

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 16 期 Vol.32 No.16 **2012**

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 32 卷 第 16 期 2012 年 8 月 (半月刊)

目 次

| | |
|---|-------------------------|
| 基于生物多样性保护的兴安落叶松与白桦最佳混交比例——以阿尔山林区为例····· | 李 菁, 骆有庆, 石 娟 (4943) |
| 中国能源消费碳排放的时空特征····· | 舒娱琴 (4950) |
| 黄土丘陵沟壑区坡面尺度土壤水分空间变异及影响因素····· | 姚雪玲, 傅伯杰, 吕一河 (4961) |
| 新疆艾比湖流域土壤有机质的空间分布特征及其影响因素····· | 王合玲, 张辉国, 秦 璐, 等 (4969) |
| 雅鲁藏布江山南宽谷风沙化土地土壤养分和粒度特征····· | 李海东, 沈渭寿, 邹长新, 等 (4981) |
| 一株溶藻细菌对海洋原甲藻的溶藻效应····· | 史荣君, 黄洪辉, 齐占会, 等 (4993) |
| 种形态对黑藻和竹叶眼子菜有机酸含量的影响····· | 钟正燕, 王宏镔, 王海娟, 等 (5002) |
| 七项河流附着硅藻指数在东江的适用性评估····· | 邓培雁, 雷远达, 刘 威, 等 (5014) |
| 杭州湾滨海湿地不同植被类型沉积物磷形态变化特征····· | 梁 威, 邵学新, 吴 明, 等 (5025) |
| 剪形臂尾轮虫形态的时空变化及其与生态因子间的关系····· | 葛雅丽, 席貽龙, 马 杰, 等 (5034) |
| 太湖流域河流水质状况对景观背景的响应····· | 周 文, 刘茂松, 徐 驰, 等 (5043) |
| 荒漠植物白刺属 4 个物种的生殖分配比较····· | 李清河, 辛智鸣, 高婷婷, 等 (5054) |
| 臭氧浓度升高对香樟叶片光合色素及抗过氧化的影响及其氮素响应····· | 牛俊峰, 张巍巍, 李 丽, 等 (5062) |
| 不同密度下凤仙花重要形态性状与花朵数的关系····· | 田旭平, 常 洁, 李娟娟, 等 (5071) |
| 五种高速公路边坡绿化植物的生理特性及抗旱性综合评价····· | 谭雪红, 高艳鹏, 郭小平, 等 (5076) |
| 散孔材与环孔材树种枝干、叶水力学特性的比较研究····· | 左力翔, 李俊辉, 李秧秧, 等 (5087) |
| 北京城区行道树国槐叶面尘分布及重金属污染特征····· | 戴斯迪, 马克明, 宝 乐 (5095) |
| 南亚热带米老排人工林碳贮量及其分配特征····· | 刘 恩, 刘世荣 (5103) |
| 植物生活史型定量划分及其权重配置方法——以四棱豆生活史型划分为例····· | 赵则海 (5110) |
| 半干旱区湿地-干草原交错带边界判定及其变化····· | 王 晓, 张克斌, 杨晓晖, 等 (5121) |
| 氮肥运筹对晚播冬小麦氮素和干物质积累与转运的影响····· | 吴光磊, 郭立月, 崔正勇, 等 (5128) |
| 氮肥形态对冬小麦根际土壤氮素生理群活性及无机氮含量的影响····· | 熊淑萍, 车芳芳, 马新明, 等 (5138) |
| 基于数字相机的冬小麦物候和碳交换监测····· | 周 磊, 何洪林, 孙晓敏, 等 (5146) |
| 黄土高原半湿润区气候变化对冬小麦生长发育及产量的影响····· | 姚玉璧, 王润元, 杨金虎, 等 (5154) |
| 基于土地破坏的矿区生态风险评价: 理论与方法····· | 常 青, 邱 瑶, 谢苗苗, 等 (5164) |
| 基于生态位的山地农村居民点适宜度评价····· | 秦天天, 齐 伟, 李云强, 等 (5175) |
| 氯虫苯甲酰胺对黑肩绿盲蝽实验种群的影响····· | 杨 洪, 王 召, 金道超 (5184) |
| 6 种植物次生物质对斜纹夜蛾解毒酶活性的影响····· | 王瑞龙, 孙玉林, 梁笑婷, 等 (5191) |
| 云南元江芒果园桔小实蝇成虫日活动规律及空间分布格局····· | 叶文丰, 李 林, 孙来亮, 等 (5199) |
| 重庆市蝴蝶多样性环境健康指示作用和环境监测评价体系构建····· | 邓合黎, 马 琦, 李爱民 (5208) |
| 专论与综述 | |
| 生态系统服务竞争与协同研究进展····· | 李 鹏, 姜鲁光, 封志明, 等 (5219) |
| 中国沿海无柄蔓足类研究进展····· | 严 涛, 黎祖福, 胡煜峰, 等 (5230) |
| 冰雪灾害对森林的影响····· | 郭淑红, 薛 立 (5242) |
| 不同干扰因素对森林和湿地温室气体通量影响的研究进展····· | 杨 平, 全 川 (5254) |
| 采石场废弃地的生态重建研究进展····· | 杨振意, 薛 立, 许建新 (5264) |
| 研究简报 | |
| 基于地统计学和 CFI 样地的浙江省森林碳空间分布研究····· | 张 峰, 杜 群, 葛宏立, 等 (5275) |

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-08



封面图说: 秋色藏野驴群——秋天已经降临在海拔 4200 多米的黄河源区, 红色的西伯利亚蓼(生于盐碱荒地或砂质含盐碱土壤)铺满大地, 间有的高原苔草也泛出了金黄, 行走在上面的藏野驴们顾不上欣赏这美丽的秋色, 只是抓紧时间, 在严冬到来之前取食, 添肥增膘以求渡过青藏高原即将到来的漫长冬天。

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

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 16 August, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

| | |
|--|--|
| The optimum mixture ratio of larch and birch in terms of biodiversity conservation; a case study in Aershan forest area | LI Jing, LUO Youqing, SHI Juan (4943) |
| Spatiotemporal characteristics of carbon emissions from energy consumption in China | SHU Yuqin (4950) |
| Spatial patterns of soil moisture at transect scale in the Loess Plateau of China | YAO Xueling, FU Bojie, LÜ Yihe (4961) |
| The characteristics of the spatial distribution of soil organic matter and factors influencing it in Ebinur Lake Basin of Xinjiang Autonomous Region, China | WANG Heling, ZHANG Huiguo, QIN Lu, et al (4969) |
| Soil nutrients content and grain size fraction of aeolian sandy land in the Shannan Wide Valley of the Yarlung Zangbo River, China | LI Haidong, SHEN Weishou, ZOU Changxin, et al (4981) |
| Algicidal activity against <i>Proocentrum micans</i> by a marine bacterium isolated from a HABs area, South China | SHI Rongjun, HUANG Honghui, QI Zhanhui, et al (4993) |
| Effects of arsenic speciations on contents of main organic acids in <i>Hydrilla verticillata</i> and <i>Potamogeton malaianus</i> | ZHONG Zhengyan, WANG Hongbin, WANG Haijuan, et al (5002) |
| Exploration of benthic diatom indices to evaluate water quality in rivers in the Dongjiang basin | DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (5014) |
| Phosphorus fraction in the sediments from different vegetation type in Hangzhou bay coastal wetlands | LIANG Wei, SHAO Xuexin, WU Ming, et al (5025) |
| Spatio-temporal variation of morphometric characteristics of <i>Brachionus forficula</i> in relation to ecological factors | GE Yali, XI Yilong, MA Jie, et al (5034) |
| Response of river water quality to background characteristics of landscapes in Taihu Lake basin | ZHOU Wen, LIU Maosong, XU Chi, et al (5043) |
| Reproductive allocation in four desert species of the genus <i>Nitraria</i> L. | LI Qinghe, XIN Zhiming, GAO Tingting, et al (5054) |
| Effects of elevated ozone on foliar chlorophyll content and antioxidant capacity in leaves of <i>Cinnamomum camphora</i> under enhanced nitrogen loads | NIU Junfeng, ZHANG Weiwei, LI Li, et al (5062) |
| Correlation analysis between floret numbers and important traits of <i>Impatiens balsamina</i> under different planting density | TIAN Xuping, CHANG Jie, LI Juanjuan, et al (5071) |
| Physiological characteristics and comprehensive evaluation of drought resistance in five plants used for roadside ecological restoration | TAN Xuehong, GAO Yanpeng, GUO Xiaoping, et al (5076) |
| Comparison of hydraulic traits in branches and leaves of diffuse- and ring-porous species | ZUO Lixiang, LI Junhui, LI Yangyang, et al (5087) |
| Distribution and heavy metal character of foliar dust on roadside tree <i>Sophora japonica</i> of urban area in Beijing | DAI Sidi, MA Keming, BAO Le (5095) |
| The research of carbon storage and distribution feature of the <i>Mytilaria laosensis</i> plantation in south sub-tropical area | LIU En, LIU Shirong (5103) |
| The novel methods of quantitative classification of plant life cycle forms and weight collocation; taking classification of life cycle forms of <i>Psophocarpus tetragonolobus</i> as an example | ZHAO Zehai (5110) |
| Research on boundary definition and changes of wetland-dry grassland ... | WANG Xiao, ZHANG Kebin, YANG Xiaohui, et al (5121) |
| Differential effects of nitrogen managements on nitrogen, dry matter accumulation and transportation in late-sowing winter wheat | WU Guanglei, GUO Liyue, CUI Zhengyong, et al (5128) |
| Effects of nitrogen form on the activity of nitrogen bacteria group and inorganic nitrogen in rhizosphere soil of winter wheat | XIONG Shuping, CHE Fangfang, MA Xinming, et al (5138) |
| Using digital repeat photography to model winter wheat phenology and photosynthetic CO ₂ uptake | ZHOU Lei, HE Honglin, SUN Xiaomin, et al (5146) |
| Impacts of climate change on growth and yield of winter wheat in the semi-humid region of the Loess Plateau | YAO Yubi, WANG Runyuan, YANG Jinhu, et al (5154) |
| Theory and method of ecological risk assessment for mining areas based on the land destruction | CHANG Qing, QIU Yao, XIE Miaomiao, et al (5164) |
| Suitability evaluation of rural residential land based on niche theory in mountainous area | QIN Tiantian, QI Wei, LI Yunqiang, et al (5175) |
| Effects of chlorantraniliprole on experimental populations of <i>Cyrtorhinus lividipennis</i> (Reuter) (Hemiptera: Miridae) | YANG Hong, WANG Zhao, JIN Daochao (5184) |
| Effects of six plant secondary metabolites on activities of detoxification enzymes in <i>Spodoptera litura</i> | WANG Ruilong, SUN Yulin, LIANG Xiaoting, et al (5191) |
| Daily activity and spatial distribution pattern of the oriental fruit fly, <i>Bactrocera dorsalis</i> (Diptera: Tephritidae) in mango orchard, Yuanjiang, Yunnan | YE Wenfeng, LI Lin, SUN Lailiang, et al (5199) |
| The establishment of the indication on environmental health of butterfly and of the environmental monitoring evaluation system in Chongqing | DENG Heli, MA Qi, LI Aimin (5208) |
| Review and Monograph | |
| Research progress on trade-offs and synergies of ecosystem services; an overview | LI Peng, JIANG Luguang, FENG Zhiming, et al (5219) |
| A review on the balanomorph barnacles in the coastal waters of China | YAN Tao, LI Zufu, HU Yufeng, et al (5230) |
| Effects of ice-snow damage on forests | GUO Shuhong, XUE Li (5242) |
| Greenhouse gas flux from forests and wetlands; a review of the effects of disturbance | YANG Ping, TONG Chuan (5254) |
| Advances in ecology restoration of abandoned quarries | YANG Zhenyi, XUE Li, XU Jianxin (5264) |
| Scientific Note | |
| Spatial distribution of forest carbon in Zhejiang Province with geostatistics based on CFI sample plots | ZHANG Feng, DU Qun, GE Hongli, et al (5275) |

DOI: 10.5846/stxb201111021646

李海东, 沈渭寿, 邹长新, 袁磊, 纪迪. 雅鲁藏布江山南宽谷风沙化土地土壤养分和粒度特征. 生态学报, 2012, 32(16): 4981-4992.

Li H D, Shen W S, Zou C X, Yuan L, Ji D. Soil nutrients content and grain size fraction of aeolian sandy land in the Shannan Wide Valley of the Yarlung Zangbo River, China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(16): 4981-4992.

雅鲁藏布江山南宽谷风沙化土地土壤养分和粒度特征

李海东*, 沈渭寿, 邹长新, 袁磊, 纪迪

(环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042)

摘要:在雅鲁藏布江山南宽谷区,选择流动沙地、平缓沙砾地、半固定沙地、固定沙地和覆沙河滩地等类型样地,研究了不同深度(0—10 cm, 10—20 cm 和 20—40 cm)土壤层的养分状况和粒度特征,探讨了风沙运动对土壤粒度组成和养分含量的影响。结果表明:1) 风沙化土地土壤 pH 值呈中性、碱性和强碱性,土壤有机质和全氮含量均很低,但全磷和全钾均很高。土壤粒度组成表现为砂粒含量(53.83%—95.93%)> 粉粒(3.3%—40.5%)> 粘粒(0.77%—5.68%)。2) 粘粒和粉粒含量均以覆沙河滩地(分别为 4.02% 和 27.95%)最大、半固定沙地(分别为 1.35% 和 5.27%)最小。粘粒含量表现为覆沙河滩地> 固定沙地(2.98%)> 河滩流动沙地(2.89%)> 平缓沙砾地(1.69%)> 河岸流动沙地(1.54%)> 山坡流动沙地(1.49%)> 半固定沙地。不同类型沙地粉粒含量的大小顺序与粘粒含量相似,仅在山坡流动沙地和河岸流动沙地的大小顺序有所差别。砂粒含量以半固定沙地(为 93.40%)最大、覆沙河滩地最小(68.05%)。不同类型沙地的砂粒含量与粉粒含量的大小顺序正好相反。3) 土壤养分含量与粘粒、粉粒、极细砂粒和细砂粒等细沙物质的相关性较强,与中砂粒、粗砂粒和极粗砂粒等粗沙物质呈负相关或相关性较弱。其中,粘粒和极细砂粒含量的增加对土壤养分的增加贡献较大。流动沙丘随风沙运动而不断往复摆动的现象和土壤细颗粒的迁移和损失,对不同类型沙地和沙丘部位的土壤养分状况及其再分配过程产生较大影响。

关键词:不同类型沙地;植被恢复;风沙运动;高寒河谷

Soil nutrients content and grain size fraction of aeolian sandy land in the Shannan Wide Valley of the Yarlung Zangbo River, China

LI Haidong*, SHEN Weishou, ZOU Changxin, YUAN Lei, JI Di

Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China

Abstract: We conducted a case study to examine the soil nutrients content and grain size fraction of different aeolian sandy land types in the Shannan wide valley area, middle reaches of the Yarlung Zangbo River by choosing moving sandy land, flat sandy gravel land, semi-fixed sandy land, fixed sandy land and sandy land on flood plain as sample plots. The mechanism how aeolian sand movement affects soil grain size fraction and nutrients content of aeolian sandy land was discussed based on field sand movement observation and wind velocity and direction data from 1980 to 2006 from the Lhasa Airport meteorological station. The results showed that 1) The soil pH value of aeolian sandy land in the study area was neutral, alkaline or strong alkaline, and soil organic matter (SOM) and total nitrogen (TN) content were rather low, whereas total phosphorus (TP) and total potassium (TK) were very high. The soil grain size fraction followed the order of sand content (53.83%—95.93%)> silt content (3.3%—40.5%)> clay content (0.77%—5.68%), and the clay and silt content both presented rather low. 2) The clay and silt content was highest in sandy land on flood plain (4.02% and 27.95%, respectively), whereas that was lowest in semi-fixed sandy land (1.35% and 5.27%, respectively). The clay

基金项目:国家环保公益性行业科研专项(200809010, 200909050); 环保部南京环境科学研究所中央级公益性科研院所基本科研业务专项资助(NIES2011)

收稿日期:2011-11-02; 修订日期:2012-03-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hdli2009@yahoo.com.cn

content in different aeolian sandy land types followed the order of sandy land on flood plain > fixed sandy land (2.98%) > moving sandy land on flood plain (2.89%) > flat sandy gravel land (1.69%) > moving sandy land on river bank (1.54%) > moving sandy land on hill-slope (1.49%) > semi-fixed sandy land. The order of silt content in different aeolian sandy land types was similar with that of clay content except for moving sandy land on river bank and moving sandy land on hill-slope. The sand content was highest in semi-fixed sandy land (93.40%), whereas it was lowest in sandy land on flood plain (68.05%), and the order of sand content in different aeolian sandy land types was just in contrast to that of silt content. 3) The correlation between different soil nutrients and the content of clay, silt, very fine sand, fine sand was strong, whereas the correlation was negative or weak between different soil nutrients and the content of medium sand, coarse sand, very coarse sand. The clay and fine sand content made larger contribution to the soil nutrients content. The aeolian sand movement, which caused the continuous swing of moving sand dunes and the migration and loss of the finer sand particles, affected the soil nutrients content and their redistribution process for different aeolian sandy land types greatly. The purpose of this study is to characterize the soil nutrients content and grain size fraction of different aeolian sandy land types, and to provide a scientific basis for the ongoing vegetation restoration that is being carried out for aeolian sandy land control.

Key Words: different aeolian sandy land types; vegetation restoration; aeolian sand movement; alpine valley in Tibet

西藏是青藏高原的主体,现有沙化土地 21.62 万 km²,仅次于新疆和内蒙古,面积居全国第 3 位^[1]。雅鲁藏布江中部流域是西藏的社会经济中心,由于地表沙物质丰富、气候干冷多风、植被稀疏低矮等,风沙地貌极其发育^[2-3]。2008 年,位于山南宽谷和日喀则宽谷的拉萨和日喀则机场周边共有风沙化土地 424.62 km² 和 500.53 km²。由于浮尘、扬沙和沙尘暴天气,航班延迟、飞机返航等情况时有发生^[4-5],造成巨大的经济损失和社会影响。因此,开展城镇和交通要道周边的高寒流动沙地植被恢复与环境治理迫在眉睫。

土壤风蚀是指在风力作用下地表土层中的有机质、氮、磷、钾等营养元素和粉砂乃至粘土组分不断地遭到吹失,出现的土壤贫瘠化和粗化过程^[6-7]。风沙活动使得地表出现风蚀和沙埋现象,一方面使可利用土地缩小,另一方面使土地质量逐渐降低^[7]。同时,土壤养分损失不仅严重降低了土壤生长植物的能力,减弱了土壤的粘结力,同时又反过来促进了土壤风蚀^[8],对植被恢复造成巨大的不利影响。许多学者研究了雅鲁藏布江河谷风沙地貌的形成机制、发育模式^[2]和发展演化的驱动因素^[3-4, 9],而对河谷风沙化土地土壤养分和粒度特征的研究还很缺乏。本文通过野外实地采样和试验观测,开展高寒河谷不同类型沙地土壤养分与粒度特征的研究,探讨了风沙运动对河谷风沙化土地土壤养分和粒度组成的影响,以期为该区域正在进行的风沙化土地植被恢复与重建提供依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于雅鲁藏布江中游山南宽谷贡嘎县境内(图 1),平均海拔 3 600 m,属高原温带季风半干旱气候区,冬春干旱多风,夏季温暖湿润,雨热同季。年平均降水量为 300—450 mm,90% 以上集中于 6—9 月份,且具暴雨性质,水土流失较为严重。热量水平不高,年平均气温 6.3—8.7 °C,6—7 月份平均气温 14.5—16.6 °C,1 月份平均气温 -0.8—4.7 °C。每年 10 月至翌年 4 月有冻土出现,除 1 月和 12 月外,均为日融冻土。无霜期 130—140 d,生长季平均气温仅及喜凉作物适宜生长温度的下限。蒸发量为 2 688.5 mm,几乎是降水量的 7 倍。干旱季长达 7—8 个月,且大风盛行^[4]。土壤为新积土和风沙土,成土时间短,质地粗,结构和保水保肥能力差,土壤瘠薄。山南宽谷植被基本上属于同一植被型,即山地灌丛草原^[10]。

1.2 样地选择

按风沙化土地类型^[4]、流沙沉积和堆滞的地貌单元、土壤水分含量受河流水位变动影响的差异性,在雅鲁藏布江北岸、隔江与拉萨贡嘎机场相望的风沙化土地上,选择河滩流动沙地、河岸流动沙地、山坡流动沙地、

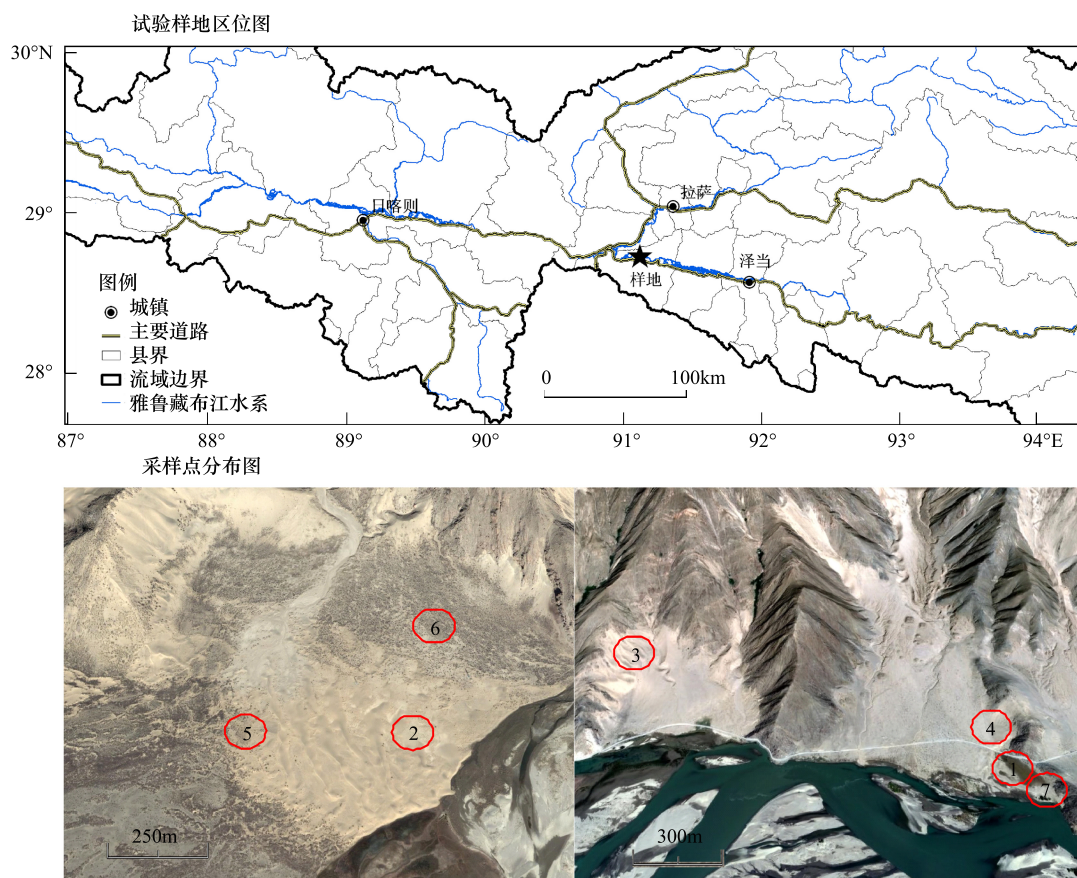


图1 雅鲁藏布江山南宽谷不同类型沙地的试验样地分布图

Fig. 1 Distribution map of different sandy land types in the study area

平缓沙砾地、半固定沙地、固定沙地,以及覆沙河滩地等类型不同沙漠化过程的试验样地(图1),采集土壤样品,测试土壤养分和粒度特征。7个不同类型沙地的典型样地基本情况如下:

河滩流动沙地(样地 S1) 样地西北部为平缓沙砾地,中部为东北-西南向发育的流动沙丘,相对于覆沙河滩地高3—5 m,东部为有沙带、东南-西北向发育的覆沙河滩地,西北部相对东南部高差为3—4 m。海拔3575 m,植被盖度<5%,相对于河流水位海拔高6 m,距雅鲁藏布江100 m。风沙活动以风蚀作用为主。

河岸流动沙地(样地 S2) 样地发育有8条呈东南—西北走向的新月形流动沙丘,高度为5—7 m,宽度8—15 m,丘间地为平缓沙砾地,宽度12—20 m;此外,还有东西走向的沙带、格状沙丘等。海拔3582 m,植被盖度<5%,相对于河流水位海拔高7 m,距雅鲁藏布江600 m。风沙活动以风蚀作用为主。

山坡流动沙地(样地 S3) 位于河谷北岸山坡上的流动沙地,样地相对高达150 m,最大坡度达40°,东坡和东南坡向,由于受重力作用,山坡流动沙地在达到一定休止角时,沙粒便顺坡向下滑动,堆积在坡脚。海拔3582 m,植被盖度<5%。分上坡、中坡和下坡采集土壤样品,相对于河流水位海拔高分别为80 m,55 m和30 m,距雅鲁藏布江400 m。

平缓沙砾地(样地 S4) 位于样地 S1 西北部。样地平坦,坡度<3°,植被盖度25%,海拔3577 m,相对于河流水位海拔高8 m,有流沙干扰。距雅鲁藏布江250 m。风沙活动以风蚀作用为主。

半固定沙地(样地 S5) 位于样地 S2 西侧。样地较平坦,坡度<5°,海拔3580 m,植被盖度25%,主要植物种有砂生槐(*Sophora moorcroftiana*)、藏沙蒿(*Artemisia wellbyi*)和沙米(*Agriophyllum squarrosum*)等,相对于河流水位海拔高5 m,有流沙干扰。距雅鲁藏布江700 m。风沙活动以风蚀作用为主。

固定沙地(样地 S6) 位于样地 S2 北侧的冲洪积扇上,坡度3—5°,海拔3591 m,植被盖度55%,主要植

物种有砂生槐和固沙草(*Orinus thoroldii* (Stapf ex Hemsl.) Bor)等,林龄 10—15a,相对于河流水位海拔为 16 m。距雅鲁藏布江 1000 m。土壤有结皮现象,风沙活动以沙尘沉积为主。

覆沙河滩地(样地 S7) 位于样地 S1 东南部。海拔 3 570 m,无植被盖度,相对于河流水位海拔高 0.5 m,距雅鲁藏布江 5m。

其中,样地 S1、S3、S4 和 S7 位于雅鲁藏布江贡嘎大桥东侧,样地 S2、S5 和 S6 位于大桥西侧。

1.3 土壤样品采集与测定

于 2009 年 7—8 月,根据上述沙地类型和沙丘部位共布设 28 个采样点,用 GPS 记录下采样点位置。其中,河滩流动沙地(样地 S1)和河岸流动沙地(样地 S2)分别在沙丘顶、中坡和丘间地布设采样点 12 个,山坡流动沙地(样地 S3)在上坡、中坡和下坡布设采样点 6 个,样地 S1、S2 和 S3 不同沙丘部位的采样点均布设 1 个重复;平缓沙砾地(样地 S4)、半固定沙地(样地 S5)和覆沙河滩地(样地 S7)布设采样点 6 个,不同样地内采样点均布设 1 个重复;固定沙地(样地 S6)布设采样点 4 个。上述 28 个采样点中,除样地 S7 的 2 个采样点深度为 0—10 cm 和 10—20 cm 外,其它样地的采样深度均为 0—10 cm、10—20 cm 和 20—40 cm 分层采样,共采集土壤样品 84 个。土壤样品采集时的取样面积为 20 cm × 20 cm,其中沙丘表层 0—10 cm 包括沙波纹的峰、谷部位。用自封袋通过四分法采集土壤样品,带回实验室自然风干、磨碎,过 2 mm 筛后备用。

实验室测定的指标包括土壤粒度组成、pH 值、有机碳、全氮、全磷和全钾,方法如下:土壤粒度组成由 Coulter LS230 激光粒度仪测定(体积百分比),采用美国制土壤颗粒大小的分级标准:砂粒(2.0—0.05 mm,其中 2.0—1.0 mm 为极粗砂粒,1.0—0.5 mm 为粗砂粒,0.5—0.25 mm 为中砂粒,0.25—0.1 mm 为细砂粒,0.1—0.05 mm 为极细砂粒)、粉粒(0.05—0.002 mm)和粘粒(<0.002 mm);土壤 pH 值采用电位测定法;土壤有机质采用浓硫酸-重铬酸钾氧化法测定;土壤全氮采用凯氏定氮法测定;土壤全磷(P_2O_5)采用氢氟酸—高氯酸溶钼锑抗比色法测定;土壤全钾(K_2O)采用氢氟酸—高氯酸溶火焰光度法测定。以上测定工作均在中国科学院南京土壤研究所完成。

1.4 风沙运动的观测

根据河谷内的主导风向,选择与主导风向垂直的呈南北走向的流动沙丘,分别东坡、西坡和沙丘顶,通过布设标桩法进行风沙活动观测,由于沙丘基本呈南北走向,在 7 个沙丘布设标桩 60 组。每隔 5—7 d 调查 1 次,风蚀记为负(-),风积记为正(+)。试验结束后,除去风倒、缺测的部分标桩数据,整理得到 27 组完整数据。

2 结果和分析

2.1 不同类型沙地的土壤养分状况

2.1.1 土壤酸碱性

山南宽谷不同类型沙地土壤 pH 值为 7.21—9.25 (图 2),呈中性、碱性和强碱性,山南地区农田土壤呈碱性或强碱性(pH 值为 8.3—8.7)^[11],可以看出,该地区不同类型沙地 pH 值变化范围比农田大,其中固定沙地 pH 值(8.11—8.71)与之较为接近。就不同类型沙地 pH 值而言,河滩流动沙地、平缓沙砾地、覆沙河滩地和固定沙地 pH 值较高,分别为 8.40—9.21,8.93—9.25,8.83—9.20 和 8.11—8.71,河岸流动沙地、山坡流动沙地和半固定沙地 pH 值较低,分别为 7.53—8.52,7.21—8.30 和 7.67—7.94。其中,河滩流动沙地除沙丘顶 20—40 cm 呈碱性(pH 值为 8.4)外,其它不同沙丘部位和深度的沙粒均呈强碱性。河岸流动沙地除丘间地 20—40 cm 呈强碱性(pH 值为 8.52),其它不同沙丘部位和深度的沙粒均呈碱性。除下坡表层 0—10 cm 土壤 pH 值呈中性(pH 值为 7.21)外,山坡流动沙地的上坡和中坡、以及下坡 10—20 cm 和 20—40 cm 沙粒均呈碱性。平缓沙砾地和覆沙河滩地均呈强碱性。半固定沙地和固定沙地 0—10 cm 沙粒(pH 值为 8.11)均呈碱性,而固定沙地 10—20 cm 和 20—40 cm 沙粒均呈强碱性(pH 值分别为 8.54 和 8.71)。

就不同沙丘部位土壤 pH 值而言,河滩流动沙地以丘间地 pH 值(8.94—9.21)较高,中坡(8.84—9.17)次之,沙丘顶(8.40—8.70)最小。河岸流动沙地以中坡 pH 值(7.77—8.31)较高,丘间地(7.53—8.52)次

之,沙丘顶(7.56—7.65)最小。山坡流动沙地不同部位的 pH 值相差较小,中坡、上坡和下坡分别为 7.73—7.82,7.62—7.77 和 7.21—8.3。就不同深度土壤 pH 值而言,河滩流动沙地除沙丘顶外,其它沙丘部位 pH 值总体上均呈随土壤深度增加而增大的趋势。河岸流动沙地除丘间地外,其它沙丘部位 pH 值均表现为随着土壤深度增加而减小。山坡流动沙地除上坡外,其它沙丘部位 pH 值均表现为随着土壤深度增加而增大。平缓沙砾地、覆沙河滩地和固定沙地 pH 值均表现为随着土壤深度增加而增大,而半固定沙地 pH 值总体上呈随土壤深度增加而减小的趋势。

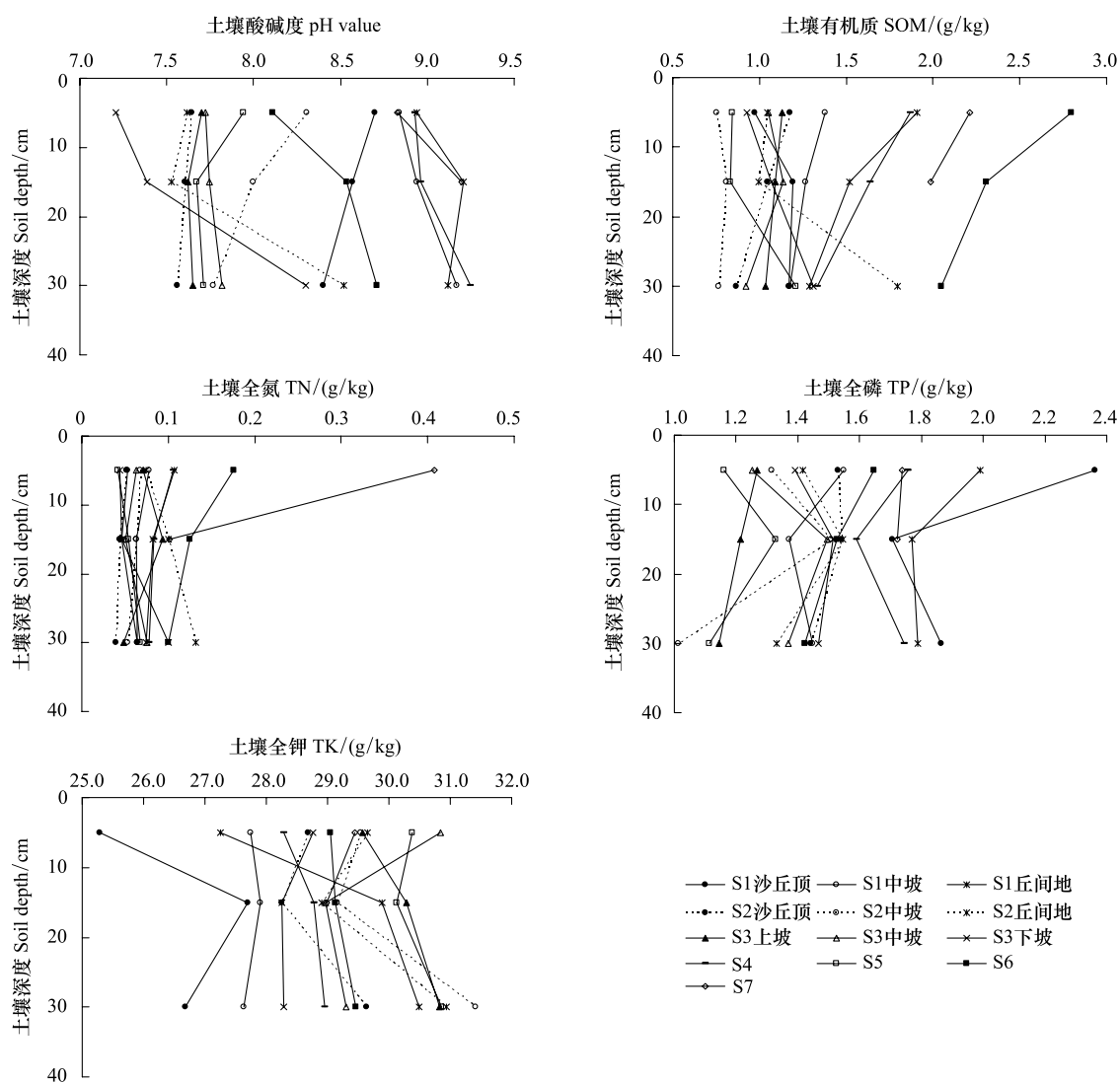


图2 雅鲁藏布江山南宽谷风沙化土地的土壤养分状况

Fig.2 Soil nutrients content of different sandy land types at different depths in the study area

SOM: 土壤有机质 Soil organic matter; TN: 全氮 Total nitrogen; TP: 全磷 Total phosphorus; TK: 全钾 Total potassium

2.1.2 土壤有机质

由图2可见,不同类型沙地土壤有机质含量为0.75—2.80 g/kg,均小于6 g/kg。根据全国第2次土壤普查土壤肥力状况分级标准(表1),该地区不同类型沙地土壤有机质含量均属于很低水平(6级),远低于山南地区农田有机质含量(10.64—38.82 g/kg)^[11]。就不同类型沙地有机质含量而言,固定沙地、覆沙河滩地和平缓沙砾地有机质含量较高(分别为2.05—2.80 g/kg,1.98—2.21 g/kg和1.33—1.87 g/kg),河滩流动沙地、河岸流动沙地、山坡流动沙地和半固定沙地有机质含量较低(分别为0.97—1.91 g/kg,0.75—1.79 g/kg,0.92—1.31 g/kg和0.83—1.21 g/kg)。

就不同沙丘部位土壤有机质含量而言,河滩流动沙地和河岸流动沙地均以丘间地有机质含量较高(分别为 1.29—1.91 g/kg 和 0.99—1.79 g/kg),河滩流动沙地中坡有机质含量(1.18—1.38 g/kg)次之、沙丘顶(0.97—1.19 g/kg)最小,而河岸流动沙地沙丘顶有机质含量(0.87—1.18 g/kg)次之、中坡(0.75—0.81 g/kg)最小。山坡流动沙地不同部位有机质含量相差较小,下坡、上坡和中坡分别为 0.93—1.31 g/kg,1.04—1.13 g/kg 和 0.92—1.14 g/kg。就不同深度土壤有机质含量而言,河滩流动沙地除沙丘顶外,丘间地和中坡有机质含量均表现为随着土壤深度增加而减小。河岸流动沙地沙丘顶有机质含量表现为随着土壤深度增加而增大,而中坡以 10—20 cm 较高(0.81 g/kg)、0—10 cm 和 20—40 cm 较低(分别为 0.75 g/kg 和 0.76 g/kg),丘间地以 20—40 cm 较高(为 1.79 g/kg),0—10 cm 和 10—20 cm 较低(分别为 1.04 g/kg 和 0.99 g/kg)。山坡流动沙地上坡有机质含量表现为随着土壤深度增加而增大,下坡表现为随着土壤深度增加而减小,中坡以 10—20 cm 较高(1.14 g/kg),0—10 cm 和 20—40 cm 较低(分别为 1.05 g/kg 和 0.92 g/kg)。平缓沙砾地、覆沙河滩地和固定沙地有机质含量均表现为随着土壤深度增加而减小,而半固定沙地的有机质含量以 20—40 cm 较高(1.21 g/kg),0—10 cm 和 10—20 cm 较低(分别为 0.85 g/kg 和 0.83 g/kg)。

表 1 全国第二次土壤普查土壤肥力状况分级标准^[12]

Table 1 General soil fertilization class ratings (from the Second National Soil Survey)

| 土壤养分 Soil nutrients | 土壤养分级别 Soil nutrients class (g/kg) | | | | | |
|------------------------|------------------------------------|---------------|----------------------------|---------------------------|--------------|--------------------|
| | 很高(1级) Very high | 高(2级) High | 中上(3级) Moderate to high | 中下(4级) Low to moderate | 低(5级) Low | 很低(6级) Very low |
| 有机质 SOM | >40 | 30—40 | 20—30 | 10—20 | 6—10 | <6 |
| 全氮 TN | >2 | 1.5—2 | 1—1.5 | 0.75—1 | 0.5—0.75 | <0.5 |
| 全磷 TP | >1 | 0.8—1.0 | 0.6—0.8 | 0.4—0.6 | 0.2—0.4 | <0.2 |
| 全钾 TK | >25 | 20—25 | 15—20 | 10—15 | 5—10 | <5 |

2.1.3 土壤全氮

由图 2 可见,不同类型沙地土壤全氮含量为 0.04—0.41 g/kg,均小于 0.5 g/kg,和土壤有机质含量一样,属于很低水平(6 级)(表 1),但远低于试验地有机质含量(图 2)和山南地区农田全氮含量(0.32—2.30 g/kg)^[11]。就不同类型沙地全氮含量而言,覆沙河滩地和固定沙地全氮含量较高(分别为 0.10—0.41 g/kg 和 0.10—0.18 g/kg),平缓沙砾地、河滩流动沙地、河岸流动沙地、山坡流动沙地和半固定沙地全氮含量较低(分别为 0.08—0.11 g/kg,0.05—0.11 g/kg,0.04—0.13 g/kg,0.04—0.10 g/kg 和 0.04—0.07 g/kg)。

就不同沙丘部位土壤全氮含量而言,河滩流动沙地和河岸流动沙地以丘间地全氮含量较高(分别为 0.07—0.11 g/kg 和 0.07—0.13 g/kg),中坡次之(分别为 0.06—0.08 g/kg 和 0.05—0.07 g/kg),沙丘顶最小(分别为 0.05—0.06 g/kg 和 0.04—0.05 g/kg)。山坡流动沙地不同部位全氮含量相差较小,上坡、中坡和下坡分别为 0.05—0.09 g/kg,0.05—0.08 g/kg 和 0.04—0.10 g/kg。就不同深度土壤全氮含量而言,河滩流动沙地除沙丘顶外,丘间地和中坡全氮含量均表现为随着土壤深度增加而减小。河岸流动沙地沙丘顶和中坡全氮含量表现为随着土壤深度增加而减小,而丘间地全氮含量表现为随着土壤深度增加而增大。山坡流动沙地下坡全氮含量表现为随着土壤深度增加而增大,上坡以 10—20 cm 较高(0.09 g/kg),0—10 cm 和 20—40 cm 较低(分别为 0.07 g/kg 和 0.05 g/kg),中坡以 20—40 cm 较高(0.08 g/kg),0—10 cm 和 10—20 cm 较低(分别为 0.06 g/kg 和 0.05 g/kg)。平缓沙砾地、覆沙河滩地和固定沙地全氮含量均表现为随着土壤深度增加而减小,半固定沙地全氮含量表现为随着土壤深度增加而增大。

2.1.4 土壤全磷

由图 2 可见,不同类型沙地土壤全磷含量为 1.01—2.36 g/kg,均大于 1 g/kg,属于很高水平(1 级)(表 1),远高于山南地区农田全磷含量(0.55—0.82 g/kg)^[11]。就不同类型沙地全磷含量而言,河滩流动沙地、覆沙河滩地、平缓沙砾地和固定沙地全磷含量较高(分别为 1.37—2.36 g/kg,1.72—1.74 g/kg,1.59—1.76 g/kg 和 1.42—1.65 g/kg),河岸流动沙地、山坡流动沙地和半固定沙地全磷含量较低(分别为 1.01—1.54 g/kg)

kg, 1.15—1.54 g/kg 和 1.12—1.33 g/kg)。

就不同沙丘部位土壤全磷含量而言,河滩流动沙地和河岸流动沙地均以沙丘顶全磷含量较高(分别为 1.86—2.36 g/kg 和 1.44—1.54 g/kg),丘间地次之(分别为 1.77—1.99 g/kg 和 1.33—1.54 g/kg),中坡最小(分别为 1.37—1.55 g/kg 和 1.01—1.51 g/kg)。山坡流动沙地以下坡全磷含量较高(1.39—1.51 g/kg),中坡(1.25—1.37 g/kg)和上坡(1.15—1.27 g/kg)较小。就不同深度土壤全磷含量而言,河滩流动沙地不同部位全磷含量均表现为 0—10 cm 较高,20—40 cm 全磷含量次之,10—20 cm 全磷含量最小。河岸流动沙地不同部位全磷含量均表现为 10—20 cm 较高,0—10 cm 全磷含量次之,20—40 cm 全磷含量最小。山坡流动沙地上坡全磷含量表现为随着土壤深度增加而减小,中坡和下坡均表现为 10—20 cm 全磷含量较高,20—40 cm 全磷含量次之,0—10 cm 全磷含量最小。覆沙河滩地和固定沙地全磷含量均表现为随着土壤深度增加而减小,平缓沙砾地全磷含量以 0—10 cm 较高(1.76 g/kg),20—40 cm 全磷含量次之(1.74 g/kg),10—20 cm 全磷含量最小(1.59 g/kg),而半固定沙地全磷含量以 10—20 cm 较高(1.33 g/kg),0—10 cm 全磷含量次之(1.16 g/kg),20—40 cm 全磷含量最小(1.12 g/kg)。

2.1.5 土壤全钾

由图 2e 可见,不同类型沙地土壤全钾含量为 25.29—31.41 g/kg,均大于 25 g/kg,属于很高水平(1 级)(表 1),亦远高于山南地区农田全钾含量(6.95—12.23 g/kg)^[11]。就不同类型沙地全钾含量而言,半固定沙地、河岸流动沙地、山坡流动沙地和固定沙地全钾含量较高(分别为 30.13—30.86 g/kg,28.25—31.41 g/kg,28.25—30.85 g/kg 和 29.04—29.47 g/kg),覆沙河滩地、平缓沙砾地和河滩流动沙地全钾含量较低(分别为 28.99—29.44 g/kg,28.29—28.95 g/kg 和 25.29—30.5 g/kg)。

就不同沙丘部位土壤全钾含量而言,河滩流动沙地以丘间地全钾含量较高(27.26—30.50 g/kg),中坡(27.64—27.9 g/kg)次之、沙丘顶(25.29—27.70 g/kg)最小。河岸流动沙地以中坡全钾含量较高(29.16—31.41 g/kg),丘间地(28.90—30.94 g/kg)次之、沙丘顶(28.25—29.64 g/kg)最小。山坡流动沙地以上坡全钾含量较高(29.57—30.82 g/kg),中坡(28.96—30.85 g/kg)次之、下坡(28.25—28.77 g/kg)最小。就不同深度土壤全钾含量而言,河滩流动沙地丘间地全钾含量表现为随着土壤深度增加而增大,而沙丘顶和中坡均以 10—20 cm 全钾含量较高(分别为 27.70 g/kg 和 27.90 g/kg)。河岸流动沙地不同部位均表现为 20—40 cm 全钾含量较高,0—10 cm 全钾含量次之,10—20 cm 全钾含量最低。山坡流动沙地上坡全钾含量表现为随着土壤深度增加而增大,中坡和下坡均表现为 0—10 cm 全钾含量较高,20—40 cm 全钾含量次之,10—20 cm 全钾含量最低。平缓沙砾地和固定沙地全钾含量均表现为随着土壤深度增加而增大,覆沙河滩地全钾含量表现为 0—10 cm 较高(29.44 g/kg)、10—20 cm 全钾含量较小(28.99 g/kg),而半固定沙地全钾含量以 20—40 cm 较高(30.86 g/kg),0—10 cm 全钾含量次之(30.37 g/kg),10—20 cm 全钾含量最小(30.13 g/kg)。

2.2 不同类型沙地的土壤粒度特征

山南宽谷不同类型沙地的土壤粒度组成以砂粒含量最大(53.83%—95.93%),粉粒含量(3.3%—40.5%)次之,粘粒含量(0.77%—5.68%)最小,且砂粒主要集中在中砂粒含量(7.73%—56.6%)和细砂粒含量(9.29%—72.2%)(图 3)。就不同类型沙地的粒度组成而言,粘粒和粉粒含量均以覆沙河滩地(分别为 4.02% 和 27.95%)最大、半固定沙地(分别为 1.35% 和 5.27%)最小。粘粒含量表现为覆沙河滩地>固定沙地(2.98%)>河滩流动沙地(2.89%)>平缓沙砾地(1.69%)>河岸流动沙地(1.54%)>山坡流动沙地(1.49%)>半固定沙地,而粉粒含量表现为覆沙河滩地>固定沙地(16.36%)>河滩流动沙地(15.42%)>平缓沙砾地(12.03%)>山坡流动沙地(8.02%)>河岸流动沙地(6.89%)>半固定沙地。不同类型沙地粉粒含量和粘粒含量的大小顺序相似,仅在山坡流动沙地和河岸流动沙地的大小顺序有所差别。砂粒含量以半固定沙地(93.40%)最大、覆沙河滩地最小(68.05%)。砂粒含量表现为半固定沙地>河岸流动沙地(91.59%)>山坡流动沙地(90.50%)>平缓沙砾地(86.31%)>河滩流动沙地(81.68%)>固定沙地(80.65%)>覆沙河滩地。不同类型沙地的砂粒含量与粉粒含量的大小顺序正好相反。

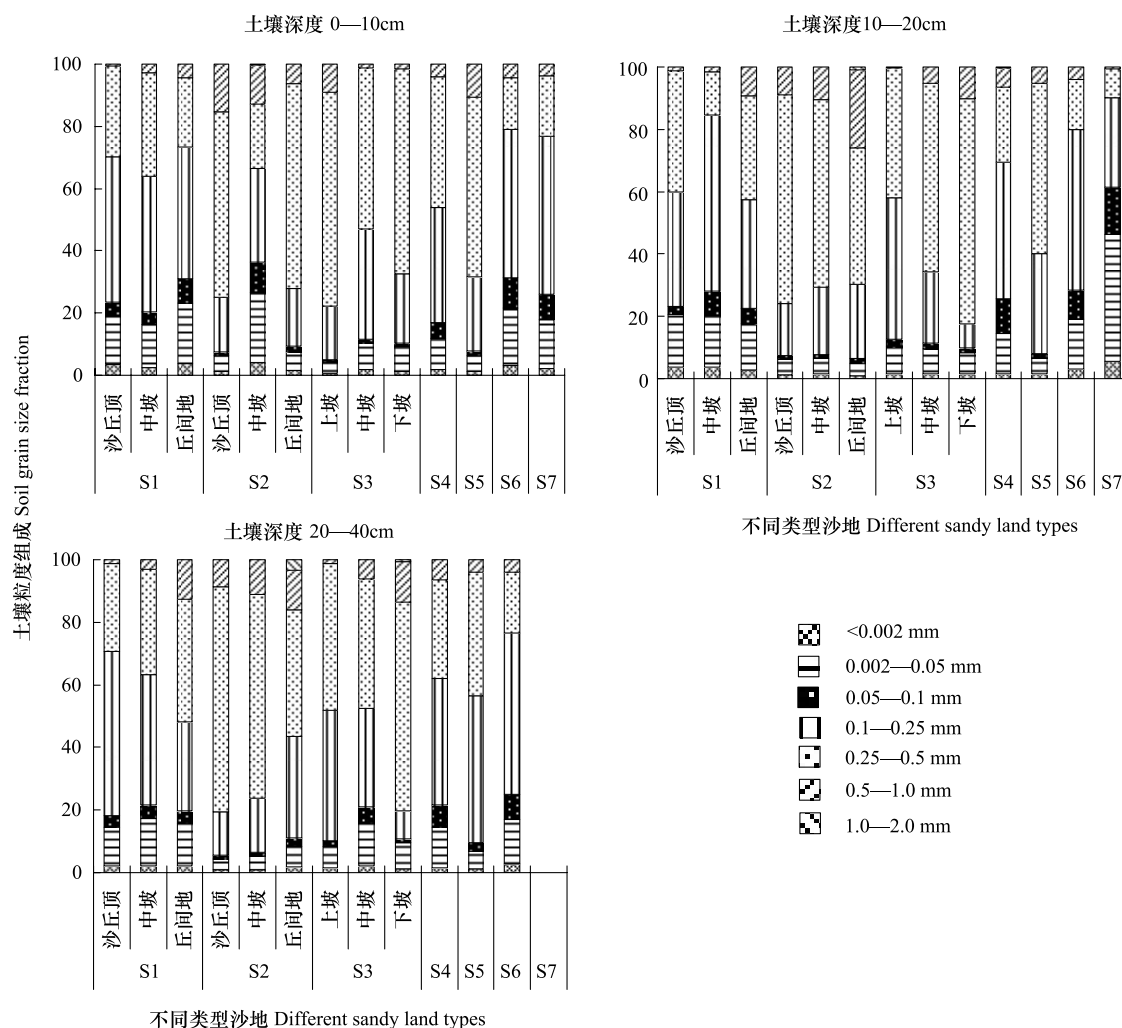


图3 雅鲁藏布江南宽谷风沙化土地的土壤粒度组成

Fig. 3 Soil grain size fraction of different sandy land types at different depths in the study area

就不同深度土壤粒度组成而言,表层 0—10 cm 粘粒含量为 0.77%—4.05%,粉粒含量为 3.30%—22.60%,砂粒含量为 73.33%—95.92%。粘粒和粉粒含量均以河岸流动沙地的中坡最大、山坡流动沙地的上坡最小。砂粒含量则以山坡流动沙地的上坡最大、河岸流动沙地的中坡最小,不同类型沙地砂粒含量的大小顺序与粘粒和粉粘含量基本相反。10—20 cm 粘粒含量为 0.90%—5.68%,粉粒含量为 3.93%—40.50%,砂粒含量为 53.82%—95.23%。粘粒和粉粒含量均以覆沙河滩地最大、河岸流动沙地的丘间地最小。砂粒含量则以河岸流动沙地的丘间地最大、覆沙河滩地最小,同样,该深度不同类型沙地砂粒含量的大小顺序亦与粘粒和粉粘含量基本相反。20—40 cm 粘粒含量为 0.81%—2.67%,粉粒含量为 3.48%—14.90%,砂粒含量为 82.84%—95.63%。粘粒含量以固定沙地最大、河岸流动沙地的中坡最小。粉粒含量则以河滩流动沙地的中坡最大、河岸流动沙地的沙丘顶最小。不同类型沙地砂粒含量的大小顺序与粉粒含量基本相反,以河岸流动沙地的沙丘顶最大、河滩流动沙地的中坡最小。

由此可见,不同类型沙地土壤粒度组成的差异与河谷内地形特征和风力的搬运能力有关。随着风速的增大,被蚀掉的沙物质中细粒物质含量逐渐增大,粗沙物质表现出的抑制作用更加明显^[13]。研究区不同粒度大小的土壤颗粒在不同强度风力的搬运作用下,沉积和堆滞距离河道不同远近的地貌单元上,由于携沙和搬运能力的强弱,风沙运动对不同粒度大小土壤颗粒的分选性不同,造成不同类型沙地的土壤粒度组成的差异性较大。此外,受河谷内风沙运动的影响,不同深度土壤粒度组成的差异亦较大,表层 0—10 cm 和 10—20 cm

不同类型沙地粘粒和粉粘含量的大小顺序相似,砂粒含量与粘粒和粉粘含量的大小顺序基本相反。20—40 cm 不同类型沙地的粘粒和粉粘含量的大小顺序差别较大,砂粒含量与粉粒含量的大小顺序基本相反。

2.3 土壤养分含量与粒度组成的相关性

山南宽谷不同类型沙地土壤有机质含量和 pH 值、全氮、全磷含量,以及土壤全磷含量和 pH 值之间均呈 99% 显著水平的正相关性($P < 0.01$) (表 2)。其中,土壤有机质和全氮含量的相关系数(R)最大(0.58),土壤有机质含量和 pH 值、全磷含量的 R 值次之。除全钾外,土壤 pH 值、有机质、全氮和全磷含量与土壤粒度组成均表现出较大的相关性。其中,土壤有机质含量和 pH 值与粘粒、粉粒、极细砂粒和细砂粒含量呈 99% 显著水平的正相关性,而与中砂粒含量呈 99% 显著水平的负相关性。土壤全氮和全磷含量分别与粘粒、粉粒含量呈 95% ($P < 0.05$) 和 99% 显著水平的正相关性,与极细砂粒和细砂粒含量、极细砂粒含量分别呈 99% 和 95% 显著水平的正相关性,与中砂粒含量分别呈 99% 和 95% 显著水平的负相关性。由此可见,大部分土壤养分含量与粒度组成的相关性随着土壤颗粒的增大而呈减弱的趋势,至中砂粒时转变成负相关性。

表 2 雅鲁藏布江山南宽谷风沙化土地土壤粒度组成与养分含量的相关分析

Table 2 Correlation matrix of pearson coefficients between different soil nutrients and grain size fraction in the study area

| | | 土壤养分 Soil nutrients | | | | | 土壤粒度组成 Soil grain size fraction/mm | | | | | | |
|----------------|------------|---------------------|----------|----------|----------|-------|------------------------------------|------------|----------|----------|----------|---------|---------|
| | | pH | SOM | TN | TP | TK | <0.002 | 0.002—0.05 | 0.05—0.1 | 0.1—0.25 | 0.25—0.5 | 0.5—1.0 | 1.0—2.0 |
| 土壤养分 | pH | 1 | | | | | | | | | | | |
| Soil nutrients | SOM | 0.19 | 1 | | | | | | | | | | |
| | TN | 0.34 ** | 0.50 ** | 1 | | | | | | | | | |
| | TP | 0.46 ** | 0.38 ** | 0.19 | 1 | | | | | | | | |
| | TK | -0.16 | -0.20 | 0.00 | -0.74 ** | 1 | | | | | | | |
| 土壤粒度组成 | <0.002 | 0.39 ** | 0.45 ** | 0.26 * | 0.30 ** | -0.22 | 1 | | | | | | |
| Soil grain | 0.002—0.05 | 0.48 ** | 0.46 ** | 0.27 * | 0.30 ** | -0.17 | 0.93 ** | 1 | | | | | |
| size fraction | 0.05—0.1 | 0.52 ** | 0.60 ** | 0.36 ** | 0.28 * | -0.10 | 0.80 ** | 0.89 ** | 1 | | | | |
| | 0.1—0.25 | 0.41 ** | 0.40 ** | 0.30 ** | 0.15 | -0.04 | 0.43 ** | 0.34 ** | 0.46 ** | 1 | | | |
| | 0.25—0.5 | -0.58 ** | -0.58 ** | -0.40 ** | -0.29 * | 0.12 | -0.77 ** | -0.75 ** | -0.85 ** | -0.82 ** | 1 | | |
| | 0.5—1.0 | -0.13 | -0.18 | -0.07 | -0.05 | 0.02 | -0.45 ** | -0.41 ** | -0.34 ** | -0.58 ** | 0.40 ** | 1 | |
| | 1.0—2.0 | 0.09 | -0.03 | 0.11 | -0.07 | 0.03 | -0.17 | -0.15 | -0.12 | -0.15 | 0.07 | 0.34 ** | 1 |

** 呈 99% 显著性水平的相关性, * 呈 95% 显著性水平的相关性; pH 值无单位,其它养分指标为 g/kg

就土壤养分含量与粒度组成的 R 值而言,土壤 pH 值与极细砂粒含量的 R 值最大(0.52),与粉粒和细砂粒含量的 R 值次之(分别为 0.48 和 0.41),与粘粒含量的 R 值最小(0.39)。土壤有机质与极细砂粒含量的 R 值最大(0.60),与粉粒和粘粒含量的 R 值次之(分别为 0.46 和 0.45),与细砂粒含量最小(0.40)。土壤全氮与极细砂粒含量的 R 值最大(0.36),与细砂粒和粉粒含量的 R 值次之(分别为 0.30 和 0.27),与粘粒含量的 R 值最小(0.26)。土壤全磷与粉粒含量的 R 值最大(0.30),其次为与粘粒和极细砂粒含量的 R 值(分别为 0.30 和 0.28)。土壤 pH 值、有机质、全氮和全磷含量均与中砂粒含量的 R 值均为负(分别为 -0.58, -0.58, -0.40 和 -0.29)。这说明土壤粒度组成影响着土壤的养分状况,受风沙运动筛选能力的影响,不同类型沙地和沙丘部位的土壤养分含量的差异性较大。

不同类型沙地土壤养分含量呈随着粘粒、粉粒、极细砂粒和细砂粒等细沙物质含量的增加而呈增加、随着中砂粒的增加而减小的趋势(图 4)。其中,每增加 1% 的粘粒含量,土壤 pH 值、有机质、全氮和全磷分别增加 0.1988, 0.2636, 0.0173 g/kg 和 0.0674 g/kg; 每增加 1% 的粉粒含量,土壤 pH 值、有机质、全氮和全磷分别增加 0.0371, 0.0412, 0.0028 g/kg 和 0.0104 g/kg; 每增加 1% 的极细砂粒含量,土壤 pH 值、有机质、全氮和全磷分别增加 0.0767, 0.1011, 0.0071 g/kg 和 0.0182 g/kg; 每增加 1% 的细砂粒含量,土壤 pH 值、有机质和全氮分别增加 0.0164, 0.0188 g/kg 和 0.0016 g/kg; 每增加 1% 的中砂粒含量,土壤 pH 值、有机质、全氮和全磷分

别增加 -0.0173 , -0.0197 , -0.0016 g/kg 和 -0.0038 g/kg。由此可见,粘粒和极细砂粒含量的增加对土壤养分的增加贡献较大,是土地质量提高的主要因素,粉粒和细砂粒对土壤养分的增加贡献较小,而中砂粒含量的增加则减小土壤养分的含量。

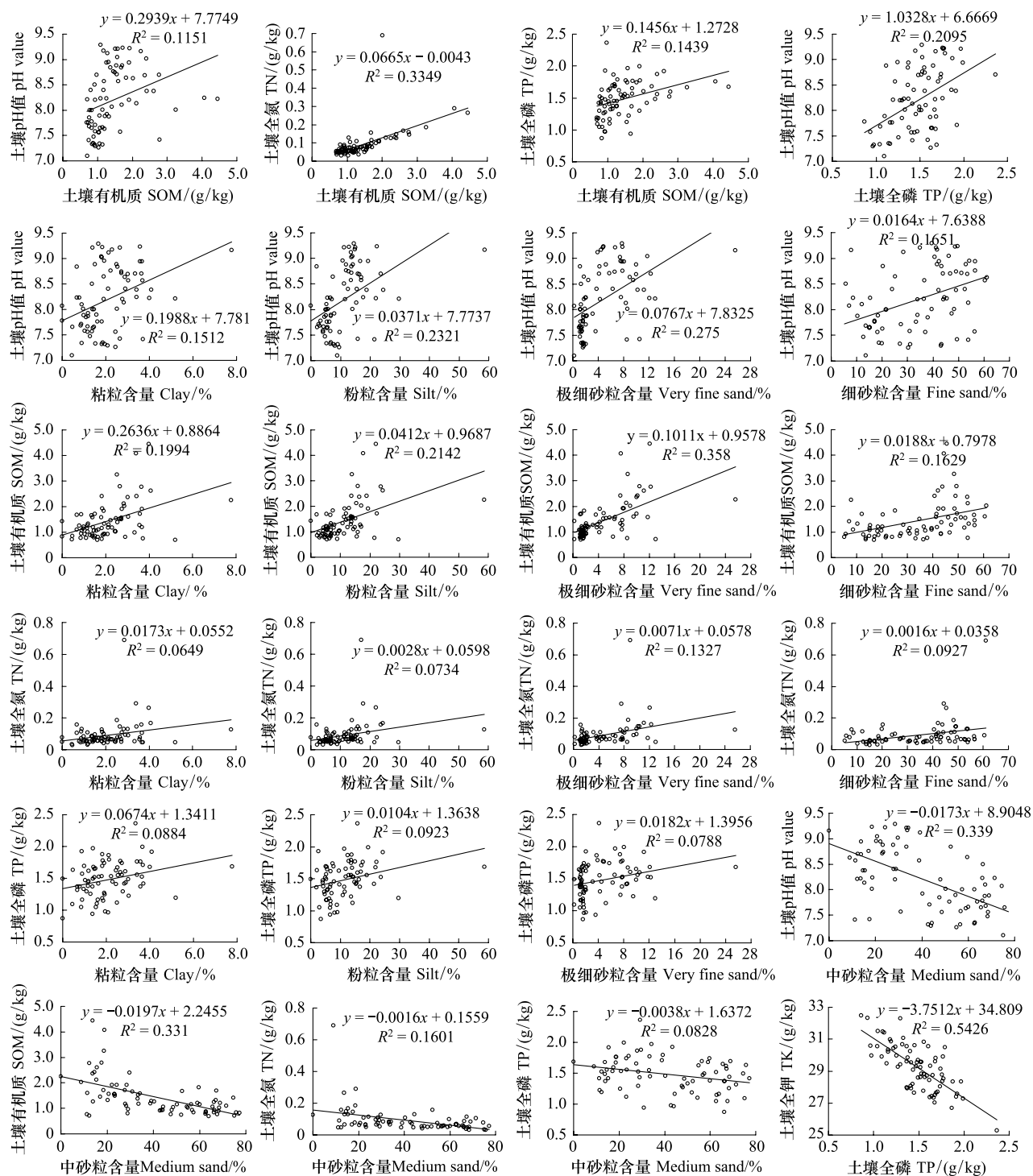


图4 雅鲁藏布江南宽谷风沙化土地不同土壤粒度组成与养分含量的线性回归分析(95%以上显著水平)

Fig. 4 Linear regression analysis between different soil nutrients and grain size fraction in the study area (above 95% significant level)

2.4 风沙运动对土壤粒度组成与养分含量的影响

由图5可见,风沙运动造成的流动沙丘土壤风蚀量在不同坡向上差异较大,沙丘顶在试验期间以风蚀作用为主,仅在8月底出现微弱的风积作用;东坡在6月26日之前以风积作用为主,之后以风蚀作用为主;西坡

在6月26日之前以风蚀作用为主,之后以风积作用为主。由此可见,6月底是河谷风向变化的转折点,之前东坡为背风坡、西坡为迎风坡,其后东坡为迎风坡、西坡为背风坡。不同坡向的土壤风蚀量总体上表现为西坡(9.9 cm) > 沙丘顶(-22.6 cm) > 东坡(-4.9 cm),其中,6月26日之前东坡因风积作用引起的沙埋深度为18.5 cm,西坡因风蚀作用引起的风蚀深度为-4.9 cm。这主要是由于试验期间河谷风速较大、风向交换频繁^[4],导致流动沙丘东坡和西坡的土壤风蚀和风积量相互抵消,而沙丘顶基本上维持在风蚀状态、风积作用较弱。风沙运动观测结果表明,6—8月期间的风蚀作用造成的土壤侵蚀量大于风积作用引起的沙埋量,不同坡向的土壤风蚀状况随着河谷风向的改变而相互中和,呈现流动沙丘的随风沙运动而不断往复摆动的现象。

风蚀能够引起土壤细颗粒的迁移和损失,导致土壤的粗化和贫瘠化^[14-15]。研究结果表明,土壤养分含量随粘粒、粉粒、极细砂粒和细砂粒等土壤细沙物质含量的增加而增加,且土壤粘粒和极细砂粒含量的增加对土壤养分含量增加的贡献较大。由此可见,因风沙活动造成的流动沙丘的往复摆动的现象和土壤细颗粒的迁移和损失,均对不同类型沙地和沙丘部位的土壤养分状况及其再分配过程产生较大影响。风蚀导致了土壤中细颗粒的损失、土壤养分含量及有效性的降低,最终导致土地生产潜力部分或全部的破坏^[16]。

3 结论与讨论

雅鲁藏布江山南宽谷风沙化土地土壤 pH 值呈中性、碱性和强碱性,土壤有机质和全氮含量均很低,但全磷和全钾均很高。土壤粒度组成表现为砂粒含量(53.83%—95.93%)最大,粉粒(3.3%—40.5%)和粘粒(0.77%—5.68%)含量很小。其中,粘粒和粉粒含量均以覆沙河滩地最大、半固定沙地最小,粘粒含量大小顺序为覆沙河滩地 > 固定沙地 > 河滩流动沙地 > 平缓沙砾地 > 河岸流动沙地 > 山坡流动沙地 > 半固定沙地。粉粒在不同类型沙地含量的大小顺序基本与粘粒相似,仅在河岸流动沙地和山坡流动沙地的次序有所差别。砂粒含量以半固定沙地最大、覆沙河滩地最小,砂粒含量的大小顺序与粉粒含量的顺序正好相反。

土壤粒度组成影响着土壤的养分状况,土壤养分含量与土壤粘粒、粉粒、极细砂粒和细砂粒等细沙物质的相关性较强,与中砂粒、粗砂粒和极粗砂粒等粗沙物质呈负相关或相关性较弱,表现为土壤养分含量随着土壤颗粒的增大与其相关性随之减弱。粘粒和极细砂粒含量的增加对土壤养分的增加贡献较大,粉粒和细砂粒对土壤养分的增加贡献较小,而中砂粒含量的增加则使土壤养分含量减少。

风沙活动造成流动沙丘随风沙运动而不断往复摆动的现象和土壤细颗粒的迁移和损失,对不同类型沙地和沙丘部位的土壤养分状况及其再分配过程产生较大影响。由于携沙和搬运能力的强弱,不同粒度大小的土壤颗粒在风力的搬运作用下,沉积和堆滞在不同距离河道不同远近的地貌单元上,使得土壤养分随风沙运动在不同类型沙地发生迁移和亏损现象。认识土壤养分的迁移和亏损现象对指导该区域正在进行的风沙化土地植被恢复与重建具有重要的实践意义。

References:

- [1] State Forestry Administration, P R China. A Bulletin of Status Quo of Desertification and Sandification in China. 2011.
- [2] Li S, Dong G R, Shen J Y, Yang P, Liu X W, Wang Y, Jin H L, Wang Q. Formation mechanism and development pattern of aeolian sand landform in Yarlung Zangbo Rive valley. Science in China Series D: Earth Sciences, 1999, 42(3): 272-281.
- [3] Dong G R, Dong Y X, Li S, Jin J, Jin H L, Liu Y Z. The causes and developmental trend of desertification in the middle reaches of the Yarlung Zangbo River and its two tributaries in Xizang. Chinese Geographical Science, 1995, 5(4): 355-364.

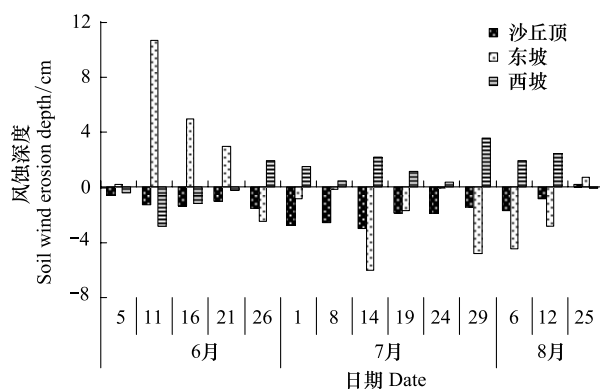


图5 雅鲁藏布江山南宽谷流动沙丘不同坡向的土壤风蚀状况
Fig. 5 Soil wind erosion depth of different aspects of moving sand dunes in the study area

- [4] Li H D, Shen W S, Zou C X, Sun M, She G H. Spatial distribution and evolution of aeolian sandy land in the areas around Lhasa Airport (Tibet, China) since 1990. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(21): 5716-5727.
- [5] Li H D, Fang Y, Shen W S, Sun M, She G H. Spatial distribution and evolution of aeolian sandy land in the areas around Shigatse Peace Airport of Tibet, China since 1975. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(7): 1148-1155.
- [6] Liu Y Z, Dong G R, Li C Z. Study on some factors influencing soil erosion by wind tunnel experiment. *Journal of Desert Research*, 1992, 12(4): 41-49.
- [7] Dong G R, Dong Y X, Li S, Liu Y Z, Yi B G. The Plan for Desertification Control in the Middle Reaches of the Yarlung Zangbo River and Its Two Tributaries in Xizang. Beijing: China Environmental Science Press, 1996: 9-10.
- [8] Liu S L, Wang T, Qu J J. Soil characteristics changes in desertification processes in Hunshandake Sandy Land, northern China. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(4): 611-615.
- [9] Dong Y X, Li S, Dong G R. Tentative study on the status and the causes of desertification in Yarlung Zangbo River basin. *Scientia Geographica Sinica*, 1999, 19(1): 35-41.
- [10] Li H D, Shen W S, Fang Y, Yan S G, Zhang H, Zhao W. Point pattern analysis of several psammophyte populations in the riparian ecotone in the middle reaches of Yarlung Zangbo River of Tibet, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(8): 834-843.
- [11] Zhong G H, Tian F Y, Wang M, Zhang H F, Liu C H, Ci B. Soil fertility of croplands in major agricultural areas of Tibet. *Soils*, 2005, 37(5): 523-529.
- [12] National Soil Survey Office. *Chinese Soils*. Beijing: China Agriculture Press, 1998: 1-1252.
- [13] Liu S L, Wang T, Guo J. Characteristics of blown sand activities in Hunshandake Sandy Land in Spring. *Journal of Desert Research*, 2006, 26(3): 356-361.
- [14] Gomes L, Arrúe J L, López M V, Sterk G, Richard D, Gracia R, Sabre M, Gaudichet A, Frangi J P. Wind erosion in a semiarid agricultural area of Spain: the WELSONS project. *Catena*, 2003, 52(3/4): 235-256.
- [15] López M V, Gracia R, Arrúe J L. Effects of reduced tillage on soil surface properties affecting wind erosion in semiarid fallow lands of Central Aragón. *European Journal of Agronomy*, 2000, 12(3/4): 191-199.
- [16] Su Y Z, Zhao H L, Zhang T H, Li Y L. Processes and characteristics of soil degradation in rainfed farmland in the Horqin sandy land. *Journal of Soil Water Conservation*, 2002, 16(1): 25-28.

参考文献:

- [1] 国家林业局. 中国荒漠化和沙化状况公报. 2011.
- [4] 李海东, 沈渭寿, 邹长新, 孙明, 余光辉. 西藏拉萨机场周边风沙源空间分布及演变趋势. *生态学报*, 2010, 30(21): 5716-5727.
- [5] 李海东, 方颖, 沈渭寿, 孙明, 余光辉. 西藏日喀则机场周边风沙源空间分布及近 34 年的演变趋势. *自然资源学报*, 2011, 26(7): 1148-1155.
- [6] 刘玉璋, 董光荣, 李长治. 影响土壤风蚀主要因素的风洞实验研究. *中国沙漠*, 1992, 12(4): 41-49.
- [7] 董光荣, 董玉祥, 李森, 刘玉璋, 尹秉高. 西藏“一江两河”中部流域土地沙漠化防治规划研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1996: 9-10.
- [8] 刘树林, 王涛, 屈建军. 浑善达克沙地土地沙漠化过程中土壤粒度与养分变化研究. *中国沙漠*, 2008, 28(4): 611-615.
- [9] 董玉祥, 李森, 董光荣. 雅鲁藏布江流域土地沙漠化现状与成因初步研究——兼论人为因素在沙漠化中的作用. *地理科学*, 1999, 19(1): 35-41.
- [10] 李海东, 沈渭寿, 方颖, 燕守广, 张慧, 赵卫. 雅鲁藏布江中游河岸带几种主要沙生植物种群点格局分析. *植物生态学报*, 2011, 35(8): 834-843.
- [11] 钟国辉, 田发益, 旺姆, 张红锋, 刘翠花, 次白. 西藏主要农区农田土壤肥力状况研究. *土壤*, 2005, 37(5): 523-529.
- [12] 全国土壤普查办公室. *中国土壤*. 北京: 中国农业出版社, 1998: 1-1252.
- [13] 刘树林, 王涛, 郭坚. 浑善达克沙地春季风沙活动特征观测研究. *中国沙漠*, 2006, 26(3): 356-361.

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 16 期 (2012 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 16 (August, 2012)

| | | | |
|---------------|--|-----------------|--|
| 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:1000717 | Published by | Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 1000717, 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:1000717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net | Distributed by | Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 1000717, 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