

刈割与水位调节集成技术控制 互花米草 (*Spartina alterniflora*)

袁 琳, 张利权*, 肖德荣, 张 杰, 王睿照, 袁连奇, 古志钦,
陈 曦, 平 原, 祝振昌

(华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 城市生态化过程与生态恢复上海市重点实验室, 上海 200062)

摘要:治理和控制外来物种互花米草 (*Spartina alterniflora*) 对维护崇明东滩自然保护区生物多样性具有重要的意义和必要性。研究在上海崇明东滩鸟类国家级自然保护区建立的受损滩涂湿地生态修复示范样地中开展“刈割与水位调节集成技术”治理互花米草的物理控制实验, 以期寻求有效治理互花米草的控制技术。示范研究结果表明, 单一的水位调节方法虽然可以降低互花米草群落的密度和叶面积指数 (LAI), 但至水淹处理 100d 后, 处理样区内互花米草的生长和生物量已与对照区无显著差异。单一的水位调节方法不能达到有效快速控制互花米草的效果。通过在互花米草生长关键期 (7 月的扬花期) 刈割 + 水位调节集成技术处理后, 互花米草地上部分无再新生现象, 至当年 10 月份 (生长季末期), 样区内互花米草的地上部分和地下部分已完全死亡并开始腐烂, 达到了有效控制互花米草的效果。因此, 应用刈割 + 水位调节集成技术治理互花米草, 必须选择关键季节刈割互花米草地上部分, 同时配合一定水位的持续淹水 (约 3 个月), 才能有效发挥其迅速有效治理互花米草的效果。扬花期刈割 + 水位调节集成技术可为沿海地区大范围防治互花米草扩散提供有效途径。

关键词:互花米草; 生物入侵; 刈割 + 水位调节; 示范样地; 崇明东滩

文章编号: 1000-0933(2008)11-5723-08 中图分类号: Q945 文献标识码: A

A demonstration study using the integrated technique of cutting plus waterlogging for the control of *Spartina alterniflora*

YUAN Lin, ZHANG Li-Quan*, XIAO De-Rong, ZHANG Jie, WANG Rui-Zhao, YUAN Lian-Qi, GU Zhi-Qin, CHEN Xi, PING Yuan, ZHU Zhen-Chang

State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, Shanghai Key Laboratory of Urbanization Ecological Process and Ecological Restoration, East China Normal University, Shanghai, 200062, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5723 ~ 5730.

Abstract: The control and eradication of the exotic and invasive plant *Spartina. alterniflora* at the Chongming Dongtan Nature Reserve, Shanghai is an important and necessary measure for biodiversity conservation management. A demonstration project was established at the Nature Reserve in 2007, and an integrated treatment technique of cutting plus waterlogging was conducted to investigate effective measures for controlling this invasive plant. The results showed that although the treatment of waterlogging alone could significantly reduce the density and leaf area index (LAI) of *S. alterniflora* at the

基金项目: 上海市科委重大科技攻关资助项目 (06dz12302); 国家科技支撑计划资助项目 (2006BAC01A14)

收稿日期: 2008-06-03; 修订日期: 2008-10-16

作者简介: 袁琳 (1978 ~), 女, 辽宁省铁岭市人, 博士, 主要从事湿地生态学研究. E-mail: yuanlin-2002@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lqzhang@sklec.ecnu.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by The Key Project of Shanghai Scientific and Technological Committee (No. 06dz12302) and National Key Fundamental Research and Development Program (No. 2006BAC01A14)

Received date: 2008-06-03; **Accepted date:** 2008-10-16

Biography: YUAN Lin, Ph. D., mainly engaged in wetland ecology. E-mail: yuanlin-2002@163.com

early stage of growth, there were no significant differences in the biomass between the waterlogging treatment after 100 days, and the control. Thus, waterlogging treatment alone could not effectively and quickly control or eradicate *S. alterniflora*. It was observed, however, that cutting aboveground part of *S. alterniflora* at the key stage of growth (i. e. the blooming period in July) combined with waterlogging could effectively control and eradicate this plant. There was no regrowth of the emergent part of *S. alterniflora* after the cutting, and both the aboveground and belowground parts of *S. alterniflora* were killed, and the plants began to decompose at the end of the growing season (in October). Therefore, an integrated technique of cutting at the key stage of its growth combined with waterlogging for about 3 months has been shown to be a realistic and effective technique for controlling and managing the invasion of *S. alterniflora* in the Nature Reserve. The results of the demonstration project could provide a useful and effective approach to controlling and managing the large scale invasion of *S. alterniflora* in the estuarine and coastal areas of eastern China.

Key Words: *Spartina alterniflora*; biological invasion; cutting plus waterlogging; demonstration plot; Chongming Dongtan

互花米草(*Spartina alterniflora*)隶属禾本科米草属,原产于美洲大西洋沿岸,是一种生长在潮间带的多年生草本植物^[1]。互花米草根系发达,具有较强的抗风消浪、保滩护岸、促淤造陆的作用^[2~4]。由于人类有意或无意的引种,互花米草在原产地以外地区的迅速扩散,在海滨潮间带形成单优植物群落,不断侵占土著生物群落的生境,已对海滨湿地生态系统产生了严重的生态与进化后果^[5]。针对互花米草的强入侵性和对生态系统造成的危害,国内外正在积极采取各种方法加以控制,如物理(机械)方法、化学方法和生物防治方法^[5~10]。物理控制主要指物理或机械方法,采用人工或特殊机械装置,对互花米草进行拔除、刈割、挖掘、遮盖、水淹、火烧、碾埋等,从而遏制其生长,限制它的呼吸或光合作用,最终以杀死植株为目的。化学控制方法主要采用化学除草剂杀灭互花米草。生物控制方法需要引入其他物种,易造成二次入侵,而且物种的引入和评价也需要时间来验证。与化学方法和生物控制方法相比,物理方法一般不会造成环境污染,对生物种类的影响也较小,因此物理控制方法一般是首选的方法。近年来,在美国加利福尼亚州的旧金山海湾和华盛顿州的 Willapa 海湾、英国的 Lindisfarne NNR 地区、澳大利亚的塔斯马尼亚岛和新西兰等地都开展了互花米草物理防治研究^[11,12]。我国也先后开展了火烧、刈割、翻耕、碎根和生物替代等方法控制互花米草的实验研究。然而,单一的物理控制方法往往只能在处理当年发挥一定的控制效果,而不具有长期有效的作用^[13,14]。因此,迫切需要寻求能够在短期内有效治理互花米草的综合物理控制方法。

上海崇明东滩国家级鸟类自然保护区是国际重要湿地,也是中国滨海湿地生物多样性的关键地区,具有丰富的野生动植物资源。自 1995 年在崇明东滩首次发现互花米草以来,该植物逐渐在东滩定居并迅速蔓延,至 2005 年,其分布面积已增加到盐沼植被的 25% 以上^[15]。治理和控制外来物种互花米草对维护崇明东滩自然保护区生物多样性具有十分重要的意义和必要性^[14]。本研究在崇明东滩建立的受损滩涂湿地生态修复示范样地中开展“刈割与水位调节集成技术”治理入侵种互花米草的物理控制实验,以期寻求有效治理互花米草的集成控制技术,并在此基础上探讨该集成技术控制互花米草的机理,为保护区治理生物入侵和生物多样性管理提供技术支撑和理论依据,为沿海地区大范围防治互花米草扩散提供有效途径。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

上海崇明东滩鸟类国家级自然保护区位于上海崇明岛东端(31°25'~31°38'N, 121°50'~122°05'E),是东亚最大的候鸟保护区之一,位于亚太地区候鸟迁徙路线东线中段,是国际迁徙鸟类必需的栖息地。崇明东滩湿地于 1992 年列入《中国保护湿地名录》,2001 年正式列入“拉姆萨国际湿地公约”国际重要湿地名录,2005 年成为国家级自然保护区。

崇明东滩属于淤涨型潮滩,平均每年向外伸长 150~300 m,自陆向海依次可划分为高、中、低潮滩。自 1995 年崇明东滩人工引种互花米草以来,互花米草主要出现在中潮滩和高潮滩的芦苇(*Phragmites australis*)

带和海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*)带。至2005年,崇明东滩的互花米草分布面积已增加到1283.4 hm²,其增加速率显著高于土著种芦苇和海三棱藨草,并且已在东滩保护区内形成了大面积的单优势种群落^[15]。

1.2 生态修复示范样地

2007年3月在上海崇明东滩国家级鸟类自然保护区北部的实验区(N 31°35', E 121°53'),建立了面积为50000 m²的受损湿地生态修复示范样地。该区域吴淞高程约3.60 m,为互花米草和芦苇混生群落,其中斑块状芦苇群落散布在大面积互花米草群落中。示范样地内分别设置4个处理区域,每一样区面积为50 m × 250 m。其中,1号样区为刈割+水位调节处理,2号样区为单一水位调节处理,3号样区为生物替代处理,4号样区为其他控制方法与对照(见图1)。本研究的各项试验主要在1号和2号样区中开展。

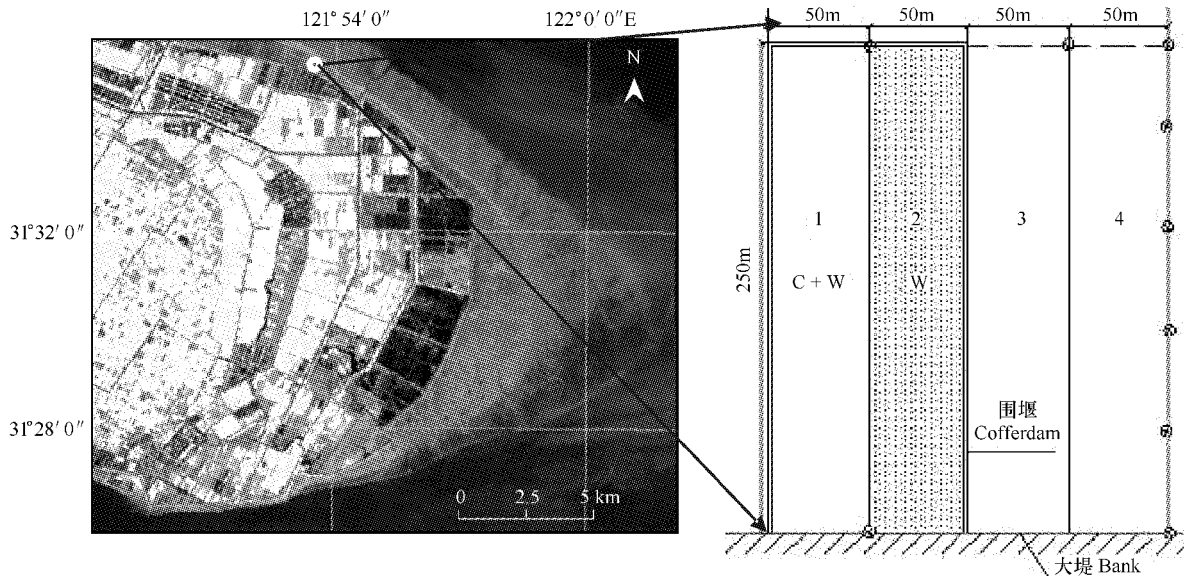


图1 生态修复示范样地示意图

Fig. 1 The experimental design for the demonstration project

其中1号样区为扬花期刈割与水位调节方法,缩写为C+W;2号样区为单一水位调节方法,缩写为W the area 1 is the treatment of cutting *Spartina alterniflora* at blooming period plus waterlogging, denoted C+W; the area 2 is the treatment of waterlogging alone, denoted W

在建立示范样地之前,于2007年2月进行样地的植被和土壤等本底调查。2007年3月,割除样地内互花米草上一年生长的枯萎物,同时保留芦苇不予割除。在1号和2号样区周边利用挖掘机就地取土修筑围堰,围堰的截面是梯形,上底、下底和高分别为2、4m和1m,在围堰外侧修筑蓄水沟渠,用于收集和储存潮水(图1)。围堰筑成后,从蓄水沟渠中抽水注入围堰,实施水淹处理,随后根据水位情况及时向围堰内补水,使水位保持在30~50 cm。样区内互花米草生长至扬花期时,于7月2~9日齐地刈割1号样区内互花米草的地上部分,保留其中生长的本地物种芦苇(图1中的C+W)。而2号样区不实施刈割,保留其中生长中的互花米草和芦苇(图1中的W)。试验期间,1号和2号样区内水位持续保持在30~50 cm。

1.3 指标测定

2007年2月的本底调查在上述4块样区中分别随机选择5个大小为2 m × 2 m的样方,调查测定样方中原有互花米草新生植株的株高、密度、地上生物量和地下生物量。测定土壤含水量、pH值、氧化还原电位和土壤电导率。

示范样地建成后的2007年3月至11月生长季节,在扬花期刈割+水位调节(C+W)的1号样区和单一水位调节(W)的2号样区内以及4号样区内的对照区(CK),分别随机选择面积为2 m × 2 m的样方,每种处理设5个重复,用于监测和评价控制互花米草的效果。分别在2007年4月(水淹处理30d)、5月(水淹处理50d)、6月(水淹处理100d)、9月(水淹处理190d)和10月末(水淹处理210d),野外测定和记录各处理样方

和对照样方内互花米草群落的叶面积指数(LAI)、植株密度和植株高度。6月的测定还包括互花米草群落的地上生物量和地下生物量,同时在各处理样方中随机抽取5株互花米草,测量记录其节数、节长、叶长和叶宽。9月的测定包括互花米草群落的地上生物量,并在各处理样方中随机抽取5株互花米草,测量记录花序节位、结穗率和每花序小穗数。10月底的测定包括互花米草群落的地上生物量(分为叶茎干重和穗干重)和地下生物量(活根系干重),并在各处理样方中随机抽取5株互花米草,测量记录花序节位、结穗率和每花序小穗数。

地上生物量测定的取样大小为0.5 m × 0.5 m。本底调查结果表明,互花米草地下生物量主要集中在地下0~40 cm,因此地下生物量的取样大小为0.25 m × 0.25 m × 0.4 m。地下生物量样品带回实验室,清洗干净后在80℃烘干至恒重并称重。叶面积指数采用LP80TM冠层分析仪测定。土壤pH值和氧化还原电位采用土壤原位测定仪测定;土壤含水量和土壤电导率采用DALTA_T WET土壤速测仪测定。

1.4 数据分析

所有数据均采用SPSS和EXCEL软件进行统计分析。用单因子方差分析(One-way ANOVA)中的最小显著性差异(LSD)对数据进行差异显著性检验。使用Origin、Excel和Photoshop软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 示范样地本底调查结果

从表1可以看出,建立示范样地之前,1、2、3和4号样区内互花米草群落密度、株高、地上生物量和地下生物量均不存在显著差异($P > 0.05$)。此时互花米草处于休眠期,生物量主要集中在地下部分,各样区内互花米草地下生物量分别占总生物量的97.6%、97.6%、98.2%和97.9%。本底土壤条件方面,除3号样区土壤氧化还原电位与1、2号样区有差异外,其他土壤指标如土壤含水量、pH值、电导率在各样区间都无显著差异。因此,可以得出结论,示范样地内1、2、3号和4号样区之间原植被和土壤条件比较一致,不存在显著差异。

表1 示范样地植被本底调查结果

Table 1 The results of background survey for the demonstration plot

项目 Item	1号样区 Area 1	2号样区 Area 2	3号样区 Area 3	4号样区 Area 4
互花米草株高 Height (cm)	23.4 ± 5.2 ^a	26.1 ± 6.3 ^a	21.7 ± 4.3 ^a	26.4 ± 5.5 ^a
互花米草密度(株/m ²) Density (ind/m ²)	284 ± 194 ^a	383 ± 132 ^a	289 ± 157 ^a	290 ± 42 ^a
互花米草地上生物量 Aboveground biomass (g/m ²)	37.74 ± 6.91 ^a	38.95 ± 6.96 ^a	28.47 ± 5.43 ^a	34.45 ± 5.98 ^a
互花米草地下生物量 Belowground biomass (g/m ²)	1529.34 ± 428 ^a	1584.57 ± 457 ^a	1528.24 ± 398 ^a	1581.5 ± 402 ^a
土壤含水量 Soil moisture (%)	59.4 ± 2.2 ^a	59.1 ± 1.4 ^a	58.6 ± 2.1 ^a	57.9 ± 2.4 ^a
土壤pH Soil pH	7.44 ± 0.32 ^a	7.78 ± 0.51 ^a	7.62 ± 0.29 ^a	7.56 ± 0.35 ^a
土壤氧化还原电位 Soil redox potential (mV)	24.3 ± 4.6 ^a	26.3 ± 3.8 ^{ab}	36.7 ± 4.3 ^c	33.6 ± 3.7 ^{bc}
土壤电导率 Soil conductance (ms/m)	795 ± 58 ^a	770 ± 41 ^a	862 ± 79 ^a	803 ± 75 ^a

不同字母表示在0.05水平差异显著 The different letters indicate significant differences at $P < 0.05$ level

2.2 扬花期刈割与水位调节处理控制互花米草生长的效果

图2显示了不同时期示范样地内扬花期刈割+水位调节(C+W)处理和单一水位调节(W)处理治理互花米草的效果。其中A为3月份修筑围堰建立示范样地,B为7月份扬花期刈割1号样区,C为9月份的示范样地,D为当年生长季末期11月份的示范样地。

示范样地建立后的4月和5月份(水淹处理30d和50d),扬花期刈割+水位调节(C+W)和单一水位调节(W)处理样区内互花米草的株高与对照(CK)均无显著差异($P > 0.05$)。6月份时,C+W处理样区内互花米草的株高已显著高于对照(CK)($P < 0.05$)。然而,在7月初(互花米草扬花期)齐地刈割1号样区内互花米草的地上部分后,C+W样区内互花米草地上部分再无新生(图2B、C和D),此时W处理样区内互花米草株高虽高于对照区,但其差异并不显著($P > 0.05$)(图3A)。

与对照相比,C+W处理和W处理在4~6月份显著降低了互花米草群落的叶面积指数(LAI)和植株密

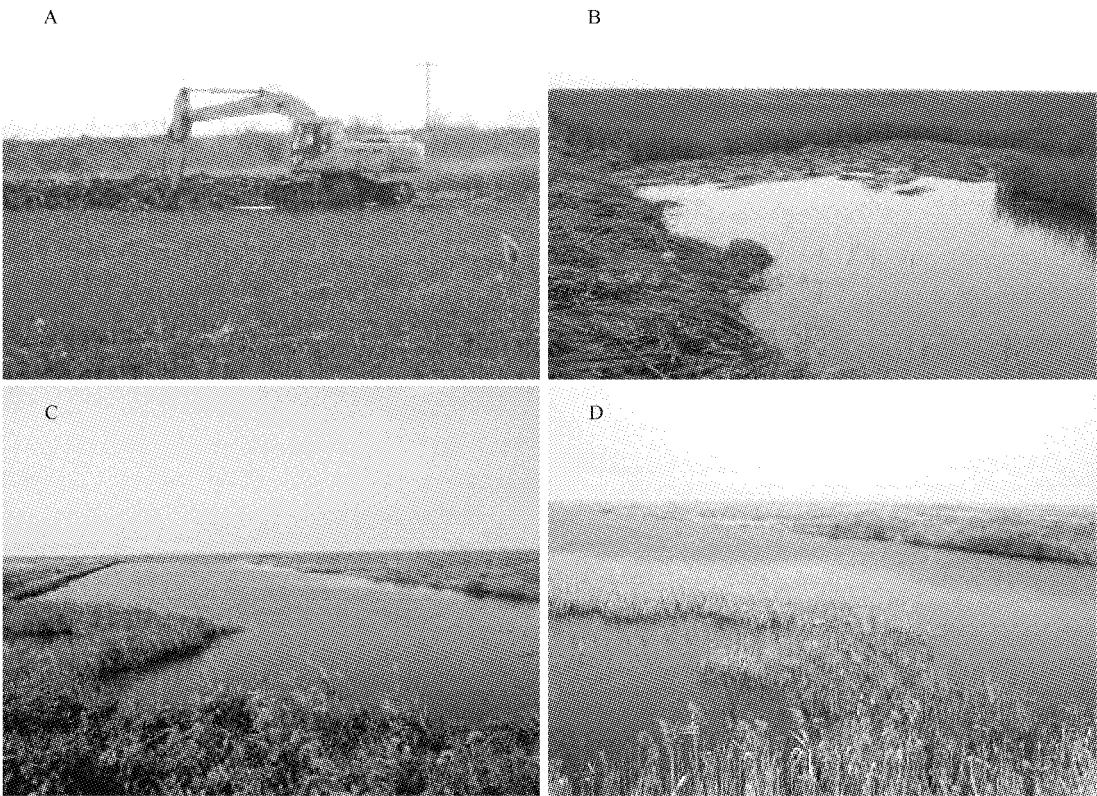


图2 示范样地内不同时期治理互花米草的效果

Fig. 2 The effects of control treatments on the growth of *Spartina alterniflora* at the demonstration plot during different period
A 为3月;B 为7月;C 为9月;D 为11月 A in March; B in July; C in September and D in November

度($P < 0.05$) (图3B和C)。7月以后,C + W样区内互花米草地上部分均无再生长,至处理当年的生长季末期(10月,水淹处理210d),W处理样区内互花米草群落的LAI和密度分别比对照低45.9%和26.5% (图3B和C)。

水位调节处理后的6月份(水淹处理100d)测定表明,C + W处理和W处理样区内互花米草植株的节数均显著多于对照,分别比对照高150%和50% ($P < 0.05$),叶宽分别高于对照265%和139% ($P < 0.05$),而节长和叶长与对照相比其差异并不显著($P > 0.05$) (表2)。

表2 扬花期刈割与水位调节(C + W)和单一水位调节(W)处理对互花米草形态学特性的影响

Table 2 Effects of cutting at blooming period plus waterlogging and waterlogging alone on the morphological characteristics of *Spartina alterniflora*

生殖特性 Morphological characteristics	C + W	W	CK
节数(节) Node number (No.)	15 ± 2 ^a	9 ± 1 ^b	5 ± 1 ^c
节长 Node length (cm)	9.10 ± 1.31 ^a	8.21 ± 1.57 ^a	6.89 ± 1.19 ^a
叶长 Leaves length (cm)	40.43 ± 7.06 ^a	39.38 ± 7.49 ^a	48.22 ± 9.89 ^a
叶宽 Leaves width (cm)	2.10 ± 0.57 ^a	2.03 ± 0.18 ^a	0.85 ± 0.13 ^b

不同字母表示在0.05水平差异显著 The different letters indicate significant differences at $P < 0.05$ level

2.3 示范样地内互花米草生物量动态

在互花米草尚处于休眠期的2月份,示范样地内C + W处理、W和对照区(CK)内互花米草的总生物量分别1567.08、1623.52 g/m²和1616.01 g/m²。此时各样区内互花米草地上生物量和地下生物量不存在显著差异($P > 0.05$),互花米草生物量主要集中在地下部分,各样区内互花米草地下生物量分别占总生物量的

97.6%、97.6%和97.9%(表1,图4)。

互花米草处于快速生长期的6月份,C+W处理、W和对照区内互花米草的总生物量分别为1277.52、1360.85 g/m²和1406.1 g/m²,略低于2月份的总生物量,各样区之间总生物量不存在显著差异($P > 0.05$)。此时,地下储存的和地上部分光合作用固定的物质和能量被大量用于互花米草的营养生长。然而,与对照区内互花米草地上生物量占总生物量的57.2%相比,C+W处理和W处理地上生物量占总生物量分别为72.3%和72.8%。淹水胁迫显著增加了互花米草的地上生物量,同时显著降低了互花米草的地下生物量($P < 0.05$)(图4)。

至当年生长季末期的10月份,C+W处理样区内的互花米草无再生现象,生物量测定结果表明地上和地下部分生物量已完全死亡并开始腐烂。而W处理和对照区内互花米草的总生物量则分别为3161.2 g/m²和4037.4 g/m²,其中地上生物量占总生物量分别为68.7%和46.5%(图4)。此时,地上部分光合作用固定的物质和能量被大量储存到互花米草的地下部分,以用于来年的生长。W处理的淹水胁迫显著降低了互花米草的总生物量,增加了互花米草的地上生物量,同时降低了互花米草的地下生物量($P < 0.05$)(图4)。

2.4 试验处理对互花米草有性生殖的影响

至当年生长末期的10月份,W处理和对照样区内互花米草分配于有性生殖的生物量占总生物量都为3.0%(图4)。然而,从表3可以看出,至试验当年的9月份,W处理样区内互花米草的花序节位和每花序小穗数与对照无显著差异($P > 0.05$),但结穗率则显著低于对照($P < 0.05$)。生长末期的10月份,W处理样区内互花米草的花序节位和每花序小穗数与对照仍无显著差异,但结穗率仍然显著低于对照($P < 0.05$)。水淹处理延迟了互花米草结穗的时间,而且也显著降低了结穗率。

表3 扬花期刈割与水位调节和单一水位调节处理对互花米草生殖特性的影响

Table 3 Effects of cutting at blooming period plus waterlogging and waterlogging alone on the reproduction characteristics of *Spartina alterniflora*

生殖特性 Reproduction characteristics	9月 September		10月 October	
	W	CK	W	CK
花序节位 Inflorescence node (node)	12 ± 3 ^a	11 ± 1 ^a	12 ± 2 ^a	11 ± 1 ^a
结穗率 Fruiting (%)	12 ± 2 ^a	65 ± 13 ^b	34 ± 11 ^a	67 ± 16 ^b
小穗数/花序 Spikelets number/ Inflorescence (No./Inflorescence)	8 ± 6 ^a	7 ± 4 ^a	8 ± 4 ^a	8 ± 4 ^a

不同字母表示在0.05水平差异显著 The different letters indicate significant differences at $P < 0.05$ level

3 讨论和结论

植物生长需要大量水分,但过多水分会阻碍植物与大气环境间的气体交换,造成植物组织缺氧,影响植物

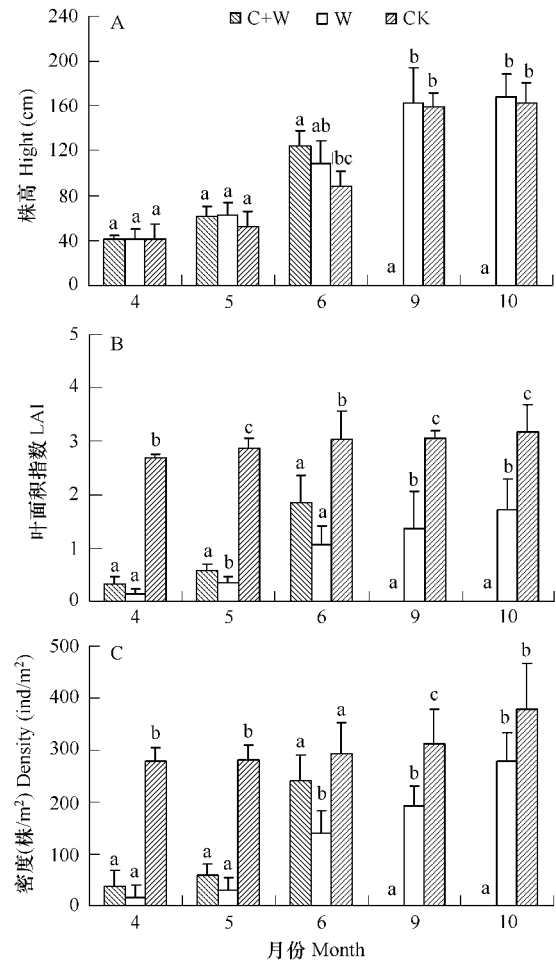


图3 扬花期刈割+水位调节(C+W)和单一水位调节(W)处理对互花米草生长的影响

Fig. 3 Effects of cutting at blooming period plus waterlogging and waterlogging alone on the growth of *Spartina alterniflora* (Error bars represent \pm SE; $n = 5$; the different letters indicate significant differences at $P < 0.05$ level.)

的生长发育。由于土壤淹水,植物根际 O_2 浓度降低,形成低氧和无氧状态,而这种低氧胁迫会直接或间接影响植物正常生理代谢和生长发育^[16]。而对于一些耐淹的湿地植物,它们往往会通过自身调节和改变生物量在植物不同器官的分布,即累积性 CO_2 净同化产物的分配来适应淹水环境^[17~20]。一些研究表明,高水位会促进滩涂植物大红树 (*Rhizophora mangle*)、木榄 (*Bruguiera gymnorhiza*) 等这类红树林物种幼苗茎高的增长,以适应潮滩环境^[21,22]。肖强等在实验室利用人工模拟方法研究互花米草在不同没顶水淹时间处理下生长和生理指标变化的结果表明,在高水位淹水条件下,互花米草生长会受到抑制^[23]。而陈琳等利用淡水或咸水浇灌抑制互花米草生长和繁殖的研究表明,持续的淡水或咸水浇灌不但不会降低甚至可能会促进互花米草生物量的积累,并促使其采取快速的克隆繁殖^[24]。Montemayor 等人研究表明,盐沼米草属植物 *Spartina pectinata* 可以很好地适应淹水和高盐度的滩涂环境,具有较高的存活率和较强的耐盐和耐淹能力^[25]。

本研究中,采用单一水位调节处理(W)可以在一定程度上影响互花米草的生长和繁殖,在生长季持续淹水条件下,样区内互花米草地上部分生物量占总生物量比重明显高于对照,节间也有明显伸长现象,节长和节数都高于对照。这说明作为入侵种的盐沼植物互花米草具有较强的适应淹水能力,利用单一的水淹控制技术并不能快速有效地控制互花米草。

以往的研究也表明,单一使用刈割技术,若不选择合适的季节刈割,不但不能有效控制互花米草,反而有促进其生长的作用^[13]。李贺鹏等的研究提出,在生长期(5~8月份)刈割互花米草,其生长特征表现为低补偿,在扬花期(7月份)内进行物理干扰对互花米草的抑制效果最好,为最佳刈割时间^[14]。Bishop 在美国华盛顿州 Willapa 海湾的研究也表明,刈割互花米草的最佳时间应该在扬花期前后(6~8月份)^[26]。从本项研究中互花米草生物量分配的结果来看,随着互花米草快速生长,6~8月份互花米草的生长逐渐由营养生长转向生殖生长,地下部分的物质和能量储备减少,此时刈割可最大程度把互花米草光合作用固定和转化的物质和能量从系统中去除。然而,利用单一的扬花期刈割也不能有效快速地控制互花米草^[14]。

本研究应用了刈割与水位调节的集成技术,在互花米草生长的关键扬花期,刈割互花米草的地上部分,同时配合一定水位的持续淹水。此时互花米草不但失去了原有地上部分进行光合作用提供物质和能量,而且此时地下部分的物质和能量储备最少,植物抗逆性最弱,无法迅速恢复再生长。在这种低氧环境中,残存的植株迅速失去生命活力。至当年生长季末期10月份(即刈割+水位调节处理后2~3个月份)的实地取样调查表明,样区内互花米草的地上部分和地下部分都已完全死亡并开始腐烂,说明已达到有效控制互花米草的效果。而且第2年的跟踪调查也证实,处理样区内互花米草无任何新生现象,且地下部已完全腐烂。证明了刈割与水位调节集成技术实现了快速有效治理互花米草的目的。

本项研究研发的扬花期刈割+水位调节集成技术是一项简单、成本低、有效、快速和适于大面积推广的治理互花米草的集成技术,可为沿海地区大范围防治互花米草扩散提供有效途径和技术支撑。同时,进行水位调节是通过修筑临时围堰来完成的,治理互花米草工程实施后,可在临时围堰处开口以恢复滩涂盐沼生境和植被。目前,在示范样地的C+W样区治理互花米草工程的基础上,正进行滩涂盐沼生境和植被的生态恢复试验,从而为崇明东滩自然保护区控制和治理互花米草入侵提供管理和决策依据。

References:

- [1] Simenstad C A, Thom R M. *Spartina alterniflora* (smooth cordgrass) as an invasive halophyte in Pacific Northwest estuaries. *Hortus Northwest*,

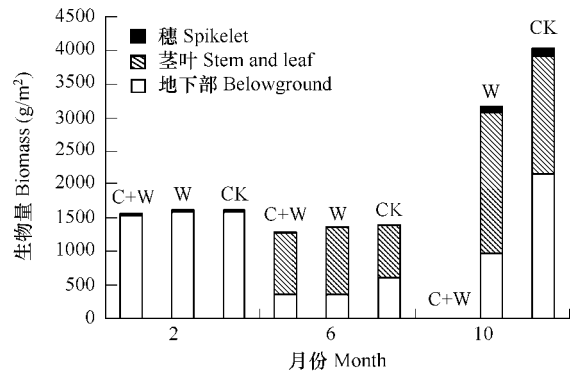


图4 扬花期刈割+水位调节(C+W)和单一水位调节(W)处理对互花米草生物量的影响

Fig. 4 Effects of cutting at blooming period plus waterlogging and waterlogging alone on the biomass of *Spartina alterniflora*

- 1995, 6: 9—40.
- [2] Chung C H, Zhuo R Z, Xu G W. Creation of *Spartina* plantations for reclaiming Dongtai, China, tidal flats and offshore sands. *Ecological Engineering*, 2004, 23: 135—150.
- [3] Zhi Y B, Li H L, An S Q, *et al.* Inter-specific competition: *Spartina alterniflora* is replacing *Spartina anglica* in coastal China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 74: 437—448.
- [4] Wang Q, An S Q, Ma Z J, *et al.* Invasive *Spartina alterniflora*: biology, ecology and management. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 2006, 44 (5): 559—588.
- [5] Deng Z F, An S Q, Zhi Y B, *et al.* Preliminary studies on invasive model and outbreak mechanism of exotic species, *Spartina alterniflora* Loisel. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2678—2686.
- [6] Li H P and Zhang L Q. Experimental study on physical controls of an exotic plant *Spartina alterniflora* in Shanghai. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2007, 6: 44—45.
- [7] Frid C L J, Chandrasekara W U, Davey P. The restoration of mud flats invaded by common cordgrass (*Spartina anglica* CE Hubbard) using mechanical disturbance and its effects on the macrobenthic fauna. *Aquatic Conservation: Marine Freshwater Ecosystem*, 1999, 9: 47—61.
- [8] Wu M Y, Hacker S, Ayres D, *et al.* Potential of *Prokelisia* spp. as biological control agents of English cordgrass *Spartina anglica*. *Biological Control*, 1999, 16(3): 267—273.
- [9] Patten K. Smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) control with imazapyr. *Weed Technology*, 2002, 16(4): 826—832.
- [10] Grevstad F S, Strong D R, Garcia-Rossi D, *et al.* Biological control of *Spartina alterniflora* in Willapa Bay, Washington using the planthopper *Prokelisia marginata*, agent specificity and early results. *Biological Control*, 2003, 27(1): 32—42.
- [11] Kriwoken L K, Hedge P. Exotic species and estuaries, managing *Spartina anglica* in Tasmania, Australia. *Ocean & Coastal Management*, 2000, 43: 573—584.
- [12] Major W W, Grue C E, Grassley G M, *et al.* Mechanical and chemical control of smooth cordgrass in Willapa Bay, Washington. *Journal of Aquatic Plant Management*, 2003, 41: 6—12.
- [13] Wang Z C, Zhang Y M, Pan X Y, *et al.* Effects of winter burning and cutting on aboveground growth and reproduction of *Spartina alterniflora*: a field experiment at Chongming Dongtan, Shanghai. *Biodiversity Science*, 2006, 14(4): 275—283.
- [14] Li H P, Zhang L Q. An experimental study on physical controls of an exotic plant *Spartina alterniflora* in Shanghai, China. *Ecological Engineering*, 2008, 32(1): 11—21.
- [15] Huang H M, Zhang L Q, Yuan L. A study on the spatio-temporal dynamics of salt marsh vegetation for Chongming Dongtan National Nature Reserve, Shanghai. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(10): 4166—4172.
- [16] Wang T, Wang S P, Guo S R, *et al.* Research advances about Hypoxia-stress damage and Hypoxia-stress-adapting mechanism in plants. *Acta Botanica Borealioccidentalia Sinica*, 2006, 26(4): 847—853.
- [17] Anderson P H, Pezeshki S R. Effects of flood pre-conditioning on responses of three bottomland tree species to soil waterlogging. *Journal of Plant Physiology*, 2001, 158: 227—233.
- [18] Bange M P, Milroy S P, Thonghai P. Growth and yield of cotton in response to waterlogging. *Field Crops Research*, 2004, 88: 129—142.
- [19] Darby F A, Turner R E. Below and aboveground *Spartina alterniflora* production in a Louisiana salt marsh. *Estuaries and Coasts*, 2008, 31: 223—231.
- [20] Pezeshki S R. Wetland plant responses to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany*, 2001, 46: 299—312.
- [21] Ellison A M, Farnsworth E J. Simulated sea level change alters anatomy, physiology, growth, and reproduction of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.). *Oceanographic Literature Review*, 1998, 45(6): 1003—1004.
- [22] Lai T H, He B Y. Growth and physiological responses of *Bruguiera gymnorrhiza* seedlings to waterlogging stress. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26 (5): 650—656.
- [23] Xiao Q, Zheng H L, Ye W J, *et al.* Effects of waterlogging on growth and physiology of *Spartina alterniflora*. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(9): 1025—1028.
- [24] Chen L, Deng Z F, An S Q, *et al.* Alternate irrigation of fresh and salt water restrains clonal growth and reproduction of *Spartina alterniflora*. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(4): 645—651.
- [25] Montemayor M B, Price J S, Rochefort L, *et al.* Temporal variations and spatial patterns in saline and waterlogged peat fields; 1. Survival and growth of salt marsh graminoids. *Environmental and Experimental Botany*, 2008, 62: 333—342.
- [26] Bishop W. Pers. Comm. Department of Agriculture, Laboratory Services Division, PO Box 42560, Olympia, 1998, WA 98504—2560.

参考文献:

- [4] 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. *植物分类学报*, 2006, 44 (5): 559~588.
- [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. *生态学报*, 2006, 26(8): 2678~2686.
- [6] 李贺鹏, 张利权. 外来植物互花米草的物理控制实验研究. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2007, 6: 44~45.
- [13] 王智晨, 张亦默, 潘晓云, 等. 冬季火烧与收割对互花米草地上部分生长与繁殖的影响. *生物多样性*, 2006, 14(4): 275~283.
- [15] 黄华梅, 张利权, 袁琳. 崇明东滩自然保护区盐沼植被时空动态研究. *生态学报*, 2007, 27(10): 4166~4172.
- [16] 汪天, 王素平, 郭世荣, 等. 植物低氧胁迫伤害与适应机理的研究进展. *西北植物学报*, 2006, 26(4): 847~853.
- [22] 赖廷和, 何斌源. 木榄幼苗对淹水胁迫的生长和生理反应. *生态学杂志*, 2007, 26(5): 650~656.
- [23] 肖强, 郑海雷, 叶文景, 等. 水淹对互花米草生长及生理的影响. *生态学杂志*, 2005, 24(9): 1025~1028.
- [24] 陈琳, 邓自发, 安树青, 等. 淡咸水轮换浇灌抑制互花米草的克隆生长和繁殖. *植物生态学报*, 2007, 31(4): 645~651.