

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第1期 Vol.33 No.1 2013

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 (SHENTAI XUEBAO)

第33卷 第1期 2013年1月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 生态整合与文明发展 王如松 (1)
干旱半干旱区坡面覆被格局的水土流失效应研究进展 高光耀, 傅伯杰, 吕一河, 等 (12)
城市林木树冠覆盖研究进展 贾宝全, 王 成, 邱尔发, 等 (23)
环境质量评价中的生物指示与生物监测 Bernd Markert, 王美娥, Simone Wünschmann, 等 (33)
水溶性有机物电子转移能力及其生态效应 毕 冉, 周顺桂, 袁 田, 等 (45)

个体与基础生态

- 凋落物和增温联合作用对峨眉冷杉幼苗抗氧化特征的影响 杨 阳, 杨 燕, 王根绪, 等 (53)
不同浓度5-氨基乙酰丙酸(ALA)浸种对NaCl胁迫下番茄种子发芽率及芽苗生长的影响
赵艳艳, 胡晓辉, 邹志荣, 等 (62)

- 缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 凌丽俐, 彭良志, 王男麒, 等 (71)
松嫩草地66种草本植物叶片性状特征 宋彦涛, 周道玮, 王 平, 等 (79)
花蜜中酚类物质对群落中同花期植物传粉的影响 赵广印, 李建军, 高 洁 (89)
桉树枝瘿姬小蜂连续世代种群生命表 朱方丽, 邱宝利, 任顺祥 (97)

种群、群落和生态系统

- 蒙古栎地理分布的主导气候因子及其阈值 殷晓洁, 周广胜, 隋兴华, 等 (103)
河静黑叶猴果实性食物组成、选择及其对种子的扩散作用 阮海河, 白 冰, 李 宁, 等 (110)
2010秋季东海今生颗石藻的空间分布 莫少非, 孙 军, 刘志亮 (120)
OPRK1基因SNP与梅花鹿昼间行为性状的相关性 吕慎金, 杨 燕, 魏万红 (132)
鄱阳湖流域非繁殖期鸟类多样性 邵明勤, 曾宾宾, 徐贤柱, 等 (140)
人工巢箱条件下两种山雀鸟类的同域共存机制 李 乐, 张 雷, 殷江霞, 等 (150)
桉-桤不同混合比例凋落物分解过程中土壤动物群落动态 李艳红, 杨万勤, 罗承德, 等 (159)
三峡库区生态系统服务功能重要性评价 李月臣, 刘春霞, 闵 婕, 等 (168)

景观、区域和全球生态

- 黄土高原小流域不同地形下土壤有机碳分布特征 李林海, 鄂二虎, 梦 梦, 等 (179)
海岸带地理特征对沉水植被丰度的影响 吴明丽, 李叙勇, 陈年来 (188)

- 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质 曹国栋, 陈接华, 夏 军, 等 (195)

资源与产业生态

- 农田开垦对三江平原湿地土壤种子库影响及湿地恢复潜力 王国栋, Beth A Middleton, 吕宪国, 等 (205)
漫溢干扰过程中微地形对幼苗定居的影响 安红燕, 徐海量, 叶 茂, 等 (214)
黑龙港流域夏玉米产量提升限制因素 徐丽娜, 陶洪斌, 黄收兵, 等 (222)
黑龙江省药用植物根际土壤真菌多样性 慕东艳, 吕国忠, 孙晓东, 等 (229)

桑沟湾养殖生态系统健康综合评价 傅明珠,蒲新明,王宗灵,等 (238)

城乡与社会生态

基于“OOAO 原则”的罗源湾生态质量状况综合评价 吴海燕,吴耀建,陈克亮,等 (249)

四十里湾营养状况与浮游植物生态特征 李 斌,白艳艳,邢红艳,等 (260)

生态足迹深度和广度:构建三维模型的新指标 方 恺 (267)

中国东西部中小城市景观格局及其驱动力 齐 杨,邬建国,李建龙,等 (275)

研究简报

南海陆坡沉积物细菌丰度预测 李 涛,王 鹏 (286)

浑善达克沙地榆树疏林幼苗更新空间格局 刘 振,董 智,李红丽,等 (294)

光和不同打破种子休眠方法对紫茎泽兰种子萌发及幼苗状态的影响 姜 勇,李艳红,王文杰,等 (302)

学术争鸣

关于植物群丛划分的探讨 邢韶华,于梦凡,杨立娟,等 (310)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 35 * 2013-01



封面图说: 外来入侵物种紫茎泽兰——紫茎泽兰约于 20 世纪 40 年代由缅甸传入中国云南南部后迅速蔓延,现已在云南、贵州、四川、广西、重庆、湖北、西藏等省区广泛分布和危害,并仍以每年大约 30 km 的速度扩散。紫茎泽兰为多年生草本或亚灌木,号称“植物界杀手”。其对环境的适应性极强,疯长蔓延,能极大耗损土壤肥力。它的植株能释放多种化感物质,排挤其他植物生长而形成单优种群,它破坏生物多样性,威胁到农作物、畜牧草甚至林木,且花粉能引起人类过敏性疾病等,目前尚无有效治理对策。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201109201379

曹国栋,陈接华,夏军,朱宏伟,蒋永超,张霞,王绍明. 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质. 生态学报,2013,33(1):0195-0204.
Cao G D, Chen J H, Xia J, Zhu H W, Jiang Y C, Zhang X, Wang S M. Analysis of soil physical properties under different vegetation types in the alluvial fan area of Manas River watershed. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(1): 0195-0204.

玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质

曹国栋, 陈接华, 夏军, 朱宏伟, 蒋永超, 张霞, 王绍明*

(石河子大学生命科学学院, 石河子 832003)

摘要:对生长在玛纳斯河流域扇缘带上的柽柳、盐穗木、白刺、猪毛菜4种植被类型下的土壤物理性质进行了研究。结果表明:在水平方向上,1m剖面内柽柳土壤pH值、全盐含量、土壤容重最小,分别为8.75、0.97g/kg和1.42g/cm³;土壤有机质、含水率、总孔隙度、毛管孔隙度均最大,分别为9.04 g/kg、16.67%、45.57%和36.18%,表明柽柳能够显著降低土壤盐分,改善土壤结构。沿垂直剖面,4种植被类型在表层0—20 cm土壤盐分均达到最高,出现盐分“表聚”现象而形成“盐霜”;随着土层深度增加,含水率和土壤容重均呈显著性升高,土壤有机质、田间持水量、总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度均呈显著性降低($P<0.05$)。相关性分析显示,土壤有机质是引起其他土壤物理性质变化的主要原因。相比空裸地,4种植被覆盖类型1 m剖面内土壤有机质、总孔隙度和毛管孔隙度均呈显著性提高,土壤容重显著性降低,有机质分别提高了162.94%、82.94%、85.59%和27.94%,总孔隙度分别提高了44.90%、20.83%、36.06%和15.80%,毛管孔隙度分别提高了58.27%、30.71%、43.48%和25.72%,土壤容重分别降低了18.86%、10.86%、17.14%和7.43%,表明干旱荒漠区盐碱土上生长的不同盐生植物能够显著改善土壤质量。

关键词:玛纳斯河流域; 盐碱土; 植被类型; 物理性质

Analysis of soil physical properties under different vegetation types in the alluvial fan area of Manas River watershed

CAO Guodong, CHEN Jiehua, XIA Jun, ZHU Hongwei, JIANG Yongchao, ZHANG Xia, WANG Shaoming*

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

Abstract: Soil physical properties of four vegetation types (*Tamarix ramosissima*, *Halostachys caspica*, *Nitraria sibirica*, *Salsola* spp.) were investigated in the alluvial fan area of Manas River watershed. The main results showed that in the horizontal direction, soil pH, total salt content and soil bulk density of *Tamarix ramosissima* were the lowest within the depth of 1m soil profile, and were 8.75, 0.97g/kg and 1.42g/cm³, respectively; while soil organic matter content, moisture content, total porosity and capillary porosity of *Tamarix ramosissima* were the highest and were 9.04g/kg, 16.67%, 45.57% and 36.18%, respectively. It was shown that the *Tamarix ramosissima* could reduce soil salinity and ameliorate soil structure significantly. In the vertical distance of soil profile, the total salt content of the four vegetation types in 0—20cm topsoil was the highest among different soil layers, so salinity accumulated in the form of salt efflorescence in surface soil. With the increase in soil depth, soil moisture content and soil bulk density showed significant increase, but soil organic matter content, field moisture capacity, total porosity, capillary porosity and non-capillary porosity were significant reduced ($P<0.05$). The result of correlation analysis showed that soil organic matter was the main reason resulting in the change of other soil physical properties. Compared with the uncovered ground, soil organic matter content,

基金项目:国家重点基础研究发展计划973项目(2009CB825101)

收稿日期:2011-09-20; 修订日期:2012-08-20

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

total porosity and capillary porosity of the four vegetation types within the depth of 1m soil profile were improved significantly, and soil bulk density was reduced significantly, soil organic matter content was increased by 162. 94% , 82. 94% , 85. 59% and 27. 94% , respectively; total porosity was increased by 44. 90% , 20. 83% , 36. 06% and 15. 80% , respectively; capillary porosity was increased by 58. 27% , 30. 71% , 43. 48% and 25. 72% , respectively, and soil bulk density was reduced by 18. 86% , 10. 86% , 17. 14% and 7. 43% , respectively. It was shown that different halophytes growing in the saline-alkali soil in arid desert areas can ameliorate the soil quality significantly.

Key Words: Manas River watershed; Saline-alkali soil; vegetation types; physical properties

土壤质量是与土壤的各种形成因素及土壤耕作措施引起的动态变化有关的一种固有属性^[1]。植物通过根系与土壤连成一个统一整体,时刻与土壤进行着各种物质代谢而影响其理化性质和质量,土壤通过调节分配水、热、气、肥为植物的生长源源不断地提供所需营养物质^[2]。不同植被类型,一方面由于成土过程不同而使土壤理化特性具有显著差异性,另一方面因景观格局的多样性而使土壤具有时间上和空间上的异质性^[3-5]。

近年来,国内外许多学者对不同生态环境和时空尺度条件下的土壤异质性进行了大量研究,如李志对黄土塬区王东沟流域不同地形部位和土地利用方式下的土壤特性研究表明,受利用方式和人为干扰的影响,不同地形部位的土壤物性无论是水平方向还是垂直剖面都表现出很强的变异性^[6];Acosta-Martinez V. 和 Zobeck T. M. 等分别对单一连作和施用家畜有机肥的棉田土壤理化性质、微生物状况进行研究表明,后者由于有机质含量和土壤微生物多样性的增多显著改善了土壤的物理性状,对稳定土壤质量和提高土地利用的可持续性具有重要的影响^[7]。这些研究虽然对认识不同生态环境和土地利用方式下的土壤特性和动态变化具有重要意义,但有关特殊生态环境下的不同植被类型对土壤空间异质性的讨论和研究甚少。在干旱荒漠区,土壤盐碱化是最显著的地表特征,广袤的盐渍土生境上生长着多种宝贵的盐生植物,如何利用干旱区特有的盐生资源对盐碱土进行生物改良已经引起研究者们的高度重视,但目前的许多研究,主要集中在耐盐基因的筛选及盐生植物的耐盐机理上^[8-9],从宏观角度去研究盐生植物对土壤理化性质及土壤异质性方面的报道较少,而盐碱土土壤物理特性的研究是垦区农业灌溉、生产和生物改良盐碱土的基础。柽柳(*Tamarix ramosissima*)、盐穗木(*Halostachys caspica*)、白刺(*Nitraria sibirica*)和猪毛菜(*Salsola* spp.)作为生长在荒漠盐碱地上的重要灌木和草本盐生植物,在玛纳斯河流域(以下简称玛河流域)扇缘带、冲积平原和干三角洲均分布较广。被誉为“生物脱盐器”的柽柳^[10],是典型的泌盐植物,对盐碱环境具极强的耐盐能力,是荒漠区重要的脱盐盐生植物;盐穗木、白刺、猪毛菜为典型的稀盐盐生植物,主要生长在盐分较高的土壤上,除体内大量积盐外,它们的生长发育需要一定的盐分^[11]。在特殊的盐碱环境下,不同种类的盐生植被对土壤物理性质有怎样的影响,这一点有待研究。

玛河流域是新疆重要的农业垦区,也是最典型的积盐区。受气候、地形及灌溉等的影响,玛河流域不同地貌盐分种类和含量不同,其中扇缘带属于硫酸盐土壤,盐分含量最重^[12]。扇缘带地处玛河流域中上游,地势平坦且靠近安集海灌区,是垦区农业开发的重点对象。本研究以玛河流域冲积扇扇缘带为研究区,综合考虑盐分含量及植被覆盖的不同,分别选取了生长在扇缘带上的柽柳、盐穗木、白刺、猪毛菜4种植被类型,定量研究了玛河流域扇缘带不同植被类型下的土壤有机质、容重、孔隙度、含水率、pH值、全盐的变化特征,以期为深入研究玛河流域土壤特性和流域农业垦区盐碱土改良、农业生产耕作提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于玛河流域扇缘带,地理位置东经85°22'—85°30',北纬44°28'—45°01'。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)平均气温达26.1℃,最冷月(1月)平均气温-18.4℃。农业主要以灌溉为主,年降水量为125.0—

207.7 mm 之间。该区地下水位高,流动不畅,灰漠土是该区典型地带性土壤,土壤含盐量高,改良条件差,具有表聚现象^[13]。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,形成典型的灌-草型二元结构群落。从空间格局上来看,主要群落类型表现为丛聚分布,形成典型的单一版块。柽柳、盐穗木及白刺是该区的建群种,猪毛菜在该区分布广泛,为最主要的优势种。受地下水位及蒸发的影响,在夏季,盐穗木、白刺和猪毛菜覆盖下的表土层发生盐分表聚现象,形成厚约 3cm 左右的一薄层盐结皮,其中猪毛菜覆盖下的表土盐分表聚作用最强,盐穗木灌丛表土龟裂,旁边伴生芦苇,柽柳和白刺表层枯枝落叶较多,土壤较湿润。

1.2 样地选择和土壤采样点的布设

综合考虑弃耕年限、植物多样性等因素,选取玛河流域扇缘带弃耕 10a 以上的天然原生盐碱荒地 3 块,样地地势平坦,土壤盐渍化严重,是以柽柳、盐穗木和白刺为建群种,猪毛菜为优势种的典型原生盐碱样地,每块样地面积约 40000 m² 左右。在所选样的 3 块地内采用样线法进行植物多样性调查,按照调查植物群落优势种的不同,综合物种组成和群落结构等因素,将所选的每快样地分别划分为 4 块小样地(表 1),共计 12 快小样地,每块小样地选取一空裸地作为对照。

表 1 不同样地植物种类描述

Table 1 Description of plant species in the different sample

样地类型 Sample types	植被分布 Vegetation distribution	优势种 Preponderant species	平均株高 Average height/cm	平均冠幅 Average canopy / (cm×cm)	面积 Acreage/m ²
柽柳样地 <i>Tamarix ramosissima</i> sample	柽柳 <i>Tamarix ramosissima</i> 、骆驼刺 <i>Alhagi sparsifolia</i> 、盐爪爪 <i>Kalidium foliatum</i> 、猪毛菜 <i>Salsola spp.</i> 、小叶碱蓬 <i>Suaeda microphylla</i>	柽柳 <i>Tamarix ramosissima</i> ,零星伴生骆驼刺 <i>Alhagi sparsifolia</i> 、猪毛菜 <i>Salsola spp.</i>	170	260×300	5000
盐穗木样地 <i>Halostachys caspica</i> sample	盐穗木 <i>Halostachys caspica</i> 、芦苇 <i>Phragmites australis</i>	盐穗木 <i>Halostachys caspica</i> ,伴生有芦苇 <i>Phragmites australis</i>	130	210×250	7000
白刺样地 <i>Nitraria sibirica</i> sample	白刺 <i>Nitraria sibirica</i> 、猪毛菜 <i>Salsola spp.</i> 、花花柴 <i>Karelinia caspica</i> 、蓝刺头 <i>Echinops ritro L.</i> 、芦苇 <i>Phragmites australis</i>	白刺 <i>Nitraria sibirica</i> ,灌丛最外围生长着猪毛菜 <i>Salsola spp.</i>	90	500×510	7000
猪毛菜样地 <i>Salsola spp.</i> sample	猪毛菜 <i>Salsola spp.</i>	猪毛菜 <i>Salsola spp.</i>	10	-	10000

按照植被类型的不同,于 2010 年 9 月下旬选择晴朗的天气在每块小样地内采土取样。柽柳样地、盐穗木样地的采样,分别选择生长良好、高大的柽柳和盐穗木植株各 5 株,相邻株距约为 15 m 以上,5 株基本呈“等腰三角形”分布,在灌丛投影下,距离植株主根约 30 cm 的地方分别挖掘 1 m 深的土壤剖面;对白刺样地的取样,分别选取生长良好的圆形灌丛 5 丛,所选灌丛的分布及相邻距离与柽柳、盐穗木大致相同,在每丛灌丛的中心连根带株直接挖掘 1m 深的剖面;1 年生草本猪毛菜的取样,选择在面积较大、猪毛菜成片分布的植被覆盖内,按照“S”型五点取样法,在 5 个点分别挖掘 1m 深的土壤剖面 5 个进行采样。结合土壤发生层,分别取 0—20cm、20—60cm、60—100cm 土层土样,每个剖面相同土层处的土样取出混合均匀带回实验室,每层取样重复 3 次。自然风干后磨碎过 2mm 筛测量相关指标。

1.3 测定项目与方法

pH 采用电位法测定;土壤全盐含量采用重量法测定;有机质采用 K₂Cr₂O₇ 氧化法测定。土壤含水率采用烘干法测定;土壤容重采用环刀法测定。土壤孔隙度利用下式计算: $f = (1 - \rho_b/\rho_s) \times 100\%$,式中 f 为土壤孔隙度,ρ_b 为土壤容重,ρ_s 为土壤比重;土壤孔隙比利用下式计算: $k = f/(1 - f)$,式中 k 为土壤孔隙比,f 为土壤孔隙度。以上土壤理化性质的测定均采用《土壤农化分析》中的有关方法^[14]。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS13.0 软件进行数据处理,采用变异系数量化 1m 剖面土壤物理性质的空间变异情况,采用单因素方差分析(one-way ANOVA) 进行差异显著性检验。利用 Pearson 相关系数评价土壤物理性质各指标之间的相关性。

2 实验结果与分析

2.1 不同植被覆盖类型对土壤 pH 值和全盐的影响

土壤 pH 值和全盐是衡量盐碱土理化性质的基础。从表 2 可知,不同盐生植物,随着土壤深度的增加,土壤全盐含量差异显著,尤其是 0—20cm 耕层土,因植被覆盖类型、根系、耐盐能力的不同,柽柳和盐穗木灌丛下的土壤 pH 值和全盐含量均表现出显著差异性,这是干旱荒漠区利用盐生植物对盐碱土进行生物改良及获取抗盐碱外源基因的重要基础和关键理论^[9,15]。

表 2 不同植被覆盖下的土壤 pH 值和全盐含量

Table 2 Soil pH and total salt content under different vegetation mulching

项目 Item	土层 Soil layer/cm	柽柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	盐穗木 <i>Halostachys caspica</i>	白刺 <i>Nitraria sibirica</i>	猪毛菜 <i>Salsola spp.</i>	空裸地 Uncover ground
pH 值	0—20	8.72±0.29abB	9.21±0.36aA	8.80±0.50aAB	9.11±0.11aAB	9.09±0.22aAB
	20—60	8.52±0.38bB	8.73±0.26bAB	8.88±0.07aAB	8.92±0.21aAB	9.01±0.17aA
	60—100	9.01±0.04aA	9.12±0.19aA	8.70±0.22aB	8.55±0.23bB	8.65±0.19bB
	0—100	8.75±0.32	9.02±0.34	8.80±0.30	8.86±0.30	8.91±0.28
CV/%		3.66	3.77	3.41	3.39	3.14
全盐/(g/kg)	0—20	0.61±0.05eC	2.92±0.10aB	2.72±0.12aB	3.19±0.58aA	3.09±0.21aAB
Total salt content	20—60	1.04±0.02bD	1.43±0.08bB	1.24±0.04bC	1.80±0.18bA	1.47±0.05bB
	60—100	1.26±0.07aA	0.79±0.12cB	0.53±0.06cC	1.16±0.05cA	0.30±0.09cD
	0—100	0.97±0.28	1.71±0.93	1.50±0.95	2.05±0.94	1.62±1.19
CV/%		28.87	54.39	63.33	45.85	73.46

同列不同小写字母表示不同土壤深度各项指标差异显著($P<0.05$),同行不同大写字母表示不同植被类型各项指标差异显著($P<0.05$)

在水平方向上,4 种植被类型在 0—100cm 土壤剖面内,土壤 pH 值均呈碱性,平均含盐量为 1.5g/kg 左右,主要是因为玛纳斯河流域扇缘带为硫酸盐土壤,盐碱化最重,故显碱性;土壤 pH 值柽柳最小,盐穗木最大,土壤平均含盐量猪毛菜达到最高的 3.19g/kg,和最低的柽柳极差高达 1.08g/kg,主要是因为相比泌盐盐生植物柽柳,猪毛菜为积盐盐生植物,在一定盐浓度范围内其生长与外界盐浓度成正比,它的生长发育需要较高盐分。相比有植被覆盖的土壤,空裸地含盐量空间异质性最大,变异系数高达 73.46%。在垂直方向上,随着土层深度增加,不同植被类型和空裸地全盐含量均表现出显著性降低(柽柳除外),其中在 0—20cm 处的耕层土,除了柽柳在表层因“遮蔽效应”而大大降低表土含盐量外^[16-17],盐穗木、猪毛菜、空裸地土壤 pH 值和全盐含量大致达到最高,主要是因为表土受阳光直射,底层盐分随水分蒸发而被带到表层,表土返盐故在 0—20cm 耕层处 pH 值和全盐量达到最大。

1.2 不同植被覆盖类型对土壤有机质和含水率的影响

土壤有机质是土壤肥力的重要物质基础,不仅为植物生长提供所需的营养元素,同时对土壤结构的形成、土壤保水功能的维持等具有重要的作用^[18]。从表 3 可知,在 0—100cm 剖面内柽柳、盐穗木、白刺覆盖下的土壤有机质含量均高于猪毛菜,其中柽柳覆盖下的土壤有机质含量最大,为 9.04g/kg,白刺稍高于盐穗木覆盖,但变异系数白刺最大,说明白刺灌丛覆盖下的土壤有机质分布不均匀,变异较大。相比空裸地,4 种植被类型在 1m 剖面内土壤平均有机质含量均显著性提高,分别提高了 165.88%、82.94%、85.59%、27.94%,说明干旱荒漠区盐碱地上生长的不同盐生植被,不仅可以促进植被覆盖的郁闭度从而减轻土壤侵蚀的发生,而且有利于提高土壤肥力。定量分析 4 种植被覆盖类型下的土壤有机质可知,平均含量均在 10g/kg 以下,反映了盐

渍化土壤肥力严重贫瘠的现状。在立地垂直剖面上,随着土层深度增加,有机质含量均呈显著性降低。这与涂锦娜的研究结论一致^[13]。

在0—100cm 土层内土壤含水率和土壤田间持水量均表现为:柽柳>白刺>盐穗木>猪毛菜>空裸地。由于缺少植被的遮蔽和调节,受不同微环境的影响,空裸地在水分涵养方面表现出很强的空间异质性,故其含水率变异系数较大。在垂直剖面上,随着土层深度的增加,土壤含水率均显著性升高,但白刺在20—60cm 土层处含水率高于底层,这与挖掘剖面时观察到白刺灌丛在此层根系分布最密、交织成网有关;田间持水量恰好相反而呈显著性降低(白刺除外);这主要是因为表层有机质含量高,可能导致大团聚体和水稳定性团聚体增多,从而使得表层田间持水量最大^[19]。

表3 不同覆盖下的土壤有机质及含水量

Table 3 Organic matter and moisture content under different vegetation mulching

项目 Item	土层 Soil layer /cm	柽柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	盐穗木 <i>Halostachys caspica</i>	白刺 <i>Nitraria sibirica</i>	猪毛菜 <i>Salsola spp.</i>	空裸地 Uncover ground
有机质/(g/kg)	0—20	12. 61±0. 44aA	8. 54±0. 63aC	10. 30±0. 85aB	6. 39±0. 99aD	4. 64±0. 66aE
OrganicMatter	20—60	8. 63±0. 58bA	6. 05±0. 64bB	5. 42±0. 45bB	3. 45±0. 13bC	3. 11±0. 61bC
	60—100	5. 88±0. 57cA	4. 06±0. 70cB	3. 19±0. 19cC	3. 21±0. 11bC	2. 45±0. 30bD
	0—100	9. 04±2. 91	6. 22±1. 99	6. 31±3. 12	4. 35±1. 59	3. 40±1. 08
CV/%		32. 19	31. 99	49. 45	36. 55	31. 76
含水率/%	0—20	14. 58±0. 87cA	12. 86±0. 52cB	14. 74±1. 71bA	12. 11±0. 66cB	9. 75±1. 48eC
Moisture content	20—60	16. 69±0. 66bB	15. 72±0. 70bB	18. 28±1. 10aA	13. 63±0. 49bC	13. 02±0. 91bC
	60—100	18. 74±0. 70aA	18. 17±0. 20aAB	16. 33±1. 25bC	16. 65±0. 70aC	17. 46±1. 18aBC
	0—100	16. 67±1. 89	15. 58±2. 30	16. 45±1. 97	14. 13±2. 04	13. 41±3. 46
CV/%		11. 34	14. 76	11. 98	14. 44	25. 80
田间持水量/%	0—20	26. 06±0. 67aA	21. 00±1. 85aC	24. 01±0. 67bB	22. 83±1. 21aB	19. 76±1. 26aC
Field moisture Capacity	20—60	20. 74±0. 75bB	20. 30±1. 08aB	25. 70±0. 55aA	19. 49±1. 16bBC	18. 81±1. 03aC
	60—100	16. 02±0. 59cB	18. 37±0. 44bA	16. 46±0. 62cB	16. 67±0. 43cB	12. 87±0. 96bC
	0—100	20. 94±4. 29	19. 89±1. 64	22. 05±4. 20	19. 66±2. 76	17. 14±3. 32
CV/%		20. 49	8. 25	19. 05	14. 04	19. 37

2.3 不同植被覆盖类型对土壤容重和孔隙性能的影响

土壤容重是土壤紧实度的敏感性指标,也是表征土壤质量的重要参数^[20]。在水平方向上,4 种植被覆盖类型下的土壤容重在0—20cm 耕层处均有显著差异性,且柽柳覆盖为最小的1.08g/cm³,与最大的盐穗木覆盖极差高达0.34g/cm³,这主要是因为柽柳耕层土壤有机质最高、孔隙度最大的缘故;在0—100cm 剖面内,4 种植被覆盖下的土壤平均容重表现为:猪毛菜>盐穗木>白刺>柽柳,但均低于空裸地,比空裸地分别降低了18.86%、10.86%、17.14% 和7.43%。在垂直剖面上,4 种植被类型下的土壤容重随着土层深度的增加均显著性升高,1m 剖面内土壤平均容重为1.51g/cm³左右,与张希彪对重度干扰的子午岭油松下的土壤容重研究结果类似^[19],说明流域盐碱土板结紧实,是垦区农业生产的不利因素之一。

孔隙度的大小和数量分配是土壤物理性质的基础,对土壤紧实度和结构有重要影响^[21]。4 种植被覆盖类型总孔隙度和毛管孔隙度在耕层0—20cm 土层处均表现出显著性差异(表4),在0—100cm 剖面内土壤平均总孔隙度均低于50%,但均高于31.45%的空裸地,比空裸地分别提高了44.90%、20.83%、36.06% 和15.80%,毛管孔隙度分别提高了58.27%、30.71%、43.48% 和25.72%,表明植被覆盖能够显著改善土壤孔隙度,明显地改善了土壤质量。从表4 可知,1m 剖面内4 种植被类型平均非毛管孔隙度均小于10%,而研究表明,土壤中大小孔隙同时存在,若总孔隙度在50%左右,其中非毛管孔隙占20%—40%时,土壤透水通气性能力比较协调^[22],表明玛河流域扇缘带土壤总体以小孔隙为主,土壤紧实,通透性不良,这主要是因为流域内干

旱少雨、盐渍化严重而使土壤结构性变差,容重增大,土壤板结,对植被生长产生不利影响,降雨入渗性差而导致水土流失严重。

在垂直剖面上,总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度随着土层深度增加均显著性降低,这与李庆云等的研究结果一致^[23],这主要与随着土壤深度增加,植物根系的穿插生长和发达程度降低有关。4种植被覆盖类型下的土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度变异系数分别表现为柽柳>白刺>猪毛菜>盐穗木,表明盐穗木覆盖下的土壤孔隙空间变异较小。4种植被类型间总孔隙度和毛管孔隙度除表层外,差异均不明显,而随着土层深度增加均存在显著性差异($P<0.05$),说明扇缘带孔隙度差异主要体现在不同土壤深度上,而不同植被类型对其影响不大。

表4 不同植被覆盖下的土壤孔隙分布

Table 4 Distribution of soil porosity under different vegetation mulching

项目 Item	土层 Soil layer/ cm	柽柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	盐穗木 <i>Halostachys caspica</i>	白刺 <i>Nitraria sibirica</i>	猪毛菜 <i>Salsola spp.</i>	空裸地 Uncover ground
容重/(g/cm ³)	0—20	1.08±0.03cE	1.42±0.03cB	1.17±0.02cD	1.37±0.05cC	1.58±0.04cA
Bulk density	20—60	1.53±0.07bC	1.55±0.07bC	1.43±0.07bD	1.68±0.09bB	1.79±0.05bA
	60—100	1.65±0.05aD	1.71±0.02aC	1.74±0.05aC	1.80±0.04aB	1.87±0.05aA
	0—100	1.42±0.26	1.56±0.13	1.45±0.24	1.62±0.20	1.75±0.13
CV/%		18.31	8.33	16.55	12.35	7.43
总孔隙度/%	0—20	63.97±0.49aA	45.15±0.76aD	54.87±0.53aB	47.37±1.58aC	39.15±1.07aE
Total porosity	20—60	38.15±0.40bB	36.32±1.12bB	41.62±2.86bA	33.11±1.53bC	29.77±0.88bD
	60—100	34.60±0.90cA	32.52±0.78cB	31.89±0.70cB	28.77±0.36cC	25.44±0.95cD
	0—100	45.57±13.56	38.00±5.54	42.79±9.88	36.42±8.31	31.45±5.99
CV/%		29.76	14.58	23.09	22.82	19.05
非毛管孔隙度/%	0—20	12.68±1.57aA	9.97±2.43aA	11.14±2.59aA	9.19±1.14aB	12.52±3.19aA
Non-capillary porosity	20—60	7.97±0.79bA	7.60±1.37abA	10.64±3.69aA	7.62±2.71abA	9.67±3.07aA
	60—100	7.52±2.66bAB	6.79±1.29bAB	8.21±2.89aB	6.22±1.18bAC	3.60±2.11bC
	0—100	9.39±2.96	8.12±2.15	10.00±3.15	7.68±2.11	8.59±4.66
CV/%		31.52	26.48	31.50	27.47	54.25
空隙比 Porosity ratio	0—20	1.78±0.04aA	0.82±0.02aD	1.22±0.03aB	0.90±0.06aC	0.64±0.03aE
	20—60	0.62±0.01bB	0.57±0.03bB	0.72±0.09bA	0.50±0.03bC	0.42±0.02bD
	60—100	0.53±0.02cA	0.48±0.02cB	0.47±0.02cB	0.40±0.01cC	0.34±0.02cD
	0—100	0.97±0.59	0.63±0.15	0.80±0.33	0.60±0.23	0.47±0.13
CV/%		60.82	23.81	41.25	38.33	27.66

3 讨论

土地是人类生存的基础,土壤质量是自然因素和人为因子共同作用的结果^[24]。有研究表明,不同植物类型下的土壤物理性质差异明显,在改良土壤物理性状方面,混交林最好,草本次之,纯林最差^[25];也有研究者对不同植物篱带土壤物理性质研究表明,灌木类植物篱带内土壤容重、孔隙度、含水量均优于乔木类和草本类植物篱带土壤^[26]。本文通过对干旱荒漠区4种盐生植被下的土壤物理性质研究表明,不同盐生植被类型下的各项土壤物理性质均优于空裸地,说明干旱荒漠区盐碱土上生长的不同盐生植物,不仅可以促进植被覆盖的郁闭度,而且大大改善了土壤质量,在盐碱荒漠区生态重建过程中应该注重盐生植被的保育措施;在4种植被之间,柽柳和白刺无论是0—20cm耕层处还是1m剖面内,其土壤有机质、含水率、田间持水量和孔隙性能均优于盐穗木和猪毛菜,土壤含盐量、容重和pH值最低,尤其是柽柳在1m剖面内的平均含盐量为最低的0.97 g/kg,说明柽柳和白刺能够显著降低土壤含盐量,改善土壤结构,在利用盐生植物改良盐碱土方面有很好的研究价值和应用前景;扇缘带4种植被类型和空裸地土壤平均有机质(<15 g/kg)、孔隙度(<50%)均较

小,而土壤平均含盐量(1.56g/kg左右)、容重(>1.51g/cm³)均较大,表明星区盐碱土土壤营养贫瘠,土壤质量严重退化。

土壤pH值和含盐量是衡量盐碱土理化性质的基础。对玛纳斯河流域扇缘带4种植被类型及空裸地土壤的定量研究可知,其土体平均pH值和平均全盐量均在8.7和1.5g/kg以上,4种植被类型中,柽柳覆盖下的土壤平均pH值和全盐量均最小,这与雷金银等的研究结果一致^[27],盐穗木和猪毛菜均最大,这主要与它们的生理机制和生境有关。柽柳在生长过程中,根系不仅能从土壤中吸收养料和水分,而且将土壤中的盐分选择性地吸收到体内,耐盐极限能够达到35g/kg左右^[28];柽柳又为高大的灌木,9月份正是其第3次花期,生长旺盛,宽大的冠幅遮蔽了阳光的直射而降低了地面蒸发,地表的枯枝落叶既增加有机质含量,又降低了风蚀和降雨直接击溅地面,贮水功能增强;根系发达粗长,不定根多,庞大的根系活化了土壤,容重下降而使有效团聚体增多,改善了土壤孔性^[29]。因此,柽柳超强的耐盐能力和自身的生长特点抑制了土壤返盐,成为荒漠盐碱化土壤上名副其实的“生物脱盐器”^[10]。而盐穗木和猪毛菜为积盐盐生植物,它们在生长过程中能从外界吸收大量的盐离子并贮藏在体内,同时其叶或茎不断地肉质化,吸收和贮存大量水分,使吸收和运输到植物体内的盐离子被稀释到不会产生伤害的浓度。它们生长在一定盐浓度下,其生长与外界盐浓度成正相关,即它们的生长发育需要盐分,等到猪毛菜和盐穗木死亡或凋落物降落到地表时,二次盐渍化使土壤盐分更重,导致覆盖下的土壤无论pH值还是全盐含量最大。

土壤有机质是植物养分元素循环的中心,是土壤结构中很重要的一个因子。分析表明,玛纳斯河流域扇缘带土壤有机质含量在15g/kg以下,说明盐碱土营养贫瘠,是致使作物生长乏力的重要因素。4种植被覆盖类型下的田间持水量、土壤孔隙度随着土壤深度的增加均减小,土壤含水率、田间持水量、土壤孔隙度在水平方向上均表现为柽柳>白刺>盐穗木>猪毛菜,无论在水平方向上还是在立地垂直剖面上,变化趋势都和土壤有机质一致。通过相关性分析可知(表5),土壤含水率、田间持水量、土壤孔隙度与土壤有机质均呈显著性或极显著性相关。因此,土壤有机质变化是本研究区其它物理性质变化的关键原因。这是因为各种植被类型发达的根系和凋落物腐殖质化增加了其覆盖下的土壤有机质含量,使土壤胶体状况改善而增大了土壤颗粒之间的胶结,形成了大的团聚体和结构稳定、比例适合的水稳定性团聚体,交织成网的团聚体吸附和网络了许多细小的土壤颗粒,使土壤中黏粒和石英颗粒粘聚而形成团粒结构^[30-31],大大改善了土壤结构。发达的根系和表层凋落物不仅是有机质升高的直接原因,而且由于表层凋落物的截留作用,减少了降雨直击地表而侵蚀土壤的剧烈程度,消减了暴雨可能引起的土壤侵蚀,同时增强了表层土壤的水土保持能力。因为表层保水能力增强,使表土含水量升高,湿润了降落到表层的凋落物,从而加快了枯枝败叶的腐烂分解能力,提高了有机质,加速了植物根茎和土壤的养分交换,进而形成了一个良性循环系统;由于根系的穿插生长,使土壤疏松容重降低,有利于土壤水分的入渗,降低了风蚀和雨蚀,增强了土壤的抗蚀性,所以,柽柳、白刺及盐穗木灌丛由于密而发达根系穿插生长,显著的活化了土壤,改善了盐碱土土壤结构及有机质含量。

土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度比例分配是土壤固相、液相和气相比例分配的表征,直接决定着土壤通气透水性强弱^[32],而土壤容重与孔隙度密切相关。通过表5可知,土壤容重与土壤有机质呈极显著负相关(-0.881 **),说明土壤容重的差异一部分是由于有机质差异所致。土壤容重与土壤总孔隙度、毛管孔隙度和含水率呈极显著负相关,说明土壤总孔隙、毛管孔隙和土壤含水率直接决定于土壤容重,间接受土壤有机质的影响^[33]。4种植被类型总孔隙度平均值均在50%以下,说明盐渍化土壤土体板结紧实,容重较高而结构性差,因此需要深翻、施加有机肥等才能改善土壤结构,有效提高土壤肥力。但在4种植被类型之间柽柳、白刺孔性均优于盐穗木。这主要是因为柽柳为高大的灌木,在1m剖面内庞大发达的根系穿插生长疏松了土壤,改善了土壤孔隙度。在调查过程中发现柽柳比其它3种植被类型表土凋落物较厚,这为微生物提供了充足的“食源”而保证分解作用产生更多的腐殖质,提高土壤有机质含量,再加之柽柳为泌盐盐生植物,强大的耐盐能力降低了土壤pH值和盐分含量,从而使得柽柳覆盖下的土壤有机质、含水率、孔隙性能均优于其它3种,pH值和全盐含量均低于其它;白刺由于灌丛较大,生长茂盛,尤其是60cm左右根系密布成网,大大提高

了土壤孔性;盐穗木虽然根系比白刺粗大,但由于单株生长而没有交织成网,再加之其覆盖下的表土龟裂紧实导致平均孔隙度低于白刺。与空裸地相比,4种植被类型下的土壤孔性无论是水平方向还是垂直剖面均呈显著性提高,这是因为植被不仅增大了覆盖度,在地表形成“林褥层”,而且发达的根系穿插生长有利于微生物活动,增加了有机质含量,改善了土壤孔性。表层凋落物储积量越大,孔隙度相应的越高,土壤结构也越疏松,从而提高了地表径流的入渗量,减少了土壤流失;由于毛管作用增强,在重力作用下地表径流渗入土壤下层作用增强,这样既增强了土壤保水性能,更重要的是淋溶作用增强而使得表层盐分被带到耕层以下,降低了表土含盐量从而避免伤害作物。

表5 土壤性质之间的相关系数
Table 5 Correlative coefficients of soil properties

指标 Index	OM	pH	TS	MC	FC	BD	TP	CP	NP
OM	1								
pH	-0.036	1							
TS	0.220	0.401 **	1						
MC	-0.284 *	-0.253 *	-0.708 **	1					
FC	0.694 **	0.102	0.362 **	-0.240 *	1				
BD	-0.881 **	-0.061	-0.377 **	0.236 *	-0.847 **	1			
TP	0.898 **	0.086	0.360 **	-0.297 **	0.824 **	-0.944 **	1		
CP	0.903 **	0.027	0.285 *	-0.195	0.764 **	-0.924 **	0.957 **	1	
NP	0.428 **	0.205	0.381 **	-0.421 *	0.568 **	-0.562 **	0.610 **	0.352 **	1

* $P<0.05$; ** $P<0.01$. OM: 土壤有机质 Soil organic matter; TS: 全盐含量 Tatol salt content; MC: 土壤含水率 Soil moisture content; FC: 田间持水量 Field moisture capacity; BD: 容重 Bulk density; TP: 孔隙度 Total porosity; CP: 毛管孔隙度 Capillary porosity; NP: 非毛管孔隙度 Non-capillary porosity

从本研究定量分析可知,无论是土壤pH值还是含盐量,无论是土壤有机质、含水率还是土壤孔性,4种植被覆盖下的土壤与空裸地相比,以上土壤参数均得到有效改善,虽然盐穗木由于其生理特性和生长环境的需求,导致其覆盖下的表土pH值和盐分含量较高,使得在1m剖面内平均值高于裸地,但从干旱荒漠区资源分布特点和农业生产方式来讲,利用柽柳、白刺、盐穗木等干旱荒漠区所特有盐生植物进行生物改良盐碱土,有利于提高垦区农业灌溉用水利用率和生态环境的良性循环及永久性建设。本文只是分析了不同盐生植被下的土壤物理性质变化,为垦区利用盐生植物资源、实行生物改良盐碱土提供了一定的基础理论,对如何利用这些宝贵的盐生资源进行盐渍化土壤的改良,还需进一步从大尺度、多角度进行研究和探索。

References:

- [1] Zhao Q G, Sun B, Zhang T L. Soil quality and sustainable environment I. The definition of soil quality and its appraisal approach. *Soils*, 1997, (3): 113-120.
- [2] Qiu L P, Zhang X C. Effects of land use on soil properties in Ziwuling Region. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(6): 965-972.
- [3] Agus F, Cassel D K, Garrity D P. Soil-water and soil physical properties under contour hedgerow systems on sloping oxisols. *Soil and Tillage Research*, 1997, 40(3/4): 185-199.
- [4] Wang G X, Li C R, Xu J W, Qi Q, Wang Y H, Wang W D. Soil properties and water conservation function of 5 types of vegetation on sandy coast. *Journal of Soil Water Conservation*, 2005, 19(2): 142-146.
- [5] Li J Y, Chang X L, Cai M Y, Zhang J P, Song Y H. Analysis of relationship between desertification and landscape structure changes in Horqin Sandland. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(4): 622-626.
- [6] Li Z, Liu W Z, Wang Q X. Effects of land use type and slope position on soil physical properties in loess tableland area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(6): 1303-1308.
- [7] Acosta-Martínez V, Zobeck T M, Allen V. Soil microbial, chemical and physical properties in continuous cotton and integrated crop-livestock systems. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68(6): 1875-1884.
- [8] Guo Y R, Zhan Y G. Comprehensive evaluation of physiological and biochemical indexes of salt resistance in plant. *Heilongjiang Agricultural*

- Sciences, 2006, (1): 66-70.
- [9] Tian C Y, Zhou H F, Liu G Q. The proposal on control of soil salinizing and agricultural sustaining development in 21'S century in Xinjiang. Arid Land Geography, 2000, 23(2) : 177-181.
- [10] Ren W, Luo T B, Wang B J, Su F C. Biological improvement of saline and alkaline land in Xinjiang. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22(4) : 211-214.
- [11] Zhao K F, Fan H. Halophytes and Their Physiology to Adapt to Saline Environment. Beijing: Chinese Science Press, 2005 : 121-173.
- [12] Li Y Y, Zhang F H, Pan X D, Chen F, Lai X Q. Changes of salt accumulation in soil layers with different landforms in Manas River Valley in Xinjiang Region of China. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(2) : 60-64.
- [13] Tu J N, Xiong Y C, Zhang X, Yang Y, Zhu L J, Chen J H, Li Z H, Wang S M. "Fertile Island" features of soil available nutrients around *Halostachys caspica* shrub in the alluvial fan area of Manas River watershed. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(9) : 2461-2470.
- [14] Bao S D. Agricultural Soil Analysis. 3rd ed. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000 : 56-106.
- [15] Luo T B, Ren W, Xie C H. Necessity and Feasibility of biotic improving the saline and alkaline land in Xinjiang. Arid Zone Research, 2001, 18 (1) : 56-48.
- [16] Li J, Zhao C Y, Zhu H, Wang F. Species effect of *Tamarix* spp. and *Haloxylon ammodendron* on shrub "fertile island". Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12) : 5138-5147.
- [17] Yin C H, Feng G, Tian C Y, Bai D S, Zhang F S. Influence of tamarisk shrub on the distribution of soil salinity and moisture on the edge of Taklamakan desert. China Environmental Science, 2007, 27(5) : 670-675.
- [18] Zhang F, Chen Y M, Wang Y F, Wang L L. Effects of *Caragana korshinskii* plantation on soil physical properties and organic matter in Semi-arid Loess Hilly Region. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(3) : 105-109.
- [19] Zhang X B, Shang Guan Z P. Effect of Human-induced disturbance on physical properties of soil in artificial *Pinus tabulaeformis* Carr. forests of the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(11) : 3685-3693.
- [20] Li Q M, Hou L Y, Liu Y, Ma F Yun. Properties of saline-alkaline soil under different land use types in Yellow River Delta. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(6) : 1132-1136.
- [21] Wang L, Zhang Q, Niu X W, Yang Z P, Zhang J J. Effects of different land-uses on soil physical and chemical properties in the Loess Plateau of Shanxi Province. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(4) : 53-56.
- [22] Xia J, Zuo Q T, Shao M C. Boston Lake Sustainable Use of Water Resources. Beijing: Chinese Science Press, 2003 : 21-25.
- [23] Li Q Y, Yu X X, Xin Z B, Liu S Y, Li H G, Han J C. Analysis on soil physical properties of different land uses in a typical watershed of the Loess Plateau. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(6) : 106-114.
- [24] Mou P, Mitchell R J, Jones R H. Root distribution of two tree species under a heterogeneous nutrient environment. Journal of Applied Ecology, 1997, 34(3) : 645-656.
- [25] Li Y Y, Shao M A, Chen H S, Huo Z, Zheng J Y. Impacts of vegetation recovery on soil physical properties in the cross area of wind-water erosion. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(16) : 4306-4316.
- [26] Li J Q, Zhang H J, Cheng J H, Wang X, Lü W X. Soil physical properties of different hedgerow systems in upper reaches of Yangtze River. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(2) : 418-424.
- [27] Lei J Y, Ban N R, Zhang Y H, Wang C J. Effects and partition characteristics of *Tamarix Ramossissima* on nutrients and salt of Saline-Alkali soils. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011, 31(2) : 73-76.
- [28] Zhang L B, Song R R, Wu X. Salt tolerance capability of *Tamarix chinensis* and the effects on the improvement of Coastal saline soil. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(13) : 5424-5426.
- [29] Lin C W, Tu S H, Huang J J, Chen Y B. The effects of plant hedgerows on soil erosion and soil fertility on sloping farmland in the purple soil area. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(6) : 2191-2198.
- [30] Albiach R, Canet R, Pomares F. Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticulture soil. Bioresource Technology, 2001, 76(2) : 125-129.
- [31] Whalley W R, Dumitru E, Dexter A R. Biological effects of soil compaction. Soil and Tillage Research, 1995, 35(1/2) : 53-68.
- [32] Lin D Y. Soil Experiment Guide. Beijing: Chinese Forest Press, 2004: 64-64.
- [33] Marú B V, Nilda M A, Norman P. Soil degradation related to overgrazing in the semiarid southern Caldenal area of Argentina. Soil Science, 2001, 166(7) : 441-452.
- [34] Sun Y H, Zhang H J, Cheng J H, Wang Y J, Shi J, Cheng Y. Soil characteristics and water conservation of different forest types in Jinyun Mountain. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(2) : 106-109.

参考文献：

- [1] 赵其国, 孙波, 张桃林. 土壤质量与持续环境 I. 土壤质量的定义及评价方法. 土壤, 1997, (3): 113-120.
- [2] 邱莉萍, 张兴昌. 子午岭不同土地利用方式对土壤性质的影响. 自然资源学报, 2006, 21(6): 965-972.
- [4] 王贵霞, 李传荣, 许景伟, 齐清, 王月海, 王卫东. 沙质海岸5种植被类型土壤物理性状及其水源涵养功能. 水土保持学报, 2005, 19(2): 142-146.
- [5] 李健英, 常学礼, 蔡明玉, 张继平, 宋彦华. 科尔沁沙地土地沙漠化与景观结构变化的关系分析. 中国沙漠, 2008, 28(4): 622-626.
- [6] 李志, 刘文兆, 王秋贤. 黄土塬区不同地形部位和土地利用方式对土壤物理性质的影响. 应用生态学报, 2008, 19(6): 1303-1308.
- [8] 郭艳茹, 詹亚光. 植物耐盐性生理生化指标的综合评价. 黑龙江农业科学, 2006, (1): 66-70.
- [9] 田长彦, 周宏飞, 刘国庆. 21世纪新疆土壤盐渍化调控与农业持续发展研究建议. 干旱区地理, 2000, 23(2): 177-181.
- [10] 任歲, 罗廷彬, 王宝军, 苏逢春. 新疆生物改良盐碱地效益研究. 干旱地区农业研究, 2004, 22(4): 211-214.
- [11] 赵可夫, 范海. 盐生植物及其对盐渍生境的适应生理. 北京: 科学出版社, 2005: 121-173.
- [12] 李玉义, 张凤华, 潘旭东, 陈阜, 赖先齐. 新疆玛纳斯河流域不同地貌类型土壤盐分累积变化. 农业工程学报, 2007, 23(2): 60-64.
- [13] 涂锦娜, 熊友才, 张霞, 杨岩, 朱丽洁, 陈接华, 李志华, 王绍明. 玛河流域扇缘带盐穗木土壤速效养分的“肥岛”特征. 生态学报, 2011, 31(9): 2461-2470.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000: 56-106.
- [15] 罗廷彬, 任歲, 谢春虹. 新疆盐碱地生物改良的必要性与可行性. 干旱区研究, 2001, 18(1): 46-48.
- [16] 李君, 赵成义, 朱宏, 王锋. 桤柳(*Tamarix* spp.)和梭梭(*Haloxylon ammodendron*)的“肥岛”效应. 生态学报, 2007, 27(12): 5138-5147.
- [17] 尹传华, 冯固, 田长彦, 白灯莎, 张福锁. 塔克拉玛干沙漠边缘柽柳对土壤水盐分布的影响. 中国环境科学, 2007, 27(5): 670-675.
- [18] 张飞, 陈云明, 王耀凤, 王琳琳. 黄土丘陵半干旱区柠条林对土壤物理性质及有机质的影响. 水土保持研究, 2010, 17(3): 105-109.
- [19] 张希彪, 上官周平. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响. 生态学报, 2006, 26(11): 3685-3693.
- [20] 李庆梅, 侯龙鱼, 刘艳, 马风云. 黄河三角洲盐碱地不同利用方式土壤理化性质. 中国生态农业学报, 2009, 17(6): 1132-1136.
- [21] 王莉, 张强, 牛西牛, 杨治平, 张建杰. 黄土高原丘陵区不同土地利用方式对土壤理化性质的影响. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 53-56.
- [22] 夏军, 左其亭, 邵民诚. 博斯腾湖水资源可持续利用. 北京: 科学出版社, 2003: 21-25.
- [23] 李庆云, 余新晓, 信忠保, 刘淑燕, 李海光, 韩洁春. 黄土高原典型流域不同土地利用类型土壤物理性质分析. 水土保持研究, 2010, 17(6): 106-114.
- [25] 李裕元, 邵明安, 陈洪松, 霍竹, 郑纪勇. 水蚀风蚀交错带植被恢复对土壤物理性质的影响. 生态学报, 2010, 30(16): 4306-4316.
- [26] 黎建强, 张洪江, 程金花, 王幸, 吕文星. 长江上游不同植物篱系统的土壤物理性质. 应用生态学报, 2011, 22(2): 418-424.
- [27] 雷金银, 班乃荣, 张永宏, 王长军. 柽柳对盐碱土养分与盐分的影响及其区化特征. 水土保持通报, 2011, 31(2): 73-76.
- [28] 张立宾, 宋日荣, 吴霞. 柽柳的耐盐能力及其对滨海盐渍土的改良效果研究. 安徽农业科学, 2008, 36(13): 5424-5426.
- [29] 林超文, 涂仕华, 黄晶晶, 陈一兵. 植物篱对紫色土区坡耕地水土流失及土壤肥力的影响. 生态学报, 2007, 27(6): 2191-2198.
- [32] 林大仪. 土壤学实验指导. 北京: 中国林业出版社, 2004: 64-64.
- [34] 孙艳红, 张洪江, 程金花, 王玉杰, 石健, 程云. 缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能. 水土保持学报, 2006, 20(2): 106-109.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33 ,No. 1 January ,2013(Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Integrating ecological civilization into social-economic development WANG Rusong (1)
The effect of land cover pattern on hillslope soil and water loss in the arid and semi-arid region: a review GAO Guangyao, FU Bojie, LÜ Yihe, et al (12)
The status and trend on the urban tree canopy research JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa, et al (23)
Bioindicators and Biomonitoring in Environmental Quality Assessment Bernd Markert, WANG Mei'e, Simone Wünschmann, et al (33)
Electron transfer capacities of dissolved organic matter and its ecological effects BI Ran, ZHOU Shungui, YUAN Tian, et al (45)

Autecology & Fundamentals

- Antioxidative responses of *Abies fabri* seedlings to litter addition and temperature elevation YANG Yang, YANG Yan, WANG Genxu, et al (53)
Effects of seed soaking with different concentrations of 5-aminolevulinic acid on the germination of tomato (*Solanum lycopersicum*) seeds under NaCl stress ZHAO Yanyan, HU Xiaohui, ZOU Zhirong, et al (62)
Influence of magnesium deficiency on chlorophyll fluorescence characteristic in leaves of Newhall navel orange LING Lili, PENG Liangzhi, WANG Nanqi, et al (71)
Leaf traits of 66 herbaceous species in Songnen grassland in Northeast China SONG Yantao, ZHOU Daowei, WANG Ping, et al (79)
Effects of nectar secondary compounds on pollination of co-flowering species in a natural community ZHAO Guangyin, LI Jianjun, GAO Jie (89)
The continuous life-table of *Leptocybe invasa* ZHU Fangli, QIU Baoli, REN Shunxiang (97)

Population, Community and Ecosystem

- Dominant climatic factors of *Quercus mongolica* geographical distribution and their thresholds YIN Xiaojie, ZHOU Guangsheng, SUI Xinghua, et al (103)
Fruit diet, Selectivity and Seed dispersal of Hatinh langur (*Trachypithecus francoisi hatinhensis*) Nguyen Haiha, BAI Bing, LI Ning, et al (110)
The distribution of living coccolithophore in East China Sea in autumn, 2010 JIN Shaofei, SUN Jun, LIU Zhiliang (120)
The association of OPRK1 gene SNP with sika deer (*Cervus nippon*) diurnal behavior traits LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanrong (132)
Preliminary study on bird composition and diversity in Poyang Lake watershed during non-breeding period SHAO Mingqin, ZENG Binbin, XU Xianzhu, et al (140)
Coexistence mechanism of two species passerines in man-made nest boxes LI Le, ZHANG Lei, YIN Jiangxia, et al (150)
Dynamics on soil faunal community during the decomposition of mixed eucalypt and alder litters LI Yanhong, YANG Wanqin, LUO Chengde, et al (159)
RS/GIS-based integrated evaluation of the ecosystem services of the Three Gorges Reservoir area (Chongqing section) LI Yuechen, LIU Chunxia, MIN Jie, et al (168)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The distribution of soil organic carbon as affected by landforms in a small watershed of gully region of the Loess Plateau LI Linhai, GAO Erhu, MENG Meng, et al (179)
Effects of coastal geographical characteristics on the abundance of submerged aquatic vegetation WU Mingli, LI Xuyong, CHEN Nianlai (188)
Analysis of soil physical properties under different vegetation types in the alluvial fan area of Manas River watershed CAO Guodong, CHEN Jiehua, XIA Jun, et al (195)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of farming on wetland soil seed banks in the Sanjing Plain and wetland restoration potential WANG Guodong, Beth A Middleton, LÜ Xianguo, et al (205)

Effects of the microhabitats on the seedling emergence during the flooding disturbance	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (214)
Analysis on the limiting factors to further improve yield of summer maize in Heilonggang River Valley	XU Lina, TAO Hongbin, HUANG Shoubing, et al (222)
Fungal diversity in rhizosphere soil of medicinal plants in Heilongjiang Province	MU Dongyan, LÜ Guozhong, SUN Xiaodong, et al (229)
Integrated assessment of mariculture ecosystem health in Sanggou Bay FU Mingzhu, PU Xinming, WANG Zongling, et al (238)	
Urban, Rural and Social Ecology	
The integrative assessment on ecological quality status of Luoyuan Bay based on ‘OOAO principle’	WU Haiyan, WU Yaojian, CHEN Keliang, et al (249)
Trophic state of seawater and ecological characteristics of phytoplankton in Sishili Bay	LI Bin, BAI Yanyan, XING Hongyan, et al (260)
Ecological footprint depth and size: new indicators for a 3D model	FANG Kai (267)
Landscape dynamics of medium- and small-sized cities in eastern and western China: a comparative study of pattern and driving forces	QI Yang, WU Jianguo, LI Jianlong, et al (275)
Research Notes	
Prediction of bacterial species richness in the South China Sea slope sediments	LI Tao, WANG Peng (286)
Spatial pattern of seedling regeneration of <i>Ulmus pumila</i> woodland in the Otindag Sandland	LIU Zhen, DONG Zhi, LI Hongli, et al (294)
Impacts on seed germination features of <i>Eupatorium adenophorum</i> from variable light stimulation and traditional dormancy-broken methods	JIANG Yong, LI Yanhong, WANG Wenjie, et al (302)
Opinions	
Discus for classification of plant association	XING Shaohua, YU Mengfan, YANG Lijuan, et al (310)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 1 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 1 (January, 2013)

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 王如松
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学学会
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

Editor-in-chief WANG Rusong
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

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 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

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

订 购 国 外 发 行
全国各地图局
中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

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

广 告 经 营 许 可 证
京海工商广字第 8013 号

ISSN 1000-0933
9 771000093132
01>