浙 江 农 林 大 学 学 报，2012，**29**(5)：739 – 743
Journal of Zhejiang A & F University

杭州湾 4 种植物盐胁迫下种子萌发能力与分布的关系

叶小齐[1]，吴　明[1]，王　琦[2]，蒋科毅[1]，邵学新[1]

（1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所 杭州湾湿地生态系统定位研究站，浙江 富阳 311400；2. 浙江农林大学 风景园林与建筑学院，浙江 临安 311300）

摘要：为了探明杭州湾湿地植物碱蓬 *Suaedae glauca*，南方碱蓬 *Suaeda australis*，芦苇 *Phragmites australis* 和野艾蒿 *Artemisia lavandulaefolia* 等各自生境土壤盐分高低是否和种子在盐分胁迫下的萌发能力相一致，试验比较了它们所在生境的土壤含盐量、pH 值及含水率，测定了 4 种植物种子在不同质量浓度氯化钠(NaCl)(0~50 g·L^{-1})溶液处理下的萌发率，并分析了土壤含盐量、pH 值和含水率和 20 g·L^{-1} 氯化钠溶液处理的种子萌发率之间的相关性。结果表明，各物种生境土壤含盐量顺序是南方碱蓬＞碱蓬＞芦苇＞野艾蒿；土壤 pH 值为芦苇＞野艾蒿＞南方碱蓬和碱蓬；土壤含水率为碱蓬＞芦苇＞南方碱蓬＞野艾蒿。氯化钠溶液处理对 4 种种子萌发率都有显著影响，萌发率随盐分质量浓度增加而下降；同一盐分质量浓度下，萌发率高低顺序依次是碱蓬＞南方碱蓬＞芦苇＞野艾蒿。复水后氯化钠溶液处理的种子萌发率都显著提高，但不同物种萌发率高低顺序和复水前相同。相关分析表明，土壤含盐量和不同种子在 20 g·L^{-1} 氯化钠胁迫下的萌发率是显著相关的。这些结果表明，土壤含盐量是限制上述 4 种种子萌发的重要因素；4 种植物的分布是和它们各自生境的盐分高低条件和种子在盐分胁迫条件下的萌发能力相关的。图 2 表 2 参 17

关键词：植物生理学；杭州湾湿地；盐胁迫；种子萌发率；土壤含盐量；相关性

中图分类号：Q948.1；S718.3　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：2095-0756(2012)05-0739-05

Correlation of seed germination capacities under salt stress with four plant species distribution in the Hangzhou Bay Wetlands

YE Xiao-qi[1], WU Ming[1], WANG Qi[2], JIANG Ke-yi[1], SHAO Xue-xin[1]

(1. Research Station of Hangzhou Bay Wetlands Ecosystem, Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China; 2. School of Landscape Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: In the Hangzhou Bay Wetlands, plant species occupy different habitats. It is not clear whether the distribution pattern of plant species was related to their ability to germinate under salt stress conditions. Soils from the habitats of four populations of *Suaeda glauca*, *Suaeda australis*, *Phragmites australis*, and *Artemisia lavandulifolia* were sampled respectively and soil salt content, pH, and water content were analyzed and compared. The percent germination of their seeds when exposed to 0–50 g·L^{-1} NaCl solution was measured by germinating 30 seeds in three Petri dishes respectively in an illumination incubator at 28 ℃. Finally, correlation between germination percent of seeds for the four species exposed to a 20 g·L^{-1} NaCl solution versus soil salt content, pH, and water content was analyzed. Results for the four species showed that the soil salt content of the growth habitats was *S. glauca* > *S. australis* > *P. australis* > *A. lavandulifolia*; soil pH was *P. australis* > *A. lavandulifolia* > *S. glauca* and *S. australis*; and soil water content was *S. glauca* > *P. australis* > *S. australis* > *A. lavandulifolia*. With the NaCl solution (0–50 g·L^{-1}), the percent germination decreased signifi-

收稿日期：2011-10-12；修回日期：2011-11-17

基金项目：中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(RISF6160)

作者简介：叶小齐，助理研究员，博士，从事植物生态学研究。E-mail：mengxqi@126.com。通信作者：吴明，副研究员，博士，从事湿地生态学研究。E-mail：hangzhoubay@126.com

cantly ($P < 0.001$) with increase in NaCl concentration. For the same level of NaCl concentration, the percent germination was *S. glauca* > *S. australis* > *P. australis* > *A. lavandulifolia*. After replacement of NaCl solution (0–50 g·L^{-1}) with distilled water, the seed germination percent remarkably increased ($P < 0.01$). But the final germination capacity was in the same order as before the replacement. In addition, only the soil salt content was strongly related to percent germination of the four seed-types exposed to 20 g·L^{-1} NaCl solution ($P < 0.05$). These results indicated that soil salt content was an important limiting factor for seed germination, and the distribution pattern of the four plant species was generally related to their habitat's soil salt content and the ability of the seeds to germinate at high NaCl concentrations. [ch, 2 fig. 2 tab. 17 ref.]

Key words: plant physiology; Hangzhou Bay Wetlands; salt stress; seed germination; soil salt content; correlation

河口湿地是滨海湿地生态系统的主要类型之一。杭州湾是中国重要的河口湿地之一，其植被以盐沼植物为主[1-2]。近年来杭州湾湿地区人为活动频繁，特别是围垦和大型工程的建设，对滨海植被的分布和演替产生了强烈的影响[3-4]。围垦后，土壤理化性质均发生了显著变化[5]。一般来说，围垦后土壤含盐量会下降[6]。由于不同植物物种对土壤含盐量的适应范围不同，围垦后滨海湿地植被的物种组成和分布也会产生显著变化。杭州湾围垦区物种多样性要高于自然潮间带，离海塘距离越远，围垦年代越久，中生植物越丰富，盐生植物则逐渐萎缩[7-8]。杭州湾滩涂湿地物种多样性与土壤钠元素含量呈负相关[8]。围垦后，由于局部的生境干旱，也会导致土壤严重盐渍化。例如在崇明东滩，围垦后芦苇 *Phragmites communis* 塘明显旱化和盐渍化，导致原来为高潮带优势植物的芦苇大量萎缩，而适宜旱地生长的耐盐植物獐茅 *Aeluropus littoralis*，碱蓬 *Suaeda glauca*[3]或碱菀 *Tripolium vulgare*[9]大量生长。种子萌发对土壤含盐量的忍受能力可能是决定植物物种分布的重要因素之一[10]。碱蓬，南方碱蓬 *Suaeda australis*，芦苇和野艾蒿 *Artemisia lavandulaefolia* 在杭州湾滨海湿地较为常见，适应性强。本研究以上述 4 种植物为材料，测定这 4 种植物种子在不同的盐分质量浓度处理下的萌发能力，并测定了不同物种所分布的生境土壤含盐量，探讨种子在盐分处理下的萌发能力与植物物种在滨海湿地不同土壤盐分生境的分布的关系，以期为预测围垦后杭州湾滨海湿地植被的变化趋势提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 种子收集和土壤样品采集与分析

研究区域为杭州湾滨海湿地典型区域——慈溪庵东滨海湿地围垦区。2010 年 11 月，分别随机选取碱蓬、南方碱蓬、芦苇和野艾蒿 4 个典型种群，采集每个典型种群所在样地的表层 20 cm 的土样，在实验室分析土壤的含水率(水分占鲜土总质量的比例)、pH 值和含盐量(盐分占干土质量的比例)。测定方法参照《土壤农化分析》[11]。同时采集 4 种植物的成熟种子，室温风干后冷藏。

1.2 种子萌发试验

2010 年 12 月，选取上述 4 种植物颗粒饱满的种子在光照培养箱中进行种子萌发试验。根据前期的预试验结果，共设置 6 个不同的氯化钠(NaCl)质量浓度处理：5，10，20，30，40 和 50 g·L^{-1}，以不加氯化钠的蒸馏水作为对照。每种植物种子放置 3 个培养皿，放置 50 粒种子·培养皿$^{-1}$，加入 10 mL 蒸馏水或不同质量浓度的氯化钠溶液，用密封和透光的保鲜膜封好，以保证培养期间处理溶液浓度基本恒定。光照培养箱的条件设定：光照时间为白天：黑夜=12 h：12 h，温度(28±1) ℃。萌发过程中，以胚根伸长至 2 mm 视为有效萌发。每天记录萌发的种子数，当所有处理连续 2 d 萌发率增加小于 5.0 %时，视为萌发结束。当各处理的种子萌发结束后，开始复水处理，即将各培养皿中的蒸馏水或氯化钠溶液弃去，冲洗 2 次，换上蒸馏水继续培养，并继续记录每天的种子萌发数量，直至萌发结束。萌发完全结束后，计算每种盐分质量浓度处理下种子萌发的百分率。

1.3 数据分析

用单因素方差分析盐分处理对种子萌发的影响，并用多重比较分析各质量浓度盐分处理之间的差异显著性。用 20 g·L^{-1} 氯化钠处理下的 4 种种子萌发率代表各种子萌发对盐分胁迫的适应能力，并分析 20

g·L⁻¹ 氯化钠处理下的种子萌发率与相应的生境土壤含水率、pH 值和含盐量之间的相关性。种子萌发率取平方根后再用于相关性分析。所有统计分析均在 SPSS 中完成。

2　结果与分析

2.1　不同质量浓度氯化钠溶液处理后种子的萌发率

统计分析(表 1)表明：复水前氯化钠溶液处理对 4 种种子萌发的影响都极显著($P<0.01$)。总的来看，复水前在相同质量浓度氯化钠溶液处理下，种子萌发率按高低次序排列依次是碱蓬＞南方碱蓬＞芦苇＞野艾蒿(图 1a)。各质量浓度氯化钠溶液处理之间比较发现，碱蓬和南方碱蓬均随氯化钠溶液质量浓度升高而萌发率降低；野艾蒿在氯化钠溶液质量浓度低于 20 g·L⁻¹，芦苇在氯化钠溶液质量浓度低于 30 g·L⁻¹ 时，随氯化钠溶液质量浓度升高而萌发率降低，而在相应浓度之上，则完全不能萌发。

表 1　氯化钠处理对 5 种种子萌发率影响的单因素方差分析表

Table 1　ANOVA analysis of the NaCl effects on seed germination percent of the five plants

植物	复水前		复水后	
	均方值(F)	显著性值(P)	均方值(F)	显著性值(P)
南方碱蓬	168.883	0.000	4.568	0.009
芦苇	267.016	0.000	0.723	0.638
野艾蒿	37.289	0.000	8.523	0.000

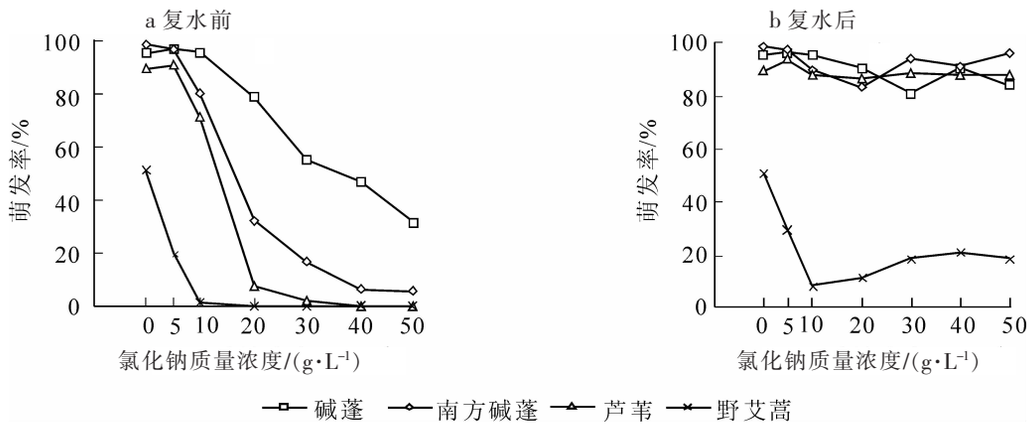

图 1　不同质量浓度氯化钠溶液处理下 4 种种子累积萌发百分率

Figure 1　Seed germination percent of the four plants treated with different concentration of NaCl solution

复水后，氯化钠溶液处理的种子萌发率显著升高(图 1b)。氯化钠溶液处理对复水后种子萌发的影响，随物种不同而各异，对南方碱蓬和野艾蒿极显著($P<0.01$)，碱蓬显著($P<0.05$)，而对芦苇则不显著($P>0.05$)(表 1)。在相同质量浓度氯化钠溶液处理下，各种子萌发率按高低次序排列依次是碱蓬＞南方碱蓬＞芦苇＞野艾蒿。各质量浓度氯化钠溶液处理之，芦苇均没有显著差异，碱蓬萌发率基本随氯化钠溶液质量浓度升高逐渐减少，其他 2 种种子没有一定的规律性。

2.2　土壤含水率、pH 和含盐量

对不同植物生境土壤的分析发现，不同植物生境土壤含水率，pH 值和含盐量均存在一定差异(图2)。土壤含水率大小排序为碱蓬＞芦苇＞南方碱蓬＞野艾蒿，其中碱蓬、芦苇和南方碱蓬、野艾蒿生境土壤含水率差异显著($P<0.05$)。土壤 pH 值排序为芦苇＞野艾蒿＞南方碱蓬和碱蓬，其中芦苇、野艾蒿和碱蓬、南方碱蓬之间差异显著($P<0.05$)。土壤含盐量排序为碱蓬＞南方碱蓬＞芦苇＞野艾蒿，其中碱蓬、南方碱蓬和芦苇、野艾蒿差异显著($P<0.05$)。

2.3　土壤含水率、pH 值和含盐量与 20 g·L⁻¹ 氯化钠处理后种子萌发率之间的相关性

对不同种子在 20 g·L⁻¹ 氯化钠胁迫下的萌发率和生境土壤的含水率、pH 值和含盐量进行相关分析表明，只有土壤含盐量和种子萌发率之间的相关性达到显著水平($P<0.05$)，而种子萌发率和土壤含水率和 pH 值之间没有显著相关性($P>0.05$)。

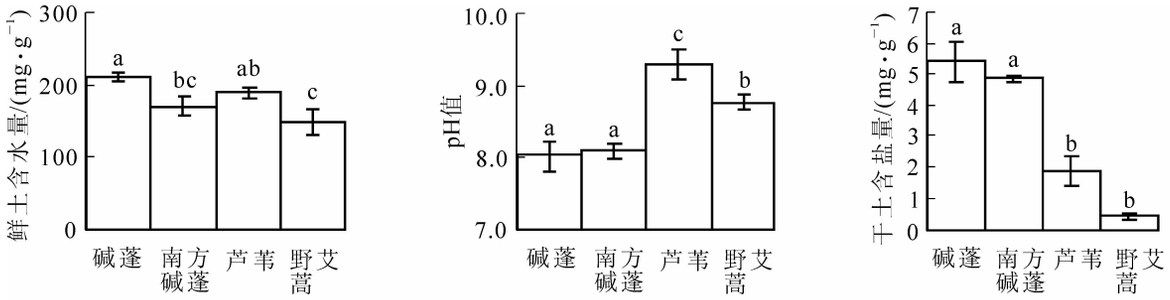

图 2 不同物种所在生境土壤含水率，pH 值和含盐量

Figure 2 Soil water content, pH value, salt content of the four plant species habitats

3 讨论

在杭州湾湿地，碱蓬、南方碱蓬、芦苇和野艾蒿往往形成单一的种群，占据着不同的生境。碱蓬和南方碱蓬主要分布在高潮带，土壤含盐量高；芦苇和野艾蒿主要分布在围垦区，土壤含盐量低。不同植物分布的生境土壤含盐量不同，说明它们对土壤盐分条件的适应能力不同。盐分是影响许多植物种子萌发的重要环境因子[12]，即使是盐生物种，其种子萌发率也随着盐度的增加而降低[13-14]。种子萌发是植物对外界环境条件极为敏感的阶段，因此，盐分胁迫条件下种子萌发能力可能是决定植物对盐分适应能力和分布的重要阶段之一[10]。本实验室条件下不同种子在不同盐质量浓度梯度下的萌发率和相应物种生境中的土壤含盐量的显著相关性验证了这一假设。氯化钠溶液对 4 种种子萌发率都有极显著影响，说明土壤的含盐量是这些种子萌发的主要限制因素之一。在 40 和 50 g·L⁻¹ 的氯化钠溶液质量浓度下，芦苇和野艾蒿萌发完全受到抑制，而碱蓬和南方碱蓬仍具有一定的萌发率。这表明碱蓬和南方碱蓬更适合于滨海湿地的高盐环境，这是它们能分布在含盐量较高的高潮带的重要原因。与相关的研究结果对比也表明，碱蓬和南方碱蓬种子萌发的适应性要高于同科的 3 种猪毛菜 *Salsola* 植物[15]和 2 种滨藜 *Atriplex* 植物[16]。芦苇在高潮带也有一定的分布，但主要分布于围垦区。野艾蒿只分布于围垦区，不能忍受潮间带较高的土壤盐分含量。由此可见，植物的分布和氯化钠胁迫下种子的萌发率是一一对应的。慎佳泓等[7]和李陕等[8]发现，在杭州湾滩涂湿地，离海塘的距离或者土壤中钠离子（Na^+）的含量是影响植物多样性的重要因素。本研究进一步说明了土壤盐分条件是影响植物种子萌发及分布的限制条件[17]。

表 2 土壤含水率、pH 和含盐量与 20 g·L⁻¹ 氯化钠溶液处理后种子萌发率之间的相关性

Table 2 Correlation between soil water content, pH value, salt content and germination percent of the four seeds exposed to 20 g·L⁻¹ NaCl solution

项目	Pearson 相关系数	显著性水平 *P* 值
土壤含水率—种子萌发率	0.830	0.170
土壤 pH 值—种子萌发率	−0.736	0.264
土壤含盐量—种子萌发率	0.964	0.036

虽然土壤含水率和 pH 值与氯化钠胁迫下种子萌发率不具有显著的相关性，但土壤含水率和 pH 值可能间接影响了植物种子萌发。在本研究中，南方碱蓬生境土壤含盐量和南方碱蓬相当，而含水率却低于碱蓬，这说明南方碱蓬能忍耐更为干燥的生境，而碱蓬种子的萌发可能要受到土壤水分的限制。实地观察发现，南方碱蓬主要分布于裸露的光滩，植被覆盖率低，水分蒸发快；碱蓬却常与其他物种混生，植被对土壤覆盖率高，土壤水分蒸发少，土壤含水量较高。本研究结果还表明，不同植物生境土壤 pH 值也具有较大区别，种子萌发对盐分适应能力较高的碱蓬和南方碱蓬其土壤 pH 值较低，而芦苇和野艾蒿生境土壤 pH 值较高，种子萌发能力和土壤 pH 值具有什么样的相关性还有待深入研究。

参考文献：

[1] 高欣. 杭州湾湿地生物多样性及其保护[J]. 沈阳师范大学学报：自然科学版，2006，**24**（1）：92 – 95.
GAO Xin. The biodiversity and its conservation in Hanghzhou Bay Wetlands [J]. *J Shenyang Norm Univ Sci Ed*, 2006, **24** (1): 92 – 95.

[2] 吴统贵，吴明，萧江华. 杭州湾滩涂湿地植被群落演替与物种多样性动态[J]. 生态学杂志，2008，**27** (8)：1284 – 1289.
WU Tonggui，WU Ming，XIAO Jianghua. Dynamics of community succession and species diversity of vegetation in beach wetlands of Hangzhou Bay [J]. *Chin J Ecol*，2008，**27** (8)：1284 – 1289.

[3] 葛振鸣，王天厚，施文彧，等. 崇明东滩围垦堤内植被快速次生演替特征[J]. 应用生态学报，2005，**16** (9)：1677 – 1681.
GE Zhenming，WANG Tianhou，SHI Wenyu，*et al*. Secondary succession characteristics of vegetations on reclaimed land inside Chongming wetland seawall [J]. *Chin J Appl Ecol*，2005，**16** (9)：1677 – 1681.

[4] 陈仲赟，方萍. 围垦活动对崇明东滩海三棱藨草带的生态影响初探[C]//邓楠. 2005 中国可持续发展论坛——中国可持续发展研究会 2005 年学术年会论文集. 上海：同济大学出版社，2005：113 – 116.

[5] 吴明，邵学新，胡锋，等. 围垦对杭州湾南岸滨海湿地土壤养分分布的影响[J]. 土壤，2008，**40** (5)：760 – 764.
WU Ming，SHAO Xuexin，HU Feng，*et al*. Effects of reclamation on soil nutrients distribution of coastal wetland in south Hangzhou Bay [J]. *Soils*，2008，**40** (5)：760 – 764.

[6] 李加林，杨晓平，童亿勤. 潮滩围垦对海岸环境的影响研究进展[J]. 地理科学进展，2007，**26** (2)：43 – 51.
LI Jialin，YANG Xiaoping，TONG Yiqin. Progress on environmental effects of tidal flat reclamation [J]. *Prog Geogr*，2007，**26** (2)：43 – 51.

[7] 慎佳泓，胡仁勇，李铭红，等. 杭州湾和乐清湾滩涂围垦对湿地植物多样性的影响[J]. 浙江大学学报：理学版，2006，**33** (3)：324 – 328.
SHEN Jiahong，HU Renyong，LI Minghong，*et al*. Influence of reclamation on plant diversity of beach wetlands in Hangzhou Bay and Yueqing Bay in East China [J]. *J Zhejiang Univ Sci Ed*，2006，**33** (3)：324 – 328.

[8] 李陕，于明坚，慎佳泓，等. 杭州湾滩涂 Na 元素含量对植物多样性和优势度的影响[J]. 生态学报，2007，**27** (11)：4603 – 4611.
LI Shan，YU Mingjian，SHEN Jiahong，*et al*. Effects of soil Na content on plant diversity and dominance in the wetland of the Hangzhou Bay [J]. *Acta Ecol Sin*，2007，**27** (11)：4603 – 4611.

[9] 巩晋楠，王开运，张超，等. 围垦滩涂湿地旱生耐盐植物的入侵和影响[J]. 应用生态学报，2009，**20** (1)：33 – 39.
GONG Jinnan，WANG Kaiyun，ZHANG Chao，*et al*. Invasion and its effects of xerarch halophytes in reclaimed tidal wetlands [J]. *Chin J Appl Ecol*，2009，**20** (1)：33 – 39.

[10] 渠晓霞，黄振英. 盐生植物种子萌发对环境的适应对策[J]. 生态学报，2005，**25** (9)：2389 – 2398.
QU Xiaoxia，HUANG Zhenying. The adaptive strategies of halophyte seed germination [J]. *Acta Ecol Sin*，2005，**25** (9)：2389 – 2398.

[11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京：中国农业出版社，2000：2 – 188.

[12] UNGAR I A. Halophyte seed germination [J]. *The Bot Rev*，1978，**44** (2)：233 – 264.

[13] KHAN M A，AND GULZAR S. Germination responses of *Sporobolus ioclados*：a saline desert grass [J]. *J Arid Environ*，2003，**53** (3)：387 – 394.

[14] GULZAR S，KHAN M A. Seed germination of a halophytic grass *Aeluropus lagopoides* [J]. *Ann Bot*，2001，**87**：319 – 324.

[15] 刘鹏，田长彦，冯固，等. 3 种猪毛菜种子耐盐性与幼苗干燥存活能力[J]. 干旱区地理，2008，**31** (2)：271 – 277.
LIU Peng，TIAN Changyan，FENG Gu，*et al*. Germination and seedling survival after desiccation of three *Salsola* L. from the solonchak salinities [J]. *Arid Land Geography*，2008，**31** (2)：271 – 277.

[16] 廉彭彭. 盐胁迫对白滨藜和疣苞滨藜种子萌发及早期幼苗生长的影响[D]. 乌鲁木齐：新疆农业大学，2008.
LIAN Pengpeng. *Effect of Salt Stress on Germination and Early Seedling Growth of Atriplex cana and A. verrucifera* [D]. Urumqi：Xinjiang Agricultural University，2008.

[17] SONG Jie，FENG Gu，TIAN Changyan，*et al*. Strategies for adaptation of *Suaeda physophora*，*Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* to a saline environment during seed-germination stage [J]. *Ann Bot*，2005，**96**：399 – 405.