

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 19 期 Vol.33 No.19 **2013**

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33卷第19期

2013年10月 (半月刊)

目次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 生态系统服务研究文献现状及不同研究方向评述 马凤娇, 刘金铜, A. Egrinya Eneji (5963)
- 非人灵长类性打搅行为研究进展 杨 斌, 王程亮, 纪维红, 等 (5973)
- 密度制约效应对啮齿动物繁殖的影响 韩群花, 郭 聪, 张美文 (5981)
- 食物链长度远因与近因研究进展综述 王玉玉, 徐 军, 雷光春 (5990)
- AM 真菌在植物病虫害生物防治中的作用机制 罗巧玉, 王晓娟, 李媛媛, 等 (5997)
- 保护性耕作对农田碳、氮效应的影响研究进展 薛建福, 赵 鑫, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, 等 (6006)
- 圈养大熊猫野化培训期的生境选择特征 张明春, 黄 炎, 李德生, 等 (6014)
- 利用红外照相技术分析野生白冠长尾雉活动节律及时间分配 赵玉泽, 王志臣, 徐基良, 等 (6021)
- 风速和持续时间对树麻雀能量收支的影响 杨志宏, 吴庆明, 董海燕, 等 (6028)
- 白马雪山自然保护区灰头小鼯鼠的巢址特征 李艳红, 关进科, 黎大勇, 等 (6035)
- 生境片段化对千岛湖岛屿上黄足厚结猛蚁遗传多样性的影响 罗媛媛, 刘金亮, 黄杰灵, 等 (6041)
- 基于 28S, COI 和 Cytb 基因序列的薛荔和爱玉子传粉小蜂分子遗传关系研究
..... 吴文珊, 陈友铃, 孙伶俐, 等 (6049)
- 高榕榕果内 *Eupristina* 属两种榕小蜂的遗传进化关系 陈友铃, 孙伶俐, 武蕾蕾, 等 (6058)
- 镉胁迫下杞柳对金属元素的吸收及其根系形态构型特征 王树凤, 施翔, 孙海菁, 等 (6065)
- 邻苯二甲酸对萝卜种子萌发、幼苗叶片膜脂过氧化及渗透调节物质的影响
..... 杨延杰, 王晓伟, 赵 康, 等 (6074)
- 极端干旱区多枝桤柳幼苗对人工水分干扰的形态及生理响应 马晓东, 王明慧, 李卫红, 等 (6081)
- 贝壳砂生境酸枣叶片光合生理参数的水分响应特征 王荣荣, 夏江宝, 杨吉华, 等 (6088)
- 陶粒覆盖对土壤水分、植物光合作用及生长状况的影响 谭雪红, 郭小平, 赵廷宁 (6097)
- 不同林龄短枝木麻黄小枝单宁含量及养分再吸收动态 叶功富, 张尚炬, 张立华, 等 (6107)
- 珠江三角洲不同污染梯度下森林优势种叶片和枝条 S 含量比较 裴男才, 陈步峰, 邹志谨, 等 (6114)
- AM 真菌和磷对小马安羊蹄甲幼苗生长的影响 宋成军, 曲来叶, 马克明, 等 (6121)
- 盐氮处理下盐地碱蓬种子成熟过程中的离子积累和种子萌发特性 周家超, 付婷婷, 赵维维, 等 (6129)
- CO₂ 浓度升高条件下内生真菌感染对宿主植物的生理生态影响 师志冰, 周 勇, 李 夏, 等 (6135)
- 预处理方式对香蒲和芦苇种子萌发的影响 孟 焕, 王雪宏, 佟守正, 等 (6142)
- 镉在土壤-金丝垂柳系统中的迁移特征 张 雯, 魏 虹, 孙晓灿, 等 (6147)
- 马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响 罗应华, 孙冬婧, 林建勇, 等 (6154)
- 濒危海草贝克喜盐草的种群动态及土壤种子库——以广西珍珠湾为例
..... 邱广龙, 范航清, 李宗善, 等 (6163)
- 毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮对凝结水形成和蒸发的影响 尹瑞平, 吴永胜, 张 欣, 等 (6173)
- 塔里木河上游灰胡杨种群生活史特征与空间分布格局 韩 路, 席琳乔, 王家强, 等 (6181)
- 短期氮素添加和模拟放牧对青藏高原高寒草甸生态系统呼吸的影响 宗 宁, 石培礼, 蔺 婧, 等 (6191)
- 松嫩平原微地形下土壤水盐与植物群落分布的关系 杨 帆, 王志春, 王云贺, 等 (6202)

广州大夫山雨季林内外空气 TSP 和 PM _{2.5} 浓度及水溶性离子特征	肖以华, 李 炯, 旷远文, 等 (6209)
马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局	汪振华, 赵 静, 王 凯, 等 (6218)
黄海细纹狮子鱼种群特征的年际变化	陈云龙, 单秀娟, 周志鹏, 等 (6227)
三种温带森林大型土壤动物群落结构的时空动态	李 娜, 张雪萍, 张利敏 (6236)
笔管榕榕小蜂的群落结构与物种多样性	陈友铃, 陈晓倩, 吴文珊, 等 (6246)
海洋生态资本理论框架下的生态系统服务评估	陈 尚, 任大川, 夏 涛, 等 (6254)
中国地貌区划系统——以自然保护区体系建设为目标	郭子良, 崔国发 (6264)
生态植被建设对黄土高原农林复合流域景观格局的影响	易 扬, 信忠保, 覃云斌, 等 (6277)
华北农牧交错带农田-草地景观镶嵌体土壤水分空间异质性	王红梅, 王仲良, 王 堃, 等 (6287)
中国北方春小麦生育期变化的区域差异性与气候适应性	俄有浩, 霍治国, 马玉平, 等 (6295)
中国南方喀斯特石漠化演替过程中土壤理化性质的响应	盛茂银, 刘 洋, 熊康宁 (6303)
气候变化对东北沼泽湿地潜在分布的影响	贺 伟, 布仁仓, 刘宏娟, 等 (6314)
内蒙古不同类型草地土壤氮矿化及其温度敏感性	朱剑兴, 王秋风, 何念鹏, 等 (6320)
黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应	马志敏, 吕一河, 孙飞翔, 等 (6328)
成都平原北部水稻土重金属含量状况及其潜在生态风险评价	秦鱼生, 喻 华, 冯文强, 等 (6335)
大西洋中部延绳钓黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 马军杰, 张 禹, 等 (6345)
夏季台湾海峡南部海域上层水体的生物固氮作用	林 峰, 陈 敏, 杨伟锋, 等 (6354)
北长山岛森林乔木层碳储量及其影响因子	石洪华, 王晓丽, 王 媛, 等 (6363)
植被类型变化对长白山森林土壤碳矿化及其温度敏感性的影响	王 丹, 吕瑜良, 徐 丽, 等 (6373)
油松遗传结构与地理阻隔因素的相关性	孟翔翔, 狄晓艳, 王孟本, 等 (6382)
基于辅助环境变量的土壤有机碳空间插值——以黄土丘陵区小流域为例	文 雯, 周宝同, 汪亚峰, 等 (6389)
基于生命周期视角的产业资源生态管理效益分析——以虚拟共生网络系统为例	施晓清, 李笑诺, 杨建新 (6398)
生态脆弱区贫困与生态环境的博弈分析	祁新华, 叶士琳, 程 煜, 等 (6411)
“世博”背景下上海经济与环境的耦合演化	倪 尧, 岳文泽, 张云堂, 等 (6418)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 464 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 55 * 2013-10



封面图说: 毛乌素沙地南缘沙丘的生物结皮——生物土壤结皮广泛分布于干旱和半干旱区, 它的形成和发育对荒漠生态系统生态修复过程产生重要的影响。组成生物结皮的藻类、苔藓和地衣是常见的先锋植物, 它们不仅能在严重干旱缺水、营养贫瘠恶劣的环境中生长、繁殖, 并且能通过其代谢方式影响并改变环境。其中一个重要的特点是, 生物结皮表面的凝结水显著大于裸沙。研究表明, 凝结水是除降雨之外最重要的水分来源之一, 在水分极度匮乏的荒漠生态系统, 它对荒漠生态系统结构、功能和过程的维持产生着重要的影响。

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

DOI: 10.5846/stxb201306091519

王红梅, 王仲良, 王堃, 陈欢, 刘安乐. 华北农牧交错带农田-草地景观镶嵌体土壤水分空间异质性. 生态学报, 2013, 33(19): 6287-6294.

Wang H M, Wang Z L, Wang K, Chen H, Liu A L. Spatial heterogeneity of soil moisture across a cropland-grassland mosaic: a case study for agro-pastoral transition in north of China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6287-6294.

华北农牧交错带农田-草地景观镶嵌体 土壤水分空间异质性

王红梅^{1,*}, 王仲良¹, 王 堃², 陈 欢¹, 刘安乐¹

(1. 宁夏大学 农学院, 银川 750021; 2. 中国农业大学 动物科技学院, 北京 100094)

摘要:为揭示草地景观破碎化过程中产生的农田-草地镶嵌体内部土壤水分空间异质性、分布格局以及生态界面特征,本研究利用经典统计与地统计学方法对华北农牧交错带农田-草地镶嵌体不同采样粒度(0.5 m×0.5 m, 1 m×1 m, 2 m×2 m)土壤水分空间异质性进行分析。结果表明:农田-草地镶嵌体内部土壤水分含量差异显著表现为农田>农田-草地边界>草地($P<0.05$);土壤水分变异系数(CV Coefficient of variation)差异显著表现为农田-草地边界>草地>农田($P<0.05$),均属中等程度变异。在农田-草地镶嵌体尺度下,农田-草地边界土壤水分在3个采样粒度下均拟合为球状模型,空间异质性大小(MSH Magnitude of spatial heterogeneity)分别为0.814、0.763和0.883,变程为15.44、27.24和19.09 m,属强空间自相关;草地土壤水分空间异质性在3个采样粒度下拟合呈指数和球状模型,空间异质性大小分别为0.537、0.837和0.650,变程分别为6.009、12.74和30.99 m,属中到强空间自相关;农田土壤水分在采样粒度2 m×2 m下拟合呈球状模型,空间异质性大小为0.706,变程27.28 m,属中等空间自相关,而在较小采样粒度下均为纯金块效应(Nugget)呈完全随机分布,即不同采样粒度(0.5 m×0.5 m, 1 m×1 m, 2 m×2 m)的农田、农田-草地边界、草地的土壤水分空间异质性大小存在显著差异且表现为农田-草地边界>草地>农田($P<0.05$),同时每种类型不同采样粒度间的空间异质性大小存在差异但无线性关系($P>0.05$);农田-草地镶嵌体内部的农田-草地边界土壤水分分布格局异质程度高,呈明显斑块状,而农田内部土壤水分较草地更加破碎匀质化,同时土壤水分在农田-草地边界处表现为伴有突然升高随即降低剧烈变化的界面效应。

关键词:农田-草地镶嵌体;土壤水分;空间异质性;界面效应

Spatial heterogeneity of soil moisture across a cropland-grassland mosaic: a case study for agro-pastoral transition in north of China

WANG Hongmei^{1,*}, WANG Zhongliang¹, WANG Kun², CHEN Huan¹, LIU Anle¹

1 College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China

2 College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100094, China

Abstract: As a direct consequence of greater landscape fragmentation worldwide, it is becoming increasingly common for agricultural landscapes to be dissected by boundaries between crop types. However, our understanding of processes associated with these boundaries remains comparatively undeveloped. Cropland-grassland mosaics resulting from intensification of farming activity on extensive grassland are now common in north of China. These land use changes not only influence the original ecosystem processes but also generate new ecological processes that impact on the regional environment at a larger scale. Recently the topic of spatial heterogeneity of soil moisture has received more attention from ecologists because it plays an important role in the hydrological cycle through effects on the interaction between land and atmosphere, thus climate and plant growth in different ecological scales. Despite this emerging focus few studies have examined the spatial heterogeneity of soil moisture in cropland-grassland mosaics in north of China. Here we report data investigating the spatial pattern for soil moisture variation in cropland (C), the cropland-grassland boundary (B) and grassland (G) of a

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31060325)

收稿日期:2013-06-09; 修订日期:2013-07-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: whm_826@163.com

cropland-grassland mosaic. The scale of heterogeneity for soil moisture was assessed by evaluating sampling units of differing sizes (0.5 m×0.5 m, 1 m×1 m, 2 m×2 m) using classical statistical and geostatistical methodologies. Soil water content of C was significantly higher than that of G ($P<0.05$). Soil water content of B was intermediate between C and G and differed significantly from both C and G ($P<0.05$). The B zone displayed a higher coefficient of variation (CV) for soil moisture than the adjacent systems ($P<0.05$). The geostatistical analysis determined that values of the magnitude of spatial heterogeneity (MSH) for soil moisture for B were 0.814, 0.763 and 0.883, respectively, in the three sampling grain sizes (0.5 m×0.5 m, 1 m×1 m, 2 m×2 m). There was also a strong autocorrelation with the ranges A_0 15.44, 27.24 and 19.09 m, respectively. The MSH values of soil moisture for G were 0.537, 0.837 and 0.650, and there was a moderate to strong autocorrelation with the ranges A_0 6.009, 12.74 and 30.99 m, respectively, in the three different sampling grain sizes. The MSH of soil moisture for C was 0.706, which had a moderate autocorrelation with range 27.28 m in grain size 2 m×2 m, whereas there were nugget effects at the other finer sampling grain sizes. The MSH of the cropland-grassland mosaic displayed a nonlinear relationship across different sampling scales in the field. We found soil moisture for B displayed the highest spatial heterogeneity (i.e. significant patchiness), whereas the soil moisture for C was more homogeneous in comparison with soils under grassland. With respect to the characteristics of the B transition zone, there was an abrupt change of increase then rapidly decreases for soil moisture from cropland to grassland in the cropland-grassland mosaic. The data therefore support the ‘ecological boundary effects’ hypothesis that the ecological boundary is more heterogeneous than that of the adjacent systems and also show that abrupt ecological boundary effects occur. Our results suggest that the historical shift from perennial herb to monocrop culture in grasslands ecosystem led to changes in the small-scale spatial structure of soil moisture and related processes. These changes in land utilization may therefore alter ecosystem function and further impact the regional climate.

Key Words: cropland-grassland mosaic; soil moisture; spatial heterogeneity; boundary effect

生态学家过去在对不同匀质系统的生态特征和过程研究时,常避免对它们之间的异质性空间,即生态界面(Ecological boundary)的研究,往往将它忽略或视为生态系统间的边界线^[1]。而在景观生态中,生态界面则是异质性景观镶嵌体中固有特征,对邻近生态系统的动态变化和功能发挥都具有重要作用^[2]。由于生态界面理论发展远超过其实际应用,因此生态学家亟待需要不同生态系统间和不同研究尺度下的界面结构和功能研究实例来证实其理论假设^[3-10]。而在我国农牧交错带地区存在大量人为农田-草地镶嵌体,使得原有草地景观破碎化,该镶嵌体不仅影响着原有草地生态系统功能发挥,而且其本身也发挥特有的生态功能,不同程度地影响着农牧交错带区域生态环境的变化^[11-13]。农田-草地镶嵌体功能的体现往往是生物和非生物因子共同作用结果,其中土壤水分异质性作为非生物土壤因子的重要属性之一,在不同尺度上影响着陆地与大气之间的水分循环以及植物生长,已受到生态学家的关注。土壤水分异质性在较大尺度上受气候和土壤条件地带性分异的影响^[14-15],而在较小空间尺度上则受微地形、人为干扰以及生物地球化学循环等因素的共同作用^[16-17]。同时,有研究表明各种植被类型内部的小尺度土壤水分分配以及植物斑块的空间异质性也可能是维持较大尺度的群落生物多样性、初级生产力和稳定性的重要因素^[10,18-19],即不同尺度下土壤水分异质性的影响因素造成了土壤水分格局具有空间依赖性^[20]。因此,对于具体研究对象,需要考虑尺度相关的采样范围和采样的粒度才能更好地理解所要研究的空间格局和功能^[21]。而针对农牧交错带内部的农田-草地镶嵌体的土壤水分异质性则需要了解其内部农田-草地边界以及相邻农田、草地生态系统土壤水分空间异质性特征才可更好的反映其空间特征,为此,通过对农田-草地镶嵌体内部的农田、草地、农田-草地边界 0—20 cm 土壤水分进行不同粒度(0.5 m×0.5 m, 1 m×1 m, 2 m×2 m)的采样试验,测定和分析农田、草地、以及农田-草地边界土壤水分空间异质性特征,以期揭示草地景观破碎化过程中产生的农田-草地镶嵌体内部的土壤水分空间异质性、分布格局以及生态界面特征。

1 实验方法

1.1 样地介绍

研究区位于华北农牧交错带的河北沽源国家草地生态系统野外科学观测研究站。该站地处于内蒙古典型草原东南舌延伸地带,116°14'E,41°37'N,属半干旱大陆季风气候带,除夏季受东南暖湿气流的影响外,较长时间收内蒙古高压寒冷的气候控制,年均温 1℃,无霜期 85 d,平均年降水量 430.7 mm,主要集中在 7—9 月份,占全年的 79%,年蒸发量 1735.7 mm,年日照时数 2930.9 h,主要的土壤类型为栗钙土;草地植被的主要草种为羊草(*Leymus chinensis*)、克氏针茅(*Stipa krylovii*)、冰草(*Agropyron cristatum*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、鹅绒萎陵菜(*Poten tillaanserina*)、糙隐子草(*Cleistogenes*

squarrosa)、星毛萎陵菜(*Poten tillaacaulis*)和胡枝子(*Lespedeza bicolor*)等,冰草为建群种。实验选取人工恢复围封草地和玉米地(*Zea mays* L)的镶嵌区域作为研究样地,玉米地开垦于 1995 年,面积为 7.1 hm²,无灌溉。

1.2 采样方法

横跨农田-草地边界设置 3 条长 120 m 的样线(间隔 20 m),在农田-草地边界分别向农田、草地内部分别以 0.5 m(0—6 m)、1 m(6—12 m)、2 m(12—30 m)、5 m(30—60 m)间隔依次采样(图 1①),对 0—20 cm 土层取样,共计取样 186 个;同时利用嵌套栅格分别在农田-草地镶嵌体的农田、草地、农田-草地边界以 0.5 m×0.5 m、1 m×1 m、2 m×2 m 不同粒度进行采样。具体方法如下:在农田和草地设置 14 m×14 m 的样地各 1 块,分别在其内部采用嵌套网格方法分别布设 36 个粒度为 0.5 m×0.5 m 样方、49 个粒度为 1 m×1 m 的样方、49 个粒度为 2 m×2 m 样方;跨越农田-草地界面的采样设置 14 m(南北)×40 m(东西)的样地一块,采用嵌套网格方法分别布设 120 个粒度为 0.5 m×0.5 m 样方,140 个粒度为 1 m×1 m 样方,140 个粒度为 2 m×2 m 样方。对 0—20 cm 土层取样,农田采样 134 个,草地采样 134 个,农田-草地界面采样 400 个,共取样 668 个。农田、草地内部采样地距农田-草地边界距离为 70 m(图 1②)。

1.3 土壤样品分析项目及方法

为了便于分析比较,并减少其他环境因子的影响,本文选择在雨后至少 3—4 d 的晴天进行集中采样,取样时间为 2011 年的 8 月,在一天内尽量将同一大小样方的土样采集完毕。在样方内部取样时,先除去表层枯枝落叶,然后用直径 3 cm 的土钻随机选择小样方中点位置的 3 个点混合取样,剔除明显的植物根段和枯落物等杂质,装入编号的铝盒中,带回实验室。采用烘干法对所有土样的土壤含水量进行测定:将称量后的土壤样品(精确到 0.01 g)在 105 ℃ 的烘箱内烘至 12 h,取出后称量,计算土壤水分含量。

1.4 数据分析

计算农田-草地镶嵌体内部的农田、草地、农田-草地边界 0—20 cm 土层土壤水分的平均值、标准偏差和变异系数,以此来衡量各类型的土壤水分平均状况和总变异程度(利用栅格数据进行分析)。变异系数(CV)的大小可反映特征变量的空间变异度,即 CV < 0.1 为弱变异, CV 在 0.1—1.0 为中等变异, CV > 1.0 为强变异^[22]。

根据农田-草地镶嵌体内部的农田、草地、农田-草地边界土壤水分含量和空间位置数据,用变异函数 $r(h)$ 分析方法建立变异函数理论模型。变异函数的计算公式如下:

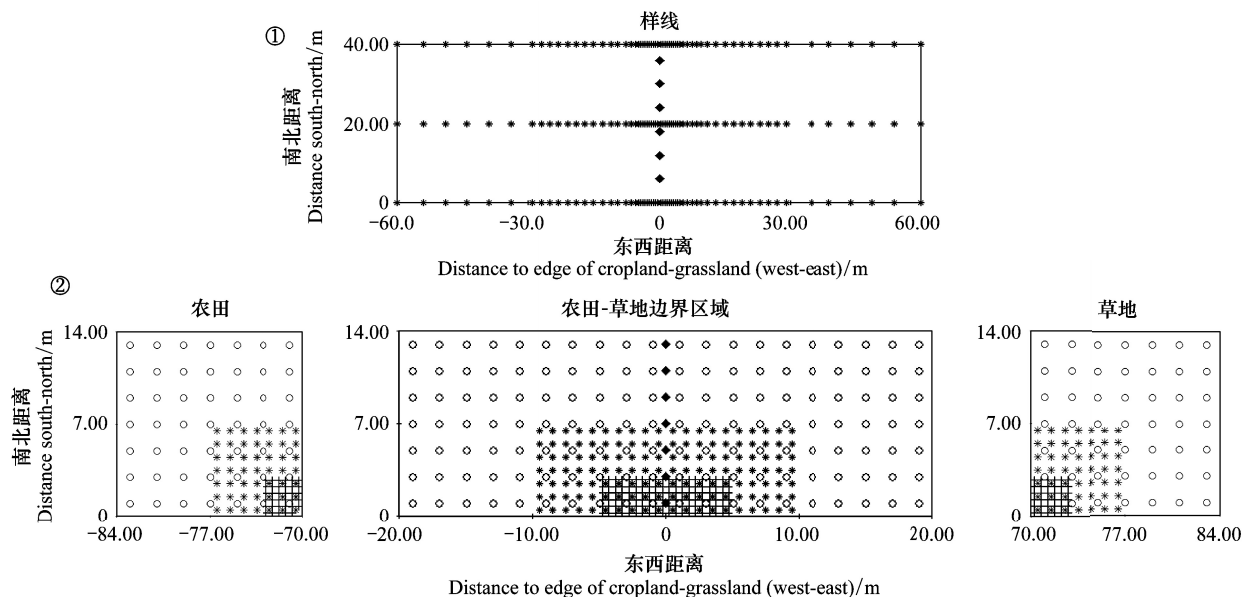


图 1 农田-草地镶嵌体(农田、农田-草地边界、草地)土壤水分采样图

Fig.1 Sketch map of sampling location for soil moisture in the study area

农田-草地边界为南北走向,①样线东西跨越农田-草地边界,②栅格采样 o: 2 m×2 m, *: 1 m×1 m, +: 0.5 m×0.5 m, ◆: 农田-草地边界

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

式中, $r(h)$ 是变异函数, Z 为区域化随机变量, $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别为变量 Z 在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 上的取值, $N(h)$ 是取样间隔为 h 时的样本对总数。本文变异函数拟合成球状理论模型、指数模型、线性模型, 计算可得到 4 个重要的参数, 即基台值 $C_0 + C$ 、块金值 C_0 、结构方差比 $C/(C_0 + C)$ 和变程 A_0 。基台值表示样本总变异, 块金值表示区域变量在比采样尺度更小尺度

上的随机变异,主要来源小于抽样尺度的空间结构变异和测量随机误差,结构方差比即空间异质性大小(*MSH* Magnitude of spatial heterogeneity) 则用来衡量空间自相关结构因素对变量总变异的影响程度其可作为研究变量空间相关的分类依据,该值大于 75%属于强空间自相关,说明变量具有很好的空间结构性,该值在 25%—75%属于中等程度的空间自相关,小于 25%属于弱空间自相关,说明随机变异是引起空间异质性的主要作用,变程为研究变量存在空间自相关特性的平均最大距离^[23]。通过变异函数模型参数,模拟和比较农田-草地镶嵌体内部农田、草地、农田-草地边界土层 0—20 cm 土壤水分空间分布格局特征。本文数据分别用 SPSS 11.0, SIGMAPLOT 10.0 和地统计学软件 GS+5.1 进行处理。

2 结果

2.1 农田-草地镶嵌体土壤水分变异系数

土壤水分含量表现为农田>农田-草地边界>草地,且差异显著 ($P<0.05$),农田与草地表现为极显著差异 ($P<0.001$) (表 1),农田向草地过渡过程中在边界处土壤水分变化剧烈且标准偏差 (SD) 较大,均高于农田、草地的土壤含水量的标准偏差 (图 2,表 2)。农田-草地镶嵌体在采样粒度 0.5 m×0.5 m、1 m×1 m 和 2 m×2 m 下,其内部农田土壤水分变异系数分别为 0.10、0.18、0.22,草地分别为 0.11、0.16、0.22 和农田-草地边界分别为 0.29、0.26、0.24,均属中等变异,且在 3 种采样粒度下农田-草地边界土壤水分含量变异系数与农田、草地土壤水分变异系数存在显著差异性 ($P=0.046$, $P=0.042$),表现为农田-草地边界>草地>农田 (表 2)。在农田-草地镶嵌体尺度下的农田-草地边界与采样粒度间的土壤含水量变异系数存在显著相关 ($P=0.047$),而农田、草地土壤含水量变异系数与不同采样粒度间相关性不显著 ($P=0.097$) (图 3),尤其草地相关性最低 ($P=0.82$)。

表 1 不同采样粒度农田-草地镶嵌体 (农田、农田-草地边界、草地) 土壤含水量差异分析

Table 1 Analysis of differences for soil moisture of cropland, cropland-grassland boundary and grassland in different sampling grain sizes

采样粒度 Grain size	类型 Type	均差值 Mean	标准差 Std. Deviation	标准误差 Std. Error	可信区间 95% Confidence		<i>t</i>	自由度 <i>df</i>	<i>P</i>
					低值 Lower	高值 Upper			
0.5m×0.5m	B-C	-1.24	3.31	0.55	-2.36	-0.12	-2.24	35	0.032 *
	B-G	1.02	2.89	0.48	0.039	1.99	2.11	35	0.042 *
	C-G	2.25	1.25	0.21	1.83	2.67	10.80	35	0.000 ***
1m×1m	B-C	-0.59	3.16	0.45	-1.50	0.319	-1.30	48	0.198
	B-G	1.69	3.18	0.45	0.78	2.61	3.73	48	0.001 **
	C-G	2.28	2.21	0.32	1.65	2.92	7.25	48	0.000 ***
2m×2m	B-C	-1.04	3.43	0.49	-2.03	-0.05	-2.12	48	0.039 *
	B-G	1.55	2.27	0.32	0.90	2.20	4.77	48	0.000 ***
	C-G	2.59	2.53	0.36	1.86	3.31	7.16	48	0.000 ***

显著水平 * $P<0.05$, ** $P<0.001$, *** $P<0.0001$; C:农田, B:农田-草地边界, G:草地

2.2 农田-草地镶嵌体土壤水分空间异质性

对农田、草地、农田-草地边界的 0—20 cm 土层的土壤水分数据进行非参数的 K-S 正态分布检验,所得数据均符合正态分布,满足地统计学所要求的平稳假设条件,可直接进行地统计学分析。

在采样粒度 0.5 m×0.5 m 下,农田-草地边界土壤水分符合球状模型,自相关距离为 15.44 m,空间异质性大小 (结构方差/基台值) 为 0.814,决定系数 r^2 为 0.934,属强空间自相关;草地土壤水分符合指数模型,自相关距离为 6.01 m;空间的异质性大小为 0.537, r^2 为 0.357,中等空间自相关性;农田土壤水分表现为完全随机的纯金块效应;空间异质性大小表现为农田-草地边界>草地>农田 (表 2)。

在采样粒度 1 m×1 m 下,农田-草地边界土壤水分符合球状模型,自相关距离为 27.24 m,空间异质性大小为 0.763, r^2 为 0.991,属强空间自相关性;草地符合球状模型,自相关距离 12.74 m,空间异质性大小为 0.837, r^2 为 0.839,属强空间自相关性;农田为完全随机的纯金块效应;空间异质性大小表现为草地>农田-草地边界>农田 (表 2)。

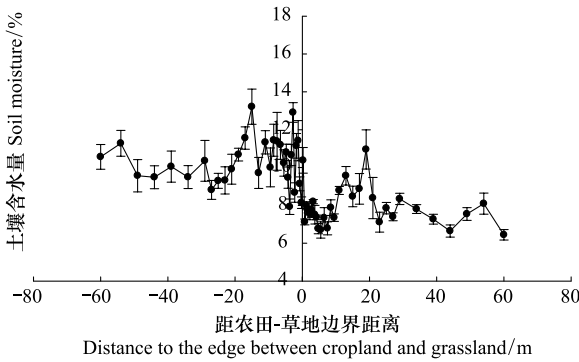


图 2 农田-草地边界处土壤水分分布图

Fig. 2 Spatial distribution of soil moisture for cropland-grassland boundary

负值代表农田,正值代表草地

表 2 不同采样粒度农田-草地镶嵌体(农田、农田-草地边界、草地)土壤含水量变异函数理论模型及相关统计参数

Table 2 Semivariogram model and statistics parameters for soil moisture of cropland-grassland mosaic in different sampling grain sizes

类型 Type	采样粒度 Grain size	均值 (Mean+ std)/%	变异系数 CV	模型 Model	块金值 C_0	基台值 $C+C_0$	变程 A_0 (m)	结构方差比 C/C_0+C	决定系数 r^2
B	0.5m×0.5m	9.1±2.56	0.29	S	1.48	7.96	15.44	0.814	0.934
	1m×1m	10.0±2.6	0.26	S	3.17	13.34	27.24	0.763	0.991
	2m×2m	10.2±2.35	0.24	S	0.99	8.01	19.09	0.876	0.954
C	0.5m×0.5m	9.3±0.95	0.10	N	—	—	—	—	—
	1m×1m	10.2±1.84	0.18	N	—	—	—	—	—
	2m×2m	10.2±2.31	0.22	S	2.86	9.73	27.28	0.706	0.948
G	0.5m×0.5m	7.0±0.7	0.11	E	0.47	1.07	6.01	0.537	0.357
	1m×1m	7.9±1.74	0.22	S	0.97	5.14	12.74	0.837	0.839
	2m×2m	7.6±1.20	0.16	S	0.85	2.43	30.99	0.650	0.905

C;农田,B;农田-草地边界,G;草地;S;球状模型;N;纯金块效应;E;指数模型;CV:Coefficient of variation

在采样粒度 2 m×2 m 下,农田-草地边界 0—20 cm 的土壤水分符合球状模型,自相关距离 19.09 m,空间异质性大小为 0.876, r^2 为 0.954,属强空间自相关性;农田符合球状模型,自相关距离 27.28 m,空间异质性大小为 0.706, r^2 为 0.948,属中等空间自相关性;草地符合球状模型,自相关距离 30.99 m,空间的异质性大小为 0.650, r^2 为 0.905;空间异质性大小表现为农田-草地边界>农田>草地(表 2)。在 3 种采样粒度下,农田、农田-草地界面、草地三者的土壤水分空间异质性存在显著差异($P<0.05$);除农田在 0.5 m×0.5 m、1 m×1 m 采样粒度下的土壤水分呈纯金块效应,农田-草地边界、草地土壤水分空间异质性大小均随着采样粒度的增加存在差异且略有增加趋势,但与 3 种采样粒度间不存在显著线性相关性($P>0.05$)(图 4)。

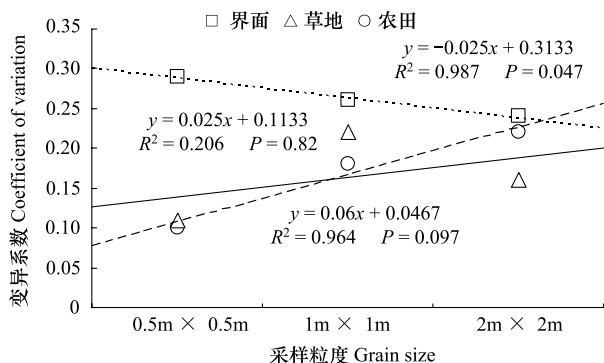


图 3 不同采样粒度农田-草地镶嵌体(农田、农田-草地边界、草地)土壤水分变异系数

Fig.3 Linear regression between CV (Coefficient of variation) for soil moisture of cropland-grassland mosaic and different sampling grain sizes

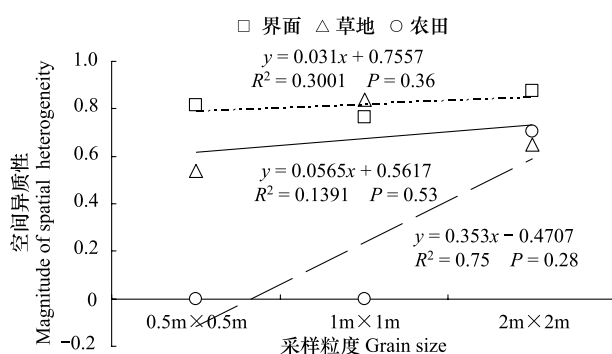


图 4 不同采样粒度农田-草地镶嵌体(农田、农田-草地边界、草地)土壤水分空间异质性变化

Fig.4 Linear regression between MSH (Magnitude of spatial heterogeneity) for soil moisture of cropland-grassland mosaic and different sampling grain sizes

2.3 农田-草地镶嵌体土壤水分空间格局

农田-草地边界在 3 种采样粒度下土壤水分呈明显的斑块状,农田在 0.5 m×0.5 m、1 m×1 m 农田土壤含水量的破碎化程度较草地高,草地的斑块变化较为稳定(图 5),同时土壤水分含量在农田-农田-草地边界-草地的界面过程中表现为先升高又下降的剧烈变化,说明农田-草地边界上土壤水分的空间分布不同于农田和草地内部土壤水分变化表现为伴有剧烈变化界面效应(图 2)。

3 结论与讨论

3.1 农田-草地镶嵌体的界面过程中的土壤水分空间变异系数

国内外学者对土壤水分的空间变化性特征也进行了大量的研究,但对于影响土壤水分空间变化性的因素一直有争论,其中土壤水分含量对土壤水分空间变化性的影响是一个争论的焦点,不同的学者得出的研究结果不尽相同,有研究表明土壤水分空间变异系数随着平均水分含量降低而降低^[24];Owe 和 左小安等人研究表明土壤含水量空间变异系数(CV)随着平均土壤含水量的增大而降低^[25-26]。Hill 和 Reynold 提出一个选择性的假想,认为土壤水分空间变异性的峰值出现在土壤平均水分含量适中情况下,当迅速变干的小面积土壤和湿润面积共存时,土壤水分存在最大的空间变异性^[27]。以上研究结果都是针对同一个生

态系统同一个尺度下进行,在本研究中,农田-草地镶嵌体的土壤水分表现为农田内部、农田-草地边界、草地内部均为中等程度变异,且农田-草地边界>草地>农田,主要是由于农田具有较高的土壤水分含量,因此在同一采样粒度下农田较草地具较低的土壤水分变异系数,

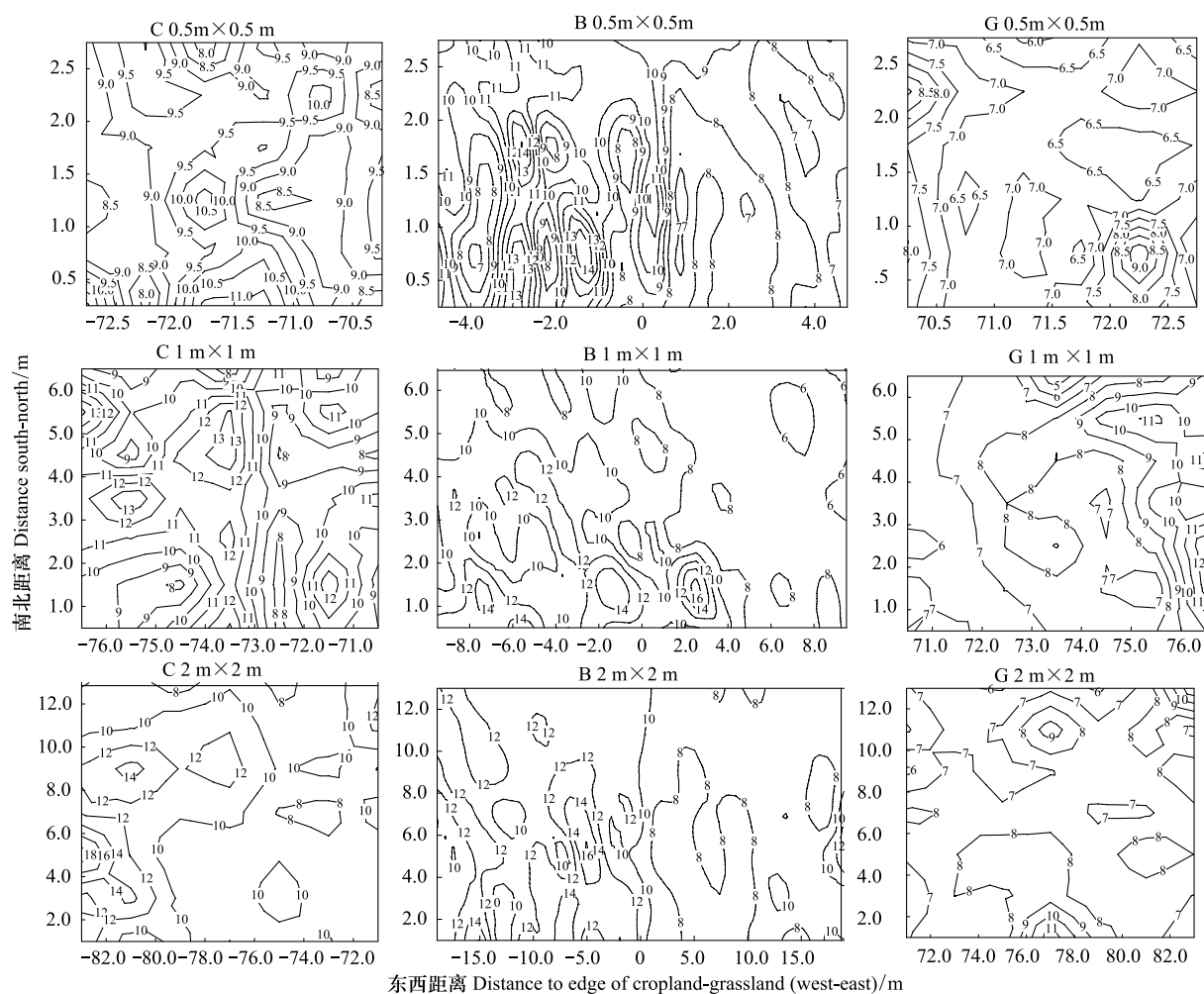


图5 不同采样粒度农田-草地镶嵌体(农田、农田-草地界面、草地)土壤水分空间格局

Fig.5 Spatial pattern of soil moisture for cropland-grassland mosaic in different sampling grain sizes

横坐标为正值草地,负值为农田; C:农田; B:农田-草地边界; G:草地

与部分研究具相同结果即土壤含水量越低土壤水分变异系数越高,其原因是在地形、降雨等相同情况下,单一作物的农田地下根系特性、地上部分的茎叶特征避免更多的水分蒸发,从而使得农田的含水量高于草地,从而导致较低的变异系数^[28]。草地之所以含水量低是因为草地植物群落基本上是多年生植物且又是在生长季,容易对其周围土壤水分吸收形成土壤资源缺乏区域所致,研究表明多年生草本植物群落较一年生植物往往维持较低的土壤含水量^[29-30]。然而农田-草地边界处土壤水分含量介于农田、草地土壤含水量之间,却表现出高于农田、草地的土壤水分变异系数,则不符合土壤水分越高变异系数越小观点,说明农田-草地界面的土壤水分的变异系数有不同于邻近生态系统的特征,不仅存在土壤水分含量这一影响因素还存在其他引起空间变异系数变化的原因,如界面土壤本身特有一些异质性结构、土壤蒸发、土壤入渗特征或地上植被冠层、植物种类组成等特征差异引起的界面效应^[31],仍需要进一步研究确定影响农田-草地镶嵌体尺度下界面特性的因素,该结果验证了 Cadenasso 等提出的生态界面结构、组成以及发生生态过程往往不同于邻近斑块系统的假设^[2],其原因就土壤水分含量影响而言可能与 Hill 和 Reynold 假设相似,即农田土壤湿润和草地土壤干旱这样的过渡共存现象导致了农田-草地界面有了较高的土壤水分变异系数。因此对于农田-草地镶嵌体土壤水分变异系数来说,在同一研究尺度下比较相对异质的农田-草地边界和相对匀质的农田、草地生态系统三者的土壤水分变异系数时往往表现为土壤含水量与土壤水分变异系数呈非线性的关系,表现为农田-草地界面土壤水分变异系数>草地>农田。

3.2 不同采样粒度下农田-草地镶嵌体土壤水分空间异质性

土壤水分在任何尺度都存在空间异质性,主要受气候土壤质地、植被、地形^[32]、土壤含水量,地下水位及其他气候因子^[18]

的影响,了解土壤水分的空间异质性对可进一步理解研究区域的水文、生态、地理分布格局过程。而往往土壤水分的时空变化具有非线性与复杂性的特点,则需要了解土壤水分空间异质性的尺度效应,以便更好地理解不同尺度下的水文和生态过程^[17]。对于本实验中的农田-草地镶嵌体尺度下的不同采样粒度的农田内部、农田-草地边界、草地内部土壤水分变异系数存在差异,说明了除降雨、土壤质地、地下水位影响外,农田、草地的植物种类(植物种类、根系情况等)对水分利用和吸收的差别是引起土壤水分空间总变异的主要原因。在干旱和半干旱的草地生态系统中土壤特性常常表现为小到单个植物大到整个采样区域的空间异质性尺度差异^[33-34],因为单一植物和植物群落不同空间尺度上会影响土壤特性空间异质性^[35],农田-草地镶嵌体是草原被人为干扰的产物,农作物的单一化,使得原有草原植被形成的土壤特性的空间格局破坏而形成新农田土壤特性的空间格局,并产生农田-草地镶嵌体不同尺度下土壤特性格局,本研究中反映农田在较小粒度 0.5 m×0.5 m、1 m×1 m 下呈完全随机分布的纯金块效应,无空间自相关性,无格局存在,说明原有草地植被被农田替代后,并没有在更小尺度上形成异质性格局而呈随机状态,该结果与 Guo 等研究得出干扰过后生态系统的土壤异质性格局不会产生小于原有生态系统产生异质性结论相似^[28]。因此,农田只有在采样粒度 2 m×2 m 下表现出中等程度的空间自相关性,变程为 27.28 m,说明农田单一的植被类型在该尺度下能够影响土壤水分空间异质性;草原部分自始至终都表现为较好的空间异质性,因为其原始植被及原有放牧干扰后恢复影响下的空间异质性在多年生草本及个别单一优势种对土壤资源的作用下形成草地土壤水分相对稳定的空间异质性,草地土壤水分在 0.5 m×0.5 m 采样粒度下符合指数模型,值为 0.537。其它粒度 1 m×1 m、2 m×2 m 的粒度下符合球状模型,空间异质性值为 0.837 和 0.650,表现较强度空间自相关性;农田-草地界面的土壤水分符合球状模型且在 3 个采样粒度下都呈强空间自相关性,证明了相邻生态系统之间的异质区域存在有生态界面的假设,且不同采样粒度下的土壤水分空间异质性大小表现为在农田-草地界面>草地>农田。农田-草地镶嵌体中的草地土壤水分较农田表现明显的空间异质性结构,其主要原因是两者地上植被的差异,农田主要是 1 年生禾本科植物,而草地则是多年生草本,Parker 等研究表明多年生植物盖度的增加更容易使得土壤水分异质性程度增加,因为多年生植物较 1 年生植物更容易吸收更多的水分而形成资源耗竭区域从而使得土壤资源异质性结构更加稳定^[36]。在本研究中草地表现较稳定的空间异质性结构,农田在较小粒度下表现为完全的随机性符合以上结果的假设。说明在较小尺度上土壤水分异质性主要受是植物群落或个体影响。

农田由于人为开垦,土壤自有空间结构性受植物生长过程以及人为干扰影响而形成较低的空间自相关性,而草地植被本身多年形成了空间自相关性受随机因子影响较小,其主导因子是由结构因子引起较高的空间异质性。农田-草地边界表现出较高的空间自相关性,说明其具有不同于农田、草地的空间异质性程度,在空间异质性方面表现出一定的界面效应,同时从土壤水分空间分布图来看(图 3),土壤水分从农田向草地表现为剧烈变化的过渡类型。Rosenthal 等研究表明在干旱地区,降雨造成较大尺度的土壤水分异质性,但是对于较小尺度下的土壤水分异质性主要是受土壤质地、植被盖度等因素造成的,在沙地与沙丘生态界面过程中,在土壤和植被特性方面往往表现出在比邻近系统更为剧烈的变化特征^[9],其可能的原因是界面过程中利于土壤水分和养分的有效吸收的特征决定的。本次研究中,在地形、土壤结构等外界环境相同的情况下,植被类型的差别和人为耕作是造成农田、草地、农田-草地边界 0—20 cm 土层土壤水分空间异质性差异的主要原因,还需进一步确定其土壤结构、土壤入渗,地上植物种类水分利用特性以及地上植物群落特性等因素对农田-草地镶嵌体的生态界面效应的作用研究。

References:

- [1] Fortin M J, Olson R J, Ferson S, Iverson L, Hunsaker C, Edwards G, Levine D, Butera K, Klemas V. Issue related to the detection of boundaries. *Landscape Ecology*, 2000, 15(5): 453-466.
- [2] Cadenasso M L, Pickett S T A, Weathers K C, Jones C G. A framework for a theory of ecological boundaries. *BioScience*, 2003, 53(8): 750-758.
- [3] Cadenasso M L, Traynor M M, Pickett S T A. Functional location of forest edges: gradients of multiple physical factors. *Canadian Journal of Forest Research*, 1997, 27(5): 774-782.
- [4] Cadenasso M L, Pickett S T A. Linking forest edge structure to edge functions: Mediation of herbivore damage. *Journal of Ecology*, 2000, 88(1): 31-44.
- [5] Ries L, Fagan W. Habitat edges as a potential ecological trap for an insect predator. *Ecological Entomology*, 2003, 28(5): 567-572.
- [6] Alain B, Gilles P, Yannick D. Factors driving small rodents assemblages from field boundaries in agricultural landscapes of western France. *Landscape Ecology*, 2006, 21(3): 449-461.
- [7] Wang Y G, Xiao D N, Li Y. Temporal-spatial change in soil degradation and its relationship with landscape types in a desert-oasis ecotone: a case study in the Fubei region of Xinjiang Province, China. *Environmental Geology*, 2007, 51(6): 1019-1028.
- [8] Fonseca C R, Jone F. Two-Sided edge effect studies and the restoration of endangered ecosystems. *Restoration Ecology*, 2007, 15(4): 613-619.
- [9] Rosenthal D M, Ludwig F, Donovan L A. Plant responses to an edaphic gradient across an active sand dune/desert boundary in the great basin desert. *International Journal of Plant Sciences*, 2005, 166(2): 247-255.
- [10] Li H D, Shen W S, Zou C X, Jiang J, Fu L N, She G G. Spatio-temporal variability of soil moisture and its effect on vegetation in a desertified aeolian riparian ecotone on the Tibetan Plateau, China. *Journal of Hydrology*, 2013, 479: 215-225.
- [11] Wang K. Study on space evolvement mechanism of grassland and field community in ecotone between agriculture and animal husbandry in North China. *Acta Agrestia Sinica*, 2000, 8(4): 267-272.

- [12] Cao Y H, Lin C C, Wang D L. Spatial characteristics of vegetation rehabilitation in landscape boundary. *Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition*, 2003, 35(2): 74-79.
- [13] Liu H L, Wang Y M, Dou X, Xu M Y, Wang K. Progress and perspective of agro-pasturage ecotone. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8): 4420-4425.
- [14] Lakhankar T, Jones A S, Combs C L, Sengupta M, Vonder Haar T H, Khanbilvardi R. Analysis of large scale spatial variability of soil moisture using a geostatistical method. *Sensors*, 2010, 10(1): 913-932.
- [15] Brocca L, Melone F, Moramarco T, Morbidelli R. Spatial-temporal variability of soil moisture and its estimation across scales. *Water Resources Research*, 2010, 46(2): w02516.
- [16] Brocca L, Tullo T, Melone F, Moramarco T, Morbidelli R. Catchment scale soil moisture spatial-temporal variability. *Journal of Hydrology*, 2012, 422-423: 63-75.
- [17] Western A W, Grayson R B, Blöschl G. Scaling of soil moisture: A Hydrologic Perspective. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2002, 30(1): 149-180.
- [18] Famiglietti J S, Ryu D, Berg A A, Rodell M, Jackson T J. Field observations of soil moisture variability across scales. *Water Resources Research*, 2008, 44(1): w01423.
- [19] Bauerle T L, Smart D R, Bauerle W L, Stockert C, Eissenstatl D M. Root foraging in response to heterogeneous soil moisture in two grapevines that differ in potential growth rate. *New Phytologist*, 2008, 179(3): 857-866.
- [20] Zhao Y, Peth S, Hallett P, Wang X Y, Giese M, Gao Y Z, Horn R. Factors controlling the spatial patterns of soil moisture in a grazed semi-arid steppe investigated by multivariate geostatistics. *Ecohydrology*, 2011, 4(1): 36-48.
- [21] Fagan W F, Fortin M J, Soykan C. Integrating edge detection and dynamic modeling in quantitative analyses of ecological boundaries. *BioScience*, 2003, 53(8): 730-738.
- [22] Yonker C M, Schimel D S, Paroussis E, Heil R E. Patterns of organic carbon accumulation in a semiarid shortgrass steppe, Colorado. *Soil Science Society of America Journal*, 1988, 52(2): 478-483.
- [23] Cambardella C A, Moorman T B, Parkin T B, Karlen D L, Novak J M, Turco R F, Konopka A E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, 58(5): 1501-1511.
- [24] Robinson M, Dean T J. Measurement of near surface soil water content using a capacitance probe. *Hydrological Process*, 1993, 7(1): 77-86.
- [25] Owe M, Jones E B, Schmutge T J. Soil moisture variation patterns observed in hand county, South Dakota. *Water Resource Bulletin*, 1982, 18(6): 949-954.
- [26] Zuo X A, Zhao X Y, Zhao H L, Li Y L, Yi X Y, Huang G. Spatial variability of soil moisture responding to drought and rainfall in sandy grassland of Horqin. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(1): 140-144.
- [27] Hills R C, Reynolds S G. Illustrations of soil moisture variability in selected areas and plots of different sizes. *Journal of Hydrology*, 1969, 8(1): 27-47.
- [28] Guo D L, Mou P, Jones R H, Mitchell R J. Temporal changes in spatial patterns of soil moisture following disturbance: An experimental approach. *Journal of Ecology*, 2002, 90(2): 338-347.
- [29] Holmes T H, Rice K J. Patterns of growth and soil-water utilization in some exotic annuals and native perennial bunchgrasses of California. *Annals of Botany*, 1996, 78(2): 233-243.
- [30] Seabloom E W, Harpole W S, Reichman O J, Tilman D. Invasion, competitive dominance, and resource use by exotic and native California grassland species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2003, 100(23): 13384-13389.
- [31] Seyfried M S, Wilcox B P. Scale and the nature of spatial variability: Field examples having implications for hydrologic modeling. *Water Resources Research*, 1995, 31(1): 173-184.
- [32] Entin J K, Robock A, Vinnikov K Y, Hollinger S E, Liu S X, Namkhai A. Temporal and spatial scales of observed soil moisture variations in the extratropics. *Journal of Geophysical Research*, 2000, 105(D9): 11865-11877.
- [33] Hook P B, Burke I C, Lanenroth W R. Heterogeneity in soil and plant N and C associated with individual plants and openings in North American shortgrass steppe. *Plant and Soil*, 1991, 138(2): 247-256.
- [34] Chapin III F S, Matson P A, Mooney H A. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. New York: Springer, 2002. 50-57.
- [35] Parker S, Schimel J P. *Nassella pulchra* and spatial patterns in soil resources in native California grassland. *Grasslands*, 2010, 10: 11-15.
- [36] Parker S, Seabloom E W, Schimel J P. Grassland community composition drives small-scale spatial patterns in soil properties and processes. *Geoderma*, 2012, 170: 269-279.

参考文献:

- [11] 王堃. 华北农牧交错带草原——农田群落空间演变机制的研究. *草地学报*, 2000, 8(4): 267-272.
- [12] 曹勇宏, 林长纯, 王德利, 张宝田. 农田-草原景观界面中植被恢复的空间特征. *东北师大学报: 自然科学版*, 2003, 35(2): 74-79.
- [13] 刘洪来, 王艺萌, 窦潇, 徐敏云, 王堃. 农牧交错带研究进展. *生态学报*, 2009, 29(8): 4420-4425.
- [26] 左小安, 赵学勇, 赵哈林, 李玉霖, 移小勇, 黄刚. 科尔沁沙地沙质草场土壤水分对干旱和降雨响应的空间变异性. *水土保持学报*, 2005, 9(1): 140-144.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.19 Oct., 2013 (Semimonthly)
CONTENTS

A review of ecosystem services and research perspectives	MA Fengjiao, LIU Jintong, A. Egrinya Eneji (5963)
Sexual interference in non-human primates	YANG Bin, WANG Chengliang, JI Weihong, et al (5973)
Density-dependent effect on reproduction of rodents; a review	HAN Qunhua, GUO Cong, ZHANG Meiwen (5981)
Proximate and ultimate determinants of food chain length	WANG Yuyu, XU Jun, LEI Guangchun (5990)
Mechanism of biological control to plant diseases using arbuscular mycorrhizal fungi	 LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LI Yuanyuan, et al (5997)
Advances in effects of conservation tillage on soil organic carbon and nitrogen	 XUE Jianfu, ZHAO Xin, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, et al (6006)
Habitat selection of the pre-released giant panda in Wolong Nature Reserve	 ZHANG Mingchun, HUANG Yan, LI Desheng, et al (6014)
Activity rhythm and behavioral time budgets of wild Reeves's Pheasant (<i>Syrmaticus reevesii</i>) using infrared camera	 ZHAO Yuze, WANG Zhichen, XU Jiliang, et al (6021)
The energy budget of tree sparrows <i>Passer montanus</i> in wind different speed and duration	 YANG Zhihong, WU Qingming, DONG Haiyan, et al (6028)
Nest site characteristics of <i>Petaurista caniceps</i> in Baima Snow Mountain Nature Reserve	 LI Yanhong, GUAN Jinke, LI Dayong, HU Jie (6035)
Effects of habitat fragmentation on the genetic diversity of <i>Pachycondyla luteipes</i> on islands in the Thousand Island Lake, East China	 LUO Yuanyuan, LIU Jinliang, HUANG Jiuling, et al (6041)
The molecular genetic relationship between the pollinators of <i>Ficus pumila</i> var. <i>pumila</i> and <i>Ficus pumila</i> var. <i>aukeotsang</i>	 WU Wenshan, CHEN Youling, SUN Lingli, et al (6049)
The genetic evolutionary relationships of two <i>Eupristina</i> species on <i>Ficus altissima</i>	 CHEN Youling, SUN Lingli, WU Leilei, et al (6058)
Metal uptake and root morphological changes for two varieties of <i>Salix integra</i> under cadmium stress	 WANG Shufeng, SHI Xiang, SUN Haijing, et al (6065)
Effects of phthalic acid on seed germination, membrane lipid peroxidation and osmoregulation substance of radish seedlings	 YANG Yanjie, WANG Xiaowei, ZHAO Kang, et al (6074)
The morphological and physiological responses of <i>Tamarix ramosissima</i> seedling to different irrigation methods in the extremely arid area	 MA Xiaodong, WANG Minghui, LI Weihong, et al (6081)
Response characteristics of photosynthetic and physiological parameters in <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i> seedling leaves to soil water in sand habitat formed from seashells	 WANG Rongrong, XIA Jiangbao, YANG Jihua, et al (6088)
Effects of ceramsite mulching on soil water content, photosynthetic physiological characteristics and growth of plants	 TAN Xuehong, GUO Xiaoping, ZHAO Tingning (6097)
Dynamics of tannin concentration and nutrient resorption for branchlets of <i>Casuarina equisetifolia</i> plantations at different ages	 YE Gongfu, ZHANG Shangju, ZHANG Lihua, et al (6107)
Sulfur contents in leaves and branches of dominant species among the three forest types in the Pearl River Delta	 PEI Nancai, CHEN Bufeng, ZOU Zhijin, et al (6114)
Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth dynamics of <i>Bauhinia faberi</i> seedlings	 SONG Chengjun, QU Laiye, MA Keming, et al (6121)
Characteristics of ion accumulation and seed germination for seeds from plants cultured at different concentrations of nitrate nitrogen and salinity	 ZHOU Jiachao, FU Tingting, ZHAO Weiwei, et al (6129)
Physio-ecological effects of endophyte infection on the host grass with elevated CO ₂	 SHI Zhibing, ZHOU Yong, LI Xia, et al (6135)
Effects of pretreatment on germination of <i>Typha domingensis</i> and <i>Phragmites australis</i>	 MENG Huan, WANG Xuehong, TONG Shouzheng, et al (6142)
Transfer characteristics of cadmium from soil to <i>Salix × aureo-pendula</i>	 ZHANG Wen, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (6147)
Effect of Close-to-Nature management on the natural regeneration and species diversity in a masson pine plantation	 LUO Yinghua, SUN Dongjing, LIN Jianyong, et al (6154)
Population dynamics and seed banks of the threatened seagrass <i>Halophila beccarii</i> in Pearl Bay, Guangxi	 QIU Guanglong, FAN Hangqing, LI Zongshan, et al (6163)
Effects of biological crusts on dew deposition and evaporation in the Southern Edge of the Mu Us Sandy Land, Northern China	 YIN Ruiping, WU Yongsheng, ZHANG Xin, et al (6173)
Life history characteristics and spatial distribution of <i>Populus pruinosa</i> population at the upper reaches of Tarim River	 HAN Lu, XI Linqiao, WANG Jiaqiang, et al (6181)
Interactive effects of short-term nitrogen enrichment and simulated grazing on ecosystem respiration in an alpine meadow on the Tibetan Plateau	 ZONG Ning, SHI Peili, JIANG Jing, et al (6191)

- The correlation between soil water salinity and plant community distribution under micro-topography in Songnen Plain YANG Fan, WANG Zhichun, WANG Yunhe, et al (6202)
- Comparison of TSP, PM_{2.5} and their water-soluble ions from both inside and outside of Dafushan forest park in Guangzhou during rainy season XIAO Yihua, LI Jiong, KUANG Yuanwen, et al (6209)
- Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago II. Spatio-temporal patterns of community structure WANG Zhenhua, ZHAO Jing, WANG Kai, et al (6218)
- Interannual variation in the population dynamics of snailfish *Liparis tanakae* in the Yellow Sea CHEN Yunlong, SHAN Xiujuan, ZHOU Zhipeng, et al (6227)
- Spatial and temporal variation of soil macro-fauna community structure in three temperate forests LI Na, ZHANG Xueping, ZHANG Limin (6236)
- Community structure and species biodiversity of fig wasps in syconia of *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. in Fuzhou CHEN Youling, CHEN Xiaoqian, WU Wenshan, et al (6246)
- Marine ecological capital: valuation methods of marine ecosystem services CHEN Shang, REN Dachuan, XIA Tao, et al (6254)
- Geomorphologic regionalization of China aimed at construction of nature reserve system GUO Ziliang, CUI Guofa (6264)
- Impact of ecological vegetation construction on the landscape pattern of a Loess Plateau Watershed YI Yang, XIN Zhongbao, QIN Yunbin, et al (6277)
- Spatial heterogeneity of soil moisture across a cropland-grassland mosaic: a case study for agro-pastoral transition in north of China WANG Hongmei, WANG Zhongliang, WANG Kun, et al (6287)
- The regional diversity of changes in growing duration of spring wheat and its correlation with climatic adaptation in Northern China E Youhao, HUO Zhiguo, MA Yuping, et al (6295)
- Response of soil physical-chemical properties to rocky desertification succession in South China Karst SHENG Maoyin, LIU Yang, XIONG Kangning (6303)
- Prediction of the effects of climate change on the potential distribution of mire in Northeastern China HE Wei, BU Rencang, LIU Hongjuan, et al (6314)
- Soil nitrogen mineralization and associated temperature sensitivity of different Inner Mongolian grasslands ZHU Jianxing, WANG Qiufeng, HE Nianpeng, et al (6320)
- Effects of land use on soil nutrient in oasis-desert ecotone in the middle reach of the Heihe River MA Zhimin, LÜ Yihe, SUN Feixiang, et al (6328)
- Assessment on heavy metal pollution status in paddy soils in the northern Chengdu Plain and their potential ecological risk QIN Yusheng, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (6335)
- Relationship between the temporal-spatial distribution of longline fishing grounds of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and the thermocline characteristics in the Central Atlantic Ocean YANG Shenglong, MA Junjie, ZHANG Yu, et al (6345)
- Biological nitrogen fixation in the upper water column in the south Taiwan Strait during summer 2011 LIN Feng, CHEN Min, YANG Weifeng, et al (6354)
- Storage and drivers of forests carbon on the Beichangshan Island of Miaodao Archipelago SHI Honghua, WANG Xiaoli, WANG Ai, et al (6363)
- Impact of changes in vegetation types on soil C mineralization and associated temperature sensitivity in the Changbai Mountain forests of China WANG Dan, LÜ Yuliang, XU Li, et al (6373)
- Analysis of relationship between genetic structure of Chinese Pine and mountain barriers MENG Xiangxiang, DI Xiaoyan, WANG Mengben, et al (6382)
- Soil organic carbon interpolation based on auxiliary environmental covariates: a case study at small watershed scale in Loess Hilly region WEN Wen, ZHOU Baotong, WANG Yafeng, et al (6389)
- Eco-management benefit analysis of industrial resources from life cycle perspective: a case study of a virtual symbiosis network SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, YANG Jianxin (6398)
- The game analysis between poverty and environment in ecologically fragile zones QI Xinhua, YE Shilin, CHENG Yu, et al (6411)
- The coupling development of economy and environment under the background of World Expo in Shanghai NI Yao, YUE Wenzhe, ZHANG Yuntang, et al (6418)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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

本期责任副主编 陈利顶

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 33 卷 第 19 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 19 (October, 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	Editor-in-chief	WANG Rusong
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: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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元