

米草生物入侵现状及防治技术研究进展*

THE STATUS OF *Spartina* spp. INVASIONS IN THE WORLD AND THE ADVANCES CONTROLLING OVER THEM王蔚¹ 张凯² 汝少国^{1**}¹中国海洋大学海洋生命学院 青岛 266003)²山东省环境保护局 济南 250012)

中图分类号 Q948.13 文献标识码 A 文章编号 1000-3096(2003)07-0038-05

20世纪初,许多国家先后引种了米草,用以保滩护岸,促淤造陆,但随着米草的蔓延,已严重威胁着世界各地的海滨环境,米草的积极作用也日渐被负面影响所取代,成了全球性的“害草”,美国、荷兰等许多国家都已投入大量的经费进行米草入侵的防治研究,采取各种措施防治米草的进一步蔓延。我国引入米草40年来,米草分布面积已达到世界首位,在福建、广东等许多地区已发展成严重的生态灾难。本文综述了米草生物入侵现状和防治手段,并针对我国特点提出了一些可能的防治对策。

表1 米草属主要物种的特征^[1]

物种	染色体数目	入侵性	生境	物种	染色体数目	入侵性	生境
<i>Spartina alterniflora</i>	62	+	潮间带	<i>S. foliosa</i>	60	-	潮间带
<i>S. maritima</i>	60	+	潮间带	<i>S. pectinata</i>	42, 70, 84	+/-	盐沼, 陆地
<i>S. townsendii</i>	62	+	潮间带	<i>S. cynosuroides</i>	28, 42	-	盐沼
<i>S. anglica</i>	120, 122, 124	+	潮间带	<i>S. bakeri</i>	42	-	盐沼, 淡水湖
<i>S. patens</i>	28, 35, 42	+	潮间带上部	<i>S. gracilis</i>	42	-	碱湖, 河滩
<i>S. densiflora</i>	60	+	潮间带上部	<i>S. spartinae</i>	28	-	海滨, 陆地

Spartina townsendii, 种子不育, 仅能靠根状茎进行缓慢的无性繁殖。其染色体加倍后的四倍体即为大米草 *S. anglica*, 能产生有活力的种子, 从此在英国广为传播^[2], 并由人类活动蔓延到世界各地。大米草植株粗壮矮小, 株高 27~40 cm, 而互花米草较为高大, 其南方高秆生态型株高为 121~300 cm。大米草和互花米草均具有发达的地下茎和根系, 可依靠根状茎进行无性繁殖, 也可通过种子进行有性繁殖, 繁殖力极强。米草叶片密布盐腺和气孔, 耐盐耐淹, 耐淤埋, 耐风浪, 非常适宜在沿海滩涂生长, 种群密度大, 生产力高, 常在沿海滩涂形成大面积的种优势群落^[1]。由于米草具有以上特点, 所以一度被作为保滩护岸、促淤造陆

1 米草属的起源和生物学特性

米草属 (*Spartina*) 隶属于禾本科, 起源于北美大西洋沿岸及墨西哥海湾^[1]。Mobberley^[1] 鉴定了 14 种大米草, 其中 11 种原产美国, 7 种具有入侵性(表 1), 在全球蔓延最严重的是英国大米草 *Spartina anglica* 和美国互花米草 *Spartina alterniflora*。英国大米草是 1870 年左右在英国南部的汉普郡发展起来的多倍体杂交种, 母本是偶然传入的美国互花米草, 父本是当地的欧洲米草 *Spartina maritima* Curtis, 杂交的第一代为

的先锋植物在全球广为宣传、引种、扩展蔓延。

2 国内外米草的入侵现状

外来物种入侵时, 一般要经历存活、适应、扩散、衰退等过程, 最终建立新的生态平衡。大米草在引种

* 山东省优秀中青年科学家奖励基金项目。

** 通讯联系人; Email: rusg@public.qd.sd.cn

第一作者: 王蔚, 出生于 1971 年, 博士, 讲师。研究方向: 植物生态学。

收稿日期: 2003-05-14; 修回日期: 2003-05-16

开始的 20~30 a 内, 扩展相当缓慢, 沿英国南海岸向西仅扩展了 56 km, 大约 50 a 后向东才扩展了 48 km。经过缓慢的潜伏期后, 迅速蔓延扩散进入指数生长期, 经历繁殖高峰后, 逐渐衰退^[3]。潜伏期的长短受新环境的气候、土壤条件、当地物种等多种因素的影响, 人为引种栽培则大大加速了米草的蔓延。1923~1936 年, 超过 175 000 个的大米草植株段, 从英国普尔港运送到全世界 130 多个地区, 从而使大米草在世界各地迅速蔓延^[3]。目前大米草广布于英国、美国、法国、德国、丹麦、中国、荷兰、新西兰、爱尔兰和澳大利亚等许多国家。荷兰自 1923 年引种大米草, 到 1967 年发展为 4 000~5 800 hm²^[4], 目前已占据绝大部分沿海河口, 造成了严重的危害。法国的大米草分布面积在 1967 年为 4 000~8 000 hm²^[4]; 英国的大米草在 1967 年为 12 100 hm²^[4], 到 1991 年占据河口盐沼资源总面积(44 370 hm²)的 95.2%^[5]。澳大利亚自 1930 年引种大米草, 目前的总分布面积为 880 hm²^[6]。美国的米草主要分布于华盛顿州、俄勒冈州和加利福尼亚州的太平洋沿岸。其中华盛顿州自 1961 年向 Puget Sound 地区引种了不育的 *S. townsendii*, 但后来发现是可育的 *S. anglica*, 引入后扩展十分迅速, 目前在该地区面积已达 3 311 hm²^[7]。

互花米草原产于美国东海岸, 后被引种到英国、法国、新西兰和中国^[7,8]。1894 年, 美国向西部的华盛顿州 Willapa 海湾引种了互花米草, 1997 年分布面积达 4 000~10 000 hm²^[9]。由于华盛顿州的米草入侵现状最为严重, 从 1993 年起, 当地政府每年投入超过 50 万美元, 用于“害草的综合治理(Integrated pest management, IPM)”计划^[9]。

我国已引进 3 种米草。1963 年引种了英国大米草, 1979 年引种了美国互花米草的南方高秆生态型, 近年又引种了美国狐米草(*S. patens*)^[8]。1963 年大米草引种到我国时, 只有 21 株成活苗, 但经过几十年的推广种植和自然传播, 在我国北起辽宁锦西县、南到广东电白共 80 多个县(市)的沿海海滩上均有生长。到 1981 年底我国大米草共有 3.6 万 hm², 分布面积跃居世界首位^[8], 而且目前还在以惊人的速度扩散, 福建省自 1981 年在罗源湾引种大米草 667 m², 至今已发展到 1 万 hm²^[10]。江苏省 1982 年试种互花米草, 已经扩展至 12 500 hm²^[11]。据估计, 目前全国沿海滩地的米草面积已达 10 万~13 万 hm²^[12]。

3 米草的用途和危害

米草在沿海地区的生长具有双重效应, 即正面效应和负面效应。表 2 列举了目前米草群落的主要用

途和危害, 以对米草群落的利弊进行综合评价。

4 国内外常用的大米草防治技术

4.1 物理或机械防除

物理和机械防除是采用人工方法或特殊机械装置, 对米草进行拔除、挖掘、遮盖、水淹、火烧、割除、碾埋等, 从而遏制米草的生长, 限制其呼吸或光合作用, 最终杀死植株。

拔和挖: 将幼苗彻底拔除。米草通常在第一个生长季晚期开始分蘖, 一旦植株分蘖, 拔除就很容易折断根, 造成残留根的再次发芽。所以在米草入侵初期时有效, 对大面积的成熟米草群落则非常困难^[18]。

遮盖: 用黑色塑料布、厚草席等覆盖米草群丛, 通过抑制米草光合作用而使米草死亡, 比较适合于小块米草丛。有研究表明遮盖 1~2 个生长季后, 米草丛死亡^[18]。

割除: 能遏制生长, 限制种子产生, 最终杀死植株, 但需要反复割除才能奏效, 在某些地区甚至需要连续割除 3~4 a^[18]。采取特殊的割草机械可以提高效率, 减轻人力负担。但由于米草的生境泥烂, 生物量大, 对割除的机械装置也有特殊的要求。美国鱼类和野生生物部(U. S. Fish and Wildlife Service, USFWS)在 1998 年设计定制了一台特殊的水陆两用的割草机, 用于 Willapa 海湾地区的大米草的割除^[18]。

碾埋: 在英国使用轻型履带车将大米草草皮翻出并埋在土层下, 通过抑制米草的光合作用和呼吸作用而使米草死亡。碾压处理区大米草密度在 3 年内均显著低于对照区, 并对底栖动物群无明显影响^[5]。

火烧: 火烧可以降低生物量, 有效地预防种子发生, 但不能彻底杀死植株根茎。适宜时间为秋末冬初, 每个生长季可烧一次, 丙烷和适量干草可用做助燃剂^[19]。

筑堤: 筑堤并在堤内对米草进行水淹处理, 可以限制米草根茎的横向蔓延, 也能隔绝潮流, 抑制营养吸收和氧气交换, 最终导致米草的死亡^[19]。

4.2 除草剂防除

除草剂防除适用于中到大面积米草群丛(大于 1 hm²)。Rodeo™(草甘磷)是美国惟一允许使用的除草剂, 施用后被植物迅速吸收, 并随同化产物传导至整个植株, 因其阻断了芳香族氨基酸的生物合成, 对植物细胞分裂、叶绿素合成、蒸腾、呼吸以及蛋白质等代谢过程产生影响而导致植株死亡, 对杀死米草有较好的作用。但报道中 Rodeo™对米草的杀除力差别很大, 范围在 0~100% 之间^[20,21], 这可能是由于使用的表面活性剂不同所致, 米草叶片具有大量盐份, 可能会

表 2 米草群落的主要用途和危害

影响面	用途	危害
理化环境	① 促淤造陆 ^[13,14] 。	① 改变沉积层分布、水文和地理特点,影响水体循环 ^[15] 。
	② 消浪护堤,保护滩涂 ^[13] 。	② 沉积物阻塞航道,影响船只出港 ^[14] 。
	③ 改善土壤条件,使土壤脱盐,提高土壤肥力 ^[8] 。	③ 高大的米草群落使中小潮沟变窄,影响渔船通行,容易使渔民迷路,危及生命安全 ^[12] 。
生态环境	① 绿化荒滩,提高荒滩植被盖度 ^[8] 。	① 米草形成大面积、高密度的单优群落,与本土植物竞争生长空间,威胁本地生物多样性 ^[16] 。
	② 提高沿海地区的初级生产力 ^[8] 。	② 破坏近海生物栖息环境,使许多鸟类丧失觅食环境和栖息场所 ^[6,15] 。
	③ 富集重金属、有机污染物等,净化环境 ^[8] 。	③ 改变潮间带生态结构,影响本地动物区系 ^[16] 。
经济效益	④ 代替土石工程用于防浪护堤,节约大量资金 ^[14] 。	④ 腐烂残体四处漂流,造成其他生物窒息死亡 ^[3,17] 。
	⑤ 鲜嫩米草可制造绿肥,改良培肥土壤 ^[14,17] 。	① 侵占大量良好的滩涂养殖用地,造成水产养殖业的巨大经济损失 ^[17] 。
	⑥ 加工米草粉,用作牲畜饲料及鱼虾饵料,也可做生产食用菌的基质 ^[14,17] 。	② 与浅海养殖的紫菜、海带等争夺营养,米草残体的漂流和腐烂也影响藻类的生长、收获及产品质量 ^[17] 。
	⑦ 造纸,但易返潮,不能生产高质量的纸品 ^[17] 。	③ 清除米草造成的航道淤积,花费高昂 ^[15] 。
	⑧ 老化茎秆晒干后可做燃料,但燃性较差 ^[17] 。	
	⑨ 米草笋可供食用,米草提取物可做食品添加剂 ^[17] 。	
	⑩ 药用。米草总黄酮(TFS)和米草提取液对心血管疾病具防治和保健作用,多糖具有保健作用 ^[14] 。	

阻碍草甘磷的吸收,而表面活性剂 R-11, X-77, LI-700 等有助于提高米草对 Rodeo™ 的吸收^[21]。近年来,美国还尝试使用 Arsenal(一种 amazyper) 来代替 Rodeo,作用方式与草甘磷相似,但是比 Rodeo 更加高效,用量仅为 Rodeo 的 5%~10% 左右^[22]。

荷兰主要采用除草剂 Gallant 控制米草的蔓延,其化学名称为 haloxyfop-ethoxyethyl^[23]。在 Northland 地区采用 1.5% Gallant 在一个生长季内喷施两次,取得了 95% 的处理效果^[23]。

我国自 1997 年起也进行了大米草除草剂的研究,最新研制出的大米草除草剂 BC-08 能在 21 d 内杀死大米草的地上部分,60 d 时地下茎全部腐烂,且对花蛤、黄鱼苗和三线矶鲈等水生生物安全无害^[10]。

4.3 生物防治

生物防治的基本原理是依据有害生物——天敌的生态平衡理论。大米草和互花米草在原产地的天敌有昆虫、螨虫、线虫等多种生物^[24]。其中一种昆虫——光蝉 (*Prokelisia marginata*) 被认为是最具潜力的

米草生物防治天敌因子,光蝉可在米草叶片中产卵,破坏叶片维管系统的结构,其幼虫和成体还吸食米草叶韧皮部中的汁液,消耗其能量^[24]。而且最大的优点是寄主范围很小,仅为米草属的三种植物:互花米草,大米草和 *S. foliosa*,尤其对离开原产地的互花米草和大米草具有很强的杀伤力,而对其他属的植物无明显影响。温室内的实验表明,高密度光蝉可以导致 90% 以上的米草植株死亡^[24]。目前,光蝉已被引入美国 Willapa 海湾,用于互花米草的生物防治和野外实验。

麦角菌 (*Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.) 能感染大米草花部,在种子内形成菌核,从而显著降低种子的产生^[15],故也有可能用于米草生物防治。但其寄主范围不如光蝉狭窄,除了米草属植物外,也能感染莎草科、灯芯草科和禾本科的其他植物。因此,麦角菌能否做为控制米草的生物防治因子,还需进一步研究。

4.4 生物替代

生物替代技术是根据植物群落演替的自身规律,利用有经济或生态价值的本地植物取代外来入侵

植物的一种生态学防治技术。国外有利用本地物种 *Spartina pectinata* 代替外来入侵植物 *Phalaris arundinacea* 的研究^[25]。但在米草的生物替代方面的相关报道却很少。中国科学院热带雨林研究所曾经于 1999 年在珠海淇澳岛引种无瓣海桑进行替代大米草的实验,所种植的无瓣海桑由于生长速度快,在 1 年后即可超过大米草的高度并郁闭成林,成功抑制了大米草的生长^[26]。

4.5 综合治理

综合治理是将上述各项技术进行有机结合,在治理初期可采用机械、化学方法,但在长期维持上,则仍然需要有效的生态学治理技术,利用天敌进行生物防治,选用竞争力强的本地物种与米草竞争,加速米草的自然演替,寻求新的生态平衡。由于目前国内外有关米草生物防治和生物替代方面的技术还不够成熟,已采用的综合治理多是将物理方法和使用除草剂相结合综合治理,随着米草生态学防治技术的研究和发展,其综合治理技术也将进一步得到发展和完善。

5 针对我国特点,采用适当手段防治米草进一步蔓延

目前,我国米草的现状是分布面积广,蔓延速度快,危害严重,针对我国的特点,采用适当技术控制米草,防治米草进一步蔓延,保护我国生态环境和水产养殖业,势在必行。(1) 首先应加强米草蔓延所造成的危害知识的宣传,停止米草在国内其余地区的引种栽培。(2) 进一步完善米草综合利用技术,提高米草产品的科技含量,降低生产成本,扩展销售市场,扩大对米草的需求量,变害为宝,通过商业收割实现物理控制的作用。(3) 对已被米草侵占的养殖滩涂,恢复起来有相当的难度。目前可以借鉴的方法是采取物理和化学途径对米草进行根除,逐步恢复滩涂环境,发展水产养殖。应该适当调整有关政策,对有草滩涂的使用给予适当优惠或鼓励措施,加强群众对有草滩涂的利用,将有助于养殖滩涂的恢复。(4) 在其他米草盐沼群落中,可尝试采用生物替代技术,选用竞争力强的本地物种与米草竞争,加速米草的自然演替,促使早日达到新的生态平衡。我国沿海地区本来就分布着很多具有经济价值的盐沼物种,如碱蓬 (*Suaeda salsa*)、芦苇 (*Phragmites communis*) 等,这些植物亦具有保滩护岸的作用,筛选竞争力强的品种进行米草的生物替代,可以兼顾生态效益和经济效益,值得深入研究和尝试。

参考文献

1 Mobblerley D G. Taxonomy and distribution of the genus

- Spartina*. Iowa State College J Sci, 1956, (30): 471-574
- Ferris C, King R A, Gray A J. Molecular evidence for the maternal parentage in the hybrid origin of *Spartina anglica* C E Hubbard. Molecular Ecology, 1997, (6): 185-187
 - Gray A J, Raybould A F. The history and evolution of *Spartina anglica* in the British isles. In: WSU Long Beach Research and Extension Unit, Long Beach WA Washington Sea Grant. Second International *Spartina* Conference Proceedings. Olympia Washington: [s. n.], 1997. 12-16
 - 仲崇信. 大米草简史及国外研究概况. 南京大学学报, 1985(米草研究的进展——22 年来的研究成果论文集): 1-15
 - Frid C L J, Chandrasekara W U, Davey P. The restoration of mud flats invaded by common cord-grass (*Spartina anglica*, CE Hubbard) using mechanical disturbance and its effects on the macrobenthic fauna. Aquatic Conservation: Marine Freshwater Ecosystem, 1999. (9): 47-61
 - Kriwoken L K, Hedge P. Exotic species and estuaries: managing *Spartina anglica* in Tasmania, Australia. Ocean and Coastal Management, 2000, 43(7): 573-584
 - Hacker S D, Heimer D, Hellquist C E, et al. A marine plant (*Spartina anglica*) invades widely varying habitats: potential mechanisms of invasion and control. Biological Invasions, 2001, 3(2): 211-217
 - 唐廷贵,张万均. 论中国海岸带大米草生态工程效益与“生态入侵”. 中国工程科学, 2003, 5(3): 15-20
 - Wecker M, Strong D, Grevstad F. Integrating biological control in the integrated pest management program for *Spartina alterniflora* in Willapa Bay. Journal of Shellfish Research, 2000, 19(1): 634
 - 刘建,黄建华,余振希,等. 大米草的防除初探. 海洋通报, 2000, 19(5): 68-72
 - 沈永明,刘咏梅,陈全站. 江苏沿海互花米草 (*Spartina alterniflora* Loisel) 盐沼扩展过程的遥感分析. 植物资源与环境学报, 2002, 11(2): 33-38
 - 高志强. 福建滨海滩地米草资源开发利用问题. 福建农业大学学报, 1996, 25(1): 72-77
 - 宋连清. 互花米草及其对海岸的防护作用. 东海海洋, 1997, 15(1): 11-19
 - Ranwell D S. World resources of *Spartina townsendii* (*sensolato*) and economic use of *Spartina* marshland. Journal of Applied Ecology, 1967 (4): 239-256
 - Gray A J, Marshall D F, Raybould A F. A century of evolution in *Spartina anglica*. Advances in Ecological Research, 1991, 21: 1-62
 - Simenstad C A, Thom R M. *Spartina alterniflora* (smooth cordgrass) as an invasive halophyte in Pacific Northwest estuaries. Hortus Northwest, 1995 (6): 9-40
 - 林如求. 三都湾大米草和互花米草的危害及治理研

- 究. 福建地理, 1997, 12(1): 16-19
- 18 Spartina T F. *Spartina* Management Program: Integrated Weed Management for Private Lands in Willapa Bay. Washington: [s. n.], 1994. 47-67
- 19 Department of the Interior, U.S. Fish and Wildlife Service, Willapa National Wildlife Refuge. Control of smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) on willapa national wildlife refuge Environmental assessment. Washington: [s. n.]. 1997. 51
- 20 Crockett R P. *Spartina* control update. In: Washington State Department of Agriculture. Proceedings of the 1991 Washington State Weed Conference. Olympia Washington: [s. n.], 1991. 41-44
- 21 Balthuis D A, Scott B A. Effects of application of glyphosate on cordgrass, *Spartina alterniflora*, and adjacent native salt marsh vegetation in Padilla Bay, Washington. In: Washington State Department of Ecology. Padilla Bay National Estuarine Research Reserve Technical Report (No. 7). Mount Vernon, Washington: [s. n.], 1993. 29
- 22 Patten K. Usable alternatives to Rodeo. In: Washington State Department of Agriculture. Proceedings from the 1999 *Spartina* Eradication post-season review. Olympia Washington: [s. n.], 1999. 15
- 23 Shaw W B, Gosling D S. *Spartina* ecology, control and eradication- recent New Zealand experience. In: WSU Long Beach Research and Extension Unit, Long Beach WA Washington Sea Grant Second. International *Spartina* Conference Proceedings. Olympia Washinton: [s. n.], 1997. 27-33
- 24 Wu M X, Hacker S, Ayres D, et al. Potential of *Prokelisia* spp. as biological control agents of English cordgrass, *Spartina anglica*. Biological Control, 1999, 16: 267-273
- 25 Bonilla-Warford C M, Zedler J B. Potential for using native plant species in stormwater wetlands. Environmental Management, 2002, 29(3): 385-394
- 26 陈玉军, 郑松发, 廖宝文, 等. 珠海市淇澳岛红树林引种扩种问题的探讨. 广东林业科技, 2002, 18(2): 31-36

(本文编辑: 刘珊珊)