

南汇东滩互花米草综合防治技术体系构建与应用研究

姚佳华

上海陆家嘴建设发展有限公司

DOI:10.32629/eep.v9i4.3153

[摘要] 为有效治理对河口湿地生态安全构成严重威胁的南汇东滩大面积入侵互花米草并实现原生植被的保护,本研究构建且应用了一套以精细化勘察与生境分区作为基础、针对高潮滩芦苇混生区和中滩集中连片区以及低滩海三棱藨草共生区等不同生境选用高效盖草能和抗米净等药剂来实施精准化防治的综合防治技术体系,同时创新性采用无人机陆地作业与船舶平台海上作业及人工拉管相结合的多模式协同方案,以便适配复杂潮汐地形并保障作业窗口。而技术应用情况显示,该体系不仅实现了互花米草的高效清除和原生群落的有效保护,还同步建立了包含无人机巡查和地面踏查的监测预警处置长效管护机制,从而能够为类似沿海湿地入侵植物的治理提供系统性技术方案。

[关键词] 互花米草综合防治; 精准施药; 潮汐作业; 长效管护

中图分类号: S942.3 **文献标识码:** A

Study on the construction and application of integrated control technology system of *Spartina alterniflora* in Nanhui Dongtan

Jiahua Yao

Shanghai Lujiazui Construction Development Co., Ltd.

[Abstract] In order to effectively control the large-scale invasion of *Spartina alterniflora* in Nanhui Dongtan, which poses a serious threat to the ecological security of estuarine wetlands, and realize the protection of native vegetation, this study constructed and applied a set of comprehensive prevention and control technology system based on fine investigation and habitat division, and selected high-efficiency grass-covering agents and anti-rice-cleaning agents for different habitats such as reed mixed zone in high tide beach, intertidal zone in low beach, and innovatively adopted the combination of drone land operation, ship platform offshore operation and manual pipe pulling. The technical application shows that the system not only realizes the efficient removal of *Spartina alterniflora* and the effective protection of native communities, but also establishes a long-term management and protection mechanism of monitoring, early warning and disposal including drone inspection and ground inspection, thus providing a systematic technical scheme for the control of invasive plants in similar coastal wetlands.

[Key words] integrated control of *Spartina alterniflora*; Precise application; Tidal operation; Long-term management

引言

互花米草作为凭借强大繁殖与扩散能力在我国沿海盐沼湿地滩快速形成单一优势群落、严重排挤芦苇与海三棱藨草等本土植被进而导致湿地生物多样性下降及生态服务功能退化并对海岸带防护和航道安全构成潜在风险的典型外来入侵植物,国家与地方政府为应对这一严峻生态挑战已将其治理列为生态保护修复重点任务,而地处长江河口关键区域、滩涂面积广阔且生境类型复杂多样的南汇东滩,因互花米草入侵态势尤为显著,故治理需求既紧迫又极具代表性,不过传统单一防治手段往往难以在大规模且环境敏感区域取得持久成效,尤其需要兼顾高

效清除入侵种群和有效保护原生湿地生态系统的双重目标。因此,探索并构建一套适应复杂潮汐环境、融合精准技术措施与系统化管理支撑的综合防治技术体系,成为当前推进该项生态治理工程亟待解决的核心科学问题与实践需求。

1 南汇东滩互花米草综合防治技术体系的构成

1.1 工程实施前的精细化勘察与设计技术

综合治理体系的根基在于通过将整合了现场实地踏勘、无人机低空航测与多期高分辨率遥感影像解译相结合的多源数据获取手段的勘察工作以及科学设计进行全面精准实施前的融合,其中现场踏勘以确认植被群落边界、潮沟走向与底质条件为重

表 1 基于生境分区的精准治理技术参数

分区	生境特征	靶标植被	选用药剂	药剂用量 (mL/亩)	喷液量 (L/亩)	施药方式
A 区 (高潮滩)	与芦苇混生	互花米草	10.8%高效氟吡甲禾灵	180	10-12	无人机喷洒
B 区 (中滩)	互花米草纯林	互花米草	30%咪唑烟酸	1500	10-12	无人机喷洒
C 区 (低滩)	与海三棱镜草共生	互花米草	10.8%高效氟吡甲禾灵	180	10-12	无人机喷洒

表 2 互花米草防治效果评估指标体系

评估阶段	评估维度	核心指标	监测方法/参数	目标值
短期(1 年内)	除治效果	植株死亡率	样方调查活株计数	≥95%
		复发斑块密度	无人机巡查,斑块计数	≤5 个/km²
	工程效率	单位面积施药量	用药记录/防治面积	≤2.0L/ha
长期(1-5 年)	植被恢复	土著植被恢复度	样方调查,盖度与多度	年增长≥10%
	动物群落	底栖动物生物量	定量取样,烘干称重	达到本地参照区水平
	环境安全	土壤药剂残留量	色谱-质谱检测	低于国家风险管控值

点, 无人机航测获取用于精确绘制互花米草空间分布斑图并识别其集中连片区、零散分布区及与芦苇、海三棱镜草共生区域的厘米级精度正射影像与数字表面模型, 遥感数据分析则被用于把握大范围的年际变化动态, 而基于此得以精确掌握治理区内互花米草的分布格局、斑块特征、密度差异以及复杂的潮沟网络与高程梯度^[1]。且勘察数据直接支撑治理区科学生境分区, 将工程范围按植被组成、淹水频率与土壤盐度的空间异质性这一分区依据划分为高潮滩芦苇混生区、中潮滩互花米草集中连片区、低潮滩海三棱镜草共生区以及生态敏感的限制作业区这四个特征鲜明的亚区, 从而为后续差异化的技术策略奠定决策基础。

1. 2 基于生境分区的精准化药剂选择与施用技术

药剂的选择与施用是决定防治效果与生态安全的核心, 本体系摒弃了单一药剂方案, 建立了基于生境类型与共生植被的精准甄选机制。在高潮滩芦苇混生区, 主要选用10.8%高效氟吡甲禾灵乳油, 该药剂对禾本科植物具有特效, 能高效杀灭互花米草而对双子叶的芦苇伤害极低, 实现了靶向清除。在中潮滩互花米草纯林区, 选用咪唑烟酸可溶液剂, 其内吸性强, 对连片分布的多年生禾本科及莎草科杂草有卓越防效。在低潮滩海三棱镜草共生区, 再次选用高效氟吡甲禾灵, 旨在保护同为莎草科的土著优势种海三棱镜草。施药参数经过严格计算与验证, 无人机作业飞行高度控制在距冠层2.5至3m, 飞行速度不超过2.5m/s, 喷

幅设定为4.5至5m,亩喷液量稳定在10至12L,基于生境分区的精准治理技术参数如表1所示。

1.3 适配潮汐地形的多模式协同作业技术

潮汐间歇性淹没滩涂的特性对地面机械作业构成根本性限制,本体系发展出多平台协同的立体作业模式以应对地形挑战。无人机陆地作业模式以大治河导堤等现有堤坝道路为起降点,作业半径覆盖临近滩涂。无人机船舶海上作业模式将大型平板驳船改造为移动起降平台,船舶锚泊于主潮沟,无人机以此为中心对广阔潮间带区域进行作业,解决了滩涂承重能力差、人员设备无法进入的难题。潮汐作业窗口的计算是安全高效施工的关键,其核心模型是依据潮汐表预测的低潮时间,逆向推算作业启动时刻,并预留必需的药剂吸收时间,该关系可用公式表示为:

$$T_{start} = T_{lowtide} - (T_{operation} + T_{absorption}) \quad (1)$$

公式(1)中, T_{start} 代表最佳作业开始时间, $T_{lowtide}$ 为当日低潮位发生的时刻, $T_{operation}$ 为计划作业所需持续时间, $T_{absorption}$ 为确保药剂被叶片充分吸收所需的最小时间,一般要求不少于2h。实际操作中,作业必须在低潮位露出滩面前完成,并确保施药后有连续2至4h的无水期^[2]。对于施药后出现的零星漏喷点,采用监测无人机进行后期勘查,自动识别并标记未枯萎植株位置,生成带地理坐标的喷施处方图,再引导作业无人机进行厘米级精度的补喷,形成“扫描-识别-定位-消灭”的闭环处理流程。

2 技术体系应用的支撑体系

2.1 施工组织规划与重难点动态应对

综合防治技术的落地依赖于周密的前期组织与动态的现场应对,施工组织规划以项目工程量与工期为基准,组建了包含16名持证无人机飞手、12名船舶驾驶员、2名专职药剂师及50名辅助普工的专业化队伍,实施分组分片作业管理。物资保障计划以精确核算每日需求为基础,其中核心除草剂储备量在20t以上、专用助剂达1.5t,并建立起与供应商的及时补给协议,而燃油与电池则采用集中充电结合分散配送的模式,日均对无人机作业所需的300L用油及60组配套电池组予以保障;围绕多模式作业需求进行机械设备配置,投入25架大疆T60植保无人机、2艘大型平板运输船、3艘冲锋舟以及大功率发电机和专用配药车等辅助设备,从而形成完整的移动作业单元;鉴于潮间带施工所固有的十二项重难点,项目部构建了动态应对清单与预案库;针对每日有效作业窗口仅4-6h这一制约因素,通过潮汐表预先排定三日滚动计划,同时设立气象观测点,规定在风力超过5级或者降雨概率大于30%时自动暂停作业;为攻克零星分布区精准喷药的难题,采取“监测无人机先行标定,作业无人机定点清除”的战术,将定位精度控制在0.5m以内;针对远距离通勤与海上作业的风险,在岸基设立前线指挥所,要求作业人员穿戴全套救生与防护装备,且船舶配备AIS与甚高频通信设备。

2.2 全过程质量控制与标准化施工流程

技术方案的实施效能因标准化施工流程的贯彻以及全过程

质量检验的落实而获得保障,且项目所构建的闭环质量控制链条覆盖了从前期勘察到后期评估的全阶段,在作业启动之前,会基于精细化勘察所得到的成果生成带有高程补偿功能的智能航线,以此来对无人机的飞行高度、速度以及喷幅进行规划,而药剂配制这一环节是在专用配药车内由两名药剂师共同完成的^[3]。且需严格遵循二次稀释法,即先将原药注入母液桶并加水稀释搅拌,再把母液注入已储备大半清水的药箱,最后定容至标准体积,进而确保药剂能够均匀分散,每架无人机在起飞前都要完成包含桨叶、喷头、流量传感器、RTK定位模块等在内的十余项检查工作,并且将检查情况记录在飞行检查单上,所有作业无人机都被强制接入“上海农业无人机服务平台”,从而实现飞行轨迹、施药面积、实时流量以及断点续喷数据的云端同步和不可篡改记录,为质量追溯提供数据方面的铁证,施药过程中的质量控制依靠现场快速检测,其中安全员会使用手持式风速仪对风速进行监测,以确认风速持续低于3.5m/s,质检员则会使用精度为0.1g的电子天平来校核药剂称量,同时使用量筒来核查兑水量。

2.3 专项安全管理与风险防控体系

临水、海上、高危化学品与密集设备联合作业的特殊性,要求构建超越常规工程的专项安全防控体系。项目开工前即开展了全面的危险源辨识,形成了涵盖五大类十二项重大风险的清单,并逐项制定了管控方案。针对水上作业,为所有人员配备符合标准的救生衣,船舶配备足额救生圈与救生筏,实施船舶出航审批与动态报告制度。密闭舱室作业严格执行“先通风、再检测、后作业”程序,使用四合一气体检测仪检测氧气、可燃气体、硫化氢和一氧化碳浓度,合格后方可进入且需有专人监护。涉及高处或舷外作业必须系挂安全带,临水作业设置安全网。所有用电设备接入漏电保护开关,电缆线采用架空或防碾压措施。危险化学品安全管理是重中之重,在施工现场设立独立的危化品库,农药与汽油分开存放,库房满足阴凉、通风、防火、防渗漏要求,设置醒目标识和MSDS资料卡,执行严格的领用与退库登记。所有作业人员、飞手、船员均须接受公司、项目部和班组三级安全教育,特种作业人员持证上岗。

3 技术体系的应用效果评估与长效管护机制

3.1 防治效果监测方法与初步结果

技术体系的应用效能需要通过系统化的监测方案进行客观评估,监测方案采用空间分层随机抽样法布设样地,在A、B、C三个治理亚区及未施药的对照区各设置15个永久监测样方,样方面积统一为1m×1m。监测时序严格遵循施药后的植物生理响应周期,在每次施药后第30天、45天、60天以及工程结束后的第180天进行复查。每次调查记录的核心指标包括活体互花米草植株密度、植被盖度、平均株高,以及对样方内芦苇与海三棱藨草的相应指标^[4]。植株死亡率通过对比施药前后样方内活株数量计算得出。初步监测结果显示,经过一个完整生长季的三轮精准施药与靶向补喷,治理区域内互花米草的防控效果显著。施药后90天,样方内互花米草活体植株密度下降至每平方米5株以下,



图1 “监测-预警-处置”长效管护机制运行流程图

综合植被盖度从施药前的85%以上降至10%以内, 计算所得植株死亡率超过95%。

3.2 短期除治与长期生态效果评估指标体系

为全面衡量技术体系的综合成效, 构建了分阶段、多维度的效果评估指标体系。该体系明确区分了以工程直接产出为导向的短期除治效果和以生态系统恢复为目标的长期生态效果。短期效果评估在工程竣工后一年内进行, 聚焦于互花米草本身的消亡程度与工程实施效率, 核心量化指标包括植株死亡率、单位面积复发斑块数量与面积、公顷施药量以及日均作业面积, 互花米草防治效果评估指标体系如表2所示。

3.3 “监测-预警-处置”长效管护机制

防治成果的巩固依赖于一个常态化、制度化的长效管护机制, 该机制的核心是构建一个多技术融合的“天地”一体化监测预警网络。每季度组织专业人员进行一次全覆盖地面踏查, 重点排查潮沟边缘、工程交界等易复发区域。每两个月利用多旋翼无人机搭载可见光与多光谱传感器进行空中巡查, 通过影像的植被指数差异识别新生或残存的互花米草微小斑块。每季度结合亚米级商业卫星遥感影像, 进行大范围的变化检测分析^[5]。整个管护过程的所有数据、预警记录、处置决策与效果反馈均归档至项目全生命周期管理档案, 定期更新治理区植被分布专题图, 并编制年度管护效果评估报告, 形成一个持续迭代优化的管理闭环, “监测-预警-处置”长效管护机制运行流程如图1所示。

4 结语

本研究因南汇东滩面临互花米草入侵这一严峻生态问题, 故而构建且实践了一套综合防治技术体系, 该体系涵盖“精准勘

察设计-生境分区施治-潮汐协同作业-全流程管控-科学评估管护”等环节, 其创新性地把精细化生境分区与选择性除草剂精准施用相结合, 进而发展出适配潮间带特殊地形的多平台立体作业模式, 同时建立了与之匹配的标准化施工流程、专项安全防控以及长效管护机制, 而工程实践显示此技术体系能够高效清除互花米草并对原生植被进行有效保护, 实现了工程成效和生态安全的统一, 另外所形成的可复制、可推广的技术与管理范式, 为我国广大河口海岸带类似入侵物种的治理提供了从技术方法到组织实施的全过程解决方案, 对推进海岸带生态保护修复有着重要的实践指导价值。

【参考文献】

- [1] 吴后建, 刘扬晶, 舒勇, 等. 基于CiteSpace的中国互花米草研究文献计量分析[J]. 中南林业调查规划, 2025, 44(04): 57-65.
- [2] 王苗勋. 开敞海滩互花米草的防治对策——以崇明北沿湿地互花米草综合防治工程为例[J]. 环境保护与循环经济, 2025, 45(05): 54-59.
- [3] 包旭辉, 吴文欢, 陈虹, 等. 互花米草防治工程实施成效评估指标体系初探[J]. 绿色科技, 2024, 26(24): 69-74+80.
- [4] 覃杰, 刘秀, 田红灯, 等. 广西地区互花米草分布现状及防治策略[J]. 南方农业, 2024, 18(21): 40-43+47.
- [5] 陈静云, 黄昊, 张宜辉. 中国红树林区互花米草入侵生态效应及防治策略[J]. 广西科学院学报, 2024, 40(03): 207-213+222.

作者简介:

姚佳华(1981--), 男, 汉族, 上海浦东人, 本科, 工程师, 研究方向: 植物与生态修复。