiently by UAV, with more convenient and less affected by the environment. And it could be used as an important choice for controlling *S. alterniflora* under specific conditions.

Key words: unmanned aerial vehicle; haloxyfop-P-methyl; *Spartina alterniflora*; control effect

互花米草 (*Spartina alterniflora*) 是禾本科米草属多年生盐沼植物, 可行有性、无性生殖。其原产于

美洲大西洋沿岸, 我国于1979年引入, 现在海南至河北的滨海湿地均有分布, 是我国最重要的入侵杂

收稿日期: 2024-04-08

基金项目: 山东省重点研发计划——重大科技创新工程(2022CXGC010401); 青岛农业大学研究生创新计划(QNYCX23075)

作者简介: 孙希玉(2000—), 男, 山东安丘人, 硕士研究生, 主要从事杂草防治研究。E-mail: 2254968357@qq.com

通信作者: 李凌绪(1979—), 男, 山东莱芜人, 博士, 教授, 主要从事除草剂毒理学、杂草防治等研究。E-mail: lingxulipvi@126.com

草之一^[1-4]。互花米草入侵后与红树林、芦苇、碱蓬、海三棱藨草等激烈竞争,造成本地植物退化,影响滩涂微生物和底栖动物的群落结构,导致珍稀鸟类减少,严重影响海滨滩涂的生物多样性^[5-8]。互花米草的治理技术主要包括物理治理技术和化学治理技术。前者包括刈割、淹水、遮荫、翻耕等,费时费力,成本极高^[9-10];化学治理技术简单易行,高效经济。25%咪唑烟酸水剂是我国目前登记用于防治滩涂互花米草的除草剂,但其有效成分用量较高,为3 750~5 625 g/hm²^[11-13]。高效氟吡甲禾灵属于芳氧苯氧丙酸酯类除草剂,具有内吸性,抑制敏感植物脂肪酸合成,使根、茎分生组织生长受阻,最终杀死杂草^[14]。乔沛阳等^[15]在黄河三角洲开展的小区试验表明,高效氟吡甲禾灵在有效成分用量为450 g/hm²时,可杀死互花米草地上部分,并可完全抑制次年的无性繁殖,且对沙蚕、贝类等动物无显著影响,因此其极具防治互花米草的潜力。互花米草密生于滨海湿地,受潮汐和滩涂质地的影响,人工喷雾作业困难,更适合无人机飞防作业,但目前尚未见无人机喷施高效氟吡甲禾灵防治互花米草的报道,其有效成分用量、喷水量、雾滴粒径等参数对飞防效果的影响尚不明确。因此,本文以大疆T30植保无人机和滨海湿地互花米草为研究对象,以108 g/L高效氟吡甲禾灵乳油为试验药剂,研究了有效成分用量、喷水量、雾滴粒径等对防治效果的影响,以期应用无人机防治互花米草提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试药剂

108 g/L高效氟吡甲禾灵乳油(EC),山东瑞星生物有限公司生产;25%咪唑烟酸水剂(AS),山东先达农化股份有限公司生产。

1.2 供试设备

大疆T30植保无人机(SX11001VS型号喷头,飞行高度2.5 m,飞行速度6.5 m/s,喷幅9 m),深圳市大疆创新科技有限公司生产。JACTO HD-400 16 L手

动背负式喷雾器,新加坡利农公司生产。

1.3 互花米草防除试验

1.3.1 试验设计

试验设在山东省昌邑市胶莱河入海口处西侧潮间带(119°55'E,37°08'N),该区域地势平坦,密生互花米草单一群落。2023年6月16日施药,天气晴,东南风4级,最高气温37℃,最低气温22℃。施药时段为下午3时至6时,避开当日高温时段。施药时,互花米草处于营养生长期,平均株高为77.5 cm,平均密度为202.4株/m²。试验设11个处理(表1),无人机施药小区面积1 333 m²,人工喷雾小区面积21 m²,每处理重复3次。

表 1 高效氟吡甲禾灵防治互花米草试验设计

处理	除草剂	有效成分 用量/(g/hm ²)	用水量/ (L/hm ²)	雾滴粒径/ μm
①	108 g/L 高效氟吡甲 禾灵 EC (无人机喷 施)	450	30.0	150~200
②		600	30.0	150~200
③		750	30.0	150~200
④		900	30.0	150~200
⑤		600	37.5	150~200
⑥		600	45.0	150~200
⑦		600	30.0	90~120
⑧		600	30.0	250~300
⑨	25%咪唑烟酸 AS	5 250	30.0	150~200
⑩	108 g/L 高效氟吡甲 禾灵 EC (人工喷雾)	450	450	
⑪	清水对照		30.0	150~200

1.3.2 防治效果调查

施药后30 d和90 d,在各小区随机选取5个50 cm×50 cm的样方,调查样方内存活、死亡株数和全部互花米草的株高,计算株防效和株高抑制率。药后120 d,调查株高、株数、抽穗数、地上部鲜重和地下部鲜重。调查地上部鲜重时,齐地刈割样方内互花米草,挑出死亡个体,将存活植株称重。地下部鲜重的调查参考乔沛阳等^[15]的方法,齐地刈割地上部后,在样方内下挖40 cm,取根系洗净,根据根表面和断面颜色挑出活根,晾干后称重。

株防效/%= $\frac{\text{对照区存活株数}-\text{处理区存活株数}}{\text{对照区存活株数}} \times 100$

株高抑制率/%= $\frac{\text{对照区平均株高}-\text{处理区平均株高}}{\text{对照区平均株高}} \times 100$

抽穗抑制率/%= $\frac{\text{对照区抽穗率}-\text{处理区抽穗率}}{\text{对照区抽穗率}} \times 100$

地上(地下)部鲜重抑制率/%= $\frac{\text{对照区地上(地下)部鲜重}-\text{处理区地上(地下)部鲜重}}{\text{对照区地上(地下)部鲜重}} \times 100$

1.4 数据处理

试验数据采用SPSS 22.0软件进行统计分析，Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 对互花米草株高、抽穗结实的影响

由表2可知，无人机喷施高效氟吡甲禾灵明显抑制了互花米草的生长，株高抑制率在药后90 d时最高。

表 2 不同参数下高效氟吡甲禾灵对互花米草株高抑制率

处理	抑制率 /%		
	药后 30 d	药后 90 d	药后 120 d
①	26.2±4.7a	49.9±7.8a	29.1±13.4a
②	23.4±14.4a	52.5±20.7a	44.5±2.9ab
③	16.4±6.8a	54.1±15.3a	46.5±4.4ab
④	18.3±6.9a	46.1±11.3a	37.3±1.9a
⑤	32.1±13.4a	47.3±10.5a	34.1±10.7a
⑥	28.2±11.0a	49.2±1.6a	35.7±9.8a
⑦	28.7±11.0a	49.2±7.1a	36.1±9.8a
⑧	35.6±15.3a	50.8±1.9a	41.8±11.7ab
⑨	27.1±5.8a	47.0±1.1a	30.8±12.9a
⑩	26.6±1.4a	65.1±7.6a	57.6±9.2b

注：数据为平均值±标准差的形式，不同字母代表存在显著差异 ($P<0.05$)；下表同。

药后30、90 d，无人机喷施高效氟吡甲禾灵的不同处理对互花米草的株高抑制率无显著差异，与施用对照药剂咪唑烟酸及人工喷施高效氟吡甲禾灵

处理组的株高抑制率亦无显著差异。药后120 d，无人机喷施高效氟吡甲禾灵对互花米草的株高抑制率为29.1%~46.5%，与对照药剂咪唑烟酸无显著差异，大部分处理的效果显著低于人工喷施高效氟吡甲禾灵；但高效氟吡甲禾灵用量为600、750 g/hm²，用水量为30 L/hm²的处理，对互花米草的株高抑制率与人工喷雾处理无显著差异。

药后120 d，无人机喷施高效氟吡甲禾灵各处理对互花米草的抽穗抑制率和结实抑制率均为100%，与对照药剂咪唑烟酸和人工喷施高效氟吡甲禾灵无显著差异。说明高效氟吡甲禾灵对抑制互花米草抽穗和结实有良好的效果，且不受喷水量、雾滴粒径等的影响。

2.2 对互花米草的株防效

由表3可知，药后30、90、120 d，无人机喷施高效氟吡甲禾灵各处理对互花米草的株防效分别在4.6%~14.4%、89.2%~100%、95.1%~100%。无人机喷施高效氟吡甲禾灵对互花米草防效优异，但起效速度较慢，施药后较长时间方能起效。药后90 d，无人机喷施高效氟吡甲禾灵各剂量处理对互花米草的株防效均显著优于对照药剂咪唑烟酸，且呈用量越高防效越高的趋势。药后120 d，高效氟吡甲禾灵大多数处理对互花米草的株防效与对照药剂咪唑烟酸无显著差异；高效氟吡甲禾灵有效成分用量对株防效的影响有所下降，除用量600 g/hm²外，其他处理间不存在显著差异。

表 3 不同参数下高效氟吡甲禾灵对互花米草的株防效和鲜重防效

处理	株防效/%			鲜重防效/%	
	药后30 d	药后90 d	药后120 d	地上部	地下部
①	11.2±1.8ab	90.2±5.8bc	96.3±2.5ab	98.5±1.0ab	28.7±4.6ab
②	4.6±5.3a	89.2±8.9b	95.1±0.9a	97.9±0.8a	55.3±9.8bc
③	7.0±2.8ab	96.5±3.2cd	97.6±2.3bc	99.0±1.0abc	38.4±10.0ab
④	10.9±4.5ab	98.8±1.3d	99.2±0.4bc	99.4±0.3bc	28.1±11.2ab
⑤	14.4±5.6bc	100.0±0d	99.4±1.0bc	99.7±0.6bc	46.8±3.0abc
⑥	8.1±4.4ab	99.6±0.8d	99.8±0.4bc	99.8±0.4c	39.4±28.3ab
⑦	5.5±2.0ab	99.4±1.0d	100.0±0c	100.0±0c	28.4±18.3ab
⑧	5.3±1.9ab	93.1±1.3bcd	98.5±0.9bc	99.2±0.3bc	33.4±6.9ab
⑨	13.8±1.7abc	68.6±3.6a	97.3±1.7ab	99.0±0.2abc	25.4±2.9a
⑩	20.3±13.9c	99.2±1.2d	100.0±0c	100.0±0c	73.8±3.5c

喷水量显著影响无人机喷施高效氟吡甲禾灵对互花米草的株防效。药后90 d，喷水量37.5和45 L/hm²的株防效均优于喷水量30 L/hm²的防效，但喷水量37.5和45 L/hm²的株防效无显著差异。药后120 d，提高有效成分用量、加大喷水量和调整雾滴

粒径均可显著提高无人机喷施高效氟吡甲禾灵对互花米草的株防效。

药后120 d，无人机喷施高效氟吡甲禾灵各处理对互花米草的地上部鲜重防效均在97%以上，与对照药剂咪唑烟酸无显著差异。中高剂量处理的防效

与人工喷雾相当。喷水量显著影响无人机喷施高效氟吡甲禾灵对互花米草地上部的鲜重防效,喷水量37.5和45 L/hm²对互花米草的地上部鲜重防效均显著优于喷水量30 L/hm²处理,且与人工喷雾无显著差异。雾滴粒径亦显著影响无人机喷施高效氟吡甲禾灵对互花米草的地上部鲜重防效,较细雾滴粒径或较粗雾滴粒径防效均显著优于中等雾滴粒径,且与人工喷雾防效无显著差异。无人机喷施高效氟吡甲禾灵不同剂量处理和不同喷雾参数对地下部鲜重的防效均无显著差异,且均低于人工喷雾,但用量600 g/hm²、喷水量30~37.5 L/hm²、雾滴粒径中等时,对地下部的鲜重防效与人工喷雾处理无显著差异。

3 讨论

互花米草是禾本科多年生杂草,植株高大,生长迅速,化学防治难度较大^[16-17]。高效氟吡甲禾灵生物活性高,具有优异的内吸传导特性。采用人工喷雾,有效成分用量为300 g/hm²时,其对互花米草的株防效达98.3%,可作为互花米草化学防治的重要选择^[17]。但互花米草生长于滨海滩涂,加之潮汐影响,人工喷雾作业困难,无人机施药是更适宜的作业方式。本文通过无人机施用高效氟吡甲禾灵防治互花米草,研究了有效成分用量、喷水量、雾滴粒径等参数对防治效果的影响。结果表明,高效氟吡甲禾灵有效成分用量达到450 g/hm²时,药后120 d的株防效在95%以上,效果与咪唑烟酸有效成分用量5250 g/hm²的防效相当,且能完全抑制抽穗,显著减少当年种子生成量。水量、雾滴粒径可影响无人机喷施高效氟吡甲禾灵防治互花米草的效果,提高喷水量、降低雾滴粒径均可提高防效,与无人机喷施除草剂防治小麦田杂草的试验结果相似^[18]。互花米草可通过地下茎行无性生殖,喷施除草剂后地下部复萌会降低最终防效,5月人工喷施高效氟吡甲禾灵的最终防效低于在6至8月喷施的防效,可能与地下部复萌有关^[18]。本研究于6月施药,药后120 d未见明显复萌。对生态环境的影响是互花米草化学防治中必须考虑的因素^[11]。施用高效氟吡甲禾灵防治互花米草,在滩涂中残留量少,对沙蚕、贝类等的数量无显著影响,4个月内蟹类的数量显著减少,但施药11个月后可恢复至与对照相当的水平^[14, 19];Liang等^[20]研究表明,高效氟吡甲禾灵短期内使互花米草根际土壤的微生物多样性下降,但15 d后即可恢复。综上所述,无人机施用高效氟吡甲禾灵防治互花米草效果好,可显著抑制互花米草抽穗及复萌,且受环境因

素影响小,作业效率高,可作为特定条件下互花米草化学防治的手段。

参考文献

- [1] 刘倩,李媛媛,王萍,等.外来种互花米草的入侵生态学研究进展[J].海洋湖沼通报,2023,45(3):155-163.
- [2] 闫振宁.入侵物种互花米草扩散机制研究[D].呼和浩特:内蒙古大学,2021.
- [3] ZHANG D, HU Y, LIU M, et al. Introduction and spread of an exotic plant, *Spartina alterniflora*, along coastal marshes of China[J]. Wetlands, 2017, 37: 1181-1193.
- [4] 程成,雷金睿,何松,等.海口市互花米草分布现状和扩散动态[J].湿地科学,2023,21(4):151-155.
- [5] 于冬雪,韩广轩,王晓杰,等.互花米草入侵对黄河口潮沟形态特征和植物群落分布的影响[J].生态学杂志,2022,41(1):42-49.
- [6] 汪钰明,高新贻,谢世君,等.互花米草入侵对红树林底栖甲壳动物和鱼类功能群及生态位的影响[J].应用生态学报,2022,33(11):3016-3026.
- [7] 陈冰冰,孙志高,武慧慧,等.互花米草入侵对闽江口湿地土壤氮氧化微生物群落的影响[J].中国环境科学,2024,44(4):2309-2319.
- [8] 解雪峰,孙晓敏,吴涛,等.互花米草入侵对滨海湿地生态系统的影响研究进展[J].应用生态学报,2020,31(6):2119-2128.
- [9] 谢宝华,闫振宁,张树岩,等.不同潮滩生境互花米草的植被性状与治理技术[J].环境工程,2023,41(6):1-8.
- [10] 谢宝华,韩广轩.外来入侵种互花米草防治研究进展[J].应用生态学报,2018,29(10):3464-3476.
- [11] 谢宝华,韩广轩.入侵植物互花米草防治:理念、技术与实践[J].中国科学院院刊,2023,38(12):1924-1938.
- [12] 莫雪,吴博,刘佳凯,等.施用咪唑烟酸除草剂去除漳江口红树林中互花米草的短期实验[J].湿地科学,2022,20(2):277-284.
- [13] 农业农村部农药检定所.农药登记数据[DB/OL]. [2024-04-02]. <http://www.chinapesticide.org.cn/zwb/dataCenter?hash=reg-info>.
- [14] KAUNDUN S. Resistance to acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicides[J]. Pest Management Science, 2014, 70: 1405-1417.
- [15] 乔沛阳,王安东,谢宝华,等.除草剂对黄河三角洲入侵植物互花米草的影响[J].生态学报,2019,39(15):5627-5634.
- [16] KNOTT C A, WEBSTER E P, NABUKALU P. Control of smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) seedlings with four herbicides[J]. Journal of Aquatic Plant Management, 2013, 51: 132-135.
- [17] XIE B, HAN G, QIAO P, et al. Effects of mechanical and chemical control on invasive *Spartina alterniflora* in the Yellow River Delta, China[J]. Peer J, 2019, 7: e7655.
- [18] 高兴祥,李美,李健,等.不同喷雾因子对植保无人飞机防除小麦田杂草效果的影响[J].农药学报,2020,22(2):340-346.
- [19] ZHAO Z, XU Y, LIN Y, et al. Emergency control of *Spartina alterniflora* re-invasion with a chemical method in Chongming Dongtan, China[J]. Water Science and Engineering, 2020, 13(1): 24-33.
- [20] LIANG Q, YAN Z, LI X. Influence of the herbicide haloxyfop-P-methyl on bacterial diversity in rhizosphere soil of *Spartina alterniflora*[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2020, 194: 110366.

(编辑:顾林玲)