

大叶藻实生幼苗的盐度适宜性*

徐 强 牛淑娜 张沛东** 张秀梅 方 超

(中国海洋大学水产学院, 山东青岛 266003)

摘 要 在实验室条件下,研究了 9 个不同盐度处理(5、10、15、20、25、30(对照)、35、40、45)对大叶藻实生幼苗存活和生长的影响,分析了大叶藻实生幼苗的盐度适宜性。结果表明:经 30 d 培养试验,盐度 5 和 10 处理组实生幼苗很快腐烂,仅存活 10 d,盐度 20~45 处理组的幼苗存活率在 49%~58%,显著高于盐度 5~15 处理组($P<0.05$);盐度 20 处理组幼苗的形态学特征和生长率各指标均达到最大值,其中叶鞘长、根长和根生长率显著高于对照组和其他处理组,单株总叶片面积和叶片生长率与对照组无明显差异,但显著高于盐度 15 处理组和高盐(35~45)处理组($P<0.05$)。适宜性分析表明,大叶藻实生幼苗盐度耐受范围较广,但适宜生长的盐度范围仅在盐度 20~30,最适生长盐度为 20。本研究结果为建立海草实生苗的人工培育技术提供了理论依据。

关键词 大叶藻; 幼苗; 盐度; 存活率; 生长率

中图分类号 S917.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2015)11-3146-05

Salinity suitability of *Zostera marina* seedlings. XU Qiang, NIU Shu-na, ZHANG Pei-dong**, ZHANG Xiu-mei, FANG Chao (College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, Shandong, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(11): 3146–3150.

Abstract: The effect of different salinities (5, 10, 15, 20, 25, 30 (control), 35, 40, and 45) on survival and growth of *Zostera marina* seedlings were examined under laboratory conditions, to determine their salinity suitability during a period of 30 days. The results showed that the seedlings exposed to salinities of 5 and 10 began to rot rapidly and all died during the first 10 days. Survival rate of seedlings under salinities of 20–45 ranged from 49% to 58%, which were significantly higher than those of seedlings under low salinities (5–15) ($P<0.05$). Seedling morphometrics and growth rate were greatest under salinity 20, in which sheath length, root length and root elongation rate of seedlings were significantly higher than those of seedlings attained in control and other salinity treatments ($P<0.05$). Total leaf area per shoot and leaf elongation rate under salinity 20 were not significantly different from those attained under control treatment ($P>0.05$) but significantly higher than those attained in salinities of 15, 35, 40 and 45 ($P<0.05$). Suitability analysis suggests that *Z. marina* seedlings can survive in a salinity range from 15 to 45; however, the suitable salinity range for their growth is from 20 to 30.

Key words: *Zostera marina*; seedling; salinity; survival rate; growth rate.

海草床是滨海三大典型生态系统之一,具有重要的生态功能,其生态服务价值可达 19004 US\$ $\text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,甚至高于红树林和珊瑚礁(Costanza *et al.*, 1997)。然而,自 20 世纪以来,受自然环境变迁和人类活动的影响,海草床在世界范围内呈现严重衰退趋势,有些地区海草床甚至已完全退化(Park *et*

al., 2007)。我国的海草床也已严重衰退,人为干扰是导致其退化的主要原因(郑凤英等, 2013)。随着理论研究和技术研发的不断深入,利用海草幼体(种子或幼苗)修复海草床退化生境逐渐成为研究热点(Orth *et al.*, 2010)。

植株的幼苗期是植物单株存活和种群扩展的决定性生活阶段,也是植物生活史中最关键和最敏感的时期,在这个时期植物个体对生态因子的变化最敏感,个体损失率最高(蒋高明, 2004; Peterson

* 海洋公益性行业科研专项经费项目(201305043)、山东省科技发展计划项目(2014GSF117003)和农业部部门预算项目(P813)资助。

** 通讯作者 E-mail: zhangpdsg@ouc.edu.cn

收稿日期: 2015-02-09 接受日期: 2015-06-19

et al., 2004)。盐度是影响海草分布、存活和生长的关键生态因子之一(Orth *et al.*, 2000; Salo *et al.*, 2014b), 其对海草幼体影响的研究主要集中在种子人工促萌方面(Caye *et al.*, 1986; Hootsmans *et al.*, 1987; Loques *et al.*, 1990; Kahn *et al.*, 2005), 有关实生幼苗的盐度适宜性鲜有报道。海草幼苗环境适宜性研究的欠缺, 不仅限制了海草幼苗全人工培育技术的发展, 也造成了目前单纯依赖自然海区种子播种而导致的低幼苗建成率和种子利用率(Orth *et al.*, 2009), 从而制约了海草床退化生境规模化修复工作的开展。

本研究以中国北方海域优势海草种类——大叶藻为对象, 在 20 ℃ 实验室条件下研究了 9 个不同盐度处理对其实生幼苗存活率、形态学特征和生长率的影响, 分析了实生幼苗的盐度适宜性, 得出其生长的最适盐度条件, 以期为实现海草幼苗的全人工培育和建立我国的海草床退化生境恢复技术提供参考。

1 材料与方法

1.1 种子采集与萌发

2009 年 7 月, 于山东省俚岛湾(37.22° N—37.23° N, 122.60° E—122.61° E) 采集大叶藻种子。采集过程参照 Orth 等(1994)所述方法进行。采集后, 将种子移入装有天然海水的广口瓶中运回实验室。先用海水充分冲洗种子, 去除杂质和未成熟种子, 然后挑选成熟饱满种子 1 万粒, 平均放入 10 个 250 mL 烧杯中, 加入 200 mL 等量天然砂滤海水(盐度 30~31), 置于 4 ℃ 恒温箱中萌发。萌发期间, 无光照, $DO > 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 每天用玻璃棒搅拌 2 次以减少真菌生成, 每两天换水一次; 每天观察种子萌发情况, 以胚根伸出种皮作为萌发标志(Hootsmans *et al.*, 1987), 将已萌发的种子挑出, 置于 20 ℃ 及天然砂滤海水环境中培养, 直至子叶长超过 5 mm。

1.2 实验设计与过程

水温 20 ℃ 条件下, 设置 9 个盐度处理组, 即 5、10、15、20、25、30(对照组)、35、40 和 45, 每个处理组 5 个重复。将 900 株平均子叶长为 $(9.04 \pm 0.47) \text{ mm}$ 的实生幼苗随机分成 45 份, 每份 20 株, 种植于 500 mL 烧杯底部铺设的 5 cm 厚细沙中, 每 5 个烧杯(重复)置于一个 35 cm×25 cm×30 cm(长×宽×高)的玻璃水槽中, 分别加入设定盐度的海水至水槽高 20 cm 处。各盐度梯度由蒸馏水和海水素(山东潍坊海佳海水晶厂)配制而成。将玻璃水槽置于光照培养

箱(GXZ-280D, 宁波江南仪器厂), 开始实验。实验持续 30 d。

实验期间, 光照强度控制在 $(46.5 \pm 5.2) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 光周期 12 L : 12 D, 水温 $(20 \pm 0.5) \text{ }^{\circ}\text{C}$, 溶解氧含量维持在 $6.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上, pH 值 8.3 ± 0.2 。每日 9:00 使用 LI-250A 光照计(美国 LI-COR 公司)、YSI 600QS 水质分析仪(美国 YSI 公司)、pHS-25 酸度计(上海精密科学仪器有限公司)分别对实验水体的光照强度、水温、溶解氧含量和 pH 值进行测定, 并调节至设定范围。每天换水 1 次, 换水量为实际水体的 50%。各玻璃水槽中的 5 个烧杯每天随机变换位置以减少光照误差。

1.3 样品收集与分析

实验结束时, 观察各处理组幼苗存活情况, 计算存活率(%), 并对全部存活幼苗进行形态学指标测定。将幼苗取出用干纱布擦干表面水分后, 分别测定地上组织的叶长(mm)、叶宽(mm)、叶鞘长(mm), 计数叶片数, 根据叶长、叶宽和叶片数计算单株总叶片面积($\text{mm}^2 \cdot \text{株}^{-1}$)和叶片生长率($\text{mm} \cdot \text{株}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)。然后分别测定地下组织的根长(mm), 计数根数, 计算根生长率($\text{mm} \cdot \text{株}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)。

1.4 数据分析

各处理组数据以平均值±标准误表示, 首先进行单因素方差分析(ANOVA), 差异显著时使用 Duncan 多重比较分析组间差异。以百分数表示的数据先除以 100 再经平方根和反正弦转换, 然后进行 ANOVA 分析。数据分析使用 SPSS 17.0 进行, 以 $\alpha = 0.05$ 作为差异显著水平。分析结果使用 Origin 8.5 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 存活率

盐度显著影响大叶藻实生幼苗的存活($P < 0.05$)(图 1)。盐度 5 和 10 条件下, 实生幼苗很快腐烂, 10 d 内全部死亡。盐度 20~45 处理组的幼苗存活率为 49%~58%, 显著高于盐度 5~15 处理组($P < 0.05$), 但这些盐度处理组之间无明显差异($P > 0.05$)。盐度 15 处理组幼苗的平均存活率仅为 27.5%, 显著低于盐度 20~45 处理组($P < 0.05$)。

2.2 形态学特征

盐度 5 和 10 处理组幼苗全部死亡, 因此分析了盐度 15~45 处理组幼苗的形态学特征。单因素方差分析表明, 盐度对幼苗地上组织的单株总叶片面

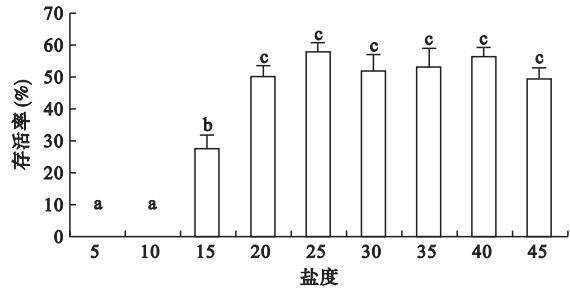


图 1 不同盐度对大叶藻实生幼苗存活率的影响
Fig.1 Effects of different salinities on survival rate of *Zostera marina* seedlings

误差线上的不同字母表示不同盐度间存在显著差异 ($P < 0.05$)。下同。

积和叶鞘长存在显著影响 ($P < 0.05$)。盐度 20 处理组幼苗的单株总叶片面积最大,显著高于其他处理组(对照组除外) ($P < 0.05$);盐度 15 处理组及高盐 (35~45) 处理组相对较小,且这些处理组之间无明显不同 ($P > 0.05$) (图 2a)。盐度 20 处理组幼苗的叶鞘长亦最大,显著高于其他处理组 ($P < 0.05$),是对照组的 1.2 倍;高盐 (35~45) 处理组相对较小,且这些处理组之间也无明显不同 ($P > 0.05$) (图 2b)。

单因素方差分析亦显示,盐度对幼苗地下组织的根长影响显著 ($P < 0.05$)。盐度 20 处理组幼苗的根长达到最大值 (13.8 mm),显著高于其他处理组 ($P < 0.05$),是对照组的 1.5 倍;盐度 45 处理组幼苗的根长最小,仅为 3.7 mm,显著低于其他处理组 ($P < 0.05$),是对照组的 40.2%;盐度 15、25、30 和

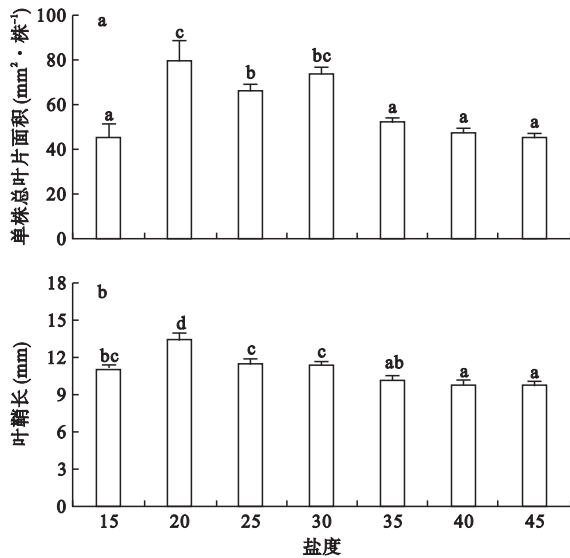


图 2 不同盐度对大叶藻实生幼苗单株总叶片面积 (a) 和叶鞘长 (b) 的影响
Fig.2 Effects of different salinities on total leaf area per plant (a) and sheath length (b) of *Zostera marina* seedlings

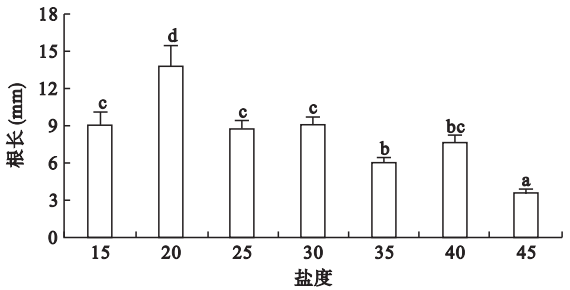


图 3 不同盐度对大叶藻实生幼苗根长的影响
Fig.3 Effects of different salinities on root length of *Zostera marina* seedlings

40 处理组之间则无明显不同 ($P > 0.05$) (图 3)。

2.3 生长率

盐度 20 处理组幼苗的叶片生长率最高,平均达到 $2.34 \text{ mm} \cdot \text{株}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,显著高于盐度 15 处理组和高盐 (35~45) 处理组 ($P < 0.05$),但与盐度 25 和 30 处理组无明显差异 ($P > 0.05$);盐度 15 处理组幼苗叶片生长率最低,显著低于盐度 20~30 处理组,是这些处理组平均值的 78%,但其与高盐 (35~45) 处理组之间无显著不同 ($P > 0.05$) (图 4)。

盐度对幼苗的根生长率亦有显著影响 (图 5)。盐度 20 处理组幼苗的根生长率最高,平均达到 $1.53 \text{ mm} \cdot \text{株}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,是对照组的 2.12 倍,显著高于其他

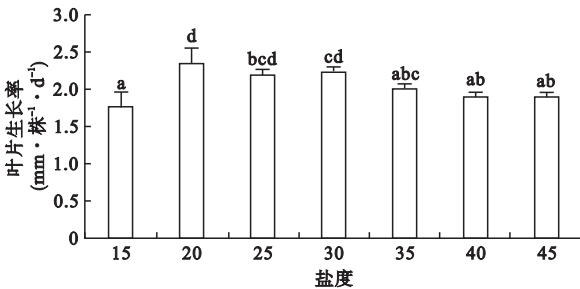


图 4 不同盐度对大叶藻实生幼苗叶片生长率的影响
Fig.4 Effects of different salinities on leaf elongation rate of *Zostera marina* seedlings

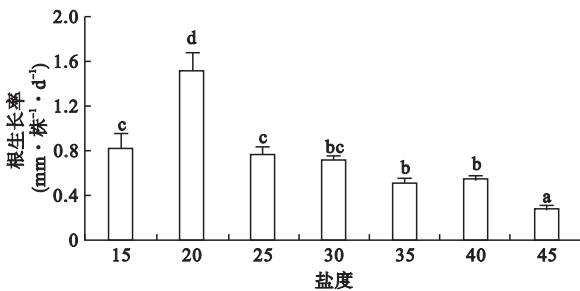


图 5 不同盐度对大叶藻实生幼苗根生长率的影响
Fig.5 Effects of different salinities on root elongation rate of *Zostera marina* seedlings

处理组($P<0.05$);盐度 15、25、35 及 40 处理组与对照组均无显著差异,根生长率在 $0.51\sim 0.82\text{ mm}\cdot\text{株}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$;高盐 45 处理组幼苗的根生长率最低,仅为对照组的 39%,显著低于其他处理组($P<0.05$)。

3 讨 论

目前有关海草盐度适宜性的研究绝大多数都集中于成熟植株,发现海草适宜生长的盐度范围通常较窄,且分布在不同海域的海草其适宜生长盐度范围也不一致。热带和亚热带海域海草适宜生长的盐度范围通常在盐度 30~40,而温带海域的矮大叶藻(*Zostera japonica*)和大叶藻的适宜生长盐度通常较低,在盐度 10~25,但温带海域地中海沿岸的丝粉藻(*Cymodocea nodosa*)和波喜荡草(*Posidonia oceanica*)的适宜生长盐度也较高,可达盐度 39(Kamermans *et al.*, 1999; Lirman *et al.*, 2003; Fernández-Torquemada *et al.*, 2005; Nejrup *et al.*, 2008; Sandoval-Gil *et al.*, 2012; Salo *et al.*, 2014a)。海草成熟植株盐度适宜性的差异除与分布海域盐度不同有关外,可能还与海草自身结构密切相关。有研究指出,热带海草泰莱藻(*Thalassia testudinum*)叶片表皮细胞质膜的包被程度大于大叶藻,而后者又高于川蔓藻(*Ruppia maritima*)(Jagels, 1983)。质膜包被程度越高植株耐盐能力越强,这可能是因为植株对环境盐度长期适应的结果。

有关海草实生幼苗的盐度适宜性研究还很少,但仅有的一些报道已经证实,海草幼苗适宜生长的盐度范围比成熟植株低且更窄,通常仅为单一盐度数值。如 Fernández-Torquemada 等(2013)研究了盐度 25~51 对波喜荡草实生幼苗存活与生长的影响,发现盐度 37 时幼苗存活率最高(90%),且生长也优于其他盐度处理组,特别是叶片数、叶长和根长等生长指标显著大于高盐度处理组;Strazisar 等(2013)研究了盐度 0~50 对川蔓藻幼苗存活和生长的影响,发现川蔓藻幼苗盐度耐受能力较强,设定的盐度范围内幼苗均能存活,但盐度 10 条件下存活率最高(88%),生长最优;Salo 等(2014b)在实验室条件下研究了低盐度 5、12.5 和 20 对大叶藻幼苗生长和存活的影响,发现随着盐度降低幼苗的生长和存活均明显下降,而盐度 20 是较适宜的生长盐度,但该研究并未探究高盐度对幼苗的影响。本研究则在盐度 5~45 处理条件下探讨了盐度对大叶藻实生幼苗的影响,结果表明,大叶藻实生幼苗的盐度耐受范围较

广,可达盐度 15~45,然而结合幼苗存活率、形态学特征和生长率的适宜性分析可知,其适宜生长的盐度范围在盐度 20~30,最适生长盐度仅为 20。研究结果与 Salo 等(2014b)的结论相一致。海草幼苗较窄的盐度适宜性可能是因为相对于种子期和植株成熟期,幼苗期对盐度变化更敏感的原因(Fernández-Torquemada *et al.*, 2013; Strazisar *et al.*, 2015)。酶解研究发现,大叶藻未成熟叶片表皮细胞的原生质体与陆生植物一致,为球形原生质体,其在海水中易破裂,因此与表皮细胞原生质体为非球形(韧性强,质膜表面积大,对渗透势和盐度变化耐受能力强)的成熟叶片相比,对盐度变化更敏感,耐受高盐度机能差(叶春江等,2002)。

Touchette(2007)系统总结了海草成熟植株的耐盐机理,发现成熟植株主要通过渗透调节、质膜 H^+ -ATPase、 Na^+/H^+ 反转运酶和离子区域化等一系列复杂的生理过程应对盐度变动引起的渗透胁迫、离子毒害和氧化胁迫等。海草非成熟叶和成熟叶的结构及耐盐机理可能存在差异。大叶藻非成熟叶是由一层膜质叶鞘包被而与海水隔离,而成熟叶则直接与海水接触,且两者表皮细胞的原生质体类型也不一样,因此其耐盐机理可能存在不同,如质膜 H^+ -ATPase 基因仅在成熟叶片表皮细胞表达,而在非成熟叶片表皮细胞几乎没有表达,从而表现为成熟叶片表皮细胞的 H^+ -ATPase 活性远高于未成熟叶片表皮细胞(Fukuhara *et al.*, 1996; 叶春江等, 2002)。然而,本文未深入开展大叶藻幼苗耐盐机理的研究,且目前有关海草幼苗应对盐度变化的生理响应过程研究亦很少,因此对其明确的耐盐机理尚不清楚。从仅有的报道可以推测,大叶藻幼苗在盐度 20 时生长最佳,可能与不同盐度对大叶藻植株光合作用和营养物质积累的影响有关。Salo 等(2014b)研究发现,20℃条件下盐度 20 处理组大叶藻幼苗的叶片蔗糖含量达到最大值,显著高于盐度 5 和盐度 12.5 处理组。Fernández-Torquemada 等(2013)也发现,高盐度对波喜荡草幼苗生长的抑制可能是由于幼苗光合速率下降及幼苗为维持细胞渗透势而增加能量损耗。Celdrán 等(2011)也已证实,光合作用不仅补偿幼苗的呼吸作用,还可避免种子淀粉储存的耗尽,因此在海草幼苗期具有重要作用。此外,盐度变动对幼苗的组织结构也有一定影响,明奕(2011)研究发现,盐度 17.5 条件下大叶藻幼苗根部气道不发达,只观察到少量薄壁细胞开始发生崩溃,气道数量

较少,直径较小,而盐度 52.5 条件下幼苗根部已形成发达的通气组织,但盐度变动对幼苗茎和叶结构无明显影响,只是盐度 52.5 时幼苗的茎表皮细胞更趋于扁平,细胞较小。对海草幼苗耐盐机理科学认识的不足表明相关研究仍需进一步加强与深入。

参考文献

- 蒋高明. 2004. 植物生态生理学. 北京: 高等教育出版社.
- 明 奕. 2011. 大叶藻生物量动态、解剖结构及耐盐生理特性的研究(硕士学位论文). 青岛: 中国海洋大学.
- 叶春江, 赵可夫. 2002. 高等植物大叶藻研究进展及其对海洋沉水生活的适应. 植物学通报, **19**(2): 184-193.
- 郑凤英, 邱广龙, 范航清, 等. 2013. 中国海草的多样性、分布及保护. 生物多样性, **21**(5): 517-526.
- Caye G, Meinesz A. 1986. Experimental study of seed germination in the seagrass *Cymodocea nodosa*. *Aquatic Botany*, **26**: 79-87.
- Celdrán D, Marin A. 2011. Photosynthetic activity of the non-dormant *Posidonia oceanica* seed. *Marine Biology*, **158**: 853-858.
- Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**: 253-260.
- Fernández-Torquemada Y, Sánchez-Lizaso JL. 2005. Effects of salinity on leaf growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **320**: 57-63.
- Fernández-Torquemada Y, Sánchez-Lizaso JL. 2013. Effects of salinity on seed germination and early seedling growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **119**: 64-70.
- Fukuhara T, Pak JY, Ohwaki Y, et al. 1996. Tissue-specific expression of the gene for a putative plasma membrane H⁺-ATPase in a seagrass. *Plant Physiology*, **110**: 35-42.
- Hootsmans MJM, Vermaat JE, Van Vierssen W. 1987. Seed-bank development, germination and early seedling survival of two seagrass species from The Netherlands: *Zostera marina* L. and *Zostera noltii* Hornem. *Aquatic Botany*, **28**: 275-285.
- Jagels R. 1983. Further evidence for osmoregulation in epidermal leaf cells of seagrasses. *American Journal of Botany*, **70**: 327-333.
- Kahn AE, Durako MJ. 2005. The effect of salinity and ammonium on seed germination in *Ruppia maritima* from Florida Bay. *Bulletin of Marine Science*, **77**: 453-458.
- Kamermans P, Hemminga MA, de Jong DJ. 1999. Significance of salinity and silicon levels for growth of a formerly estuarine eelgrass (*Zostera marina*) population (Lake Grevelingen, The Netherlands). *Marine Biology*, **133**: 527-539.
- Lirman D, Cropper WP. 2003. The influence of salinity on seagrass growth, survivorship, and distribution within Biscayne Bay, Florida: Field, experimental, and modeling studies. *Estuaries*, **26**: 131-141.
- Loques F, Caye G, Meinesz A. 1990. Germination in the marine phanerogam *Zostera noltii* Hornemann at Golfe Juan, French Mediterranean. *Aquatic Botany*, **38**: 249-260.
- Nejrup LB, Pedersen MF. 2008. Effects of salinity and water temperature on the ecological performance of *Zostera marina*. *Aquatic Botany*, **88**: 239-246.
- Orth RJ, Harwell MC, Bailey EM, et al. 2000. A review of issues in seagrass seed dormancy and germination: Implications for conservation and restoration. *Marine Ecology Progress Series*, **200**: 277-288.
- Orth RJ, Luckenbach M, Moore KA. 1994. Seed dispersal in a marine macrophyte: Implications for colonization and restoration. *Ecology*, **75**: 1927-1939.
- Orth RJ, Marion SR, Granger S, et al. 2009. Evaluation of a mechanical seed planter for transplanting *Zostera marina* (eelgrass) seeds. *Aquatic Botany*, **90**: 204-208.
- Orth RJ, Marion SR, Moore KA, et al. 2010. Eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Chesapeake Bay region of Mid-Atlantic coast of the USA: Challenges in conservation and restoration. *Estuaries and Coasts*, **33**: 139-150.
- Park JI, Lee KS. 2007. Site-specific success of three transplanting methods and the effect of planting time on the establishment of *Zostera marina* transplants. *Marine Pollution Bulletin*, **54**: 1238-1248.
- Peterson JE, Baldwin AH. 2004. Seedling emergence from seed banks of tidal freshwater wetlands: Response to inundation and sedimentation. *Aquatic Botany*, **78**: 243-254.
- Salo T, Pedersen MF, Boström C. 2014a. Population specific salinity tolerance in eelgrass (*Zostera marina*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **461**: 425-429.
- Salo T, Pedersen MF. 2014b. Synergistic effects of altered salinity and temperature on estuarine eelgrass (*Zostera marina*) seedlings and clonal shoots. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **457**: 143-150.
- Sandoval-Gil JM, Marín-Guirao L, Ruiz JM. 2012. The effect of salinity increase on the photosynthesis, growth and survival of the Mediterranean seagrass *Cymodocea nodosa*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **115**: 260-271.
- Strazisar T, Koch MS, Madden CJ, et al. 2013. Salinity effects on *Ruppia maritima* L. seed germination and seedling survival at the Everglades-Florida Bay ecotone. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **445**: 129-139.
- Strazisar T, Koch MS, Madden CJ. 2015. Seagrass (*Ruppia maritima* L.) life history transitions in response to salinity dynamics along the Everglades-Florida Bay ecotone. *Estuaries and Coasts*, **38**: 337-352.
- Touchette BW. 2007. Seagrass-salinity interactions: Physiological mechanisms used by submersed marine angiosperms for a life at sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **350**: 194-215.

作者简介 徐 强,女,1989 年生,硕士,主要研究方向为海草床修复与保护研究。E-mail: xuqiang516@163.com
责任编辑 李凤芹