

水分和土地类型对土壤肥力因子 空间变异性的影响

高义民,同延安,常庆瑞

(西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】研究水分条件和土地利用类型对黄土区部分土壤肥力因子空间变异的影响。【方法】采用网格法结合 GPS 采集耕层(0~20 cm)土样 364 个,并用土壤养分状况系统研究法(ASI 法)分析土壤部分肥力因子含量,从地统计学角度研究不同水分条件(旱地、水浇地)和土地利用类型(粮田、苹果园、葡萄园、蔬菜地)下,土壤有机质、氨态氮、有效 P 和有效 K 的含量特点和空间变异性。【结果】常规统计结果表明,水浇地土壤铵态氮、有效 P 和有效 K 平均含量比旱地分别高 26.0%,74.5%,85.3%,有机质含量则比旱地低 25%,不同土地利用类型之间各肥力因子的平均含量和变异系数表现出较大差异。地统计学结果表明,同一养分因子在不同水分条件下的空间变异特征并不完全一致,各肥力因子在粮田、葡萄园和苹果园均表现出强烈的空间相关性,而在蔬菜地表现出不同于其他土地利用类型的空间变异特征。【结论】在土壤肥力因子空间变异中,结构性因素占主导作用,人为因素尚无法达到破坏其原有空间格局的程度,尺度内结构性变异部分主要是由作物类型引起的。

【关键词】 黄土高原;水分条件;土地利用类型;肥力因子;空间变异

【中图分类号】 S158.3

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)11-0180-07

Effects of water conditions and land-use types on the spatial variability of soil fertility in Loess Plateau

GAO Yi-min, TONG Yan-an, CHANG Qing-rui

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The study explored the effect of water conditions and land-use types on the variability of soil fertility factors in Loess Plateau. 【Method】 This study analyzed the content characteristics and spatial variability of soil fertility factors (organic matter, NH_4^+-N , available P and available K) from 2 kinds of water conditions and 5 kinds of land-use types based on the data of 364 top-layer (0—20 cm). Soil samples were obtained by grid sampling method in Xinji village of Shaanxi Province. 【Result】 The results of traditional statistics showed that the average levels of NH_4^+-N , available P and available K were 26.0, 74.5 and 85.3 percent higher in irrigated than in non-irrigated soil, with organic matter 25 percent less than in non-irrigated. For the same soil fertility, its average levels and coefficient of variation (CV) in different land-use types were inconsistent. The results of Geostatistics showed that the spatial variability characteristics of soil fertility factors in different water conditions were not exactly the same, in which the structural variability comes from type of cultivation in study scale. All soil fertility factors were strongly spatially dependent in crop-land, grapery and apple orchard, because the rate of nugget to sill was less than 25%. The

* [收稿日期] 2009-03-05

[基金项目] 国际植物营养研究所(IPNI)资助项目

[作者简介] 高义民(1969—),男,甘肃泾川人,讲师,在读博士,主要从事土壤养分管理及 GIS 技术研究。

E-mail: gaoyim@nwsuaf.edu.cn

[通信作者] 同延安(1956—),男,陕西华县人,教授,博士生导师,主要从事植物营养与土壤学研究。

E-mail: tongyanan@nwsuaf.edu.cn

spatial variability characteristics of vegetable were totally different from other land-use types because of its special management measures. 【Conclusion】 This spatial variability is fundamentally affected by structural factors, and human factor hasn't changed the original space distribution.

Key words: Loess Plateau; water condition; land-use type; soil fertility characteristic; spatial variability

土壤肥力既是土壤质量的重要组成部分,也是土地生产力的基础。随着精准农业的提出和发展,土壤肥力的空间变异性研究,已成为现代土壤科学研究的热点之一^[1]。分析土壤肥力的空间变异性是进行土壤养分管理的重要依据。土壤肥力的空间变异性是普遍存在的,其来源包括系统变异和随机变异两种。自然过程(地形、母质、土壤类型等)是土壤养分空间变异的内在驱动力,它有利于土壤养分空间变异结构性的加强及相关性的提高,尤其是在较大的尺度水平上表现更为明显;而人为过程如施肥、耕作措施、种植制度,则是土壤养分变异的外在影响因素,表现为较大的随机性,它往往对变量空间变异的结构性和相关性具有削弱作用,使土壤特性的空间分布朝均一方向发展,尤其是在小尺度水平上更为强烈^[2]。然而多数研究都是从空间尺度出发,而关于土地自然属性(如水文、植被等)尺度下空间变异特征报道则较少^[3-7]。

黄土高原地区生态脆弱,土壤肥力因子空间变异大,并受地形、水文、土地利用类型等影响^[8]。本试验以地势平坦、母质和土壤类型相对均一的黄土高原地区村级研究区部分土壤肥力因子为研究对象,探讨不同水分条件和土地利用类型下部分土壤肥力因子的空间变异特征,旨在为作物合理布局、提高土地生产率和土壤养分管理水平提供指导。

1 材料与方法

1.1 研究区基本情况

选择黄土高原地区的陕西省扶风县新集村为研究区域。该村位于关中平原西部,土壤类型为塿土,质地中壤,年平均降水量 550~600 mm,耕地总面积 219 hm²,人均耕地 0.07 hm²。研究区水分条件依地势而分为 2 种:北部为旱地,南部为水浇地,井水灌溉。土地利用类型包括粮田、果园和蔬菜地,分别占总耕地面积的 85.2%,13.7% 和 1.1%。其中水浇地粮田约占总粮田面积的 70%。粮田主要种植小麦和玉米,采用轮作方式。果园包括葡萄园和苹果园,其中葡萄园属旱地,苹果园和蔬菜地属水浇地(图 1)。从图 1 可以看出,不同利用方式的地块分布相对集中。这种自然条件和土地利用方式在陕

西关中地区具有一定的普遍性。

1.2 土样采集及分析

用网格法结合全球卫星定位系统(GPS),同时期采集研究区耕层(0~20 cm)土壤样品 364 个。为保证每种土地利用类型都有足够多的点,网格边距为:粮田作物(旱地和水浇地)70 m,果园(苹果园和葡萄园)50 m,蔬菜地 30 m(图 1)。每个样品由半径 5 m 内 10 个点耕层土壤混合而成。土样风干后压碎,过孔径 2 mm 筛,用土壤养分状况系统研究法(ASI 法)分析土壤有效态 N、P、K 和有机质(OM)的含量^[9]。同时对每个样点所在地块的种植、产出和施肥状况进行详细调查,建立田间土壤养分管理档案。

1.3 地统计学方法与数据处理软件

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的一种数学方法^[10]。半方差函数的表达式为:

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

式中: $N(h)$ 是以步长 h 为间距的所有观测点的成对数目, $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别为区域变量 $Z(x)$ 在位置 x_i 和 $x_i + h$ 处的实测值。以 h 为横坐标, $\gamma(h)$ 为纵坐标作图,可得试验半方差函数图,该图由一批散点组成。根据离差平方和(SSQ)最小原则,对试验半方差函数拟合,可得到半方差函数的理论模型。

目前,用于拟合该函数较成熟、且较适合描述土壤特性空间变异的模型主要有线性模型(Linear model)、球状模型(Spherical model)和指数模型(Exponential model)。其中球状模型和指数模型的数学表达式为:

球状模型:

$$\gamma(h) = c_0 + c[1.5h/a - 0.5(h/a)^3], h \leq a;$$

$$\gamma(h) = c_0 + c, h > a;$$

$$\gamma(h) = 0, h = 0.$$

指数模型:

$$\gamma(h) = c_0 + c(1 - e^{-h/a}), h > 0;$$

$$\gamma(h) = 0, h = 0.$$

式中: c_0 为块金值(nugget),即 $h=0$ 时的半方差; $c_0 + c$ 为基台值(sill),为半方差函数随测点间距递增

到一定程度时出现的较为稳定的半方差值,表示包括随机性变异和空间结构性变异的总变异; a 为变程,为半方差达到基台值时的测点间距,相距大于变程的点之间不具备自相关性。块金值与基台值之比($c_0/(c_0+c)$)揭示了变量的空间相关程度,若 $c_0/(c_0+c) \leq 25\%$,表明变量具有强烈的空间相关性;

若 $c_0/(c_0+c) \geq 75\%$ 时,变量空间相关性很弱; $c_0/(c_0+c)$ 为 $25\% \sim 75\%$,则表明变量具有中等程度的空间相关性^[11]。变程对土壤取样策略具有重要的指导意义。

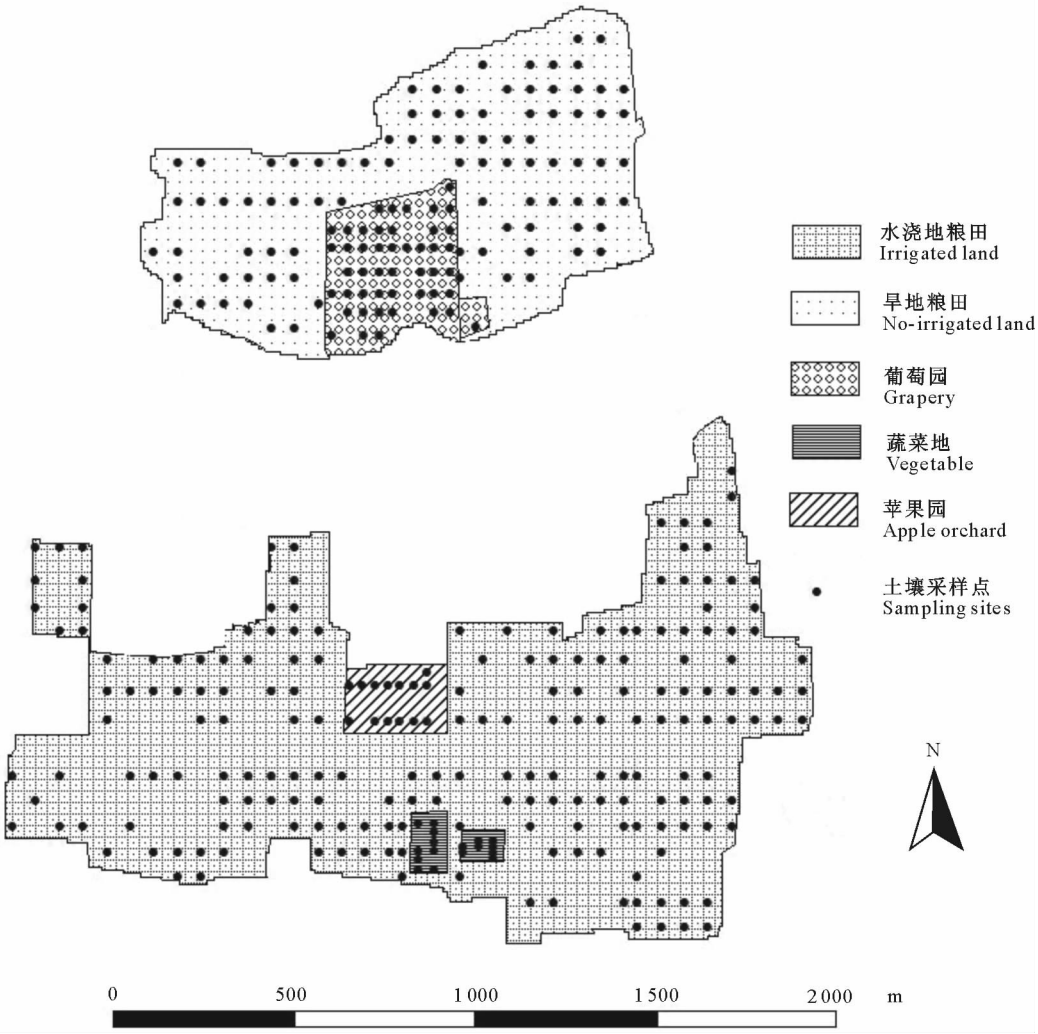


图 1 土地利用类型及土壤采样点的分布
Fig. 1 Sampling sites and land use types

本研究中常规统计分析采用 SPSS 12.0,土地利用类型和土壤采样点分布图采用 ArcGIS 9.0 绘制,各土壤肥力因子的最优半方差模型拟合及参数选择采用 GS⁺ Geostatistics for Environment Sciences 5.3.1 软件。

2 结果与分析

2.1 研究区土壤肥力因子的常规统计特征

表 1 是研究区 364 个土壤采样点部分肥力因子实测数据的分类统计特征值。表 1 显示,水浇地土

壤铵态氮、有效 P 和有效 K 含量平均值比旱地分别高 26.0%,74.5% 和 85.3%,而有机质平均含量则降低 25%,表明不同水分条件下,土壤中各肥力因子平均含量存在较大差异,水浇地有机质含量低于旱地,可能与水浇地利用强度较大和收获指数较高有关。比较不同土地利用方式的土壤肥力因子平均含量,无论在水浇地还是在旱地,土壤铵态氮和有效 P 含量均表现为:蔬菜地>果园>粮田,有效 K 含量为:果园>粮田,而有机质含量则为:粮田>果园>蔬菜地。根据调查结果,这是由施肥量、化肥

种类、生物学产量差异等原因所致。据调查,农户们对于果园的化肥投入量约是粮田的 1~1.5 倍,而蔬菜地由于复种指数高、土地利用强度大,平均施肥量是果园的 1.5~2 倍,远远高于粮田。从化肥种类而言,当地农户十分重视氮磷肥的施用,超过 50%的农户从不施用钾肥,施钾的农户也主要是针对果树,蔬菜和粮田几乎从不施用钾肥。因此,施肥是不同土地利用方式下土壤中有效 N、P、K 平均含量存在差别的主要原因。

表 1 还表明,水浇地各肥力因子的平均变异系数(CV)为 20.0%~47.9%,旱地各肥力因子的平均

变异系数为 25.0%~57.7%,其中有机质和有效 P 的变异系数表现为水浇地<旱地,而铵态氮和有效 K 表现为水浇地>旱地。各肥力因子的变异系数在不同土地利用类型的表现与水分条件有一定关系,铵态氮在水浇地和旱地均表现为:粮田<果园;有效 P 和有效 K 在水浇地表现为:粮田>果园,而在旱地则表现为粮田<果园。在蔬菜地,其有效 K、有效 P 和铵态氮的变异系数分别达到 56.1%,115.7%和 173.9%,明显高于其他土地利用类型。如前所述,这主要是由于蔬菜地特殊的养分管理方式和农户之间施肥量差异引起的。

表 1 研究区土壤肥力因子的特征值
Table 1 Descriptive statistics of fertility factors in soil samples

水分条件 Irrigation	土地利用类型 Land use	特征值 Characteristic value	有机质/ (g · kg ⁻¹) OM	铵态氮/ (mg · kg ⁻¹) NH ₄ ⁺ -N	有效 P/ (mg · kg ⁻¹) Available P	有效 K/ (mg · kg ⁻¹) Available K
水浇地 Irrigated Land (n=228)	粮田 Crop land (n=191)	最大值 Max	5.9	45.1	93.8	508.3
		最小值 Min	0.9	6.7	8.3	66.5
		平均值 Mean	3.1±0.7	15.1±4.7	37.3±16.4	169.6±76.2
		CV/%	22.6	31.1	44.0	44.9
	苹果园 Apple orchard (n=20)	最大值 Max	7.0	42.1	85.7	375.4
		最小值 Min	2.0	6.7	29.3	148.6
		平均值 Mean	3.0±1.0	16.0±7.1	43.5±14.1	232.5±62.7
		CV/%	33.3	44.4	32.4	27.0
	蔬菜地 Vegetable (n=17)	最大值 Max	3.7	54.5	115.2	301.1
		最小值 Min	1.8	5.8	11.8	82.1
		平均值 Mean	2.4±0.5	26.8±46.6	65.1±75.3	150.7±84.5
		CV/%	20.8	173.9	115.7	56.1
		平均值 Mean	3.0±0.6	15.5±5.8	38.4±18.4	172.3±82.5
		CV/%	20.0	37.4	47.9	47.9
旱地 No- irrigated Land (n=136)	粮田 Crop land (n=90)	最大值 Max	10.9	19.7	40.3	152.5
		最小值 Min	2.1	5.0	9.4	54.7
		平均值 Mean	4.1±1.3	12.2±3.5	18.3±6.5	82.7±17.3
		CV/%	25.0	28.7	35.5	20.9
	葡萄园 Grapery (n=46)	最大值 Max	6.5	35.6	115.2	172.0
		最小值 Min	2.7	5.8	10.2	70.4
		平均值 Mean	3.9±0.8	12.6±5.4	29.3±17.5	113.1±25.3
		CV/%	25.0	42.9	59.7	22.4
	平均值 Mean	4.0±1.1	12.3±4.3	22.0±12.7	93.0±25.0	
	CV/%	25.0	35.0	57.7	26.9	

注：n 为样本数。
Note;n is the number of soil samples.

2.2 不同水分条件下土壤肥力因子的空间变异特征

由于蔬菜地表现出特殊的肥力水平,为使研究结果更有代表性,故不同水分条件下土壤肥力空间变异分析中不包括蔬菜地样本。首先对水浇地(粮田和苹果园)和旱地(粮田和葡萄园)各肥力因子采用 Kolmogorov-Smirnov(K-S)方法进行正态分布检验,除旱地有效 P 外,其他肥力因素测定值均符合正态分布,有效 P 经对数转换后消除比例效应^[9],也呈

正态分布,因此有效 P 的半方差模型分析采用对数转换数据。以采样间距 70 m 为步长,依据决定系数最大、残差较小的原则,采用不同理论半方差模型,对不同灌溉条件下各肥力因子进行拟合,结果见表 2。表 2 表明,各模型检验的决定系数均达到极显著水平(R²=0.01),说明变异函数的拟合程度较高。2 种灌溉条件下,有机质的块金值都很小,分别为 0.002和 0.007,说明其在当前尺度上由试验误差和

小于最小采样尺度引起的随机变异较小。比较不同水分条件下各肥力因子的块金值与基台值之比,可知铵态氮和有效 K 在水浇地和旱地均具有强烈的空间自相关性;有机质和有效 P 在旱地也具有强烈的空间自相关性,其空间变异成分中结构性因素占主导作用。有机质和有效 P 虽然在水浇地具有中等程度的空间相关性,但其结构性因素仍然较强。本研究区 2 种灌溉条件下地块内部的土壤母质、地形、土壤类型均一,因此肥力因子结构性变异可能主要

是由作物类型引起的。而随机性因素如施肥、耕作措施、种植制度等各种人为活动虽然使土壤养分的空间相关性减弱,但还没有达到破坏其原有空间格局的程度。从变程看,有机质和铵态氮在旱地的变程分别是水浇地的 14.4、7.9 倍,而对于有效 P 和有效 K,其在水浇地的变程则分别是旱地的 17.1、2.1 倍。这表明同一养分因子在不同水分条件下,其空间自相关范围存在较大差异。

表 2 不同水分条件下土壤肥力因子的理论半方差模型及其拟合参数

Table 2 Theoretical semivariogram models and corresponding parameters in water conditions

水分条件 Irrigation	肥力因子 Item	理论模型 Model	块金值(c_0) Nugget variance	基台值 (c_0+c) Sill	(块金值/ 基台值)/% $c_0/(c_0+c)$	变程/m Range	R^2
水浇地 Irrigated land	有机质 OM	指数 Exponential	0.002	0.006	33.3	156	0.439**
	铵态氮 NH_4^+-N	球状 Spherical	0.2	64.2	0.3	366	0.222**
	有效 P Available P	指数 Exponential	94.4	345.4	27.3	1 914	0.799**
	有效 K Available K	球状 Spherical	1 120	6 669	16.8	714	0.870**
旱地 No- irrigated land	有机质 OM	球状 Spherical	0.007	0.03	23.3	2 240	0.936**
	铵态氮 NH_4^+-N	球状 Spherical	28.0	766.9	3.7	2 200	0.642**
	有效 P Available P	球状 Spherical	0.1	147.7	0.1	112	0.602**
	有效 K Available K	指数 Exponential	49	681.8	7.2	342	0.311**

注:水浇地 $n=211$, $R^2_{0.01}=0.033$, $R^2_{0.05}=0.019$;旱地 $n=136$, $R^2_{0.01}=0.052$, $R^2_{0.05}=0.030$ 。* 表示差异显著($P<0.05$), ** 表示差异极显著($P<0.01$)。下表同。
Note:Irrigated land, $n=211$, $R^2_{0.01}=0.033$, $R^2_{0.05}=0.019$. No-irrigated land, $n=136$, $R^2_{0.01}=0.052$, $R^2_{0.05}=0.030$. * and ** mean significant correlations at the levers of 0.05 and 0.01, respectively. Same in the next table.

2.3 不同土地利用类型下土壤肥力因子的空间变异特征

依据研究区土地利用分布状况(图 1),将所有土壤样本按土地利用类型分 5 类进行地统计分析。葡萄园有效 P 和蔬菜地铵态氮不符合正态分布,经对数转换后通过了 K-S 正态分布检验,因此葡萄园有效 P 和蔬菜地铵态氮的半方差模型分析均采用对数转换数据;其他肥力因子均符合正态分布。以不同土地利用的采样间距为步长间距(Lag intervals)(粮田 70 m,果园 50 m,蔬菜地 30 m),拟合不同土地利用类型下各肥力因子的半方差函数理论模型及其参数,结果见表 3。由表 3 可知,各模型检验的决定系数均达到显著($R^2=0.05$)或极显著($R^2=0.01$)水平,表明选取的理论模型能够较好地反映不同土地利用类型下各土壤肥力因子的空间结构特性。

表 3 表明,粮田(旱地和水浇地)、葡萄园和苹果园各肥力因子的块金值与基台值之比为 0.1%~25.0%,均表现出强烈的空间相关性,表明在这 4 种土地利用类型下,各肥力因子在其变程内结构性因素占主导作用,虽然受到施肥、耕作等一些人为因素

的影响,但尚无法达到破坏其原有空间格局的程度。这可能是由于研究区内农户之间对于同类作物施肥量比较接近所致。调查结果也表明,农户们都有互相参照邻居来决定施肥种类和数量的习惯,这导致了同一作物类型之间施肥的趋同性。

水浇地中蔬菜地各肥力因子块金值与基台值之比为 33.3%~76.6%,其中铵态氮的最高,为 76.6%;有效 P 次之,为 61.2%;有机质最低,为 33.3%,均大于其他土地利用类型。可知有机质、有效 P 和有效 K 表现出中等程度的空间自相关性,是结构性因素和随机性因素共同作用的结果;而铵态氮的空间相关性很弱,随机性因素占主导作用。这与蔬菜地施肥较多及耕作扰动频繁等人为活动密切相关。

表 3 还表明,不同土地利用类型下各肥力因子的变程存在较大差异,其中蔬菜地 35~81 m,旱地粮田 486~2 581 m,水浇地粮田 180~775 m,葡萄园 60~364 m,苹果园 122~383 m,说明水分条件和土地利用类型对土壤肥力因子的空间自相关范围有重要影响。

表 3 不同土地利用类型下肥力因子理论半方差模型及其拟合参数

Table 3 Theoretical semivariogram models and corresponding parameters from land use types								
水分条件 Irrigation	土地利用类型 Land use	肥力因子 Item	理论模型 Model	块金值(c_0) Nugget variance	基台值 (c_0+c) Sill	变程/m Range	(块金值/ 基台值)/% $c_0/(c_0+c)$	R^2
水浇地 Irrigated land	粮田 Crop land	有机质 OM	指数 xponential	0.001	0.005	180	20.0	0.226**
		铵态氮 NH_4^+-N	指数 xponential	0.001	0.004	234	25.0	0.465**
		有效 P Available P	指数 xponential	107	432	775	24.7	0.701**
		有效 K Available K	球状 Spherical	630	6 419	685	9.8	0.777**
	苹果园 Apple orchard	有机质 OM	指数 xponential	0.002	0.008	128	25.0	0.220*
		铵态氮 NH_4^+-N	球状 Spherical	0.1	91.2	361	0.1	0.849**
		有效 P Available P	球状 Spherical	18	447	383	4.0	0.975**
		有效 K Available K	球状 Spherical	10	3 981	122	0.3	0.804**
	蔬菜地 Vegetable	有机质 OM	球状 Spherical	0.001	0.003	67	33.3	0.235*
		铵态氮 NH_4^+-N	球状 Spherical	20.9	27.3	35	76.6	0.546**
		有效 P Available P	球状 Spherical	36.0	588	36	61.2	0.238*
		有效 K Available K	指数 xponential	69.8	151.5	81	46.1	0.270*
旱地 No- irrigated land	粮田 Crop land	有机质 OM	球状 Spherical	0.005	0.02	486	25.0	0.204**
		铵态氮 NH_4^+-N	球状 Spherical	1.0	432	1 356	0.2	0.540**
		有效 P Available P	球状 Spherical	11.6	95.4	1 771	12.2	0.916**
		有效 K Available K	球状 Spherical	1.0	1 013	2 581	0.1	0.878**
	葡萄园 Grapery	有机质 OM	指数 xponential	0.002	0.008	181	25.0	0.569**
		铵态氮 NH_4^+-N	球状 Spherical	21	293	364	7.2	0.102*
		有效 P Available P	指数 xponential	201	1 316	114	15.2	0.185**
		有效 K Available K	球状 Spherical	122	655	60	18.6	0.192**

3 结 论

(1)水分条件和土地利用类型对研究区土壤中各肥力因子含量有不同影响:水浇地铵态氮、有效 P 和有效 K 平均含量高于旱地,而有机质含量则低于旱地;土壤铵态氮和有效 P 平均含量均为:蔬菜地>果园>粮田,有机质含量则相反。不同土地利用类型之间各肥力因子的变异系数存在较大差异,但蔬菜地变异系数明显高于其他土地利用类型。

(2)基于水分条件尺度的半方差模型拟合结果表明,铵态氮和有效 K 在水浇地和旱地均具有强烈的空间相关性;有机质和有效 P 在旱地具有强烈的空间相关性,但在水浇地具有中等程度的空间相关性。同一水分条件下,结构性变异主要是由作物类型引起的。

(3)基于土地利用类型尺度的半方差模型拟合结果表明,旱地粮田、水浇地粮田、葡萄园和苹果园各肥力因子均表现出强烈的空间相关性,结构性因素占主导作用,施肥、耕作等人为因素尚无法达到破坏其原有空间格局的程度,同类作物农户之间施肥量比较接近可能是其主要原因。蔬菜地由于施肥较多和耕作扰动频繁,其空间变异性完全不同与其他土地利用类型。

(4)基于水分条件和土地利用类型的土壤肥力

因子空间变异性研究,克服了单纯空间尺度下无法准确表达土地自然属性(如水文、植被等)的弱点^[12-15],能更加充分地反映自然条件下土壤肥力因子的空间变异规律。如何在综合考虑地形、土地利用类型等相关因素的基础上,进行肥力因子含量的空间插值分析,研究精度符合实际需要的空间预测图,将是下一步研究工作关注的重点。

[参考文献]

[1] Haneklaus S,Ruehling I,Schröder D,et al. Studies on the variability of soil and crop fertility parameters and yields in different landscapes of Northern Germany [M]//Stafford J V. European conf precision agriculture. UK: Braunschweig, Germany: BIOS Scientific Publishers Ltd, Vol II, 1997:785-792.

[2] 于 婧,周 勇,聂 艳,等. 江汉平原耕地土壤氮素空间尺度套合与变异规律研究 [J]. 中国农业科学,2007,40(6):1297-1302.

Yu J,Zhou Y,Nie Y,et al. Spatial variability of soil nitrogen in different scales and nested simulation [J]. Scientia Agricutra Sinica, 2007, 40(6):1297-1302. (in Chinese)

[3] 连 纲,郭旭东,傅伯杰,等. 黄土高原县域土壤养分空间变异特征及预测:以横山县为例 [J]. 土壤学报,2008,45(4):577-584.

Lian G,Guo X D,Fu B J,et al. Spatial variability and prediction of soil nutrients on a county scale on the loess plateau:a case study of Hengshan County, Shaanxi Province [J]. Acta Pedologica Sinica,2008,45(4):577-584. (in Chinese)

- [4] 苑小勇,黄元仿,高如泰,等.北京市平谷区农用地土壤有机质空间变异特征[J].农业工程学报,2008,24(2):70-76.
Yuan X Y,Huang Y F,Gao R T,et al. Spatial variability characteristics of farmland soil organic matter in Pinggu District, Beijing, China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2008,24(2):70-76. (in Chinese)
- [5] 胡玉福,邓良基,张世熔,等.川中丘陵区典型小流域土壤氮素空间变异特征及影响因素研究[J].水土保持学报,2008,22(3):70-75.
Hu Y F,Deng L J,Zhang S R,et al. Study on spatial variability and its influential factors of soils nitrogen in typical small watershed in the hilly region of the Middle Sichuan [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2008,22(3):70-75. (in Chinese)
- [6] 秦鱼生,涂仕华,冯文强,等.成都平原水旱轮作种植下土壤养分特性空间变异研究[J].土壤学报,2008,45(2):355-359.
Qin Y S,Tu S H,Feng W Q,et al. Spatial variability of soil nutrient characteristics under paddy-upland crop rotation in Chengdu Plain [J]. Acta Pedologica Sinica,2008,45(2):355-359. (in Chinese)
- [7] 王永东,李廷轩,张锡洲,等.不同尺度下低山茶园土壤钾素含量空间变异特征[J].土壤通报,2008,39(2):309-314.
Wang Y D,Li T X,Zhang X Z,et al. Spatial variability of the content of potassium in hilly Tea plantation soils with different sampoing scales [J]. Chinese Journal of Soil Science,2008,39(2):309-314. (in Chinese)
- [8] 连纲,郭旭东,傅伯杰,等.黄土高原小流域土壤养分空间变异特征及预测[J].生态学报,2008,28(3):946-954.
Lian G,Guo X D,Fu B J,et al. Spatial variability and prediction of soil nutrients in a small catchment of the Loess Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica,2008,28(3):946-954. (in Chinese)
- [9] 加拿大钾磷研究所北京办事处.土壤养分系统研究法[M].北京:中国农业科技出版社,1992:42-70.
PPI/PPIC. ASI systematic approach [M]. Beijing:China Agriculture Press,1992:42-70. (in Chinese)
- [10] 王政权.地统计学及在生态学中的应用[M].北京:科学出版社,1999:35-149.
Wang Z Q. Geostatistics and its application in ecology [M]. Beijing:Science Press,1999:35-149. (in Chinese)
- [11] 侯景儒,尹镇南,李维明,等.实用地质统计学[M].北京:地质出版社,1998.
Hou J R,Yin Z N, Li W M, et al. Applied geological statistics [M]. Beijing:Geology Press,1998. (in Chinese)
- [12] 许红卫,高克异,王珂,等.稻田土壤养分空间变异与合理取样数研究[J].植物营养与肥料学报,2006,12(1):37-43.
Xu H W,Gao K Y,Wang K,et al. Spatial variability of soil nutrients in paddy field and their appropriate sampling sizes [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2006,12(1):37-43. (in Chinese)
- [13] 张伟,陈洪松,王克林,等.桂西北喀斯特洼地土壤有机碳和速效磷的空间变异[J].生态学报,2007,27(12):5168-5175.
Zhang W,Chen H S,Wang K L,et al. Spatial variability of soil organic carbon and available phosphorus in a typical Karst depression,northwest of Guangxi [J]. Acta Ecologica Sinica,2007,27(12):5168-5175. (in Chinese)
- [14] 吕贻忠,李保国,崔燕.不同植被群落下土壤有机质和速效磷的小尺度空间变异[J].中国农业科学,2006,39(8):1581-1588.
Lü Y Z,Li B G,Cui Y. Micro-scale spatial variance of soil nutrients under different plant communitites [J]. Scientia Agricultura Sinica,2006,39(8):1581-1588. (in Chinese)
- [15] 王淑英,路苹,王建立,等.不同研究尺度下土壤有机质和全氮的空间变异特征:以北京市平谷区为例[J].生态学报,2008,28(10):4957-4964.
Wang S Y,Lu P,Wang J L,et al. Spatial variability and distribution of soil organic matter and total nitrogen at different scales:a case study in Pinggu County,Beijing [J]. Acta Ecologica Sinica,2008,28(10):4957-4964. (in Chinese)