天津厚蟹植食对黄河三角洲高潮滩芦苇幼苗生长的影响

张俪文[1] 王安东[2] 赵亚杰[2] 宋建彬[2] 韩广轩[1*]

([1]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, 山东烟台 264003; [2]山东省黄河三角洲国家级自然保护区管理局, 山东东营 257091)

摘 要 上行因子、下行因子和种内种间作用均会影响盐沼植物的生长繁殖,然而上行效应的研究较多,而下行效应的研究则较少。芦苇(*Phragmites australis*)是黄河三角洲湿地的主要植被类型,而潮水芦苇则是重要和独特的芦苇种群。本研究旨在探讨下行效应对黄河三角洲潮水芦苇幼苗生长的影响。本研究于芦苇幼苗期在黄河三角洲自然保护区潮水芦苇区域设置24个2 m×2 m样方调查天津厚蟹取食对芦苇幼苗生长的影响。结果表明:潮水芦苇幼苗受了天津厚蟹的严重取食和破坏;24个样方中共有1139株芦苇幼苗,其中被轻度取食的芦苇幼苗有308株(占27.04%),被重度取食的芦苇幼苗有234株(占20.54%),未被取食的芦苇幼苗有597株(占52.41%);黄河三角洲潮水芦苇幼苗生长指标受到天津厚蟹取食的显著影响,天津厚蟹重度取食显著减少芦苇幼苗高度生长、减少幼苗叶片数和幼苗叶片长度。因此,在黄河三角洲潮水芦苇保护和管理时应该考虑下行因子对芦苇生长的影响。

关键词 下行效应; 盐沼; 动植物关系; 生物胁迫; 天津厚蟹

The effects of crab herbivory on the growth of *Phragmites australis* seedlings in a high marsh of the Yellow River delta.

ZHANG Li-wen[1], WANG An-dong[2], ZHAO Ya-jie[2], SONG Jian-bin[2], HAN Guang-xuan[1*] ([1]*Key Laboratory of Coastal Environmental Processes and Ecological Remediation, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai* 264003, *Shandong, China*; [2] *Administration Bureau of the Yellow River Delta National Nature Reserve, Dongying* 257091, *Shandong, China*).

Abstract: Bottom-up and top-down effects as well as intra- and inter-specific interactions drive plant growth and reproduction in the salt marsh. Compared to the bottom-up effect, however, the top-down effect has been largely overlooked. *Phragmites australis* is a dominant species, whose populations living in the high marsh are important and unique in the Yellow River Delta. To reveal the impacts of the top-down factor on the growth of *P. australis* seedlings in the high marsh, we investigated the effects of *Helice tientsinensis* herbivory on their growth by establishing 24 plots with a size of 2 m×2 m. The seedlings of *P. australis* were heavily grazed and damaged by crab. In all plots, 52.41% of seedlings were not consumed by crabs, 27.04% of seedlings were mildly fed, and heavy herbivory by crab accounted for 20.54%. The growth of seedlings was significantly influenced by crab herbivory. Heavy herbivory by crab strongly reduced the height, leaf number and leaf length of seedlings. The top-down effects should be considered in the protection and management of *P. australis* vegetation in the Yellow River Delta.

Key words: top-down effect; salt marsh; plant-animal relationship; biotic stress; *Helice tientsinensis*.

国家自然科学基金面上项目(31670533)和中国科学院青年创新促进会资助。
收稿日期: 2017-06-29 接受日期: 2017-12-25
*通讯作者 E-mail: gxhan@yic.ac.cn

盐沼植物生长繁殖、种群动态和群落结构等受上行效应(bottom-up effect)、下行效应(top-down effect)和植物种内种间相互作用的联合影响(Adam,1990;Bertness *et al.*, 1994;Silliman *et al.*, 2005;Daleo *et al.*, 2015;He *et al.*, 2016)。上行因子指通过物理胁迫或资源供给等非生物因素影响植物适合度和分布的因子,比如:盐度、潮汐、养分、水位和水分;而通过消费者取食行为影响植物生长繁殖和分布的因子称为下行因子(Bertness,2007)。

上行因子对盐沼植物的生长繁殖和分布的显著影响得到广泛的验证(Adam,1990;Bertness,2007),下行因子的重要性也得到一定的论证。He 等(2016)通过整合分析研究发现,盐沼内植食性动物的取食行为(包括鸟、蟹、蜗牛、螺、昆虫等)降低了植物的存活率、密度、繁殖、高度和地上生物量,还调节种间作用和影响植物分布。但是目前下行因子对盐沼植物的影响研究存在着地域不平衡,主要集中在美洲盐沼湿地。动物植食作用导致美国盐沼植被退化(Silliman *et al.*, 2005;Holdredge *et al.*, 2009;Schultz *et al.*, 2016),也影响加拿大(Jefferies *et al.*, 2006)和南美(Alberti *et al.*, 2008;Alberti *et al.*, 2010;Alberti *et al.*, 2011;Daleo *et al.*, 2011;Daleo *et al.*, 2015)盐沼植物生长、繁殖和分布。但对于东亚盐沼,动物植食作用对植物影响的研究较少(李旭林等, 2010;盛强, 2011;He *et al.*, 2015)。He 等(2015)研究发现,黄河三角洲盐沼优势种盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)和盐角草(*Salicornia europaea*)的生长和分布除了受潮汐、盐分等上行效应控制外,蟹类植食的下行效应也起到关键性作用。盛强(2011)研究发现长江口盐沼高程较高的芦苇(*Phragmites australis*)和莎草科(Cyperacea)植物相互作用受到蟹类植食的调节。

黄河三角洲湿地是黄河与渤海交汇而形成的滨海湿地,是中国暖温带最年轻、增长速率最快、最广阔的河口-滨海湿地生态系统。其具有丰茂的植被、丰富的渔业资源、也是鸟类重要的迁徙驿站和越冬栖息地,为人类提供了诸多的生态系统服务,比如:防风暴、海岸线保护、海产品生产和旅游资源等等。芦苇是黄河三角洲湿地重要的植被类型,大面积分布于黄河三角洲河口湿地、非潮汐湿地和盐沼。位于盐沼高潮滩的芦苇在这里称为潮水芦苇,相对其他生境的芦苇种群,潮水芦苇种群面积在黄河三角洲湿地少,却蕴藏着比其他生境芦苇种群高的遗传多样性和比较独特的遗传结构(未发表数据)。因此,研究影响潮水芦苇生长因素能够为黄河三角湿地潮水芦苇的保护提供基础理论支持。

然而,目前大多数研究集中在上行因子对黄河三角洲湿地芦苇形态结构(韩鹏等,2011)、生理生态(谢涛等,2009)、生长(管博等,2014;Guan *et al.*, 2017)和种群特征(崔保山等,2006)的作用,这些研究表明,芦苇生长、繁殖和分布受到盐度、水文条件和养分等上行因子的影响比较大;但很少有研究关注下行因子对芦苇生长的影响。芦苇幼苗时期由于其茎叶比较幼嫩,更容易受到蟹类的取食和破坏。另外,幼苗时期是植物生长特别重要的阶段,该时期植物生长的好坏将影响其整个年度的初级生产力。为了探讨下行因子对黄河三角洲潮水芦苇幼苗生长的影响,本文通过样方调查方法,研究了植食性蟹类(天津厚蟹)对黄河三角洲潮水芦苇幼苗的取食情况和不同程度蟹类取食对芦苇幼苗的生长指标的影响。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于山东省东营市境内的黄河三角洲国家级自然保护区大汶流管理站。该区域的气候类型为暖温带气候,年平均气温为 11.7~12.6 ℃,年平均降雨量为 530~630 mm,大多数降雨发生在 7 月和 8 月,年平均蒸发量为 1750~2430 mm,潮汐为非规则半月潮和半日潮。黄河三角洲潮间带植被呈条带状分布,互花米草(*Spartina alterniflora*)分布在低潮滩,盐地碱蓬和芦苇分布在中高潮滩。高潮滩芦苇区域每月受到 1~2 次潮水浸淹。天津厚蟹(*Helice tientsinensis*)是黄河三角洲潮间带的优势种,从低潮滩到高潮滩均有分布,以植食性为主。除了天津厚蟹外,在高潮滩还有沈氏厚蟹(*Helice tridens*)分布,而低潮滩和光滩有日本大眼蟹(*Macrophthalmus japonicus*)分布(贺强,2013)。据观察,研究区的高潮滩大多数是天津厚蟹,植食性昆虫很少,至今未发现食草哺乳动物。

1.2 研究方法

本研究于 2017 年 5 月 16 日(芦苇幼苗期)在黄河三角洲国家级自然保护区大汶流管理站的高潮滩芦苇区域(37°43′32.3″N,119°13′55.61″E)进行样方调查,共建立 24 个 2 m×2 m 样方,样方之间距离 10 m 以上,用便携式土壤电导率仪(ECTeatr 11)测定

样方内土壤深度 20 cm 的电导率。测定样方内芦苇株数、高度、叶片长度(从顶端往下数第二个叶片的长度,因为该叶片一般是植株最长叶片)和叶片数;并记录蟹类取食程度:无被取食(在数据分析中,用"A"表示),被轻度取食(被取食但低于 2/3 植株有明显的攫食痕迹;用"B"表示),被重度取食(2/3 以上植株有明显的攫食痕迹;用"C"表示)。

1.3 数据分析

芦苇幼苗密度(这里的密度是指 2 m×2 m 样方内芦苇的株数)对被取食株数和被取食株数比例的影响分析时采用了线性回归方法。对不同被取食程度对芦苇幼苗生长指标的影响数据分析时,由于数据不平衡,不符合正态分布而且方差不齐,采用非参数统计方法 Kruskal-Wallis 进行检验以及非参数多重比较(Multiple comparison test after Kruskal-Wallis)。芦苇幼苗生长指标的相关性分析使用 Pearson 相关分析。运用 R 软件(R i386 3.3.3 version)中的"stats"和"pgirmess"程序包进行统计分析。

2 结果与分析

所调查样方的植被为单优芦苇种群,24 个样方共有芦苇 1139 株;其中被轻度取食的芦苇有 308 株(占 27.04%),被重度取食的有 234 株(占 20.54%),未被取食的芦苇有 597 株(占 52.41%)。24 个样方中,芦苇株数为 26~72 株,平均 46 株。芦苇幼苗平均高度为(48.08±0.57) cm;平均叶片数为(3±0);平均叶片长度为(17.39±0.16) cm。

结果表明:未被取食芦苇株数、被轻度取食株数、被重度取食株数、总的被取食株数均与密度呈正相关(图 1);线性回归方程的回归系数分别为 0.317、0.299、0.390、0.683;R^2_{adj}分别为 0.135、0.521、0.261、0.468;P 分别为 0.043、<0.001、0.006、<0.001。而未被取食株数比例、被轻度取食株数比例、被重度取食株数比例则与密度无显著关系(图 2);线性回归方程的回归系数分别为-0.456、0.139、0.316;R^2_{adj}分别为 0.073、0.004、0.048;P 分别为 0.107、0.306、0.155。从上述结果可知:未被取食株数比例随密度增加有降低趋势,而被轻度取食株数比例和被重度取食株数比例则有增加趋势(图 2)。

芦苇幼苗高度、叶片长度和叶片数有很强的相关性,高度和叶片数的 Pearson 相关性系数为:0.700(P<0.001);高度和叶片长度的 Pearson 相关系数为 0.860(P<0.001);叶片数和叶片长度的Pearson相关系数为 0.726(P<0.001)。

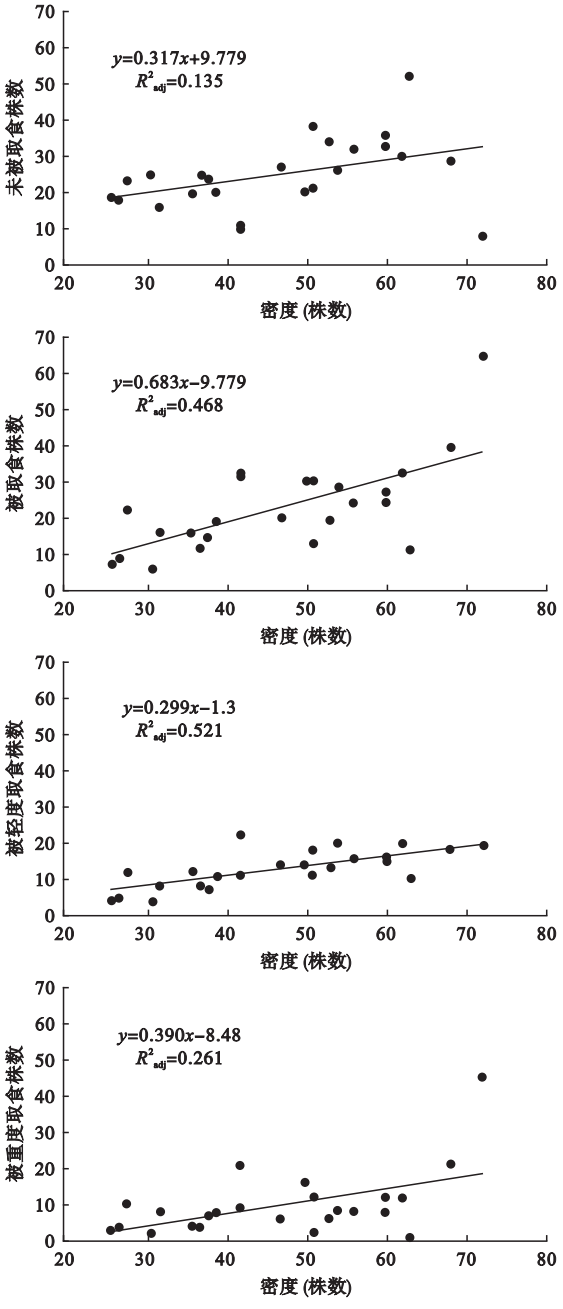


图 1 被取食芦苇株数与密度的关系

Fig.1 The relationship of number of seedlings grazed by crab and *P. australis* density

24 个样方土壤电导率平均值为(10.93±0.33) mS · cm^{-1};土壤电导率与样方幼苗密度(P = 0.354)、样方幼苗平均高度(P = 0.902)、平均长度(P=0.626)、平均叶片数(P=0.154)均无显著相关。

蟹类取食程度显著影响芦苇幼苗高度、叶片数和叶片长度。与无取食(A)和轻度取食(B)相比,蟹类重度取食(C)显著影响芦苇幼苗高度、叶片数和叶片长度(表 1 和图 3);而与无取食相比,蟹类轻

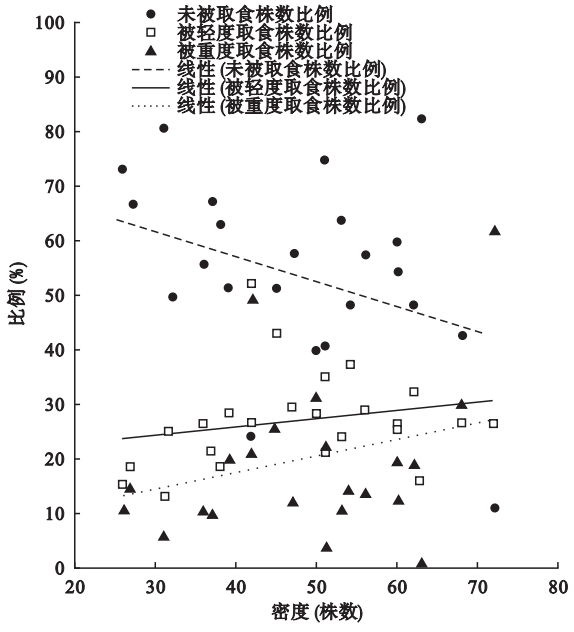


图 2 被取食芦苇幼苗株数比例与密度关系

Fig. 2 The relationship of the proportion of seedlings grazed by crab in the total individuals and *P. australis* density

度取食对芦苇幼苗高度和叶片数无显著影响,但显著增加了芦苇幼苗的叶片长度(图 3)。因此,芦苇幼苗只有被蟹类重度取食时,其生长才被抑制。

3 讨 论

盐沼植被受多种因素共同控制(Bertness 2007; He *et al.*, 2016),对于黄河三角湿地,上行效应(水盐条件)和种间种内相互作用对植物适合度和分布的作用非常重要(Cui *et al.*, 2011; He *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2017)。本研究发现,黄河三角洲潮水芦苇幼苗生长与样方土壤盐度(上行因子)无显著相关,而受到蟹类取食(下行因子)的显著影响,其影响程度和蟹类取食程度有关。蟹类重度取食对芦苇幼苗叶片的破坏性表现为两方面:一方面是蟹类通过螯攫取芦苇叶片,取食其中一部分;另一方面

表 1 蟹类取食程度对芦苇幼苗生长指标影响的非参数统计检验分析结果

Table 1 The non-parametric statistic test result of the influence of crab herbivory on the growth of *Phragmites australis* seedlings

变量	变异来源	Kruskal-Wallis χ^2	自由度 (*df*)	*P*
芦苇幼苗高度	被取食程度	21.061	2	<0.001
芦苇幼苗叶片数	被取食程度	44.442	2	<0.001
芦苇幼苗叶片长度	被取食程度	44.216	2	<0.001

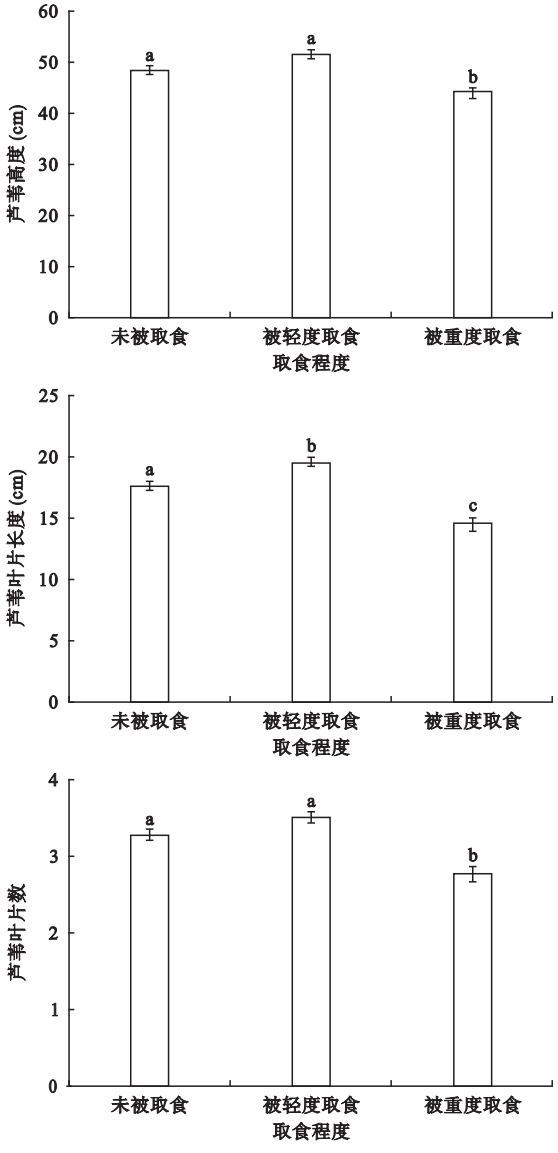


图 3 蟹类取食程度对芦苇幼苗生长的影响

Fig.3 The influence of crab herbiovy levels on the growth of *P. australis* seedlings.

相同的字母(a、b、c)表示在置信水平为 0.05 时,多重比较没有显著差异,不同的字母则表示多重比较有显著差异。误差线表示± SE。

是,叶片中未被取食的部分往往被螯撕裂(作者观察)。这种破坏性很强的蟹类取食方式显著减缓芦苇幼苗高度生长、减少幼苗叶片数和幼苗叶片长度,所以下行效应对黄河三角洲高潮滩芦苇生长的负面影响不容忽视。这一结果与前人的研究结果一致,盐沼植食性动物使得美洲盐沼米草的生物量大幅度降低(Silliman *et al.*, 2001; Silliman *et al.*, 2002; Daleo *et al.*, 2015)。除了芦苇外,黄河三角洲盐沼的优势种盐地碱蓬和盐角草的生长和分布也受到了蟹类取食的强烈影响(He *et al.*, 2015),蟹类取食抑制了竞争优胜种盐地碱蓬在低潮滩洼地生长,从而促

进了竞争劣势种盐角草在洼地的分布,是两个物种能在低潮滩共存的机制之一,提高了低潮滩的物种多样性。而且蟹类取食阻碍了退化盐地碱蓬植被的恢复,蟹类大量地吃掉了恢复湿地的盐地碱蓬幼苗,使得退化盐地碱蓬植被无法自然恢复,人工种植的盐地碱蓬也无法存活(He *et al.*, 2017)。人类活动导致蟹类的捕食者缺失会大量地增加盐沼蟹类的数量,导致初级生产者被严重啃食,会引起盐沼植被的退化(Altieri *et al.*, 2012;Bertness *et al.*, 2014)。在黄河三角洲国家级自然保护区盐沼,由于禁止人类捕捞蟹类,主要的捕食者是鸟类比如丹顶鹤(孙兴海,2016),所以黄河三角洲湿地鸟类的增加可以减少天津厚蟹种群数量,从而促进盐沼植被的生长和恢复。因此,今后在保护和管理潮黄河三角洲盐沼植被时,管理者应该考虑下行效应对植被的影响,通过食物网的调节比如增加捕食者来控制下行效应。

另外,蟹类重度摄食导致幼苗个体矮小还是蟹类只取食个体矮小的植株? 后者的可能性比较小。因为蟹类存在夜间攀爬植物取食的行为(赵鑫等,2016),春天芦苇幼苗的高度比较矮,它们爬上植株顶端取食的可能性比较大,然而天津厚蟹是否也有夜间攀爬芦苇取食的行为有待进一步研究。

相对于蟹类重度取食的负面影响,蟹类轻度取食则对芦苇幼苗高度和叶片数无显著影响,反而增加了幼苗叶片长度。这可能与植物对植食性作用响应策略有关,当植物受到动物啃食时,植物个体可能造成的破坏表现出耐受性,并通过改变分配光合产物或者体内已有的储备物质来实现补偿性生长(李博等,2016)。潮水芦苇幼苗在受到蟹类轻度取食后,可能对叶片进行了补偿性生长,增加了叶片长度,表现出一定的耐受性,但这种耐受性在被蟹类重度取食时不起作用。

未被蟹类取食的芦苇植株比例并不随样方植株密度的增加而增加,反而有减少的趋势;而被蟹类重度取食的株数比例具有随密度的增加而增加的趋势(图 2),但是被蟹类重度取食的株数则随密度的增加显著增加。因此,潮水芦苇幼苗个体间对蟹类取食的响应并没有表现出团体效益。团体效益是指植物种内个体间存在的正相关作用(Bertness *et al.*, 1994),在环境压力越强时,如果密度大,邻近个体之间能相互帮助从而减轻环境压力,因此提高个体的存活率和生长。比如:在干扰造成物理胁迫(盐度)加强时,黄河三角洲盐地碱蓬幼苗个体间存在团体效益(Zhang *et al.*, 2016)。这可能是本研究的环境压力类型为生物胁迫(蟹类取食),其和物理胁迫的性质不同引起。生物胁迫有可能导致团体负效益,因为芦苇幼苗密度越大可能吸引更多的蟹类来进食,进而导致被取食的植株数目越多,被取食的植株比例可能越高。

总之,下行效应会减缓黄河三角洲潮水芦苇幼苗的生长,今后应该更加关注下行效应对黄河三角洲乃至我国盐沼植被的影响。本研究只关注了芦苇幼苗期生长对下行效应的响应,今后还需通过长期监测和野外控制实验结合更深入地研究上行(盐沼富营养化作用)和下行效应(蟹类取食)是如何协同影响黄河三角洲盐沼芦苇生长和分布以及它们的相对重要性;研究芦苇对蟹类取食的防御策略:耐受还是防御? 蟹类和芦苇的协同进化关系;以及该生态系统食物网的能量流等。

致谢 感谢安徽农业大学生态学专业本科生傅增法和李朝令帮助野外调查。

参考文献

崔保山, 赵欣胜, 杨志峰, 等. 2006. 黄河三角洲芦苇种群特征对水深环境梯度的响应. 生态学报, **26**(5): 1533-1541.

管 博, 栗云召, 夏江宝, 等. 2014. 黄河三角洲不同水位梯度下芦苇植被生态特征及其与环境因子相关关系. 生态学杂志, **33**(10): 2633-2639.

韩 鹏, 吴 耿, 吴勇泉, 等. 2011. 芦苇形态结构对黄河三角洲不同生境的响应. 湿地科学, **9**(2): 185-190.

贺 强. 2013. 黄河口盐沼植物群落的上行、种间和下行控制因子(博士学位论文). 上海: 上海交通大学.

李 博, 张大勇, 王德华(主译). 2016. 生态学——从个体到生态系统(第四版)// Begon M, Towsend CR, Harper JL(著). Ecology: From Individuals to Ecosystem (Forth edition). 北京: 高等教育出版社: 256.

李旭林, 彭逸生, 万 如, 等. 2010. 两种相手蟹对不同红树植物叶片取食的偏好性. 生态学报, **30**(14): 3752-3759.

盛 强. 2011. 崇明东滩不同高程上蟹类对植物种间关系的影响——局域尺度"环境压力梯度假说"的实验性验证(硕士学位论文). 上海: 复旦大学.

孙兴海. 2016. 黄河三角洲丹顶鹤迁徙期食物组成及对滩涂蟹类取食的季节性差异研究(硕士学位论文). 沈阳: 辽宁大学.

谢 涛, 杨志峰. 2009. 水分胁迫对黄河三角洲河口湿地芦苇光合参数的影响. 应用生态学报, **20**(3): 562-568.

赵 鑫, 熊李虎. 2016. 隐秘螳臂相手蟹攀爬芦苇行为的昼夜变化. 动物学杂志, **51**(3): 423-433.

Adam P. 1990. Salt Marsh Ecology. New York: Cambridge Uni-

versity Press.

Alberti J, Casariego AM, Daleo P, *et al.* 2010. Abiotic stress mediates top-down and bottom-up control in a Southwestern Atlantic salt marsh. *Oecologia*, **163**: 181-191.

Alberti J, Cebrian J, Casariego AM, *et al.* 2011. Effects of nutrient enrichment and crab herbivory on a SW Atlantic salt marsh productivity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **405**: 99-104.

Alberti J, Escapa M, Iribarne O, *et al.* 2008. Crab herbivory regulates plant facilitative and competitive processes in Argentinean marshes. *Ecology*, **89**: 155-164.

Altieri AH, Bertness MD, Coverdale TC, *et al.* 2012. A trophic cascade triggers collapse of a salt-marsh ecosystem with intensive recreational fishing. *Ecology*, **93**: 1402-1410.

Bertness MD. 2007. Atlantic Shorelines: Natural History and Ecology. Princeton: Princeton University Press.

Bertness MD, Brisson CP, Coverdale TC, *et al.* 2014. Experimental predator removal causes rapid salt marsh die-off. *Ecology Letters*, **17**: 830-835.

Bertness MD, Callaway R. 1994. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology & Evolution*, **9**: 191-193.

Cui BS, He QA, An YA. 2011. Community structure and abiotic determinants of salt marsh plant zonation vary across topographic gradients. *Estuaries and Coasts*, **34**: 459-469.

Daleo P, Alberti J, Bruschetti CM, *et al.* 2015. Physical stress modifies top-down and bottom-up forcing on plant growth and reproduction in a coastal ecosystem. *Ecology*, **96**: 2147-2156.

Daleo P, Alberti J, Iribarne O. 2011. Crab herbivory regulates re-colonization of disturbed patches in a southwestern Atlantic salt marsh. *Oikos*, **120**: 842-847.

Guan B, Yu JB, Hou AX, *et al.* 2017. The ecological adaptability of *Phragmites australis* to interactive effects of water level and salt stress in the Yellow River Delta. *Aquatic Ecology*, **51**: 107-116.

He Q, Altieri AH, Cui BS. 2015. Herbivory drives zonation of stress-tolerant marsh plants. *Ecology*, **96**: 1318-1328.

He Q, Cui BS, Bertness MD, *et al.* 2012. Testing the importance of plant strategies on facilitation using congeners in a coastal community. *Ecology*, **93**: 2023-2029.

He Q, Silliman BR. 2016. Consumer control as a common driver of coastal vegetation worldwide. *Ecological Monographs*, **86**: 278-294.

He Q, Silliman BR, Liu ZZ, *et al.* 2017. Natural enemies govern ecosystem resilience in the face of extreme droughts. *Ecology Letters*, **20**: 194-201.

Holdredge C, Bertness MD, Altieri AH. 2009. Role of crab herbivory in die-off of New England salt marshes. *Conservation Biology*, **23**: 672-679.

Jefferies RL, Jano AP, Abraham KF. 2006. A biotic agent promotes large-scale catastrophic change in the coastal marshes of Hudson Bay. *Journal of Ecology*, **94**: 234-242.

Schultz RA, Anisfeld SC, Hill TD. 2016. Submergence and herbivory as divergent causes of marsh loss in Long Island Sound. *Estuaries and Coasts*, **39**: 1367-1375.

Silliman BR, Bertness MD. 2002. Atrophic cascade regulates salt marsh primary production. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **99**: 10500-10505.

Silliman BR, van de Koppel J, Bertness MD, *et al.* 2005. Drought, snails, and large-scale die-off of southern US salt marshes. *Science*, **310**: 1803-1806.

Silliman BR, Zieman JC. 2001. Top-down control of *Spartina alterniflora* production by periwinkle grazing in a Virginia salt marsh. *Ecology*, **82**: 2830-2845.

Zhang LW, Wang BC. 2016. Intraspecific interactions shift from competitive to facilitative across a low to high disturbance gradient in a salt marsh. *Plant Ecology*, **217**: 959-967.

Zhang LW, Wang BC, Qi LB. 2017. Phylogenetic relatedness, ecological strategy, and stress determine interspecific interactions within a salt marsh community. *Aquatic Sciences*, **79**: 587-595.

作者简介 张俪文,女,1983年生,博士,滨海湿地植物生态学。E-mail: lwzhang@yic.ac.cn

责任编辑 李凤芹