

冬季火烧与收割对互花米草地上部分生长与繁殖的影响

王智晨 张亦默 潘晓云 马志军 陈家宽 李 博*

(复旦大学生物多样性科学研究所, 生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 上海 200433)

摘要: 自1995年首次在崇明东滩发现互花米草(*Spartina alterniflora*)以来, 该外来种已在东滩扩张成为最具优势的植物之一。作为东滩常见的两种人为干扰, 冬季火烧和收割可能会对互花米草的生长和繁殖有一定的促进作用, 并可能进一步促进互花米草的入侵。因此, 作者选择崇明东滩为实验地点, 探讨冬季一次性火烧和收割以及相对高程对互花米草生长与繁殖的影响。结果表明: 冬季火烧与收割能显著提高互花米草的植株密度和结穗率, 显著降低其植株基部直径, 即对其生长与繁殖有一定的促进作用, 原因可能在于这两种干扰使其生境改变, 光照条件得到改善; 从Wilks' λ 值的大小可看出, 与相对高程相比, 这两种干扰对互花米草生长繁殖的影响相对较小, 而且这两种干扰对互花米草的影响差异不显著。上述结果表明, 冬季火烧与收割将可能促进互花米草在东滩的入侵, 有必要采取措施加以管理。

关键词: *Spartina alterniflora*, 火烧, 收割, 生长, 繁殖, 崇明东滩

Effects of winter burning and cutting on aboveground growth and reproduction of *Spartina alterniflora*: a field experiment at Chongming Dongtan, Shanghai

Zhichen Wang, Yimo Zhang, Xiaoyun Pan, Zhijun Ma, Jiakuan Chen, Bo Li*

Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Institute of Biodiversity Science, Fudan University, Shanghai 200433

Abstract: Winter burning and cutting facilitate growth and reproduction of certain plant species. These two human disturbances occurred in winter as a result of economic activities at Chongming Dongtan, where saltmarsh cordgrass (*Spartina alterniflora*), an American native, has been naturalized. To test the hypothesis that these two disturbances can also facilitate the growth and reproduction of *S. alterniflora*, a simulated field experiment was carried out at Dongtan. At the same time, the effect of elevation was also considered in the experiment. We found that both winter burning and cutting, to a certain extent, promoted regeneration of *S. alterniflora*, as they significantly increased ramet density and heading ratio, and reduced culm diameter. This effect was probably caused by the changes of habitat and the improvement of light conditions due to the disturbances. The effects of the two disturbances on *S. alterniflora* were unexpectedly weaker than those of elevational variation based on Wilks' λ from multivariate ANOVA. Little difference occurred in the effects between the two disturbances. We can conclude that disturbances should be managed appropriately because they might facilitate invasion of *S. alterniflora*.

Key words: saltmarsh cordgrass (*Spartina alterniflora*), winter burning, cutting, growth, reproduction, Chongming Dongtan

崇明东滩位于崇明岛最东端, 地处长江淡水与 海水的交汇处, 是上海市辖区内发育最完善、规模

最大的潮汐滩涂生态系统。这里不仅具有丰富的野生动植物资源(栾晓峰等, 2002; 徐宏发和赵云龙, 2005), 还是候鸟在“东亚—澳大利亚”迁徙路线上重要的食物补充地和越冬地(徐宏发和赵云龙, 2005), 具有非常重要的生态服务功能。然而, 1995年首次发现的互花米草(*Spartina alterniflora*) (陈中义, 2004)却给东滩的生境造成了一定的威胁, 不仅使本地种芦苇(*Phragmites australis*)和海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*)受到排挤(秦卫华等, 2004), 造成生物多样性的丧失, 更对候鸟的栖息与捕食产生一定的不利影响(陈中义, 2004)。

火烧和收割是东滩常见的两种人为干扰形式。出于生产的需要, 当地居民时常会在秋冬季节火烧和收割湿地植物。研究表明, 火烧对多种湿地植物的生长繁殖都有一定的促进作用, 比如火烧可以显著提高海湾米草(*Gulf cordgrass*)叶生物量的分配比例(Angell, 1983), 促进 *Scirpus olneyi* 的萌发(Chabreck, 1976)与更新(Chabreck, 1981); 收割干扰对多种植物也具有类似的效果(Clark & Wilson, 2001)。芦苇是我国沿海滩涂的本地植物, 研究表明, 冬季火烧与收割可以提高芦苇的植株密度(Cowie *et al.*, 1992; Ostendorp, 1995)、生物量(Ostendorp, 1999)和开花率(Cowie *et al.*, 1992), 对芦苇的生长繁殖有一定的促进作用。据此我们假设, 与芦苇具有相似生境、同为根茎类禾草的互花米草, 其生长繁殖可能也会受到上述两种干扰形式的影响。

目前互花米草已给东滩生境造成一定的威胁, 虽然已提出诸多的治理方法(*Spartina* Task Force, 1994; Anonymous, 1997; Wu *et al.*, 1999; 刘建等, 2005), 但是由于生态系统的复杂性, 各种方法的效果均不理想。在东滩互花米草治理尚无有效措施的同时, 上述两种干扰形式是否会促进互花米草的生长繁殖, 并进一步促进其入侵? 基于这一问题, 我们在上海市崇明东滩设计实验, 探讨冬季一次性火烧与收割对互花米草密度、生物量、种子产量等诸方面的影响, 以期在互花米草入侵地对这两种人类干扰方式的管理提供科学依据。

1 实验方法

1.1 样地的选择

在东滩中部选择与海堤垂直、相距约1 km的南(S)、北(N)两条样带; 在每条样带的相对高潮位(H)、

相对中潮位(M)、相对低潮位(L)3个不同的高程各选择3块样地作为重复, 距海堤的距离分别约100 m、400 m、700 m(见图1)。作为重复的3块样地, 每相邻两块间距约50 m。每块样地上为单一的互花米草群落, 每块样地大小为9 m×3 m, 样地的方向随机。

1.2 实验处理方法

将每块样地分为3 m×3 m的3块样方, 中间一块作收割处理, 另两块分别作火烧处理和对照。为尽可能避开处理对迁徙鸟类的影响以及保证火烧的可操作性, 本实验处理在冬季进行, 具体时间为2005年1月20日。

(1)收割: 将预作收割处理的9 m²面积上的所有互花米草全部割除并移走, 包括前一年已枯萎的植株以及已萌发的新幼苗。

(2)火烧: 将预作火烧处理的9 m²面积上的互花米草割下, 并堆积于原地进行火烧, 直至其自然熄灭, 每块火烧样方用约1.5 L的0#柴油作助燃剂。

对每块作对照或已作处理的样方, 将其正中间1 m×1 m圈出用作后期观察与实验, 周围的8 m²作为缓冲带。

1.3 后期观察与测定

在2005年1月20日至2005年7月19日间, 对处理组 and 对照组互花米草的密度用人工计数的方法进行定期观察; 在2005年3月19日至2005年10月30日间, 对互花米草的高度进行定期测量。密度观察和高度测量的时间间隔均约为半个月。2005年7月5日, 使用LI-1400数据采集器对互花米草的冠层下相对光强(即冠层下绝对光强值与冠层上绝对光强值之比)进行测量。

2005年10月30日, 在每块样方用作观察与实验的1 m²中, 随机选择50 cm×50 cm对互花米草地上部分进行收获, 然后分地上部分生物量、植株基部直径、平均穗长、结穗率、种子产量分别进行测量。

所测定指标中, “密度”为1 m²样方上互花米草存活植株的总数量; “高度”为植株从地表到顶端的全长, 每样方随机测6株作平均值; “地上部分生物量”为所收获地上部分在电热鼓风干燥箱中80℃下烘至恒重后的干重值; “植株基部直径”为离收割切口约1 cm处的植株横截面的直径, 每样方随机测30株作平均值; “结穗率”为平均每100株植株所结穗子的数量。

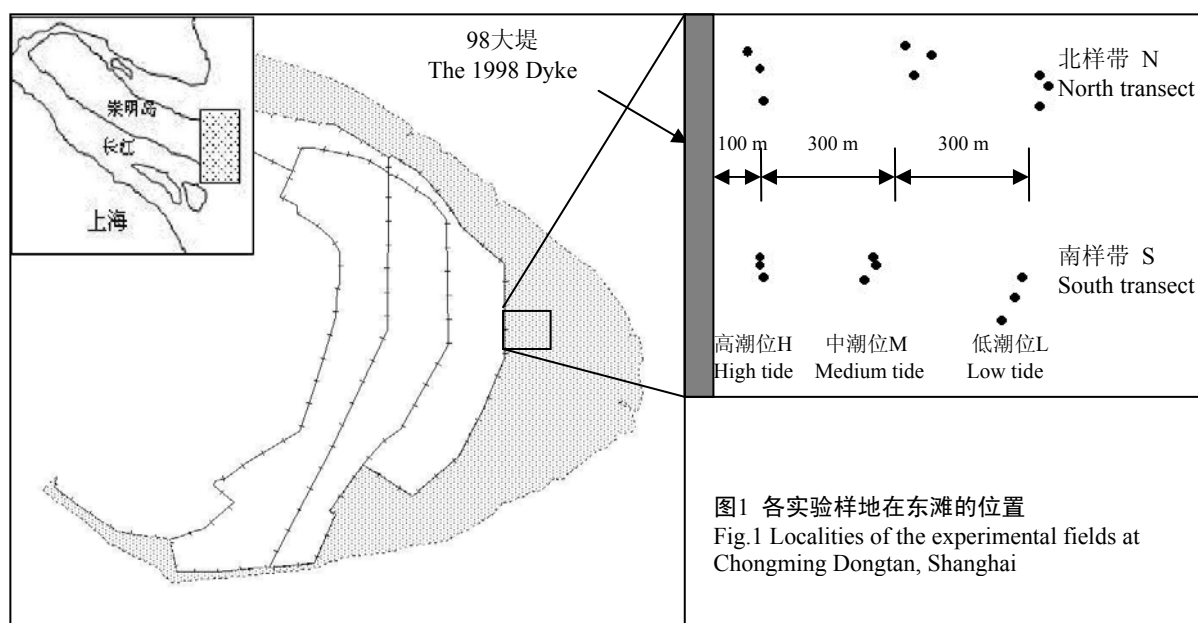


图1 各实验样地在东滩的位置
Fig.1 Localities of the experimental fields at Chongming Dongtan, Shanghai

1.4 数据统计

对所有参数, 进行以“处理”和“相对高程”为因子的多变量方差分析(multivariate ANOVA)和有重复的双因子方差分析(two-way ANOVA); 对互花米草密度随时间的变化, 作以时间为协变量的斜率齐性(homogeneity of slopes)分析。多重比较采用Duncan法。统计软件为STATISTICA 6.0 和SPSS 10.0 for Windows。作图软件为 SigmaPlot 2002 for Windows Version 8.0。

2 结果

2.1 实验处理和相对高程对互花米草的影响

互花米草各参数在两条样带间无显著差别($P_{\min} = 0.204$), 因此, 分布于两条样带上的互花米草样本可以看作来自同一个总体。火烧和收割处理首先改变了处理样方的光照条件, 在2005年7月5日, 两个处理组互花米草冠层下相对光强显著高于对照组 ($P = 0.002$), 但两个处理组之间的差异不显著 ($P = 0.895$)(图2)。

多变量方差分析(表1)显示, 实验处理($P < 0.001$)和相对高程($P < 0.001$)对互花米草的生长繁殖都有显著的影响。无论是与营养生长相关(植株高度、植株密度、地上部分生物量、植株基部直径)还是与生殖生长相关(平均穗长、结穗率、种子产量)的参数, 相对高程的Wilks' λ 值均小于实验处理,

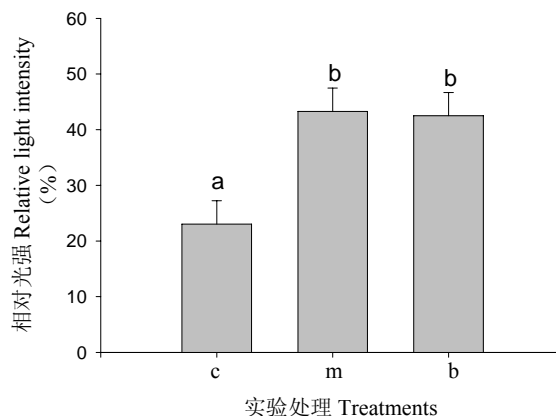


图2 不同实验处理间互花米草冠层下相对光强的比较
c: 对照组; m: 收割组; b: 火烧组

Fig. 2 The effects of different experimental treatments on relative light intensity under canopies of *Spartina alterniflora*. c, Control plots; m, Cut plots; b, Burned plots.

即相对高程对互花米草生长的影响较之实验处理要更大一些; “处理”和“相对高程”两因子间交互效应不显著 ($P = 0.935$), 即两个因子可以看作是相互独立的。

2.2 不同实验处理对互花米草的影响

通过双因子方差分析可知, 虽然火烧与收割对互花米草的植株高度 ($P = 0.849$)、地上部分生物量 ($P = 0.785$)、平均穗长 ($P = 0.781$) 和种子产量 ($P = 0.224$) 无显著影响, 但是显著提高了互花米草种群

表1 实验处理和相对高程对互花米草影响的多变量方差分析
Table 1 Multivariate ANOVAs for testing the effects of treatments and relative elevation on *Spartina alterniflora*

	参数数量 No. of parameters	处理 Treatment			相对高程 Relative elevation			处理×相对高程 Treatment×relative elevation		
		Wilks' λ	F	P	Wilks' λ	F	P	Wilks' λ	F	P
所有参数 All parameters	7	0.143	4.923	0.000	0.154	4.648	0.000	0.492	0.600	0.935
营养生长相关参数 Vegetative growth parameters	4	0.351	4.132	0.001	0.313	4.732	0.000	0.738	0.484	0.948
生殖生长相关参数 Reproductive parameters	3	0.376	5.258	0.000	0.340	5.956	0.000	0.821	0.430	0.946

表2 互花米草种子产量在不同处理间的成对t-检验
Table 2 Paired t-tests for comparing seed production of *Spartina alterniflora* between different treatments

	t值 t value	自由度 Degree of freedom	P值 P value
对照组 vs. 收割组 Control plots vs. cut plots	-2.285	17	0.043
对照组 vs. 火烧组 Control plots vs. burned plots	-2.063	17	0.064
收割组 vs. 火烧组 Cut plots vs. burned plots	0.705	17	0.496

的密度($P = 0.009$)和结穗率($P < 0.001$), 显著降低了植株茎秆的平均直径($P < 0.001$)(图3)。可见这两种处理方法对互花米草的更新(即通过无性繁殖)有显著影响。另外, Duncan多重比较显示, 对上述所采用的7个参数, 在这两种处理方法间的差异均不显著($P_{\min} = 0.535$)。

通过成对t-检验发现, 收割组的种子产量显著大于对照组(表2), 即收割对互花米草种子产量的增加有一定促进作用; 对其他参数的成对t-检验则与双因子方差分析的结果一致。

从时间序列的角度来看, 火烧和收割处理改变了互花米草植株密度在一个生长季内的增长模式。从图4a中可以看出, 未经任何处理的互花米草(对照组), 其密度在经历了一个缓慢增长期之后, 于2005年5月19日(第119天)达到最大值, 随后略有下降并最终稳定; 而经过火烧和收割处理的互花米草, 在2005年5月7日(第107天)达到最大值之前的增长速率是显著高于对照组的($P = 0.002$, 见表3)。尽管火烧组互花米草在实验最初的一段时间密度增长较缓慢, 但是Duncan多重比较显示, 就整个密度增长期而言(第0天至第107天), 两个处理组的密度增长速率并无显著差别($P = 0.796$); 在密度下降与稳定期(第107天至第180天), 两个处理组与对照组密

度的变化速率无显著差异($P = 0.117$)。
互花米草高度的增长速率则几乎不受两种处理方法的影响(图4b), 总的来看并无显著差异($P = 0.451$)。

2.3 不同相对高程对互花米草的影响

与火烧和收割处理相比, 相对高程对互花米草的影响要大一些, 也更为复杂(图3)。到实验结束之时, 除密度相对较低外, 低潮位互花米草的高度、植株基部直径、地上部分生物量均显著高于其他两个潮位, 可见总的来看, 低潮位互花米草的营养生长较中、高两个潮位的更好; 而中、高潮位之间除地上部分生物量差异显著外, 其余3个参数无显著差异。

就生殖生长而言, 也是低潮位的互花米草相对最好。除结穗率与高潮位的差异不大、并都显著高于中潮位的以外, 平均穗长和种子产量均为最高。中潮位互花米草的生殖生长最差, 平均穗长、种子产量与高潮位无显著差异, 而结穗率则显著低于另两个潮位。

3 讨论

3.1 火烧和收割处理对互花米草的影响

3.1.1 对营养生长的影响

研究表明, 适度干扰在一定程度上可以促进植

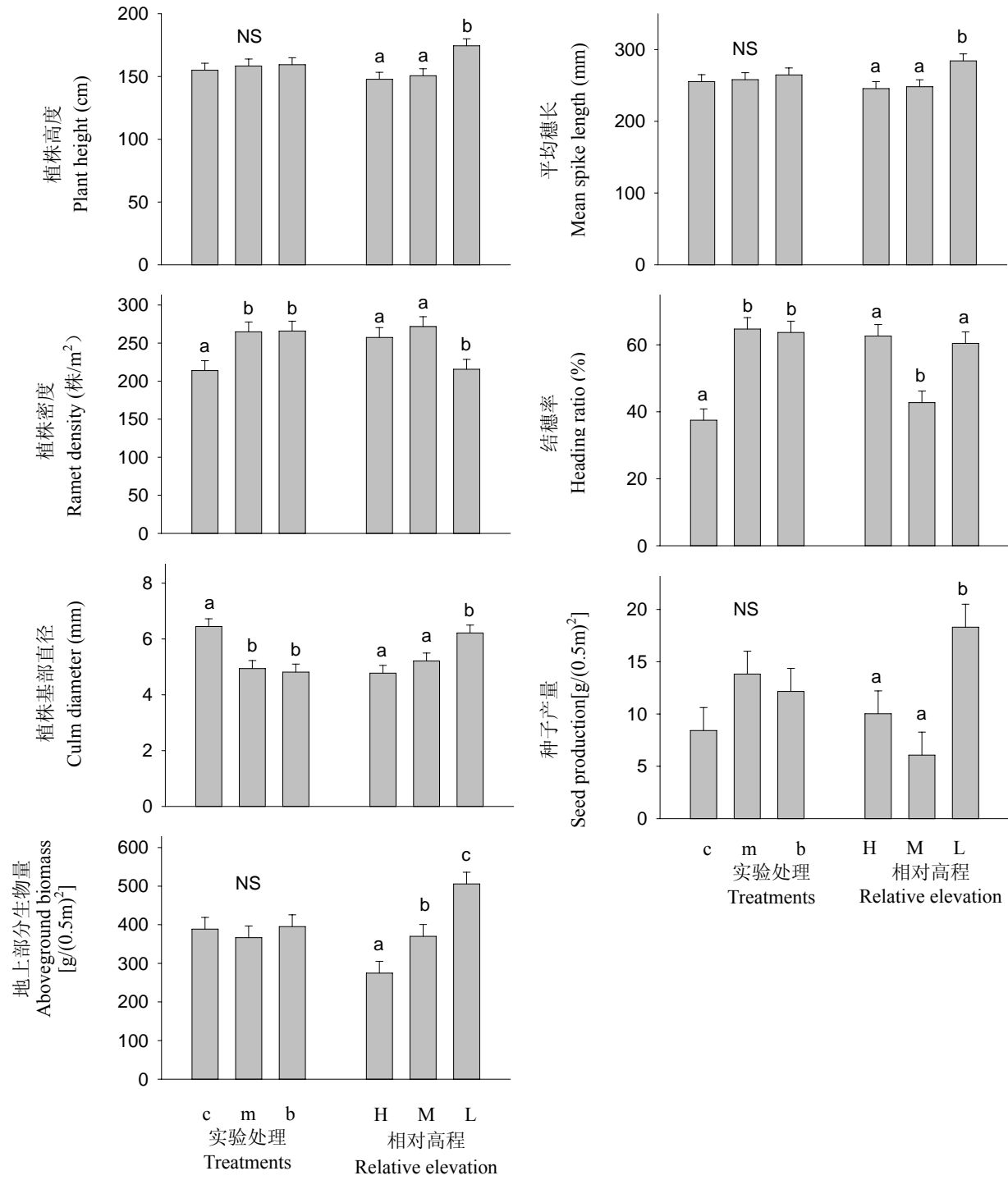


图3 火烧、收割处理与相对高程对互花米草营养生长和生殖生长的影响
植株密度数据取自2005年7月19日, 其余数据取自2005年10月30日; 图中误差棒为标准误, NS表示无显著差异; c: 对照组, m: 收割组, b: 火烧组; H: 相对高潮位, M: 相对中潮位, L: 相对低潮位。
Fig. 3 Effects of experimental treatments and relative elevation on vegetative growth and reproduction of *Spartina alterniflora*. The data of ramet density were collected on July 19th, 2005, and the other data were collected on October 30th, 2005. The vertical bars represent the standard errors, and NS denotes no significance. c, Control plots; m, Cut plots; b, Burned plots. H, High tide; M, Medium tide; L, Low tide.

表3 处理和时间对互花米草密度影响的斜率齐性分析
Table 3 ANCOVAs for testing homogeneity of slope of the effects of treatments and time on density of *Spartina alterniflora*

参数 Parameters	处理 Treatment			时间 Time			处理×时间 Treatments×time		
	df	F	P	df	F	P	df	F	P
密度增长期 Increasing period of density	2	14.0	0.000	1	196.6	0.000	2	9.1	0.002
密度下降与稳定期 Decreasing and stable period of density	2	10.79	0.004	1	72.01	0.000	2	2.75	0.117

密度增长期: 第0天至第107天; 密度下降与稳定期: 第107天至第180天。
The increasing period of density represents the period between the 1st and the107th days, and the decreasing and stable period of density represents the period between the 107th and the 180th days.

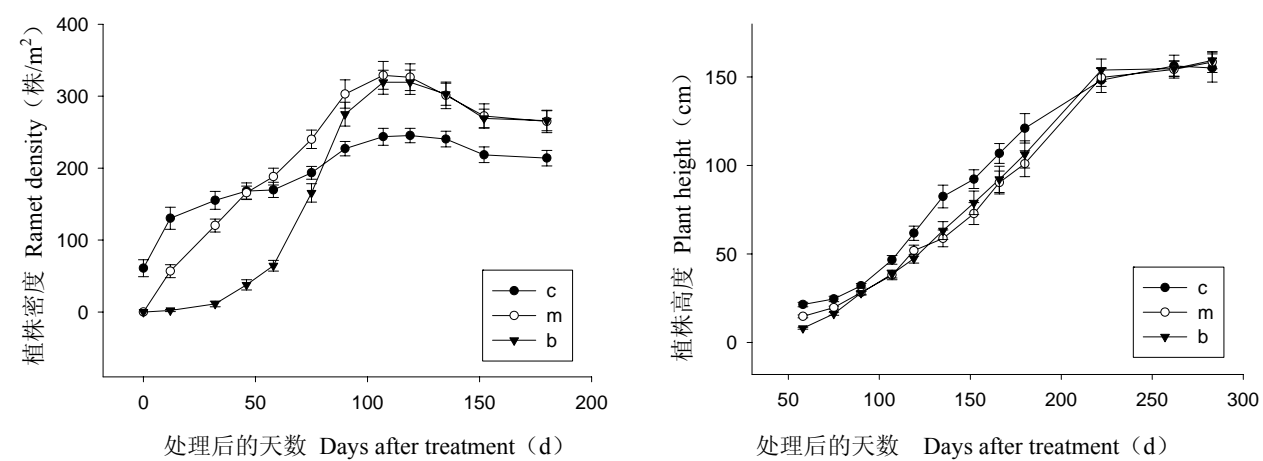


图4 互花米草植株的密度和高度随时间的变化
以处理当天(2005年1月20日)为第0天; 误差棒为标准误; c: 对照组, m: 收割组, b: 火烧组
Fig. 4 Changes in density and height of *Spartina alterniflora* over time (days after treatment). The vertical bars represent the standard errors. c, Control plots; m, Cut plots; b, Burned plots.

物的再生生长, 表现为补偿或超补偿生长现象(原保忠等, 2000)。比如在一定频度刈割干扰下, 杂交甘蔗的分蘖数会显著提高(林洁荣, 2005)。而冬季火烧对芦苇密度的增高也有显著的促进作用(Cowie *et al.*, 1992; Ostendorp, 1995)。虽然过度干扰会造成植物生长的不足补偿(施积炎等, 2000; 原保忠等, 2000), 但是互花米草作为入侵种, 能在奠基种群很小的情况下建群并成功入侵, 可见其抵抗干扰的能力较强(李博等, 2001)。因此, 本研究处理组互花米草植株密度的显著增高, 可能是在火烧或收割干扰下其生长所表现出的超补偿。一项在美国Louisiana州的关于互花米草的火烧实验也得出了类似的结果(Lindau *et al.*, 2003)。

火烧与收割处理去除了前一年的枯萎植株, 对互花米草的最大改变可能就是让实验处理后新萌发的幼苗能够获得充足的阳光, 图2也反映了这一

点。另一方面, 尽管火烧有可能造成土壤在pH值、电导率、离子浓度等方面的变化, 但这种变化主要集中在土壤表层0–5 cm范围内(Schmalzer & Hinkle, 1992), 而且由于潮汐和雨水的作用, 这种变化存在的时间可能很短, 对互花米草的影响很小。因此, 在密度增长期, 处理组密度增长速率高于对照组的主要原因可能是火烧和收割改善了光照条件, 使得处理组幼苗的死亡率下降, 因为互花米草幼苗的死亡率受光照影响很大(Metcalfe *et al.*, 1986)。实验处理的最初一段时间火烧组密度的增长也很缓慢, 原因可能是火烧的高温造成一部分已萌发但尚未露出土面的幼苗的死亡。但是这一阶段维持时间很短, 互花米草密度随即迅速增长, 超过对照组并达到与收割组相同的水平。在实验后期, 各组的密度均有所下降并最终稳定, 原因可能是郁闭的环境使得最后一批萌发的幼苗大量死亡。

火烧与收割使得处理组植株密度显著增高的同时,也使得各无性系分株对光照、生长空间、土壤养分等资源的争夺更加激烈。对互花米草大多数的无性系分株而言,其植株大小差异较小,且萌发时间都集中在春季,获得各种资源的机会相同。所以,因密度增高而导致分摊性竞争(scramble competition)(Nicholson, 1954)程度的加剧,可能是导致处理组植株直径显著小于对照组的一个重要原因。对照组植株平均直径较大,但是密度较小,因此在植株高度无显著差异的情况下,对照组和处理组生物量的差异并不显著。

3.1.2 对生殖生长的影响

植物在不同的生境中可能采取不同的能量分配对策(祖元刚等, 2002)。如,在高强度放牧干扰下,高寒草甸矮蒿草(*Kobresia humilis*)会把更多的能量用于有性生殖,提高其繁殖株在无性系分株中的比例(朱志红等, 1994),以适应生境的改变。种子传播是互花米草在开放生境扩散的一种主要方式;但是在其成熟种群中,种子幼苗却很难存活,所以互花米草主要靠无性系分株维持其种群。因此,火烧和收割所造成互花米草结穗率的提高,可能是在不同生境下能量分配对策的一种适应性改变。

在对不同处理下互花米草种子产量差异的显著性检验上,双因子方差分析和成对 t -检验的结果不很一致,这可能和东滩微环境的差异较大有关。成对 t -检验将处于同一样地内的不同样方作成对比较,消除了微环境差异对显著性检验的干扰,提高了检验的灵敏度。

3.2 不同相对高程对互花米草的影响

在离海堤700 m左右的范围内,东滩相对高程随离海堤距离的变化呈开口向上的抛物线型,离海堤300 m左右地势低洼,比离海堤100 m和620 m的地方相对高程要低13–62 cm(汪承焕, 未发表数据),可能因潮汐或降雨作用而长期积水。

本实验的相对低潮位离海最近,由于经常可以受到海水的补充,其营养相对富集(Adam, 1990),低潮位互花米草的营养生长和生殖生长相对中、高两个潮位均更好的原因可能就在于此。中潮位地势低洼,长期积水,其土壤温度可能要低于高潮位,而土壤温度的降低能对互花米草的开花结实起到一定的抑制作用(Ebasco Environmental, 1992): 这可能是中潮位结穗率低于高潮位的重要原因之一。

虽然中潮位长期受水淹,但是与高潮位的营养生长状况差异却很小,这可能是因为互花米草有发达的通气组织,能为其根部提供足够的氧气,并可提高其根围土壤的溶氧度(Mendelssohn & Postek, 1982),所以虽然长期水淹造成土壤含氧量降低,但并未对中潮位互花米草的营养生长构成限制。

3.3 对保护区管理的建议

综上所述,虽然冬季火烧和收割对互花米草生长与繁殖的影响不如相对高程更明显,但是这两种处理方法可以显著提高互花米草的植株密度和结穗率,对互花米草的生长、繁殖依然有一定的促进作用,因而有可能促进其对东滩湿地的入侵。因此,在找到有效的互花米草的治理方法之前,有必要采取措施降低这两种人为干扰的频率与强度,以尽可能缓解互花米草入侵对东滩生境的压力。

作为治理互花米草的两种方法(王蔚等, 2003),火烧一般在秋末种子成熟之前实施,主要目的在于防止种子的产生与扩散(Anonymous, 1997),与本实验火烧处理的季节有所不同;而收割治理一般一个生长季要进行数次(*Spartina* Task Force, 1994),而非本实验所设定的1次。因此若用上述两种方法治理互花米草,必须注意处理的频度、强度、季节、范围等,改变上述条件,相同的处理对植物造成的影响也可能不同(Diaz *et al.*, 1999)。

致谢: 顾永剑、汪承焕、郭海强、吴雨桐、裘伟等同学在整个实验过程中给予了不可缺少的帮助,在此对以上各位同学表示最衷心的感谢!

参考文献

- Adam P (1990) *Saltmarsh Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Angell RF (1983) *Winter Diet Composition and Quality, and Performance of Cattle Grazing Burned and Unburned Gulf Cordgrass Rangeland*. PhD dissertation, Texas A & M University, College Station.
- Anonymous (1997) Control of Smooth Cordgrass (*Spartina alterniflora*) on Willapa National Wildlife Refuge, Environmental Assessment. United States Fish and Wildlife Department, Willapa National Wildlife Refuge, Ilwaco, Washington, USA.
- Chabreck RH (1976) Management of wetlands for wildlife habitat improvement. In: *Estuarine Processes* (ed. Wiley M), pp. 226–233. Academic Press, New York.

- Chabreck RH (1981) Effect of burn date on regrowth rate of *Scirpus olneyi* and *Spartina patens*. *Proceedings of the Annual Conference Southeastern Associations of Game and Fish Agencies*, **35**, 201–210.
- Chen ZY(陈中义) (2004) *Ecological Impacts of the Introduced Spartina alterniflora Invasions in the Coastal Ecosystems of Chongming Dongtan, the Yangtze River Estuary* (互花米草入侵国际重要湿地崇明东滩的生态后果). PhD dissertation, Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Institute of Biodiversity Science, Fudan University, Shanghai. (in Chinese with English abstract)
- Clark DL, Wilson MV (2001) Fire, mowing, and hand-removal of woody species in restoring a native wetland prairie in the Willamette Valley of Oregon. *Wetlands*, **21**, 135–144.
- Cowie NR, Sutherland WJ, Dithlago MKM, James R (1992) The effects of conservation management of reed beds. II. The flora and litter disappearance. *Journal of Applied Ecology*, **29**, 277–284.
- Diaz S, Cabido M, Zak M, Carretero EM, Aranibar J (1999) Plant functional traits, ecosystem structure, and land-use history along a climatic gradient in central western Argentina. *Journal of Vegetation Science*, **10**, 651–660.
- Ebasco Environmental (1992) *Noxious Emergent Plant Environmental Impact Statement. Element A—Spartina: Distribution, Biology, and Ecology*. Final Report, submitted to Washington State Department of Ecology, Olympia.
- Li B(李博), Xu BS(徐炳声), Chen JK(陈家宽) (2001) Perspectives on general trends of plant invasions with special reference to alien weed flora of Shanghai. *Biodiversity Science* (生物多样性), **9**, 446–457. (in Chinese with English abstract)
- Lin JR(林洁荣) (2005) Effect of cutting intensity on Minmu 42, a forage variety of sugarcane hybrid. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University* (Natural Science Edition)(福建农林大学学报(自然科学版)), **34**, 514–517. (in Chinese)
- Lindau CW, Delaune RD, Jugsujinda A(2003) Marsh sensitivity to burning of applied crude oil. *Spill Science and Technology Bulletin*, **8**, 401–404.
- Liu J(刘建), Zhuang ZH(庄志鸿), Cai XM(蔡宣梅) (2005) Preliminary study on barren of *Spartina alterniflora* Loisel. *Plant Protection* (植物保护), **31**(1), 70–72. (in Chinese)
- Luan XF(栾晓峰), Xie YM(谢一民), Du DC(杜德昌), Xu HF(徐宏发) (2002) The ecological and management evaluation of Chongming Dongtan Birds Nature Reserve. *Journal of Shanghai Teachers University* (Natural Science) (上海师范大学学报(自然科学版)), **31**(3), 73–79. (in Chinese with English abstract)
- Mendelssohn IA, Postek MT (1982) Elemental analysis of deposits on the roots of *Spartina alterniflora* Loisel. *American Journal of Botany*, **22**, 904–912.
- Metcalf WS, Ellison AM, Bertness MD (1986) Survivorship and spatial development of *Spartina alterniflora* Loisel. (Gramineae) seedlings in a New England salt marsh. *Annals of Botany*, **58**, 249–258.
- Nicholson AJ (1954) Compensatory reactions of populations to stress, and their evolutionary significance. *Australian Journal of Zoology*, **2**, 1–8.
- Ostendorp W (1995) Effect of management on the mechanical stability of lakeside reeds in Lake Constance-Untersee. *Acta Oecologica—International Journal of Ecology*, **16**, 277–294.
- Ostendorp W (1999) Management impacts on stand structure of lakeshore Phragmites reeds. *International Review of Hydrobiology*, **84**, 33–47.
- Qin WH(秦卫华), Wang Z(王智), Jiang MK(蒋明康) (2004) Invasion of *Spartina alterniflora* Loisel to two wetland nature reserve in Changjiang Estuary. *Weed Science*(杂草科学), (4), 15–16. (in Chinese)
- Schmalzer PA, Hinkle CR (1992) Soil dynamics following fire in *Juncus* and *Spartina* marshes. *Wetlands*, **12**, 8–21.
- Shi JY(施积炎), Yuan XF(袁小凤), Ding GJ(丁贵杰) (2000) The reviews of study on water deficit compensation and over-compensation effect for crops. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*(山地农业生物学报), **19**, 226–233. (in Chinese)
- Spartina* Task Force (1994) *Spartina Management Program: Integrated Weed Management for Private Lands in Willapa Bay, Pacific County, Washington*. A report prepared for the Noxious Weed Board and County Commissioners, Pacific County, Washington.
- Wang W(王蔚), Zhang K(张凯), Ru SG(汝少国) (2003) The status of *Spartina* spp. invasions in the world and the advances controlling over them. *Marine Sciences* (海洋科学), **27**(7), 38–42. (in Chinese)
- Wu MX, Hacker S, Ayres D, Strong DR (1999) Potential of *Prokelisia* spp. as biological control agents of English cordgrass *Spartina anglica*. *Biological Control*, **16**, 267–273.

- Xu HF(徐宏发), Zhao YL(赵云龙) (2005) *The Report of Scientific Survey of the Chongming Dong Tan Migratory Bird Nature Reserve of Shanghai* (上海市崇明东滩鸟类自然保护区科学考察集). China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese with English abstract)
- Yuan BZ(原保忠), Zhao SL(赵松岭), Sun J(孙颀) (2000) Pot experiment on effect of clipping at seedling stage on spring wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **11**, 83–86. (in Chinese with English abstract)
- Zhu ZH(朱志红), Wang G(王刚), Zhao SL(赵松岭) (1994) Aboveground biomass dynamics of clonal ramet population of *Kobresia humilis* in alpine meadow under different stocking intensities. *Grassland of China* (中国草地), (3), 10–14. (in Chinese with English abstract)
- Zu YG(祖元刚), Wang WJ(王文杰), Yang FJ(杨逢建), Yu JH(于景华), Cao JG(曹建国), Zhao ZH(赵则海) (2002) Dynamic analysis and diversity of plant life cycle forms. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **22**, 1811–1818. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 张大勇 责任编辑: 周玉荣)