

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第10期 Vol.31 No.10 **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 10 期

2011 年 5 月 (半月刊)

目 次

大熊猫取食竹笋期间的昼夜活动节律和强度·····	张晋东, Vanessa HULL, 黄金燕, 等 (2655)
高枝假木贼的胎生萌发特性及其生态适应·····	韩建欣, 魏 岩, 严 成, 等 (2662)
准噶尔盆地典型地段植物群落及其与环境因子的关系 ·····	赵从举, 康慕谊, 雷加强 (2669)
喀斯特山地典型植被恢复过程中表土孢粉与植被的关系·····	郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友, 等 (2678)
青藏高原高寒草甸土壤 CO ₂ 排放对模拟氮沉降的早期响应·····	朱天鸿, 程淑兰, 方华军, 等 (2687)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤水分和植被空间格局·····	邱开阳, 谢应忠, 许冬梅, 等 (2697)
雪灾后粤北山地常绿阔叶林优势树种幼苗更新动态·····	区余端, 苏志尧, 解丹丹, 等 (2708)
四川盆地四种柏木林分类型的水文效应·····	龚固堂, 陈俊华, 黎燕琼, 等 (2716)
平茬对半干旱黄土丘陵区柠条林地土壤水分的影响·····	李耀林, 郭忠升 (2727)
连栽杉木林林下植被生物量动态格局·····	杨 超, 田大伦, 胡日利, 等 (2737)
近 48a 华北区太阳辐射量时空格局的变化特征·····	杨建堂, 刘 勤, 严昌荣, 等 (2748)
中型景观尺度下杨树人工林林分特征对树干病害发生的影响——以河南省清丰县为例·····	王 静, 崔令军, 梁 军, 等 (2757)
耕作措施对冬小麦田杂草生物多样性及产量的影响·····	田欣欣, 薄存瑶, 李 丽, 等 (2768)
官山保护区白颈长尾雉栖息地适宜性评价·····	陈俊豪, 黄晓凤, 鲁长虎, 等 (2776)
花椒园节肢动物群落特征与气象因子的关系·····	高 鑫, 张晓明, 杨 洁, 等 (2788)
沙漠前沿不同植被恢复模式的生态服务功能差异·····	周志强, 黎 明, 侯建国, 等 (2797)
大豆出苗期和苗期对盐胁迫的响应及耐盐指标评价·····	张海波, 崔继哲, 曹甜甜, 等 (2805)
不同耐盐植物根际土壤盐分的动态变化·····	董利苹, 曹 靖, 李先婷, 等 (2813)
短期 NaCl 胁迫对不同小麦品种幼苗 K ⁺ 吸收和 Na ⁺ 、K ⁺ 积累的影响 ·····	王晓冬, 王 成, 马智宏, 等 (2822)
套袋微域环境对富士苹果果皮结构的影响·····	郝燕燕, 赵旗峰, 刘群龙, 等 (2831)
畜禽粪便施用对稻麦轮作土壤质量的影响·····	李江涛, 钟晓兰, 赵其国 (2837)
土霉素胁迫下拟南芥基因组 DNA 甲基化的 MSAP 分析·····	杜亚琼, 王子成, 李 霞 (2846)
甲藻孢囊在长山群岛海域表层沉积物中的分布·····	邵魁双, 巩 宁, 杨 青, 等 (2854)
湖南省城市群生态网络构建与优化 ·····	尹海伟, 孔繁花, 祈 毅, 等 (2863)
基于多智能体与元胞自动机的上海城市扩展动态模拟 ·····	全 泉, 田光进, 沙默泉 (2875)
城市道路绿化带“微峡谷效应”及其对非机动车道污染物浓度的影响 ···	李 萍, 王 松, 王亚英, 等 (2888)
专论与综述	
北冰洋微型浮游生物分布及其多样性·····	郭超颖, 王桂忠, 张 芳, 等 (2897)
种子微生物生态学研究进展 ·····	邹媛媛, 刘 洋, 王建华, 等 (2906)
条件价值评估的有效性与可靠性改善——理论、方法与应用·····	蔡志坚, 杜丽永, 蒋 瞻 (2915)
问题讨论	
中国生态学期刊现状分析 ·····	刘天星, 孔红梅, 段 靖 (2924)
研究简报	
四季竹耐盐能力的季节性差异·····	顾大彤, 郭子武, 李迎春, 等 (2932)
新疆乌恰泉地震前后泉水细菌群落的变化·····	杨红梅, 欧提库尔·玛合木提, 曾 军, 等 (2940)
两种猎物对南方小花蝽种群增长的影响及其对二斑叶螨的控害潜能 ·····	黄增玉, 黄林茂, 黄寿山 (2947)
学术信息与动态	
全球变化下的国际水文学研究进展: 特点与启示 ——2011 年欧洲地球科学联合会会员大会述评·····	卫 伟, 陈利顶 (2953)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 34 * 2011-05



封面图说: 藏酋猴 (*Macaca thibetana*) 属猴科 (*Cercopithecidae*) 猕猴属 (*Macaca*) 又名四川短尾猴、大青猴, 为我国特有灵长类之一, 被列为国家二级保护野生动物; 近年来, 由于人类活动加剧, 栖息环境恶化, 导致藏酋猴种群数量和分布日趋缩小; 本照片摄于四川卧龙国家级自然保护区 (拍摄时间: 2010 年 3 月)。

彩图提供: 中国科学院生态环境研究中心张晋东博士 E-mail: zhangjd224@163.com

不同耐盐植物根际土壤盐分的动态变化

董利苹¹, 曹靖^{1,*}, 李先婷¹, 代立兰², 苏怡兵³

(1. 兰州大学生命科学学院干旱与草地生态教育部重点实验室, 兰州 730000;
2. 兰州市农业科学研究中心, 兰州 730000; 3. 兰州大学化学化工学院, 兰州 730000)

摘要:以甘肃秦王川引大灌区盐渍化土壤为研究背景,用盆栽根袋法对4种耐盐植物根际和非根际土壤pH和盐分离子的动态变化进行了分析比较。结果表明,4种待测植物随着培养时间的延长土壤pH和EC值呈降低趋势。新疆大叶(*Medicago Sativa* L. cv. Xinjiangdaye)、向日葵(*Helianthus annuus*)和霸王(*Zygophyllum xanthoxylum*)生长90 d后根际土壤pH明显低于非根际,而裸麦(*Hordeum vulgare* var. vulgare)根际较非根际pH差异不大。霸王和新疆大叶根际土壤EC值较非根际高,而裸麦和向日葵的根际与非根际差异不大。4种供试植物根际K⁺均出现欠缺, Ca²⁺、Na⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻和Cl⁻在新疆大叶、霸王和向日葵3种植物根际均出现富集,对于裸麦:Ca²⁺、Mg²⁺和SO₄²⁻3种离子在植物根际富集,而Cl⁻和Na⁺在根际欠缺。随着待测植物培养时间的增加Na⁺/K⁺、Na⁺/Ca²⁺和Na⁺/Mg²⁺这3个比值呈降低趋势,说明Na⁺相对于K⁺、Ca²⁺和Mg²⁺的含量降低,生物措施对Na⁺的移除效果较显著。

关键词:根际和非根际;耐盐植物;盐分离子;土壤pH;生物改良

Dynamic change of salt contents in rhizosphere soil of salt-tolerant plants

DONG Liping¹, CAO Jing^{1,*}, LI Xianting¹, DAI Lilan², SU Yibing³

1 Key Laboratory of Arid and Grassland Ecology, School of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China
2 Lanzhou Agriculture Science Research Center, Lanzhou 730000, China
3 School of Chemistry and Chemical Engineering, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: Secondary salinization of soil is a major limiting factor for agricultural sustainability development in irrigated agriculture in arid and semi-arid regions. At present, the problem of soil salinity is further deteriorating in inland arid regions as the dry lands have become irrigated fields, which caused the substantial rise of groundwater table. The majority of comparative studies suggested that phytoremediation (plant-assisted approach) is more effective in the amelioration process in recent years. Rhizosphere is an important interface in substance exchange and energy transformation between plants and soil. Affected by physiological activities of plant roots, there is a marked difference in physicochemistry properties between the rhizosphere soil and bulk soil. Based on a calcareous salt-affected soil in the irrigated region of Qingwangchuan, Gansu, a rhizobag experiment was conducted on four salt-tolerant plants to investigate dynamic changes of pH, EC (Electrical Conductivity) and salt ions in the rhizosphere and bulk soil, and to compare the differences between them at the different plant growth stages. The results showed that pH, EC and concentrations of six major salt ions in four tested plants decreased with the extension of incubation days. There was significantly ($P < 0.05$) lower pH in rhizosphere soil than in corresponding bulk soil after 90-day growth periods for all tested plants, such as alfalfa (*Medicago Sativa* L. cv. Xinjiangdaye), sunflower (*Helianthus annuus*) and common beancaper (*Zygophyllum xanthoxylum*) except for barley (*Hordeum vulgare* var. vulgare). Soil EC was higher in rhizosphere soil than in bulk soil for common beancaper and alfalfa, but not for sunflower and barley. K⁺ concentrations reduced significantly in the rhizosphere of four tested plants, but other major salt ions in the rhizosphere soil of alfalfa, common beancaper and sunflower exhibited enrichment. However,

基金项目:国家自然科学基金项目(31071866);甘肃省自然科学基金项目(096RJZA066);教育部春晖计划项目(2009-12);兰州市科技发展计划项目(2008-1-51)

收稿日期:2010-10-18; 修订日期:2010-12-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: caoj46@yahoo.com.cn

Ca^{2+} , Mg^{2+} and SO_4^{2-} concentrations increased in the rhizosphere of barley, whereas the other ions behaved in an opposite way. The Na^+/K^+ , $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ and $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$ ratio showed a decrease trend with the extension of incubation days. The results indicated that the deficit of Na^+ in the soil was more profound than those of K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} . In the present study, the main reasons which were responsible for the relative change of ions between rhizosphere and bulk soil might be the combination effects, namely effects of different ions were absorbed selectively by plant root and the amounts of soil mineral-salt compound can be mobilized by different rhizosphere processes. Besides, the rate of different salt moving to the rhizosphere also played a key role in this case. In addition, we should consider the distance between sampling site and plant rhizosphere at different plant growth stages as pH and salt contents in the saline soil were measured.

Key Words: rhizosphere and bulk soil; salt-tolerant plant; salt ions; soil pH; salt-affected soil

全世界干旱半干旱地区已有超过 10 亿 hm^2 的盐渍化土地需要有效、便宜、可持续的管理^[1-2], 并且由于不合理灌溉、管理等人为因素的影响, 世界上超过 40% 的灌区土地含盐水平在增加^[3]。土壤盐渍化已成为干旱半干旱地区农业产量的主要限制因子。化学改良措施应用于盐渍化土地的改良已有悠久的历史, 多通过增加根际土壤中可溶性钙离子含量, 使更多的钠离子从阳离子交换位点上被取代后通过淋洗将其移除到耕层以下^[4], 但其需水量大且成本较高; 而生物改良措施既有效、低廉、环保, 又能够增加土壤中可溶性钙离子含量^[5], 并且淋洗与生物措施配合应用需水量少改良效果好^[6], 所以生物措施作为一种潜在的代替化学措施的好方法便得到了广大农民的欢迎^[7]。

根际是土壤-植物生态系统物质交换的活跃界面, 是根系自身活动和代谢对土壤生物化学性质影响最直接、最强烈的微域^[8-9], 并且在根系作用下的根际环境时刻处于动态变化之中^[10], 其物理化学性质与土体(非根际土)相比有很大的差异^[11]。但目前将生物措施中植物根系的时空效应联合起来考虑, 研究植物对土壤性质影响的文章尚未见到。所以, 本文以甘肃秦王川引大灌区盐渍化土壤为研究背景, 以当地 4 种不同耐盐植物为材料, 模拟大田试验条件下的灌溉淋洗作用, 用盆栽根袋法对根际与非根际土壤进行动态取样, 以期能够深入的探讨不同耐盐植物在其生长过程中根际土壤的化学变化过程及植物对盐渍化土壤的作用机制, 旨在为西北内陆灌溉农业系统土壤次生盐渍化土壤的发生和改良提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

本实验供试土壤于 2009 年 4 月采集于引大灌区永登县次生盐渍化土壤, 其基本理化性质(表 1)采用常规分析测定^[12]。供试植物选用引大灌区盐渍化土壤上生长良好的 4 种耐盐植物: 新疆大叶(*Medicago Sativa* L. cv. Xinjiangdaye)、向日葵(*Helianthus annuus* L.)、裸麦(*Hordeum vulgare* var. vulgare)、霸王(*Zygophyllum xanthoxylum*), 其对灌区的盐渍化环境有很强的适应性。

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical characteristics of tested soil

土壤类型 Agrotype	碳酸钙 $\text{CaCO}_3/\%$	pH	电导率 EC $/(\text{ds}/\text{m})$	田间持水量 Field capacity/ $\%$	有机质 Organicmatter $/(\text{g}/\text{kg})$	全氮 Total N $/(\text{g}/\text{kg})$	速效磷 Valuable P $/(\text{mg}/\text{kg})$	全钾 Total K $/(\text{g}/\text{kg})$
灰钙土 Sierozem	16.27	8.31	6.87	21.43	10.75	0.03	64.66	2.05

1.2 植物根袋培养及样品采集

试验采用盆栽根袋法模拟装置进行^[13-14], 所有实验均在实验大棚内进行。供试土壤采集于上述供试耐盐植物的自然分布区, 在室内风干过 0.5 mm 筛待用。土壤装盆前添加肥料(尿素和磷酸二氢钾), 添加量如下: 200 mgN/kg 干土, 100 $\text{mgP}_2\text{O}_5/\text{kg}$ 干土, 并充分混合均匀。根袋用 320 目孔径的尼龙网纱缝制而成(植物

根系不能穿过,但水分和离子可以自由通过),直径 7 cm,高 13 cm。每个根袋内装入备好的土壤 0.8 kg,相同的供试土壤也装入高 19 cm,内径 23 cm 的盆中,同时在盆中央埋入备好的根袋 1 个,使装好的盆重为 5.5 kg。用称重法小心浇蒸馏水尽量避免蒸馏水溢出,尽量使土壤含水量达到 140 g/kg 备用(即总重达 6.3 kg)。在每个根袋内播入露白的植物种子 20 粒,出苗后留苗 12 株。每个品种 18 个重复,另外留 18 盆未播入种子的盆作为对照。生长期每 14 d 轮流浇蒸馏水 1.5 L 和 2 L 各 1 次,其它不做任何处理。各指标分别在植物长出后 60,90,120 d 各取样测定 1 次。取样时,每种植物选择出苗和长势基本一致的 6 盆留作采样,即 6 个重复。同时选择 6 盆对照土壤同时采样,每次取出根袋中 1 cm 以内(根袋为直径 7 cm、高 13 cm 的圆柱状,取距离上表面和侧表面各 1 cm 的直径 5 cm、高 12 cm 的内嵌同心圆柱状土壤)的土壤作为根际土,取距离根袋外 2—3 cm 的土壤作为非根际土。

1.3 样品分析测定

将采集的土样在室内风干并过 2 mm 筛,取风干土按水土比 5:1 制备待测液,用于 pH 值、可溶性盐分总量及盐分的测定,pH 值用电位测定法;可溶性盐分总量(EC 值)用电导法; Na^+ 和 K^+ 用火焰光度计法; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 采用原子吸收分光光度法; Cl^- 、 SO_4^{2-} 的测定采用土壤盐分常规滴定法。以上各项指标测定的具体方法见参考文献^[12]。

1.4 数据处理

用 Excel 作图,DPS v3.01 进行统计分析,单因素方差分析采用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 土壤 pH 的动态变化

图 1 看出,除对照组外土壤的 pH 降低;植物根际土壤的 pH 与生长同期非根际土壤中的相比差值因植物的不同有差异,新疆大叶根际 pH 小于非根际 pH,且差异显著($P<0.05$)。向日葵和霸王生长 90 d 后根际土壤 pH 小于非根际 pH,且差异显著($P<0.05$)。而裸麦和对照组根际与非根际相比 pH 差异不大。引起土壤 pH 变化的主要原因可能有以下几种:(1)植物对无机阴阳离子的不平衡吸收引起根际酸化或碱化^[15];(2)植物根系和根际微生物呼吸以及土壤有机质的分解释放二氧化碳,引起根际酸化;(3)根尖细胞在伸长过程中能分泌离子(H^+ 、 OH^- 、 HCO_3^-)和有机酸,而一些与植物的物种特异性相关的因素,如植物的生长发育对养分的需求量^[16];(4)植物对氮素形态吸收的偏好以及对不同形态氮素的生理响应使根际 pH 发生变化^[17],如植物吸收铵态氮使根际酸化,吸收硝态氮使根际碱化,也有研究表明向日葵不论吸收铵态氮还是硝态氮都使根际 pH 降低^[18]。

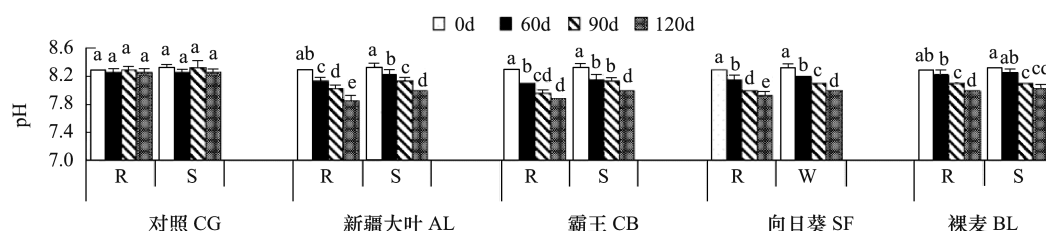


图 1 不同植物根际和非根际土壤 pH 值的动态变化

Fig. 1 Dynamic change of pH in rhizosphere and bulk soil for different plants

R: 根际土 Rhizosphere soil; S: 非根际土 Bulk soil; CG: control group; AL: alfalfa; CB: common beancaper; SF: sunflower; BL: barley; 小写字母表示同一植物在不同培养时期的显著性分析

由图 1 还可知,在生长 120 d 时新疆大叶根际土壤 pH 下降最大,与种前相比降低了 0.43 个单位。并且新疆大叶的根际酸化作用最强,在培养 120 d 时,根际较非根际低 0.13 个单位。这主要是因为新疆大叶是豆科植物,豆科植物除了能通过以上机理影响根际 pH 外,还能通过与豆科植物共生的根际微生物的固氮作用引起根际酸化。

2.2 土壤 EC 的动态变化

由图 2 看出,土壤的 EC 随生长时间的延长呈下降趋势,培养 120 d 时 EC 值最小;根际土壤的 EC 值与生长同期非根际土壤中的相比因植物种的不同有所差异,对照组、裸麦和向日葵根际土壤的 EC 与同一培养时间非根际土壤的相比差异不显著;而霸王和新疆大叶在生长过程中根际土壤的 EC 始终大于非根际土壤,并且差异均达到了显著水平 ($P < 0.05$)。

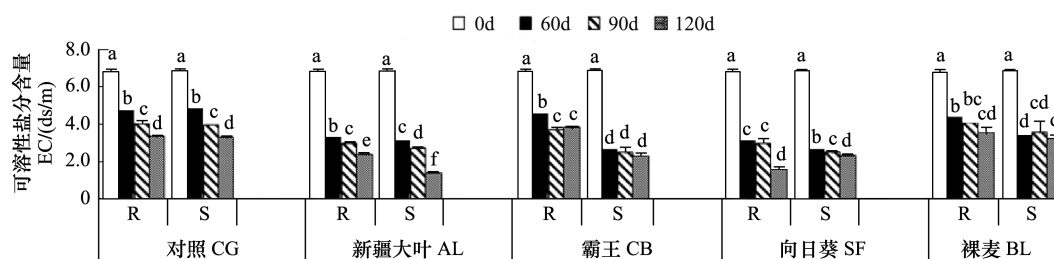


图 2 不同植物根际土壤和非根际土壤不同生长天数 EC 的变化状况

Fig. 2 EC of rhizosphere soil and bulk soil in different plants during different incubating days

图 2 表明,与对照组相比 4 种待测植物对 EC 的降低幅度更大,其中培养 120 d 时向日葵根际土壤 EC 下降最大,降为种前的 23.43%,说明向日葵对土壤可溶性盐分总量的改良效果最好。而 4 种待测植物中霸王根际较非根际差值最大,在 120 d 差值达到了 1.49 个单位。这主要与植物的耐盐能力有关,耐盐能力越强的植物,其根际的盐分富集程度也更大^[19]。进一步说明最耐盐的植物品种并不一定是对土壤可溶性盐分总量改良效果最好的灌区改良材料,植物对灌区盐渍化土壤可溶性盐分总量改良效果的好坏可能还与淋洗相关的根系形态,根系入土深度、根际作用等植物根系生物特异性相关的因素有关。

2.3 土壤主要盐分离子的动态变化

由图 3 看出,4 种待测植物和对照组土壤中的 6 种主要的可溶性盐离子随生长时间的增加呈下降趋势,培养 120 d 时土壤中 6 种主要的可溶性盐离子含量最少; K^+ 在 4 种待测植物的根际土壤中均出现了亏缺,并且 K^+ 在根际土壤中的含量与同一培养时间非根际土壤中的相比差异显著 ($P < 0.05$)。根际土壤其他 5 种主要的可溶性盐离子含量与非根际土壤相比差值因离子不同、植物种的不同而有所差异,首先在新疆大叶、向日葵和霸王 3 种植物中, Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 这 5 种可溶性盐离子在植物根际土壤中的分布与 K^+ 截然相反,均出现了富集,并且这 5 种可溶性盐离子在根际土壤中的含量较同一培养时间非根际土壤中的差异均达到了显著水平 ($P < 0.05$)。对于裸麦, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 在植物根际土壤中均出现了富集,而 Na^+ 和 Cl^- 在植物根际土壤中出现了亏缺,且 5 种可溶性盐离子在根际与非根际土壤中的差异均达到了显著水平 ($P < 0.05$)。而在对照组中,6 种主要的可溶性盐离子含量在根际与非根际土壤中差异均不显著。

由图 3 还可以看出,与对照组相比 4 种植物组对 6 种主要的可溶性盐离子的降低幅度更大,说明种植耐盐植物可以有效地促进土壤脱盐。并且培养 120 d 后对 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 降低幅度最显著的植物种为向日葵和新疆大叶。可溶性盐离子降低主要原因可能有以下 4 方面:(1)植物的覆盖作用,减少了土壤水分蒸发,有效抑制了土壤盐分的表聚发生^[20],有利于土壤脱盐;(2)植物根际效应能促进土壤中可溶性钙离子含量增加^[5-6,21],有利于盐离子淋洗到有效耕层以下。如本实验中向日葵和新疆大叶根际效应引起 pH 降低幅度较大(图 1),在培养 120 d 后对 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 降低幅度最显著的植物种也为向日葵和新疆大叶;(3)植物根系能改良根际土壤的持水性^[21],有利于盐离子淋洗到下层土壤;(4)植物体能够带走相当一部分盐分,植物体带走盐分的多少可能会因植物种不同有差异,这还需进一步实验验证。

由图 3 还可以看出,对照组根际与非根际 6 种主要盐离子差异不显著,而 4 种植物根际与非根际相比时刻处于相对变化中,差异显著 ($P < 0.05$),且根际土中离子含量与同一培养时期非根际土壤中的相比差异最显著的植物种是霸王和新疆大叶。与对照组相比,盐分在植物根际与非根际发生相对变化的主要原因可能有如

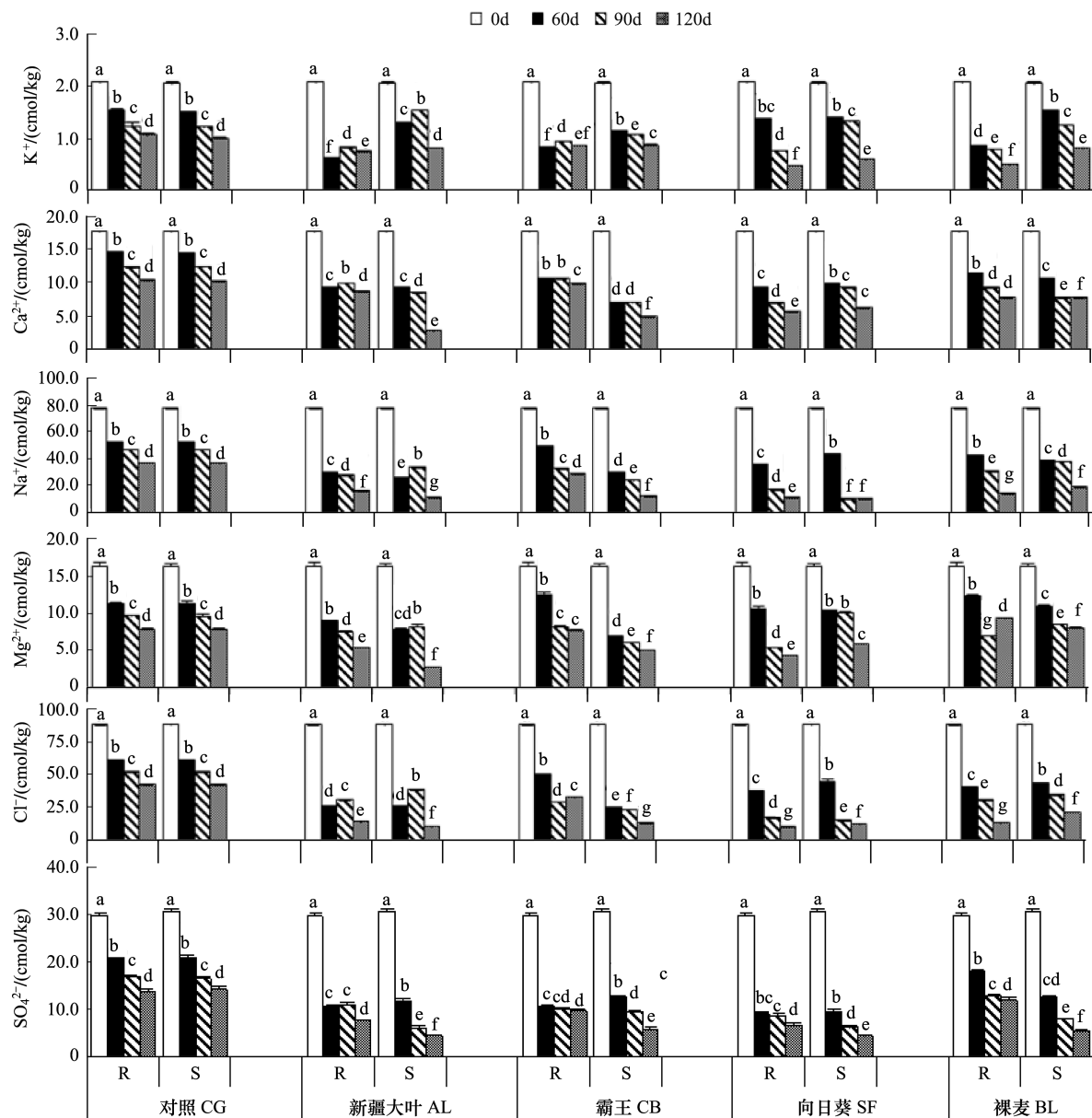


图3 不同植物根际土壤和非根际土壤不同生长天数主要盐离子的变化状况

Fig. 3 Major salt ions of rhizosphere soil and bulk soil in different plants during different incubating days

下5个:(1)水是土壤盐类离子迁移的载体。植物生长过程中,土溶液中的盐分通过质流到达根表,受根系吸水影响,靠近根际的盐分离子浓度远远的高于远离根际的,在干旱半干旱地区这种蒸腾作用使较多的盐离子向根际迁移^[22-23],造成根际盐分富集;(2)植物根系能使土壤渗透性和导水性增强^[21],灌溉时有利于盐离子淋洗到有效耕层以下,可造成根际盐分亏缺。由本实验对照组可见,定量浇水对所有离子按一定的比率同时进行改变的,仅改变土壤中离子数量,而对离子的相对含量没有影响(表2),证明离子间相对变化与淋洗无关;(3)与植物的耐盐能力有关,耐盐能力越强的植物,其根际的盐分富集程度也更大^[19]。本研究中根际盐分的聚集程度因品种不同也存在差异,霸王根际盐分富集程度最大,裸麦根际盐分富集程度最小;(4)受基因型的影响^[24],不同植物根系对土壤中不同离子的选择性吸收作用^[25],这一机理可能是导致土壤中离子发生相对变化的主要原因。另外,根际效应还受植物本身所处的生长发育阶段的影响^[26]。以本实验中的SO₄²⁻为例,裸麦在120 d的培养过程中根际SO₄²⁻富集,新疆大叶和霸王培养60 d时根际SO₄²⁻亏缺,培养90 d后这2种植物根际SO₄²⁻出现富集,而向日葵培养60 d时根际SO₄²⁻与非根际土壤中的相比差异不显著,培养90 d后

根际 SO_4^{2-} 出现富集;(5)土壤溶液中存在着显著的矿质态盐分的溶解和形成反应^[27]。综上所述,盐分离子在根际与非根际分布的相对状况可能是以下 3 方面因素共同作用的结果:(1)植物对不同盐离子的选择性吸收速率;(2)盐离子在土壤中的移动性;(3)土壤中矿质态盐分在根际效应下的活化速率。

表 2 不同植物根际土壤和非根际土壤盐分组成的动态变化

Table 2 Salt components of rhizosphere soil and bulk soil in different plants during different incubating days

项目 Item	区域 Zone	生长时间 Time/d	Na^+/K^+	$\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$	$\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$
对照组 CG	R	0	37.26 ab	4.38 a	4.66 a	2.93 ab
		60	34.34 c	3.61 c	4.60 a	2.89 b
		90	37.92 a	3.75 b	4.73 a	3.02 ab
		120	34.60 bc	3.52 d	4.59 a	3.01 ab
	S	0	37.59 a	4.38 a	4.66 a	2.86 b
		60	34.71 bc	3.61 c	4.61 a	2.88 b
		90	37.74 a	3.70 b	4.73 a	3.09 a
		120	36.99 abc	3.58 cd	4.60 a	2.91 b
新疆大叶 AF	R	0	37.26b	4.38a	4.66 a	2.93b
		60	48.88a	3.21d	3.27 e	2.41cd
		90	33.54c	2.74e	3.57 d	2.79bc
		120	15.02f	1.85 f	2.95 f	2.45 cd
	S	0	37.59b	4.38a	4.66 a	2.86bc
		60	20.18e	2.81e	3.30e	2.16d
		90	22.15d	3.96b	4.09 b	6.22 a
		120	13.56g	3.83c	3.90c	2.16d
霸王 CB	R	0	37.26 b	4.38 b	4.66 a	2.93 c
		60	60.98 a	4.64 a	3.91 c	4.64 a
		90	34.27 c	3.00 e	3.90 c	2.82 c
		120	33.57 c	2.89 f	3.72 d	3.25 b
	S	0	37.59 b	4.38 b	4.66 a	2.86 c
		60	25.74 e	4.11 c	4.13 b	1.95 e
		90	27.99 d	3.39 d	3.87 cd	2.43 d
		120	11.60 f	2.48 g	2.42 e	2.14 e
向日葵 SF	R	0	37.26 a	4.38 a	4.66 a	2.93 c
		60	26.31 c	3.88 b	3.37 c	4.08 b
		90	22.30 e	2.32 c	3.01 d	1.90 f
		120	23.99 d	1.97 d	2.54 e	1.45 g
	S	0	37.59 a	4.38 a	4.66 a	2.86 cd
		60	30.96 b	4.33 a	4.07 b	4.67 a
		90	7.76 g	1.11 e	1.00 g	2.32 e
		120	17.73 f	1.12 e	1.72 f	2.61 d
裸麦 BL	R	0	37.26 c	4.38 b	4.66 a	2.93 d
		60	49.13 a	3.68 c	3.35 c	2.22 e
		90	39.69 b	3.34 e	4.35 b	2.31 e
		120	29.50 d	1.80 g	1.49 e	1.09 f
	S	0	37.59 c	4.38 b	4.66 a	2.86 d
		60	25.27 e	3.60 d	3.45 c	3.39 c
		90	30.21 d	4.82 a	4.36 b	4.27 a
		120	23.79 e	2.44 f	2.33 d	3.85 b

R: 根际土 Rhizosphere soil; S: 非根际土 Bulk soil; CG: control group; AL: alfalfa; CB: common bean; SF: sunflower; BL: barley; 小写字母表示同一植物在不同培养时期的显著性分析

2.4 盐分组成的动态变化

从 Na^+/K^+ 、 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$ 这 3 个比值可以看出(表 2),4 种待测耐盐植物随培养时间的延长土壤中这 3 个比值是减小的,说明 Na^+ 相对于 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 在土壤中的含量降低了,改良措施对 Na^+ 的移除效果是显著的。而对 $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$,其变化灵敏,变化幅度更大,并且随着 4 种植物培养时间的增加其根际与非根际中的 $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 呈动态变化,其变化幅度因植物种不同也有差异。

由表 2 还可以看出根际土壤中 Na^+/K^+ 、 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$ 和 $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 这 4 个比值与生长同期非根际土壤中的相比,其差异因离子比值种类不同、植物种的不同而有所差异。4 种供试植物根际土壤中 Na^+/K^+ 的比值均大于同时期非根际土壤中的比值,且差异显著($P < 0.05$),说明根际土壤中 Na^+ 聚集率大于 K^+ 。由 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$ 的值可以看出,霸王和向日葵根际土壤与非根际土壤相比,根际土壤对 Na^+ 的聚集率大于 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} ;但在新疆大叶和裸麦中却表现截然相反,根际土壤中 Na^+ 聚集率小于 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} ;而对于 $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$,在霸王中,根际土壤中 Cl^- 聚集率大于 SO_4^{2-} ,差异显著($P < 0.05$);在新疆大叶、向日葵和裸麦实验组中,根际土壤中 Cl^- 聚集率小于 SO_4^{2-} 。本实验结果还表明对照组 4 种比值变化不大,根际土壤中的 4 种比值与同时期非根际土壤中的相比,差异并不显著。

3 讨论

有关生物措施对土壤 pH 值影响的结论并不一致。随着植物生长时间的延长 pH 升高^[28],pH 降低^[29],pH 不变^[30]的研究结果均有文献佐证。这些研究结果的不同,可能是由于采集的土壤距根际距离的差异所致^[31]。而本实验采用根袋法消除了采集土壤距根际距离的差异对土壤 pH 的影响,研究表明,除对照组土壤 pH 不变外,4 种待测植物随着培养时间的延长土壤 pH 是降低的。这对改良干旱半干旱灌区含钙较高的盐渍化土壤的改良有重要意义。已有的有的试验研究对根际与非根际土壤 pH 变化趋势的结论并不一致。有的研究结果表明根际土壤 pH 低于非根际的^[14],也有研究显示根际 pH 高于非根际的^[19]。这些研究结果的不同,可能是由于种植的植物品种不同,或者植物所处的生长发育阶段不同的缘故。而本实验以 4 种不同的耐盐植物为材料,并对 4 种不同的耐盐植物根际与非根际土壤进行动态取样,研究表明,除裸麦根际与非根际 pH 相差不大外,其他 3 种待测植物根际 pH 与非根际的差异因物种而异,新疆大叶根际 pH 小于非根际土壤的,向日葵和霸王生长 90 d 后根际土壤 pH 小于非根际土壤,且 3 种待测植物根际 pH 与非根际的差异显著($P < 0.05$)。根际 pH 主要受不间断的植物根系活动的影响,时刻处于动态变化之中,即使是同一品种不同的采样时期根际 pH 值与非根际 pH 值的差异大小也不尽相同。

与以往很多研究结果相类似^[28-29],本研究表明在灌区盐渍土上种植耐盐植物可以有效地促进土壤脱盐。一些研究表明非盐生植物^[32]、沙生植物^[14]和盐生植物根际^[19]都有盐分积聚现象。一些结果表明植物根际土 K^+ 趋于亏缺^[17],而弋良朋等实验表明荒漠盐生植物 K^+ 在根际有富集的现象^[31],并且 Cl^- 和 Na^+ 在根际的富集程度相对其它 4 种离子的富集程度要高,但李从娟等研究表明 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 在沙生植物根际的富集程度相对其它离子的富集程度要高^[14]。这些研究结果的不同,可能是由于植物的种类不同、系统补水量不同、或是取样时期植物的生长阶段不同造成的。而本实验除了严格控制系统补水量等实验操作外,还设计了针对 4 种不同耐盐植物根际与非根际土壤进行动态取样,结果表明,4 种耐盐的非盐生植物根际 K^+ 均出现了显著的亏缺($P < 0.05$)。对于其他 6 种离子,植物品种不同,根际富集的离子种类不同,即使是同一品种、同一离子在不同的生长时期其根际与非根际的相对离子含量也会发生很大变化,由此可见,因植物种不同其根际离子组成的变化也很大,而对照组根际与非根际相比各离子含量及组成差异不大。

综上所述,本实验说明 4 种不同耐盐植物根际作用促进了土壤 pH 和盐分降低,这对干旱半干旱灌区盐渍化土壤的改良和治理有积极作用。根际与非根际土壤 pH 和盐分的相对变化说明土壤 pH 和盐分可能与以下 2 个因素紧密相关:(1)取样点距离植物根际的远近;(2)取样时间处于植物生长周期的发育阶段。如果没有把这 2 个因素结合起来考虑而讨论生物改良措施对根际土壤 pH 和盐分的影响,其结论可能缺乏严密性。受基因型的影响^[24],不同植物根系对土壤中不同离子具有选择性吸收^[25],这一作用机理可能是导致根际与

非根际土壤离子发生相对变化的主要原因。

References:

- [1] Qadir M, Tubeileh A, Akhtar J, Larbi A, Minhas P S, Khan M A. Productivity enhancement of salt-affected environments through crop diversification. *Land Degradation & Development*, 2008, 19(4): 429-453.
- [2] Flowers T J, Yeo A R. Breeding for salinity resistance in crop plants; where next?. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1995, 22(6): 875-884.
- [3] Horie T, Schroeder J I. Sodium transporters in plants. Diverse genes and physiological functions. *Plant Physiology*, 2004, 136: 2457-2462.
- [4] Qadir M, Oster J D. Vegetative bioremediation of calcareous sodic soils: history, mechanisms, and evaluation. *Irrigation Science*, 2002, 21(3): 91-101.
- [5] Qadir M, Qureshi R H, Ahmad N. Reclamation of a saline-sodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca*. *Geoderma*, 1996, 74(3/4): 207-217.
- [6] Qadir M, Steffens D, Yan F, Schubert S. Sodium removal from a calcareous saline-sodic soil through leaching and plant uptake during phytoremediation. *Land Degradation and Development*, 2003, 14(3), 301-307.
- [7] Barrett-Lennard E G. Restoration of saline land through revegetation. *Agricultural Water Management*, 2002, 53(1/3): 213-226.
- [8] Lu Y H, Zhang F S. The advances in rhizosphere microbiology. *Soils*, 2006, 38(2): 113-121.
- [9] Yang Y S, He Z M, Zou S, Yu X T. A Study on the soil micorobes and biochemietry of rhizospheric and total soil in natural forest and plantation of *Castanopsis kauakamii*. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(2): 198-202.
- [10] Steer J, Harris J A. Shifts in the microbial community in rhizosphere and non-rhizosphere soils during the growth of *Agrostis stolonifera*. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(6): 869-878.
- [11] Toal M E, Yeomans C, Killham K, Mehary A A. A review of rhizosphere carbon flow modeling. *Plant and Soil*, 2000, 222(1/2): 263-281.
- [12] Bao S D. *Soil Chemical Analysis of Agriculture*. 4th Ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 12-21.
- [13] McGrath S P, Shen Z G, Zhao F J. Heavy metal uptake and chemical changes in the rhizosphere of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi ochroleucum* grown in contaminated soils. *Plant and Soil*, 1997, 188(1): 153-159.
- [14] Li C J, Ma J, Li Y. Salt content in the rhizosphere of five psammophytes. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 4649-4655.
- [15] Hinsinger P, Plassard C, Tang C X, Jaillard B. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: a review. *Plant and Soil*, 2003, 248(1/2): 43-59.
- [16] Calba H, Jaillard B, Fallavier P, Arvieu J C. Agarose as a suitable substrate for use in the study of Al dynamics in the rhizosphere. *Plant and Soil*, 1996, 178(1): 67-74.
- [17] Zhang Y D, Bai S B. Effects of nitrogen forms on nutrient uptake and growth of trees. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 2044-2048.
- [18] Römheld V, Müller C, Marschner H. Localization and capacity of proton pumps in roots of intact sunflower plant. *Plant Physiology*, 1984, 76(3): 603-606.
- [19] Yi L P, Ma J, Li Y. Soil salt regime in rhizosphere of desert halophytes in different soil. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(6): 1139-1143.
- [20] Ling H M, Jia H X, Zhang Y F, Guo X H. Effect of salt restraint on vicia villosa in secondary salinization land. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, 12(4): 58-62.
- [21] Liu P S, Jia Z K, Li J, Li Y P, Liu S X. A study on optimal duration of *Medicago sativa* growth in *M. sativa*-grain crop rotation system in arid region of Southern Ningxia. *Acta Prataculturae Sinica*, 2008, 17(3): 31-39.
- [22] Sinha B K, Singh N T. Salt distribution around roots of wheat under different transpiration rates. *Plant and Soil*, 1976, 44(1): 141-147.
- [23] Wang J, Liu M S, Sheng S, Xu C, Liu X K, Wang H J. Spatial distributions of soil water, salts and roots in an arid arbor-herb community. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4120-4127.
- [24] Hinsinger P. Bio-availability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant and Soil*, 2001, 237(2): 173-195.
- [25] Li J H, Yu R P. Ion transport in soil-crop rhizosphere system under different conditions. *Acta Pedologica Sinica*, 1998, 35(2): 186-194.
- [26] Ma Q D, Gao Z S, Hong F Z, Wang P. Study on the adaptation of alfalfa in Yellow River delta. *Acta Agrestia Sinica*, 1999, 7(1): 28-38.
- [27] Oster J D, Rhoades J D. Steady-state root zone salt balance//Tanjik K K, ed. *Agricultural Salinity Assessment and Management. Manuals and Reports on Engineering Practices No 71*. New York: American Society of Civil Engineers, 1990: 469-481.
- [28] Yang Y H, Jiang P A. Studies on soil properties of luceme with different cultivating ages. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(2): 110-113.

- [29] Guo J X, Jiang S C, Sun G. Comparative study on remediation of saline alkali grassland. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(4): 425-428.
- [30] Schubert S, Schubert E, Mengel K. Effect of low pH of the root medium on proton release, growth, and nutrient uptake of field beans(*Vicia faba*). *Plant and Soil*, 1990, 124(2): 239-244.
- [31] Yi L P, Ma J, Li Y. Distribution of soil nutrient concentration in the rhizosphere system of desert halophytes under two soil conditions. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(3): 443-448.
- [32] Dieffenbach A, Matzner E. *In situ* soil solution chemistry in the rhizosphere of mature Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) trees. *Plant and Soil*, 2000, 222(1/2): 149-161.

参考文献:

- [8] 陆雅海, 张福锁. 根际微生物研究进展. *土壤*, 2006, 38(2): 113-121.
- [9] 杨玉盛, 何宗明, 邹双, 俞新妥. 格氏栲天然林与人工林根际土壤微生物及其生化特性的研究. *生态学报*, 1998, 18(2): 198-202.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000, 12-21.
- [14] 李从娟, 马健, 李彦. 五种沙生植物根际土壤的盐分状况. *生态学报*, 2009, 29(9): 4649-4655.
- [17] 张彦东, 白尚斌. 氮素形态对树木养分吸收和生长的影响. *应用生态学报*, 2003, 14(11): 2044-2048.
- [19] 弋良朋, 马健, 李彦. 不同土壤条件下荒漠盐生植物根际盐分特征研究. *土壤学报*, 2007, 44(6): 1139-1143.
- [20] 蔺海明, 贾恢先, 张有福, 郭晔红. 毛苕子对次生盐碱地抑盐效应的研究. *草业学报*, 2003, 12(4): 58-62.
- [21] 刘沛松, 贾志宽, 李军, 李永平, 刘世新. 宁南旱区草粮轮作系统中紫花苜蓿适宜利用年限研究. *草业学报*, 2008, 17(3): 31-39.
- [23] 王琚, 刘茂松, 盛晟, 徐驰, 刘小恺, 王汉杰. 干旱区植物群落土壤水盐及根系生物量的空间分布格局. *生态学报*, 2008, 28(9): 4120-4127.
- [25] 李加宏, 俞仁培. 土壤-作物根际系统中离子的迁移. *土壤学报*, 1998, 35(2): 186-194.
- [26] 马其东, 高振生, 洪绂曾, 王培. 黄河三角洲地区苜蓿生态适应性研究. *草地学报*, 1999, 7(1): 28-38.
- [28] 杨玉海, 蒋平安. 不同种植年限苜蓿地土壤理化特性研究. *水土保持学报*, 2005, 19(2): 110-113.
- [29] 郭继勋, 姜世成, 孙刚. 松嫩平原盐碱化草地治理方法的比较研究. *应用生态学报*, 1998, 9(4): 425-428.
- [31] 弋良朋, 马健, 李彦. 两种土壤条件下荒漠盐生植物根际系统养分分布的实验研究. *中国沙漠*, 2008, 28(3): 443-448.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 10 May, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Circadian activity pattern of giant pandas during the bamboo growing season	2655
..... ZHANG Jindong, Vanessa HULL, HUANG Jinyan, et al	
The vivipary characteristic of <i>Anabasis elatior</i> and its ecological adaptation	2662
..... HAN Jianxin, WEI Yan, YAN Cheng, et al	
Relationships between plant community characteristics and environmental factors in the typical profiles from Dzungaria Basin	2669
..... ZHAO Congju, KANG Muyi, LEI Jiaqiang	
The relationship between pollen assemblage in topsoil and vegetation in karst mountain during different restoration period of typical vegetation community	2678
..... HAO Xiudong, OUYANG Xuhong, XIE Shiyong, et al	
Early responses of soil CO ₂ emission to simulating atmospheric nitrogen deposition in an alpine meadow on the Qinghai Tibetan Plateau	2687
..... ZHU Tianhong, CHENG Shulan, FANG Huajun, et al	
Spatial pattern of soil moisture and vegetation attributes along the critical area of desertification in Southern Mu Us Sandy Land	2697
..... QIU Kaiyang, XIE Yingzhong, XU Dongmei, et al	
Dynamics of dominant tree seedlings in montane evergreen broadleaved forest following a snow disaster in North Guangdong	2708
..... OU Yudian, SU Zhiyao, XIE Dandan, et al	
A comparative analysis of the hydrological effects of the four cypress stand types in Sichuan Basin	2716
..... GONG Gutang, CHEN Junhua, LI Yanqiong, et al	
Effect of cutting management on soil moisture in semi-arid Loess Hilly region	2727
..... LI Yaolin, GUO Zhongsheng	
Dynamics of understory vegetation biomass in successive rotations of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) plantations	2737
..... YANG Chao, TIAN Dalun, HU Yueli, et al	
Spatial and temporal variation of solar radiation in recent 48 years in North China	2748
..... YANG Jianying, LIU Qin, YAN Changrong, et al	
Impact of stand features of short-rotation poplar plantations on canker disease incidence at a mesoscale landscape: a case study in Qingfeng County, Henan Province, China	2757
..... WANG Jing, CUI Lingjun, LIANG Jun, et al	
Effects of different soil tillage systems on weed biodiversity and wheat yield in winter wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) field	2768
..... TIAN Xinxin, BO Cunyao, LI Li, et al	
Habitat suitability evaluation of Elliot's pheasant (<i>Syrnaticus ellioti</i>) in Guanshan Nature Reserve	2776
..... CHEN Junhao, HUANG Xiaofeng, LU Changhu, et al	
Relationships between arthropod community characteristic and meteorological factors in <i>Zanthoxylum bungeanum</i> gardens	2788
..... GAO Xin, ZHANG Xiaoming, YANG Jie, et al	
The differences of ecosystem services between vegetation restoration models at desert front	2797
..... ZHOU Zhiqiang, LI Ming, HOU Jianguo, et al	
Response to salt stresses and assessment of salt tolerability of soybean varieties in emergence and seedling stages	2805
..... ZHANG Haibo, CUI Jizhe, CAO Tiantian, et al	
Dynamic change of salt contents in rhizosphere soil of salt-tolerant plants	2813
..... DONG Liping, CAO Jing, LI Xianting, et al	
Effect of short-term salt stress on the absorption of K ⁺ and accumulation of Na ⁺ , K ⁺ in seedlings of different wheat varieties	2822
..... WANG Xiaodong, WANG Cheng, MA Zhihong, et al	
Effects of the micro-environment inside fruit bags on the structure of fruit peel in 'Fuji' apple	2831
..... HAO Yanyan, ZHAO Qifeng, LIU Qunlong, et al	
Enhancement of soil quality in a rice-wheat rotation after long-term application of poultry litter and livestock manure	2837
..... LI Jiangtao, ZHONG Xiaolan, ZHAO Qiguo	
MSAP analysis of DNA methylation in <i>Arabidopsis</i> (<i>Arabidopsis thaliana</i>) under Oxytetracycline Stress	2846
..... DU Yaqiong, WANG Zicheng, LI Xia	
Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from Changshan Archipelago in the North Yellow Sea	2854
..... SHAO Kuishuang, GONG Ning, YANG Qing, et al	
Developing and optimizing ecological networks in urban agglomeration of Hunan Province, China	2863
..... YIN Haiwei, KONG Fanhua, QI Yi, et al	
Dynamic simulation of Shanghai urban expansion based on multi-agent system and cellular automata models	2875
..... QUAN Quan, TIAN Guangjin, SHA Moquan	
"Micro-canyon effect" of city road green belt and its effect on the pollutant concentration above roads for non-motorized vehicles	2888
..... LI Ping, WANG Song, WANG Yaying, et al	
Review and Monograph	
The abundance and diversity of nanoplankton in Arctic Ocean	2897
..... GUO Chaoying, WANG Guizhong, ZHANG Fang, et al	
Advances in plant seed-associated microbial ecology	2906
..... ZOU Yuanyuan, LIU Yang, WANG Jianhua, et al	
Improving validity and reliability of contingent valuation method through reducing biases and errors: theory, method and application	2915
..... CAI Zhijian, DU Liyong, JIANG Zhan	
Discussion	
The analysis of Chinese ecological academic journals	2924
..... LIU Tianxing, KONG Hongmei, DUAN Jing	
Scientific Note	
Seasonal variations in salt tolerance of <i>Oligostachyum lubricum</i>	2932
..... GU Daxing, GUO Ziwu, LI Yingchun, et al	
Variation of a spring bacterial community from Wuqia Sinter in Xinjiang during the pre- and post-earthquake period	2940
..... YANG Hongmei, OTKUR Mahmut, ZENG Jun, et al	
Comparison of the effect of two prey species on the population growth of <i>Orius similis</i> Zheng and the implications for the control of <i>Tetranychus urticae</i> Koch	2947
..... HUANG Zengyu, HUANG Linmao, HUANG Shoushan	

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 10 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 10 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	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
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
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	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
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	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
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	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



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