

文章编号:1004-8227(2011)06-0690-07

互花米草在上海崇明东滩的 入侵历史、分布现状和扩张趋势的预测

王 卿

(上海市环境科学研究院,上海 200233)

摘要:近 20 余 a 来,互花米草在我国沿海及河口滩涂快速扩散,已成为我国海岸盐沼中最重要的入侵植物。上海崇明东滩是我国长江口的国际重要湿地,目前受到了互花米草入侵的严重威胁。自 1995 年在崇明东滩首次发现互花米草以来,互花米草的分布面积已超过 1 600 hm²。总结了近几年在崇明东滩进行的互花米草相关研究,旨在对互花米草的控制与管理提供科学依据。目前互花米草主要分布在崇明东滩的东部及北部,决定其入侵动态与分布的主要因素在于:(1)互花米草对沿海滩涂环境具有良好适应与耐受能力;(2)人为引种大大加快了互花米草的扩张速度;(3)崇明东滩湿地的水分盐度条件特征导致互花米草主要分布在崇明东滩的东部与北部。根据互花米草的生理学特征和长江口地区的水文特点可以推断:互花米草在东滩东部和北部将继续扩张,但目前尚难入侵东滩南部区域,而人类活动可能加剧互花米草入侵。根据互花米草的入侵现状和趋势,必须尽快采取多种途径对互花米草进行控制和管理。

关键词:长江口;崇明东滩;互花米草;生物入侵;滩涂
文献标识码:A

互花米草(*Spartina alterniflora* Loisel.) 英文名为 Smooth Cordgrass、Atlantic Cordgrass 或 Saltmarsh Cordgrass,为禾本科米草属 *Spartina* Schreb (又名绳草属)多年生草本植物,原产于北美东海岸及墨西哥湾,由于人为引入与自然扩散,现在已成为全球海岸盐沼生态系统中最成功的入侵植物之一。自 20 世纪 70 年代末引入中国滩涂以来,互花米草在我国河口与沿海滩涂上迅速扩散,目前在沿海地区自辽宁到广西的大部分滩涂上均有分布。互花米草在保滩促淤上发挥了一定作用,但其危害也逐渐显现^[1]。2003 年初,国家环保总局公布了首批入侵我国的 16 种外来入侵种名单,互花米草作为唯一的海岸盐沼植物名列其中。

崇明东滩是世界著名的河口滩涂湿地,位于我国第三大岛崇明岛的东端,地处长江口这一生态敏感区,处于亚太候鸟迁徙路线(东线)的中段(图 1),是候鸟停歇、补充能量的重要迁徙停歇地,对于候鸟完成长距离的迁徙活动具有不可替代的作用。由于

其具有重要的生态功能与价值,崇明东滩已批准为国际重要湿地(编号 1144),而崇明东滩湿地是该国际重要湿地的核心部分,也是自然价值最高的生态系统,2005 年被国务院批准为国家级自然保护区。但是,崇明东滩湿地目前面临着互花米草快速入侵的严重威胁。20 世纪 90 年代中后期,互花米草在长江河口滩涂成功定居并迅速扩散,并带来了一系列严重的生态、经济后果,使得鸟类栖息地严重受损,

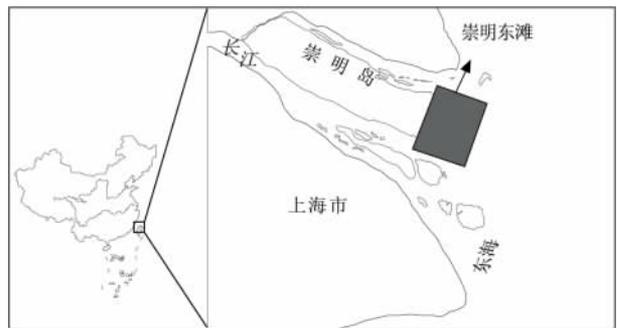


图 1 上海市崇明东滩的地理位置

Fig. 1 Geographic Location of Chongming Dongtan, Shanghai

收稿日期:2010-08-13;修回日期:2010-11-05

基金项目:上海市科委项目(互花米草的清除、扑灭技术与技术标准,ZX208210);上海市环境保护局项目(上海主要滩涂湿地生态服务功能评价与保护对策研究)

作者简介:王 卿(1979~),男,湖北省潜江人,工程师,博士,主要从事河口生态学、湿地生物多样性保护等研究。E-mail:Wangq@saes.sh.cn

改变了滩涂湿地生态系统的结构与功能,导致生态服务功能下降等^[2]。

互花米草在崇明东滩的入侵历史与扩散,在我国的沿海地区具有一定的典型性。在大量研究的基础上,对互花米草成功入侵的过程与机制进行分析,对于互花米草的控制与管理具有重要意义,并对其它入侵生物的管理提供借鉴。

1 互花米草在崇明东滩的入侵历史

自 1995 年首次在崇明东滩发现以来,由于自然扩散和人工移栽,互花米草的分布面积迅速扩大(图 2,图 3)。遥感研究表明,其入侵对土著植物海三棱藨草产生严重威胁,并对芦苇也有一定影响^[3]。从互花米草在崇明东滩的种群来源、建立方式和扩散过程来看,互花米草对崇明东滩的入侵可分为 3 个主要阶段。

(1)1995~2000 年,自然传播种群的定植与建立。1995 年,在东滩北部一带的海三棱藨草群落和光滩中发现互花米草呈零星小斑块状分布,这也是在崇明东滩首次发现互花米草。从来源上看,这些零星分布的互花米草可能是从江苏的大丰、启东等地在潮汐作用下通过自然传播而来^[2]。至 2000 年,

互花米草已在东滩大面积扩散,形成了大片密集单一的互花米草群落,其面积达到 465.75 hm²。在这一期间,互花米草主要分布在崇明东滩北部并逐渐向东北部扩散,并通过竞争排斥,导致东滩北部的芦苇与海三棱藨草群落面积减小,使海三棱藨草群落呈狭窄的带状分布。由于滩涂的迅速发育,海三棱藨草群落也迅速向东延伸,因此,在这一阶段,海三棱藨草群落面积总体上仍然保持增加。

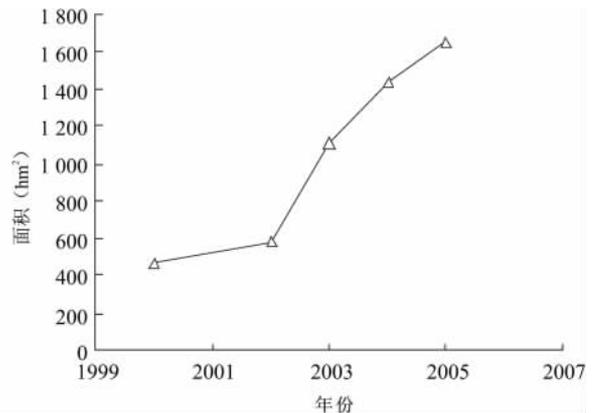


图 2 1997 年以来崇明东滩互花米草群落的分布面积 (数据来源:王卿等^[3])

Fig. 2 Area of *Spartina alterniflora* Communities at Chongming Dongtan from 1997

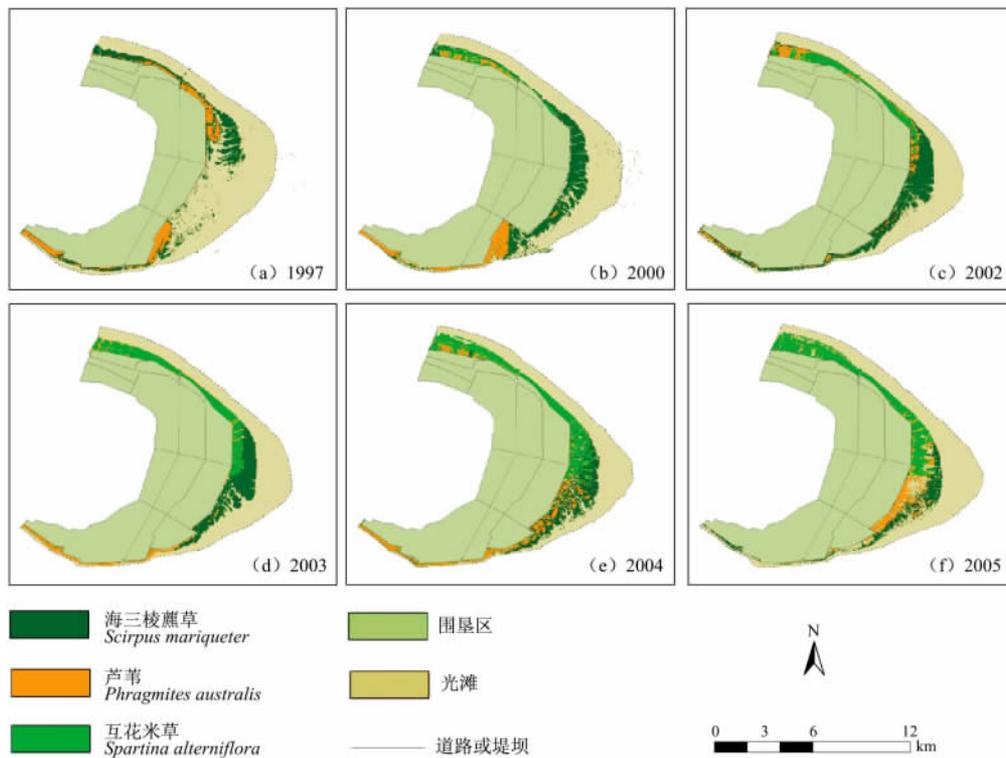


图 3 1997 年以来崇明东滩潮间带植物群落的分布动态(海岸线高程为 100cm) (数据来源:王卿等^[3])

Fig. 3 Distributional Dynamics of Intertidal Vegetation of Chongming Dongtan from 1997 (The elevation of shoreline is 100 cm)

(2) 2001~2003 年,大规模人工移栽(图 4,图 5a)。在这一时期,有关部门为了加快促淤,获取更多的土地资源,在崇明东滩两次大规模人工移栽互花米草。2001 年 5 月,在东滩捕鱼港一带的海三棱藨草群落带人工种植了 337 hm² 的互花米草,成活率达 90% 以上。到 2002 年 11 月,由于快速扩散,互花米草逐渐连接成片,形成郁闭的单一互花米草群落。2003 年 5 月,互花米草再次被人工种植在东滩的海三棱藨草群落和光滩中。其中在北八淤一带种植互花米草 370 hm²,在东旺沙一带种植 60 hm²,在团结沙一带种植 112 hm²。后来由于上海崇明东滩鸟类自然保护区极力反对在保护区内种植互花米草,东旺沙和团结沙两地的互花米草在种植不久后人为拔除,但是并没有完全拔除干净,互花米草得以进一步扩散。在这一时期,由于互花米草对滩涂环境良好的适应力,人工移栽的互花米草群落存活率极高,并迅速连接成片,在移栽的区域形成单一密集的互花米草群落。而同时,尽管海三棱藨草群落继续向海洋方向延伸,但其面积开始下降,这表明,在这一阶段,互花米草的入侵已经对土著物种海三棱藨草产生了严重威胁。

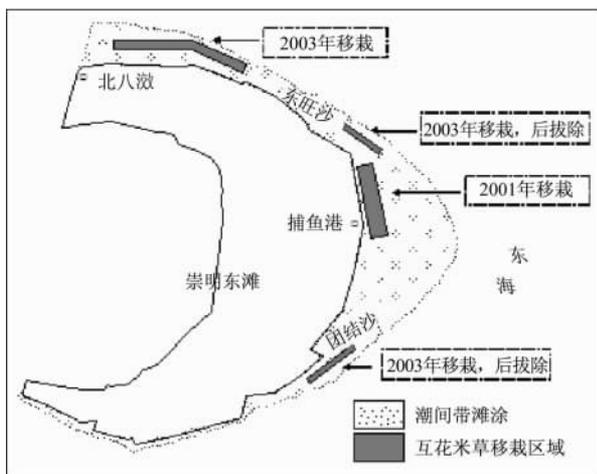
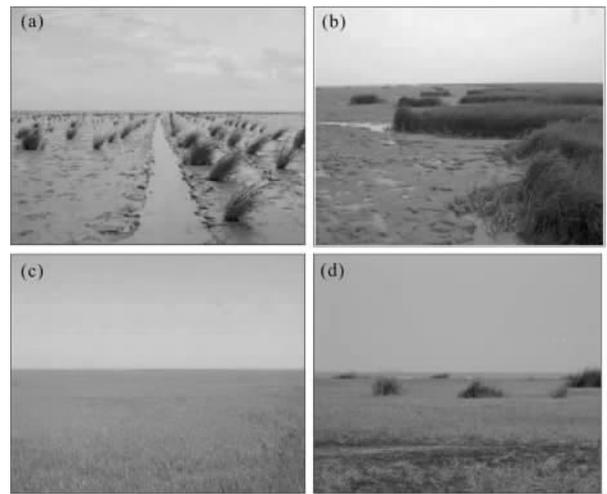


图 4 崇明东滩互花米草移栽历史示意图
(数据来源:陈中义^[2])

Fig. 4 History of Transplanting of *Spartina alterniflora* at Chongming Dongtan

(3) 2003 年至今,是互花米草的快速生长期。在这一阶段,互花米草种群迅速扩张,分布面积呈指数增长,部分区域形成稳定的互花米草群落。值得注意的是,这一阶段互花米草的扩散方向是向东,即向海洋的方向入侵海三棱藨草群落,而几乎没有向南入侵芦苇群落。由于互花米草的入侵,导致东滩

北部的海三棱藨草带极为狭窄,某些区域的海三棱藨草甚至已经消失(图 5b),而在东滩东部,海三棱藨草带群落的宽度已经由 2002 年的 1.5~1.9 km (图 5c)降至 200~400 m,并且在海三棱藨草群落中还分布有大大小小的互花米草斑块(图 5d),这就意味着该区域的海三棱藨草很有可能被互花米草迅速取代。因此,互花米草的入侵对东滩的海三棱藨草带来了巨大的威胁,而这种威胁对海三棱藨草可能是毁灭性的。



(a) 人工移栽的互花米草(2003 年 9 月); (b) 东滩北部的海三棱藨草群落已经消失,互花米草群落与光滩相邻(2003 年 6 月); (c) 崇明东滩捕鱼港区域的海三棱藨草群落,尚未被互花米草入侵(2003 年 5 月); (d) 崇明东滩捕鱼港区域的海三棱藨草群落,已被互花米草入侵(2005 年 11 月)

(a) Transplanted *S. alterniflora* in September, 2003; (b) *Scirpus mariqueter* communities have disappeared in the northern Dongtan in June, 2003; (c) *S. mariqueter* community at Buyugang in Dongtan in May, 2003, which had not been invaded by *S. alterniflora*; (d) *S. mariqueter* community at Buyugang in Dongtan in November, 2005, which had been invaded by *S. alterniflora*

图 5 互花米草在崇明东滩的建群与扩张

Fig. 5 *Spartina alterniflora* Communities in the Salt Marshes in the Chongming Dongtan

2 互花米草扩张与分布的主要特点

自 1995 年首次在崇明东滩发现互花米草至今,其扩张与分布呈现以下特点。

(1) 扩张速度快,从定植到扩张间隔时间短。当一个入侵种到达新的生境后,通常不会迅速建群并扩散,而往往会经过一定的时滞后才爆发。同样,

在互花米草的入侵早期和在互花米草群落边缘,其种群的扩张存在 Allee 效应^[4~6],即个体繁殖成功率随着种群的大小或者密度的增加而增加,而在小的或者低密度的种群中灭绝速率会增加,可见互花米草从入侵到扩张也存在时滞。在美国华盛顿州的 Willapa 海湾,无意引入的互花米草到扩张的时滞长达 50 a 之久^[7],但在崇明东滩,通过人工定植的方法,互花米草在 5 a 内分布面积就迅速增加。这表明,崇明东滩的互花米草入侵时滞很短。

(2) 北多南少。互花米草主要分布在捕鱼港以北的区域,而在捕鱼港以南互花米草斑块几乎没有。

(3) 其扩散主要发生在海三棱藨草群落中。尽管互花米草对芦苇形成强烈的竞争,但由于芦苇自身也具有较强的竞争力,互花米草入侵芦苇群落的速度相对较为缓慢。而互花米草一旦入侵海三棱藨草群落,即可在一个生长季内形成直径 1~2 m 的斑块,在 2~3 a 内形成较大斑块并与其它互花米草斑块连接成片形成单一密集的互花米草群落,从而导致海三棱藨草带迅速变窄甚至在某些区域消失。

3 决定互花米草入侵动态与分布的主要因素

互花米草之所以能在不到 10 a 内在崇明东滩乃至整个长江口滩涂爆发,其主要原因如下。

(1) 其自身生物学特性

互花米草对长江口滩涂生境具有较强的适应性。互花米草耐盐力强,最适生长盐度为 1%~2%,可以耐受高达 6% 的高盐度^[8]。耐水淹,可以耐受每天 12 h 的浸泡,在年淹水时间为 30 d 左右时生长速率最高。研究表明,互花米草在长江口盐沼分布的高程下限是平均高潮位 (Mean High Water Level, MHWL) 以下 0.4 m,芦苇是 MHWL 以上 0.6 m,而海三棱藨草内带的分布下限则视盐度在 MHWL 附近浮动^[8]。这就是说,互花米草具有比海三棱藨草更大的生态幅,这也是互花米草在崇明东滩使得海三棱藨草分布区大面积减少的主要原因。

同时,互花米草很强的有性繁殖和无性繁殖能力使其在潮间带具有较强的扩散与定居能力,可以在部分地区快速扩张。互花米草的繁殖体包括种子、根状茎与带节的残株。互花米草种子数量巨大,每个花序上的种子数量为 133~636 粒^[9]。种子萌发率高,但随盐度升高而下降,在淡水中萌发率高达

90%,而在 7% 盐度条件下却只有 1.2% 的种子萌发,但还明显高于其他植物。

互花米草的有性繁殖对开拓新生境有着非常重要的意义,但是对维持已经建立的种群却意义不大。在发育良好的互花米草群落的冠层下,由于光照强度低,其种子苗无法成活,而随着其盖度的降低,幼苗的存活率也会随之而增加。因此,对已经建立的互花米草种群,其局部的扩张主要依赖于克隆生长^[1]。

研究表明,在互花米草的入侵早期存在明显的 Allee 效应,这主要是由于小斑块种群受到异源花粉的限制,因此,这就暗示着孤立的互花米草小斑块扩散能力将大大降低^[4~6]。随着互花米草斑块的建群成功,其地下部分会更加发达,将改善互花米草通气组织运输和交换的功能,从而提高种群对水淹的耐受能力^[10];此外,其根部的固氮菌也发挥作用,从而增加其根部土壤的营养有效度^[11]。也就是说,对互花米草应强调早期控制与管理。

(2) 人工引种的方式

相对于无意带入而言,有意引入还使外来种入侵的速率与成功率大大提高。一般来说,入侵种从定植、建群到扩散存在一定的时滞。当入侵的种群非常小时,特别是由于 Allee 效应等原因,只有等到种群密度达到一定的水平时物种才会进一步扩散;同时,由于从物种被引入到选择出具有强繁育力的后代通常需要一定的时间,而当入侵种的繁殖体压力很小时,这种选择的时间可能会被延长;另外,个别物种被引入以后会迅速传播,只有等到个体能成功繁殖从而使种群得以壮大后才会被探测到,因此只有当种群密度达到一个足够高的水平时,其分布区的扩散才能变得明显^[12]。基于以上 3 点,当被引入的外来种个体数量较少时,时滞效应往往会非常明显。无意带入是偶然的、个别的事件,因此时滞效应非常明显;而有意引种却是有目的的、大量的,抑或多次的事件,为了使物种能够在该地区快速定植、建群,人们常常选择大量成活率高的繁殖体进行引种,这样使入侵地面临巨大的繁殖体压力,避免了在入侵初期可能的 Allee 效应,大大缩短了入侵的时滞,从而增加入侵的速度与成功率。因此,人工移栽是导致互花米草在崇明入侵时滞短并且扩张速度快的主要原因。

(3) 水分盐度

崇明东滩位于长江与东海的交界处,同时受到长江径流与东海潮汐的影响,而具有咸淡水交错的

特点。因此,这类盐沼生境比较适合互花米草及海三棱藨草等先锋植物生长。

崇明东滩北部是长江北支,江口狭窄,上游来水补充较少,受潮汐影响较大,而东滩南部是长江南支,江面宽阔,因此受长江来水影响较大,这也造成了东滩盐度北高南低^[13]。研究表明,生态因子的改变,可以改变芦苇与互花米草的竞争态势,从而进一步影响互花米草与芦苇在滩涂上的分布。在较高盐度(1%~2%)下,互花米草具有竞争优势,而在较低盐度下,芦苇具有竞争优势,芦苇的最适生长盐度低于0.5%^[14]。因此,互花米草主要分布在东滩北部,而难以入侵东滩南部的芦苇群落。这一研究结果也为崇明东滩的生态恢复提供启示:可在互花米草群落周围构筑围堤,减少潮汐的影响,从而降低土壤盐度,同时将互花米草刈除后种植芦苇,通过竞争取代恢复芦苇群落。

4 对互花米草在崇明东滩扩张趋势的预测

根据互花米草的生物学特性和崇明东滩的滩涂发育和盐度的空间分布规律,并根据过去十年互花米草在崇明东滩及长江口入侵动态的研究结果,同时参考国内外的相关研究,可对互花米草在崇明东滩的快速扩张趋势做出如下预测(图 6)。

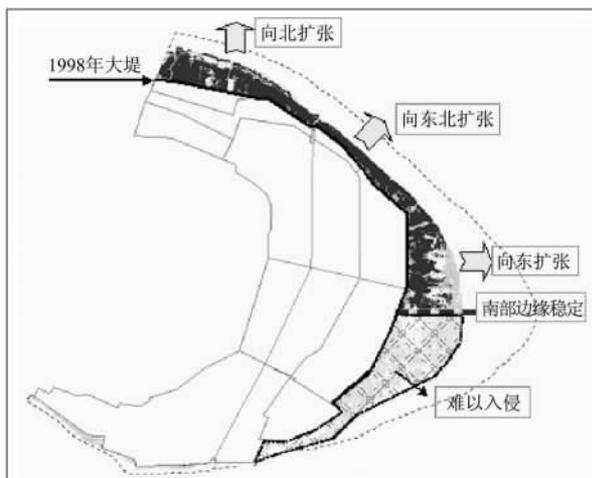


图 6 崇明东滩互花米草扩张趋势的预测

Fig. 6 Trend Prediction of *Spartina alterniflora* invasions at Chongming Dongtan

(1)在崇明东滩的北部与东部,互花米草将继续向海的方向扩张,很有可能通过竞争排斥将海三棱藨草完全排除出该区域。研究表明,长江口滩涂植物群落向海延伸的速度,取决于滩涂发育的速

度。由于长江口滩涂发育受多种因素控制,因此目前还无法准确地估算出互花米草群落扩张的速度,但是可以肯定的是,互花米草还将继续迅速入侵海三棱藨草群落。自 2001 年在东滩人工移栽互花米草以来,其向海扩张的速度远远高于海三棱藨草群落,海三棱藨草带的宽度已经由 2002 年的 1.5~1.9 km 降至 200~400 m。研究还表明,互花米草涵盖了海三棱藨草的生态位,具有比海三棱藨草更大的生态幅,还具有较强的种间竞争能力,因此,如不加以控制,互花米草极有可能在数年内将海三棱藨草完全排除出该区域。

(2)在崇明东滩的南部,互花米草难以入侵。东滩盐度北高南低,而在较低盐度下,芦苇具有对互花米草的竞争优势,此外,互花米草也难以入侵高大密集的芦苇群落。因此,在没有大规模人工移栽的情况下,互花米草在崇明东滩的南部边缘将基本保持稳定。

(3)在已被互花米草入侵靠近 1998 年堤坝的区域,互花米草群落在短期内将逐渐成熟并保持稳定,但随着滩涂发育,将缓慢地被其它植物群落所取代。长江口盐沼植物群落的演替,是随滩涂发育进行的。随着滩涂的淤高,滩涂受潮汐作用的频率逐渐减少,在雨水淋溶等作用下,底质脱盐,形成淡水、淡咸水或陆生环境。这类环境下,并不利于互花米草竞争,而受潮汐淹没频率过低也不利于互花米草的生长。因此,互花米草必然会被其它植物如芦苇等取代。但是在高程较高的区域,滩涂淤积速率较慢,滩涂环境向淡水、陆生环境转变是一个缓慢的过程。此外,成熟的互花米草群落密度很大,也不利于其它植物种群的定植。因此,如无人工干预,在短期内,该区域的互花米草将仍然保持稳定。

(4)人类活动的影响,将加剧互花米草的进一步入侵。近几十年来,长江流域上游的大型水利工程增加,包括“三峡大坝”、“南水北调”等。已有的研究表明,河流上游的建坝与分流可导致河口径流量与河流输沙量的减少,由于缺乏河流淡水补充,又进一步使河口处的水体盐度升高,同时,由于输沙量的减少,水体泥沙含量降低,滩涂发育会减缓甚至受到侵蚀^[15]。而事实上,由于人类活动,长江口的径流量与泥沙量已经开始出现大幅度下降,因此,不能排除在长江口的部分滩涂被大量侵蚀的可能。更为严重的是,由于人类活动导致的气候变暖又进一步导致了海平面升高。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)的报告表明,1961~2003 年,全球平均海平

面平均约以 $1.8 \pm 0.5 \text{ mm/a}$ 的速率上升^[16],而近30a来,中国沿海海平面总体上升了90 mm,2007年,中国沿海海平面平均上升速率为 2.5 mm/a ,大大高于全球平均海平面上升的平均速率^[17]。海平面升高可导致盐水入侵,同时也可增加海水对沿海滩涂的浸没时间与频率。盐度升高、水淹频率的增加可促进互花米草对芦苇与海三棱藨草群落的入侵,此外,滩涂侵蚀还可直接导致海三棱藨草群落面积的减少。因此,如果人类活动的影响加剧,互花米草在长江口盐沼将会进一步扩张,其扩张区域也可能包括东滩南部的湿地。

5 小结

崇明东滩的互花米草入侵历史在我国沿海地区具有一定的典型性,人工引种在对互花米草入侵起到了重要作用,大大加大了互花米草入侵的成功率,同时也加快了其入侵过程。目前互花米草在崇明东滩已泛滥成灾,必须采取生态工程以及立法等多种途径对其进行控制和管理。

参考文献:

- [1] 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, 44: 559~588.
- [2] 陈中义. 互花米草入侵国际重要湿地崇明东滩的生态后果[D]. 上海:复旦大学博士学位论文,2004.
- [3] 王 卿,汪承焕,赵 斌,等. 二十年来上海市崇明东滩潮间带植被的时空动态[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2007, 43: 15~25.
- [4] DAVIS H G, TAYLOR C M, CIVILLE J C. An allee effect at the front of a plant invasion: *Spartina* in a Pacific estuary[J]. Journal of Ecology, 2004, 92: 321~327.
- [5] DAVIS H G, TAYLOR C M, LAMBRINOS J G. Pollen limitation causes an allee effect in a wind~pollinated invasive grass (*Spartina alterniflora*) [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 2004, 101: 13 804~13 807.
- [6] TAYLOR C M, DAVIS H G, CIVILLE J C. Consequences of an allee effect in the invasion of a pacific estuary by *Spartina alterniflora* [J]. Ecology, 2004, 85: 3 254~3 266.
- [7] PFAUTH M, SYTSMA M, ISAACSON D. Oregon spartina response plan[R]. Oregon: Oregon Department of Agriculture, 2003.
- [8] 王 卿. 互花米草入侵对长江河口盐沼植被时空动态的影响[D]. 上海:复旦大学博士学位论文, 2007.
- [9] FANG X. Reproductive biology of smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) [D]. Baton Rouge, Louisiana, USA: Louisiana State University master's dissertation, 2002.
- [10] BERTNESS M D. Interspecific interactions among high marsh perennials in a New England salt marsh [J]. Ecology, 1991, 72: 125~137.
- [11] McHUGH J M, DIGHTON J. Influence of mycorrhizal, inoculation, inundation period, salinity, and phosphorus availability on the growth of two salt marsh grasses, *Spartina alterniflora* Loos. and *Spartina cynosuroides* (L.) Roth, in nursery systems [J]. Restoration Ecology, 2004, 12: 533~545.
- [12] 李 博, 陈家宽. 入侵生态学: 成就与挑战 [J]. 世界科技研究与发展, 2002, 24: 26~36.
- [13] 孔亚珍, 贺松林, 丁平兴. 长江口盐度的时空变化特征及其指示意义 [J]. 海洋学报, 2004, 26: 9~18.
- [14] WANG Q, WANG C H, ZHAO B, et al. Effects of growing conditions on the growth of and interactions between salt marsh plants: Implications for invasibility of habitats [J]. Biological Invasions, 2006, 8: 1 547~1 560.
- [15] 王金军, 贺宝根. 长江输沙与河口的冲淤变化关系 [J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 2005, 34: 96~100.
- [16] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) [EB/OL]. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>. 2007.
- [17] 中国国家海洋局 [EB/OL]. <http://www.soa.gov.cn/hyjww/hygb/zghpmgb/2008/01/1200912279807713.htm>. 2008.

SPARTAINA ALTERNIFLORA INVASION IN CHONGMING DONGTAN, SHANGHAI: HISTORY, STATUS AND PREDICTION

WANG Qing

(Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China)

Abstract: Smooth cordgrass, *Spartina alterniflora* Loisel., a perennial rhizomatous grass native to the Atlantic and Gulf coasts of North America, has invaded into many estuaries and coastal salt marshes in China in the past 20 years. Chongming Dongtan (“Dongtan” in abbreviation), the wetland of international importance, which provides important stopover sites for migratory birds on East Asian–Australasian Flyway, has been suffering from *S. alterniflora* invasions in the recent 15 years, and the structures and functions of the wetland ecosystem were severely threatened. *S. alterniflora* was first recorded in Dongtan in 1995 and kept expanding rapidly in the latter decade. The *S. alterniflora* communities covered 1 600 hm² by 2005, which distributed dominantly in the northern and eastern marshes in Dongtan. Based on recent studies, this paper illustrated the mechanisms of successful invasions of *S. alterniflora*. According to the physiological characteristic of *S. alterniflora* and the hydrological characteristic of Yangtze River mouth, it can be concluded that: 1) *S. alterniflora* would keep expanding in the northern and eastern Dongtan; 2) It would be difficult to be invaded for *S. alterniflora* in southern Dongtan; 3) Human activities would facilitate *S. alterniflora* invasions. Consequently, proper management and control of *S. alterniflora* should be carried out urgently.

Key words: Yangtze River estuary; Chongming Dongtan; *Spartina alterniflora*; biological invasion; tidal marsh