

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第9期 Vol.31 No.9 **2011**

中国生态学会
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 9 期

2011 年 5 月 (半月刊)

目 次

EAM 会议专刊述评——气候变化下旱区农业生态系统的可持续性	李凤民, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, 等 (I)
第二届生态系统评估与管理(EAM)国际会议综述	李朴芳, 赵旭喆, 程正国, 等 (2349)
应对全球气候变化的干旱农业生态系统研究——第二届 EAM 国际会议青年学者论坛综述	赵旭喆, 李朴芳, Kadambot H. M Siddique, 等 (2356)
微集雨模式与降雨变律对燕麦大田水生态过程的影响	强生才, 张恒嘉, 莫非, 等 (2365)
黑河中游春小麦需水量空间分布	王 瑶, 赵传燕, 田风霞, 等 (2374)
祁连山区青海云杉林蒸腾耗水估算	田风霞, 赵传燕, 冯兆东 (2383)
甘肃小陇山不同针叶林凋落物量、养分储量及持水特性	常雅军, 陈 琦, 曹 靖, 等 (2392)
灌水频率对河西走廊绿洲菊芋生活史对策及产量形成的影响	张恒嘉, 黄高宝, 杨 斌 (2401)
玛纳斯河流域水资源可持续利用评价方法	杨 广, 何新林, 李俊峰, 等 (2407)
西北旱寒区地理、地形因素与降雨量及平均温度的相关性——以甘肃省为例	杨 森, 孙国钧, 何文莹, 等 (2414)
黑河河岸植被与环境因子间的相互作用	许莎莎, 孙国钧, 刘慧明, 等 (2421)
干旱胁迫对高山柳和沙棘幼苗光合生理特征的影响	蔡海霞, 吴福忠, 杨万勤 (2430)
树锦鸡儿、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和鹰嘴豆干旱适应能力比较	方向文, 李凤民, 张海娜, 等 (2437)
胡杨异形叶绿素荧光特性对高温的响应	王海珍, 韩 路, 徐雅丽, 等 (2444)
柠条平茬处理后不同组织游离氨基酸含量	张海娜, 方向文, 蒋志荣, 等 (2454)
玛河流域扇缘带盐穗木土壤速效养分的“肥岛”特征	涂锦娜, 熊友才, 张 霞, 等 (2461)
摩西球囊霉对三叶鬼针草保护酶活性的影响	宋会兴, 钟章成, 杨万勤, 等 (2471)
燕麦属不同倍性种质资源抗旱性状评价及筛选	彭远英, 颜红海, 郭来春, 等 (2478)
光周期对燕麦生育时期和穗分化的影响	赵宝平, 张 娜, 任长忠, 等 (2492)
水肥条件对新老两个春小麦品种竞争能力和产量关系的影响	杜京旗, 魏盼盼, 袁自强, 等 (2501)
猪场沼液对蔬菜病原菌的抑制作用	尚 斌, 陈永杏, 陶秀萍, 等 (2509)
不同夏季填闲作物种植对设施菜地土壤无机氮残留和淋洗的影响	王芝义, 郭瑞英, 李凤民 (2516)
不同群体结构夏玉米灌浆期光合特征和产量变化	卫 丽, 熊友才, Baoluo Ma, 等 (2524)
脱硫废弃物对碱胁迫下油菜幼叶细胞钙分布及 Ca^{2+} -ATPase 活性的影响	毛桂莲, 许 兴, 郑国琦, 等 (2532)
过去 30a 玛纳斯河流域生态安全格局与农业生产力演变	王月健, 徐海量, 王 成, 等 (2539)
基于 RS 和转移矩阵的泾河流域生态承载力时空动态评价	岳东霞, 杜 军, 刘俊艳, 等 (2550)
毛乌素沙地农牧生态系统能值分析与耦合关系	胡兵辉, 廖允成 (2559)
民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析	岳东霞, 杜 军, 巩 杰, 等 (2567)
青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值	张绪良, 徐宗军, 张朝晖, 等 (2576)
基于 3S 技术的祖厉河流域农村人均纯收入空间相关性分析	许宝泉, 施为群 (2585)
专论与综述	
全球变化下植物物候研究的关键问题	莫非, 赵 鸿, 王建永, 等 (2593)
区域气候变化统计降尺度研究进展	朱宏伟, 杨 森, 赵旭喆, 等 (2602)
干旱胁迫下植物根源化学信号研究进展	李冀南, 李朴芳, 孔海燕, 等 (2610)
山黧豆毒素 ODAP 的生物合成及与抗逆性关系研究进展	张大伟, 邢更妹, 熊友才, 等 (2621)
旱地小麦理想株型研究进展	李朴芳, 程正国, 赵 鸿, 等 (2631)
小麦干旱诱导蛋白及相关基因研究进展	张小丰, 孔海燕, 李朴芳, 等 (2641)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-05



封面图说: 覆膜-垄作燕麦种植——反映了雨水高效利用和农田水生态过程的优化(详见强生才 P2365)。

彩图提供: 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室莫非 E-mail: mofei371@163.com

玛河流域扇缘带盐穗木土壤速效养分的“肥岛”特征

涂锦娜¹, 熊友才^{1, 2}, 张霞¹, 杨岩¹, 朱丽洁¹, 陈接华¹, 李志华², 王绍明^{1, *}

(1. 石河子大学生命科学学院, 新疆石河子 832003; 2. 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室, 兰州 730000)

摘要: 比较了玛河流域扇缘带盐穗木灌丛在单生条件下及与猪毛菜共生条件下的土壤速效养分的“肥岛”特征。结果表明, 盐穗木灌丛周围土壤的“肥岛”现象主要体现在土壤表层, 沿立地点向外每隔 0.6 m 逐渐减弱, 且沿土层深度增加逐渐减弱。盐穗木在单生条件下, 灌丛土壤碱解氮和速效钾在立地中心有明显的富集现象。在从立地原点向外 3 m 的表层土壤中, 两种养分分别从 2.75 g/kg 和 56.67 mg/kg 下降至 1.66 g/kg 和 29.0 mg/kg, 且沿土壤剖面向下呈现显著性降低趋势 ($P < 0.05$), 但均显著性高于裸地的同类值。而速效磷含量整体呈现亏损状态, 其平均值较裸地速效磷含量低 25.33%, 表明盐穗木种群具有促进氮和钾的富集、但消耗磷的生态功能。在盐穗木-猪毛菜共生条件下, 无论是在土壤表层还是沿土壤剖面, 3 种速效养分的含量整体上显著性高于裸地。共生条件下土壤的碱解氮含量整体低于单生条件下的值, 而速效磷和速效钾的含量则是共生大于单生。研究表明, 盐穗木单一种群条件下土壤速效磷的亏损状态可在猪毛菜共生条件下出现逆转, 两者具有互补效应。该结论为干旱盐碱化地区植物与土壤关系研究提供了新的理论潜力。

关键词: 玛纳斯河; 盐穗木; 速效养分; 伴生; 肥岛效应

“Fertile Island” features of soil available nutrients around *Halostachys caspica* shrub in the alluvial fan area of Manas River watershed

TU Jinna¹, XIONG Youcai^{1, 2}, ZHANG Xia¹, YANG Yan¹, ZHU Lijie¹, CHEN Jiehua¹, LI Zhihua², WANG Shaoming^{1, *}

¹ College of Life Science, Shihezi University, Shihezi 832003, China

² MOE Key Laboratory of Arid and Grassland Ecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: Spatial distribution and regulatory mechanism of available soil nutrients is widely considered as an important issue in plant and soil relations in arid areas, in which the impact of interaction between different plant populations on spatial distribution of soil available nutrients has been little reported. According to Liang et al. (2010), soil-plant interactions and sustainability of eco-agriculture in arid region is a crucially important topic to address. Manas River watershed is situated at the areas between northern slope of Tianshan Mountain and south edge of Junggar watershed, where the alluvial fan area of the watershed is a severely saline and alkaline eco-agricultural region in northwest China. In this study, a comparative experiment was conducted to reveal the “fertile island” features of soil available nutrients around the *halostachys* (*Halostachys caspica*) shrub under the conditions of single population and companion population with *salsola* (*Salsola collina*) in the alluvial fan areas of Manas River watershed. The results showed that soil “fertile island” effect around *halostachys* shrubs was mainly focused on the soil surface, and tended to be weakened gradually at intervals of 0.6 m outward the standing point, and to decrease along the soil depth. Under the condition of solitary *halostachys* population, there existed a clear enrichment distribution for both soil alkaline nitrogen (AN) and available potassium (AK) along with the standing center. In the surface soil of 3 m outward from standing point, the concentrations of these two nutrients were

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 973 项目 (2009CB825101)

收稿日期: 2010-10-13; 修订日期: 2011-02-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: westwild@vip.sina.com

gradually lowered from 2.75 g/kg and 56.67 mg/kg to 1.66 g/kg and 29.0 mg/kg, and decreased significantly along the soil profile ($P < 0.05$), yet were significantly higher than the corresponding values of bare land. For the change in available phosphorus (AP), there was a wholly deficit status in comparison with that of bare land, whose average content of AP was lower by 25.33% than the bare land. This result indicated that the *Halostachys* population has the ecological function to improve the enrichment of nitrogen and potassium, but lead to the consumption of phosphorus. However, no clear variation trend was observed along with the soil profile. On the other hand, under the symbiotic conditions of *Halostachys* and *Salsola*, the concentrations of three available nutrients in either the soil surface or along the soil profile were significantly higher than those of bare land. Furthermore, the soil AN concentrations were in general lower in symbiotic condition than those of solitary condition, but the AP and AK concentrations were greater in the former than those of the latter. *Halostachys* as a desert plant has a significant effect on the soil fertility, and the symbiotic interaction of *Salsola* leads to a more extensive and complementary influence on the “fertile island” effect of *Halostachys* shrub. Importantly, the loss of soil AP components in simplex *Halostachys* population can be reversed under the symbiotic conditions with *Salsola* population. This founding provides a theoretical potential for understanding plant and soil relations in arid saline regions, and a new practical approach to manage saline and alkaline soil for scientists and policy makers.

Key Words: Manas River; *Halostachys caspica*; available nutrient; symbiotic; fertile island

干旱区土壤速效养分空间分布及调控机理是植物与土壤关系研究中的重要问题,其中植物种群之间的互作效应对土壤速效养分分布有何影响至今未见报道。在干旱盐碱化地区,不同植被覆盖对土壤养分分布的影响及相互作用效应研究具有重要的实践价值,对植物与土壤关系研究和农业生态系统的可持续管理研究也具有重要理论价值^[1]。不同植被覆盖的土壤,其营养元素有效态全量亦不同,植被稀少,肥力低^[2]。不同的成土条件,土壤性质亦不同,例如对灌丛沙堆的生态学研究发现,灌丛沙堆是一个营养元素和有机物相对富集的肥沃之岛,它的存在可为荒漠生态系统的恢复提供条件^[3]。在新疆干旱荒漠生态系统中,土壤盐碱化是最显著的地表特征^[4]。利用荒漠耐盐植物改良盐碱土是重要的生物脱盐方法,其脱盐过程与荒漠植物生态场中速效养分的肥岛特征密切相关。荒漠灌木的树干茎流在植物根区形成“肥岛”^[5],单株灌木下土壤养分富集、物理环境和水分条件都优于灌丛间裸地的区域^[6-8]。这种荒漠灌丛中普遍存在的“肥岛”效应已被国内外许多学者所关注,但在盐碱土发生最频繁的地区如新疆境内的研究却很鲜见。

近年,有关新疆盐生灌丛“肥岛”现象的文章相继出现^[9-12],多集中于对梭梭、怪柳、胡杨等盐生植物养分特征的研究。不同的灌木种对“肥岛”的影响很大,同一灌木种的养分要素的富集也存在差异^[13-14]。如裴世芳^[15]的研究显示灌丛对其周围土壤的C、N有明显的富集和保护效应,对P无明显富集。苏永中等的研究表明不同研究区域灌木下和灌木间的一些土壤化学性质(如pH、全P)的空间分布特征除了受灌木种的影响外,还与研究区的具体环境有关^[13,15]。然而,目前大多有关盐生灌丛“肥岛”的研究都基于灌丛-裸地的采样分析,缺少对灌-草互补效应下“肥岛”特征的研究。盐穗木作为生长在荒漠、半荒漠盐碱地上的重要半灌木植物资源,具有防风固沙、耐旱、耐盐碱等特点,常与多年生草本植物或半草本植物和木本植物形成二元结构群落。有关盐穗木的研究工作虽早已起步,但研究内容仅涉及生态学、形态学、生理学以及药物化学等几个方面,对其“肥岛”效应的研究尚未报道^[16]。盐穗木在适应自然极端生境过程中,无论是单生还是与其他植被共生,为了利用有限的营养物质延续其生命历程,可能也会形成独具特色的“肥岛”特征,其“肥岛”的发展和灌木的扩散之间是否也存在正反馈效应,这一点有待研究。

如何充分利用植物治理盐碱土,从而达到干旱区农业生态系统的可持续管理,一直是难以破解的理论难题。长期以来国内外普遍使用化学治碱、物理治碱等方法改良土壤,近期“生物治碱”技术越来越受到重视。已有的研究表明,盐生植物确有对盐碱土的改良效应。沙枣具有降低土壤盐分的作用,胡杨不但吸收盐碱,并且具有排除盐碱的特殊能力,怪柳更是作为一种改良重盐碱地的植被而广泛栽培^[17]。赵秋丽等人还分别从

碱蓬和滨藜中分离克隆出高效耐盐基因^[18]。但单一植物种群复合植物种群的治理效果及生态学机理一直不清楚,相关研究非常少见。本研究选取盐穗木单一种群作为对照,比较研究了盐穗木与猪毛菜共生条件下不同速效养分的空间分布规律。盐穗木(*Halostachys caspica*)隶属于藜科(*Chenopodiaceae*)盐穗木属(*Halostachys* C. A. Mey),在新疆主要分布于塔里木盆地和焉耆盆地,天山北麓局部地区出现,因土壤含盐量的不同与地下水位的高低,而有不同的群落组成^[19]。本文选择了玛河流域扇缘带两种生境下的盐穗木群落,结合不同的土壤类型、地下水位、群落结构,比较了盐穗木-猪毛菜共生时与盐穗木单生时土壤速效养分的空间分布特征。本研究的主要目标是揭示新疆盐穗木灌丛“肥岛”特征以及形成机制,为荒漠耐盐植物对土壤的改良效应提供可靠的数据支撑。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于玛纳斯河流域安集海灌区是该流域扇缘带的典型区域,地理位置东经 85°22′—85°30′E, 44°28′—45°01′N。该地区属温带大陆性干旱半干旱气候区,具有冬季严寒,夏季酷热,日照充足,干旱少雨等特点。年平均气温在 6.9℃ 之间,最热月(7 月)平均气温 26.1℃,最冷月(1 月)平均气温-18.4℃。该地区为灌溉农业区,年降水量为 125.0—207.7mm 之间。该地区植物群落结构通常表现为不连续的灌木层以及相对连续的草本层,形成灌-草型的二元结构的典型群落。在空间格局上,各群落中的主要植物种多表现为丛聚分布。盐穗木是这里荒漠植物的建群种之一,适应性的生态条件为盐渍化相对较轻和龟裂盐土,地表具有 2—5cm 的薄层盐结皮,0—30cm 土层的含盐量为 10% 左右^[16-17]。这里地下水位低,土壤干燥,盐渍化强,形成稀疏的盐穗木单优势群落,高度 1.2m 左右,或与潜水旱生耐盐多年生草本植物或半草本植物和木本植物形成二元结构群落,多属于多汁木本盐柴类荒漠与盐化草甸之间的过渡类型^[19]。从生境类型和人类活动影响两个方面看,该灌区在玛河流域扇缘带具有典型性和代表性。

1.2 样地选择与样点布置

试验地点选取玛河流域扇缘带的安集海灌区,选择了两条东西方向的 10m×200m 样带,分别位于公路旁多年未被开垦的荒漠内。样地内地势较为平坦,土壤盐渍化严重,是以盐穗木为优势种的典型盐生植被群落。1 号样地(A)物种较为单一,盐穗木灌丛是单优势种,灌丛间的区域为裸地,覆约 0.5cm 的盐结皮。2 号样地(B)盐穗木-猪毛菜群落共生,盐穗木灌丛周围伴生的是均匀的猪毛菜种群,盖度大于 90%,地表覆约 1cm 的盐霜。

2009 年 9 月,选一晴朗天,分别在两条样地内选取 3 株生长茂盛,冠幅大小基本一致且独立(距离盐穗木 5m 内无其他盐穗木或大型植物)的盐穗木灌丛为代表,形态特征见表 1。水平方向上,以选取的每个灌丛为圆心,分别在东、西、南、北四个象限的不同立地点 0, 0.6, 1.2, 1.8, 2.4, 3m 处取样(图 1)。垂直方向上,沿每个距离点垂直向下依次按 0—5cm, 5—10cm, 10—20cm, 20—30cm, 30—40cm, 40—50cm 取样。将每个象限内同一深度的土样等量混合,作为一份土样,小计 216 份。此外,每株灌丛 3m 以外的空旷裸地上按照三角形等距离选 3 个采样点,深度同上,土样等量混合,小计 36 份。上述土样合计 252 份。

1.3 样品分析

应用质量差值法测定土壤样品的含水量;采用碱解扩散法测定速效氮;采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 法测定土壤速效磷;采用 NH₄OAc 浸提,火焰光度法测定土壤速效钾。以上土壤理化性质的测定均采用《土壤农化分

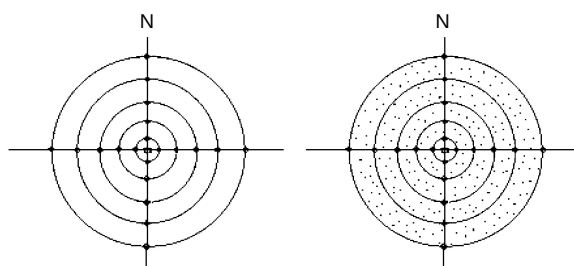


图 1 盐穗木单生灌丛(左图中心)和有猪毛菜伴生灌丛(右图散点)采样点布置图

Fig. 1 Layout of sampling points in single *Halostachys caspica* shrub (the center of the left figure) and its companion shrub with *Salsola collina* shrub (the scattered points of the right figure)

析》^[20]中的有关方法。

表 1 盐穗木灌木丛的形态特征

Table 1 Morphological feature of six *Halostachys caspica*

群落类别 Population sorts	代表植株 Representative plant	株高 Height/m	冠幅 Canopy/m×m	冠围 Crown circuit/m
单生灌木 Single population	A1	1.26	3.13×3.49	10.03
	A2	1.02	3.86×3.73	10.64
	A3	1.07	2.85×3.01	9.43
	平均	1.12	3.28×3.41	10.03
伴生灌木 Companion population	B1	1.23	3.32×2.95	10.31
	B2	1.00	2.69×2.86	9.76
	B3	1.06	2.81×3.09	9.36
	平均	1.10	2.94×2.97	9.81

1.4 数据处理

利用 SPSS17.0 软件进行统计分析,采用单因素方差分析法对同一立地点不同深度的土壤养分差异进行比较;利用 Excell 2007 绘制各种资源相对变化的曲面图。采用 Wu 等^[2]忽略纬度和季节变化影响的方法,也就是说在测定时间和条件下,各种资源的相对含量随相对空间立地距离的变化均可以下式表示,即:

$$Ei = Eo \left[1 + \left(\frac{x}{h} \right)^2 \right]^{\frac{-3}{2}}$$

式中, Ei 为土壤介质中的生态因子(速效养分); Eo 为 i 因子在 $x=0$ (植株基部)的变化强度, $Eo=\Delta C/C_{\text{裸}}$; x 为离植株立地点距离; h 为冠层中心点距地面的高度(株高)。

2 实验结果与分析

2.1 两种生境下盐穗木“肥岛”的土壤养分富集及分布特征

2.1.1 速效养分随立地距离的水平差异

从表 2、表 3、表 4 可以看出,盐穗木在单生条件下,表层土壤中的碱解氮与速效钾含量随立地距离的增加而逐渐降低,分别从 2.75 g/kg 和 56.67 mg/kg 下降至 1.66 g/kg 和 29.00 mg/kg。表层土壤的速效磷含量具有类似的变化趋势,但变化幅度较小,从立地点至 3 m 处的变化幅度不超过 0.7 g/kg。3 种养分随土壤深度的增加而增加,在立地 3 m 处都接近了环境本底含量。一个非常重要的趋势是,盐穗木单生条件下的碱解氮与速效钾含量整体显著性高于裸地对照组,表现出较强的氮富集和钾富集现象。然而,对于速效磷来说,趋势则相反,表明盐穗木种群具有明显的磷亏损现象。盐穗木-猪毛菜共生条件下,3 种速效养分的含量与盐穗木单生时的值差异较大,这可能与土壤环境的空间异质性有关。3 种养分在共生条件下表层土壤的含量比单生条件下分别低 1.26 g/kg,1.19 g/kg,7.67 mg/kg。灌丛表层中心地带的碱解氮含量是灌丛外围裸地上的 5 倍左右,从根部的 1.68 g/kg 下降至 0.34 g/kg,普遍低于单生时;灌丛中心速效钾含量是灌丛外围裸地上的 2 倍左右,从根部的 62.67 mg/kg 下降至 32.67 mg/kg,普遍高于单生时。速效磷的含量在较多的位点上共生大于单生,其绝对值从根部的 2.22 g/kg 上升到 3.30 g/kg,然后降至环境本底浓度。更为重要的是,共生条件下的速效磷含量整体显著性高于对照组裸地的相对应的值。这说明,盐穗木在单生条件下的磷亏损现象可由猪毛菜的共生而得到逆转。

2.1.2 速效养分随土壤深度的垂直差异

利用单因素方差分析法对每一立地点不同深度土壤的养分含量分别进行比较。如表 2 所示,盐穗木单生时,每一立地点表层土壤内的碱解氮含量与深层土壤存在显著性差异,且沿剖面向下呈现显著性降低趋势($P<0.05$)。盐穗木-猪毛菜共生时,只有靠近灌丛根部(立地距离 <0.6 m)表层土壤的碱解氮含量与其他深度差异显著,其他立地点及空地的不存在显著差异。从表 3 可以看出,不管是盐穗木单生还是盐穗木-猪毛菜

共生,每个剖面内的速效钾含量都普遍高于裸地的同类值,并且存在显著性差异。从表 4 看出,盐穗木单生时,土壤中的速效磷含量只在灌丛边缘(1.2 m)及裸地的垂直剖面上存在显著差异,其含量随深度的增加而增加。与猪毛菜种群共生时,盐穗木土壤中的速效磷含量在不同剖面内呈现较小的空间异质性,说明在各个土层的分布较为均衡。

表 2 两种生境下盐穗木不同部位土壤碱解氮的含量/(g/kg)

Table 2 Alkaline nitrogen contents of *Halostachys caspica* in different parts of soil

	深度/cm Depth	立地距离 Distance/m						裸地 Bare land
		0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	
单生群落 Single population	5	2.75±0.77a	1.77±0.15a	1.68±0.11a	1.51±0.29a	1.37±0.25a	1.66±0.32a	1.63±0.36a
	10	0.74±0.30b	1.70±0.45b	1.08±0.10b	1.18±0.44ab	1.14±0.19a	1.14±0.16ab	0.83±0.09ab
	20	0.71±0.81b	0.33±0.12c	0.87±0.11bc	0.90±0.30ab	0.89±0.08ab	1.02±0.14b	0.55±0.19b
	30	0.79±0.18b	0.38±0.15c	0.25±0.02d	0.67±0.43b	1.27±0.37a	0.81±0.23bc	0.65±0.35b
	40	0.50±0.30b	0.52±0.06b	0.60±0.08c	0.59±0.09b	0.45±0.07b	0.56±0.20bc	0.43±0.21b
	50	0.62±0.77b	0.18±0.069c	0.75±0.13c	0.53±0.22b	0.28±0.10b	0.38±0.12c	0.75±0.32b
平均 Average		1.02±0.35	0.81±0.29	0.87±0.20	0.90±0.16	0.90±0.18	0.93±0.19	0.81±0.17
伴生群落 Companion population	5	1.68±0.15a	1.10±0.35a	0.98±0.19	0.32±0.04	0.43±0.17	0.34±0.12	0.37±0.17
	10	0.87±0.27b	0.87±0.35ab	0.53±0.29	0.38±0.1	0.37±0.08	0.42±0.16	0.70±0.21
	20	0.57±0.39b	0.49±0.06ab	0.25±0.09	0.35±0.09	0.34±0.02	0.52±0.06	0.87±0.22
	30	0.40±0.03b	0.48±0.07ab	0.41±0.05	0.39±0.06	0.37±0.05	0.21±0.05	0.11±0.05
	40	0.55±0.15b	0.43±0.08b	0.33±0.16	0.29±0.04	0.37±0.18	0.40±0.29	0.41±0.25
	50	0.54±0.17b	0.45±0.13ab	0.70±0.46	0.22±0.03	0.23±0.06	0.47±0.17	0.03±0.01
平均 Average		0.77±0.19	0.64±0.11	0.53±0.11	0.33±0.03	0.35±0.03	0.39±0.04	0.42±0.13

小写字母表示在 LSR 0.05 水平差异显著

表 3 盐穗木不同部位土壤速效钾的含量/(mg/kg)

Table 3 Available Potassium contents of *Halostachys caspica* in different parts of soil

	深度/cm Depth	立地距离 Distance/m						裸地 Bare land
		0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	
单生群落 Single population	5	56.67±7.86a	46.67±1.86a	41.00±2.00a	29.33±5.21a	30.67±2.85a	29.00±3.61a	37.00±3.06a
	10	50.33±7.13ab	40.50±3.69ab	33.33±1.21b	27.67±2.60a	25.67±2.03ab	26.00±2.31ab	35.00±2.52ab
	20	39.67±3.84b	32.83±1.36abc	25.67±1.20c	22.00±4.16ab	22.33±2.33bc	23.33±1.45abc	30.00±1.15bc
	30	26.33±2.33bc	28.00±7.02bcd	18.83±1.59d	16.67±2.33bc	19.00±3.21bcd	20.00±2.00bcd	24.67±1.20cd
	40	19.67±1.20c	20.33±6.89cd	14.00±2.65d	13.67±1.86bc	14.67±2.67cd	16.67±2.73cd	20.00±2.65d
	50	15.67±2.19c	16.67±5.17d	13.33±2.73d	10.67±2.40c	11.67±2.03d	12.33±2.60d	20.00±0.58d
平均 Average		34.72±6.86	30.83±4.72	24.36±4.54	20.00±3.10	20.67±2.87	21.22±2.51	27.78±3.02
伴生群落 Companion population	5	62.67±8.84a	51.00±3.51a	42.67±5.36a	34.00±1.53a	33.00±5.20a	32.67±7.22a	29.33±1.45a
	10	63.33±6.17a	43.67±6.36a	31.00±5.51ab	28.00±2.08ab	28.00±3.21a	28.33±6.84ab	28.67±2.60ab
	20	39.67±5.24b	30.33±2.19b	25.33±3.71bc	22.00±2.31bc	25.33±2.67ab	22.00±2.52ab	24.33±0.33bc
	30	31.33±5.46bc	23.00±0.58bc	21.33±2.91bc	18.33±2.60c	18.00±1.00bc	17.67±3.84b	21.00±1.15c
	40	17.00±1.15c	17.00±0.58c	16.67±2.40c	14.67±3.33c	15.67±2.19c	17.00±3.00b	15.67±1.76d
	50	15.33±3.33c	15.33±0.67c	14.00±2.52c	17.00±3.79c	12.67±2.91c	14.67±2.73b	13.00±1.15d
平均 Average		38.22±8.67	30.06±5.95	25.17±4.29	22.33±3.01	22.11±3.22	22.06±2.89	22.00±2.74

2.2 不同生境下盐穗木周围土壤含水量的迁移分布规律

由于根系对土壤水分的吸收,使根系分布区的土壤水势降低,从而引起周围土壤的水分向根系迁移。由图 2 可以看出,A 样地的盐穗木灌丛表层土壤(0—10 cm)含水量随立地距离的增加而降低。距离灌丛 1.8 m 外的含水量与环境本底接近,说明灌丛对距离植株 1.8 m 内的水分吸收良好。土壤水分的下降主要在根系稠

表 4 盐穗木不同部位土壤速效磷的含量/(g/kg)

Table 4 Available Phosphorus contents of *Halostachys caspica* in different parts of soil

深度/cm		立地距离 Distance/m						
Depth		0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	裸地 Bare land
单生群落 Single population	5	2.24±0.55	2.17±0.52	1.94±1.01b	3.18±0.39	3.37±0.18	2.92±0.32	3.00±0.07b
	10	2.35±0.41	3.20±0.82	1.85±0.92b	3.05±0.47	3.64±0.24	2.81±0.68	3.37±0.10ab
	20	2.63±0.42	2.17±0.40	2.21±0.69ab	3.26±0.50	3.68±0.18	3.09±0.62	3.48±0.34ab
	30	3.44±0.70	2.89±0.61	4.03±0.49a	2.90±0.62	3.71±0.27	2.81±0.68	3.54±0.38ab
	40	3.31±0.71	3.03±0.51	3.50±0.21ab	3.07±0.56	3.36±0.21	2.87±0.69	3.57±0.34ab
	50	3.11±0.70	2.87±0.55	3.57±0.11ab	3.28±0.55	3.06±0.22	2.73±0.97	4.02±0.18a
	平均 Average	2.85±0.21	2.72±0.18	2.85±0.39	3.12±0.06	3.47±0.10	2.87±0.05	3.50±0.13
单生群落 Companion population	5	2.22±0.89	2.72±0.79	3.10±0.58	3.40±0.66	3.30±0.59	1.80±0.06	1.81±0.30
	10	2.45±0.85	2.54±0.65	2.45±0.43	3.33±0.82	3.32±0.86	1.52±0.10	1.67±0.22
	20	2.49±1.14	2.57±0.38	2.66±0.55	3.34±0.55	2.77±0.87	1.30±0.32	1.05±0.22
	30	3.54±0.25	3.79±0.34	2.29±0.94	2.89±0.65	3.27±0.94	2.81±0.72	3.42±0.27
	40	3.47±0.33	3.88±0.32	2.40±0.88	2.90±0.58	3.39±0.70	3.01±0.94	3.64±0.24
	50	3.40±0.29	3.44±0.22	2.33±0.71	2.30±0.55	3.24±0.51	2.95±0.58	3.07±0.28
	平均 Average	2.93±0.25	3.16±0.25	2.54±0.12	3.03±0.17	3.22±0.10	2.23±0.32	2.44±0.44

密分布区之内(相对立地距离<1 m 的范围),而随着立地距离及深度的增加这种影响迅速减弱。B 样地有猪毛菜伴生的盐穗木灌丛的土壤含水量与前者差异较大,主要表现在土壤表层和靠近植株的剖面内。3 m 范围内的表层含水量在灌丛基部最高,在灌丛边缘(立地距离 1.2 m)骤然降低,之后又持续高于裸地。剖面内 30—40 cm 的土壤含水量骤然增加,正好是猪毛菜根系活动范围最活跃的部位。除表层以外,其他剖面内的土壤水分变化随立地距离的增加越不明显。

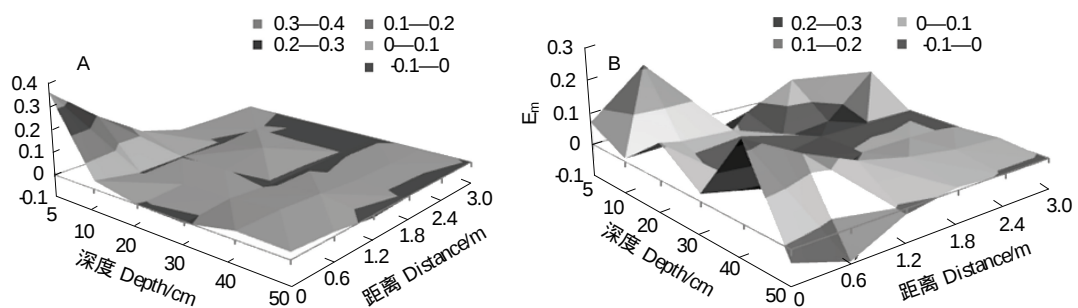


图 2 含水率随立地距离及土壤深度的相对变化

Fig. 2 The relative change of moisture content with the distance and depth

A. 盐穗木单生 *Halostachys caspica*; B. 盐穗木-猪毛菜共生 *Halostachys caspica*-*Salsola collina*

2.3 不同生境盐穗木周围土壤营养元素的迁移分布规律的比较

植物的营养元素很多,本研究仅选择了植物需要量最大的 N、P、K 作为代表。由于根系对土壤营养的吸收,使这些营养元素的含量在植物周围下降或升高形成浓度差,引起周围土壤的营养在立地点处聚集或向远处迁移(在此过程中起作用的还有水分吸收和移动的影响)^[2]。

从图 3 可以看出,盐穗木单生时,碱解氮的相对含量在盐穗木表层根部土壤内的含量略高于裸地,变化较为突出的是在 50 cm 深,相对裸地的含量高达 18.32;随立地距离的增加逐渐下降,3 m 处就接近了环境本底含量。当与猪毛菜共生时,碱解氮相对含量在根部表层和立地 0.6 m,10 cm 处富集,分别高达 0.68,0.72。相对含量最低点是在立地距离 0.6 m,深 50 cm 处,为-0.52。其他立地点及剖面内的碱解氮含量变化不明显,3 m 处都接近了环境本底含量。

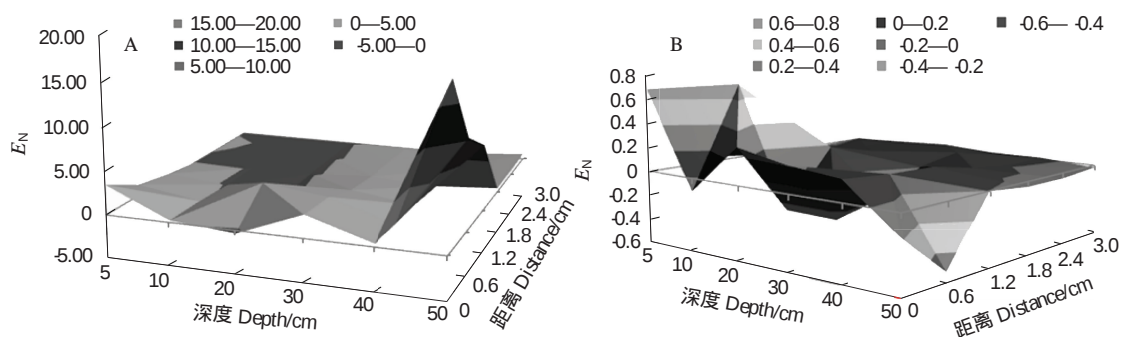


图3 碱解氮随立地距离及深度的相对变化

Fig. 3 The relative change of alkaline nitrogen with the distance and depth

A. 盐穗木单生 *Halostachys caspica*; B. 盐穗木-猪毛菜共生 *Halostachys caspica*-*Salsola collina*

由图4得知,盐穗木单生时,速效磷在植株周围的含量相对变化几乎都小于0,说明其含量都低于裸地水平,尤其是在植株基部表层土壤最低为-0.38。之后,含量随立地距离和深度的增加而有所上升,最高点是在立地距离0.6 m,30 cm处为0.07,略高于裸地。当有猪毛菜共生时,速效磷与前者差异较大,其相对含量除了在立地距离2.4 m处的上层土壤(0—30 cm)略高于裸地外,其他部分的含量都低于裸地。尤其是在植株基部表层20 cm内含量最低,随立地距离增加逐渐上升,3 m处就接近了环境本底含量。

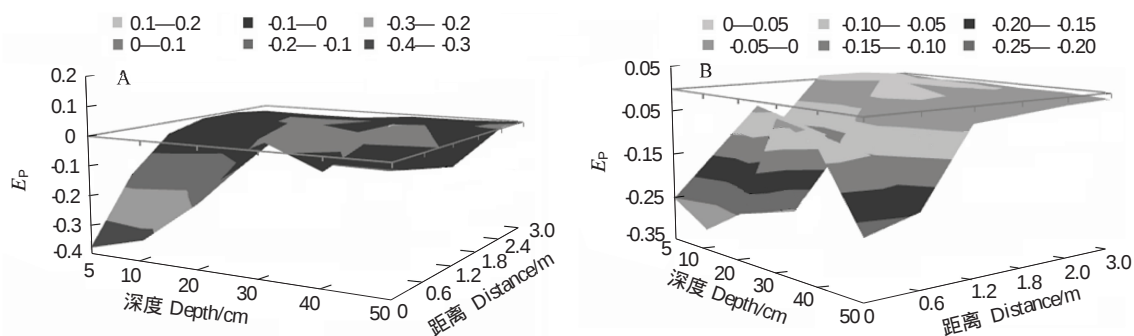


图4 速效磷随立地距离及深度的相对变化

Fig. 4 The relative change of available P with the distance and depth

A. 盐穗木单生 *Halostachys caspica*; B. 盐穗木-猪毛菜共生 *Halostachys caspica*-*Salsola collina*

从图5可以看出,盐穗木单生时,速效钾相对含量在立地距离0.6 m范围内的上层土壤(0—30 cm)高于裸地,最高点在植株基部的表层为0.35,之后的立地点及深度内的相对含量都小于0,低于环境本底含量,最小值在植株基部50 cm深,为-0.11。盐穗木-猪毛菜共生时,速效钾在盐穗木周围富集的范围扩大至1.2 m,从表层至50 cm深的含量都高于裸地的,最高值仍然是在植株基部的表层土壤,高达0.69。距植株1.2 m以外的土壤不同深度内的速效钾含量都接近环境本底。

3 讨论

利用耐盐植物对干旱区盐碱化土壤进行改良是一种重要的生物治盐措施。在土壤盐碱化地区,相关实践开展了多年,但成效并不显著。其中一个重要原因是对盐碱环境下植物与土壤的互作关系以及植物群落之间的差异性了解不够。由于土壤环境的空间异质性,干旱区土壤速效养分空间分布复杂,不同植物群落/种群具有独特的生态适应机制。如何利用植物群落的合理配置在盐碱土改良的生产实践中具有重要意义。研究表明,盐穗木单一种群条件下土壤速效磷的亏损状态可在猪毛菜共生条件下出现逆转,两者具有互补效应。该结论为干旱盐碱化地区植物与土壤关系研究提供了新的理论潜力。

从“肥岛”理论来看,肥岛的形成与发展是干旱、半干旱地区土壤资源异质化的代表性产物,土壤水分和

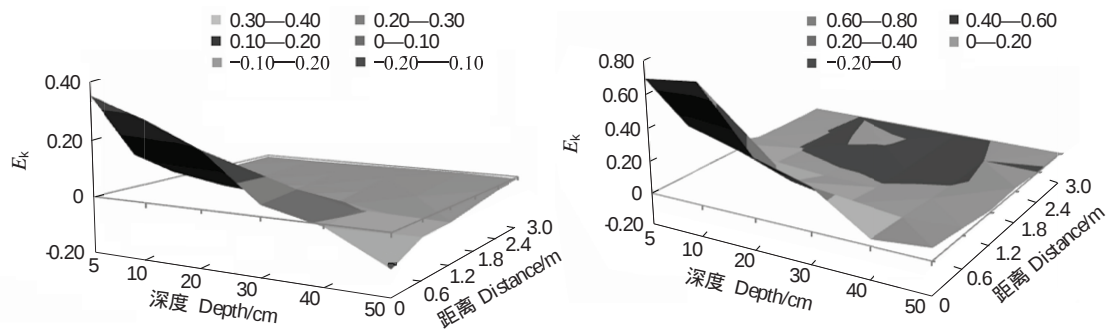


图5 速效钾随立地距离及深度的相对变化

Fig. 5 The relative change of available K with the distance and depth

A. 盐穗木单生 *Halostachys caspica*; B. 盐穗木-猪毛菜共生 *Halostachys caspica*-*Salsola collina*

养分的异质化标准着土壤的退化,而土壤异质化是基于斑块尺度进行的。研究表明,两种生境下盐穗木肥岛特征的差异与草地和灌丛斑块及其组合在群里中所占比例有关。有研究指出,群落越均匀,灌丛斑块越稀少,生态系统稳定性就越高^[9]。例如当 A 样地中的群落主要由灌丛和裸地斑块组成时,水分和养分在植株附近形成一个高度异质化的分布;而 B 样地内灌丛-草本共生,且灌丛斑块占群落面积低于 10% 时,水分和养分的异质化表现不那么明显,保持了草地的特征而处于相对稳定的状态。Noy Meir^[21] 也指出,草本和木本植物比率决定了群落中个体分布格局的特征,土壤特性与植物分布密切相关。可见,灌丛斑块的数量和分布格局直接关系到景观的稳定性,对认识土地荒漠化机理十分重要。

两种生境下盐穗木灌丛的“肥岛”现象的主要区别在于对速效磷的富集作用上。自灌丛中心向外,盐穗木单生时土壤碱解氮和速效钾含量向外逐渐减小,在植株根部有明显的富集;速效磷含量向外逐渐增大,在植株附近呈现亏损状态。盐穗木-猪毛菜共生时,碱解氮、速效钾、速效磷的空间分布以灌丛为核心呈同心圆状分布,都表现出干旱半干旱地区典型的灌丛“肥岛”现象。可见,单生时的盐穗木种群具有促进氮和钾的富集、但消耗磷的生态功能。当猪毛菜共生时出现逆转,这种条件下的盐穗木种群对每种养分的吸收趋向均衡。这与他人通过植物间对磷养分的竞争试验所得草本植物的根系空间结构的差异能够使共生植物在资源利用上互补的结论不谋而合^[22]。也有可能是因为 B 样地内猪毛菜的存在更能充分吸附不同层次土壤的水分及养分,并且浅根系对磷的吸收更具竞争力^[17],因而更利于速效磷的富集。此外,单生或共生的盐穗木灌下土壤的碱解氮和速效钾含量在垂直剖面上存在显著性差异;而单生时的速效磷含量只在冠幅边缘(1.2 m)及裸地存在显著性差异,共生时在每个剖面内变化都不大。这与前人研究的养分动力对不稳定养分(例如硝酸盐)的影响显著,而对磷酸盐的影响不明显的结果一致^[22-24]。吕贻忠^[24]对鄂尔多斯沙地不同植被群落小尺度土壤养分空间变异的研究表明,有效磷含量在亚米采样尺度下具有较小的空间变异性。以上结果充分说明,同一灌木种在不同生境下对土壤环境的适应性存在一定的差异。但是灌木与其冠下正在建成的植被之间的相互关系可能是正的,负的或中性的,这都取决于环境条件^[13-15]。

通过对不同立地距离及剖面内各养分含量的比较发现,盐穗木-猪毛菜共生时对土壤水分及养分的富集程度高于盐穗木单生时的,并且“肥岛”作用范围也大于单生时,尤其是在 10—30 cm 猪毛菜根系活跃范围内。因为根系的分布是植物地下营养面积的一个重要指标,直接影响到植株土壤资源供给的面积^[25]。而猪毛菜属于浅根系植物,盐穗木属于中间型,草本具有良好的根系形态,使其对水分和养分的竞争更为有利。曾有研究指出木本植物和草本植物的竞争强度取决于土壤上层与下层水量之比,因为土壤湿度可以提高养分的吸收,扩大诸如上层土中共生微生物的活动,而微生物反过来又促进了养分的累积^[26-28]。所以猪毛菜种群的存在不仅引起土壤湿度的垂直异质性,而且其根系沿土壤面水平延伸,更有利于保留更多的土壤资源,占据更多肥沃土壤,从而扩大了盐穗木土壤养分富集的范围。可见,灌丛冠下草本层密集根系为肥岛的发育提供的优势,能够积累更多的资源,从而提高了养分利用率和土壤持水力^[9]。

总体看来,盐穗木的“肥岛”现象主要表现在土壤表层,其土壤性状与“岛”外土壤的差异随土壤深度增加而减弱。与前人研究的梭梭、柽柳立地土壤养分的“肥岛”特征结果一致^[12,29]。这些“肥岛”具有比周围裸露地及草地土壤更高的土壤湿度、更高的养分含量。盐穗木单生时,速效钾随含水量由“岛”内向外梯度递减,速效磷递增,速效氮无显著变化。当有猪毛菜伴生时,各土壤要素有时高于、有时低于“岛”外土壤,变化趋势非线性,呈现强弱交替,直至与环境本底值接近。从“肥岛”的空间尺度来看,无论有无猪毛菜共生,盐穗木“肥岛”的水平范围都超出了本身冠幅覆盖区,相对于不同土壤要素,其“肥岛”也具有不同的空间范围。此外,盐穗木灌下土壤养分的变化与荒漠化植被的演替有密切关系,可能受风蚀、降尘等多方面因素的影响,有待我们投入更多时间和精力来深入研究。吕贻忠^[30]在对荒漠化土壤养分变化的研究中指出,风蚀是造成荒漠化土壤养分迁移的重要动力,而降尘对荒漠化表层土壤养分具有富集作用。

总的来看,研究区灌丛“肥岛”的发育具有明显的物种效应,当有猪毛菜共生时,盐穗木的“肥岛”发育更广、更深,养分聚集更明显,具有显著的磷富集效应。这一发现将为干旱区植物与土壤的互作关系研究提供更广阔的理论空间。

References:

- [1] Liang Y C, Zhu Y G, Smith F A, lambers H. Soil-plant interactions and sustainability of eco-agriculture in arid region: a crucial important topic to address. *Plant Soil*, 2010, 326(1/2): 1-2.
- [2] Liu Q Y, Tong Y P, Li J Y, Sun J H. Factors influencing the availability of nutrients in the soil of Duolun County in mixed area of agriculture and pasturing. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(6): 1034-1037.
- [3] Yue X L, Ha S, Zhuang Y M, Zhang J. Studies on sandy grassland nebkhas — a review. *Journal of Desert Research*, 2005, 25(5): 738-743.
- [4] West N E. Nitrogen cycling in semi-arid and arid regions//Skujins J, ed. *Semi-Arid Lands and Deserts: Soil Resources and Reclamation*. New York: Marcel Decker, 1991: 295-332.
- [5] Wang G X. *Ecological Field*. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1993: 49-66.
- [6] Garner W, Steinberger Y. A proposed mechanism for the formation of ‘Fertile Islands’ in the desert ecosystem. *Journal of Arid Environments*, 1989, 16: 257-262.
- [7] Chen G S, Zeng D H, Chen F S, Fan Z P, Geng H D. A research review on “fertile islands” of soils under shrub canopy in arid and semi-arid regions. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(12): 2295-2300.
- [8] Lynch J, Beem J J. Growth and architecture of seedling roots of common bean genotypes. *Crops Science*, 1993, 33: 1253-1257.
- [9] Hagos M G, Smit G N. Soil enrichment by *Acacia mellifera* subsp. *detinens* on nutrient poor sandy soil in a semi-arid southern African savanna. *Journal of Arid Environments*, 2005, 61(1): 47-59.
- [10] Yin C H. Characteristics of Island of Fertility and Salinity Under the *Tamarix*. spp. and Its Implication to Desertification in Northern Taklamakan Desert. Beijing: Chinese Agricultural College, 2007.
- [11] Liu F M, Jin Y, Zhang X J. Preliminary study on “fertile island” effect about *Haloxylon Ammodendron*. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1999, 13(3): 86-88.
- [12] Zhang L Y. The characteristic of “fertile islands” *Tamarix* shrub in XinJiang. Urumqi: Xinjiang Agricultural College, 2008.
- [13] Gao J. The “fertile islands” characteristic and ecology significance of typical desert plant *Populus euphratica* in Xinjiang. Urumqi: Xinjiang Agricultural College, 2008.
- [14] Su Y Z, Zhao H L, Zhang T H. Influencing mechanism of several shrubs and subshrubs on soil fertility in Keerqin sandy land. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(7): 802-806.
- [15] Pei S F, Fu H, Chen Y M, Li J B. Influence of *Z. xanthoxylum* shrubs on soil fertility in enclosure and grazing conditions. *Journal of Desert Research*, 2004, 24(6): 763-767.
- [16] Tao D Y. Research Progress on *Halostachys caspica*. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(20): 6083-6084.
- [17] Li P F. The biological improvement of saline soil and the exploitation of alkali plants. *Reclaiming and Rice Cultivation*, 1999, (3): 38-40.
- [18] Zhao Q L, Hu P. The key salt genes of *Suaeda salsa* was successfully cloned in China. *Pratacultural Science*, 2002, 19(11): 76-76.
- [19] Xu H G. *Chinese Salt Vegetation and Salinization Ecological*. Beijing: Chinese Agricultural Scientific & Technological Press, 2004: 170-180.
- [20] Bao S D. *Agricultural Soil Analysis* (3rd ed). Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000: 56-106.
- [21] Noy-Meir I. Desert ecosystem structure and fuction//Evenari M I, Noy-Meir, Goodall D W, eds. *Hot Desert Sand Arid Shrublands*. Amsterdam:

Elsevier Scientific Publishers, 1985: 93-103.

- [22] Xue Z Y. A Study on the Variation Characteristic of P and K in Rhizosphere and Shrub Soil. Lanzhou: Lanzhou University, 2009.
- [23] Wolfe S A, Nickling W G. Shear stress partitioning in sparsely vegetated desert canopies. *Earth Surf Process Landf*, 1996, 21: 607-619.
- [24] Lu Y Z, Li B G, Cui Y. Micro-Scale spatial variance of soil nutrients under different plant communities. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(8): 1581-1588.
- [25] Zhang Y D, Pan X L, Gu F X, Shan Y L. Shrub and undershrub niches in vegetation of the Fukang desert. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 25(6): 741-745.
- [26] Bhark E W, Small E E. Association between plant canopies and the spatial patterns of infiltration in shrubland and grassland of the Chihuahuan desert, New Mexico. *Ecosystems*, 2003, 6(2): 185-196.
- [27] Canadell J, Jackson R B, Ehleringer J B, Mooney H A, Sala O E, Schulze E D. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia*, 1996, 108(4): 583-595.
- [28] Gallardo A, Paramó R, Covelo F. Differences between soil ammonium and nitrate spatial pattern in six plant communities. *Plant and Soil*, 2006, 279(1/2): 333-346.
- [29] Li J. "Fertile Islands" effect of *Tamarix* and *Haloxylon ammodendron* shrubs in South margin of Junggar Basin. Urumqi: Xinjiang Institute of Ecology and Geography Chinese Academy of Science, 2008.
- [30] Lu Y Z, Ma X W. The influential factors of the nutrition changes in desertified soils. *Ecology and Environment*, 2003, 12(4): 473-477.

参考文献:

- [2] 刘全友, 童依平, 李继云, 孙建华. 多伦县土壤营养元素有效态含量的影响因素研究. *生态学报*, 2000, 20(6): 1034-1037.
- [3] 岳兴玲, 哈斯, 庄燕美, 张军. 沙质草原灌丛沙堆研究综述. *中国沙漠*, 2005, 25(5): 738-743.
- [5] 王根轩. 生态场论. 郑州: 河南科学技术出版社, 1993: 49-66.
- [7] 陈广生, 曾德慧, 陈伏生, 范志平, 耿海东. 干旱和半干旱地区灌木下土壤“肥岛”研究进展. *应用生态学报*, 2003, 14(12): 2295-2300.
- [10] 尹传华. 塔克拉玛干沙漠北部柽柳灌丛肥岛、盐岛的特征及其与荒漠化过程的关系. 北京: 中国农业大学, 2007.
- [11] 刘发民, 金燕, 张小军. 梭梭林“肥岛”效应的初步研究. *干旱区资源与环境*, 1999, 13(3): 86-88.
- [12] 张莉燕. 新疆典型荒漠植被柽柳的“肥岛”特征. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2008.
- [13] 高军. 新疆典型荒漠植物胡杨“肥岛”特征与生态学意义. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2008.
- [14] 苏永中, 赵哈林, 张铜会. 几种灌木、半灌木对沙地土壤肥力影响机制的研究. *应用生态学报*, 2002, 13(7): 802-806.
- [15] 裴世芳, 傅华, 陈亚明, 李景斌. 放牧和围封下霸王灌丛对土壤肥力的影响. *中国沙漠*, 2004, 24(6): 763-767.
- [16] 陶大勇. 盐穗木研究进展. *安徽农业科学*, 2007, 35(20): 6083-6084.
- [17] 李培夫. 盐碱地的生物改良与抗盐植物的开发利用. *垦殖与稻作*, 1999, (3): 38-40.
- [18] 赵秋丽, 胡平. 我国成功克隆出碱蓬耐盐关键基因. *草业科学*, 2002, 19(11): 76-76.
- [19] 徐恒刚. 中国盐生植被及盐渍化生态治理. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004: 170-180.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000: 56-106.
- [22] 薛梓瑜. 旱生灌木根际及灌丛土壤中磷、钾变化特征研究. 兰州: 兰州大学, 2009.
- [24] 吕贻忠, 李保国, 崔燕. 不同植被群落下土壤有机质和速效磷的小尺度空间变异. *中国农业科学*, 2006, 39(8): 1581-1588.
- [25] 张远东, 潘晓玲, 顾峰雪, 单延龙. 阜康荒漠植被灌木与半灌木种群生态位的研究. *植物生态学报*, 2001, 25(6): 741-745.
- [29] 李君. 准噶尔盆地南缘柽柳、梭梭的“肥岛”效应研究. 乌鲁木齐: 中国科学院生态与地理研究所, 2008.
- [30] 吕贻忠, 马兴旺. 荒漠化土壤养分变化的影响因素研究进展. *生态环境*, 2003, 12(4): 473-477.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 9 May, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Guest Editorial from EAM Workshop—Sustainability of agricultural ecosystems in arid regions in response to climate change	
..... LI Fengmin, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, et al (I)	
Overview on the 2 nd international workshop on ecosystem assessment and management (EAM)	
..... LI Pufang, ZHAO Xuzhe, CHENG Zhengguo, et al (2349)	
Arid agricultural ecology in response to global change: Overview on Young Scholar Forum of the 2 nd International Workshop on	
EAM	ZHAO Xuzhe, LI Pufang, Kadambot H. M Siddique, et al (2356)
The effects of micro-rainwater harvesting pattern and rainfall variability on water ecological stoichiometry in oat (<i>Avena sativa</i> L.)	
field	QIANG Shengcai, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (2365)
Spatial variation of water requirement for spring wheat in the middle reaches of Heihe River basin	
..... WANG Yao, ZHAO Chuanyan, TIAN Fengxia, et al (2374)	
Model-based estimation of the canopy transpiration of Qinghai spruce (<i>Picea crassifolia</i>) forest in the Qilian Mountains	
..... TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong (2383)	
Litter amount and its nutrient storage and water holding characteristics under different coniferous forest types in Xiaolong Mountain,	
Gansu Province	CHANG Yajun, CHEN Qi, CAO Jing, et al (2392)
Effect of irrigation frequency on life history strategy and yield formation in Jerusalem artichoke (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) in oasis	
of Hexi Corridor	ZHANG Hengjia, HUANG Gaobao, YANG Bin (2401)
The evaluation method of water resources sustainable utilization in Manas River Basin	
..... YANG Guang, HE Xinlin, LI Junfeng, et al (2407)	
Correlation of topographic factors with precipitation and surface temperature in arid and cold region of Northwest China: a case	
study in Gansu Province	YANG Sen, SUN Guojun, HE Wenying, et al (2414)
The relationship between riparian vegetation and environmental factors in Heihe River Basin	
..... XU Shasha, SUN Guojun, LIU Huiming, et al (2421)	
Effects of drought stress on the photosynthesis of <i>Salix paraqulesia</i> and <i>Hippophae rhamnoides</i> seedlings	
..... CAI Haixia, WU Fuzhong, YANG Wanqin (2430)	
The comparison of drought resistance between <i>Caragana species</i> (<i>Caragana arborescens</i> , <i>C. korshinskii</i> , <i>C. microphylla</i>) and two	
chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) cultivars	FANG Xiangwen, LI Fengmin, ZHANG Haina, et al (2437)
Response of chlorophyll fluorescence characteristics of <i>Populus euphratica</i> heteromorphic Leaves to high temperature	
..... WANG Haizhen, HAN Lu, XU Yali, et al (2444)	
Free amino acid content in different tissues of <i>Caragana korshinskii</i> following all shoot removal	
..... ZHANG Haina, FANG Xiangwen, JIANG Zhirong, et al (2454)	
“Fertile Island” features of soil available nutrients around <i>Halostachys caspica</i> shrub in the alluvial fan area of Manas River watershed	
..... TU Jinna, XIONG Youcai, ZHANG Xia, et al (2461)	
Analysis of the activities of protective enzymes in <i>Bidens pilosa</i> L. inoculated with <i>Glomus mosseae</i> under drought stress	
..... SONG Huixing, ZHONG Zhangcheng, YANG Wanqin, et al (2471)	
Evaluation and selection on drought-resistance of germplasm resources of <i>Avena</i> species with different types of ploidy	
..... PENG Yuanying, YAN Honghai, GUO Laichun, et al (2478)	
Ecophysiological mechanism of photoperiod affecting phenological period and spike differentiation in oat (<i>Avena nuda</i> L.)	
..... ZHAO Baoping, ZHANG Na, REN Changzhong, et al (2492)	
Effects of water and fertilization on relationship between competitive ability and seed yield of modern and old spring wheat varieties	
..... DU Jingqi, WEI Panpan, YUAN Ziqiang, et al (2501)	

- Inhibitory effect of biogas slurry from swine farm on some vegetable pathogen SHANG Bin, CHEN Yongxing, TAO Xiuping, et al (2509)
- Effects of different summer catch crops planting on soil inorganic N residue and leaching in greenhouse vegetable cropping system WANG Zhiyi, GUO Ruiying, LI Fengmin (2516)
- Photosynthetic characterization and yield of summer corn (*Zea mays* L.) during grain filling stage under different planting pattern and population densities WEI Li, XIONG Youcai, Baoluo Ma, et al (2524)
- Effects of desulfurization waste treatment on calcium distribution and calcium ATPase activity in oil-sunflower seedlings under alkaline stress MAO Guilian, XU Xing, ZHENG Guoqi, et al (2532)
- The evolution between ecological security pattern and agricultural productive force in Manas River Basin for the past 30 years WANG Yuejian, XU Hailiang, WANG Cheng, et al (2539)
- Spatio-temporal analysis of ecological carrying capacity in Jinghe Watershed based on Remote Sensing and Transfer Matrix YUE Dongxia, DU Jun, LIU Junyan, et al (2550)
- The coupling relationship and emergy analysis of farming and grazing ecosystems in Mu Us sandland HU Binghui, LIAO Yuncheng (2559)
- Dynamic analysis of farmland ecosystem service value and multiple regression analysis of the influence factors in Minqin Oasis YUE Dongxia, DU Jun, GONG Jie, et al (2567)
- Environment purification service value of urban green space ecosystem in Qingdao City ZHANG Xuliang, XU Zongjun, ZHANG Zhaohui, et al (2576)
- The spatial relationship analysis of rural per capital revenue based on GIS in Zulihe River basin, Gansu Province XU Baoquan, SHI Weiqun (2585)

Review and Monograph

- The key issues on plant phenology under global change MO Fei, ZHAO Hong, WANG Jianyong, et al (2593)
- Recent advances on regional climate change by statistical downscaling methods ZHU Hongwei, YANG Sen, ZHAO Xuzhe, et al (2602)
- Current progress in eco-physiology of root-sourced chemical signal in plant under drought stress LI Jinan, LI Pufang, KONG Haiyan, et al (2610)
- ODAP biosynthesis: recent developments and its response to plant stress in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) ZHANG Dawei, XING Gengmei, XIONG Youcai, et al (2621)
- Current progress in plant ideotype research of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) LI Pufang, CHENG Zhengguo, ZHAO Hong, et al (2631)
- Recent advances in research on drought-induced proteins and the related genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) ZHANG Xiaofeng, KONG Haiyan, LI Pufang, et al (2641)

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

客座编辑 Guest Editors LI Fengmin XIONG Youcai Neil Turner Kadambot Siddique

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 9 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 9 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