

# 基于 GIS 的库车县耕层土壤养分空间变异研究

杨美玲<sup>1</sup>, 王雪梅<sup>1,2</sup>, 罗梦媛<sup>1</sup>

(1. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054;

2. 新疆维吾尔自治区重点实验室 新疆干旱区湖泊环境与资源实验室, 乌鲁木齐 830054)

**摘要:**基于 GIS 和地统计学分析方法,对库车县耕层土壤(0—20 cm)养分元素的空间变异特征进行了研究。结果表明:有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾均为中等程度的空间变异性,变异系数为 19.11%~65.34%。有机质和全氮的理论模型符合球状模型,碱解氮、有效磷和速效钾的理论模型符合指数模型。有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾具有中等程度的空间自相关性,其空间变异主要受土壤类型、土壤质地以及施肥影响。从空间分布格局来看,有机质、全氮、碱解氮和速效钾的含量在东南方向上呈现明显的片状和斑块状分布,并由东南向西北发生递减,而有效磷主要呈斑块状分布,其含量在西南方向高于东北方向,研究区耕层土壤养分总体呈现出东南方向含量高于西北方向。

**关键词:**空间变异; 土壤养分; 耕层土壤; 库车县

中图分类号:S158.2;S158.5

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)01-0061-05

## Study on Spatial Variability of Topsoil Nutrients in Kuqa County Based on GIS

YANG Meiling<sup>1</sup>, WANG Xuemei<sup>1,2</sup>, LUO Mengyuan<sup>1</sup>

(1. College of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 2. Xinjiang Uygur Autonomous Region Key Laboratory Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Urumqi 830054, China)

**Abstract:**Based on the analysis methods of GIS and geostatistics, spatial variability characteristics of topsoil (0—20 cm) nutrient elements in Kuqa County were studied, the results showed that organic matter, total nitrogen, phosphorus and potassium are moderate degree of spatial variability and the coefficients of variation are 19.11%~65.34%. Theoretical models of organic matter and total nitrogen are fitful of spherical model, nitrogen, phosphorus and potassium fit the exponential model. Organic matter, total nitrogen, available nitrogen, phosphorus and potassium present a moderate degree of spatial autocorrelation due to combined effect of soil type, soil texture and fertilization. From the spatial distribution, the contents of organic matter, total nitrogen, available nitrogen and potassium showed significant flaky and patchy distribution in the southeast, decremented from southeast to the northwest, while phosphorus mainly presented plaques massive distribution, which was higher than the northeast to the southwest. In the study area, the contents of topsoil nutrients overall present the patterns that the southeast is higher than northwest direction.

**Keywords:**spatial variability; soil nutrients; topsoil; Kuqa County

随着“精细农业”(Precision Agriculture)的提出和发展,土壤养分空间分布定量分析以及空间变异特征研究的重要性已日趋显现,并受到世界各国学者的普遍重视,应用新的方法和手段对土壤养分空间变异性、空间分布特征及其影响因素的研究层出不穷<sup>[1-5]</sup>。目前,我国有众多学者对耕地土壤养分元素空间进行了大量的研究,郭旭东、范夫静等采用经典统计学和地统计学方法,并结合 GIS 技术对农田土壤养分的

空间变异特征和分布格局进行了深入研究<sup>[6-8]</sup>;石淑芹等以松嫩平原土壤养分与地理坐标、土壤类型和微量元素等相关性为基础,对土壤养分进行克里格估值,认为协同克里格对区域尺度土壤属性空间模拟的效果要优于普通克里格<sup>[9]</sup>。上述研究结果都表明:由于受母质、气候、水文、地形、生物以及不同土地利用方式等因素的影响,耕层土壤养分在不同地区和时段内,具有明显的区域特性和空间变异规律,不合理的

收稿日期:2014-04-30

修回日期:2014-05-10

资助项目:国家自然科学基金(41261051);新疆维吾尔自治区重点实验室“新疆干旱区湖泊环境与资源实验室”基金(XJDX0909-2010-08);新疆师范大学学术科技创新基金;国家级大学生创新创业训练计划项目(201410762022)

第一作者:杨美玲(1993—),女,新疆乌鲁木齐人,本科生,研究方向:土地资源与地理信息系统。E-mail:1499969548@qq.com

通信作者:王雪梅(1976—),女,江苏铜山人,博士,副教授,硕士生导师,研究方向:干旱区资源环境遥感应用研究。E-mail:502529672@qq.com

施肥、耕作以及土地利用方式是土壤养分产生分异的重要原因<sup>[10-12]</sup>。鉴于此,以库车县为研究对象,应用 GIS 技术与地统计学方法对库车县耕层土壤养分元素的空间变异特征及影响因素进行深入研究,旨在为干旱绿洲土地资源的合理开发利用、农田土壤施肥方案的科学制定,以及提高土壤养分资源利用率提供科学的理论依据。

## 1 研究区概况

库车县位于新疆维吾尔自治区天山南麓、塔里木盆地北缘。属阿克苏地区行政管辖,西与该地区新和县、沙雅县相邻,东与巴音郭楞蒙古自治州轮台县、和静县、尉犁县接壤。地势北高南低,自西北向东南倾斜。地形可分为北部天山山地、中部砾石戈壁和南部冲积平原。全县土地总面积为 153.78 万  $\text{hm}^2$ ,其中耕地面积达 5.27 万  $\text{hm}^2$ ,农作物以棉花、玉米和小麦等类型为主。属温带大陆性气候,冬季干冷,夏季酷热,昼夜温差大,平均气温为  $7.1^\circ\text{C}$ ,其中山区平均气温  $3.4^\circ\text{C}$ ,平原区平均气温  $10.5^\circ\text{C}$ 。极端最高气温  $41.5^\circ\text{C}$ ,极端最低气温  $-46.6^\circ\text{C}$ 。平均年降水达 135.2 mm,降水总态势为:北多南少,西多东少,夏季多冬季少。库车县境内实有大小河流十余条,其中能产生常年径流的河流主要有 4 条:渭干河、库车河、二八台河和塔里木河,全县地表河川径流量为 14.819 亿  $\text{m}^3$ 。

## 2 材料与方法

### 2.1 调查和取样

根据库车县耕地分布情况,以采样点分布图为向导,结合实地情况,于 2010 年 10—11 月在库车县 13 个乡镇和农场选取 1 592 个具有代表性的采样点进行调查取样。采用 GPS 定位取土,保证每个土壤样品具体到村、组、户、地块。并在每个采样点将实地 15~20 个点混合成一个土样,取样深度为 0—20 cm,最终取得土样数据 1 592 份。在取样同时填写取样调查表,调查采用实地测量、室内资料整理和农户走访调查等多种形式<sup>[13]</sup>。

### 2.2 室内分析

对所取的土样进行系统整理与试验分析,主要测试项目有:土壤有机质、土壤常量元素(全氮、碱解氮、有效磷和速效钾)。各项目的测试方法见表 1<sup>[14]</sup>。

### 2.3 数据处理与分析

利用 SPSS 20.0 统计分析软件,对库车县耕层土壤养分元素进行特异值剔除,最终获得土壤样本 1 527 个。通过描述性统计分析可得到平均值、最大值、最小值、标准差、变异系数、偏度系数、峰度系数等

统计特征值,并进一步通过相关分析了解各养分元素间的相关关系。在分析土壤空间结构前,先对各土壤养分元素进行正态分布型检验,通过直方图和单样本 K-S 检验法检验养分元素是否符合正态分布,对不符合的元素进行对数转化使其符合正态分布。然后利用 GS+9.0 地统计分析软件进行半方差函数的分析与计算,并拟合半方差函数的理论模型。最后,利用 ArcGIS 9.3 软件的空间分析功能对土壤养分进行空间插值分析,并得到土壤养分空间分布图。

表 1 土壤样品测试项目及方法

测试项目	测试方法
土壤有机质	油浴加热重铬酸钾氧化容量法
土壤全氮	凯氏蒸馏法
土壤碱解氮	碱解扩散法测定
土壤有效磷	碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定
土壤速效钾	乙酸铵浸提—火焰光度计法测定

## 3 结果与分析

### 3.1 描述性统计分析

由表 2 可知,从养分含量的变化范围来看,有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾的变化范围分别是  $6.10\sim 21.70\text{ g/kg}$ ,  $0.25\sim 1.10\text{ g/kg}$ ,  $23.60\sim 85.00\text{ mg/kg}$ ,  $2.10\sim 75.20\text{ mg/kg}$ ,  $15.00\sim 358.00\text{ mg/kg}$ ,由此可以看出,速效钾变化范围最大,这是由于库车盆地的钾盐沉积作用以及农业发展过程中,使用钾肥后灌水不均所致<sup>[15]</sup>。研究区耕层养分总体呈现出有机质含量不丰,氮素明显缺乏,磷素和钾素不缺的特点。变异系数(CV)的大小能够说明土壤特性空间变异性的程度,按变异系数的划分等级为:弱变异性:  $\text{CV}<10\%$ ;中等变异性:  $10\%\leq\text{CV}\leq 100\%$ ;强变异性:  $\text{CV}>100\%$ <sup>[16]</sup>。从表 2 可以看出库车县耕层土壤养分的变异情况各不相同,但都属于中等变异程度,其中土壤有效磷的变异系数最高,达到 65.34%,有机质、全氮、碱解氮和速效钾的变异系数在 19.11%~34.14%之间发生变动,表现为这 4 种养分元素在耕层土壤中含量相对较为稳定,具有相近的空间变异性。偏度系数是表示数据分布偏斜方向和程度的度量,峰度系数是统计数据分布陡峭程度的度量,偏度系数和峰度系数等于或接近 0,表明数据服从正态分布。在变异函数的计算中,原始数据不符合正态分布,会使变异函数出现比例效应,因此必须对不符合正态分布的原始数据进行数据转换,数据转换后,对其再进行正态分布检验<sup>[16]</sup>。经直方图和单样本 K-S 检验,有机质、全氮呈正态分布,碱解氮、有效磷和速效钾经过对数据转换后呈正态分布(K-S 检验  $P$  值均大于 0.05)。

表 2 土壤养分描述性统计

养分类型	平均值	最大值	最小值	标准差	变异系数 CV/%	偏度系数	峰度系数	分布类型	K-S 检验
有机质	13.74	21.70	6.10	2.61	19.11	-0.077	0.142	正态	0.223
全氮	0.68	1.10	0.25	0.13	19.32	-0.011	0.149	正态	0.210
碱解氮	52.99	85.00	23.60	11.28	21.46	0.080	-0.544	对数正态	0.115
有效磷	14.40	75.20	2.10	9.34	65.34	1.704	4.289	对数正态	0.097
速效钾	164.86	358.00	15.00	56.72	34.14	0.519	-0.006	对数正态	0.124

注:表中平均值、最大值和最小值的单位有机质和全氮为 g/kg,碱解氮、有效磷和速效钾为 mg/kg。K-S 检验为 0.05 显著水平上的双尾检验。

表 3 为库车县耕层土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾的皮尔逊相关系数表。由表中数据可知,有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾两两元素之间均呈现出极其显著的正相关性( $P < 0.01$ )。其中,有机质与全氮、有机质与碱解氮以及全氮和碱解氮的相关系数分别为 0.933,0.650 和 0.683,说明这些养分元素之间具有高度的正相关关系,表明土壤有机质的含量水平将会直接影响土壤中氮肥含量的多少。

表 3 土壤养分相关系数

土壤养分	有机质	全氮	碱解氮	有效磷	速效钾
有机质	1.000				
全氮	0.933**	1.000			
碱解氮	0.650**	0.683**	1.000		
有效磷	0.070**	0.102**	0.086**	1.000	
速效钾	0.312**	0.335**	0.209**	0.262**	1.000

注:\*\*表示在 0.01 水平上显著相关;样本数据  $n$  为 1527。

### 3.2 半方差函数分析

土壤特性空间结构分析的关键是拟合出精度较高的半方差函数模型。半方差函数理论模型选取的

原则是:首先根据公式计算出半方差函数值  $r(h)$  和  $h$  的散点图,然后分别用不同类型的模型来进行拟合,得到模型的参数值及离差平方和,首先考虑离差平方和较小的模型类型,其次,考虑块金值和独立间距。

从图 1 可以看出,在所测定的有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾 5 种土壤养分含量中,各位点的半方差函数呈现出大致相同的变化趋势:半方差函数值随着距离的增加而增加,在达到某一距离后,趋向于某一平稳值,且半方差值不再发生变化。其中,土壤有机质、全氮和有效磷的空间变异范围较小,而碱解氮和速效钾的空间变异范围则相对较大。

表 4 是根据各养分元素的最优理论模型得出的相应参数,由决定系数( $R^2$ )和残差(RSS)可以看出有机质和全氮能很好地拟合球状理论模型( $R^2$  分别为 0.897 和 0.902),而碱解氮、有效磷和速效钾的理论模型符合指数模型,其决定系数( $R^2$ )分别为 0.984, 0.799 和 0.931,选择以上最优的理论模型可为后续的空间插值奠定良好的基础。

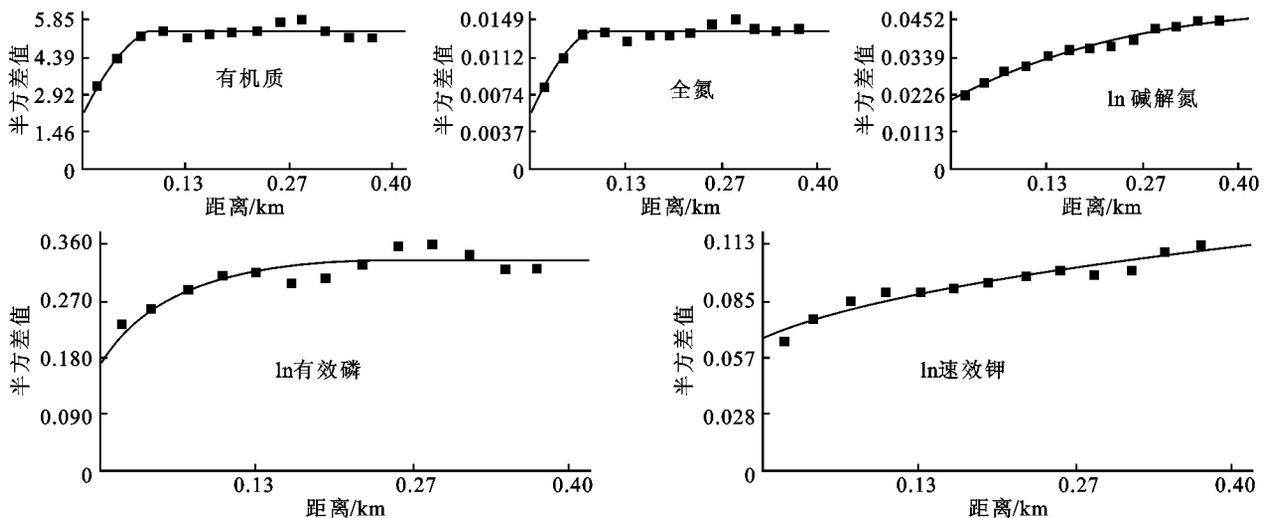


图 1 土壤养分半方差

表 4 半方差函数理论模型参数表

养分类型	理论模型	块金值	基台值	块基比	变程 A /km	决定 系数 $R^2$	残差 RSS
		$C_0$	$(C_0 + C)$	$C_0 / (C_0 + C) / \%$			
有机质	球状模型	2.1400	5.3680	39.87	0.090	0.897	0.545
全氮	球状模型	0.0053	0.0137	38.69	0.090	0.902	3.586 E-06
碱解氮	指数模型	0.0208	0.0512	40.63	0.741	0.984	9.640 E-06
有效磷	指数模型	0.1669	0.3348	49.85	0.180	0.799	3.461 E-03
速效钾	指数模型	0.0678	0.1366	49.63	1.164	0.931	1.428 E-04

根据地统计学理论,块金值通常是由试验误差和小于试验取样尺度引起的,较大的块金值表明较小尺度上的某种随机过程不容忽视<sup>[17]</sup>,除了有机质的块金值较大,为 2.140 0,其他 4 种土壤养分的块金值均小于 1,说明在本研究尺度上,由试验误差和小于试验取样尺度引起的土壤常量元素含量的空间变异较小。基台值通常表示系统内总的变异,包括结构性变异和随机性变异,基台值越大表示系统总的空间变异性越强<sup>[18]</sup>。在 5 种土壤养分元素中,有机质的基台值  $C_0 + C$  最大为 5.368 0,全氮的基台值最小,为 0.013 7,说明有机质的空间变异性最强,全氮的空间变异性最弱。块基比(块金值/基台值)代表随机因素引起的空间变异占总空间变异的的比例,同时表明区域化变量空间自相关性<sup>[9]</sup>。如果块基比  $< 25\%$ ,变量具有强烈的空间自相关性;块基比在  $25\% \sim 75\%$  之间,变量具有中等程度的空间自相关性;块基比  $> 75\%$ ,变量的空间自相关性则很弱。由表 4 结果显示:各养分元素的块基比均大于  $25\%$  且小于  $75\%$ ,说明这 5 种土壤元素均为中等程度的空间自相关性,表明其空间变异是由随机因素(如施肥、耕作方式、种植制度等)和结构因素(如母质、地形、土壤类型等)共同作用的结果。变程表示随机变量在空间上的自相关性尺度,也称为空间最大相关距离,反映了变量空间自相关范围的大小<sup>[19]</sup>。研究区内速效钾的变程最大,为 1.164 km,说明速效钾的空间自相关范围较大;有机质和全氮的变程最小,均为 0.090 km,说明这两种元素在较小尺度下具有最显著的空间变异性,空间分布特征也最为复杂。

### 3.3 空间插值分析

克里格(Kriging)插值法是地统计学中的主要内容之一,也被称为空间局部插值或者空间局部估计,根据待测点周边范围内已测点的数据,在考虑已测点与待测点之间样点的形状、大小、空间相互位置关系及结构信息后,对待测点进行的线性无偏最优估计。在半方差函数理论模型的基础上,采用普通克里格法绘制土壤养分元素的空间分布图。土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾的正态或对数正态分布保证了克里格空间插值的有效性。从图 2 中可以看出有机质的含量总体呈片状、斑块状分布,其含量在东南方向明显高于西北方向,在研究区中部具有最高含量( $21.6 \text{ g/kg}$ )的分布,并由中东部向西北方向呈规律性降低,最低含量为  $6.10 \text{ g/kg}$ 。通过进一步分析认为,研究区耕层土壤有机质空间分布特征与该区域土壤的质地、气候条件以及耕作方式有关。全氮的空间变化规律与有机质的变化类似,即呈现出由研究区中东部向西北部递减

的规律,在西北方向呈片状分布,这也进一步表明有机质与全氮之间具有极其显著的相关关系,全氮会随着有机质含量的增加而增加。碱解氮在空间上也呈片状和斑块状分布,且在东南方向的含量高于西北方向。有效磷在空间分布上总体呈斑块状分布,并由中心向四周递减。速效钾在空间上则呈片状、条状和斑块状分布,且由研究区中东部向西北方向递减。由于作物耕种过程中人为肥料施放不一,导致作物吸收土壤养分的能力有所不同,故造成研究区耕层土壤养分含量由内部向外围呈现递减的变化规律。

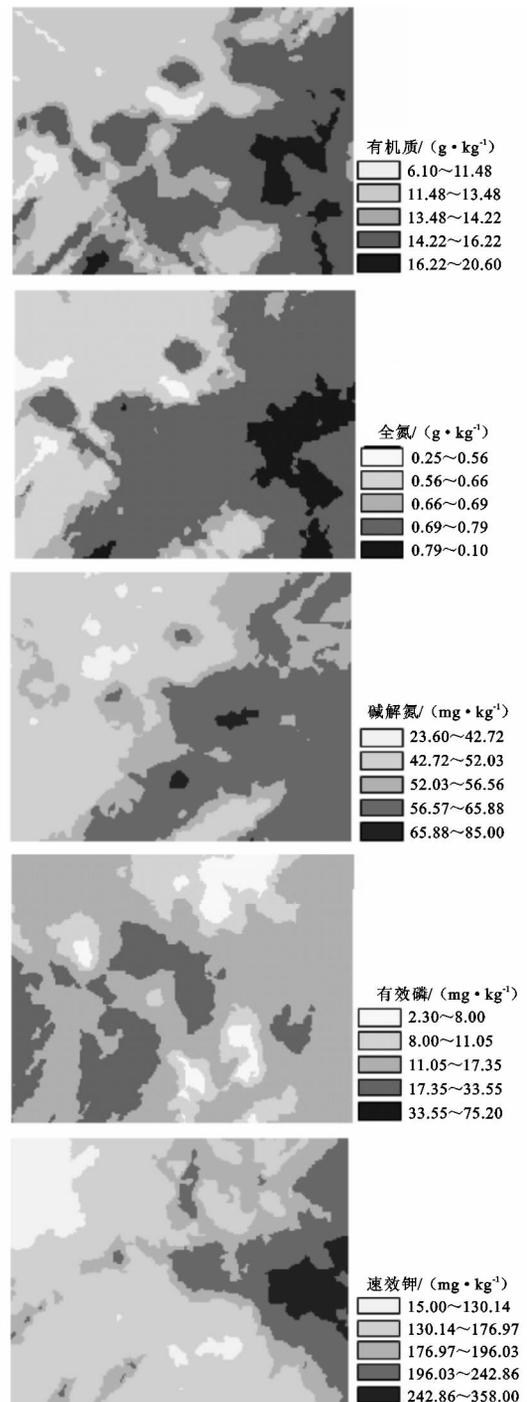


图 2 土壤养分空间分布

## 4 结论

(1) 经统计分析结果表明:研究区有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾在空间结构上均属中等变异程度,其中,有效磷的变异系数高达 65.34%,有机质、全氮、碱解氮和速效钾的变异系数则在 19.11%~34.14%之间变化。

(2) 经半方差函数分析,结果表明各养分元素均能很好地拟合理论模型(决定系数  $R^2$  均大于 0.7)。耕层各养分元素的块基比在 25%~75%之间发生变动,说明这 5 种养分元素均为中等空间自相关性,表明其空间变异是随机因素与结构因素共同作用的结果。

(3) 通过克里格空间插值分析,有机质、全氮、碱解氮和速效钾的含量在空间上总体呈片状和斑块状分布,并由东南向西北方向呈现递减规律;有效磷含量在空间上呈斑块状分布,其西南方向高于东北方向。

由于库车县耕地主要分布于冲积平原低平地,地势相对平坦,成土母质为河流冲洪积物,土壤类型有灌淤土、潮土、灌耕棕漠土、灌耕风沙土和灌耕草甸土 5 种主要类型,土壤质地以壤土、砂壤、砂土、黏土和黏壤为主。因此,通过分析认为影响该县土壤养分元素空间变异的随机因素主要是土壤类型和土壤质地。根据实地调查得知,在库车县农作物生长期,不同田块的施肥量、肥料种类以及施肥方法有所差异,而灌溉水量和灌溉次数无明显区别,故认为影响该县土壤养分元素空间变异的随机因素主要为施肥管理方式不同。综上分析认为,库车县耕层土壤养分空间变异主要受土壤类型、土壤质地以及施肥影响,这一结论与庞凤等<sup>[20]</sup>研究结果一致。因此,库车县应调整施肥结构,实现测土配方平衡施肥,从而确定氮磷钾合理比例以改善土壤养分的空间异质性。

### 参考文献:

- [1] 姜广辉,赵婷婷,段增强,等.北京山区耕地质量变化及未来趋势模拟[J].农业工程学报,2010,26(10):304-311.
- [2] 左太安,苏维词,宋增伟,等.针对水土流失的三峡重庆库区土地质量评价[J].水土保持通报,2009,29(2):183-187.
- [3] Pozdnyakova L, Zhang R. Geo-statistical analyses of soil salinity in a large field[J]. Precision Agriculture, 1999,1(2):153-165.
- [4] 刘志鹏,黄土高原地区土壤养分的空间分布及其影响因

- 素[D].陕西杨凌:中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心,2013:20-26.
- [5] 王激清,张宝悦.冀西北农牧交错带土壤养分时空变异与生产特性研究[J].干旱区资源与环境 2014,28(3):86-90.
- [6] 郭旭东,傅伯杰,陈利顶,等.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[J].地理学报,2000,55(5):555-566.
- [7] 范夫静,宋同清,黄国勤,等.西南峡谷型喀斯特坡地土壤养分的空间变异特征[J].应用生态学报,2014,25(1):92-98.
- [8] 阿依古丽·买买提,吉力力·阿不都外力,葛拥晓.玛纳斯河流域绿洲土壤养分空间变异特征与格局[J].干旱区资源与环境,2013,27(9):153-159.
- [9] 石淑芹,曹祺文,李正国,等.区域尺度土壤养分的协同克里格与普通克里格估值研究[J].干旱区资源与环境,2014,28(5):109-114.
- [10] 王岩,陈永金,刘加珍.黄河三角洲湿地土壤养分空间分布特征[J].人民黄河,2013,35(2):72-75.
- [11] 胡艳霞,周连第,魏长山,等.水源保护地土壤养分空间变异特征及其影响因素分析[J].土壤通报,2013,44(5):1184-1191.
- [12] 刘伟.洞庭湖区耕地土壤养分评价与空间变异性研究[D].长沙:中南林业科技大学,2013:12-25.
- [13] 农业部.中华人民共和国农业行业标准、测土配方施肥技术规范[S].北京:中国农业出版社,2006.
- [14] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科技出版社,1978:93-129.
- [15] 刘成林,曹养同,杨海军,等.库车前陆盆地古近纪一新近纪盐湖环境变迁及其成钾效应探讨[J].地球学报,2013,34(5):547-558.
- [16] 刘祖香,陈效民,靖彦,等.基于地统计学的农田尺度旱地红壤养分空间变异性研究[J].土壤通报,2013,44(2):392-397.
- [17] 年佳乐,李跃进,景宇鹏,等.盐渍土有效态微量元素含量的空间变异特征研[J].中国农业科技导报,2013,15(4):163-167.
- [18] 方斌,吴金凤.作物种植前后土壤有机质及养分因子的空间变异性分析[J].生态学报,2014,34(4):1-10.
- [19] 李强,周冀衡,张永安,等.曲靖植烟土壤有效微量元素的空间变异和影响因子[J].烟草农学 2013(10):63-69.
- [20] 庞凤,李延轩,王永东,等.土壤速效氮、磷、钾含量空间变异特征及其影响因子[J].植物营养与肥料学报 2009,15(1):114-120.