

关中农田土壤有机质和碳酸钙空间变异特征及其机理分析

王金贵¹, 王益权^{1*}, 徐海¹, 冯小龙², 王永健¹, 伏耀龙¹, 张育林¹
(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省土地整理中心, 陕西 西安 710054)

摘 要: 为了研究人为活动对于农田土壤有机质含量和碳酸钙空间变异性的作用与影响, 在陕西杨凌杜寨村研究了农田土壤有机质和碳酸钙空间变异性, 并对其变异机理进行了分析。试验表明: 表层 0~10 cm 和底层 20~40 cm 土壤有机质平均值分别 20.64 g/kg 和 10.81 g/kg, 变异系数为 0.087 和 0.013, 均属弱变异程度; 亚表层 10~20 cm 土壤有机质平均值为 16.96 g/kg, 变异系数为 0.130, 属中等变异程度; 碳酸钙均属弱变异程度。经过对土壤特性空间分布等值线图的分析得出: 在水平方向上, 土壤有机质和碳酸钙均具有相同的变异规律, 距离村庄越近土壤有机质和碳酸钙含量越高, 以村庄为圆心土壤有机质和碳酸钙含量呈同心圆式的空间变异特征。

关键词: 有机质; 碳酸钙; 空间变异; 人为活动
中图分类号: S153.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)06-0023-04

自 20 世纪 80 年代以来, 地统计学已开始应用于土壤养分、重金属、有机碳等理化特征分布、监测和空间变异研究^[1~12], 成为土壤科学的研究热点。最近几年来随着精细农业的兴起, 郭旭东等都利用地统计学方法进行不同尺度不同类型土壤养分的空间变异研究^[13~17], 希望据此指导精确合理的种植、施肥和灌溉。土壤有机质(SOM)是土壤特性研究和土壤肥力监测的重要内容, 其空间分布和变化研究是农用地质量评价、植物生长和农业潜力分析预测的基础^[18]。Frogbrook 采用两种试验方法预测土壤有机质的空间分布^[18], 冯娜娜等研究了两种尺度低山茶园土壤有机质含量的空间变异^[19]。对长期受人为活动影响下的农田土壤有机质空间变异及相关研究相对较少, 本文通过研究农田土壤有机质和碳酸钙的分布特征, 分析推断现代人为活动对农田土壤质量的作用水平。

1 材料与方法

1.1 试验区基本概况及试验设计

陕西关中地区光热水等资源相对丰富, 年均温度 12.9℃, ≥10℃ 积温 4 185℃; 年平均降水量 545 mm, 其中 50% 降水集中在 7~9 月份; 年均蒸发量 993.2 mm; 属于暖温带半湿润易旱大陆性季风气候, 具备灌溉条件, 是粮棉油果菜等多种农作物主产区

域。自从解放初期到现在, 实行着冬小麦一夏玉米一年两熟的轮作制度。

本研究试验区选在陕西关中地区杨凌头道塬杜寨村西边的农田, 长约 400 m(东西), 宽约 180 m(南北)。土壤类型为塿土(系统分类名称为土垫旱耕人为土, Earth-cumuli-orthic anthrosols)。在试验区选取三条平行线(从东到西), 每条线选取 11 个剖面, 分为三层(0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm), 共计 33 个剖面, 分别测定各层土壤有机质和碳酸钙含量。

1.2 测定项目及测定方法

有机质采用重铬酸钾—外加热法^[20]测定; 碳酸钙采用气量法^[20]测定。

2 结果与讨论

2.1 土壤特性的统计特征值

土壤特征的变异性是普遍存在的, 农田土壤受人为因素影响程度较大, 在人为因素的影响下农田土壤具有其特殊的空间变异性。本文用经典统计方法, 对土壤有机质和碳酸钙进行统计, 进而从宏观上了解关中农田土壤有机质和碳酸钙的变异特性。统计特征值见表 1。

从表 1 可知, 土壤有机质在 0~40 cm 厚的土层中差别很大, 表层(0~10 cm)土壤有机质明显大于底层。表层(0~10 cm)土壤有机质最大值高达

收稿日期: 2009-06-08
基金项目: 陕西省农业科技推广项目“关中灌区小麦玉米高产技术”(14220210)
作者简介: 王金贵(1982—), 男, 青海民和人, 硕士研究生, 主要从事土壤物理性质研究。E-mail: wangjg2008@yahoo.com.cn。
* 通讯作者: 王益权(1957—), 男, 陕西旬邑人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤物理与改良方面的教学和科研工作。E-mail: soilphysics@163.com。

24.65 g/kg, 最小值为 17.1 g/kg, 平均值 20.64 g/kg; 10~20 cm 土壤有机质最高为 22.23 g/kg, 最小值为 13.51 g/kg, 平均值为 16.96 g/kg; 20~40 cm 土层土壤有机质平均值为 10.81 g/kg。0~40 cm 作为塋土不同历史时期的覆盖层, 其有机质含量的变化反映着培肥水平和土壤碳平衡的结果。

表 1 土壤有机质和碳酸钙的统计特征值
Table 1 Statistical values of soil organic matter and calcium carbonate

测定项目 Measure project	土层深度 Soil depth (cm)	取样数目 Sampling number	最小值 Min.	最大值 Max.	均值 Mean	标准差 Std.	变异系数 CV
有机质(g/kg) SOM	0~10	33	17.10	24.65	20.64	1.805	0.087
	10~20	33	13.51	22.23	16.96	2.280	0.130
	20~40	33	8.04	10.90	10.81	1.389	0.013
碳酸钙(g/kg) CaCO ₃	0~10	33	63.0	100.0	85.60	8.360	0.098
	10~20	33	71.0	103.0	90.36	6.388	0.071
	20~40	33	80.0	108.0	96.64	6.823	0.070

从表 1 还可知, 碳酸钙在 0~40 cm 厚的土层中也有较大差异, 随深度增加碳酸钙含量也随之增大。碳酸钙最大值(108 g/kg)出现在 20~40 cm 土层中, 平均值为 96 g/kg。原因在于研究区 20~40 cm 土壤为较早时期的黄土覆盖层, 一方面它的碳酸盐早期已被淋溶到下层, 另一方面它今天再接受着后期所覆新黄土碳酸盐的淋溶累积作用, 成为现代土壤新的钙积层部位, 所有才有在此处碳酸含量递增的趋势。

根据变异系数的划分等级($CV < 0.1$ 为弱变异性; $0.1 \leq CV \leq 1.0$ 为中等变异性; $CV > 1.0$ 为强变异性^[21, 22])分析: 土壤有机质在 0~40 cm 土层中, 10~20 cm 土层中具有中等变异程度($CV > 0.1$), 其它两层均为弱变异性, 变异系数分别为 0.087 和 0.013; 在 0~40 cm 土层中土壤碳酸钙均属于弱变异性。

2.2 土壤有机质和碳酸钙含量的空间变异特征

由于土壤特性的传统统计分析只能概括土壤特征的全貌, 不能反映其局部的变化特征, 即只在一定程度上反映样本全体。为了能形象而直观地刻画土壤特征在空间上的分布规律, 本文用 Surfer 8.0 软件绘制了试验区土壤有机质和碳酸钙含量的空间分布等值线图。

2.2.1 农田土壤有机质含量的水平分布特征 土壤有机质是土壤养分的重要来源。农田土壤有机质含量受人为因素影响较大, 不同耕作制度和施肥措施影响着土壤有机质在空间上的变异性。从图 1、图 2、图 3 可以直观地看出农田土壤有机质呈现规律性分布特征, 各层土壤有机质含量变化均自西向东呈逐渐增大趋势。即在水平方向, 三个土层均表现为距离村庄越近有机质含量越高, 以村庄为圆心土壤有机质呈同心圆式的空间变异特征。究其原因

在于, 关中地区农业历史悠久, 在漫长的农业利用过程中, 以原始褐土为基础, 经过施加土粪、堆积覆盖、培肥熟化等人为因素直接干预, 演化形成了当地主要的农业土壤——塋土。从古至今受运输条件和有机肥资源限制, 农田有机肥施用采用就近原则, 使地区内土壤培肥历史和水平存在着明显的空间差异性, 从而形成了以村庄为中心土壤有机质呈同心圆式分布的空间变异特征。

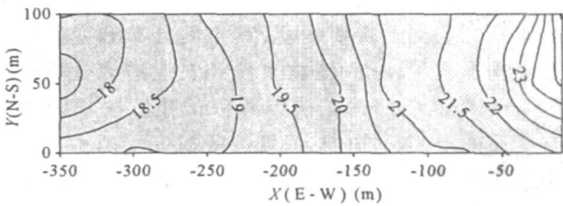


图 1 0~10 cm 土层土壤有机质(g/kg)空间分布等值线图
Fig.1 Spatial distribution contour map of soil organic matter (g/kg) in 0~10 cm soil layer

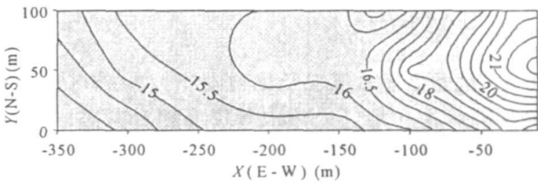


图 2 10~20 cm 土层土壤有机质(g/kg)空间分布等值线图
Fig.2 Spatial distribution contour map of soil organic matter (g/kg) in 10~20 cm soil layer

2.2.2 土壤碳酸钙空间分布特征 在石灰性土壤中, 碳酸钙在促进土壤团粒结构的形成过程中具有重要作用^[23]。同时石灰性土壤有着显著的固磷作用, 不仅固定速率快, 而且固定数量大。石灰性土壤

中的碳酸钙在固磷作用中起着较大的作用^[24]。

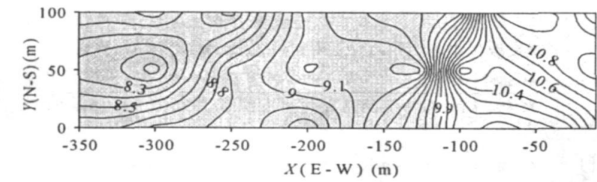


图 3 20~40 cm 土层土壤有机质(g/kg)空间分布等值线图
Fig.3 Spatial distribution contour map of soil organic matter (g/kg) in 20~40 cm soil layer

关中土壤碳酸钙的淋溶与淀积过程与表层复钙作用同时发生,钙化过程进行程度与气候有很大关系,而土壤复钙程度完全决定于人为培肥水平,与历史长短有关系。从图 4、图 5、图 6 中不难看出,关中农田土壤碳酸钙含量在 0~40 cm 厚土层中具有较大的变异。与 0~40 cm 土层中土壤有机质变异性恰好相反,随着土层深度增加碳酸钙含量随之增加。在水平方向上,三个土层均存在着与土壤有机质相同的变异性,距离村庄越近碳酸钙含量越高,以村庄为圆心土壤碳酸钙含量呈同心圆式的空间变异特征。

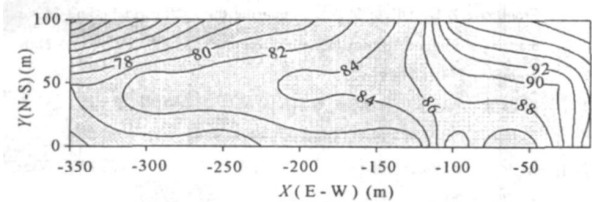


图 4 0~10 cm 土层土壤碳酸钙(g/kg)空间分布等值线图
Fig.4 Spatial distribution contour map of calcium carbonate(g/kg) in 0~10 cm soil layer

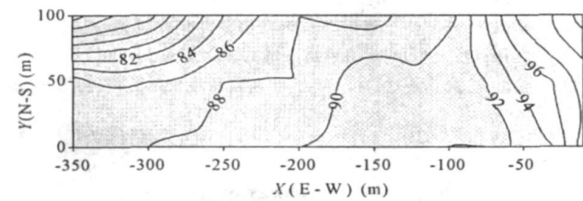


图 5 10~20 cm 土层土壤碳酸钙(g/kg)空间分布等值线图
Fig.5 Spatial distribution contour map of calcium carbonate (g/kg) in 10~20 cm soil layer

分析其变异机理,与当地悠久的施肥习惯具有直接关系。关中地区农业历史悠久,向来就有取土堆制土粪来培肥地力的习惯。而施用土粪同样受运输条件等因素的限制,所以施用土粪采取就近原则。

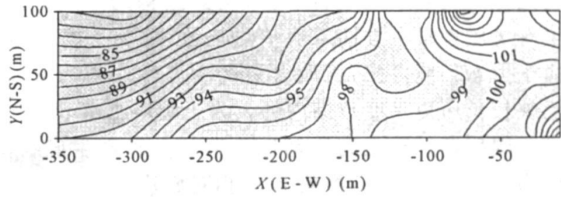


图 6 20~40 cm 土层土壤碳酸钙(g/kg)空间分布等值线图
Fig.6 Spatial distribution contour map of calcium carbonate (g/kg) in 20~40 cm soil layer

这样也就形成了距村庄最近者,土壤熟化度最高,覆盖层最厚,有机质含量比较高的变异特征。覆盖层厚度的分布也就决定了土壤碳酸钙的分布特征。因为土粪富含碳酸钙,覆盖层厚的地方土体中的碳酸钙含量较丰富,所以在淋溶作用下富集于底层土壤的碳酸钙含量相应较高;表层土壤由于能及时得到施土粪的补充,从而保持了碳酸钙的相对稳定性。

关中地区遍布土壤,乃人们堆制土粪取土垫圈所致。土壤的体积常是施加土粪数量的间接标志,与土壤覆盖层的厚度呈正相关。根据刘鹏生在张家岗 1.25 km² 的范围内调查结果,区内土壤总土方量为 467 524.5 m³。按覆盖层平均厚度 50 厘米计算,总土方量为 50 万 m³,二者相差甚微^[25]。

3 结 论

本文对关中地区杨凌头道塬农田土壤有机质和碳酸钙空间变异性进行了研究,并对其变异机理进行了分析,得出结论如下:

1) 研究区土壤有机质在三个土层中的平均含量分别为 20.64 g/kg、16.96 g/kg、10.81 g/kg;变异系数分别为 0.087、0.130、0.013,只有亚表层土壤有机质属于中等变异程度,表层(0~10 cm)和底层(20~40 cm)均属弱变异程度。碳酸钙在三个土层中均属弱变异程度,平均含量分别为 85 g/kg、90 g/kg、96 g/kg。

2) 从试验区土壤有机质含量和碳酸钙含量的空间分布等值线图可以直观地得出:在水平方向上,土壤有机质和碳酸钙均表现为距离村庄越近其含量越高,以村庄为圆心土壤有机质和碳酸钙含量呈同心圆式的空间变异特征。两者具有相同的形成机理,长期施用农家有机肥和土粪的就近原则在一定程度上导致了其独特的空间分布规律。

有机质是土壤的重要组成部分,是土壤养分的重要来源,对植物的生长起着重要作用;同时也是土壤结构形成的物质基础,有机质中的腐殖质是土壤

团聚体的主要胶结剂,能促进良好结构的形成。土壤有机质含量一方面取决于施肥水平,另一方面取决于生态环境,用有机质含量的变异性作指标可以反映较长历史尺度范围内的人为土壤培肥水平。

碳酸钙是黄土高原地区土壤中一种次生矿物,作为石灰性土壤,碳酸钙含量相对较高。土壤碳酸钙含量一方面是干旱环境的一种指示性矿物,它的迁移与分化作为干旱地区土壤演化程度的指标。碳酸盐维持着土壤微碱性条件,对于土壤结构的团聚作用、元素的固定等都有一定作用。碳酸钙在土壤中分化迁移机理受土壤空气中 CO_2 分压控制,碳酸盐的移动深度和淀积化程度(钙化过程)受降雨量的控制。关中地区有使用土粪的传统习惯,号称“黄土搬家”。所以,土壤在漫长的演化历史中总有碳酸钙的淋溶淀积和人为复钙双重作用,维持着表层土壤碳酸盐的平衡。

参 考 文 献:

- [1] Miller M P, Singer M J, Nielsen D R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1988, 52, 1133—1141.
- [2] Dvalls F A, Collins M E. Soil-landscape relationships and soil variability in north central Florida[J]. *Soil Soc Am J*, 1986, 50, 401—408.
- [3] Saldana A, Stein A, Zinck J A. Spatial variability of soil properties at different scales within three terraces of the Henare Ricer(Spain)[J]. *Catena*, 1998, 33(3), 139—153.
- [4] 胡克林,李保国,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(3), 33—38.
- [5] Gaston L A, Locke M A, Zablotowicz R M, et al. Spatial variability of soil properties and weed populations in the Mississippi Delta[J]. *Soil Soc Am J*, 2001, 65, 449—459.
- [6] 姚荣江,杨劲松,刘广明,等.黄河三角洲地区典型地块土壤盐分空间变异特征研究[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(6), 61—66.
- [7] 王铁宇,罗 维,吕永龙,等.官厅水库周边土壤重金属空间变异特征及风险分析[J]. *环境科学*, 2007, 28(2), 225—231.
- [8] Shen Zhang-quan, Shi Jie-bin, Wang Ke, et al. Neural network ensemble Kriging application for spatial variability of soil properties[J]. *Pedosphere*, 2004, 14(3), 289—296.
- [9] 姜 勇,庄秋丽,梁文举,等.空间变异在土壤性质长期定位观测及取样中的应用[J]. *土壤通报*, 2005, 36(4), 531—535.
- [10] 赵永存,史学正,于东升,等.不同方法预测河北省土壤有机碳密度空间分布特征的研究[J]. *土壤学报*, 2005, 42(13), 380—385.
- [11] Zhang Shi-rong, Sun Bo, Zhao Qi-guo, et al. Temporal spatial variability of soil organic carbon stocks in a rehabilitating ecosystem[J]. *Pedosphere*, 2004, 14(4), 501—508.
- [12] 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), 265—268.
- [13] 郭旭东,傅伯杰,马克明,等.基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究——以河北省遵化市为例[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(4), 557—563.
- [14] 赵 军,张久明,孟 凯.地统计学及 GIS 在黑土区域土壤养分空间异质性分析中的应用[J]. *水土保持通报*, 2004, 24(6), 53—57.
- [15] 梁中龙,甘海华,戴 军,等.广州岑村农用地土壤养分空间变异性研究[J]. *华南农业大学学报*, 2004, 25(7), 22—25.
- [16] 苏 伟,聂宜民,胡晓洁,等.利用 Kriging 插值方法研究山东龙口北马镇农田土壤养分的空间变异[J]. *安徽农业大学学报*, 2004, 31(1), 76—81.
- [17] 赵彦锋,史学正,于东升,等.小尺度土壤养分的空间变异及其影响因素探讨——以江苏省无锡市典型城乡交错区为例[J]. *土壤通报*, 2006, 37(2), 214—215.
- [18] Frogbrook Z L, Oliver M A. Comparing the spatial predictions of soil matter determined by two laboratory methods[J]. *Soil Use and Management*, 2001, 17(4), 235—244.
- [19] 冯娜娜,李廷轩,张锡洲,等.不同尺度下低山茶园土壤有机质含量的空间变异[J]. *生态学报*, 1998, 9(6), 651—657.
- [20] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000,30—33,202—205.
- [21] 雷志栋,杨诗秀,许志荣,等.土壤特性空间变异性初步研究[J]. *水利学报*, 1985, (9), 10—21.
- [22] 姜秋香,付 强.空间变异理论在土壤特性分析中的应用研究进展[J]. *水土保持研究*, 2007, 14(4), 413—415.
- [23] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [24] 李祖荫.石灰性土壤中碳酸钙在固磷作用中的地位[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 1981, (2), 29—36.
- [25] 张淑光.武功土壤[M].西安:陕西科学技术出版社,1987.

(英文摘要下转第 32 页)

Effect of long-term fertilization on wheat yield and nutrient balance in dryland of the Loess Plateau

SHE Xiao-yan¹, XIE Yong-sheng², HAO Ming-de², ZHAO Yun-ying¹, ZHANG Yi¹, JU Yan¹

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on a long-term experiment, the effects of long-term fertilization on wheat yield and nutrient balance were investigated. The results show that rational use of fertilizer can increase wheat yield significantly, and increase the amount of nutrient absorption and improve nutrient content of soil. The combination of N and P application can increase wheat yield by 111.7%. Compared with the single application of N fertilizer and single application of P fertilizer, adding manure can increase the yield by 32.7% and 155.7%. The combination of N, P and manure application can increase the amount of N, P and K absorption by 303.5%, 128.6% and 238.8% separately. In single application of fertilizer, a part of soil nutrients will be deficit. In single application of N fertilizer, soil P loss is high as 100%, while in single application of P fertilizer, N loss is as high as 100%. In combination of fertilizer, there are different levels surplus of N and P. In the experimental region, the agricultural production should focus on the application of manure fertilizer and the combination of fertilizer reasonably.

Keywords: wheat; yield; long-term application of fertilizer; nutrient absorption; dryland of the Loess Plateau

(上接第 26 页)

Spatial variability of soil organic matter and calcium carbonate and its reason in Guanzhong farmland

WANG Jin-gui, WANG Yi-quan^{*}, XU Hai, FENG Xiao-long, WANG Yong-jian, FU Yao-long, ZHANG Yu-lin

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

2. Shaanxi Land Treatment Center, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: In order to study the effect and influence of human activities on spatial variability of soil organic matter and calcium carbonate in farmland, an experiment was made in the farmland of Duzhai Village, Yangling, Shaanxi, and meanwhile, the variation mechanism was analyzed. The results showed that the average soil organic matter contents in top soil and substratum soil were 20.64 g/kg and 10.81 g/kg, while the coefficients of variation were 0.087 and 0.013 respectively, belonging to a low level; the average soil organic matter content in subsurface was 16.96 g/kg belonging to a moderate level; a low level of variation coefficient of calcium carbonate appeared in all the soil layers. Through analyzing the contour map of soil spatial variability, the same changing law was found in soil organic matter and calcium carbonate content in the horizon direction, which showed that higher soil organic matter and calcium carbonate content appeared in the points closer to the village, forming a concentric circle.

Keywords: organic matter; calcium carbonate; spatial variability; human activities