

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 22 期
Vol.30 No.22
2010



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 30 卷 第 22 期 2010 年 11 月 (半月刊)

目次

高温对水稻叶片蛋白质表达的影响·····	曹云英,段 骅,王志琴,等 (6009)
茶园间作柑桔杨梅或吊瓜对叶蝉及蜘蛛类群数量和空间格局的影响·····	叶火香,崔 林,何迅民,等 (6019)
鼠尾藻生长与生殖的权衡·····	张树宝,唐永政,王志芳,等 (6027)
不同氮素水平下超高产夏玉米冠层的高光谱特征·····	陈国庆,齐文增,李 振,等 (6035)
近 100 年植被破坏侵蚀环境下土壤质量退化过程的定量评价 ·····	郑粉莉,张 锋,王 彬 (6044)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分的空间异质性·····	邱开阳,谢应忠,许冬梅,等 (6052)
CO ₂ 浓度倍增对干旱胁迫下黄瓜幼苗膜脂过氧化及抗氧化系统的影响 ·····	李清明,刘彬彬,艾希珍 (6063)
小兴安岭阔叶红松林粗木质残体空间分布的点格局分析·····	刘妍妍,金光泽 (6072)
光照对鄂东南 2 种落叶阔叶树种幼苗生长、光合特性和生物量分配的影响 ·····	杨 莹,王传华,刘艳红 (6082)
不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响·····	林超文,罗春燕,庞良玉,等 (6091)
黄土残塬沟壑区流域次生植被物种分布的地形响应·····	王盛萍,张志强,张建军,等 (6102)
农村土地经营权流转对区域景观的影响——以北京市昌平区为例·····	刘 同,李 红,孙丹峰,等 (6113)
基于农户响应的北方农牧交错带生态改善策略·····	徐建英,柳文华,常 静,等 (6126)
滨岸不同植物配置模式的根系空间分布特征·····	仲启铖,杜 钦,张 超,等 (6135)
三江平原小叶章湿地剖面土壤微生物活性特征·····	杨桂生,宋长春,宋艳宇,等 (6146)
不同水分处理对湿地松幼苗生长与根部次生代谢物含量的影响·····	李昌晓,魏 虹,吕 茜,等 (6154)
生活污水慢渗生态处理对土壤及杨树生长的影响·····	白保勋,杨海青,樊 巍,等 (6163)
玉米连作及其施肥对土壤微生物群落功能多样性的影响·····	时 鹏,高 强,王淑平,等 (6173)
茶园 4 种半翅目主要害虫与其捕食性天敌的关系·····	周夏芝,毕守东,柯胜兵,等 (6183)
采煤塌陷地不同施肥处理对土壤微生物群落结构的影响·····	李金岚,洪坚平,谢英荷,等 (6193)
典型区域果园表层土壤 5 种重金属累积特征·····	杨世琦,刘国强,张爱平,等 (6201)
工业园区氮代谢——以江苏宜兴经济开发区为例·····	武娟妮,石 磊 (6208)
公路绿化带对路旁土壤重金属污染格局的影响及防护效应——以山西省主要公路为例·····	王 慧,郭晋平,张芸香,等 (6218)
奥运期间北京 PM _{2.5} 、NO _x 、CO 的动态特征及影响因素 ·····	曾 静,廖晓兰,任玉芬,等 (6227)
新疆绿洲农田土壤-棉花系统 9 种矿质元素生物循环特征 ·····	韩春丽,刘 娟,张旺锋,等 (6234)
甘肃省黄土高原旱作玉米水分适宜性评估·····	姚小英,蒲金涌,姚茹莘,等 (6242)
基于粪便 DNA 的马鹿种群数量和性比 ·····	田新民,张明海 (6249)
专论与综述	
水生态功能分区研究中的基本问题·····	唐 涛,蔡庆华 (6255)
土壤水分遥感监测研究进展·····	杨 涛,官辉力,李小娟,等 (6264)
中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施·····	邓振镛,王 强,张 强,等 (6278)
问题讨论	
城市物质流分析框架及其指标体系构建·····	陈 波,杨建新,石 焱,等 (6289)
研究简报	
湖南会同不同退耕还林模式初期碳密度、碳贮量及其空间分布特征 ·····	田大伦,尹刚强,方 晰,等 (6297)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 300 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 32 * 2010-11

毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤 养分的空间异质性

邱开阳¹, 谢应忠^{1,2,*}, 许冬梅^{1,2}, 时项锋^{1,2}, 刘丽丹^{1,2}, 齐拓野^{1,2}, 马涛¹

(1. 宁夏大学 西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地, 银川 750021; 2. 宁夏大学 草业科学研究所, 银川 750021)

摘要:毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域是沙地-草地景观界面的关键部位,研究该区域土壤养分的空间格局和生态学过程,对于土地沙漠化的机理研究具有重要的意义。采用经典统计与地统计学相结合的方法,通过半变异函数及其模型、克里格局部插值估计、空间分布图等研究了毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分的空间异质性特征。结果表明:研究区土壤速效钾含量符合球状模型,全氮和速效磷含量符合指数模型;速效钾含量具有强空间自相关性,其结构方差比为 0.882,而全氮和速效磷含量表现为中等程度的空间自相关性,其结构方差比分别为 0.501 和 0.514;3 种土壤养分空间自相关距离存在差异,其中全氮和速效钾的变程均为 511m,而速效磷的变程为 143m;3 种土壤养分的分布格局呈现明显的空间规律性,从牛枝子群落到黑沙蒿群落,速效钾和速效磷含量先降低后升高,与研究区的界面变化过程一致,而全氮含量逐渐降低,与研究区的植被覆盖度变化一致;3 种土壤养分的标准差都较小,Kriging 插值结果比较可靠。

关键词:沙漠化临界区域;土壤养分;空间异质性;景观界面;毛乌素沙地

Spatial heterogeneity of soil nutrients in the critical area of desertification in Southern Mu Us Sandy Land

QIU Kaiyang¹, XIE Yingzhong^{1,2,*}, XU Dongmei^{1,2}, SHI Xiangfeng^{1,2}, LIU Lidan^{1,2}, QI Tuoye^{1,2}, MA Tao¹

1 Breeding Base of State Key Laboratory for Preventing Land Degradation and Ecological Restoration, Ningxia University, Yinchuan 750021, China

2 Institute of Grassland Sciences, Ningxia University, Yinchuan 750021, China

Abstract: The Southern edge of Mu Us Sandy Land is the frontier of land desertification. Conservation and sustainable use of the vegetation in this sandy land-grassland transition area is crucial for preventing vegetation deterioration in the sandy land and its bordering areas. Investigating spatial heterogeneity of soil nutrients and relevant ecological processes in this critical area is useful to understand the processes and mechanisms of land desertification, and helpful for sustainable land use planning. Based on the field survey along a sandy land-grassland transect, we analyzed the heterogeneity of soil nutrients using the geostatistical techniques such as semivariogram, Kriging interpolation, and spatial distribution maps. Results showed that (1) The semivariogram of soil available potassium (K) was best described by the spherical model and that of soil total nitrogen (N) and soil available phosphorus (P) were best described by the exponential model. Soil available K showed a characteristic of strong spatial autocorrelation, and 88.2% of the variation was found within the distance of 511m. Soil total N and available P showed a modest degree of autocorrelation; and 50.1% and 51.4% of the variation were found within the distance of 511m and 143 m respectively. Geostatistical analysis indicated that spatial variation in soil available P occurred in a small scale; whereas ecological processes determining soil total N and available K contents exerted their effects in a larger scale. (2) Regular spatial patterns of all the 3 soil nutrients were identified. The content of soil available K and P decreased at first and then increased along the transect from *Lespedeza potaninii* community

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30860200);国家自然科学基金资助项目(30960268);国家 973 计划前期研究资助项目(2010CB434805)

收稿日期:2010-06-11; **修订日期:**2010-10-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xieyz@nxu.edu.cn

to *Artemisia ordosica* community; and this trend was approximately consistent with the changing process of the ecological boundary in the study area. While the change of soil total N along the transect was quite different, decreasing gradually from *Lespedeza potaninii* community to *Artemisia ordosica* community, which corresponded with the decrease in vegetation cover. (3) The spatial distribution of the standard deviations of the contents of all these soil nutrients showed very lower values, confirmed the accuracy of Kriging interpolation in this study. (4) The spatial pattern of soil nutrients was closely related with distribution of vegetation types. Distribution of soil nutrients was also related with soil type, micro-topography, plant litter composition, soil animal activity and grazing. Existence of aeolian sandy soil and arenosol in the study area resulted in some variation in soil nutrients content. The wavy topography also affected the movement of soil nutrients and consequently their distribution. Vegetation changes along the sandy land-grassland transect had different species composition and productivity, and different plant litter composition and activities of soil invertebrates and microbes. Also, grazing had profound effects of soil nutrients through excreta deposition. More intense grazing in the area of *Lespedeza potaninii* community and *L. potaninii*-*Artemisia ordosica* community boundary area (good quality forages) than in the area of *Artemisia ordosica* community (which contained poisonous plants such as *Cynanchum komarovii*) caused different nutrient cycling rate in these areas. (5) The strong wind in the study area also had a big effect on the process of desertification. The strong wind, combined with the effect of "islands of fertility" led to the rapid process of desertification of the semiarid grassland. These research findings provided the basis for understanding vegetation degradation and desertification processes and useful for land use planning in this fragile transitional region of the sandy land and grassland.

Key Words: transitional area; desertification; soil nutrient; spatial heterogeneity; landscape boundary; Mu Us Sandy Land

空间异质性是生态系统的一个主要属性^[1],也是产生空间格局的主要原因^[2],与生态系统的功能和过程之间有着密切的联系。在草原群落生态演替过程中,土壤属性的空间异质性是植被空间分布差异的主要原因^[3]。生物或非生物因子空间异质性的研究,对于描述生态因子的空间自相关性、绘制生态因子分布图以及设计抽样方案等,都具有重要意义^[4]。

毛乌素沙地是我国的 12 大沙区之一,是典型的生态过渡带,具有独特的生态地理景观。国内学者对毛乌素沙地南缘的土壤特性已进行了一定的研究,唐艳等^[5]对灌丛沙丘土壤水分与粒度特征进行研究,指出植被决定沙丘土壤水分的动态变化;刘建忠等^[6]认为表层土壤经免耕处理后肥力下降;许冬梅分别对毛乌素沙地南缘生态过渡带土壤微生物特征^[7]、土壤酶活性^[8]以及植被和土壤的理化性质^[9]进行研究。关于土壤养分的时空异质性国内外也有大量的研究工作^[10],特别是土壤养分空间异质性的尺度问题,已进行了深入的量化研究^[11],对土壤养分空间特征^[12]及其预测^[13]和影响因素^[14-15]也有较多的分析,取得了一定的成果。但总体上国内的研究相对薄弱,且以往关于土壤养分空间异质性的研究主要集中在农田^[16-17]、绿洲^[18]、高寒草甸^[19]、黄土丘陵^[12,20-21],以及湿地^[14]、喀斯特山区^[22]和典型草原^[23]等生态系统,而对沙化草地生态系统土壤养分空间变异的研究则很少报道;另外,国内已有的研究主要是在大尺度上进行^[24-25],而小尺度上的深入研究则相对较少;对于沙化临界区域土壤养分的空间异质性也还没有专门的探讨。

因此,本文以毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域为研究对象,在小尺度范围内研究土壤养分的空间变异规律及其影响因素,以揭示土壤养分在沙化草地小尺度区域的空间格局,为深入研究沙漠化临界区域、进一步揭示土地沙漠化机理和加强沙化临界区域的生态管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于宁夏盐池县四墩子村,107°15'3"—107°18'40"E,37°45'12"—37°47'20"N,属于典型的中温带大陆性气候,年平均气温 7.7℃,1 月份平均气温 -8.9℃,7 月份平均气温 22.5℃,≥0℃ 积温为 3430.3℃,

$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 2949.9 $^{\circ}\text{C}$ 。年平均降水量 250—350mm,大部分集中在 6—8 月份;年蒸发量 2136mm;年无霜期 162d。土壤类型主要为淡灰钙土。主要植物种有:蒙古冰草 (*Agropyron mongolicum*)、牛枝子 (*Lespedeza potaninii*)、黑沙蒿 (*Artemisia ordosica*)、长芒草 (*Stipa bungeana*)、赖草 (*Leymus secalinus*)、甘草 (*Glycyrrhiza uralensis*)、牛心朴子 (*Cynanchum komarovii*)、猪毛蒿 (*Artemisia scoparia*)、二裂委陵菜 (*Potentilla bifurca*) 等。

研究区位于毛乌素沙地南缘,处于典型草原向沙地的过渡地带,许冬梅^[26]于 2007 年对毛乌素沙地南缘沙地-典型草原景观界面进行了定量判定,结果显示,沙地-典型草原景观界面存在 4 个沙化临界区域,本文选取其中一个临界区域作为研究对象。该研究区域虽然只是 4 个沙漠化临界区域中的一个,但由于景观界面本身就是一个动态的实体,各沙漠化临界区域虽然处在不同的位置,但本质是一致的,所揭示的沙漠化演变规律也趋于一致。因此,对该临界区域界面过程的探讨,能够较好地反映毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域的整体水平。

本研究是在沙地-典型草原景观界面大尺度研究^[26]的基础上开展的小尺度研究,其研究区和研究结果都只能代表小尺度上的状况,反映沙漠化临界区域尺度范围内的属性特征。

1.2 样品采集

于 2009 年 8 月植物生长最旺盛时期,选取典型草原-沙地景观界面其中的一个沙化临界区域,采用样线法采样。由于研究区同时是一个群落交错带,植被由牛枝子群落逐渐过渡到黑沙蒿群落。因此,在研究区自牛枝子群落内部开始,至黑沙蒿群落内部,设置 3 条 300m 长的平行样线,相邻两条样线之间间隔 50m,在每条样线上每隔 10m 设置一个 1m $\times$ 1m 的样方(图 1)。在每个样方内按照梅花状取样,每个点分别采集 0—5cm 和 5—10cm 的土样,将同一层次的 5 个样混合,用于土壤理化性质分析。

1.3 分析方法

土壤全氮采用凯氏定氮法;速效钾采用醋酸氨浸提,火焰光度法;速效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法^[27]。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 进行数据的录入、整理和初步分析;采用 SPSS 13.0 进行土壤养分的描述性统计分析、正态分布检验等;采用地统计学软件 GS + (version 5.1) 进行土壤养分空间变异特征和空间分布格局的插值分析。

描述性统计通过平均值、标准差和变异系数(CV)等反映土壤养分的平均水平和总变异程度。一般认为, $CV < 0.1$ 为弱变异, CV 在 0.1—1.0 之间为中等变异, $CV > 1.0$ 为强变异^[28]。正态分布检验采用一个样本柯尔莫哥洛夫-斯米诺夫检验(One sample Kolmogorov-Smirnov Test),区域化变量一般要求符合正态分布才能进行地统计学分析。

空间变异特征采用半变异函数 $\gamma(h)$ 建立理论模型,半变异函数计算公式如下:

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

式中, $\gamma(h)$ 为半变异函数, h 是两样点间空间间隔距离, $N(h)$ 为间隔距离为 h 时的样点对的总数, $Z(x_i)$ 、 $Z(x_{i+1})$ 分别是区域化变量 $Z(x)$ 在空间位置 x_i 和 x_{i+1} 的实测值^[29]。半变异函数有 4 个重要的参数,分别为基台值、块金方差、结构方差比和变程。结构方差比 ($C/C_0 + C$) 小于 25% 表示弱空间自相关;该值在 25%—

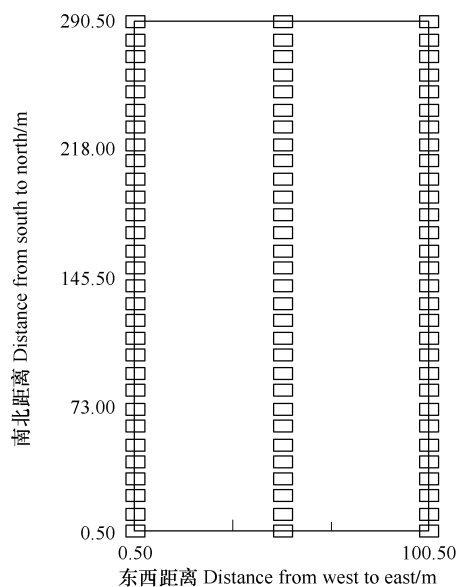


图 1 研究地样点分布示意图

Fig. 1 Sketch map of sample points in the study area

75% 之间表示中等程度的空间自相关;该值大于 75% 表示强空间自相关^[30]。

使用块段克里格(block kriging)对土壤养分进行局部插值估计,进行交叉证实检验,绘制研究区土壤养分的空间格局分布图,同时输出各自的标准差分布图,可以判断克里格插值的结果是否可靠^[31],标准差的值越小,说明克里格插值的结果越可靠。

2 结果与讨论

2.1 土壤养分含量的描述性统计分析及正态分布检验

研究区土壤全氮、速效钾和速效磷的变异系数在 0.363—0.454 之间,都属于中等变异程度,其中土壤全氮的变异系数最小,为 0.363,而土壤速效钾的变异系数最大,为 0.454(表 1)。另外,3 种土壤养分各自的平均值与中数之间都比较接近,表明它们都呈现较好的中心趋向分布;而 K-S 检验结果显示,土壤 3 种养分的显著性值 Sig. 均大于 0.05,不能拒绝关于数据分布的原始假设,因此它们的数据都符合正态分布^[32],可以直接进行地统计学分析。偏度是度量数据分布对称性的一个指标,该值等于 0 时数据完全对称分布;该值大于 0 时数据左偏;该值小于 0 时数据右偏。土壤 3 种养分的偏度都大于 0,数据分布都向左偏,都带有一个较长的右尾(图 2)。峰度是度量数据正态分布峰高的指标,该值等于 0 为标准正态分布;该值大于 0 时数据分布比标准正态分布的峰高;该值小于 0 时数据分布比标准正态分布的峰低^[32]。土壤全氮、速效钾和速效磷的峰度均大于 0,表明 3 者的数据分布都比标准正态分布的峰高(图 2)。

表 1 毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分描述性统计分析及 K-S 检验

分析项目 Analysis items	平均值 Mean	中数 Median	最大值 Max	最小值 Min	变异系数 CV	标准差 Std.	偏度 Skew	峰度 Kurtosis	K-S 值 K-S value	分布类型 Distribution
全氮/(g/kg)	0.162	0.155	0.314	0.017	0.363	0.059	0.319	0.078	0.556	正态
速效钾/(mg/kg)	92.630	91.209	209.920	8.420	0.454	42.063	0.513	0.131	0.549	正态
速效磷/(mg/kg)	4.214	3.887	9.558	0.829	0.402	1.693	1.052	1.731	0.057	正态

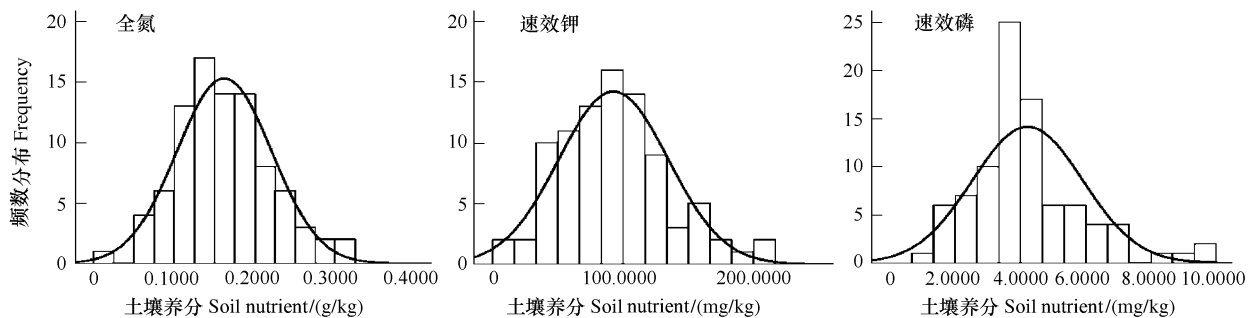


图 2 毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分频数分布和正态曲线图

Fig. 2 Frequency distribution and Normal curve of soil nutrients along the critical area of desertification in South Edge of Mu Us Sandy Land

2.2 土壤养分含量空间异质性特征

在研究区域内,土壤速效钾的半变异函数拟合为球状模型,决定系数 r^2 为 0.943(表 2,图 3),模型配合的理论曲线的精度较高^[29],结构方差比为 0.882,表明土壤速效钾具有强空间自相关性;土壤全氮和速效磷的半变异函数均拟合为指数模型,决定系数 r^2 分别为 0.552 和 0.944,虽然全氮的决定系数较速效钾和速效磷低,但还是可以接受的。土壤全氮和速效磷的结构方差比分别为 0.501 和 0.514,均属于中等程度的空间自相关性。变程是空间自相关范围的度量,在变程之内区域化变量空间自相关,在变程之外则不具有空间自相关。研究区速效磷的变程最小,为 143m,全氮和速效钾的变程均为 510.9m,是速效磷变程的 3 倍以上(表 2)。残差平方和(Rss)是衡量拟合模型优劣的另一个参数, Rss 越小,说明实际观测值与回归线越靠近,拟合的曲线与

实际配合得越好^[29]。研究区 3 种土壤养分的 R_{ss} 均较小(表 2),说明所获得的模型能较好地反映实际的水平。

表 2 毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分半变异函数理论模型及相关参数

Table 2 Parameters of theoretical semivariance models for soil nutrients along the critical area of desertification in South Edge of Mu Us Sandy Land

土壤养分 Soil nutrients	模型 Model	块金值 Nugget C_0	基台值 Sill	变程 Range A_0 (m)	结构方差: 基台值 $C/C_0 + C$	决定系数 r^2	残差平方和 R_{ss}
全氮	指数	0.00288	0.00577	510.900	0.501	0.552	4.705×10^{-7}
速效钾	球状	0.0123	0.1045	510.900	0.882	0.943	1.893×10^{-4}
速效磷	指数	1.784	3.671	143.000	0.514	0.944	0.107

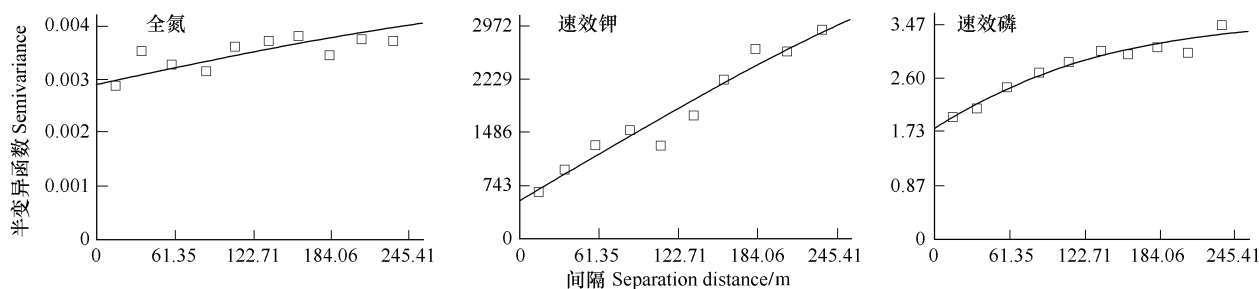


图 3 毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分半变异函数图

Fig. 3 Semivariograms of soil nutrients along the critical area of desertification in South Edge of Mu Us Sandy Land

研究空间变化有利于认识各种生态学过程的控制作用^[33-34]。土壤养分的空间分布格局与生态学过程之间存在密切的联系,土壤养分的高低可能反映单个植株^[35-36]乃至整个景观^[37-38]植被类型的分布。通常生态学过程包括干扰传播、水文及小气候动态、景观演替等^[39],有生物方面的,也有非生物方面的,它们共同导致了土壤养分的空间异质性,其中生物过程包括生物的吸收利用与植被的土壤养分效应,非生物过程包括雨水的冲刷、淋移等。格局与过程之间的关系可以表述为过程产生格局,格局反作用于过程^[39]。

半变异函数是研究土壤空间异质性格局与过程的有力工具。王军等^[12]在研究中指出,半变异函数能把土壤养分异质性和生态学过程有效地联系起来。土壤特性的空间变异包括系统变异和随机变异,其中系统变异是由结构性因素引起的,而随机变异是由随机性因素引起的。结构性因素包括地形、气候、土壤类型、地下水位和成土母质等非人为的因素,而随机性因素包括人为干扰、实验误差以及小于取样尺度上空间变量的自相关结构等因素^[28,39]。

研究区土壤速效钾表现为强空间自相关性,表明结构性因素在其空间总变异中发挥主导作用,速效钾在空间分布上具有明显的结构特征;土壤全氮和速效磷表现为中等程度的空间自相关性,表明结构性因素和随机性因素在全氮和速效磷的空间分布中共同发挥作用。土壤养分空间自相关程度的差异表明,决定速效钾与全氮和速效磷的空间过程不同:钾易于从植物的躯体组织中淋溶,而速效磷含量则取决于有机态磷的矿化和植物及微生物的吸收之间的平衡,全氮的含量主要受生物循环过程的影响^[40]。

土壤养分变程的差异表明,影响全氮和速效钾的生态学过程在较大的尺度上发挥作用,而影响土壤速效磷的生态学过程则在较小尺度上有效。研究区草地实施封育,人为干扰较少,所以这些生态学过程更多的是自然因素,如种群动态、群落演替、养分循环、种子的传播等^[39]。土壤属性空间自相关距离的改变可能是群落演替的驱动力^[41],因此对变程的研究有重要的生态学意义。

2.3 土壤养分含量的空间分布格局

研究区 3 种土壤养分交叉证实检验的回归系数分别为:0.395(全氮)、1.075(速效钾)和 0.961(速效

磷),除全氮外,速效钾和速效磷的回归系数都趋近于 1,表明估计值与真实值较接近。

由图 4 可以看出,3 种土壤养分呈现明显的空间分布规律,全氮含量表现为牛枝子群落较高,沿着牛枝子-黑沙蒿群落交错带,含量逐渐减少,黑沙蒿群落含量最低;速效钾和速效磷均表现为牛枝子群落和黑沙蒿群落含量较高而牛枝子-黑沙蒿群落界面含量较低。对于全氮和速效磷,同时表现出含量西高东低的趋势,这种趋势在速效磷中尤为明显,而速效钾则呈现东西对称的分布格局。同时,土壤全氮、速效钾和速效磷的上述变化均表现为一种渐变的过程,是一种过渡类型(图 5)。

从图 4 还可以看出,3 种土壤养分的标准差也呈现明显的空间规律性,总体上标准差都较小,表明克里格插值比较可靠;3 种养分 3 条样线上的标准差都最小,这主要受采样方法的影响,由于采用的是样线法采样,因此 3 条样线上的插值结果必定与其真实值最接近,标准差最小。另外,全氮的标准差呈现出南北两端较大而中间较小的规律性,而速效钾和速效磷的标准差则表现为东西边界较小,向中间逐渐增大,然后又逐渐减小的格局(图 5)。

土壤养分的上述分布格局与研究区的群落界面有关。时项锋等^[42]于 2009 年对该研究区域的研究结果表明,该区域也是一个群落过渡带,从南到北表现为牛枝子群落向黑沙蒿群落的过渡地带,具有界面特征。游动分割窗峰值图在研究区第 22 个样方附近出现波峰,即为界面的位置,该位置是牛枝子+蒙古冰草+杂类草群落向黑沙蒿群落过渡的转折点。在本研究中速效钾和速效磷含量表现为先降低后升高的趋势,与上述界面过程基本重叠,即在靠近界面的位置速效钾和速效磷含量逐渐降低,而在进入相邻两侧群落的过程中含量逐渐升高,这种变化趋势与群落界面过程密切相关。

土壤全氮含量的空间分布格局与研究区植被的变化有关。研究区刚开始为牛枝子群落,主要以牛枝子、蒙古冰草、长芒草等多年生草本植物为主;中间为牛枝子-黑沙蒿群落界面,以牛枝子、黑沙蒿、长芒草、猪毛蒿等植物为主;最后为黑沙蒿群落,植被以黑沙蒿为主,伴生一定量的 1 年生草本植物,植被组成简单。因此土壤全氮表现出以上趋势。综上,土壤养分的空间分布格局与界面过程密切相关,而格局与过程是相互影响的,土壤养分的空间格局必将反作用于界面过程,促进或抑制植物的演替,加强或削弱沙漠化过程。

除了植被和群落界面的影响,土壤养分的上述空间特征还可能和下列因素有关:(1)土壤类型,研究区主要土壤类型为淡灰钙土,其次是风沙土和第三纪红岩母质经侵蚀后形成的红砂质土,风沙土和红砂质土在第 20 个样方附近开始出现,而不同的土壤类型会使土壤养分产生巨大的差异^[14];(2)微地形差异,研究区地形属于缓坡丘陵,从牛枝子群落到黑沙蒿群落,地势呈现一定的起伏,而地形特征与土壤水分和养分的运移密切相关^[14];(3)凋落物种类差别,由于研究区植被组成沿群落交错带方向存在很大的变化,植被组成不同必然导致凋落物的差异,凋落物的不同也使土壤养分发生变化;(4)土壤动物的活动^[43],研究区从牛枝子群落到黑沙蒿群落,土壤动物类群数和个体数都逐渐减少,土壤动物的变化导致其活动的强度和作用发生差异,也对土壤养分的差异产生影响;(5)放牧干扰,虽然研究区处于围栏封育区内,但土壤采样时仍然发现有未完全分解的羊粪,说明围栏封育的年限还不长,而土壤改良是一个长期的过程^[24-25],在牛枝子群落,分布着蒙古冰草等优质牧草,到牛枝子-黑沙蒿群落界面,逐渐出现黑沙蒿和老瓜头等动物不喜食的植物,动物在采食的同时也留下了粪便,因此放牧也在一定程度上影响土壤养分的空间变异。

另外,土壤养分的上述空间分布还可能和“沃岛”效应有关。Junran Li 等^[44]对两种沙漠化草地群落土壤养分空间异质性进行研究,认为风的作用使得那些植被覆盖降低的草地上与草本生长相关的“沃岛”消失,而与灌木生长相关的“沃岛”得到加强,而且,由风蚀作用引起的土壤养分空间格局的变化能够持续并且加强与灌木生长相关的“沃岛”效应,这种作用导致了干旱草地沙漠化的进一步发展;David A. Dick 等^[45]在研究土壤和草本植物群落的空间异质性时指出,特定物种的生长习性产生的密集斑块形成了相应的“沃岛”,使得土壤养分在此得到聚集;Schlesinger 等^[10]对沙漠生态系统的研究得出相似的结论,即沙漠灌木在它们的地下形成了高浓度的肥料斑块。

在多风地区,“沃岛”效应还可能与大风的作用结合,共同促进沙漠化发展。董雯等^[46]对毛乌素沙地的

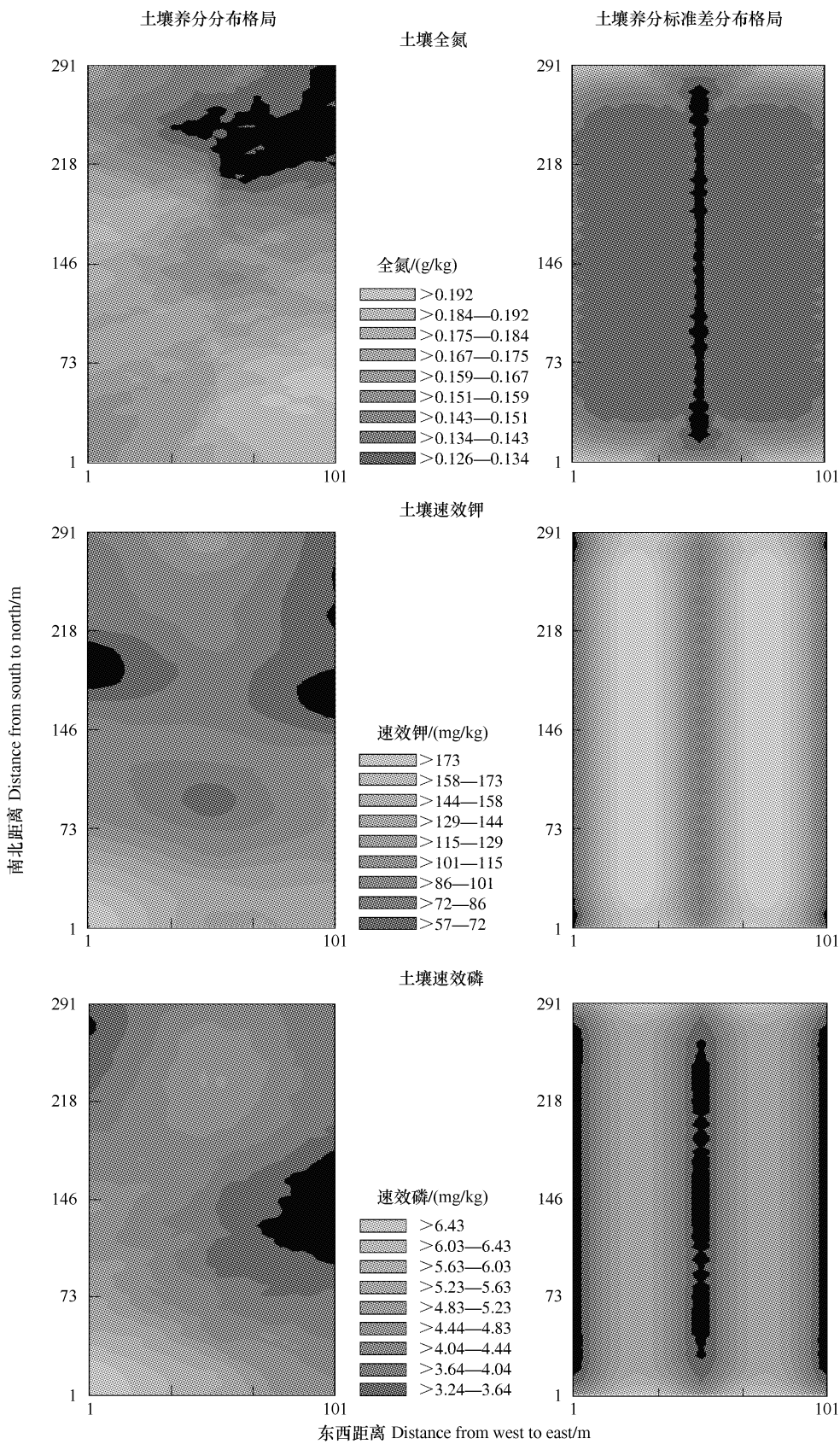


图4 毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分及其标准差的分布格局

Fig. 4 Spatial pattern of soil nutrients and their standard deviations along the critical area of desertification in South Edge of Mu Us Sandy Land

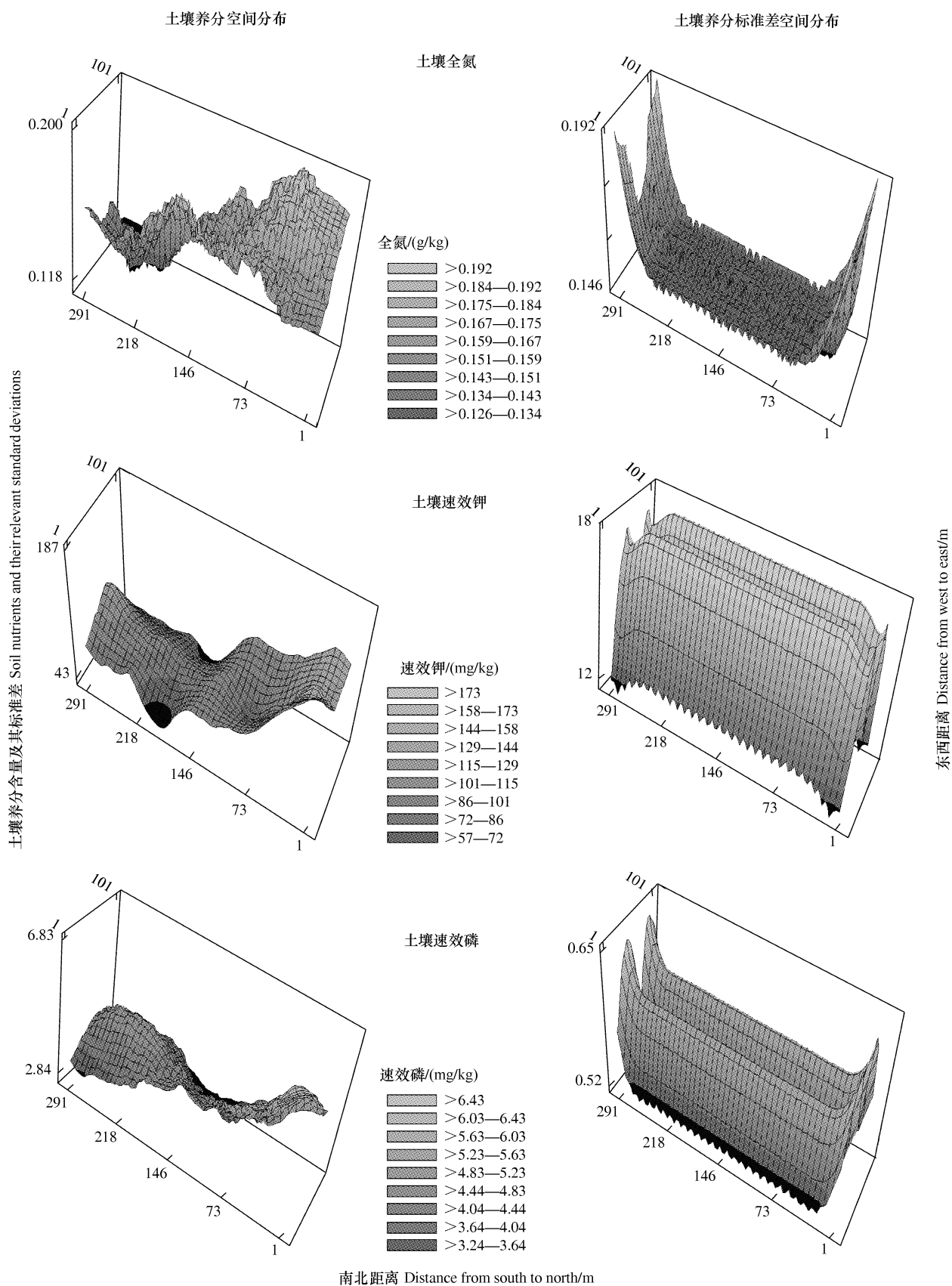


图5 毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分及其标准差的空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of soil nutrients and their standard deviations along the critical area of desertification in South Edge of Mu Us Sandy Land

形成与治理进行研究,认为较强的风动力条件是毛乌素沙地形成的重要因素,和腾格里沙漠、塔克拉玛干沙漠、科尔沁沙地等其他沙漠相比,毛乌素沙地年8级以上大风日数最多,多年平均风速也较高。这种作用与本文研究区植被的分布一致,随着风的吹蚀作用,使得灌木的“沃岛”得以形成和加强,从而使得黑沙蒿灌木得以生长,而草本植物不断减少,最终导致该地区的沙漠化进程不断向前推进。

3 结论

3.1 毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤全氮、速效钾和速效磷含量均符合正态分布,都具有较好的中心趋向分布,且都属于中等程度的变异;

3.2 3种土壤养分分别符合球状模型(全氮)和指数模型(速效钾和速效磷),模型优度较高,其中速效钾具有强空间自相关性,而全氮和速效磷具有中等程度的空间自相关格局,结构性因素在速效钾的空间分布中发挥主导作用,而随机性因素和结构性因素在全氮和速效磷的空间分布中共同发挥作用;

3.3 对于小尺度区域,全氮和速效钾的空间自相关距离较大,而速效磷的空间自相关距离很小;

3.4 毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分含量具有明显的空间分布格局,与群落交错带的界面过程密切相关,其空间异质性特征深受群落界面的影响,同时它们的空间特征也反作用于群落界面的形成和发展;

3.5 毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分空间变异特征还受到土壤类型、微地形差异、凋落物种类差别、土壤动物的活动以及放牧等因素的影响;

3.6 干旱多风的自然条件是草地沙漠化的重要因素,大风的吹蚀作用使得有利于灌木生长的“沃岛”效应得到加强,而与草本有关的“沃岛”得到削弱,促进黑沙蒿灌木的大量生长,而草本植物不断退化,推动群落的逆行演替,从而引起土壤特性的一系列变化,形成沙化生境。

References:

- [1] Pickett S T A, Cadenasso M L. Landscape ecology: spatial heterogeneity in ecological systems. *Science*, 1995, 269(5222): 331-334.
- [2] Forman R T T, Godron M. *Landscape Ecology*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1986: 96-99.
- [3] Zhang F J, Wu Y N, Yang B L, Li H S, Hu G W, Liu D. The research on the spatial heterogeneity of the soil nutrient and the quantitative properties of plant communities in Hulunbeier steppe. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2009, 18(2): 173-177.
- [4] Ge J P, Guo H Y, Zhong L N. Geostatistics in ecology (I)-Basic theory and methods. *Journal of Northeast Forestry University*, 1995, 23(2): 88-94.
- [5] Tang Y, Liu L Y, Yang Z P, Du J H, Meng X L. Soil moisture and grain size characteristic of typical Nebkhas in South Edge of Mu Us Sandland. *Research of Soil and Water Conservation*, 2009, 16(2): 6-9.
- [6] Liu J Z, Shi J L, Lei J Y, Gao G X, Wu F Q. Diversity analysis on physical-chemical properties and yield of corn in the South of Maowusu Sandlot different No-tillage farmland. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(6): 29-34.
- [7] Xu D M, Wang K. Characteristics of soil microbe in Southern Ecotone of Mu Us Sandy Land. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(5): 805-808.
- [8] Xu D M, Wang K, Xie Y Z, Long S P. Characteristics of soil biology in Southern Ecotone of Mu Us Sandy Land. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(34): 15078-15080.
- [9] Xu D M, Wang K, Long S P. Vegetation characteristics and soil properties in the Transitional Zone in South Fringe of Mu Us Sandy Land. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2008, 28(5): 39-43.
- [10] Schlesinger W H, Raikhs J A, Hartley A E, Cross A F. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. *Ecology*, 1996, 77(2): 364-374.
- [11] Farley R A, Fitter A H. Temporal and spatial variation in soil resources in a deciduous woodland. *Journal of Ecology*, 1999, 87(4): 688-696.
- [12] Wang J, Fu B J, Qiu Y, Chen L D, Yu L. Spatial heterogeneity of soil nutrients in a small catchment of the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1173-1178.
- [13] Guo X D, Fu B J, Chen L D, Ma K M, Li J R. The spatio-temporal variability of soil nutrients in Zunhua Plain in Hebei Province: Semivariogram and Kriging analysis. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(5): 555-566.
- [14] Zhao L M, Shi X Z, Huang Y, Xu M, Yu D S, Wang H J, Zhang L M, Zhang Y. Influential factors of spatial heterogeneity of soil nutritions in Taihu Lake Region. *Soils*, 2008, 40(6): 1008-1012.
- [15] Yang R W, Shi X Z, Yu D S, Huang Y, Xu M, Pan X Z, Jin Y, Liu L W. Spatial heterogeneity of soil properties and their affecting factors-A case study based on 1:50000 database in Wuxi and Changzhou, Jiangsu province, China. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(3): 369-375.
- [16] Qin Y S, Tu S H, Feng W Q, Sun X F. Spatial variability of soil nutrient characteristics under Paddy-Upland crop rotation in Chengdu Plain. *Acta*

- Pedologica Sinica, 2008, 45(2): 355-359.
- [17] Chen F, Liu D B, Xiong G Y, Jiang L N, Guo X M, Guo X. A comparison on soil nutrient characteristics and its spatial variability of two paddy soils in Middle Sub-Tropical. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(4): 688-692.
- [18] Si J H, Feng Q, Yu T F, Chang Z Q, Xi H Y, Su Y H. Spatial heterogeneity of soil nutrients in Ejina Oasis. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(12): 2600-2606.
- [19] Long X J, Qian J, Zhang C M, Wang G X, Li Y S. Study of the spatial heterogeneity of soil nutrients of typical landscape in Alpine Meadow Regions. Journal of Glaciology and Geocryology, 2008, 30(1): 139-146.
- [20] Lian G, Guo X D, Fu B J, Hu C X. Spatial variability and prediction of soil nutrients in a small catchment of the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3): 946-954.
- [21] Du F, Liang Z S, Xu X X, Zhang X C, Shan L. Spatial heterogeneity of soil nutrients and aboveground biomass in abandoned old-fields of Loess Hilly region in Northern Shaanxi, China. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(1): 13-22.
- [22] Hu Z L, Pan G X, Li L Q, Du Y X, Wang X Z. Changes in pools and heterogeneity of soil organic carbon, nitrogen and phosphorus under different vegetation types in Karst Mountainous area of central Guizhou Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(8): 4187-4195.
- [23] Zhu L B, Zheng Y, Zeng Z H, Hu Y G. Study on the vegetation and soil characteristics of different vegetation types in Hulunbeier Typical Steppe. Chinese Journal of Grassland, 2008, 30(3): 32-36.
- [24] Lian G, Guo X D, Fu B J, Hu C X. Spatial variability and prediction of soil nutrients on a county scale on the loess plateau — A case study of Heng Shan county, Shaanxi province. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(4): 577-584.
- [25] Yang Y L, Shi X Z, Yu D S, Wang H J, Xu M, Wang G. Spatial heterogeneity of soil nutrients and their affecting factors at regional scale. Scientia Geographica Sinica, 2008, 28(6): 788-792.
- [26] Xu D M. Changes of Vegetation and Environment along Sandy Land-Grassland Boundary in South Edge of Mu Us Sandy Land. Beijing: China Agricultural University, 2007.
- [27] Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing. Analysis on Physical and Chemical Properties of Soil. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978: 62-128.
- [28] Yonker C M, Schimel D S, Paroussis E, Heil R D. Patterns of organic carbon accumulation in a semiarid shortgrass steppe, Colorado. Soil Science Society of America Journal, 1988, 52: 478-483.
- [29] Wang Z Q ed. Geostatistics and Its Application in Ecology. Beijing: Science Press, 1999: 65-152.
- [30] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, Parkin T B, Karlen D L, Turco R F, Konopka A E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58: 1501-1511.
- [31] Liu F C, Shi X Z, Yu D S, Pan X Z. Mapping soil properties of the typical area of Taihu Lake Watershed by geostatistics and geographic information systems—a case study of total nitrogen in topsoil. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(1): 20-27.
- [32] Lu W D ed. SPSS for Windows Statistics Analysis (Version 3). Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003: 150-153.
- [33] Lisandro B C. The importance of the variance around the mean effect size of ecological processes. Ecology, 2003, 84(9): 2335-2346.
- [34] Kashian D M, Turner M G, Romme W H, Lorimer C G. Variability and convergence in stand structural development on a fire-dominated subalpine landscape. Ecology, 2005, 86(3): 643-654.
- [35] Schlesinger W H, Reynolds J F, Cunningham G L, Huenneke L F, Jarrell W M, Virginia R A, Whitford W G. Biological feedbacks in global desertification. Science, 1990, 247(4946): 1043-1048.
- [36] Jackson R B, Caldwell M M. Geostatistical patterns of soil heterogeneity around individual perennial plants. Journal of Ecology, 1993, 81(4): 683-692.
- [37] Fan W H, Randolph J C, Ehman J L. Regional estimation of nitrogen mineralization in forest ecosystems using geographic information systems. Ecological Applications, 1998, 8(3): 734-747.
- [38] Beedlow P A, Tingey D T, Phillips D L, Hogsett W E, Olszyk D M. Rising atmospheric CO₂ and carbon sequestration in forests. Frontiers in Ecology and the Environment, 2004, 2(6): 315-322.
- [39] Chen W B, Xiao D N, Li X Z. The characteristics and contents of landscape spatial analysis. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(7): 1135-1142.
- [40] Gallardo A. Spatial variability of soil properties in a floodplain forest in Northwest Spain. Ecosystems, 2003, 6: 264-276.
- [41] Bai Y F, Xu Z X, Li D X. On the small scale spatial heterogeneity of soil moisture, carbon and nitrogen in Stipa Communities of the Inner Mongolia Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(8): 1215-1223.
- [42] Shi X F, Xu D M, Qiu K Y, Xie Y Z. Application of moving split-window technique in quantitative methodologies for edge influence of landscape boundary: A case study of *Lespedeza potaninii* community and *Artemisia ordosica* community. Pratacultural Science, 2010, 27(4): 30-33.
- [43] Wang Q C, Cheng Y H. Response of fine roots to soil nutrient spatial heterogeneity. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(6): 1063-1068.
- [44] Li J R, Okin G S, Alvarez L, Epstein H. Effects of wind erosion on the spatial heterogeneity of soil nutrients in two desert grassland communities. Biogeochemistry, 2008, 88: 73-88.

- [45] Dick D A, Gilliam F S. Spatial heterogeneity and dependence of soil and herbaceous plant communities in adjacent seasonal wetland and pasture sites. *Wetlands*, 2007, 27(4): 951-963.
- [46] Dong W, Zhao J B. The formation and harness of Mu Us desert. *Journal of Guizhou Normal University: Natural Sciences*, 2006, 24(4): 42-46.

参考文献:

- [3] 张凤杰, 乌云娜, 杨宝灵, 李海山, 胡高娃, 刘迪. 呼伦贝尔草原土壤养分与植物群落数量特征的空间异质性. *西北农业学报*, 2009, 18(2): 173-177.
- [4] 葛剑平, 郭海燕, 仲莉娜. 地统计学在生态学中的应用(I). *东北林业大学学报*, 1995, 23(2): 88-94.
- [5] 唐艳, 刘连友, 杨志鹏, 杜建会, 孟祥亮. 毛乌素沙地南缘灌丛沙丘土壤水分与粒度特征研究. *水土保持研究*, 2009, 16(2): 6-9.
- [6] 刘建忠, 师江澜, 雷金银, 高国雄, 吴发启. 毛乌素沙地南缘不同免耕农田土壤理化性质及玉米产量差异分析. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(6): 29-34.
- [7] 许冬梅, 王堃. 毛乌素沙地南缘生态过渡带土壤微生物特征. *中国沙漠*, 2007, 27(5): 805-808.
- [8] 许冬梅, 王堃, 谢应忠, 龙澍普. 毛乌素沙地南缘生态过渡带土壤生物学特性. *安徽农业科学*, 2008, 36(34): 15078-15080.
- [9] 许冬梅, 王堃, 龙澍普. 毛乌素沙地南缘生态过渡带植被和土壤的特征. *水土保持通报*, 2008, 28(5): 39-43.
- [12] 王军, 傅伯杰, 邱扬, 陈利顶, 余莉. 黄土高原小流域土壤养分的空间异质性. *生态学报*, 2002, 22(8): 1173-1178.
- [13] 郭旭东, 傅伯杰, 陈立顶, 马克明, 李俊然. 河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征——变异函数与 Kriging 插值分析. *地理学报*, 2000, 55(5): 555-566.
- [14] 赵莉敏, 史学正, 黄耀, 徐茂, 于东升, 王洪洁, 张黎明, 张勇. 太湖地区表层土壤养分空间变异的影响因素研究. *土壤*, 2008, 40(6): 1008-1012.
- [15] 杨茹玮, 史学正, 于东升, 黄耀, 徐茂, 潘贤章, 金洋, 刘林旺. 基于 1:5 万数据库研究土壤空间分异及其影响因素——以江苏省无锡和常州市为例. *土壤学报*, 2006, 43(3): 369-375.
- [16] 秦鱼生, 涂仕华, 冯文强, 孙锡发. 成都平原水旱轮作种植下土壤养分特性空间变异研究. *土壤学报*, 2008, 45(2): 355-359.
- [17] 陈防, 刘冬碧, 熊桂云, 姜丽娜, 郭晓敏, 郭熙. 中亚热带两种水稻土土壤养分空间变异的对比研究. *土壤学报*, 2006, 43(4): 688-692.
- [18] 司建华, 冯起, 鱼腾飞, 常宗强, 席海洋, 苏永红. 额济纳绿洲土壤养分的空间异质性. *生态学杂志*, 2009, 28(12): 2600-2606.
- [19] 龙训建, 钱鞠, 张春敏, 王根绪, 李元寿. 高寒草甸区典型景观单元土壤养分空间变异性研究. *冰川冻土*, 2008, 30(1): 139-146.
- [20] 连纲, 郭旭东, 傅伯杰, 虎陈霞. 黄土高原小流域土壤养分空间变异特征及预测. *生态学报*, 2008, 28(3): 946-954.
- [21] 杜峰, 梁宗锁, 徐学选, 张兴昌, 山仑. 陕北黄土丘陵地区撂荒群落土壤养分与地上生物量空间异质性. *生态学报*, 2008, 28(1): 13-22.
- [22] 胡忠良, 潘根兴, 李恋卿, 杜有新, 王新洲. 贵州喀斯特山区不同植被下土壤 C、N、P 含量和空间异质性. *生态学报*, 2009, 29(8): 4187-4195.
- [23] 朱立博, 郑勇, 曾昭海, 胡跃高. 呼伦贝尔典型草原不同植被类型植被与土壤特征研究. *中国草地学报*, 2008, 30(3): 32-36.
- [24] 连纲, 郭旭东, 傅伯杰, 虎陈霞. 黄土高原县域土壤养分空间变异特征及预测——以陕西省横山县为例. *土壤学报*, 2008, 45(4): 577-584.
- [25] 杨艳丽, 史学正, 于东升, 王洪杰, 徐茂, 王果. 区域尺度土壤养分空间变异及其影响因素研究. *地理科学*, 2008, 28(6): 788-792.
- [26] 许冬梅. 毛乌素沙地南缘沙地-草地景观界面植被和环境变化. 北京: 中国农业大学, 2007.
- [27] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科技出版社, 1978: 62-128.
- [29] 王政权主编. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999: 65-152.
- [31] 刘付程, 史学正, 于东升, 潘贤章. 基于地统计学和 GIS 的太湖典型地区土壤属性制图研究. *土壤学报*, 2004, 41(1): 20-27.
- [32] 卢文岱主编. SPSS for Windows 统计分析(第 3 版). 北京: 电子工业出版社, 2003: 150-153.
- [39] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观空间分析的特征和主要内容. *生态学报*, 2002, 22(7): 1135-1142.
- [41] 白永飞, 许志信, 李德新. 内蒙古高原针茅草原群落土壤水分和碳、氮分布的小尺度空间异质性. *生态学报*, 2002, 22(8): 1215-1223.
- [42] 时项锋, 许冬梅, 邱开阳, 谢应忠. 游动分割窗技术在景观界面影响域判定中的应用: 以牛枝子-黑沙蒿群落界面为例. *草业科学*, 2010, 27(4): 30-33.
- [43] 王庆成, 程云环. 土壤养分空间异质性与植物根系的觅食反应. *应用生态学报*, 2004, 15(6): 1063-1068.
- [46] 董雯, 赵景波. 毛乌素沙地的形成与治理. *贵州师范大学学报(自然科学版)*, 2006, 24(4): 42-46.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 22 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 22 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元