

河西地区土壤全氮及有机质空间变异特征分析

——以张掖市甘州区为例

杨东, 刘强

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要:应用地统计学方法对甘州区土壤(0~20 cm)中全氮、有机质数据进行了分析。结果表明:土壤全氮、有机质含量比较低,存在着明显的空间分异性,表现为从中心向四周逐渐递减的趋势,应用半方差函数分析,土壤全氮和有机质在一定范围内存在空间相关性,变程分别为2.4 km和0.35 km,都在一个较小的空间尺度范围内相关;并且全氮总体上呈条带状分布,有机质呈斑块状分布,且含量的空间变异具有各向异性特征,其各自的理论模型和相应参数很好地反映了土壤有机质和全氮含量变异特征,这种变异特征受随机因素的影响较结构性因素大,具有中等的空间相关性。

关键词:GIS;地统计学;河西地区;土壤全氮;土壤有机质;空间变异

中图分类号: S158.3; S153.6+21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)04-0183-05

土壤养分空间变异性研究成为土壤科学研究领域的热点之一,对土壤养分空间变异的充分了解是管理好土壤养分和合理施肥的基础。土壤氮素、有机质在农业生态系统中起着重要的作用,其含量直接影响着农业生态系统的生产力。土壤全氮、有机质的空间变异特征具有很强的空间异质性,主要受成土母质、气候、地形、成土过程以及一些人为因素的影响^[1-5]。

随着统计学的发展,土壤的空间异质性分析方法在不断扩展与更新,地统计学能够更好地定性地揭示各属性变量在空间上的分布、变异和相关特征。地统计方法已经被广泛用来研究土壤养分的空间变异特征,区域化变量理论逐渐被应用于土壤科学的研究中,主要集中在土壤养分特征及状态参数、物理性质、化学性质的空间变异研究中^[6-9]。但是多年来,应用地统计学方法对河西地区土壤养分空间变异性程度和与之相关土壤特征值空间变异性研究目前还较少。本文以甘肃河西内陆绿洲地区的张掖市甘州区为研究对象,利用地统计学和GIS相结合的方法,应用半变异函数,结合地统计学方法分析定量研究土壤全氮、有机质元素的空间变异特征,不仅要宏观上发现农田土壤养分退化从而减轻农业生产过程中的污染源,而且要对区域农业生产和土壤特性的空间变异性研究提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

甘州区位于甘肃省河西走廊中部,地处东经100°6′~100°52′,北纬38°32′~39°24′,南枕祁连山,北依合黎、龙首二山,是张掖市政治、经济、文化中心,也是古代丝绸之路重镇。境内地势平坦,平均海拔1474 m,黑河、酥油河口、大磁窑河等河流贯穿全境,绿地面积占整个张掖绿洲面积的20%,是典型的绿洲农业区。土壤以灌淤土为主,其次是灰棕漠土和风沙土。

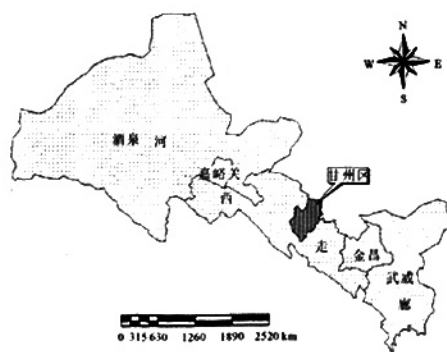


图1 甘州区地理位置

Fig.1 The geographical position of Ganzhou District

收稿日期:2009-11-24

基金项目:西北师范大学科研骨干(nwnu-kjxgc-03-59);青年基金(nwnu-qn-06-30)

作者简介:杨东(1968—),男,湖北宜昌人,博士,副教授,主要研究方向为区域资源、环境变迁与全球变化。E-mail: guangmingliu1983@163.com。

1.2 土壤样品采集及测定项目与方法

2009 年 3 月,对土壤样品采集区实行格网嵌套布点,在研究区选取样点 140 个,其中剖面 50 个,样点取 0~20 cm 的土壤表层,每一采样点周围选取 5 个点,以 5 个点的平均值为该样点的最终数据。同时使用 GPS 仪记录采样点地理坐标,以及各采样田块的基本信息,从而最终生成研究区的样点分布图。随后将采集的样品分别装于采集袋中,带回实验室,分出杂物,风干,磨碎,过 2 mm 筛(分析测量时根据测定指标再过不同规格的筛),分别装于广口瓶中。采集土样均制备 1:5 水土比浸提液,并测定其电导率 EC1:5;全氮采用德国产 Vario EL III 型元素分析仪测定,先将土样自然风干,取 20 g 左右土样研磨完全过 2 mm 标准筛,取 30~35 mg 过筛土样上机测试,土壤有机质含量用重铬酸钾容量法测定^[10,11]。

1.3 数据处理

土壤全氮、有机质数据,通过应用 K-S 检验(柯尔莫哥洛夫-斯米诺夫检验),是否符合正态分布规律,从研究区 140 个样本数据的直方图可以看出(图 2,3),土壤有机质含量符合正态分布,土壤全氮含量是不符合正态分布,因此对全氮数据进行了对数变换,使转换后的数据趋于正态分布。

1.4 统计方法

采用半方差函数对采集的样品进行分析,地统计学是以区域化变量理论为基础,以半方差函数为基本工具,研究那些在空间分布上既有随机性又有结构性,或空间相关和依赖性的自然现象,该函数可用下式表示^[7-9]:

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

式中, $r(h)$ 是半方差函数; h 为两样本间的分离距离; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别是随机变量在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 上的取值; $N(h)$ 为在分离距离为 h 时的样本对总数。由 $r(h)$ 对 h 作图可作出半方差函数图,该图由一批散点组成,最后根据离差平方和(RSS)最小原则,对试验半方差函数进行拟合,最终得到半方差函数的理论模型^[4,5]。半方差函数的具体计算是通过运用 ArcGIS 9.2 软件的地统计学模

块,获得土壤性质趋势特征参数及异向性分布特征参数^[12],在样点分布图中输入土壤表层 0~20 cm 的土壤养分的分析数据,生成属性数据,建立数据库,即可计算出半方差,最后用理论模型拟合。

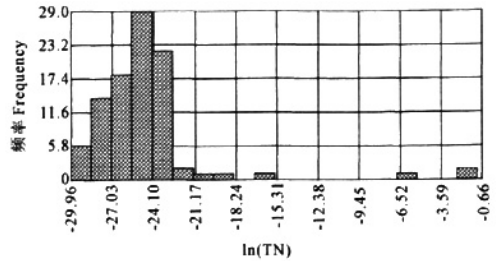


图 2 土壤全氮含量对数变换直方图

Fig.2 Histogram of Logarithm change for soil total N

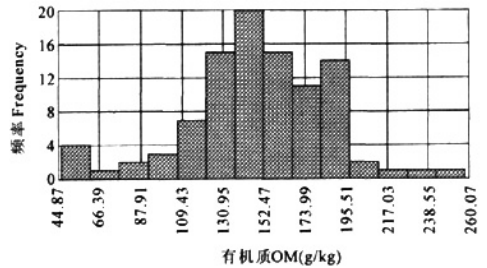


图 3 土壤有机质含量直方图

Fig.3 Histogram of soil organic matter

2 结果与分析

2.1 土壤全氮、有机质描述性统计分析

表 1 是土壤全氮、有机质统计分析的结果。有机质含量 1.38 ± 0.33 g/kg,变化范围为 0.35~2.08 g/kg,而全氮由于分布属于偏态分布,必须对其进行对数变换,使其符合正态分布,造成土壤表层的全氮均值为负,这可以表明土壤全氮在采样区内的中心趋向分布可能被异常值所决定,容易导致其出现非正态分布。而数据分布类型上土壤有机质呈正态分布,这表明两种养分空间分异性较强,全氮、有机质含量变化相差较大,均值分别与其最大值、最小值相比都有区域偏低偏高现象。

表 1 土壤全氮、有机质的描述性分析

Table 1 Statistical characteristics of soil TN and OM content

项目 Items	样本数 Sample	分布类型 Distribution type	最小值 Min. (g/kg)	最大值 Max. (g/kg)	均值 Mean (g/kg)	标准差 SD (g/kg)	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变异系数 CV
有机质 OM	140	正态 Normal	0.35	2.08	1.38	0.33	-0.32	4.17	0.54
全氮 TN	140	偏态 Skew	-1.00	-0.01	-1.46	0.35	3.52	15.24	0.48

土壤全氮和有机质的数据检验与趋势分析,由于受采样点数量和误差以及成土因素影响,区域土壤性质的空间分布常呈明显的趋势特征和异向性分布。为了进一步分析土壤属性的变异规律,消除由于采样点数量对土壤特性变化规律产生的影响,选取的衡量指标包括最大值、最小值、平均值、标准差、偏度、峰度、变异系数 7 个指标来分析采样的描述性统计分析^[13-17]。全氮的变异系数为 0.48,属中等变异强度;有机质的变异系数为 0.54,也属中等变异强度,这可能与土地利用、施肥不均和侵蚀等过程的不同导致的不均一性有关。

2.2 土壤全氮、有机质的空间结构分析

由表 2 可知,各向同性的半方差模型下,土壤全氮和有机质的理论模型分别采用球形模型和指数模型拟合较好,其决定系数分别为 0.85 和 0.73,说明理论模型能够较好反映耕层全氮和有机质的空间结构特征。甘州区土壤全氮与有机质的空间自相关范围具有明显差异,它们的变程分别为 2.40 km 和 0.35 km,变程较小,说明全氮和有机质在一个较小的空间尺度范围内相关,反映了区域因素(气候、地形、土壤母质)对其含量的影响比较大。

表 2 半方差函数及其参数

Table 2 Theoretical semi - variogram model parameters at various lag intervals

项目 Items	理论模型 Theoretic model	块金值 C_0	基台值 $C_0 + c$	变程 A (km)	相关距 Relative distance	$C_0/C_0 + c$	决定系数 r^2	残差 Rss
全氮 TN	Spherical	0.18	0.36	2.40	2.00	0.55	0.85	0.17
有机质 OM	Exponential	0.05	0.18	0.35	0.49	0.69	0.73	1.203×10^3

半方差函数及其参数, C_0 表示块金值,由实验误差和小于实验取样尺度上施肥、作物、管理水平等随机因素引起的变异; C 为结构方差,由土壤母质、地形、气候等非人为的区域因素(空间自相关部分)引起的变异; $(C_0 + C)$ 为基台值(半方差函数随间距递增到一定程度后出现的平稳值),表示系统内总的变异。总体来看,土壤有机质含量都具有较好的半方差结构,经过比较指数模型拟合程度最好。土壤有机质含量的基台值 $(C_0 + C)$ 均为正值,说明存在着由采样误差、短距离的变异、随机和固有变异引起的各种正基底效应。土壤全氮和有机质半方差函数理论模型块金值和基台值之比 $[C_0/(C_0 + C)]$ 小于 0.25,空间相关性强;在 0.25 ~ 0.75 之间,空间相关性中等; > 0.75,空间相关性弱。土壤养分分布是由结构性和随机性因素共同作用的结果^[18-20]。结构性因素,如气候、母质、地形、土壤类型等可以导致土壤养分强的空间相关性,而随机性因素包括如施肥、耕作措施、种植制度等各种使土壤养分的空间相关性的人为活动。从表 2 可以看出,各向同性和各向异性条件下土壤全氮的 $C_0/(C_0 + C)$ 为 0.55;土壤有机质的 $C_0/(C_0 + C)$ 比值范围为 0.69,均大于 0.50,但与 1986 年甘州区土壤调查相比,有机质的变异系数却增大许多;全氮的变异系数没有太大的变化。全氮变异系数的变化可能与化肥使用有关,并且施用量也比较均匀,减小了样点间差异,变异系数有一定下降。有机质的变异系数增大说明各样点

之间有机质含量的差异增大,主要是出现了一些有机质含量较高的样点,其原因主要与耕作措施的改变以及土地利用的变化有关。但总体来说,土壤全氮、有机质的变异系数由耕作措施、种植制度等各种使土壤养分的空间相关性的人为活动随机因素引起的空间异质性要大于由结构性因素引起的空间异质性。从各向同性和各向异性模型交互验证的结果来看,各向同性下的半方差模型得到的平均预测误差均小于各向同性下的半方差模型;而且各向同性下的半方差模型得到的标准化均方根误差更接近于 1,说明各向同性下的半方差模型预测精度更高。因此,在进行 Kriging 最优内插法时选取各向同性下的半方差模型^[21-24]。

2.3 土壤全氮、有机质的空间分布格局及分析

以半方差函数的理论模型为基础,采用 Kriging 插值法,对未测点进行估值^[25]。甘州区土壤呈微碱性,土壤的养分状况受气候、母质、植被、水文地质的影响而差异悬殊。土壤的有机质是在灌溉和大陆性气候的影响下,干湿交替明显,农业生产中通过增施化学肥料,增加土壤的透气性,使土壤有机质矿化作用加强,养分消耗加大,使得有机质含量比较低,同时该区域生物活动比较强烈,有机质易分解而不利于积累,最终造成全县平均含量较低,并且有机质含量的地区性差别较为明显;而造成氮素含量较低原因是:该区域土地复种指数偏高,这种长期掠夺式经营,从土壤中带走的土壤全氮养分过多,而补充量较

少,并且农业生产中使用的化肥,全氮养分在土壤中蓄存较少,而大部分全氮元素被植被吸收利用。从二维平面差值图中可以清晰地看出土壤养分的空间变异性分布格局(图 4,图 5)。土壤全氮、有机质具有明显的分异性结构,且分级还较为明显,全氮的分布趋势为:中部高于北部和南部,这是因为甘州区的地势是南、北两山包围,地势起伏和缓、北部山区植被较好,水土流失较轻,植被覆盖较好,甘州区南部由于紧挨山脉,温度较北部地区低,减弱了有机质的矿化和氮素的分解,有利于有机质和氮素的合成积累,造成全氮、有机质含量也较高。同时光照、水、热量的区域分异对土壤微生物分解,土壤全氮、有机质的积累,有着重要的影响。甘州区东部地区海拔低于西部地区,原始的成土过程使西部地区植被比东部更有利于有机质的积累,同时由于西北部温度较东南部高,光照充足,加强了有机质的矿化和氮素的分解,使东部全氮、有机质低于西部地区。

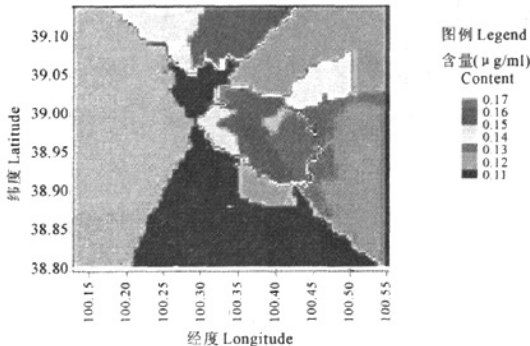


图 4 全氮普通克立格插值图

Fig.4 The interpolation map of total nitrogen

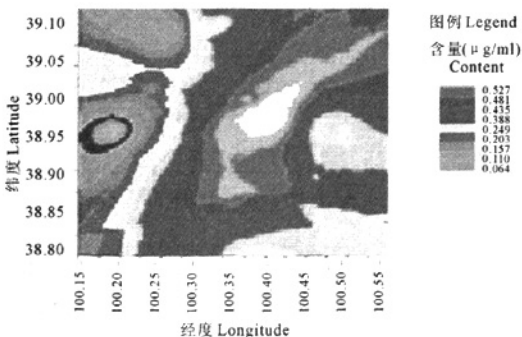


图 5 有机质普通克立格插值图

Fig.5 The interpolation map of organic matter

3 结 论

通过研究发现甘州区土壤全氮总体上呈条带状

分布,有机质呈斑块状分布,全氮和有机质的含量总体水平偏低并且含量的空间变异具有各向异性特征,变异系数均属中等变异程度。通过趋势分析显示研究区土壤有机质和全氮含量呈二阶趋势,其理论模型和相应参数较好地反映了各自含量的变异特征,这种变异特征受随机因素的影响较结构性因素大,具有中等的空间相关性。

参 考 文 献:

- [1] 李亮亮,依艳丽,凌国鑫.地统计学在土壤空间变异研究中的应用[J].土壤通报,2005,36(2):263—266.
- [2] 陈伟强,刘国顺,华一新,等.平顶山市土壤速效养分空间变异分析[J].河南农业大学学报,2007,41(5):559—564.
- [3] Matheron G. Principles of geostatistics[J]. Economic Geology, 1963, (58):1246—1266.
- [4] 朱益玲,刘洪斌,江希流.江津市紫色土中 N、P 养分元素区域空间变异性研究[J].环境科学,2004,25(1):138—143.
- [5] 张淑娟,何勇,方慧.基于 GPS 和 GIS 的田间土壤特性空间变异性的研究[J].农业工程学报,2003,19(2):39—44.
- [6] 王绍强,朱松丽,周成虎.中国土壤土层厚度的空间变异特征[J].地理研究,2001,20(2):161—169.
- [7] 黄元仿,周志宇,苑小勇,等.干旱荒漠区土壤有机质空间变异特征[J].生态学报,2004,24(12):2776—2781.
- [8] 路鹏,彭佩钦,宋变兰,等.洞庭湖平原区土壤全磷含量地统计学和 GIS 分析[J].中国农业科学,2005,38(6):1204—1212.
- [9] 陈肖,张世熔,黄丽琴,等.成都平原土壤氮素的空间分布特征及其影响因素研究[J].植物营养与肥料学报,2007,13(1):1—7.
- [10] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [11] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [12] ESRI. Using ArcGIS geostatistical analyst[M]. Redlands: ESRI, 2001.
- [13] 王学军,邓宝山,张泽浦.北京东郊污灌区表层土壤微量元素的小尺度空间结构特征[J].环境科学学报,1997,17(4):412—416.
- [14] 张少良,张兴义,崔战利.哈尔滨市辖区黑土有机质、全氮的空间异质性分析[J].农业系统科学与综合研究,2007,23(3):333—337.
- [15] 王政权.地质统计学及在生态学中的应用[M].北京:科学出版社,1999.
- [16] 黄元仿,周志宇,苑小勇,等.干旱荒漠区土壤有机质空间变异特征[J].生态学报,2004,24(12):2776—2781.
- [17] 张淑娟,何勇,方慧.基于 GPS 和 GIS 的田间土壤特性空间变异性的研究[J].农业工程学报,2003,19(2):39—44.
- [18] 杜建会,严平,丁连刚,等.民勤绿洲不同演化阶段白刺灌丛沙堆表面土壤理化性质研究[J].中国沙漠,2009,29(2):248—253.
- [19] 陈肖,张世熔,黄丽琴,等.成都平原土壤氮素的空间分布特征及其影响因素研究[J].植物营养与肥料学报,2007,13(1):1—

- 7.
- [20] 马 斌,马 琨,何宪平,等.宁夏南部黄土高原流域土壤速效养分空间变异研究[J].农业科学研究,2006,27(3):16—20.
- [21] 史利江,郑丽波,柳云龙.农田土壤养分空间变异特征研究[J].河南农业大学学报,2008,42(1):51—56.
- [22] 赵良菊,肖洪浪,郭天文,等.甘肃灌溉土壤肥力的空间变异性典型研究[J].中国沙漠,2004,24(4):451—455.
- [23] 姚春霞,陈振楼,许世远.上海市郊旱作农田土壤养分资源状况[J].水土保持学报,2007,21(1):131—134.
- [24] 杨玉玲,田长彦,盛建东,等.灌溉土壤有机质、全氮磷钾空间变异性初探[J].干旱地区农业研究,2002,20(3):26—30.
- [25] 程先富,史学正,于东升,等.江西省兴国县土壤全氮和有机质的空间变异及其分布格局[J].应用与环境生物学报,2004,10(1):64—67.

Characteristics of spatial distribution of soil organic matter and total nitrogen in Hexi Area

—A case study in Ganzhou District of Zhangye

YANG Dong, LIU Qiang

(College of Geography and Environmental Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Through the application of statistical methods to GanZhou soil (0 ~ 20 cm, organic nitrogen) data are analyzed. Finally indicate soil entire nitrogen, organic quality contents comparison low, existence is burning obvious space be allotted the opposite sex, be shown in order the secondary centre faces the all around gradually degressive trend, the function applying half method difference analyses, soil entire nitrogen and organic quality there exist space correlativity in inner, change Cheng into 2 respectively in certain range. And and both 4 km and 0.35 km, are related to within a less space dimension range, entire as a whole memorial of nitrogen strip banding scatters, organic quality memorial speckle form of block distribution, the contents space dissociation has the aeolotropism characteristic, very good have reflected organic quality of soil and complete it's respective theory model and corresponding parameter nitrogen contents mutant characteristics, this mutant characteristic bigger than structure factor, is had medium space correlativity by random factor effect.

Keywords: GIS; geostatistics; Hexi region; soil total nitrogen; soil organic matter; spatial variability