

互花米草入侵机理和治理方法研究进展

严雪洁 赵文元*

辽宁省湿地保护中心, 辽宁 辽阳 111000

[摘要]湿地蕴藏着全球约 40%的已知物种, 孕育了丰富的生物多样性, 互花米草 (*Spartina alterniflora*) 在我国沿海地区广泛入侵, 已成为危害我国滨海湿地生态系统的严峻因子。因此, 开展互花米草的入侵机理及治理方法的研究显得尤为重要。为今后互花米草防治和利用提供新的研究思路, 文章基于文献和资料, 对互花米草的生理特性、入侵性机理进行了梳理, 总结了我国互花米草主要治理技术, 提出综合防治效果较好, 但需因地制宜地制定防控方案。对九省市互花米草治理实践的总结得出互花米草在国内主要分布在淤泥质岸滩, 各地区多采用物理法、生物替代和综合防治。最后为应对治理周期长, 费用高等问题, 提出未来建立协同防治与监测预警长效机制, 加大宣传力度注重全民参与, 加快互花米草治理技术与利用等建议。

[关键词]互花米草; 入侵机理; 治理方法

DOI: 10.33142/nsr.v2i2.16976

中图分类号: Q948

文献标识码: A

Research Progress on Invasion Mechanism and Control Methods of *Spartina Alterniflora*

YAN Xuejie, ZHAO Wenyuan*

Liaoning Wetland Conservation Center, Liaoyang, Liaoning, 111000, China

Abstract: Wetlands contain about 40% of the world's known species, nurturing rich biodiversity. *Spartina alterniflora*, widely invasive in coastal areas of China, has become a serious factor threatening the ecological system of coastal wetlands in China. Therefore, it is particularly important to conduct research on the invasion mechanism and control methods of *Spartina alterniflora*. To provide new research ideas for the prevention, control, and utilization of *Spartina alterniflora* in the future, this article summarizes the physiological characteristics and invasive mechanisms of *Spartina alterniflora* based on literature and data. The main control technologies of *Spartina alterniflora* in China are summarized, and it is proposed that the comprehensive control effect is good, but the prevention and control plan needs to be formulated according to local conditions. The summary of the management practice of *Spartina alterniflora* in nine provinces, cities and districts shows that *Spartina alterniflora* is mainly distributed on muddy beaches in China, and physical methods, biological substitution, and comprehensive control are often used in various regions. Finally, in order to address the issues of long management cycles and high costs, it is proposed to establish a long-term mechanism for collaborative prevention and control, monitoring and early warning in the future, increase publicity efforts, focus on public participation, and accelerate the research and utilization of mutual flowering rice grass management technology.

Keywords: *Spartina alterniflora*; invasion mechanism; management methods

引言

互花米草 (*Spartina alterniflora*) 隶属禾本科 (Gramineae) 米草属 (*Spartina*), 为多年生根茎型克隆植物, 原产北美东海岸和墨西哥湾^[1]。1979 年被引入国内, 主要用于消浪护堤, 促淤造陆。互花米草因其具有耐盐性, 耐淹性, 繁殖力强和传播速度快等特点, 在滨海湿地快速扩展^[2], 中国沿海地区的互花米草在 2019 年达到 61565hm²^[3]。到 2023 年, 互花米草的分布区主要为上海、江苏、广西、福建、山东、天津、浙江等地, 随气候变暖, 其分布区逐渐向北扩展, 辽宁也有互花米草的存在^[4]。

互花米草的入侵, 其结果首先是挤压本地植物的生态位, 破坏了底栖生物、鱼类、鸟类等的生长和繁殖环境, 使滨海湿地的生物多样性下降; 其次, 沿海滩涂的生态系统继而改变, 造成了滨海湿地的生态环境的恶化; 再次,

由于互花米草的根系太过密集, 导致江河入海口的泄水能力下降, 河道堵塞, 妨碍船舶出海, 还会影响到人们的生产和生活, 对沿海地区的经济和社会的可持续发展造成了极大的阻碍^[5-7]。互花米草在 2003 年被列为中国首批外来入侵种, 2020 年, 《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划 (2021—2035)》明确提出要“加强互花米草等外来入侵物种灾害防治”。

互花米草现已成为我国沿海滩涂危害最大的外来入侵植物, 被列入《重点管理外来入侵物种名录》。因此, 对互花米草进行有效的控制是当前滨海湿地生态环境保护的一项重要任务。《互花米草防治专项行动计划 (2022—2025 年)》于 2023 年 2 月启动。

本文基于文献, 资料与新闻报道, 首先, 总结了互花米草对我国滨海湿地生态系统的入侵机理, 其次, 简述了我国

互花米草主要治理技术,从而探讨不同治理方法的优缺点,再次,梳理九省市互花米草治理的实践与成效。最后,就目前我国互花米草治理面临的问题提出了相应建议。以期为防止互花米草蔓延,保护我国滨海湿地生态系统提供有益参考。

1 互花米草的生理特征

互花米草茎秆坚硬直立,高度可达 1.2~3.5m,直径约 1.2cm;根系发达,根系长度可达 30~100cm,叶互生,呈长披针形,长约 50cm,2cm 宽;该物种既通过种子进行有性繁殖,又通过分蘖和根状茎进行无性繁殖,这使其传播速度较快^[8]。在适当的条件下,互花米草在 3~4 个月内性成熟,其花期与地理分布有关^[9]。有研究表明高纬度的低温和低纬度的高温均会使互花米草提早开花^[10]。

2 互花米草的入侵机理

互花米草在中国的入侵机理,有生物因素和非生物因素的作用,其中生物因素是互花米草入侵成功的关键因素^[11]。对互花米草入侵我国滨海湿地生态系统机理进行深入研究总结,为实现互花米草的早期防控和重点地区的防控提供科学依据。

2.1 生物因素

2.1.1 耐高盐度和水淹

互花米草每天可以耐受 12h 的浸泡。首先,其发达的通气组织能为根系供应氧气,促进根系周围土壤中的溶解氧。其次,改善土壤溶解氧,促进相邻互花米草的生长,产生群体效应。最后,随着互花米草种群的扩大,其对缺氧环境的耐受力增强。

互花米草是一类具有泌盐、拒盐和稀盐特性的盐生植物。盐腺发达,能将盐分从植物体内排出,根系具有排盐机理,可降低 Na^+ 的吸收。有研究表明互花米草对盐胁迫的耐受性强于芦苇 (*Phragmites australis*)、海三稜藨草 (*Scirpus robustus*)、狐米草 (*Spartina paten*)^[8]。总之,耐高盐度和水淹是互花米草成功入侵的重要因素之一。

2.1.2 繁殖能力强,传播速度快

互花米草增殖系数很高。有研究发现在上海附近的崇明岛互花米草可以产生 86~222 个分蘖。互花米草每平方米可产生数百万粒种子,并且这些种子可以保持休眠状态至翌年春天萌发,这种休眠机制保证了幼苗的存活率。

单株互花米草在 9 个月的时间里最多可向外扩散 2.26m,在互花米草地上枯死的情况下,仅需要 14 个月,互花米草种群通过根状茎的无性繁殖即可完全恢复生物量。在中国江苏省沿海地区,1993—1995 年互花米草完成了最初的入侵和建立阶段,年增长率为 30%,2000 年是互花米草种群快速增长和范围扩张的开始,1999 年至 2001 年间每年增长 43%^[11]。可见,互花米草极强的有性繁殖和无性繁殖能力,使得它能够在潮间带定居扩展,并在某些区域迅速传播。

2.1.3 氮利用能力强

氮和磷是滨海湿地植物生长和生理代谢不可或缺的

重要元素,与本地植物相比较,互花米草能吸收不同形式的氮,如铵态氮和硝酸盐氮。能够快速将氮转化为新的生物量,并且互花米草生物量与氮浓度呈正相关。总之,互花米草对氮素的高效利用,是其超越其它土著植物的一个重要原因。

2.2 非生物因素

2.2.1 有意引入

过去 200 多年,受人类有意或无意的活动影响,该物种的分布区逐渐由原产地扩展到了北美西海岸,欧洲,新西兰和中国海岸。互花米草 1979 年被引入国内,1980 年,互花米草在中国分布面积有 260hm²。到 2007 年,它覆盖了 34 178hm²,其中江苏沿海地区互花米草种群面积占总数的 52%以上。1990—2015 年我国沿海互花米草面积增加 50 204hm²。2019 年我国海岸带互花米草分布面积已达 61 565hm²,中国已成为世界上互花米草入侵面积最大的国家。由此可见,人类活动促进了互花米草的扩散。

2.2.2 富营养化(氮气浓度增加)

人类对沿海栖息地的利用间接促进了入侵的成功。农业、工业和污染对环境的氮输入,与互花米草较强的氮素利用率相结合,必然有利于其生长和适应性。

2.2.3 全球变暖(海平面上升,二氧化碳值增加,空气和水变暖)

全球气候变化能直接影响入侵种的生长繁殖能力,同时改变它们与本地种的竞争关系,从而对入侵结果产生影响。已有研究表明,温度的升高、海平面升高可能会促进互花米草的生长及有性繁殖,二氧化碳浓度升高可能会改变互花米草在滨海湿地系统中的竞争态势。

2.2.4 适宜的气候和生境条件

由于地理位置的不同,互花米草对环境的适应特征存在差异,其分布区也发生了改变。如:降雨和土壤盐分含量有很强的相关性,但当土壤盐分升高时,互花米草的发芽率就会下降。

在美国大西洋沿岸高纬度的互花米草因受较大的捕食压力,相比于低纬度的互花米草,生物量较少^[8]。我国近 91.6%的互花米草分布在江苏、上海、浙江和福建的沿海湿地,呈现出“南北少,中部多”的分布特征。近年来,上海市、山东省和广西壮族自治区的互花米草面积增长幅度最大,其中 2019 年山东省的互花米草面积比 2015 年增长 2.1 倍,广西壮族自治区则增长 2.6 倍。

3 我国互花米草主要治理技术

3.1 物理法

物理法是包括人工拔除,遮阴、淹水、刈割、焚烧、翻耕、碎根等措施,利用人工或机械装置对互花米草进行防治,其基本原理就是阻止其光合作用、营养吸收和繁殖,从而达到消灭互花米草的目的^[13]。

国内应用较多且有效的物理法是人工拔除、刈割和淹水。

刈割:割除互花米草地上活体部分,阻断氧气向下传

输。《上海市互花米草治理技术手册（第一版）》中提到刈割需在扬花期之前进行，5~10月是刈割的适宜时间，刈割后留茬高度 $\leq 10\text{cm}$ ，山东黄河口留茬高度达到2~3cm。

淹水：从治理区域外部水源引进陆上的淡水或海水，并由堰坝中的系统储存，因此阻断了植物的根系、叶片之间的氧气和养分传输。淹水深度10cm~20cm，淹水时间应3个月以上。

滦南南堡嘴东省级湿地公园，在2020年物理防治互花米草后，2022年互花米草“死灰复燃”，公园采取人工拔除的方式，将互花米草成功拔除了1300余株；同年8月份，公园内再次零散生长了近70株互花米草。综上所述，物理法短时间内可取得明显的控制效果，对环境的负面影响较小，适用于在互花米草入侵早期或大型防治机械难以进入生长区域；但一般需要多次操作才会治理彻底，耗时耗力且成本较高；同时，还要充分考虑潮汐特点、互花米草物候期、控制技术的频度和强度等因素^[2]。

3.2 化学法

化学法是指采用合适的除草剂来进行防除，现已证明效果较好的除草剂有米草净、米草星、草甘膦、草铵膦、咪唑烟酸等^[2]。如上海采用陶氏益农盖草能（主要成分10.8%高效氟吡甲禾灵乳油）药剂借助无人机施药，试验崇明北沿滩涂互花米草的防治效果。

关于化学法方向的研究，有的学者认为，互花米草化学治理后，潮汐可能将残留的药剂带入大海，会短期改变当地底栖动物的多样性及组成结构，农药也会在白蛤、青蛤、等底栖动物的体内微量残留，此外化学治理会影响互花米草附近海域水质和沉积物质量。

其他学者则认为自然更替可以修复对底栖生物的影响。

本文认为，化学方法治理方便且费用相对较小，但是受风和潮汐限制，同时，互花米草化学治理对底栖动物、海域水质的影响相关研究，调查周期较短，且防治范围多为中小规模，其影响还需进行更全面、更长期的监测研究。

3.3 生物替代

生物替代法是以生态环境和植物群落的天然生长与演替规律为基础，选择具有更高竞争力的本土植物代替外来植物，以达到控制外来植物蔓延的目的。

目前研究最多的是采用当地种植，如芦苇（*Phragmites australis*）、海三棱藨草（*Scirpus mariqueter*）以及无瓣海桑（*Sonneratia apetala*）来代替互花米草。生物替代的问题主要是寻找合适的替代物种有一定难度，容易造成二次生态入侵。此外，植物生长周期较长，整个治理过程需要人为监测和管理。

3.4 综合防治

综合治理是将一种或几种物理、化学或生物替代相结合，对互花米草的扩散与繁殖进行有效的治理。目前已证明有效的综合防治方法包括刈割+翻耕+围淹、刈割+农药+翻耕+生物替代等。

综上所述，物理、化学、生物替代法各有优势和不足，综合防治是将各种方法的优势结合起来防治互花米草，防治效果较好，但是各地需要结合当地自然条件、互花米草生境等实际情况，因地制宜地制定合适的防控方案。

4 九省市互花米草治理的实践与成效

福建、山东、海南、辽宁等省已完成全域范围内的互花米草清除。由表1可知，互花米草在国内九省市主要分布在淤泥质岸滩，红树林地、沿海滩涂和内陆滩涂。各地区多采用物理法、生物替代和综合防治，如：华东地区（山东、江苏、浙江、福建、上海）治理互花米草多采用刈割+围淹或旋耕，海三棱藨草、红树林等本土植物生物替代；东北地区（辽宁）使用刈割+深挖（深埋）+围淹法；华南地区（广西、海南）采取刈割+遮荫或人工挖除。同时，福建、广西、天津等省市区开展了化学清除试验。

5 互花米草治理问题与建议

5.1 治理问题

5.1.1 难发现，难防治

互花米草通常生长在河口、海湾等沿海滩涂，入侵前期较难被发现，并且外观形态与大米草、芦苇等禾本科植物类似，难于区分。此外互花米草生长环境地质多为淤泥质岸滩，施工机械难以到达；防治工作多受潮汐影响，限制施工条件和作业时间。

5.1.2 周期长，费用高

自然保护区或国家公园的管理人员考虑到化学法对生态系统的不确定性，多选择物理法或综合防治。单一的物理法治理周期长效率低，且容易复发，需多轮治理；当前互花米草综合防治法被普遍应用，且控制效果较好，但是综合防治费用较化学法高。据学者统计2012年1月至2023年6月，我国开展的互花米草防治工程，投入总额达23.81亿元，其中每公顷治理成本平均值为44370元。综上，国内依然缺乏一套经济、高效、环保的互花米草治理模式。

5.1.3 治理主体单一、生态修复薄弱

目前，国内的互花米草防治项目主体是各级政府，涉及到的企业及个人较少。牵头部门多以林草部门为主，缺少如自然资源、海洋、农业等相关部门协同防治机制。此外，关于互花米草治理后的生态修复的相关研究较少。

5.2 治理建议

5.2.1 建立协同防治与监测预警长效机制

互花米草生长环境多样，牵头部门负责防治工作以外，建议相关部门协同合作，从而共同推进互花米草治理工作。另外，借助无人机或现场勘察，定期开展巡查、监测，特别是互花米草生长季（7~9月）；密切关注互花米草的生长发育和分布，发现有蔓延趋势的及时采取措施予以遏制，实行“月统计、季通报”调度机制。从而建立互花米草的风险预警机制，预防“死灰复燃”。

表 1 我国不同地区互花米草治理现状

省份	除治方法	成效	主要底质类型	主要地类	来源
福建省	刈割+深翻+红树林替代; 覆盖遮阴; 深翻法+人工拔除+化学试剂(抗米净药剂); 在除治后滩涂种植红树林、南方碱蓬、短叶茳苳改善滩涂湿地生态环境	截至 2023 年全面完成 9106hm ² 互花米草清除任务, 除治复萌植株 1720hm ² , 实施生态修复 1353hm ²	淤泥质岸滩砂质岸滩	沿海滩涂内陆滩涂红树林地	卢向阳 2023; 黄敏敏 2023; 洪荣标 2005; 福建省林业局 宣传办 2024
山东省	刈割+翻耕; 刈割+围淹	2022 年底, 全省已完成的互花米草治理面积 5 763hm ² , 2023 年已完成全域范围内的互花米草清除	淤泥质岸滩	沿海滩涂内陆滩涂	谭树亮 2023; 国家林业和草原局 2023
海南省	刈割+遮荫; 刈割+翻耕; 人工挖除	据报道 2023 年已完成全域范围内的互花米草清除	淤泥质岸滩	红树林地沿海滩涂	国家林业和草原局 2023; 程成 2023
广西壮族自治区	刈割+遮荫+陶氏益农盖草能等除草剂; 人工挖除	截至 2023 年已完成互花米草防治 273 hm ²	淤泥质岸滩砂质岸滩	红树林地沿海滩涂	沈鸿坤 2022; 王广军 2017; 中国新闻网 2024
上海市	围剿、刈割、水淹、暴晒; 种上海三棱蔗草、芦苇等本土植物, 调节水系盐度	互花米草生态治理区域, 灭除率大于 95%, 土著植物海三棱蔗草由面积不足 1 平方公里恢复到 700 多 hm ² , 生态修复区内外迁徙鸟类数量由 40,000 只增 180,000 只, 种类由 20 种增至 90 种	淤泥质岸滩	内陆滩涂沿海滩涂	汤臣栋 2016; 央视网 2024
江苏省	刈割+围淹; 刈割+旋耕; 刈割+深翻及人工挖除; 覆土+人工清除; 碾压+疏沟起垄; 碾压+覆膜; 刈割+防逃逸沟	截至 2023 年已除治互花米草 9787hm ²	淤泥质岸滩砂质岸滩	沿海滩涂	赵晖 2023; 国家林业和草原局 2023
浙江省	直接翻耕法; 刈割+覆膜; 绞吸; 喷洒植物生长调控剂; 种海三棱蔗草、芦苇、盐地碱蓬 3 种乡土植物	目前已完成除治互花米草 15133hm ²	淤泥质岸滩砂质岸滩 基岩岸滩	沿海滩涂	蒙宽宏 2023; 国家林业和草原局 2023; 俞永均 2022
天津市	刈割+翻耕; 滩涂互花米草除控制; 陶氏益农盖草能等除草剂	天津北部海域清除 100 余 hm ² 互花米草	淤泥质岸滩	沿海滩涂	韩建华 2018; 于彩芬 2021; 红星新闻 2023
辽宁省	刈割+深挖(深埋)+围淹	2023 年完成 12.9258hm ² 互花米草清除任务	淤泥质岸滩	沿海滩涂	辽宁省林业和草原局 2023

或者利用 5G 网络、地理信息系统、三维实景数字等技术, 建设实时监管平台, 如福建省宁德市霞浦县长春镇建设了“智慧长春·全域三维实景数字化综合治理平台”从而实现实时监管互花米草除治工作。

5.2.2 加大宣传力度注重全民参与

互花米草治理完成后, 可通过协议等形式, 明确除治主体, 并对其进行后续跟进, 并落实相应的管理职责; 也可鼓励采取以工代赈、劳务报酬等方式, 组织动员农村劳动力参与后期巡护等工作。从而丰富社会与个人参与, 增强治理力量。建议各地特别是沿海地区, 积极开展互花米草的识别、防治方面的科普宣传教育, 让工作人员与民众意识到互花米草的危害, 依靠群众, 及时发现, 及时报告, 在社会形成防治互花米草的合力。

5.2.3 加快互花米草治理技术与利用

建议设立专项科研项目, 开展科学研究, 研发专业机械设备, 从而提高治理效率, 缩短治理周期, 降低治理费用。结合上海崇明东滩、山东黄河三角洲等我国互花米草治理成功案例的治理模式, 凝练出可复制、可推广、成本

低、低污染的互花米草综合防治模式。

治理完成后, 按照《互花米草防治专项行动计划(2022—2025 年)》中“宜林则林, 宜滩则滩, 宜渔则渔”的原则, 对互花米草治理后的潮滩生态恢复模式进行科学界定。建议相关单位与科研高校加强互花米草治理后生态修复的相关研究。

最后建议利用互花米草茎秆坚硬直立, 高度可达 1.2~3.5m 等特点, 以互花米草为材料做成手工艺品等经济产品, 显示其经济价值, 从而吸引社会企业参与治理, 实现变害为宝。

[参考文献]

- [1]沈永明, 杨劲松, 曾华, 等. 我国对外来物种互花米草的研究进展与展望[J]. 海洋环境科学, 2008, 26(4): 391-396.
- [2]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.
- [3]王腾, 何彦龙, 赵丽侠, 等. 我国海岸带湿地互花米草治理现状与对策建议[J]. 湿地科学与管理, 2022, 18(6): 81-85.
- [4]李淑娟, 郑鑫, 隋玉正. 国内外生态修复效果评价研究进

展[J].生态学报,2021,41(10):4240-4249.

[5]冯建祥,黄茜,陈卉,等.互花米草入侵对盐沼和红树林滨海湿地底栖动物群落的影响[J].生态学杂志,2018,37(3):943-951.

[6]陈潘,张燕,朱晓静,等.互花米草入侵对鸟类的生态影响[J].生态学报,2019,39(7):2282-2290.

[7]李加林,杨晓平,童亿勤,等.互花米草入侵对潮滩生态系统服务功能的影响及其管理[J].海洋通报,2005,33(5):33-38.

[8]HUANG H M, ZHANG L Q. A study of the population dynamics of *Spartina alterniflora* at Jiuduansha shoals,

Shanghai, China[J]. Ecological Engineering, 2006, 29(2): 164-172[Z].

[9]王卿,安树青,马志军,等.入侵植物互花米草——生物学、生态学及管理[J].植物分类学报,2006,12(5):559-588.

[11]陈欣淙.大尺度纬度梯度下外来入侵植物互花米草的开花物候格局研究[D].厦门:厦门大学,2018.

作者简介:严雪洁(1996.10—)女,黑龙江人,汉族,林业助理工程师,就职于辽宁省林业发展服务中心湿地保护中心,从事湿地保护相关工作;赵文元(1969.4—),男,辽宁人,满族,林业高级工程师,就职于辽宁省林业发展服务中心湿地保护中心,长期从事湿地保护相关工作。