

栗钙土农田土壤养分空间变异特性及采样方法研究

王晋民¹, 王俊鹏², 胡月明³, 赵之重^{1,3}

(1. 青海大学农牧学院农学系, 青海 西宁 810003; 2. 西北农林科技大学 干旱半干旱农业研究中心, 陕西 杨凌 712100; 3. 华南农业大学信息学院, 广东 广州 510642)

摘 要: 以西宁市二十里铺村的农田为研究区域, 采用 5 m×5 m 网格法, 选取 84 个观测点取样, 进行室内分析, 测定土壤有机质、水解氮、速效磷、速效钾的含量, 分析土壤养分的空间变异规律。研究表明, 土壤有机质、水解氮、速效钾的空间变异性不太明显, 速效磷的空间变异性明显; 有机质、水解氮和速效钾的空间变异主要是由结构性因素引起的, 速效磷的空间变异是由随机因素引起的。有机质的变异函数理论模型为指数模型, 水解氮、速效磷、速效钾变异函数理论模型为球形模型。栗钙土农田采样的密度范围在 1~11 m 之间, 将能够满足精确农业生产对这 4 种土壤养分的分析要求。

关键词: 栗钙土; 土壤养分; 空间变异; 半方差函数

中图分类号: S155.2⁺8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)05-0059-05

在土壤质地相对均一的区域内, 土壤的特性(如土壤物理、化学及生物性质等)参数和土壤水分运动的某经验参数以及土壤中的有关状态变量的数值, 在同一时刻不同空间位置并不相等的性质称为土壤空间变异性^[1]。土壤特性的空间变异研究越来越受到人们的重视, 特别在土壤养分管理上, 以精准农业为中心的养分管理正成为土壤养分管理的特点。研究某一区域土壤养分空间分布特征, 旨在为充分发挥土壤的生产潜力, 提高肥料利用率, 保护生态环境提供有关科学理论依据和发展模式^[2,3]。

在精确农业应用中, 土壤地理信息的研究是基础性的工作。如何有效合理地采集土壤样本, 反映出土壤各种参数的特征, 取样面积或取样点之间的距离的大小是个至关重要的内容。样点距离过大, 不能反映土壤各参数的本质; 如过小, 费工费时, 工作量大, 效率低下。本文旨在研究栗钙土农田土壤养分的空间变异性, 从而寻求精确农业中最适采样范围和距离。

1 材料与方法

1.1 研究地块的基本情况

试验选取的是西宁市二十里铺村一块长 63 m, 宽 37 m 的农田, 农田土壤类型为栗钙土, 前茬作物为油菜和小麦。

1.2 土壤样品的采集

试验采用网格法取样, 将地块划分为若干个 5 m×5 m 的网格, 列数为 12, 行数为 7, 共设置了 84 个取样点(图 1)。采样地块 23 m 处有人为耕种界

限, 23 m 以北为油菜地, 以南为小麦地。采样深度为 0~15 cm。取样方法是在十字交叉点的周围用土钻取 4 钻土样, 将取得的土样混匀, 用四分法分取所需数量的土样。在室内自然风干。采样时间为 2003 年 11 月 9 日。

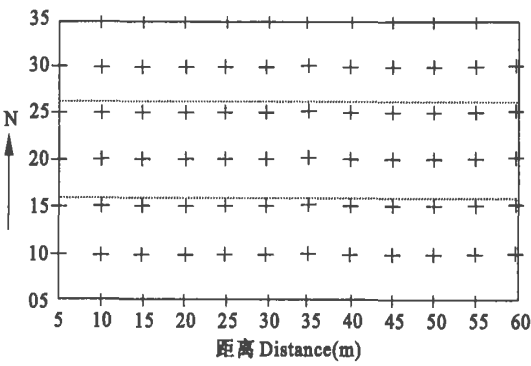


图 1 样点分布图

Fig. 1 The distribution chart of soil sampling sites

1.3 土壤样品的处理

将自然风干的土样混匀碾碎, 过 1 mm 筛(18 目), 装瓶备用。分析土壤有机质—水合热法、水解氮—扩散吸收法(NaOH 水解)、速效磷—NaHCO₃ 浸提法、速效钾—火焰光度法(1N NH₄OAc 浸提)。

1.4 供试土壤养分基本性状数据的处理方法

1.4.1 统计软件 本研究的数据分析采用 Sufer. 7 软件进行, 涉及地统计学的方差函数及模型和差值都包括在 Sufer. 7 中, 计算土壤养分参数的特征值, 通过拟合最终得到土壤养分变异函数理论模型及相关参数。绘制出土壤养分变异函数理论模型的曲线

图。

1.4.2 土壤养分半方差函数的结构分析理论 半方差函数分析是用半方差函数研究参数在空间分布上的相关性,它对研究样品之间的相关域,并依此来确定试验场地的大小与取样点位置以及在本试验中的采样点的距离或采样数目,从而达到样品之间完全独立。根据定义,地域变量的半方差为:

$$r(h) = 1/2[z(x) - z(x + h)] \tag{1}$$

这里, $z(x)$ 和 $z(x + h)$ 是所研究土壤性质的地域变量 z 在由位差矢量表示的每两个点 x 和 $x + h$ 的位置的观测值。 h 为分隔两个观测点的距离,亦称为滞后距(lag)。

假设在空间上具有相同滞后 h 的观测值有 $N(h)$ 对,则其样本半方差为:

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

式中, $N(h)$ 为 h 分隔的观测数据对的个数。

半方差函数模型有球状(Spheric): $r(h) = C_0$

$+ C[1.5h/a - 0.5(h/a)^3], 0 < h < a \quad \{r(h) = C_0 + C, h > a. r(h) = 0, h = 0\}$ 。高斯(Gaussian): $r(h) = C_0 + C[1 - \exp(-h^2/a^2)], h > 0 \quad \{r(h) = 0\}$ 。指数(Exponential): $r(h) = C_0 + C[1 - \exp(-h/a)], h > 0 \quad \{r(h) = 0, h = 0\}$ 等模型。模型中 C_0 表示块金方差(间距为 0 时的半方差),由实验误差和小于实验取样尺度引起的变异,较大的方差块金值表明较小尺度上的某种变程不容忽视; $C_0 + C$ 为基台值(半方差函数随间距增到一定程度后出现相对平稳值),表示系统内总的变异; C 为结构方差,由土壤母质、气候、地形等非人为的区域因素(空间自相关部分)引起的变异,即基台值减去 C_0 的值; a 为变程(半方差达到基台值的样本间距)。 a 对于球形模型则表示观测点之间的独立间距,而指数模型的独立间距为 $3a$ 。

2 结果与分析

2.1 对土壤养分基本性状数据的正态分布检验

表 1 土壤养分测定值
Table 1 Measurement result of soil nutrients

采样点 Sampling Site		测定值 Measurement result											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
有机质 Organic matter (g/kg)	A	14.3	20.6	18.5	18.1	18.2	18.5	22.8	14.0	13.6	18.1	12.1	13.6
	B	24.4	23.4	21.0	21.0	21.3	21.7	15.0	15.7	17.1	14.7	17.5	16.8
	C	21.7	19.6	19.9	18.2	21.0	22.0	21.3	19.9	19.6	31.8	19.2	20.3
	D	18.5	17.1	17.8	18.8	17.5	19.6	20.6	23.4	23.8	23.4	25.2	20.6
	E	20.6	21.0	19.6	20.3	18.9	20.3	22.0	20.6	19.9	16.3	22.0	21.7
	F	27.6	27.6	21.0	19.9	19.6	20.3	19.2	18.9	19.2	21.0	20.3	20.2
	G	27.3	27.6	25.2	26.9	26.2	25.2	26.6	27.3	25.2	24.1	23.8	23.1
水解性氮 Available N (mg/kg)	A	14.35	13.30	11.90	11.90	14.70	14.00	11.90	12.95	13.65	12.25	14.35	13.65
	B	14.70	15.40	15.05	14.00	12.95	12.75	14.00	14.00	12.60	14.00	14.70	13.65
	C	16.10	14.35	15.75	13.15	13.3	13.15	15.40	16.80	13.30	13.65	12.95	14.70
	D	14.00	14.70	14.35	12.92	11.55	12.60	16.80	14.00	15.40	14.35	15.05	14.35
	E	14.00	12.80	16.80	13.30	13.65	14.35	13.65	12.25	16.45	14.70	12.60	14.00
	F	18.55	17.15	15.75	15.75	14.70	13.65	15.40	16.45	15.75	12.25	13.65	14.35
	G	14.35	15.60	15.40	14.35	14.70	17.15	15.05	14.35	14.70	12.60	15.75	17.15
速效磷 Available P (mg/kg)	A	20.00	29.13	14.56	21.74	9.57	19.79	26.31	7.39	18.05	29.35	9.14	21.31
	B	20.43	17.61	30.21	7.18	20.00	22.18	4.79	9.14	18.48	17.83	15.44	11.31
	C	33.26	13.69	14.54	17.83	16.31	17.83	9.14	13.70	7.18	18.48	10.22	8.05
	D	26.10	11.52	17.61	16.96	20.22	21.31	30.87	25.67	13.26	16.74	19.14	22.83
	E	27.61	8.70	7.61	16.09	13.48	19.78	11.31	8.27	15.43	18.70	13.48	11.52
	F	23.70	18.48	13.48	19.14	8.92	33.91	16.96	12.18	16.09	17.83	26.53	23.26
	G	15.87	19.35	30.87	9.13	22.18	25.67	13.26	23.26	19.14	22.18	10.00	26.53
速效钾 Available K (mg/kg)	A	114.0	113.5	115.9	110.6	112.3	111.6	115.7	110.0	113.3	110.6	110.6	112.2
	B	116.9	115.8	105.4	114.9	114.8	113.1	117.6	116.3	118.9	116.4	110.7	112.4
	C	119.4	113.4	120.7	122.6	121.0	115.8	116.6	120.0	114.5	116.7	119.4	120.1
	D	115.7	116.6	117.7	117.4	118.0	120.4	119.9	113.6	111.8	115.5	119.3	120.6
	E	118.4	119.4	115.7	121.8	123.6	124.9	131.7	127.9	126.7	120.6	128.6	130.2
	F	117.9	124.1	125.7	116.5	111.0	112.9	121.9	113.5	120.7	122.5	125.7	122.3
	G	130.2	122.4	128.7	122.7	123.5	118.4	125.4	123.7	130.5	126.6	123.5	125.7

在对数据进行地统计学分析之前,必须对数据进行正态分布检验。因为数据的非正态分布会使方差函数产生比例效应,从而使实验方差函数产生畸变,抬高基台表现出方差函数点的波动较大,甚至会掩盖其固有结构,所以应消除比例效应,对数据进行正态分布检验^[1]。本实验应用 Kolmogorov—Smirnov (K—S)正态分布检验概率(PK—S)进行检验,检验时取显著水平 $\alpha = 0.05$,若 $P_{k-s} > 0.05$,则认为数据服从正态分布,结果见表 2。

表 2 土壤养分 Kolmogorov—Smirnov (K—S)正态分布检验

Table 2 K—S normal distribution test of soil nutrients			
有机质 Organic matter	水解氮 Available N	速效磷 Available P	速效钾 Available K
0.126 *	0.107 *	0.059 *	0.072 *

注: * 5%显著性 Note: * means significant at 5% level

结果表明(表 2),有机质、水解氮、速效磷、速效钾的正态分布都达到显著水平,呈正态分布,说明有机质、水解氮、速效磷、速效钾空间变化并不十分复杂。

2.2 供试土壤养分的统计特征值的对比分析

表 3 土壤属性参数的统计特征值

Table 3 The statistical eigenvalues of soil properties				
特征值 Eigenvalue	有机质 (g/kg) Organic matter	水解氮 (mg/kg) Available N	速效磷 (mg/kg) Available P	速效钾 (mg/kg) Available K
样点数 Sample number	84	84	84	84
平均值 Mean	20.71	14.32	17.52	118.75
最小值 Min.	12.10	11.55	4.79	105.40
最大值 Max.	31.80	18.55	33.91	131.70
标准差 S. D	4.06	1.42	6.85	5.62
中数 Median	20.3	14.35	17.72	118.76
变异系数 CV (%)	19.5	9.9	38.6	4.7

从表 3 可以看出,该地块中有机质平均含量为 20.71 g/kg,水解氮为 14.32 mg/kg,速效磷为 17.52 mg/kg,速效钾为 118.75 mg/kg。研究区域内土壤速效磷空间变异性较大,其变化幅度从最低值的 4.79 达到最高值的 33.91,极差之间相差 7.08 倍,而土壤有机质的空间变异性次之,水解氮、速效钾的空间变异性则相对稳定。

从变异系数来看,速效磷的变异系数最高,为 38.6%,有机质次之,为 19.5%,水解氮和速效钾较低,分别为 9.9%和 4.7%。速效磷变异较大,这种表现与以前有关报道^[4]不太吻合,其原因有待于进一步研究。我们认为这是由于前茬作物不同而产生

的,如本地块 23 m 以北为油菜地,以南为小麦地,同时又属于不同的农户,肥料施用量也有所不同,所以土壤速效磷变异较大。

2.3 土壤养分半方差函数的结构分析

对所测土壤有机质、速效钾、水解性氮、速效磷进行半方差函数分析,研究在这一空间位置上各项指标的变异。根据各要素变异函数理论模型得出相应参数(见表 4)绘制土壤养分变异函数图(图 2)。从表 4 可看出,有机质的理论模型较好地符合指数模型,水解氮、速效磷、速效钾的理论模型都较好地符合球形模型。块金值与基台值之比表示随机部分引起的空间异质性占系统总变异的比,如果该值高说明随机部分引起的空间异质性程度起主要作用^[5],有机质、水解氮和速效钾块金值与基台值之比较低,分别为 43.85%、45.05%和 37.53%,表明空间异质性主要是由于结构性因素引起的,速效磷的块金值与基台值之比较大,为 93.09%,说明速效磷养分的空间变异主要是由随机因素引起的。从结构性因素的角度来看,块金值与基台值的比例可以表明系统变量的空间相关性的程度,如果比值 < 25%,说明系统具有强烈的空间相关性;如果比例在 25%~75%之间,表明系统具有中等的空间相关性; > 75%说明系统空间相关性弱^[6]。由此可见,有机质、水解氮和速效钾的空间分布体现为中等空间相关性,速效磷的空间分布体现为弱空间相关性。由于土壤养分分布是由结构因素和随机性因素共同作用的结果,结构性因素,如气候、母质、地形、土壤类型、自然因素等可以导致土壤养分强的空间相关性,来源于母体的一些特征为强的空间相关性如地质、一些土壤矿物和化学组成,而后来附加的一些因子如施肥、种植制度、耕作措施等各种人为活动使土壤养分的空间相关性减弱,朝均一化方向发展^[7]。

由于土壤养分受结构因素如气候、母质、地形等影响和随机因素如施肥、耕作措施等的影响,土壤养分空间性呈现出不同强度。从图 2(a、b、c 和 d)可以看出,4 种养分要素的空间自相关的变化尺度不同。当采样点间隔小于变程的样点是空间相关的,而间隔大于变程的样点则无空间相关性^[8]。有机质和水解氮的变异尺度较大,分别为 11.43 m 和 10.56 m,说明有机质和水解氮在较大范围内呈现中等相关性。速效磷和速效钾的变化尺度比较小,分别为 0.97 m 和 5.82 m,说明速效磷在较小尺度范围内空间相关性弱,其独立性大,随机性强;速效钾在较小尺度范围内呈现中等空间相关性。根据此数据分析,确定采样点密度,4 种土壤养分的采样点范围应

在 1~11 m 之间。

表 4 土壤养分变异函数理论模型及相关参数					
Table 4 The semi-variogram models of soil nutrients and corresponding parameters					
土壤养分 Soil nutrient	理论模型 Theoretical model	块金值 Nugget	基台值 Sill	块金值/基台值 Nugget/sill(%)	变程 Range(m)
有机质 Organic matter	指数模型 Exponential model	2.57	5.865	43.85	11.34
水解氮 Available N	球形模型 Spherical model	0.82	1.82	45.05	10.56
速效磷 Available P	球形模型 Spherical model	37.5	40.28	93.09	0.97
速效钾 Available K	球形模型 Spherical model	7.51	20.01	37.53	5.82

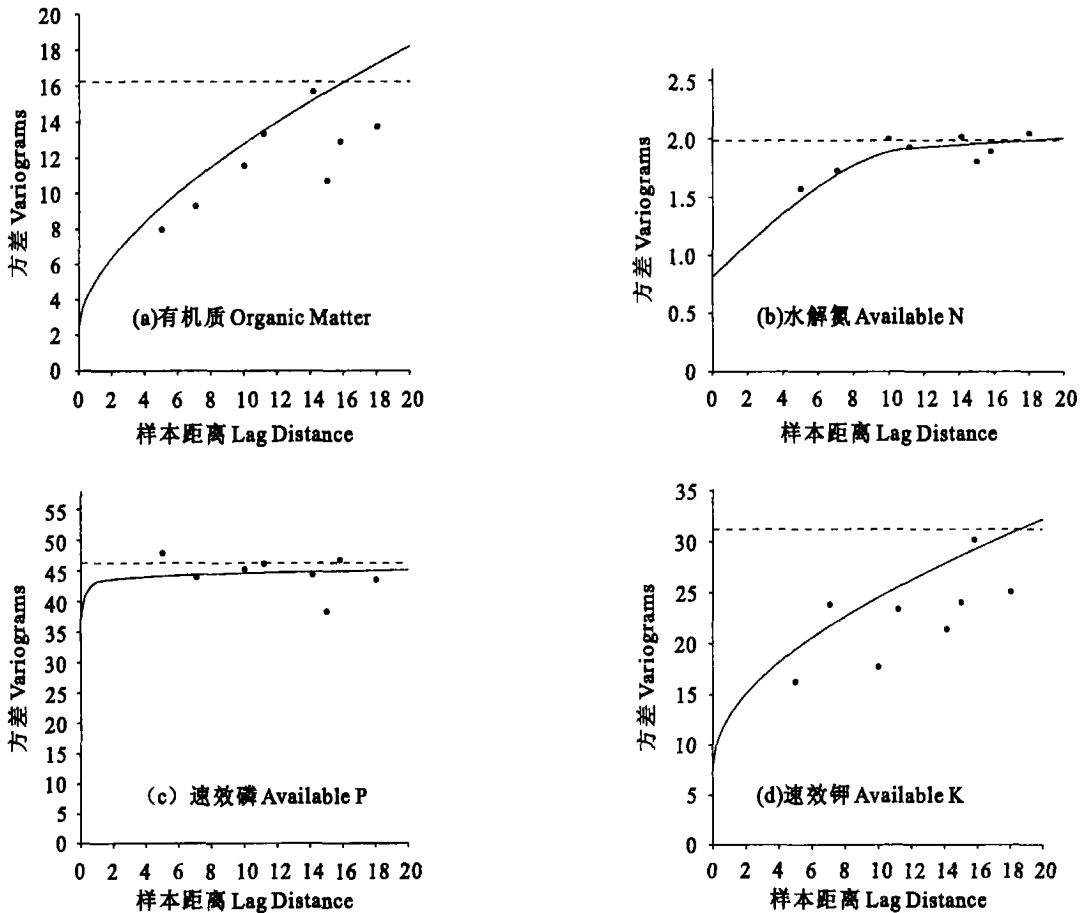


图 2 4 种土壤养分变异函数理论模型

Fig.2 The semi-variogram models of four soil-nutrients

3 结 论

1) 栗钙土有机质、水解氮、速效磷、速效钾的正态分布都达到显著水平,呈正态分布。从 4 种土壤养分的变异系数来看,速效磷变异系数最高,有机质次之,水解氮和速效钾变异系数较低。有机质、水解

氮、速效钾 3 种土壤养分空间变异性不太明显,速效磷的空间变异性十分明显。

2) 有机质、水解氮和速效钾的空间变异主要是由结构性因素引起的,速效磷的空间变异是由随机因素引起的。从 4 种土壤养分变异函数理论模型可看出,他们的变化各有不同。其中,有机质和速效钾

的变异函数曲线变化较为剧烈,速效磷和水解氮的变异函数曲线变化比较平稳。

3) 从栗钙土 4 种土壤养分的空间自相关的变化尺度值上可看出,有机质和水解氮的变化尺度值大,分别为 11.43 和 10.56,说明有机质和水解氮在较大范围内为中等相关。速效钾的变化尺度较小,为 5.82 m,说明其在较小范围内呈现中等相关性;速效磷的变化尺度比较小,为 0.97 m,说明它们在较小尺度范围内呈现弱相关性。4 种土壤养分的采样点范围应在 1~11 m 之间。

参 考 文 献:

[1] 梁中龙. 广州城郊农用地土壤养分空间变异分析与质量评

价[D]. 广州:华南农业大学,2003. 16—17.

[2] 胡克林,李宝国,林启美. 农田土壤养分的空间变异性特征[J]. 农业工程学报,1999,15(5):33—38.

[3] 孙新光. 膜上灌土壤水分特性空间变异性的概率统计分析[J]. 石河子大学学报(自然科学版),1999,3(3):143—145.

[4] 青海省农业资源区划办公室. 青海土壤[M]. 西宁:青海出版社,1992. 70—77.

[5] 郭旭东,傅伯杰,马克明. 基于 GIS 和统计学的土壤养分空间变异特征研究[J]. 应用生态学报,2000,11(4):557—564.

[6] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field-scale variability of soil properties in central low a soils[J]. Soil Sol Sol Am J, 1994, 58: 1501—1511.

[7] 白由路,金继运. 基于 GIS 的土壤养分分区管理模型研究[J]. 中国农业科学,2001,24(4):46—49.

[8] 李 毅,门 旗,罗 英. 土壤养分空间变异性对灌溉决策的影响研究[J]. 干旱地区农业研究,2000,18(2):80—85.

Studies on spatial variability of soil nutrients and sampling methods in a field of chestnut soil

WANG Jin-min¹, WANG Jun-peng², HU Yue-ming³, ZHAO Zhi-zhong^{1,3}

(1. Department of Agronomy, College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810003, China;
2. Research Center of Agriculture in Arid and Semi-arid Areas, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Eighty-four sampling plots of 5 m×5 m were collected from a field in Er-shi-li-pu Village of Xining City, Qinghai Province, China. Soil organic matter, available N, available P, and available K were measured, and the patterns of spatial variations of soil nutrients were analyzed. The results indicated that the spatial variability of organic matter, available N, and available K was not obvious while the spatial variability of available P was obvious. The spatial variability of organic matter, available N, and available K was mainly caused by structural factors and that of available P was primarily caused by random factors. The semi-variogram of organic matter was well described by exponential model while that of available N, available P, and available K was described by spherical model. In order to analyze the soil nutrients accurately in fields of chestnut soil, the appropriate sampling density was between 1 to 11 m.

Keywords: chestnut soil; soil nutrients; spatial variability; semi-variogram