

中国百种杰出学术期刊  
中国精品科技期刊  
中国科协优秀期刊  
中国科学院优秀科技期刊  
新中国 60 年有影响力的期刊  
国家期刊奖

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica

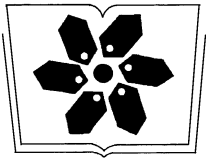
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 5 期  
Vol.31 No.5  
**2011**



中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 5 期      2011 年 3 月      (半月刊)

## 目 次

盐胁迫下 3 种滨海盐生植物的根系生长和分布·····	弋良朋,王祖伟 (1195)
蕙兰病株根部内生细菌种群变化·····	杨 娜,杨 波 (1203)
森林不同土壤层全氮空间变异特征·····	张振明,余新晓,王友生,等 (1213)
基于生态位模型的秦岭山系林麝生境预测·····	罗 翀,徐卫华,周志翔,等 (1221)
黑河胜山自然保护区红松和红皮云杉生长释放判定及解释·····	王晓春,赵玉芳 (1230)
两种大型真菌菌丝体对重金属的耐受和富集特性·····	李维焕,于兰兰,程显好,等 (1240)
2005—2009 年浙江省不同土地类型上空对流层 NO <sub>2</sub> 变化特征 ·····	程苗苗,江 洪,陈 健,等 (1249)
关帝山天然次生针叶林林隙径高比 ·····	符利勇,唐守正,刘应安 (1260)
鄱阳湖湿地水位变化的景观响应·····	谢冬明,郑 鹏,邓红兵,等 (1269)
模拟氮沉降对华西雨屏区撑绿杂交竹凋落物分解的影响·····	涂利华,戴洪忠,胡庭兴,等 (1277)
喷施芳香植物源营养液对梨树生长、果实品质及病害的影响 ·····	耿 健,崔楠楠,张 杰,等 (1285)
不同覆膜方式对旱砂田土壤水热效应及西瓜生长的影响 ·····	马忠明,杜少平,薛 亮 (1295)
干旱胁迫对玉米苗期叶片光合作用和保护酶的影响 ·····	张仁和,郑友军,马国胜,等 (1303)
不同供水条件下冬小麦叶与非叶绿色器官光合日变化特征 ·····	张永平,张英华,王志敏 (1312)
水分亏缺下紫花苜蓿和高粱根系水力学导度与水分利用效率的关系 ···	李文娆,李小利,张岁岐,等 (1323)
美洲森林群落 Beta 多样性的纬度梯度性 ·····	陈圣宾,欧阳志云,郑 华,等 (1334)
水体泥沙对菖蒲和石菖蒲生长发育的影响·····	李 强,朱启红,丁武泉,等 (1341)
蚯蚓在植物修复芫污染土壤中的作用·····	潘声旺,魏世强,袁 馨,等 (1349)
石榴园西花蓟马种群动态及其与气象因素的关系·····	刘 凌,陈 斌,李正跃,等 (1356)
黄山短尾猴食土行为·····	尹华宝,韩德民,谢继峰,等 (1364)
扎龙湿地昆虫群落结构及动态·····	马 玲,顾 伟,丁新华,等 (1371)
浙江双栉蝠蛾发生与土壤关系的层次递进判别分析·····	杜瑞卿,陈顺立,张征田,等 (1378)
低温导致中华蜜蜂后翅翅脉的新变异 ·····	周冰峰,朱翔杰,李 月 (1387)
双壳纲贝类 18S rRNA 基因序列变异及系统发生 ·····	孟学平,申 欣,程汉良,等 (1393)
基于物理模型实验的光倒刺鲃生态行为学研究 ·····	李卫明,陈求稳,黄应平 (1404)
中国铁路机车牵引能耗的生态足迹变化 ·····	何吉成 (1412)
城市承载力空间差异分析方法——以常州市为例·····	王 丹,陈 爽,高 群,等 (1419)
水资源短缺的社会适应能力理论及实证——以黑河流域为例 ·····	程怀文,李玉文,徐中民 (1430)
寄主植物叶片物理性状对潜叶昆虫的影响·····	戴小华,朱朝东,徐家生,等 (1440)

### 专论与综述

C <sub>4</sub> 作物 FACE (free-air CO <sub>2</sub> enrichment) 研究进展 ·····	王云霞,杨连新,Remy Manderscheid,等 (1450)
---	------------------------------------

### 研究简报

石灰石粉施用剂量对重庆酸雨区受害马尾松林细根生长的影响·····	李志勇,王彦辉,于澎涛,等 (1460)
女贞和珊瑚树叶片表面特征的 AFM 观察 ·····	石 辉,王会霞,李秧秧,刘 肖 (1471)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 284 \* zh \* P \* ¥70.00 \* 1510 \* 32 \* 2011-03

## 盐胁迫下 3 种滨海盐生植物的根系生长和分布

弋良朋\*, 王祖伟

(天津师范大学城市与环境科学学院, 天津 300387)

**摘要:**我国广大滨海地区的盐土上发育着大量的盐生植物,这些植物的根系对维持土壤稳定性,减小风蚀和水蚀具有重要作用。在水培条件下,针对碱蓬、盐角草和盐地碱蓬 3 种滨海盐生植物,研究它们在不同盐浓度条件下根系分布的差异。结果表明:一定浓度的盐分可以促进 3 种盐生植物生长,但较高浓度的盐抑制其生长,特别是对根系生长的抑制作用更大。在同样盐浓度下,盐地碱蓬的生长最快,生物量也最大。在盐分浓度较低时,3 种盐生植物的主根长和总根长都有所增加,与对照相比,盐角草增加的幅度较大,但高浓度的盐会抑制根系总长度的增加,其中盐角草较碱蓬和盐地碱蓬抑制的程度轻。盐分对 3 种植物的根系平均直径没有显著的影响,但有减小的趋势。在水培条件下,碱蓬和盐角草的根系上、中、下部分布的较均匀,而盐地碱蓬的根系中部比上部和下部有显著的增加,盐分对每种植物的根系的分布没有显著的影响。从根系的分布特征可以推断:盐角草比碱蓬和盐地碱蓬具有较强的抗盐性和耐瘠薄能力;碱蓬的耐盐能力较其它两种植物差,盐角草的耐盐性最强。根据 3 种滨海盐生植物的根系生长和分布特征,证明这 3 种植物的根系分属于 2 种功能型,碱蓬是浅根系功能型,盐角草和盐地碱蓬是深根系功能型。根系分布的参数表明 3 种滨海盐生植物中盐地碱蓬是用来加强土壤稳定性最好的植物。

**关键词:**盐生植物;滨海;根系;分布;水培

## Root system characters in growth and distribution among three littoral halophytes

YI Liangpeng\*, WANG Zuwei

College of Urban and Environmental Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China

**Abstract:** Soil erosion and sloughing is a major environmental problem in the coastal areas. This sediment movement decreases available farmland, changes stream habitat, and increases the need of river and harbor dredging. It has been shown that soil stability can be increased through growing plants, but the extent to which this occurs is not known. The coastal regions of China are mostly saline soil, on which halophytes grow widely. These roots of halophytes can maintain the stability of soil, and can reduce water erosion and wind erosion. However, root growth and distribution of these halophytes in the coastal region was very much unknown. We hypothesized that plants with higher root length densities and larger root diameters should stabilize the soils more than plants with lower root length densities and smaller root diameters. Three littoral halophytes: *Suaeda glauca*, *Suaeda salsa* and *Salicornia europaea*, were chosen in this study to investigate the differences in growth and distribution of their roots under varying salt concentration conditions in a solution culture. The results showed that: certain salt concentration could promote development of these three halophytes; but higher salt concentration could inhibit their growth, especially that of roots. Under the same salt concentration, *Suaeda salsa* grew the fastest, and accumulated the largest amount of biomass. Under relatively lower salt concentration, the length of axial root and the total length of the roots of all three halophytes were increased; and comparing to the control, the roots of *Salicornia europaea* grew the fastest, but high salt concentration could restrain the increase of total root length. For all the three halophytes, salinity did not induce significant difference on the average diameter of roots, but with slight trend to reduce. Under the solution culture conditions, the middle and lower parts of the roots of *Suaeda glauca* and *Salicornia europaea* were rather equally distributed, but the central zone of *Suaeda salsa* roots was significantly increased than the upper and lower

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(40940010);天津师范大学博士基金资助项目(52X09016);国家自然科学基金资助项目(40973078)

**收稿日期:**2010-11-13; **修订日期:**2011-01-22

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yiliangpeng@126.com

zones. Salt concentration did not result in significant difference on roots spatial distribution of the three halophytes. The experimental results show that the saline tolerance capacity of *Suaeda glauca* was the lowest than the other two halophytes, and the capacity of *Salicornia europaea* was ranked at the top place. *Suaeda salsa* and *Salicornia europaea* belonged to a deep root type and its survival depended on water in deeper soil and groundwater. *Suaeda glauca* belonged to shallow-rooted types and thus depended on water in shallow upper soil. Different functional types of the root systems of littoral halophytes had profound influence on the growth and distribution of root system, and this implied that the functional types had formed different mechanisms to effectively adjust their own to water conditions in the soil during their adaptations. The parameters of root distribution indicated that *Suaeda salsa* should have the best capability to increase soil stability.

**Key Words:** halophyte; littoral; root system; distribution; solution culture

随着我国沿海地区大规模的开发建设,滨海地区的土地利用和土地覆盖状况发生了巨大的变化,滨海大面积的盐生植物草地被建设用地所取代<sup>[1]</sup>。土地利用方式的改变降低了原有土壤中植物根系和有机质的含量,并且减少了土壤的稳定性,相应地加速了某些自然过程。海岸侵蚀和河流侵蚀已成为我国滨海地区重要的环境问题之一<sup>[2]</sup>。

土壤的稳定性主要依靠土壤的质地和土壤中结网物质的多少,植物根是土壤中最主要的结网物质之一,因此通过增加植物根的数量能增加土壤的稳定性,这与混凝土中的钢筋类似。植物不同数量的根增加了土壤的稳定性,并且这种增强力与混凝土类似,与单位土壤中的总根长和根直径有关<sup>[3-4]</sup>。

植物根系的重要功能之一是从环境中吸收水分和养分,而根系吸收功能的发挥又与根系的分布等相关<sup>[5]</sup>。由于根系生长在地下,研究起来较为困难,而根系直接与土壤接触,是植物与土壤环境接触的重要界面,对土壤环境更为敏感,更易对土壤环境做出反应<sup>[6]</sup>。研究表明,在逆境下植物能够感应外界胁迫,并能通过自身的调节系统,使之在生理和分布上发生适应性反应,以增强在胁迫条件下的生存机会<sup>[7]</sup>。土壤中盐碱对植物的危害最直接的受害部位是植物的根系,它在逆境下的分布特征和表现,是植物有效吸收和利用土壤养分最直接的适应特征<sup>[7]</sup>。目前,国内外对滨海盐生植物做了大量的研究,多是集中在研究盐碱对植物地上部分的分布、生理特征以及种子萌发等方面的影响,如光合作用,蒸腾作用,代谢进程,泌盐腺体,细胞中的盐泡,渗透调节,酶活性,抗盐基因等<sup>[8-14]</sup>,系统研究滨海盐生植物根系分布特性的报道尚不多见。

天津滨海地区是当前我国重点开发的地区之一,这里也是我国滨海盐土分布面积最广、土壤积盐最重的地区之一,这种特定的自然环境条件下发育着大量的盐生植物<sup>[15]</sup>。随着大规模的建设,这里沿海土壤侵蚀对当地环境和建设造成了危害<sup>[16]</sup>。本研究为了探讨盐胁迫对盐生植物根系分布的生态效应,以天津滨海3种盐生植物碱蓬(*Suaeda glauca*),盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)和盐角草(*Salicornia europaea*)为实验材料,采用水培的方法并且结合野外土壤的盐分状况,通过不同的盐处理,研究这些植物根系的分布变化,探讨这些植物的根系对盐胁迫的耐性特征,以期探明这几种植物在不同盐胁迫条件下根系分布的基础数据,为利用这些植物加强土壤稳定性提供基础信息。

## 1 材料与方法

### 1.1 植物材料

本试验选用的盐生植物是:碱蓬,盐地碱蓬和盐角草,3种植物都是藜科,稀盐盐生植物。供试植物种子于2009年10月在天津大港滨海地区采集。

### 1.2 植物培养

本实验之所以要采用水培的方法,是因为,如果直接从土培或野外的植株上取土并筛洗出根系,对根系的完整性(尤其是对细根)不能很好的保持,不能有效对完整根系特征做研究;另外,水培条件使根存在介质的均匀和充分供水的条件下,这样可以尽可能少地排除其它因素的干扰。水培营养液为经修改的 Hoagland 溶液<sup>[17]</sup>,用 KOH 和盐酸调节 pH 至 6.0。盐处理的营养液是在 Hoagland 溶液中加入 NaCl。首先,选择饱满一致

的种子,10%  $H_2O_2$  浸泡 30 min 消毒,用蒸馏水反复清洗至无  $H_2O_2$  残留。将种子分别置于铺有滤纸的无菌培养皿内,25 °C 的培养箱中催芽露白,挑选发芽一致的种子播于塑料容器内的介质中育苗,塑料容器内的介质由洗净的蛭石与石英砂混合而成(体积分数为 2:3),先用蒸馏水培育至出苗,然后用 1/2 Hoagland 营养液培养,幼苗长至 2 cm 左右,选大小一致的幼苗用蒸馏水冲洗干净,将苗移入高 40 cm,直径 30 cm 的塑料桶中培养,苗基部用脱脂棉裹住,桶上部用泡沫塑料板作支持物,塑料桶外部用黑油漆漆黑遮光。每桶留 3 株苗。将塑料桶放入 Conviron-PGR15 型人工气候室中培养,白天光照为  $300\mu\text{mol photons}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,夜晚光照为 0,光暗周期为 14 h/10 h,昼夜温度为 25°C/20°C,空气相对湿度为 60%—70%,培养期间用电动气泵 24h 持续通气,保证根系良好生长。

### 1.3 盐胁迫处理

培养前期在桶中装入蒸馏水,使植株适应生长 24 h 后换成 1/2 Hoagland 营养液,再过 24h 换成全 Hoagland 营养液。根据前人的研究结果和对滨海盐土的调查结果<sup>[18-21]</sup>,设 3 个盐处理,每处理设 3 次重复:对照(CK, Hoagland 营养液)、中盐(Hoagland 营养液+240 mmol/L NaCl)、高盐(Hoagland 营养液+480 mmol/L NaCl)。盐处理前要缓苗 5d,然后开始加盐,盐处理时并非一次性达到其所预定的浓度。考虑到幼苗对高浓度盐的适应性,采取浓度逐渐递加的方法。各加盐的处理都以 80mmol/L 作为起始浓度,每天递增 80mmol/L,直到达到 240mmol/L 和 480 mmol/L 的浓度。达到预定的处理浓度后,盐胁迫培养 30d,前期每 3d 换 1 次营养液,后期每 2d 换 1 次营养液,之后一次性取样,每桶的 3 株植物分别进行地上部分和根重量,根系分布的各项参数测定。

### 1.4 植株地上部分、根干重和根冠比的测定

盐处理 60d 后,将整株植物从培养桶中完整取出,用蒸馏水迅速将植株冲洗 3 次,分成地上部、地下部。再将鲜样品材料置 105°C 烘箱中杀青 30 min,转至 80°C 烘 24h 至恒重,称得干重。根冠比=根干重/地上部干重。

### 1.5 根系分布参数测定

(1) 根系清洗和染色 将整株植物从培养桶中完整取出,用蒸馏水迅速将植株的根系冲洗 3 次,将冲洗干净的根系放入 50 °C,1% 的结晶紫溶液中浸泡染色 5 min,然后用蒸馏水冲洗根系 2 min,冲洗干净根系表面多余的结晶紫,将根放在 50% 的乙醇溶液中,放在冰箱中保存。

(2) 根系扫描 当所有的样品染色完后,开始扫描,扫描前,用蒸馏水冲洗根系一次,将根系放在装有 0.01mol/L 的 NaOH 溶液的玻璃盘子里(溶液大约 0.5 cm 深),较高的 pH 值可以阻止根上的染料外渗。用镊子和牙签将根系尽可能分散地放在盘子了,使根系最少的接触和重叠,将放置好的根系尽快放在扫描仪上扫描,以防止在高温环境下染料渗出。选择黑白二值图像扫描,设置分辨率 300dpi,比例尺 100%。

(3) 根系分布参数的测定和计算 扫描完成后剪切出包括完整根系的最小图像部分作为最终的分析图像,以 TIFF 格式保存。在 Rootedge2.3b 软件分析得到根系的总长度、平均直径和根的数量,直尺测量主根长。Rootedge 是一个自由软件,由美国衣阿华州立大学编制,用于根系形态参数的计算<sup>[22-23]</sup>。在 Photoshop9.0 中分别把图像中的根系部分沿垂直于主根方向等分成 4 cm 的几个分图像,然后在 Rootedge2.3b 软件中计算每一分图像的总长度和平均直径,这些分图像代表不同土壤深度根系的特征。

### 1.6 数据分析处理

数据采用 SPSS 13.0 进行处理,用 Origin 7.0 和 Excel2003 进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐对植株生长和根系生物量的影响

从表 1 可以看出,水培条件下不同浓度 NaCl 处理对 3 种植物生长的影响有明显差异。在 240mmol/L NaCl 处理下,3 种植物地上部分生物量较对照增加,盐角草增加显著,说明适当增加盐浓度有利于促进其生长,而盐角草对盐分的增加更加敏感,这是由于 3 种盐生植物都是稀盐盐生植物,生长需要一定量的盐,而盐

角草可以适应的盐环境浓度较其它两种植物高。在 480mmol/LNaCl 处理下,3 种植物地上部分和根系生物量都较对对照明显减少,碱蓬和盐地碱蓬地上部的减少量达到了显著水平。在 240mmol/LNaCl 处理下,根系的生物量相对于对照有所降低,但差异不显著。在 480mmol/LNaCl 处理下,根系的生物量减小相对于地上部分的更为明显,3 种植物都达到了显著的水平,碱蓬和盐地碱蓬根生物量的减少达到了极显著水平,说明高浓度盐分对碱蓬和盐地碱蓬根系的生长影响较大。在高浓度盐处理条件下,盐角草的地上部和根系的生物量减小的幅度都较小,说明盐角草的对盐的敏感程度低于碱蓬和盐地碱蓬。

表 1 盐处理对 3 种盐生植物地上部分和根生物量的影响

Table 1 Effects of salt treatment on the dry weight of aboveground and root of three halophytes

NaCl 浓度 NaCl concentration /(mmol/L)	地上部干重/(g/株) Dry weight of the above ground part			根干重/(g/株) Dry weight of roots		
	碱蓬 <i>Suaeda glauca</i>	盐角草 <i>Salicornia europaea</i>	盐地碱蓬 <i>Suaeda salsa</i>	碱蓬 <i>Suaeda glauca</i>	盐角草 <i>Salicornia europaea</i>	盐地碱蓬 <i>Suaeda salsa</i>
0 (CK)	0.1198±0.0071 aA	0.1744±0.010 aA	1.0251±0.061 aA	0.0275±0.0016aA	0.0719±0.0043 aA	0.2213±0.013 aA
240	0.1210±0.0073 aA	0.1892±0.012 bA	1.0310±0.062 aA	0.0244±0.0013aA	0.0733±0.0043 aA	0.2206±0.012 aA
480	0.0956±0.0051 bB	0.1621±0.009 aA	0.9165±0.053 bA	0.0183±0.0012bB	0.0618±0.0034 bA	0.1781±0.010 bB

a, b, c 表示在  $P < 0.05$  的水平上差异显著; A, B, C 表示在  $P < 0.01$  的水平上差异极显著

同一植株不同部分对盐胁迫的敏感性不同。从图 1 可知,盐处理的植物干重的根冠比均低于对照,并且随着盐浓度的增加,根冠比减小的幅度增大。在 240 mmol/L 时,3 种植物的根冠比减小,但与对照没有显著差异,而在 480 mmol/L 时,碱蓬和盐地碱蓬的减小达到了显著的水平。从地上部和根系的总生物量看,盐地碱蓬最大,盐角草次之,碱蓬最小。不同盐分条件下根冠比与盐浓度呈负相关关系。盐地碱蓬的地上部分和根系的生物量比其它两种植物大,说明生长较其它两种植物快。

## 2.2 盐对根系分布的影响

由表 2 可知,在 3 个 NaCl 处理水平条件下,根系分布发生了很大的变化,其中最明显的变化是根系总长度的变化。不同的盐浓度对主根长的影响不大,特别是在盐浓度较低时,在 480 mmol/LNaCl 处理条件下,主根长比对照减小的较明显,碱蓬和盐地碱蓬达到了显著,说明高浓度的 NaCl 对主根的生长有抑制作用。碱蓬根系的总长度在低盐条件下比对照增加显著,而在高盐条件下又减少的极显著,说明一定浓度的盐促进了碱蓬整个根系的生长,而高浓度的盐又抑制了根系的生长,盐地碱蓬也有与之相似的变化。在 240 mmol/LNaCl 处理条件下,盐角草的根系总长度明显增加,达到了极显著,说明一定浓度的盐分有利于其根系的生长,而 480 mmol/LNaCl 高浓度盐也会抑制其生长,但较碱蓬和盐地碱蓬受抑制的程度轻,这也说明了一定浓度盐对盐角草根系的生长有促进作用,而高浓度的盐对其根系的生长抑制作用较其它两种植物轻。盐地碱蓬的根系总长度和根系平均直径都较其它 2 种植物大,这和上面的根系干重相对应,说明其根系的生长较其它两种植物快。不同浓度 NaCl 处理对 3 种植物的根系平均直径都没有显著的影响,但也有减小的趋势,其中盐地碱蓬的根系平均直径在高 NaCl 处理的条件下减小的显著。

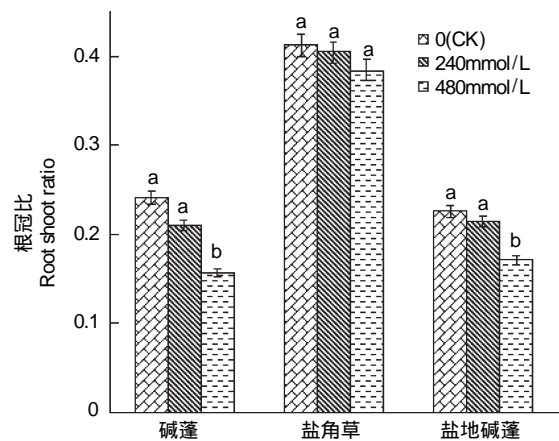


图 1 盐处理对 3 种盐生植物根冠比的影响

Fig. 1 Effects of salt treatment on the shoot to root ratio of three halophytes

表 2 盐处理对 3 种盐生植物根系主要分布特征的影响

NaCl 浓度 NaCl concentration /(mmol/L)	主根长/cm Length of axial root			根总长度/cm Total length of roots			根平均直径/mm Average root diameter		
	碱蓬	盐角草	盐地碱蓬	碱蓬	盐角草	盐地碱蓬	碱蓬	盐角草	盐地碱蓬
	<i>Suaeda glauca</i>	<i>Salicornia europaea</i>	<i>Suaeda salsa</i>	<i>Suaeda glauca</i>	<i>Salicornia europaea</i>	<i>Suaeda salsa</i>	<i>Suaeda glauca</i>	<i>Salicornia europaea</i>	<i>Suaeda salsa</i>
0 (CK)	12.0±0.73 aA	24.0±1.51 aA	35.2±2.13 aA	544±33 aA	1455±88 aA	2274±130 aA	0.35±0.021 aA	0.42±0.024 aA	0.55±0.032 aA
240	13.5±0.74 aA	29.2±1.76 bA	36.0±2.03 aA	615±34 bA	2123±115 bB	2632±143 bB	0.35±0.021 aA	0.40±0.025 aA	0.55±0.032 aA
480	9.2±0.51 bB	22.3±1.46 aA	32.0±1.75 bA	447±21 cB	1367±73 aA	1870±113 cC	0.32±0.017 aA	0.40±0.025 aA	0.45±0.028 bA

a, b, c 表示在  $P < 0.05$  的水平上差异显著; A, B, C 表示在  $P < 0.01$  的水平上差异极显著

从图 2 和图 3 可以看出, 3 种植物根系各层的分布有所差异。在 0—4 cm 深度的溶液中, 3 种植物的根主要存在的都是主根的一部分, 总根长几乎就是主根长。碱蓬根系在 4 cm 以下的各层总根长差异不大, 根系平均直径也相差不大, 说明在 4 cm 以下根系分布均匀, 多为小于 0.4 mm 的根。盐角草也有类似的根系分布, 但根系分布更深, 根系主要分布在 8 cm 以下的区域, 8 cm 以下的根系也分布较均匀, 多为小于 0.5 cm 的根。盐地碱蓬根系较多, 但根系主要分布在 16—24 cm 的中部深度内, 在根系的上部和下部的各层中, 根系总长度较小。中部和下部根系的平均直径也相差不大, 多为小于 0.6 cm 的根。这也说明了盐地碱蓬的发育较其它两种多年生植物快, 中部的根系已经开始急剧伸长。总体看, 在水培条件下, 3 种植物的根系主要由细根(直径小于 1 mm)组成, 且根系的直径相差不大, 分布也较均匀, 说明 3 种植物通过减小根系直径, 增加根系长度的方式更大范围和更大面积的吸收水分和养分供其生长。从图 2 和图 3 可以看出盐浓度对 3 种植物根系的分布都没有显著的影响, 只是在高浓度盐分条件下, 根系各部分的总长有所减小, 整个根系缩小了。

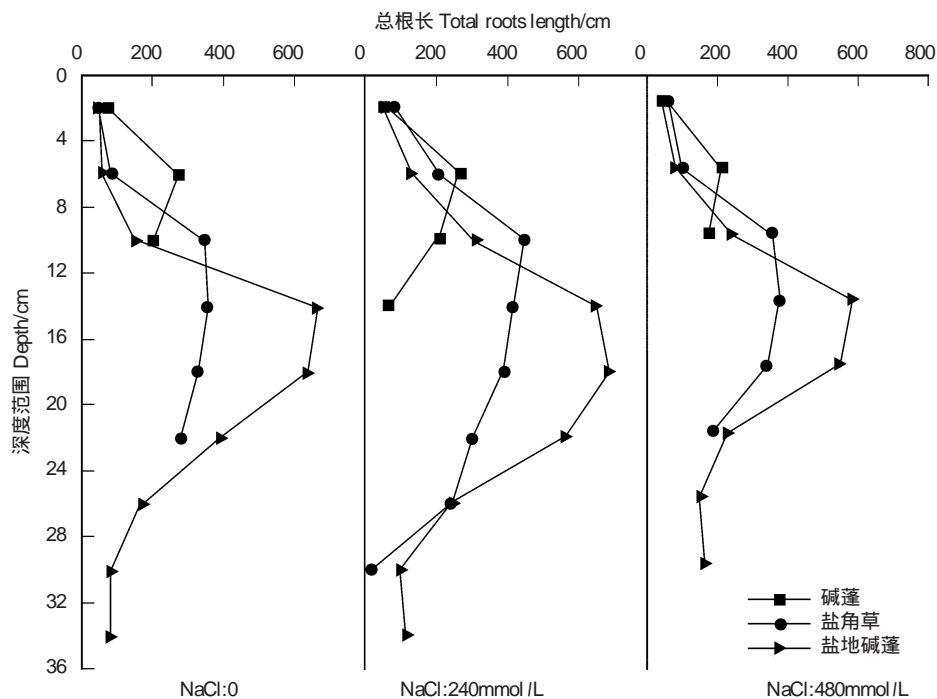


图 2 盐处理条件下 3 种盐生植物在不同深度溶液中的总根长

Fig. 2 The total root length of three halophytes in different depth under salt treatment

### 3 讨论

根据盐处理的植物根冠比结果(图 1), 可以看出盐生植物不同部分对盐胁迫的相应能力不同, 根系对盐胁迫的敏感程度高于地上部分, 高盐胁迫下根系吸收养分能力的严重降低可能是一个重要原因<sup>[8]</sup>; 另外, 盐

胁迫会造成叶肉细胞内糖分积累而生长反馈抑制;盐胁迫下氮、磷、钾等元素的缺乏会使碳水化合物不能顺利地运输,光合产物在细胞内大量积累,给光合作用造成反馈抑制<sup>[12]</sup>。盐处理后,光合产物减少,光合作用产物向地下部运输的量也减少,因而植株地下部的生物量减少的更显著。研究表明:根系是吸收水肥的主要器官,与地上部相比,生产相同的单位干物质需要的能量是地上部的两倍<sup>[24]</sup>。如果根冠比大,将会有更多的同化产物分配到根系。这对于根系的快速扩张是十分有利的。从本实验结果来看,盐角草的根冠比较大,说明其根系扩张的速度较快;相应的,由于过多地与地上部竞争光合产物,从而减少了地上部碳水化合物的分配比例,影响了地上部的生长速度。

试验的研究表明,同一植物在不同土层中的根系分布有显著的差异。不同滨海盐生植物之间,根系的总体分布也有显著的差异,尤其是碱蓬与盐角草和盐地碱蓬之间根系分布有显著的差异(图2,图3)。盐浓度对这些植物根系分布特征也有影响。从根系分布的几项参数看,盐对盐生植物单株的主根长、根系总长度和根系平均直径都有影响,这些参数都在一定程度上反映出盐对根系的影响,但从各处理间的差距来看,不同盐处理条件下,根系总长度的变化幅度最大,因为根系总长度不仅包括了主根在盐胁迫下的变化,而且包括了侧根和分枝根对盐胁迫的反应,更能准确地表达植物根系对盐的综合反应,因而在植物盐胁迫根系研究时可考虑优先采用单株的根系总长度这个指标。

对比3种滨海盐生植物根系的生物量和每个土壤深度区间中根系总根长、平均直径的特征(表1,图2,图3),碱蓬根系分布较浅;根系大部分聚集在浅土层,明显区别于盐角草和盐地碱蓬,这可能与这3种植物生长的原生土壤不同土层的含水量有关,对特殊自然生境的长期遗传适应使3种植物表现出不同的根系特征,碱蓬主要利用表层土壤中的降水,而盐角草和盐地碱蓬主要利用较深层土壤中的降水或地下潜水,但这一结论还要结合野外实地调查与之对比后验证。根据这3种滨海盐生植物根系的生长和分布特征,我们可以初步证明此3种植物的根系分属于2种功能型:深根型和浅根型,碱蓬是浅根系功能型,盐角草和盐地碱蓬是深根系功能型。根系功能型的不同适应机制是碱蓬、盐角草和盐地碱蓬能够在该地区成为优势群落的一种可能解释。

根系的生长是受遗传和环境因素共同影响的<sup>[25]</sup>。有关养分和水分对植物根系分布的影响已有较多的报道<sup>[26-27]</sup>,但有关盐对滨海盐生植物根系生长和分布的影响还未见报道。本试验通过水培植物得到根系的分布参数,排除了土壤中一些其他环境条件,得到的根系分布数据能够比较客观地反映出植物根系自身遗传因素的本质差异。试验为在不同含盐量的滨海地区进行土壤加固和利用这些植物提供了基本的生物学基础,从整体上看,盐地碱蓬具有较快的生长速度,根系对于土壤加固具有较好的形态学基础。盐角草在重度盐渍化土壤上具有很好的适应性。本研究的结果对于利用盐生植物加强滨海不同含盐量盐土的稳定性,防止水蚀、风蚀和绿化都具有重要的参考价值。

#### 4 结论

(1)在盐分浓度较低时,盐可以促进3种滨海盐生植物的生长,但较高浓度的盐抑制其生长,特别是对根

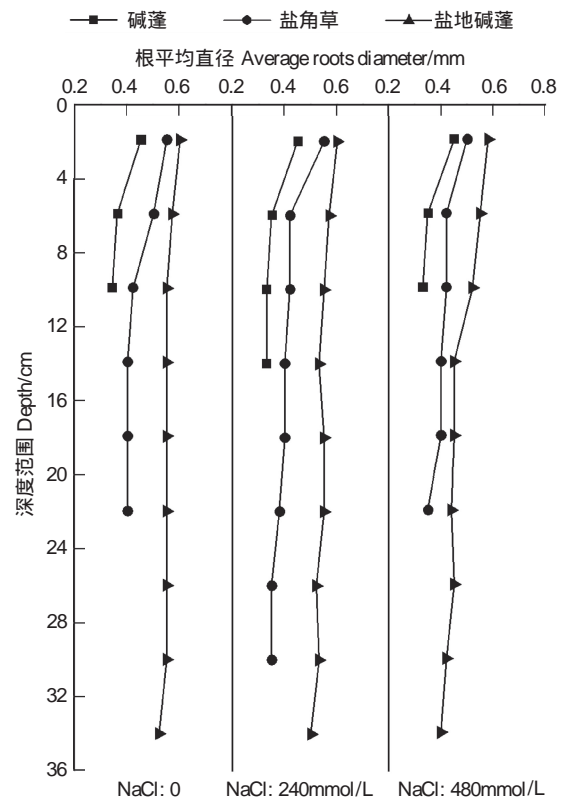


图3 不同 NaCl 浓度的盐处理条件下3种盐生植物在不同深度溶液中的平均根直径

Fig. 3 The average root diameter of three halophytes in different depth under salt treatment



系生长的抑制作用较大。随着盐浓度的增加,根冠比减小的幅度增大。不同盐分条件下的根冠比与盐浓度呈负相关关系。盐地碱蓬在根系和地上部的生长速度大于碱蓬和盐角草。与碱蓬和盐地碱蓬相比较,盐角草地上部分和根的生物量受高浓度盐的影响最小,耐盐能力最强。

(2)在盐分浓度较低时,3种滨海盐生植物的主根长和总根长都有所增加,其中盐角草增加的幅度较大,而高浓度的盐也会抑制其生长,但盐角草较碱蓬和盐地碱蓬受抑制的程度轻。盐分对3种植物的根系直径没有显著的影响,但有减小的趋势。在水培条件下,碱蓬和盐角草的根系上中下部都分布的较均匀,而盐地碱蓬的根系中部比上部 and 下部有显著的增加。盐分对根系的分布没有显著的影响。

(3)根据3种滨海盐生植物的根系生长和分布特征,初步证明这3种植物的根系分属于2种功能型:碱蓬是浅根系功能型,盐角草和盐地碱蓬是深根系功能型。

(4)从分布特征可以推断,盐地碱蓬具有较好的加强土壤稳定性的作用。

## References:

- [ 1 ] Meng W Q, Li H Y, Hao C, Lang Y Y, Mo X Q, Cai Z, Yan W, Cheng C. Wetland environmental evolution and dynamic change of wetland landscape patterns in Binhai New Area of Tianjin. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2009, 22(2): 4-7.
- [ 2 ] Xiao D N, Hu Y M, Li X Z. *A Study of Wetland Landscape Ecology in Circum-Bohai Region Delta Swamp*. Beijing: Science Press, 2001: 31.
- [ 3 ] Dupuy L, Fourcaud T, Stokes A. A numerical investigation into the influence of soil type and root architecture on tree anchorage. *Plant and Soil*, 2005, 278(1/2): 119-134.
- [ 4 ] Dupuy L, Fourcaud T, Stokes A. A numerical investigation into factors affecting the anchorage of roots in tension. *European Journal of Soil Science*, 2005, 56(3): 319-327.
- [ 5 ] Zhang L, Li J M, Wang H X. Physiological and ecological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) root to cadmium stress. *Chinese Journal of Soil Science*, 2002, 33(1): 61-65.
- [ 6 ] Lynch J. Root architecture and plant productivity. *Plant Physiology*, 1995, 109(1): 7-13.
- [ 7 ] Feng F, Zhang F S, Yang X Q. *Plant Nutriology-Advances and Prospects*. Beijing: China Agricultural University Press, 2000: 12-21.
- [ 8 ] Lu C M, Jiang G M, Wang B S, Kuang T Y. Photosystem II photochemistry and photosynthetic pigment composition in salt-adapted halophyte *Artemisia anethifolia* grown under outdoor conditions. *Journal of Plant Physiology*, 2003, 160(4): 403-408.
- [ 9 ] Bonghi G, Loreto F. Gas-exchange properties of salt-stressed olive (*Olea europea* L.) leaves. *Plant Physiology*, 1989, 90(4): 1408-1416.
- [ 10 ] Li H Y, Zhao K F, Wang X F. The inhibition of salinity on the germination of halophyte seeds. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science)*, 2002, 33(2): 170-173.
- [ 11 ] Sun G Y, Cai S Y, Hu Y B, Fan C H. Physiological characteristics of photosynthesis in *Iris lactea* Pall. var. *Chinensis* (Fisch.) Koidz grown in salt and alkali soil. *Bulletin of Botanical Research*, 2006, 26(1): 74-78.
- [ 12 ] Hasegawa P M, Bressan R A, Zhu J K, Bohnert H J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 2000, 51(2): 463-499.
- [ 13 ] Liao Y, Peng Y G, Chen G Z. Research advances in plant salt-tolerance mechanism. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 2077-2089.
- [ 14 ] Shen Y G, Chen S Y. Molecular mechanism of plant responses to salt stress. *Hereditas*, 2001, 23(4): 365-369.
- [ 15 ] Tang Y G, Wang E L, Liu K Y. *The Halophytes in Tianjin Littoral*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2007.
- [ 16 ] Wang J B. Problems of environmental geology of Tianjin Urban development. *Geological Survey and Research*, 2004, 27(3): 164-168.
- [ 17 ] Pan R Z, Dong Y D. *Plant Physiology*. 4th Edition. Beijing: Higher Education Press, 2001: 28.
- [ 18 ] Zhao K F, Har P J C. Study on the chemical message from the root system under salt stress. *Journal of Shandong Normal University (Natural Science)*, 1992, 7(4): 95, 96-100.
- [ 19 ] Duan D Y, Liu X J, Li C Z, Qiao H L. The effects of nitrogen on the growth and solutes of halophyte *Suaeda salsa* seedlings under the stress of NaCl. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14(1): 63-68.
- [ 20 ] Mass E V. Saline tolerance of plant. *Progress Pedology*, 1988, (2): 36-51.
- [ 21 ] Li P F, Bai W B, Yang Z C. Effects of NaCl stress on ions absorption and transportation and plant growth of tall fescue. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(7): 1458-1465.
- [ 22 ] Himmelbauer M L, Loiskandl W, Kastanek F. Estimating length, average diameter and surface area of roots using two different image analyses systems. *Plant and Soil*, 2004, 260(1/2): 111-120.
- [ 23 ] Kaspar T C, Ewing R P. ROOTEDGE: Software for measuring root length from desktop scanner images. *Agronomy Journal*, 1997, 89(6):

932-940.

- [24] Passioura J B. Root signals control leaf expansion in wheat seedlings growing in drying soil. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1988, 15(5): 687-693.
- [25] Bates T R, Lynch J P. Stimulation of root hair elongation in *Arabidopsis thaliana* by low phosphorus availability. *Plant Cell and Environment*, 1996, 19(5): 529-538.
- [26] Ji Q C, Zhou M Y, Zhang F X, Xu H P, Zhou C L, Jing H, Gu T Y. Effects of coupling of water and fertilizer on morphological characteristics and activities of root. *Journal of Water Resources and Architectural Engineering*, 2005, 3(3): 18-21, 24.
- [27] Waters B M, Blevins D G. Ethylene production, cluster root formation, and localization of iron(III) reducing capacity in Fe deficient squash roots. *Plant and Soil*, 2000, 225(1/2): 21-31.

#### 参考文献:

- [1] 孟伟庆, 李洪远, 郝翠, 梁耀元, 莫训强, 蔡喆, 阎维, 程晨. 天津滨海新区湿地环境演化与景观格局动态. *城市环境与城市生态*, 2009, 22(2): 4-7.
- [2] 肖笃宁, 胡远满, 李秀珍. 环渤海三角洲湿地的景观生态学研究. 北京: 科学出版社, 2001: 31.
- [5] 张玲, 李俊梅, 王焕校. 镉胁迫下小麦根系的生理生态变化. *土壤通报*, 2002, 33(1): 61-65.
- [7] 冯锋, 张福锁, 杨新泉. 植物营养研究——进展与展望. 北京: 中国农业大学出版社, 2000: 12-21.
- [10] 李海云, 赵可夫, 王秀峰. 盐对盐生植物种子萌发的抑制. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2002, 33(2): 170-173.
- [11] 孙广玉, 蔡淑燕, 胡彦波, 樊传辉. 盐碱地马蔺光合生理特性的研究. *植物研究*, 2006, 26(1): 74-78.
- [13] 廖岩, 彭友贵, 陈桂珠. 植物耐盐性机理研究进展. *生态学报*, 2007, 27(5): 2077-2089.
- [14] 沈义国, 陈受宜. 植物盐胁迫应答的分子机制. *遗传*, 2001, 23(4): 365-369.
- [15] 唐廷贵, 王二林, 刘奎义. 天津滨海盐生植物. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [16] 王家兵. 天津城市发展中的若干环境地质问题. *地质调查与研究*, 2004, 27(3): 164-168.
- [17] 潘瑞炽, 董恩得. 植物生理学(第四版). 北京: 高等教育出版社, 2001: 28.
- [18] 赵可夫, Har P J C. 盐胁迫下来自根系的化学信息. *山东师范大学学报(自然科学版)*, 1992, 7(4): 95,96-100.
- [19] 段德玉, 刘小京, 李存楨, 乔海龙. N 素营养对 NaCl 胁迫下盐地碱蓬幼苗生长及渗透调节物质变化的影响. *草业学报*, 2005, 14(1): 63-68.
- [20] Mass E V. 植物的耐盐性. *土壤学进展*, 1988, (2): 36-51.
- [21] 李品芳, 白文波, 杨志成. NaCl 胁迫对苇状羊茅离子吸收与运输及其生长的影响. *中国农业科学*, 2005, 38(7): 1458-1465.
- [26] 稽庆才, 周明耀, 张凤翔, 徐华平, 周春林, 荆昊, 顾太义. 水培条件下水肥耦合对水稻根系形态及其活力的影响. *水利与建筑工程学报*, 2005, 3(3): 18-21, 24.

CONTENTS

Root system characters in growth and distribution among three littoral halophytes ..... YI Liangpeng, WANG Zuwei (1195)

Population dynamics of endophytic bacteria isolated from the roots of infected *Cymbidium faberi* ..... YANG Na, YANG Bo (1203)

Spatial variability of forest soil total nitrogen of different soil layers ..... ZHANG Zhenming, YU Xinxiao, WANG Yousheng, et al (1213)

Habitat prediction for forest musk deer (*Moschus berezovskii*) in Qinling mountain range based on niche model ..... LUO Chong, XU Weihua, ZHOU Zhixiang, et al (1221)

Growth release determination and interpretation of Korean pine and Koyama spruce in Shengshan National Nature Reserve, Heilongjiang Province, China ..... WANG Xiaochun, ZHAO Yufang (1230)

Growth tolerance and accumulation characteristics of the mycelia of two macrofungi species to heavy metals ..... LI Weihuan, YU Lanlan, CHENG Xianhao, et al (1240)

Characters of the OMI NO<sub>2</sub> column densities over different ecosystems in Zhejiang Province during 2005—2009 ..... CHENG Miaomiao, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (1249)

The forest gap diameter height ratio in a secondary coniferous forest of Guan Di Mountain ..... FU Liyong, TANG Shouzheng, LIU Yingan (1260)

Landscape responses to changes in water levels at Poyang Lake wetlands ..... XIE Dongming, ZHENG Peng, DENG Hongbing, et al (1269)

Effect of simulated nitrogen deposition on litter decomposition in a *Bambusa pervariabilis* × *Dendrocala mopsi* plantation, Rainy Area of West China ..... TU Lihua, DAI Hongzhong, HU Tingxing, et al (1277)

Effect of aromatic plant-derived nutrient solution on the growth, fruit quality and disease prevention of pear trees ..... GENG Jian, CUI Nannan, ZHANG Jie, et al (1285)

Influences of different plastic film mulches on temperature and moisture of soil and growth of watermelon in gravel-mulched land ..... MA Zhongming, DU Shaoping, XUE Liang (1295)

Effects of drought stress on photosynthetic traits and protective enzyme activity in maize seedling ..... ZHANG Renhe, ZHENG Youjun, MA Guosheng, et al (1303)

Photosynthetic diurnal variation characteristics of leaf and non-leaf organs in winter wheat under different irrigation regimes ..... ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, WANG Zhimin (1312)

The root system hydraulic conductivity and water use efficiency of alfalfa and sorghum under water deficit ..... LI Wenrao, LI Xiaoli, ZHANG Suiqi, et al (1323)

Latitudinal gradient in beta diversity of forest communities in America ..... CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1334)

Influence of silts on growth and development of *Acorus calamus* and *Acorus tatarinowii* in turbid water ..... LI Qiang, ZHU Qihong, DING Wuquan, et al (1341)

Roles of earthworm in phytoremediation of pyrene contaminated soil ..... PAN Shengwang, WEI Shiqiang, YUAN Xin, et al (1349)

Population dynamics of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) along with analysis on the meteorological factors influencing the population in pomegranate orchards ..... LIU Ling, CHEN Bin, LI Zhengyue, et al (1356)

Geophagy of *Macaca Thibetana* at Mt. Huangshan, China ..... YIN Huabao, HAN Demin, XIE Jifeng, et al (1364)

The structure and dynamic of insect community in Zhalong Wetland ..... MA Ling, GU Wei, DING Xinhua, et al (1371)

Analysis of layer progressive discriminant relations between the occurrence of *Bipectilus zhejiangensis* and soil ..... DU Ruiqing, CHEN Shunli, ZHANG Zhengtian, et al (1378)

New mutations in hind wing vein of *Apis cerana cerana* (Hymenoptera: Apidae) induced by lower developmental temperature ..... ZHOU Bingfeng, ZHU Xiangjie, LI Yue (1387)

18S rRNA gene variation and phylogenetic analysis among 6 orders of Bivalvia class ..... MENG Xueping, SHEN Xin, CHENG Hanliang, et al (1393)

Laboratory study on ethology of *Spinibarbus hollandi* ..... LI Weiming, CHEN Qiuwen, HUANG Yingping (1404)

Dynamic change in ecological footprint of energy consumption for traction of locomotives in China ..... HE Jicheng (1412)

Approach to spatial differences analysis of urban carrying capacity: a case study of Changzhou City ..... WANG Dan, CHEN Shuang, GAO Qun, et al (1419)

Social adaptive capacity for water resource scarcity in human systems and case study on its measuring ..... CHENG Huaiwen, LI Yuwen, XU Zhongmin (1430)

Effects of physical leaf features of host plants on leaf-mining insects ..... DAI Xiaohua, ZHU Chaodong, XU Jiasheng, et al (1440)

**Review and Monograph**

Progresses of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) researches on C<sub>4</sub> crops: a review ..... WANG Yunxia, YANG Lianxin, Remy Manderscheid, et al (1450)

**Scientific Note**

Influence of limestone powder doses on fine root growth of seriously damaged forests of *Pinus massoniana* in the acid rain region of Chongqing, China ..... LI Zhiyong, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1460)

Leaf surface microstructure of *Ligustrum lucidum* and *Viburnum odoratissimum* observed by Atomic force microscopy (AFM) ..... SHI Hui, WANG Huixia, LI Yangyang, LIU Xiao (1471)

# 2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊\*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任:孔红梅

执行编辑:刘天星 段 靖

生态学报  
(SHENGTAI XUEBAO)  
(半月刊 1981 年 3 月创刊)  
第 31 卷 第 5 期 (2011 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 31 No. 5 2011

**编 辑** 《生态学报》编辑部  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085  
电话:(010)62941099  
www.ecologica.cn  
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

**主 编** 冯宗炜  
**主 管** 中国科学技术协会  
**主 办** 中国生态学会  
中国科学院生态环境研究中心  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085

**出 版** 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

**印 刷** 北京北林印刷厂  
**发 行** 科 学 出 版 社  
地址:东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717  
电话:(010)64034563  
E-mail:journal@cspg.net

**订 购** 全国各地邮局  
**国外发行** 中国国际图书贸易总公司  
地址:北京 399 信箱  
邮政编码:100044

**广告经营** 京海工商广字第 8013 号  
**许 可 证**

**Edited** by Editorial board of  
ACTA ECOLOGICA SINICA  
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China  
Tel:(010)62941099  
www.ecologica.cn  
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

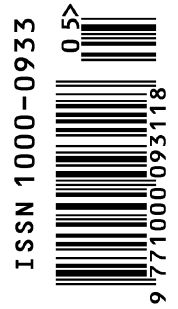
**Editor-in-chief** FENG Zong-Wei  
**Supervised** by China Association for Science and Technology  
**Sponsored** by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

**Published** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

**Printed** by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

**Distributed** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel:(010)64034563  
E-mail:journal@cspg.net

**Domestic** All Local Post Offices in China  
**Foreign** China International Book Trading  
Corporation  
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元