

基于专利计量的互花米草研究进展分析

赵纤纤^{1,2}, 徐浩³, 荆辉⁴, 谢宝华^{2,5}, 张晓龙⁴, 韩广轩^{2,5}, 张桂萍⁶

(1. 聊城大学地理与环境学院, 山东 聊城 252000; 2. 中国科学院烟台海岸带研究所 中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室 山东省海岸带环境过程重点实验室, 山东 烟台 264003; 3. 青岛市海洋管理保障中心, 山东 青岛 266071; 4. 烟台大学环境与材料工程学院, 山东 烟台 264005; 5. 中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态系统野外科学观测研究站, 山东 东营 257500; 6. 山东新汇建设集团有限公司, 山东 东营 257500)

摘要: 入侵物种互花米草(*Spartina alterniflora*)对沿海滩涂的生态系统造成了严重破坏,但同时它体内又蕴藏着耐盐基因、生物质能等宝贵财富。本研究梳理分析了国内外互花米草专利,以便为互花米草防控与管理提供技术支持。互花米草技术专利主要包括监测技术、防治技术和资源化利用技术等类型。1995—2022年国内互花米草专利的申请数量呈上升趋势,专利申请总量为360件,监测、防治与资源化利用技术专利在互花米草专利中的占比分别为4%、22%、74%。互花米草监测技术专利主要利用遥感技术监测互花米草;互花米草防治技术专利包括物理、化学、生物替代和综合防治技术等,其中综合防治技术的申请与授权数量均最高;互花米草的资源化利用技术虽然专利申请数量众多,但实际获得授权的比例并不高,这一现象反映出互花米草作为一种资源的潜在价值正逐步被认识和开发,但利用价值尚低。国外对互花米草关注很少,只查询到7件互花米草专利,申请国家有美国和韩国,主要是资源化利用技术,两国专利授权率分别为25.0%和33.3%。在未来互花米草的防控管理策略中,建议重点加大对互花米草利用技术的研究与开发力度,推动其技术成果向市场化转化,对初级技术进行深化改良,使之与国家政策、重点研发项目的目标相契合,以提升其应用价值和市场前景,将互花米草从“有害草”变为“有益草”。

关键词: 互花米草(*Spartina alterniflora*); 专利; 监测; 防治; 资源化利用

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2024)5-0000-00

DOI: //hykx20231104002

互花米草(*Spartina alterniflora*)隶属于禾本科(Poaceae)、米草属(*Spartina*)多年生草本盐沼植物,多见于潮间带和河口滩涂,起源于美洲大西洋海岸和墨西哥湾^[1]。由于互花米草秸秆密集粗壮、地下根茎发达,能够促进泥沙的快速沉降和淤积,所以为了达到保滩护岸、消浪护堤、净化水质、绿化海滩等目的^[2],南京大学于1979年从美国引进了互花米草^[3],在江苏试种成功后于1980年又引至福建罗源湾,1982年扩种到江苏、广东、浙江和山东等地^[4]。互花米草有很强的耐盐能力和繁殖能力,同时缺乏竞争和天敌,因此互花米草引入后快速适应并扩散^[5,6],其入侵降低了滩涂植物及底栖动物的多样性,破坏了沿海滩涂的环境^[7,8],导致生态系统结构和功能退化,严重威胁沿海地区的生态安全。2003年,互花米草作为唯一的盐沼植物被列入中国首批16种入侵物种名单。针对互花米草的入侵防治,技术需求是多元且复杂的,其核心在于综合管

理和控制互花米草的扩散,并探索其资源化利用的可能性。国家林业和草原局等部门于2022年12月5日联合发布的《互花米草防治专项行动计划(2022—2025年)》指出,近年来,中国积极开展互花米草防治,初步取得了一定成效,但防治过程中存在难度大、治理效果不显著以及防治体系尚待完善等问题,互花米草的扩

收稿日期: 2023-11-04; 修回日期: 2024-04-11

基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2021MC164); 国家林业和草原局应急揭榜挂帅项目(202302); 国家自然科学基金项目(U1906223) [Foundation: The Natural Science Foundation of Shandong Province, No.ZR2021MC164; National Forestry and Grassland Administration Emergency Leading the Charge with Open Competition Project, No.202302; The National Natural Science Foundation of China, No.U1906223]

作者简介: 赵纤纤(1998—),女,山东省滨州人,硕士研究生,主要从事湿地生态学研究,电话: 17861627612, E-mail: 1805713346@qq.com; 谢宝华(1978—),通信作者,电话: 0535-2109126, E-mail: bhxie@yic.ac.cn; 张晓龙(1969—),通信作者,电话: 0535-6706038, E-mail: Vx1173@sohu.com

散势头仍然强劲。因此迫切需要经济而有效的技术方案来实现对互花米草的动态监控、综合治理,并提高其资源化利用的价值层次,以此增强中国滨海湿地生态系统的整体质量和稳定性。

近 30 年来,国内许多科研院校和企业等机构对互花米草进行了大量研究,在互花米草监测、防治和资源化利用方面申请了许多技术专利。专利作为技术创新的体现,为互花米草的入侵防治提供了一系列综合性的技术支持。这些专利技术不仅能够帮助更精确地监测互花米草的分布,还能提升防治的效率和效果,同时促进互花米草的资源化转型。例如通过专利技术,开发出新型防治方法,设计出高效机械除草设备等^[9],推动了互花米草治理工作的进行。专利的潜在作用更为广泛,随着“双碳”目标的深入实施,专利可以推动更多的环保型技术和产品进入市场。例如,专利可以保护那些能够有效转化互花米草为生物能源或其他有用产品的技术^[10, 11],不仅解决了生态问题,还促进了可持续发展。此外,专利数据也可以作为技术发展和趋势分析的重要资源,帮助政策制定者、研究人员和企业了解当前的技术状况,预测未来的研发方向,从而更好地规划资源和策略。学界关于互花米草的研究论文较多,但关注互花米草专利的文献较少,有研究人员着重总结了互花米草专利在某一方面的研究进展,如互花米草专利技术研究进展及在保健食品中的应用^[12],但鲜有文献从互花米草的监测、防治和资源化利用等方面比较全面地关注互花米草专利技术的进展。专利技术可能比论文成果更具可行性,有望为互花米草防控与资源化利用提供更好的技术支撑。为全面深入了解互花米草专利技术的发展进程和未来趋势,本文总结分析了国内 1995—2022 年的互花米草专利及国外互花米草专利进展,以期为互花米草防控工作 and 未来研究提供参考。

1 数据来源与处理

1.1 数据来源

本研究统计的专利包括国内专利和国际专利,国内专利是在中国国家知识产权局(China National Intellectual Property Administration, PRC, 简称 CNIPA)专利检索及分析系统中进行检索,以“互花米草”为中文检索词进行检索,检索时间截至 2022 年 12 月 31 日。通过对专利的定量分析,总结了互花米草专利的申请人、申请时间和申请内容等方面的特征;

国外专利是在 Derwent Innovations Index 数据库中以“*spartina alterniflora*”或“*smooth cordgrass*”为关键词进行检索,总结了国外互花米草专利的申请国家、申请人和专利技术类型等特征,分析互花米草技术研究进展,了解互花米草最新研究动态。

1.2 数据处理

共搜集到 360 件国内专利,在 Microsoft Excel 2021、Origin 2022 软件中整理计算不同年份、不同申请人的专利申请、授权数量并计算授权率(本文中实审已经结束但还未授予专利权及尚在实审中的专利均未计入授权数量),并对 360 件互花米草专利按照监测、防治和资源化利用 3 个方面进行分类总结。国外对互花米草关注很少,只查询到 7 件互花米草专利,总结区分其国家、申请人与专利技术类型。

2 国内互花米草专利概况

2.1 互花米草专利申请量与授权量的年度分布

在互花米草被引入中国后不久,便有人员申请了互花米草相关专利,早期的专利申请聚焦于对互花米草的利用,最早的专利是 1995 年申请的“上下调济建设库、站、系快高长效方法”,但此件专利未获授权。天津经济技术开发区总公司园林绿化公司在 1999 年申请的“泥质海岸海挡生态引淤护坡技术”,属于首批获得授权的互花米草相关专利。在互花米草引入初期,人们对其持有正面评价,认为它有消浪护堤、促淤造陆等作用,并对生态环境产生积极影响,所以不管是最早申请的专利还是首批获得授权的专利均是对互花米草生态效益的利用。整体来看,1995 年以来,互花米草专利的申请数量处于增长状态,在 2016 年达到峰值,截至 2022 年年底,中国互花米草专利申请总量为 360 件。可将互花米草专利的申请历程分为起始期、发展期和稳定期^[13]3 个阶段(图 1)。

起始期,1995—2005 年。该阶段是互花米草专利申请的开始,技术和方法处于起始探索阶段,专利数量相对较少,仅有 7 件,其中 3 件获授权,该些年份专利申请数量较少的原因可能是互花米草引入时间较短,人们对互花米草的认识和关注度不够。

发展期,2006—2016 年。这个阶段,专利申请的数量开始上升,技术发展迅速,专利的内容及其应用范围也得到了广泛的扩展。该阶段共有 183 件专利申

请, 其中 63 件获授权。2006—2010 年专利申请总数量为 25 件, 授权率为 48.0%。2011—2015 年专利申请总数量为 78 件, 授权率为 43.6%。2016 年专利申请数

量达到年度峰值, 为 80 件, 授权率为 21.3%。以上数据说明随着时间的推移, 社会对互花米草问题关注度大大提升、技术研究深入推进。

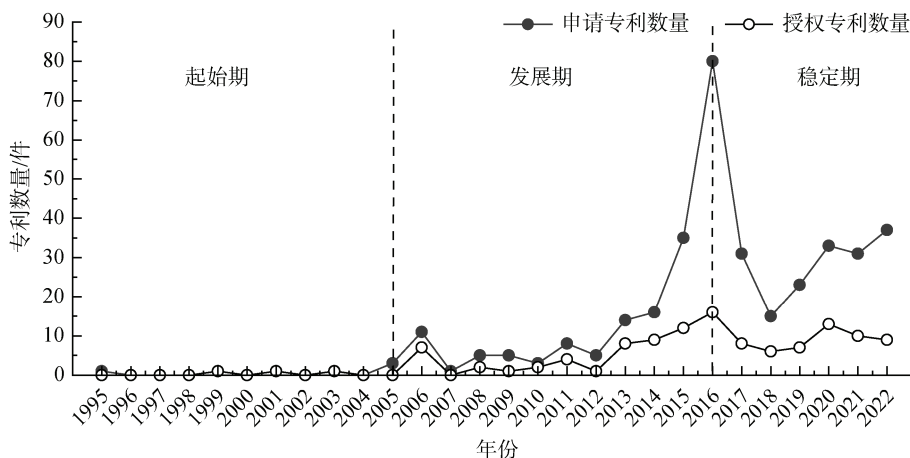


图 1 1995—2022 年互花米草专利的申请与授权情况

Fig. 1 Patent applications and licensing related to *S. alterniflora* from 1995 to 2022

稳定期, 2017—2022 年。这个阶段, 互花米草专利的申请数量增长放缓, 技术和市场趋于稳定和成熟。该阶段共有 170 件专利, 其中 53 件获授权, 授权率为 31.2%。该阶段的专利更侧重于现有技术的完善和应用的深化。

2.2 互花米草专利申请人情况

互花米草专利申请人有 4 种类型, 分别为高校及科研院所、企业、个人和其他事业单位(除高校及科研院所之外), 由于专业性或者资金技术的差异, 不同专利申请人有着不同的申请数量和授权率(图 2)。

高校及科研院所的互花米草专利申请数量为 188 件, 授权专利数量为 82 件, 授权率为 43.6%。其中, 南京大学、福建农林大学、同济大学、上海大学、中国环境科学研究院及盐城工学院等机构成为主要的申请主体。企业方面, 专利申请数量为 139 件, 授权专利数量为 34 件, 授权率为 24.5%, 主要申请人有徐州顺平生物科技有限公司、苏州市湘园特种精细化工有限公司、上海园林(集团)有限公司等。个人的专利申请数量为 45 件, 授权专利数量为 7 件, 授权率为 15.6%, 主要申请人有尚乐、孙欣、雷学军等。此外, 其他事业单位(除高校及科研院校之外)如山东黄河三角洲国家级自然保护区管理局、江苏盐城国家级珍禽自然保护区管理处等, 也参与了专利申请, 共提交了 12 件专利申请并获得了 3 件专利授权, 授权率为 25.0%。科研院校不论是在科研人员数量还是科研实力上均有很大优势, 所以专利授权率较高, 而企业的科研能力较科研院校低, 所以授权率低, 但企业自主研发专利一般基于企业自身的需求, 因此研发出的专利在后期实际应用到产品上时, 技术转换产品的契合度可能更高。

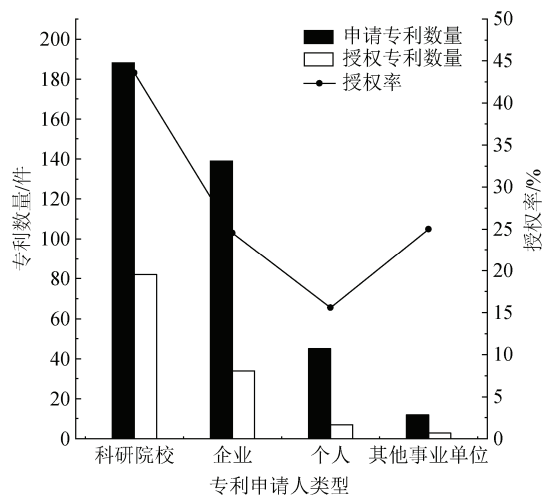


图 2 互花米草专利申请人的申请与授权情况

Fig. 2 Application and licensing of *S. alterniflora* patent applicants

3 国内互花米草专利分类

按技术领域可以把互花米草专利分为 3 类: 互花米草监测技术专利、防治技术专利和资源化利用技术专利。互花米草监测技术专利申请数量较少, 仅有 15 件, 授权率为 46.7%, 互花米草防治技术专利有 78 件,

授权率为 53.8%，互花米草资源化利用技术专利申请数量最多，共有 267 件，但授权率仅有 26.2% (图 3)。

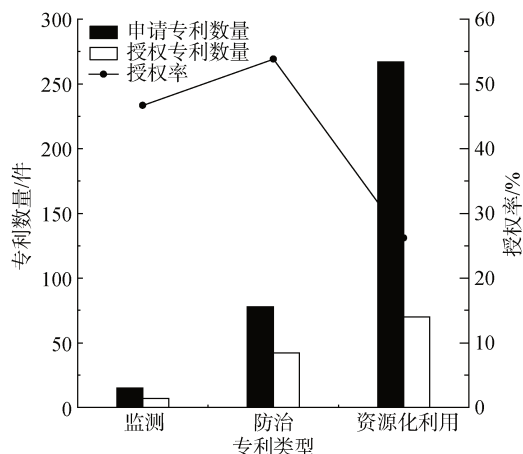


图 3 互花米草监测、防治和资源化利用技术专利的申请与授权情况

Fig. 3 Patent applications and licensing for *S. alterniflora* monitoring, controlling, and resource utilization technologies

3.1 互花米草监测技术专利

互花米草的扩张形式有 3 种模式，分别为边缘

扩张、外部隔离扩张和潮沟引领式扩张^[14]。边缘扩张是从互花米草原生斑块的边缘区域向外扩张；外部隔离扩张的特征是互花米草种子首先定居形成小斑块，每个斑块不邻接，之后小斑块以“摊大饼”的方式不断扩张，逐渐形成大斑块，最后大斑块相互连接成带状继续扩张；潮沟引领式扩张是互花米草沿潮沟发育的路线呈树枝状扩张。对互花米草扩张规律的监测和预测对互花米草防控工作具有重要的指导作用，目前互花米草监测技术专利的申请数量较少，仅有 15 件，主要为发明专利(表 1)。

互花米草监测技术的发明专利主要集中于遥感监测。运用遥感技术可掌握互花米草的历史和当前分布，预测未来潜在分布，在一定程度上克服了较难发现入侵初期互花米草的问题，对制定互花米草防控措施有重要帮助。5 件授权的遥感监测发明专利中，有 4 件是通过遥感资料直接判别互花米草的空间分布及动态变化，1 件是利用遥感进行滨海制图。2 件实用新型类互花米草监测技术专利均在较短的时间内获得授权，可较快地被运用于市场，为互花米草监测与治理工作提供技术支持。

表 1 互花米草监测技术专利的申请与授权情况

Tab. 1 Patent applications and licensing for *S. alterniflora* monitoring technology

监测技术专利	申请专利数量(件)	授权专利数量(件)	具体专利实例
监测技术发明专利	13	5	一种基于遥感大数据和云平台探测互花米草分布的方法 ^[15]
监测技术实用新型专利	2	2	一种新型互花米草扩散监测装置 ^[16]

3.2 互花米草防治技术专利

互花米草防治技术专利的申请数量为 78 件，是监测技术专利的 5.2 倍，授权率也在 50.0% 以上(图 3)，说明互花米草防治广受关注。互花米草防治技术专利大致可以分为两类，一是关于互花米草防治方法的专利，二是关于互花米草防治装置的专利。

3.2.1 互花米草防治方法的专利

互花米草防治方法可分为 4 类：物理防治法、化学防治法、生物替代法和综合防治法^[17]。共有 46 件互花米草防治方法的专利，已授权 17 件，其中物理防治技术专利 2 件授权，授权率为 50.0%；化学防治技术专利 3 件授权，授权率为 42.9%；生物替代防治技术专利 1 件授权，授权率为 20.0%；综合防治技术专利 11 件授权，授权率 36.7%(图 4)。

互花米草的物理防治法主要包括刈割、淹水、遮

荫、翻耕等方式^[17]。专利申请及授权情况如表 2 所示。

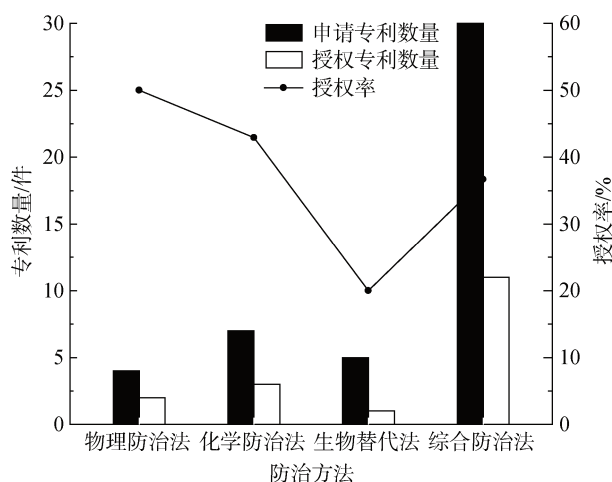


图 4 互花米草防治发明专利的分类及申请与授权情况

Fig. 4 Patent classifications, applications, and licensing for *S. alterniflora* controlling technology

表 2 互花米草物理防治技术专利申请授权情况

Tab. 2 Patent applications and licensing for *S. alterniflora* physical controlling technology

序号	专利名称	申请人	专利状态	文献
1	改善潮间带连片互花米草入侵区鸟类生态适宜度的方法	复旦大学	未授权(实质审查的生效)	[18]
2	一种掩埋治理互花米草的方法	中国科学院烟台海岸带研究所, 中科海洋生态环境科技有限公司, 中国科学院海洋研究所	未授权(实质审查的生效)	[19]
3	一种通过构建生态潮沟修复滩涂生态的方法	南京大学	授权(发明专利权授予)	[20]
4	阻止潮间带成片互花米草向外克隆扩展的生态型隔离带	复旦大学	授权(实用新型专利权授予)	[21]

互花米草物理防治技术专利共有 4 件, 授权率为 50.0%, 主要防治技术包括刈割、掩埋和构建隔离带等。在合适的时机刈割对控制互花米草的具有显著效果, 在连片互花米草区域实施人工刈割和工程措施, 能够大幅提高连片互花米草入侵区对鸕鹚类水鸟栖息和觅食的生态适宜度^[18]; 对互花米草进行深度掩埋会阻断互花米草的光合作用和呼吸作用, 使其无法生存腐烂死亡^[19], 或通过构建生态潮沟调控

土壤的水盐过程控制植被, 打破互花米草的生态隔离, 解决碱蓬(*Suaeda glauca*)破碎化问题, 从而创造一种因地制宜的修护潮滩生态的方法^[20]; 或构建由防草布和中小型岩石设计的生态隔离带, 既有透水性能, 又有效阻隔了互花米草的向外繁殖扩张^[21]。

互花米草的化学防治法主要是通过直接喷洒除草剂、除控剂等对互花米草进行清除, 专利申请及授权情况如表 3 所示。

表 3 互花米草化学防治技术专利的申请与授权情况

Tab. 3 Patent applications and licensing for *S. alterniflora* chemical controlling technology

序号	专利名称	申请人	专利状态	文献
1	利用植物次生代谢产物抑制互花米草入侵的生态治理方法	上海大学	未授权(发明专利申请公布后的视为撤回)	[22]
2	一种滩涂盐地碱蓬群落中清理芦苇和互花米草的方法	盐城工学院	未授权(实质审查的生效)	[23]
3	一种抑制互花米草种子萌发和幼苗生长的天然除草剂组合物及其应用	上海大学	未授权(实质审查的生效)	[24]
4	一种防治外来植物互花米草的方法	广西红树林研究中心	未授权(发明专利申请公布后的驳回)	[25]
5	一种芦苇化感物质生产方法及其在控制互花米草中的应用	南京大学	授权(专利权的终止)	[26]
6	一种互花米草的抑制剂及其制备方法	厦门大学	授权(专利权的终止)	[27]
7	一种互花米草除控剂和治理互花米草的方法及应用	福建兴华农林高新技术研究所	授权(发明专利权授予)	[28]

互花米草化学防治技术专利共有 7 件, 授权率为 42.9%, 专利涉及的除控剂有: 由草甘膦、甲嘧磺隆和高效氟吡甲禾灵三元除草剂配制而成的药剂^[28]; 28% 高效氟吡甲禾灵微乳剂制成的除草剂和乙氧基改性

聚三硅氧烷或十二烷基苯磺酸钠水溶液制成的助剂相结合等^[23]。在化学防治专利中, 有几件生物制剂专利, 分别使用芦苇化感物质、胶孢镰孢菌(*Fusarium subglutinans*)的孢子液及植物次生代谢产物等天然产

物来抑制互花米草的生长,克服了除草剂破坏环境、难降解、危害其他生物的缺点^[22, 24, 26, 27],生物制剂是除草剂发展的一个新方向,但目前只有少数几种天然产物被证明能应用于互花米草的防治工作,并且未被推广。总体而言,化学防治法对于互花米草的抑制仅限于地上植株部分,并且对环境、生物的影响具有很大的不确定性,没有很大的创新空间,所以互花米草

化学防治技术专利也不多。由于互花米草远距离扩散主要是靠种子的传播,其治理难题也在于难以控制种子传播^[6],未来化学药剂的研发可考虑促使互花米草败育,高效抑制互花米草的有性繁殖^[29]。

互花米草防治的生物替代法是利用竞争能力强的本地物种来抑制外来入侵物种繁殖生长的方法,专利申请及授权情况如表 4 所示。

表 4 互花米草生物替代防治技术专利申请与授权情况

Tab. 4 Patent applications and licensing for *S. alterniflora* biological substitution controlling technology

序号	专利名称	申请人	专利状态	文献
1	一种生物替代控制外来种互花米草的方法	南京大学	未授权(发明专利申请公布后的视为撤回)	[30]
2	运用木榄对无瓣海桑纯林进行改造的方法	中国林业科学研究院热带林业研究所	未授权(发明专利申请公布后的视为撤回)	[31]
3	一种可以减少互花米草的荒滩养殖双齿围沙蚕的方法	钦州市钦州港明群水产养殖专业合作社	未授权(发明专利申请公布后的视为撤回)	[32]
4	可以减少互花米草的荒滩养殖双齿围沙蚕的方法	钦州市钦州港明群水产养殖专业合作社	未授权(发明专利申请公布后的视为撤回)	[33]
5	运用无瓣海桑控制互花米草入侵及恢复红树林生态的方法	中国林业科学研究院热带林业研究所	授权(专利权的终止)	[34]

互花米草生物替代防治技术专利共有 5 件,授权率为 20.0%,芦苇(*Phragmites australis*)、无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)是常用替代物种,红树林为后期修复植物。通过人工补种本地物种芦苇,会促进芦苇对互花米草的生物替代,从而控制互花米草的过度扩张^[30];无瓣海桑可与互花米草竞争资源,无瓣海桑快速的生长速率使其植株高度超过互花米草且郁闭,降低了互花米草的光照强度和光合效率,从而抑制互花米草的生长,使其逐渐消亡,之后种植红树植物来恢复滩涂红树林生态^[34],无瓣海桑作为首批引进中国的外来红树植物,其在海岸红树林恢复工程中扮演了重要角色。然而,关于其潜在的入侵性,学术界的看法并不一致。一些研究指出,无瓣海桑在特定生态环境中表现出了入侵性特征,例如在南沙湿地的研究中,发现该物种的引入对乡土红树植物的生长产生了抑制^[35];在福建漳州的研究中发现,无瓣海桑对当地的秋茄种群显示出了竞争优势^[36]。相对地,也有研究表明无瓣海桑的入侵性并不显著,如在三亚河的引种区域,本土红树植物的生存并未受到实质性影响,生存空间未受到明显挤占^[37];在

福建省,无瓣海桑被认为是适宜于裸滩和受到互花米草入侵区域造林的优选树种^[38]。所以若将无瓣海桑作为互花米草生物替代种需确保其扩散风险可控,并伴随着持续的监测与管理策略,以平衡其生态效益与潜在风险;通过放养大规模的沙蚕幼体、贝类,也可实现减少互花米草密集程度的目的^[32]。互花米草防治的生物替代法一般需要大量的人力物力种植植被和维护植被成活,替代植物长到足够高才有较好的替代效果,该过程所耗时间较长且成本较大花费较高。

互花米草的综合防治法是一种将物理防治法、化学防治法或生物替代法结合起来治理互花米草的方法,该方法很大程度上解决了单一治理方法效果较差的问题。综合防治技术专利申请及授权情况如表 5 所示。

互花米草综合防治技术专利共有 30 件,授权率为 36.7%。专利涉及的综合防治技术包括刈割+翻耕、刈割+遮荫、刈割+淹水、刈割+除草剂等。刈割+翻耕主要有两种不同的处理,一种是对刈割后的互花米草直接翻耕或经过简单暴晒后进行翻耕,另一种

表 5 互花米草综合防治技术专利的申请与授权情况

Tab. 5 Patent applications and licensing for integrated *S. alterniflora* controlling technology

措施	申请专利数量(件)	授权专利数量(件)	具体专利实例
刈割+翻耕	3	0	一种刈割加翻耕综合治理互花米草的方法 ^[39]
刈割+翻耕(+遮荫)+生物替代	7	3	滨海湿地互花米草生物-物理防控方法 ^[40]
刈割+遮荫	4	3	一种潮间带入侵性植物的控制方法 ^[41]
刈割+淹水	5	2	一种梯田式围淹加刈割综合治理互花米草的方法 ^[42]
刈割+除草剂	3	2	一种生态修复工程中入侵植物的灭除方法 ^[43]
刈割+生物替代	3	0	一种程序化生态位互花米草调控方法 ^[44]
刈割+淹水+生物替代	1	0	一种潮间带立体修复方法 ^[45]
淹水+翻耕+遮荫	2	0	一种淡水淹没治理互花米草的综合方法 ^[46]
遮荫+生物替代	1	1	一种互花米草生物-物理控制方法 ^[47]
淹水+生物替代	1	0	一种滩涂潮间带用盐地碱蓬群落置换互花米草群落的方法 ^[48]

是在杨花期至孕穗期进行刈割阻断互花米草的有性繁殖，在冬季进行翻耕，阻断互花米草的无性繁殖，效果明显。刈割+遮荫是对互花米草进行刈割后，用PVC板或黑色塑料袋或网状遮荫覆盖物遮荫，从而抑制互花米草的繁殖和生长，但此类方法仅适合面积较小的互花米草种群^[49]。刈割+淹水是在构筑的堤坝注水或利用潮水对刈割后的互花米草进行围淹，达到治理互花米草的目的，虽然正常互花米草植株耐淹能力很强，但淹水会使互花米草根茬窒息死亡^[42]。刈割+除草剂是对互花米草进行刈割处理后，采用酵素菌或配制防控剂或高效氟吡甲禾灵和柴油的混合物喷洒茎叶，导致互花米草根、茎、叶快速产生毒害，最终死亡^[43]。淹水+翻耕+遮荫方法目前使用较少，但也有成效^[46]。其余的综合防治方法均是在完成刈割、翻耕等前期处理后进行生物替代，可用于生物替代的物种有无瓣海桑、秋茄、芦苇、盐地碱蓬等，在对互花米草进行清除处理后再进行生物替代，有利于巩固互花米草治理效果和恢复本土生态体系。互花米草综合防治技术专利对于互花米草防治工作提供了技术支持，如集美大学与厦门大学合作申请的专利“滨海湿地互花米草生物-物理防控方法”采用了“刈割+翻耕(+遮荫)+生物替代”技术，以该技术为导向在泉州湾洛阳江河口湿地自然保护区建立了“滨海湿地乡土植物防控互花米草技术研究示范基

地”；中国科学院烟台海岸带研究所与山东黄河三角洲国家级自然保护区管理局合作申请的专利“一种梯田式围淹加刈割综合治理互花米草的方法”采用了“刈割+淹水”技术，该技术广泛应用于山东黄河三角洲国家级自然保护区互花米草治理实验项目。总体而言，综合防治法比其他单一的方法更有效，从专利申请数量上来看，综合防治技术也一直是研究的热点，应该在未来推广使用。

3.2.2 互花米草防治装置的专利

关于互花米草防治装置的专利以实用新型专利为主，发明专利申请数量共10件，其中已授权3件(表6)。互花米草防治装置的实用新型专利分类如表7所示。

互花米草防治装置的实用新型专利共有22件，授权率为100%，专利涉及的装置主要有刈割装置、翻耕装置、遮荫装置和其他装置(表7)。刈割装置被设计用来进行互花米草的割除同时辅助粉碎、碾压等过程，从而实现对互花米草的有效清除，另外还有刈割装置通过借助水力、风力等动力能源增加刈割效果^[9]，刈割是进行互花米草综合防治中尤为重要的前期处理过程，所以关于刈割装置的专利申请数量较多；翻耕装置通过翻耕并对互花米草进行碎根处理从而达到清除互花米草的目的^[53]；遮荫装置克服了塑料薄膜等遮荫材料易被吹走或冲走的不足，具有成本低、易操作和坚固耐用的优点^[54]。

表 6 授权的互花米草防治装置的发明专利

Tab. 6 Patent licensing for *S. alterniflora* controlling devices

序号	专利名称	申请人	专利状态	文献
1	用于治理围堰外互花米草的刀具及其安装使用方法	上海园林(集团)有限公司	授权(发明专利权授予)	[50]
2	一种用于治理滩涂互花米草的履带式刈割机及其治理方法	上海园林(集团)有限公司	授权(发明专利权授予)	[51]
3	一种互花米草抗米净化学防控设备及防控技术	北京绿冠生态科技股份有限公司	授权(发明专利权授予)	[52]

表 7 互花米草防治装置的实用新型专利

Tab. 7 Utility model patents for *S. alterniflora* controlling devices

装置分类	申请专利数量	授权专利数量	具体专利实例
刈割装置	12	12	一种用于治理滩涂互花米草的履带式无人刈割机 ^[9]
翻耕装置	4	4	一种互花米草治理用翻耕碎根装置 ^[53]
遮荫装置	3	3	一种生态治理互花米草的装置 ^[54]
其他装置	3	3	一种手持型互花米草拔除辅助工具 ^[55]

3.3 互花米草资源化利用技术专利

中国对互花米草的资源化利用有多种形式,包括饲料化、肥料化、基料化、原料化、燃料化、药用化和其他利用方式^[56, 57]。互花米草资源化利用专

利共 267 件,其中 70 件被授权,授权率为 26.2%,各类资源化利用方式的专利申请数量及授权数量如图 5 所示。互花米草资源化利用技术专利按内容分类及申请授权情况如表 8 所示。

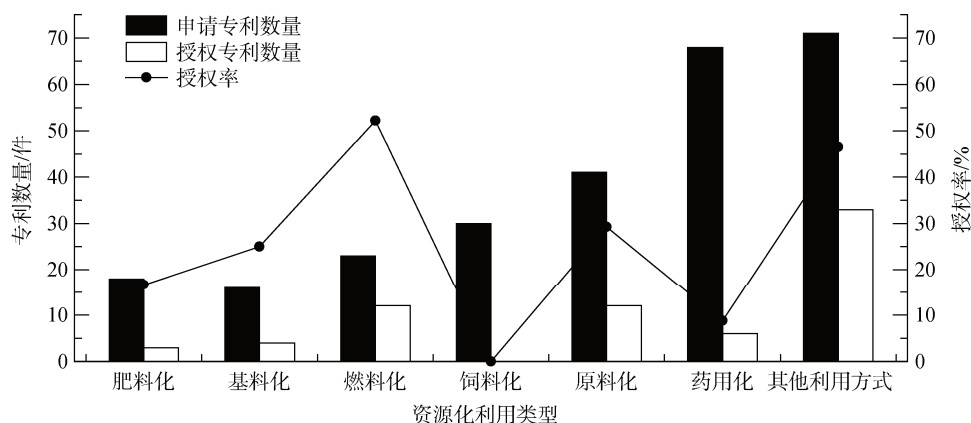


图 5 互花米草资源化利用技术专利的分类及申请与授权情况

Fig.5 Patent classifications, applications, and licensing for *S. alterniflora* resource utilization technology

表 8 互花米草的资源化利用技术专利

Tab. 8 Patents for *S. alterniflora* resource utilization technology

利用形式	主要利用方向	申请专利数量	授权专利数量	具体专利实例
饲料化	饲料	30	0	一种用互花米草制备的肉鹅复合颗粒饲料 ^[58]
肥料化	肥料/土壤改良	18	3	速生植物种植与植物堆肥替代化肥的装置和方法 ^[59]
基料化	培养基原料	16	4	利用互花米草制备林木容器育苗栽培基质的方法 ^[60]
原料化	生物炭/活性炭	11	3	可治理含镉废水的互花米草活性炭的制备方法 ^[11]
	纸浆	4	2	互花米草的厌氧发酵—苏打萘醌蒸煮制造纸浆的方法 ^[61]

利用形式	主要利用方向	申请专利数量	授权专利数量	具体专利实例
原料化	木质保护剂	3	2	一种生物型木质保护剂及其制备方法 ^[62]
	纤维板	2	0	利用互花米草生产的中密度纤维板及其制备方法 ^[63]
	其他	21	5	环保陶瓷材料及其制备方法 ^[64]
燃料化	沼气	17	7	一种以互花米草为原料发酵制备沼气的方法 ^[10]
	生物油	2	2	一种利用能源草沼渣制备生物油的方法 ^[65]
	其他	4	3	速生植物种植与综合利用替代化石能源的装置和方法 ^[66]
药用化	药物	33	2	米草降脂胶囊及其生产工艺 ^[67]
	保健品	16	1	一种互花米草露酒及其用 ^[68] 途
	生物药剂	9	2	防治鸡球虫病的海滨锦葵中药复合组合物及其应用 ^[69]
	化妆品	6	0	一种基于互花米草提取物的美白爽肤水 ^[70]
	食品	1	0	一种菌草嫩叶及嫩芯饮料 ^[71]
	其他	3	1	互花米草提取物在制备降血尿酸功能产品中的用途 ^[72]
其他利用方式	基因利用	14	5	一种互花米草耐盐蛋白 HKT 及其编码基因和应用 ^[73]
	生态效益	21	11	利用自然能量在海滩促淤固砂的方法 ^[74]
	水质净化	10	7	互花米草与微生物联合修复含油废水的方法 ^[75]
	污染治理	9	5	一种基于互花米草治理河道污染的生态方法 ^[76]
	捕碳固碳	5	1	通过速生草本植物的种植、收割和填埋实现固碳的方法 ^[77]
	科研价值	12	4	一种基于植物生理学指标评估微塑料污染水平的方法 ^[78]

饲料化利用技术指利用互花米草秸秆制备饲料(包括饲料添加剂、饲料着色剂等),通常是对秸秆进行直接加工或者在进行真空厌氧发酵后喂牛、羊等反刍动物,也可把经过处理后得到互花米草草粉做饲料或饲料添加剂,或提取互花米草生物矿质液做饲料着色剂,提高食品安全,促进养殖业的健康发展^[79],或将互花米草提取物做饲料添加剂,如互花米草提取物与其他组分的协同效应使河蟹的成活率、增重率有了显著提升^[80]。互花米草饲料化利用专利共 30 件专利,均未获授权,可能是因为这些专利与利用其他植物秸秆制备饲料的方法相似,不具备创新性且采用互花米草作为饲料的生产原料,其物质转化效率相对较低,未能实现高效率的转化目标^[81]。

肥料化利用技术主要是利用互花米草秸秆制作肥料或通过秸秆堆肥还田来改善土壤质量,也可把互花米草粉末与牛羊粪混合后再添加微生物菌剂进行好氧堆肥制备土壤改良剂或微生物有机肥^[82, 83],或互花米草秸秆与牛粪、大麦、菜籽、生石灰、过磷酸钙和尿素等搅拌发酵之后用于蘑菇的种植,或利用互花米草提取液加微生物发酵液(加草木灰)来制备微生物有机肥料,又或作为土壤污染的功能性

肥料中重金属富集剂的原料之一。由于互花米草含盐量高,肥料化后还田可能会引起土壤盐分聚集,另外互花米草秸秆同农业秸秆相比,对农业的增产效果并无很大差异,互花米草肥料化利用专利共 18 件,授权率只有 16.7%。

基料化利用技术主要是利用互花米草做栽培基质,如利用互花米草作为栽培灵芝、毛木耳培养基的原料,或通过干燥、粉碎、发酵灭菌等过程制备林木容器育苗栽培基质,或通过粉碎、发酵、曝气、煮沸、冷却、调节 pH 等步骤制备木腐食药菌栽培基质,或与麦麸、玉米粉、活性炭堆制发酵培养耐盐食用菌菌株—黄平菇(*Pleurotus citrinopileatus*)的培养基质,又或作为石斛(*Dendrobium*)、人工种植石斛、铁皮石斛(*Dendrobium officinale*)、霍山石斛(*Dendrobium huoshanense*)种植基质中某层基质改性生物炭的原料。互花米草基料化利用专利共 16 件,授权率为 25.0%。

原料化利用技术主要是利用互花米草秸秆制备工业原料。将互花米草进行粉碎、炭化、活化、洗涤、烘干等处理来制作活性炭或生物炭^[11],或将互花米草的秸秆经过切碎、蒸煮、固液分离、粉碎、纤维干燥的方法生产非木质纤维板,或将互花米草预处理后厌氧发酵、残渣洗涤脱水后制造纸浆^[84],或将

秸秆、松叶和互花米草以及复合有机溶媒加热, 滤液进行蒸馏、静置, 得到的液体产物, 通过 pH 调节剂使液体 pH 在 7 左右, 从而得到木质保护剂; 另外互花米草的原料化利用的专利还包括许多工业产品的生产, 如制备器皿、环保陶瓷材料、离合器、铜基复合材料、耐腐蚀耐磨金属表面镀层、蚊香、防护漆、聚氨酯硬泡等。互花米草原料化利用专利共 41 件, 授权率为 29.3%。

燃料化利用技术是对植物生物质能的转化与应用, 主要把互花米草秸秆用于制备沼气、生物油等燃料。例如, 对互花米草进行预处理后, 通过调整碳氮比或与禽畜粪便混合厌氧发酵后, 提取发酵液发酵产生沼气, 对沼渣混合物可进一步处理制备生物炭, 或者在互花米草预处理后, 进行微波高温热解处理, 使得混合油气分离, 从而得到生物油、可燃气和焦炭^[85]等, 实现了互花米草的高效、多向化利用。互花米草燃料化利用专利共 23 件, 授权率为 52.2%。互花米草地上部分的热值与水稻秸秆、玉米秸秆等传统农作物相当, 加之互花米草的高生产性和显著的热能特性^[57], 为其作为生物质能源的潜在利用奠定了坚实的基础。当前, 我国对生物质能源的开发与利用给予了高度重视。自 2020 年 9 月“碳达峰、碳中和”目标融入国家经济社会发展和生态文明建设的全局规划以来, 作为“零碳排放”能源的生物质能源, 凭借其原料资源的广泛性和较高的能量密度, 迎来了前所未有的发展契机。2021 年 10 月, 国家发展改革委等九部门联合发布了《“十四五”可再生能源发展规划》, 紧接着在 2022 年 1 月, 国家发展改革委与国家能源局又发布了《“十四五”现代能源体系规划》, 其中明确提出要稳步推动生物质能的多元化开发。这些发展战略主要涵盖了生物质能源在发电(包括沼气发电及热电联产等)、供热、燃料制备(天然气、生物气、生物肥等多联产示范)等方面的应用。因此, 互花米草作为生物质能源的燃料化转化, 不仅契合了中国现行的政策导向和发展蓝图, 而且在专利领域, 关于互花米草的高效、多元化利用技术的研发也促成了相关燃料化技术专利的高授权率。

药用化利用技术主要是对互花米草提取物中黄酮类化合物的利用, 相关专利主要集中在制备药物、保健品、生物药剂、化妆品、食品等方面。互花米草中含有黄酮类物质, 具有降脂、增强免疫力、降尿酸、降血糖等效用^[86], 互花米草提取物或生物矿质液可用于制备治疗溃疡、花斑癣、股癣、甲沟炎、皮

炎、阴道炎、痤疮、湿疹、扁平疣等病症的药物^[87], 专利中以互花米草提取物也可用于制备保健品和化妆品^[70, 88]。互花米草药用化利用专利共 68 件, 授权率为 8.8%。

除了前述几类利用方式, 研究人员还尝试了针对互花米草耐盐基因等特征的利用技术研发, 互花米草其他资源化利用技术专利主要集中在基因利用、生态效益、水质净化、污染治理、捕碳固碳、科研价值等方面。互花米草与水稻、玉米、高粱、小麦等杂交育种后, 可选出耐盐高产的种子^[89], 生态效益利用技术主要是利发挥互花米草消浪引淤、抬高滩面、防护海堤的功能^[90]; 互花米草可作为人工湿地处理系统中净化水质的植物; 或者用于河道中有机污染和重金属污染的过滤清除^[91, 92]。互花米草其他资源化利用专利共 71 件, 授权率是 46.5%。

在崇明东滩的研究发现, 互花米草资源化利用工程系统能值产出率(EYR)和可持续发展指数(ESI)较高, 分别为 28.134、0.182, 具有较好的可持续性^[93]。“长三角典型河口湿地生态恢复与产业化技术”等国家重点研发计划项目在治理互花米草的同时, 研发其作为生物炭、护坡及水质净化材料等多功能综合利用的技术^[94], 不仅为高生物量的互花米草找到了新的出路, 形成“控制-利用”并重的互花米草生态管控新模式, 还生产出饲料、肥料等商品, 契合了国家重点研发项目的目标, 也为生态恢复和资源化利用树立了新的典范。因此为了充分挖掘互花米草的高值潜力, 需要加大对其高值化应用技术的研发力度, 通过科技创新提升转化效率和产品的附加价值。构建一个涵盖收割、加工及产品销售的完善产业链, 以提升整个链条的运营效率和产出价值。同时, 应当积极倡导跨企业合作, 将互花米草的应用与能源、医药、化工等其他行业的发展相融合, 开拓多元化的利用途径, 推动产业的综合进步与可持续发展。

4 国外互花米草专利分析

由于国外对互花米草关注很少, 只查询到 7 件互花米草专利, 以对互花米草的资源化利用技术为主(表 9)。国外互花米草专利主要申请国家是美国和韩国, 申请人有科研院所、个人、企业和产学研合作团。美国专利技术集中在对互花米草的资源化利用, 如利用互花米草重建波浪抑制系统来减弱波浪能量, 从而解决海岸线侵蚀的问题, 或利用某些单子叶科植物(已发现互花米草组织可生产再生组织)进行全

能性组织培养,或利用互花米草中的酶降解卤化有机物,从而治理和修复卤化有机物污染的土壤。韩国关于互花米草的专利也是以资源化利用为主,如利用互花米草提取物制作药物或化妆品,如抗氧化和

皮肤美白的化妆品;韩国企业也申请了互花米草化学防治技术的专利,把硫酸锌、硫酸钾、硫酸镁、柠檬酸、硼酸等混合形成清除剂,用于干扰互花米草的光合作用,使互花米草枯萎死亡。

表 9 国外互花米草专利

Tab. 9 Foreign *S. alterniflora* patents

序号	专利名称	国家	申请人	技术利用类型
1	波浪能减排系统	美国	个人	资源化利用--生态效益
2	波浪能减排系统	美国	个人	资源化利用--生态效益
3	选定单子叶植物属的持续全能培养	美国	科研院校	资源化利用--基因化
4	一种分解有毒有机污染物的方法	美国	科研院校	资源化利用--污染治理
5	以互花米草提取物为有效成分的缓解女性更年期综合征组合物	韩国	产学研合作团	资源化利用--药用化
6	以互花米草提取物为有效成分的抗氧化或改善皮肤美白组合物	韩国	产学研合作团	资源化利用--药用化
7	除草剂	韩国	企业	化学防治法

5 总结与展望

与国外相比,中国互花米草专利申请较多。中国互花米草专利涉及的技术有监测技术、防治技术和资源化利用技术,其对应的专利在互花米草专利中占比分别为 4%、22%、74%。

互花米草监测技术专利的授权率为 46.7%,该类技术主要是利用遥感监测来掌握互花米草各时期的分布情况,在一定程度上克服了互花米草在入侵初期较难被发现的问题,有助于互花米草防控管理。互花米草防治技术专利的授权率为 53.8%,涉及的技术有物理防治技术、化学防治技术、生物替代防治技术及综合防治技术,综合防治技术专利占以上 4 类治理技术专利总和的 65.2%,综合防治技术将物理、化学和生物替代技术相结合来进行互花米草的治理,治理效果高于单一的防治技术,一直是互花米草治理工作的研究热点,应在未来推广使用。资源化利用技术专利的授权率为 26.2%,涉及的技术有饲料化利用技术、肥料化利用技术、基料化利用技术、原料化利用技术、燃料化利用技术、药用化利用技术及其他资源化利用技术,其中燃料化利用技术专利契合了中国现行的政策导向和发展蓝图,实现了互花米草的高效、多元化利用,授权率最高,为 52.2%;药用化利用技术专利占资源化利用技术专利的 25.5%,但授权率只有 8.8%,说明互花米草药用化的研发及生产技术尚不完善,商品化价值低,未来需要解决的问题就是深化高值化生产,推进市场化,推动研

发-生产-进入市场三者同步进行。其他资源化利用技术专利占资源化利用技术专利的 26.6%,授权率为 46.5%。互花米草的资源化利用可能还处于研究和开发阶段,许多技术尚未成熟或者缺乏商业化的案例,因此在未来互花米草的防控管理策略中,建议重点加大对互花米草利用技术的研究与开发力度,推动其技术成果向市场化转化,对初级技术进行深化改良,使之与国家政策和重大研发项目目标相协调,提升其应用价值和市场前景

互花米草作为一种极强破坏力的入侵物种,在对其加强监测和防治的同时,深化高值化利用,以监测为前提、治理为重点、实现资源化利用为目标,挖掘互花米草的利用潜力,变废为宝,将互花米草从“有害草”变为“有益草”。

参考文献:

- [1] DONALD R S, DEBRA R A. Ecological and evolutionary misadventures of *Spartina*[J]. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2013, 44: 389-410.
- [2] 程彬彬, 刘长娥, 原源. 基于文献信息分析的互花米草危害与防控措施研究[J]. 上海农业学报, 2020, 36(3): 90-95.
CHENG Binbin, LIU Change, YUAN Yuan. Harm and control measures of *Spartina alterniflora* based on bibliometrics[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2020, 36(3): 90-95.
- [3] 徐国万, 卓荣宗, 曹豪, 等. 互花米草生物量年动态及其与滩涂生境的关系[J]. 植物生态学与地植物学

- 学报, 1989, 13 (3): 230-235.
- XU Guowan, ZHUO Rongzong, CAO Hao, et al. Annual dynamics of *Spartina alterniflora* biomass and its relationship with intertidal habitat[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 1989, 13(3): 230-235.
- [4] 郭云文, 陈莉丽, 卢百灵, 等. 我国对互花米草的研究进展[J]. 草业与畜牧, 2007, 9: 1-5+12.
- GUO Yunwen, CHEN Lili, LU Bailing, et al. Research advances of *Spartina alterniflora* in China[J]. Journal of Grassland and Forage Science, 2007, 9: 1-5+12.
- [5] 邓自发, 安树青, 智颖飙, 等. 外来种互花米草入侵模式与爆发机制[J]. 生态学报, 2006, 8: 2678-2686.
- DENG Zifa, AN Shuqing, ZHI Yingbiao, et al. Preliminary studies on invasive model and outbreak mechanism of exotic species, *Spartina alterniflora* Loisel[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 8: 2678-2686.
- [6] 张俪文, 赵亚杰, 王安东, 等. 黄河三角洲互花米草的遗传变异和扩散[J]. 湿地科学, 2018, 16 (1): 1-8.
- ZHANG Liwen, ZHAO Yajie, WANG Andong, et al. Genetic variation and diffusion of *Spartina alterniflora* in the Yellow River Delta[J]. Wetland Science, 2018, 16(1): 1-8.
- [7] 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.
- FENG Jianxiang, HUANG Qian, CHEN Hui, et al. Effects of *Spartina alterniflora* invasion on benthic faunal community in saltmarsh and mangrove wetland[J]. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(3): 943-951.
- [8] 王大卫, 沈文星, 汪浩. 互花米草入侵对东部沿海生境的影响[J]. 生物学杂志, 2020, 37 (6): 104-107.
- WANG Dawei, SHEN Wenxing, WANG Hao. Effect of intrusion of *Spartina alterniflora* along the ecosystem of eastern coast areas in China[J]. Journal of Biology, 2020, 37(6): 104-107.
- [9] 王丰毅, 施永祺, 裴茂青. 一种用于治理滩涂互花米草的履带式无人刈割机: CN213907554U[P]. 2021-08-10.
- WANG Fengyi, SHI Yongqi, PEI Maoqing. A tracked unmanned mower for managing *Spartina alterniflora* on tidal flats.: CN213907554U[P]. 2021-08-10.
- [10] 朱洪光, 陈小华, 王彪, 等. 一种以互花米草为原料发酵制备沼气的的方法: CN1923732A[P]. 2007-03-07.
- ZHU Hongguang, CHEN Xiaohua, WANG Biao, et al. A method for fermenting biogas from *Spartina alterniflora*: CN1923732A[P]. 2007-03-07.
- [11] 罗兴章, 聂耳, 李坤权, 等. 可治理含镉废水的互花米草活性炭的制备方法: CN101306813A[P]. 2008-11-19.
- LUO Xingzhang, NIE Er, LI Kunquan, et al. A method for preparing activated carbon from *Spartina alterniflora* for treating cadmium-containing wastewater: CN101306813A[P]. 2008-11-19.
- [12] 白盼. 互花米草专利技术研究进展及在保健食品中的应用[J]. 食品安全导刊, 2021, 302 (9): 143-144.
- BAI Pan. Research progress on the patent technology of *Spartina alterniflora* and its application in health food[J]. China Food Safety Magazine, 2021, 302(9): 143-144.
- [13] 梁嘉慧, 戴子熠, 左平, 等. 基于 VOSviewer 文献计量的互花米草研究进展分析[J]. 海洋开发与管理, 2022, 39 (10): 72-79.
- LIANG Jiahui, DAI Ziyi, ZUO Ping, et al. Research progress analysis of *Spartina alterniflora* based on VOSviewer bibliometric analysis[J]. Ocean Development and Management, 2022, 39(10): 72-79.
- [14] 王娟, 刘红玉, 李玉凤, 等. 入侵种互花米草空间扩张模式识别与景观变化模拟[J]. 生态学报, 2018, 38(15): 5413-5422.
- WANG Juan, LIU Hongyu, LI Yufeng, et al. Recognition of spatial expansion patterns of invasive *Spartina alterniflora* and simulation of the resulting landscape-changes[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(15): 5413-5422.
- [15] 毛德华, 仇志强, 王宗明, 等. 一种基于遥感大数据和云平台探测互花米草分布的方法: CN113408460A[P]. 2021-09-17.
- MAO Dehua, QIU Zhiqiang, WANG Zongming, et al. A method for detecting *Spartina alterniflora* distribution based on remote sensing big data and cloud platform: CN113408460A[P]. 2021-09-17.
- [16] 尚帅. 一种新型互花米草扩散监测装置: CN216695633U[P]. 2022-06-07.
- SHANG Shuai. A new type of *Spartina alterniflora* diffusion monitoring device: CN216695633U[P]. 2022-06-07.
- [17] 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.
- XIE Baohua, HAN Guanguang. Control of invasive *Spartina alterniflora*: A review[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(10): 3464-3476.
- [18] 王寿兵, 郑正, 蔡桢杰, 等. 改善潮间带连片互花米草入侵区鸟类生态适宜度的方法: CN114438953A[P]. 2022-05-06.
- WANG Shoubing, ZHENG Zheng, CAI Zhenjie, et al. Methods for improving the ecological suitability of bird habitats in intertidal areas invaded by continuous patches of *Spartina alterniflora*: CN114438953A[P]. 2022-05-06.
- [19] 谢宝华, 韩广轩, 孙威, 等. 一种掩埋治理互花米草的方法: CN115251029A[P]. 2022-11-01.
- XIE Baohua, HAN Guanguang, SUN Wei, et al. Method for burying and controlling *Spartina alterniflora*: CN115251029A[P]. 2022-11-01.

- [20] 刘茂松, 肖孟阳, 王博, 等. 一种通过构建生态潮沟修复滩涂生态的方法: CN112772037A[P]. 2021-05-11.
LIU Maosong, XIAO Mengyang, WANG Bo, et al. Method for restoring tidal flat ecology by constructing ecological tidal ditches: CN112772037A[P]. 2021-05-11.
- [21] 王寿兵, 蔡桢杰, 李果. 阻止潮间带成片互花米草向外克隆扩展的生态型隔离带: CN216043027U[P]. 2022-03-15.
WANG Shoubing, CAI Zhenjie, LI Guo. Ecological isolation zones for preventing the outward cloning expansion of intertidal *Spartina alterniflora* patches: CN216043027U[P]. 2022-03-15.
- [22] 何池全, 张琦, 齐西同, 等. 利用植物次生代谢产物抑制互花米草入侵的生态治理方法: CN105123669A[P]. 2015-12-09.
HE Chiquan, ZHANG Qi, QI Xitong, et al. Ecological control method of inhibiting *Spartina alterniflora* invasion using secondary metabolites of plants: CN105123669A[P]. 2015-12-09.
- [23] 李洪山, 黄星宇, 周钰, 等. 一种滩涂盐地碱蓬群落中清理芦苇和互花米草的方法: CN113748900A[P]. 2021-12-07.
LI Hongshan, HUANG Xingyu, ZHOU Yu, et al. A method for clearing *Phragmites australis* and *Spartina alterniflora* in a *Suaeda salsa* community on tidal flats: CN113748900A[P]. 2021-12-07.
- [24] 何池全, 刘翠, 赵珍珍, 等. 一种抑制互花米草种子萌发和幼苗生长的天然除草剂组合物及其应用: CN109984128A[P]. 2019-07-09.
HE Chiquan, LIU Cui, ZHAO Zhenzhen, et al. Natural herbicide composition for inhibiting *Spartina alterniflora* seed germination and seedling growth and its application: CN109984128A[P]. 2019-07-09.
- [25] 刘文爱, 范航清, 薛云红, 等. 一种防治外来植物互花米草的方法: CN110235706A[P]. 2019-09-17.
LIU Wenai, FAN Hangqing, XUE Yunhong, et al. Method for preventing and controlling *Spartina alterniflora*: CN110235706A[P]. 2019-09-17.
- [26] 赵福庚, 周军, 张茜, 等. 一种芦苇化感物质生产方法及其在控制互花米草中的应用: CN1101002575A[P]. 2008-10-22.
ZHAO Fugeng, ZHOU Jun, ZHANG Qian, et al. A method for producing allelochemicals of *Phragmites australis* and its application in controlling *Spartina alterniflora*: CN1101002575A[P]. 2008-10-22.
- [27] 王远鹏, 龚丽博, 董国文, 等. 一种互花米草的抑制剂及其制备方法: CN102511505A[P]. 2014-05-07.
WANG Yuanpeng, GONG Libo, DONG Guowen, et al. Inhibitor of *Spartina alterniflora* and preparation method thereof: CN102511505A[P]. 2014-05-07.
- [28] 许丽, 许建东, 谢正林, 等. 一种互花米草除剂剂和治理互花米草的方法及应用: CN113349217A[P]. 2021-09-07.
XU Li, XU Jiandong, XIE Zhenglin, et al. Removal and control agent for *Spartina alterniflora* and method for controlling *Spartina alterniflora*: CN113349217A[P]. 2021-09-07.
- [29] 许珠华. 福建治理互花米草试验研究[J]. 海洋环境科学, 2010, 29 (5): 767-769.
XU Zhuhua. Experimental study on treatment of *Spartina alterniflora* in Fujian[J]. Marine Environmental Science, 2010, 29(5): 767-769.
- [30] 钦佩, 王光, 刘长安, 等. 一种生物替代控制外来种互花米草的方法: CN1742545A[P]. 2006-03-08.
QIN Pei, WANG Guang, LIU Changan, et al. Biological substitute method for controlling *Spartina alterniflora*: CN1742545A[P]. 2006-03-08.
- [31] 廖宝文, 陈玉军, 李玫, 等. 运用木榄对无瓣海桑纯林进行改造的方法: CN102144520A[P]. 2011-08-10.
LIAO Baowei, CHEN Yujun, LI Mei, et al. A method for transforming monospecific mangrove forests of *Sonneratia apetala* using *Xylocarpus granatum*: CN102144520A[P]. 2011-08-10.
- [32] 谭绍明. 一种可以减少互花米草的荒滩养殖双齿围沙蚕的方法: CN108112514A[P]. 2018-06-05.
TAN Shaoming. A method for reducing *Spartina alterniflora* on barren beaches by breeding the sandworm *Perinereis aibuhitensis*: CN108112514A[P]. 2018-06-05.
- [33] 谭绍明. 可以减少互花米草的荒滩养殖双齿围沙蚕的方法: CN107950447A[P]. 2018-04-24.
TAN Shaoming. Method for reducing *Spartina alterniflora* on barren beaches by breeding the sandworm *Perinereis aibuhitensis*: CN107950447A[P]. 2018-04-24.
- [34] 廖宝文, 郑松发, 陈玉军, 等. 运用无瓣海桑控制互花米草入侵及恢复红树林生态的方法: CN101253855A[P]. 2011-11-09.
LIAO Baowen, ZHENG Songfa, CHEN Yujun, et al. Method of using *Sonneratia apetala* to control *Spartina alterniflora* invasion and restore mangrove forest ecology: CN101253855A[P]. 2011-11-09.
- [35] 彭宗波, 王冰鑫, 赵怀宝. 三亚河外来红树植物无瓣海桑种群动态与扩散特征[J]. 生态学杂志, 2021, 40 (1): 23-30.
PENG Zongbo, WANG Bingxin, ZHAO Huaibao. Population dynamics and spread characteristics of alien mangrove species *Sonneratia apetala* in Sanya River, China.[J]. Chinese Journal of Ecology, 2021, 40(1): 23-30.
- [36] 谭芳林, 卢昌义, 林捷, 等. 福建省外来红树植物引种及扩散状况调研报告[J]. 福建林业, 2018(4): 28-33.
TAN Fanglin, LU Changyi, LIN Jie, et al. Report on the introduction and spreading status of exotic mangrove species in Fujian Province[J]. Fujian Forestry, 2018(4):

- 28-33.
- [37] 陈国贵, 李元跃, 蔡丽钦, 等. 红树植物外来种无瓣海桑对乡土种秋茄形态特征与生物量的影响[J]. 海洋科学, 2017, 41(6): 26-33.
CHEN Guogui, LI Yuanyue, CAI Liqin, et al. Effects of the exotic mangrove species *Sonneratia apetala* on morphological traits and biomass of the native species *Kandelia obovata*[J]. Marine Sciences, 2017, 41(6): 26-33.
- [38] 邱霓, 徐颂军, 邱彭华, 等. 南沙湿地公园红树林物种多样性与空间分布格局[J]. 生态环境学报, 2017, 26(1): 27-35.
QIU Ni, XU Songjun, QIU Penghua, et al. Species diversity and spatial distribution pattern of mangrove in Nansha wetland park, Guangzhou, Guangdong Province, China[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2017, 26(1): 27-35.
- [39] 谢宝华, 韩广轩, 王安东, 等. 一种刈割加翻耕综合治理互花米草的方法: CN112514713A[P]. 2021-03-19.
XIE Baohua, HAN Guangxuan, WANG Andong, et al. A method for comprehensive control of *Spartina alterniflora* by mowing and ploughing: CN112514713A[P]. 2021-03-19.
- [40] 李元跃, 林光辉, 黎中宝, 等. 滨海湿地互花米草生物-物理防控方法: CN102217481A[P]. 2011-10-19.
LI Yuanyue, LIN Guanghui, LI Zhongbao, et al. A biological-physical control method for *Spartina alterniflora* in coastal wetlands: CN102217481A[P]. 2011-10-19.
- [41] 周毅, 岳世栋, 徐少春, 等. 一种潮间带入侵性植物的控制方法: CN111642334A[P]. 2020-09-11.
ZHOU Yi, YUE Shidong, XU Shaochun, et al. A control method for invasive plants in intertidal zones: CN111642334A[P]. 2020-09-11.
- [42] 谢宝华, 韩广轩, 吕卷章, 等. 一种梯田式围淹加刈割综合治理互花米草的方法: CN110268892A[P]. 2019-09-24.
XIE Baohua, HAN Guangxuan, LV Juanzhang, et al. A terraced enclosure plus mowing comprehensive control method for *Spartina alterniflora*: CN110268892A[P]. 2019-09-24.
- [43] 顾燕飞, 杜皓, 曹世伟, 等. 一种生态修复工程中入侵植物的灭除方法: CN106358850A[P]. 2017-02-01.
GU Yanfei, DU Hao, CAO Shiwei, et al. A method for eradicating invasive plants in ecological restoration projects: CN106358850A[P]. 2017-02-01.
- [44] 唐利, 卢伟华, 李轶伦, 等. 一种程序化生态位互花米草调控方法: CN112352634A[P]. 2021-02-12.
TANG Li, LU Weihua, LI Yilun, et al. A programmatic ecological niche control method for *Spartina alterniflora*: CN112352634A[P]. 2021-02-12.
- [45] 王安东, 赵亚杰, 王伟华, 等. 一种潮间带立体修复方法: CN112492913A[P]. 2021-03-16.
WANG Andong, ZHAO Yajie, WANG Weihua, et al. A three-dimensional restoration method for intertidal zones: CN112492913A[P]. 2021-03-16.
- [46] 陈浩, 成海, 陈亚芹, 等. 一种淡水淹没治理互花米草的综合方法: CN113712018A[P]. 2021-11-30.
CHEN Hao, CHENG Hai, CHEN Yaqin, et al. A comprehensive method for controlling *Spartina alterniflora* with freshwater flooding: CN113712018A[P]. 2021-11-30.
- [47] 沈浩, 李婷, 黄立新. 一种互花米草生物-物理控制方法: CN105230412A[P]. 2016-01-13.
SHEN Hao, LI Ting, HUANG Lixin. A biological-physical control method for *Spartina alterniflora*: CN105230412A[P]. 2016-01-13.
- [48] 李洪山, 张雨, 周飘飘, 等. 一种滩涂潮间带用盐地碱蓬群落置换互花米草群落的方法: CN113615504A[P]. 2021-11-09.
LI Hongshan, ZHANG Yu, ZHOU Piaopiao, et al. A method for replacing *Spartina alterniflora* communities with *Suaeda salsa* communities in tidal flat intertidal zones: CN113615504A[P]. 2021-11-09.
- [49] 邵银龙, 陈珊, 杨东, 等. 中国大陆互花米草分布特征及其主要防控措施[J]. 海洋开发与管理, 2023, 40(3): 97-105.
SHAO Yinlong, CHEN Shan, YANG Dong, et al. Distribution characteristics and main control measures of *Spartina alterniflora* in mainland China[J]. Ocean Development and Management, 2023, 40(3): 97-105.
- [50] 张勇伟, 李婷婷, 浦维兴, 等. 用于治理围堰外互花米草的刀具及其安装使用方法: CN106234342A[P]. 2016-12-21.
ZHANG Yongwei, LI Tingting, PU Weixing, et al. Tool for controlling *Spartina alterniflora* outside of dykes and method of installation and use thereof: CN106234342A[P]. 2016-12-21.
- [51] 陈伟良, 杨晓未, 浦维兴, 等. 一种用于治理滩涂互花米草的履带式刈割机及其治理方法: CN106304940A[P]. 2017-01-11.
CHEN Weiliang, YANG Xiaowei, PU Weixing, et al. Crawler-type mower for controlling *Spartina alterniflora* on tidal flats and control method thereof: CN106304940A[P]. 2017-01-11.
- [52] 董君, 董相伯. 一种互花米草抗米净化学防控设备及防控技术: CN113854274A[P]. 2021-12-31.
DONG Jun, DONG Xiangbo. *Spartina alterniflora*-resistant rice purification chemical control equipment and control technology: CN113854274A[P]. 2021-12-31.
- [53] 李飞飞, 赵彩云, 朱金方, 等. 一种互花米草治理用翻耕碎根装置: CN214429974U[P]. 2021-10-22.
LI Feifei, ZHAO Caiyun, ZHU Jinfang, et al. A

- ploughing and root-breaking device for *Spartina alterniflora* control: CN214429974U[P]. 2021-10-22.
- [54] 宋帅杰, 张律民, 钱如南, 等. 一种生态治理互花米草的装置: CN210432712U[P]. 2020-05-01.
SONG Shuaijie, ZHANG Lvmin, QIAN Runan, et al. A device for ecological control of *Spartina alterniflora*: CN210432712U[P]. 2020-05-01.
- [55] 王寿兵, 蔡桢杰, 李果. 一种手持型互花米草拔除辅助工具: CN216017613U[P]. 2022-03-15.
WANG Shoubing, CAI Zhenjie, LI Guo. A handheld auxiliary tool for *Spartina alterniflora* alterniflora removal: CN216017613U[P]. 2022-03-15.
- [56] 王红梅, 屠焰, 张乃锋, 等. 中国农作物秸秆资源量及其“五料化”利用现状[J]. 科技导报, 2017, 35 (21): 81-88.
WANG Hongmei, TU Yan, ZHANG Naifeng, et al. Crop straw resources and the current status of their utilization for the production of the “five materials” in China[J]. Science and Technology Review, 2017, 35(21): 81-88.
- [57] 谢宝华, 路峰, 韩广轩. 入侵植物互花米草的资源化利用研究进展[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27 (12): 1870-1879.
XIE Baohua, LU Feng, HAN Guangxuan. Control of invasive *Spartina alterniflora*: A review[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 27(12): 1870-1879.
- [58] 缪伏荣, 刘景. 一种用互花米草制备的肉鹅复合颗粒饲料: CN102823765A[P]. 2012-12-19.
MIAO Furong, LIU Jing. A compound granulated feed for geese prepared from *Spartina alterniflora*: CN102823765A[P]. 2012-12-19.
- [59] 雷学军. 速生植物种植与植物堆肥替代化肥的装置和方法: CN103435380A[P]. 2013-12-11.
LEI Xuejun. A device and method for planting fast-growing plants and substituting plant compost for chemical fertilizers: CN103435380A [P]. 2013-12-11.
- [60] 陈秋夏, 郑坚, 王金旺, 等. 利用互花米草制备林木容器育苗栽培基质的方法: CN102126881A[P]. 2011-07-20.
CHEN Qiuxia, ZHENG Jian, WANG Jinwang, et al. A method for preparing nursery cultivation substrates for forest containers using *Spartina alterniflora*: CN102126881A[P]. 2011-07-20.
- [61] 朱洪光, 陈小华, 王彪, 等. 互花米草的厌氧发酵—苏打蕙醞蒸煮制造纸浆的方法: CN1920168A[P]. 2007-02-28.
ZHU Hongguang, CHEN Xiaohua, WANG Biao, et al. A method for producing pulp by anaerobic fermentation of *Spartina alterniflora* followed by soda-anthraquinone cooking: CN1920168A[P]. 2007-02-28.
- [62] 孙欣. 一种生物型木质保护剂及其制备方法: CN105599080A[P]. 2016-05-25.
SUN Xin. A biological wood preservative and its preparation method: CN105599080A[P]. 2016-05-25.
- [63] 钦佩, 王光, 郭英燕. 利用互花米草生产的中密度纤维板及其制备方法: CN1864958A[P]. 2006-11-22.
QIN Pei, WANG Guang, GUO Yingyan. Medium density fiberboard produced from *Spartina alterniflora* and its preparation method: CN1864958A[P]. 2006-11-22.
- [64] 钱云春. 环保陶瓷材料及其制备方法: CN103755338A[P]. 2014-04-30.
QIAN Yunchun. Environmental protection ceramic material and its preparation method: CN103755338A[P]. 2014-04-30.
- [65] 刘斌, 肖正, 林满红, 等. 一种利用能源草沼渣制备生物油的方法: CN106811227A[P]. 2017-06-09.
LIU Bin, XIAO Zheng, LIN Manhong, et al. A method for preparing bio-oil using energy grass digestate: CN106811227A[P]. 2017-06-09.
- [66] 雷学军, 雷训. 速生植物种植与综合利用替代化石能源的装置和方法: CN103396857A[P]. 2013-11-20.
LEI Xuejun, LEI Xun. A device and method for planting and comprehensive utilization of fast-growing plants to substitute fossil energy: CN103396857A[P]. 2013-11-20.
- [67] 钦佩, 刘金娥, 周虹霞, 等. 米草降脂胶囊及其生产工艺: CN1430993A[P]. 2003-07-23.
QIN Pei, LIU Jine, ZHOU Hongxia, et al. *Spartina alterniflora* lipid-lowering capsules and their production process: CN1430993A[P]. 2003-07-23.
- [68] 钦佩, 吕正光, 陈琳. 一种互花米草露酒及其用途: CN107699443A[P]. 2018-02-16.
QIN Pei, LV Zhengguang, CHEN Lin. A *Spartina alterniflora* dew wine and its use: CN107699443A[P]. 2018-02-16.
- [69] 付胜勇, 卜柱, 汤青萍, 等. 防治鸡球虫病的海滨锦葵中药复合组合物及其应用: CN110141590A[P]. 2019-08-20.
FU Shengyong, BU Zhu, TANG Qingping, et al. A traditional Chinese medicine compound composition from *Malvastrum coromandelianum* for preventing and treating coccidiosis in chickens and its application: CN110141590A[P]. 2019-08-20.
- [70] 王明. 一种基于互花米草提取物的美白爽肤水: CN105963185A[P]. 2016-09-28.
WANG Ming. A whitening toner based on *Spartina alterniflora* extract: CN105963185A[P]. 2016-09-28.
- [71] 刘斌, 刘晓艳, 罗虹建, 等. 一种菌草嫩叶及嫩芯饮料: CN104621664A[P]. 2015-05-20.
LIU Bin, LIU Xiaoyan, LUO Hongjian, et al. A beverage of tender leaves and cores of mycelium grass: CN104621664A[P]. 2015-05-20.
- [72] 钦佩, 张鹤云. 互花米草提取物在制备降尿酸功能产品中的用途: CN107551167A[P]. 2018-01-09.

- QIN Pei, ZHANG Heyun. The use of *Spartina alterniflora* extract in the preparation of functional products for reducing blood uric acid: CN107551167A[P]. 2018-01-09.
- [73] 郭善利, 尹海波, 张侠, 等. 一种互花米草耐盐蛋白 HKT 及其编码基因和应用: CN105566466A[P]. 2016-05-11.
- GUO Shanli, YIN Haibo, ZHANG Xia, et al. A salt-tolerant protein HKT from *Spartina alterniflora*, its encoding gene, and applications: CN105566466A[P]. 2016-05-11.
- [74] 陶松垒, 陶钧炳, 徐士龙, 等. 利用自然能量在海滩促淤固砂的方法: CN105970875A[P]. 2016-09-28.
- TAO Songlei, TAO Junbing, XU Shilong, et al. A method for promoting siltation and sand consolidation on beaches using natural energy: CN105970875A[P]. 2016-09-28.
- [75] 刘宪斌, 褚帆, 李孟沙, 等. 互花米草与微生物联合修复含油废水的方法: CN105779336A[P]. 2016-07-20.
- LIU Xianbin, CHU Fan, LI Mengsha, et al. A method for the combined remediation of oil-containing wastewater by *Spartina alterniflora* and microorganisms: CN105779336A[P]. 2016-07-20.
- [76] 纪丽丽, 宋文东, 郭健, 等. 一种基于互花米草治理河道污染的生态方法: CN110451653A[P]. 2019-11-15.
- Ji Lili, SONG Wendong, GUO Jian, et al. An ecological method for controlling river pollution based on *Spartina alterniflora*: CN110451653A[P]. 2019-11-15.
- [77] 雷学军. 通过速生草本植物的种植、收割和填埋实现固碳的方法: CN103155776A[P]. 2013-06-19.
- LEI Xuejun. A method for carbon sequestration through the planting, harvesting, and landfilling of fast-growing herbaceous plants: CN103155776A[P]. 2013-06-19.
- [78] 贾慧, 刘浩淼, 吴一凡, 等. 一种基于植物生理学指标评估微塑料污染水平的方法: CN113419052A[P]. 2021-09-21.
- JIA Hui, LIU Haomiao, WU Yifan, et al. A method for assessing the level of microplastic pollution based on plant physiological indicators: CN113419052A[P]. 2021-09-21.
- [79] 钦佩, 赵万里, 赵福庚, 等. 一种纯天然饲用米草复合营养着色剂生产方法及其应用: CN101019606A[P]. 2007-08-22.
- QIN Pei, ZHAO Wanli, ZHAO Fugeng, et al. The invention relates to a production method and application of pure natural feeding *Spartina alterniflora* complex nutritional colorant: CN101019606A[P]. 2007-08-22.
- [80] 孙建国, 叶元土, 蔡春芳, 等. 一种高免疫力河蟹膨化生物饲料: CN104605144A[P]. 2015-05-13.
- SUN Jianguo, YE Yuantu, CAI Chunfang et al. A kind of extruded biological feed for river crab with high-immunity: CN104605144A[P]. 2015-05-13.
- [81] 覃佐东, 喻镇东, 金磊磊, 等. 简析互花米草(*Spartina alterniflora*)的研发态势与综合利用[J]. 科技通报, 2014, 30 (9): 74-79.
- QIN Zuodong, YU Zhendong, JIN Leilei, et al. *Spartina alterniflora* research situation and utilization[J]. Bulletin of Science and Technology, 2014, 30(9): 74-79.
- [82] 陈金海, 张艳楠, 胡煜, 等. 一种利用互花米草和牛羊粪混合堆肥制备土壤改良剂的方法及其反应装置: CN102219578A[P]. 2011-10-19.
- CHEN Jinhai, ZHANG Yannan, HU Yu, et al. The invention relates to a method for preparing a soil amendment by composting *Spartina alterniflora* mixed with cow and goat manure and a reaction device thereof: CN102219578A[P]. 2011-10-19.
- [83] 孙欣, 李泽宇. 微生物有机肥料: CN116899443A[P]. 2017-04-26.
- SUN Xin, LI Zeyu. Microbial organic fertilizer: CN116899443A[P]. 2017-04-26.
- [84] 刘斌, 谢超, 肖正, 等. 一种利用能源草制备发酵草汁和纸浆的方法: CN106947788A[P]. 2017-07-14.
- LIU Bin, XIE Chao, XIAO Zheng, et al. The invention relates to a method for preparing fermented grass juice and paper pulp by using energy grass: CN106947788A[P]. 2017-07-14.
- [85] 徐姗楠, 王爽, 刘永. 一种海藻与水生外来入侵植物协同微波热解多联产利用的方法: CN104263390A[P]. 2016-06-29.
- XU Shannan, WANG Shuang, LIU Yong. The invention relates to a collaborative microwave pyrolysis poly-generation utilization method of seaweed and aquatic alien invasive plants: CN104263390A[P]. 2016-06-29.
- [86] 钦佩. 互花米草与人体健康关系研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2019, 38 (5): 70-73.
- [87] QIN Pei. Research Progress on the relationship between *Spartina alterniflora* and human health[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2019, 38(5): 70-73.
- [88] 尚乐. 一种治疗儿童口腔溃瘍的药物: CN104645121A[P]. 2015-05-27.
- SHANG Le. A drug used to treat mouth ulcers in children: CN104645121A[P]. 2015-05-27.
- [89] 鲍荣荣. 玛卡抗疲劳保健营养粉: CN106579369A[P]. 2017-04-26.
- BAO Rongrong. Maca anti-fatigue health nutrition powder: CN106579369A[P]. 2017-04-26.
- [90] 陈启康, 戴晖. 海涂互花米草、玉米、水稻三元属间远缘杂交育种方法: CN101647387A[P]. 2010-02-17.
- CHEN Qikang, DAI Hui. Breeding method of ternary cross breeding among *Spartina alterniflora*, maize and rice: CN101647387A[P]. 2010-02-17.
- [91] 唐军, 羿宏林, 沈永明, 等. 一种组合式植被消浪生

- 态防波堤: CN217839887U[P]. 2022-11-18.
- TANG Jun, YI Honglin, SHEN Yongming, et al. The utility model relates to a combined type vegetation wave absorbing ecological breakwater: CN217839887U[P]. 2022-11-18.
- [92] JAVED N, SARDAR K, MOHAMMAD T S, et al. Heavy metal bioaccumulation in native plants in chromite impacted sites: A search for effective remediating plant species[J]. CLEAN – Soil, Air, Water, 2016, 44 (1): 37-46.
- [93] 陈权, 马克明. 互花米草入侵对红树林湿地沉积物重金属累积的效应与潜在机制[J]. 植物生态学报, 2017, 41(4): 409-417.
- CHEN Quan, MA Keming. Effects of *Spartina alterniflora* invasion on enrichment of sedimental heavy metals in a mangrove wetland and the underlying mechanisms[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2017, 41(4): 409-417.
- [94] 辛悦, 邹彩瑜, 王磊, 等. 崇明东滩互花米草资源化利用生态工程系统生态经济评价[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37 (11): 1394-1403.
- XIN Yue, ZOU Caiyu, WANG Lei, et al. The evaluation of an ecological engineering system for the utilization of *Spartina alterniflora* in Chongming Dongtan[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2021, 37(11): 1394-1403.
- [95] 张华兵, 高卓, 王娟, 等. 基于“格局-过程-质量”的盐城滨海湿地生境变化分析[J]. 生态学报, 2020, 40 (14): 4749-4759.
- ZHANG Huabing, GAO Zhuo, WANG Juan, et al. Habitat change analysis based on the coupling relationship of pattern-process-quality in Yancheng coastal wetlands[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(14): 4749-4759.

Research Progress Analysis of *Spartina alterniflora* Based on Patentometrics

ZHAO Qianqian^{1, 2}, XU Hao³, JING Hui⁴, XIE Baohua^{2, 5}, ZHANG Xiaolong⁴,
HAN Guangxuan^{2, 5}, ZHANG Guiping⁶

(1. School of Geography and Environment, Liaocheng University, Liaocheng 252000, China; 2. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes and Ecological Remediation, CAS, Shandong provincial Key Laboratory of Coastal Environmental Processes, Yantai 264003, China; 3. Qingdao Marine Management Support Center, Qingdao 266071, China; 4. School of Environment and Materials Engineering, Yantai University, Yantai 264005, China; 5. Yellow River Delta Ecology Research Station of Coastal Wetland, Chinese Academy of Sciences, Dongying 257500, China; 6. Shandong Xinhui Construction Group Limited Company, Dongying 257500, China)

Received: Nov, 4, 2023

Key words: *Spartina alterniflora*; patent; monitoring; controlling; resource utilization

Abstract: The invasive species *Spartina alterniflora* has caused severe damage to the ecosystems of coastal beaches, but it also contains salt tolerance genes, biomass energy, and other potentially valuable organic wealth. To provide technical support for the prevention, control, and management of *S. alterniflora*, this study analyzes domestic and international *S. alterniflora* patents. Associated *S. alterniflora* patents primarily include monitoring, controlling, and resource utilization technology. Domestic *S. alterniflora* patent applications exhibited an increasing trend from 1995 to 2022, with a total of 360 patent applications. The proportion of *S. alterniflora* monitoring, controlling, and resource utilization technology patents was 4%, 22%, and 74%, respectively. Monitoring technology predominantly uses remote sensing approaches to monitor *S. alterniflora*. Controlling technology patents for *S. alterniflora* include physical, chemical, biological alternatives, and integrated control technologies. Integrated control technologies had the highest number of patent applications and authorizations. Although many patent applications were submitted for *S. alterniflora* resource utilization technology, the actual proportion of granted patents is relatively low. This phenomenon indicates that the potential value of *S. alterniflora* as a resource is being increasingly recognized and developed, but its utilization value remains low. Limited attention has been paid to *S. alterniflora* abroad, with only seven patents found that were predominantly for resource utilization technology, including the United States and South Korea, with patent authorization rates of 25.0% and 33.3%, respectively. The study recommends that future strategies for the control and management of *S. alterniflora* should focus on research and development of utilization technologies, promote the commercialization of technological achievements, deepen the improvement of primary technologies to align with national policies and key research and development project goals, enhance its application value and market prospects and transform *S. alterniflora* from a “harmful” grass to a “beneficial” grass.

(本文编辑: 谭雪静)