黄土高原王东沟小流域土壤表层全磷空间变异性

赵晓芳[1,2], 黄明斌[2]

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: [目的] 分析黄土高原小流域尺度地貌单元和土地利用方式对全磷空间变异的影响。确定全磷空间变异规律,为土地生产管理提供依据。[方法] 2017 年在黄土高原王东沟小流域采集了 267 个土壤样品进行了分析研究。用 ArcGIS 10.2 绘制样点全磷含量分布图,并分析不同地貌单元和土地利用方式下全磷含量的空间变异特征。[结果] 王东沟小流域内不同地貌单元下全磷含量呈现为:塬面>塬坡>沟道的分布规律,不同的土地利用类型下全磷含量呈现为:果园>废弃果园>农地>林地>荒草地的分布规律。土地利用方式和地貌单元对全磷空间变异的影响极为显著。[结论] 王东沟小流域土地利用经过 14 a 不断的调整,全磷的含量有了大幅度的提升,土地利用方式显著改变了全磷的空间分布格局。

关键词: 小流域; 黄土高原; 全磷; 空间变异

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2019)01-0061-04 **中图分类号**: S157, S154.1

文献参数: 赵晓芳, 黄明斌. 黄土高原王东沟小流域土壤表层全磷空间变异性[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 61-64. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.01.010; Zhao Xiaofang, Huang Mingbin. Spatial variation of total phosphorus in soil surface in Wangdonggou watershed of Loess Plateau [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(1): 61-64.

Spatial Variation of Total Phosphorus in Soil Surface in Wangdonggou Watershed of Loess Plateau

Zhao Xiaofang[1,2], Huang Mingbin[2]

(1. *College of Resources and Enviverment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*; 2. *State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation Research, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: [Objective] To analyze the effect of geomorphic units and land use on the spatial variation of total phosphorus in a small watershed of the Loess Plateau, in order to provide basis for land management. [Methods] In 2017, 267 soil samples were collected in the Wangdonggou watershed. The total phosphorus contents were measured for different geomorphic units and land use types and its spatial distribution was mapped by using ArcGIS 10.2. [Results] The land use patterns and geomorphologic units exhibited an extremely significant effect on the spatial variation of total phosphorus. The content of total phosphorus in different geomorphic units showed as: sorghum> slop> channel. The content of total phosphorus in different land use types showed as: orchards> abandoned orchards> farmland> woodland> wild grassland. [Conclusion] After more than ten years of agricultural intensification, the total phosphorus content has been improved greatly, and the distribution of total phosphorus has been substantially changed by the land use patterns.

Keywords: **watershed; Loess Plateau; total phosphorus; spatial variation**

土壤的形成是自然因素(母质、生物、气候、地形与时间)和人为因素共同作用的结果,不同地区的土壤具有不同的土壤特性[1]。土壤作为在时间和空间上的连续体,它的变异是许多因素相互作用的结果,具有尺度上的相关性。相关学者研究表明[2],土壤空间变异可分为物理空间变异和化学空间变异。其中,

收稿日期: 2018-06-14 **修回日期**: 2018-08-13

资助项目: 国家自然科学基金国际合作项目"黄土高原关键带植被—侵蚀相互作用及其对碳氮循环的影响"(41571130082)

第一作者: 赵晓芳(1993—),女(汉族),甘肃省庆阳市人,硕士研究生,研究方向为水土保持。E-mail: zhaoxiaofang2017@163.com。

通讯作者: 黄明斌(1968—),男(汉族),湖北省荆门市人,博士,研究员,主要从事生态水文和土壤物理方面研究。E-mail: hmbd@nwsuaf.edu.cn。

对土壤化学性质的空间变异研究主要集中在土壤养分，了解土壤养分的空间变异特征对于田间合理施肥、提高养分利用率和估算更大尺度养分空间变异具有重要的意义。

黄土高原沟壑区的塬面、塬坡、沟道地貌单元分明，不同地貌单元上的土壤类型和土地利用方式又有差异。磷是自然界中植物生长不可或缺的化学元素，是限制植物生长的重要因素之一，对于农作物而言磷直接影响着作物产量和品质[3]。黄土高原土壤中本身含有的氮磷含量很少[4]，大量的文献表明磷的空间变异与地貌单元和土地利用方式等因素有关[5-8]。黄土高原小流域尺度下土壤养分尤其是磷的空间变异性研究非常有限，最近对黄土塬区王东沟流域土壤磷空间变化的研究发生在 14 a 前[9]。黄土高原自 1999 年实施“退耕还林草工程”以来，土地利用类型发生了很大变化。因此，本文拟对王东沟小流域尺度不同地貌单元和土地利用方式对全磷(total phosphorus)空间变异性及其影响因素展开新的研究，为准确估算黄土高原大尺度下全磷空间变异和土地生产管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

王东沟小流域隶属于陕西省长武县(107°40′30″—107°42′30″E，35°12′—35°16′N)，位于黄土高原中南部地区，海拔 940～1 220 m，属典型的黄土高原沟壑区，沟壑密度 2.78 km/km^2，流域总面积 8.3 km^2。属暖温带半湿润大陆性季风气候，年平均气温9.1 ℃，年平均降水量 584 mm，降水季节性分布不均，主要集中在 7—9 月。主要的土壤类型为黑垆土和黄绵土，土质疏松深厚，母质是中壤质马兰黄土。该流域是传统的旱作农业区，包括王东和丈六两个自然村，土地利用类型主要有农地、荒草地、果园、和林地等。

1.2 样品采集与测定方法

1.2.1 *样品采集方法* 2017 年 7 月份期间根据王东沟流域不同的地形地貌和土地利用方式，用内径为 3 cm 的半圆形土钻对表层土壤进行了重复采样，采样深度为 0—20 cm。此次共采集土壤样品 267 个(图 1)。其中，塬面土地利用类型主要为农地、果园和少量的废弃果园及荒草地，共采集了 84 个土样。坡面土地利用类型有农地、果园、废弃果园、林地和荒草地，共采集了 114 个土样。沟道主要土地利用类型有林地和荒草地，采集了 69 个土样。每个采样点均用 GPS 定位经纬度。

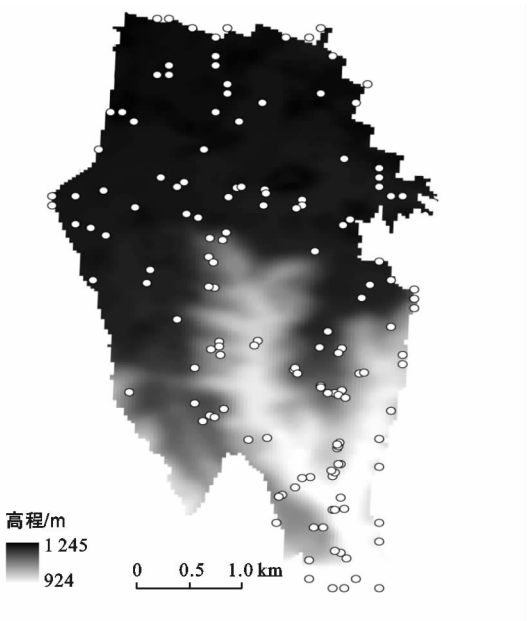


图 1 黄土高原沟壑区王东沟小流域高程图(DEM)和表层(0—20 cm)土壤采样点分布

1.2.2 *样品测定方法* 采集的土壤样品经自然风干，磨细过 0.25 mm 筛后用于全磷的测定。土壤样品中全磷的测定用 $HClO_4$—H_2SO_4 法[10]。

1.3 数据处理

将采样点 GPS 定位数按不同地貌单元导入 ArcGIS 10.2 中，每个点赋以相应的全磷含量的属性值，经阿尔伯斯投影转化，生成以米为单位的平面坐标，利用地统计分析模块克里金内插法，先分别生成各个地貌单元全磷含量分布图，最后叠加合成小流域全磷含量分布图。

用 SPSS 20.0 分析地貌单元和土地利用方式及其交互作用对全磷空间变异的影响。同时对测定的全磷含量数据用 SPSS 20.0 软件进行正态检验分析。

2 结果与分析

2.1 数据统计特征与数据检验

整个小流域表层全磷平均含量为 0.85 g/kg，变异系数为 35.56%。塬面全磷平均含量为 1.04 g/kg，变异系数为 34.9%。塬坡全磷平均含量为 0.83 g/kg，变异系数为 25.54%。沟道全磷平均含量为0.63 g/kg，变异系数为 8.14%。通常认为变异系数≤10%时为弱变异，变异系数介于 10%到 100%之间时为中等变异，变异系数≥100%则为强变异[11]。可见王东沟小流域塬面和塬坡全磷含量分布为中等程度变异，与塬面和塬坡相比，沟道的变异系数分别降低了 26.8%和 17.4%，属于弱变异。崔旭辉等[12]研究了黄土高原大南沟小流域养分空间分布，全磷的空间变异程度与本研究的结果基本一致，

都属于中等变异程度。由于农田和果园这类受人为干扰因素较多的土地利用类型主要集中在塬面和塬坡,相比于塬面和塬坡,沟道受外界因素的干扰相对较少,所以全磷含量在沟道的变异程度更小(表 1)。

表 1　王东沟小流域表层全磷数据统计特征

地貌类型	全磷含量/(g·kg^{-1})					变异系数 C_V(%)	正态检验 (p)
	样本数	最大值	最小值	平均值	中值		
塬面	84	2.32	0.68	1.04	0.93	34.90	<0.05
塬坡	114	1.46	0.62	0.83	0.77	25.54	<0.05
沟道	69	0.78	0.54	0.63	0.63	8.14	0.062
合计	267	2.32	0.54	0.85	0.77	35.56	<0.05

用 SPSS 20.0 软件对不同地貌单元的全磷含量数据进行描述统计分析,直方图和 Q-Q 图的检验结果表明沟道全磷含量变异符合正态分布,塬面和塬坡全磷经对数转换后近似符合正态分布。因此,将全磷数据按地貌单元进行分区插值。

2.2　地貌单元与小流域表层全磷含量的空间分布特征关系

不同的地貌单元会影响土壤形成的物理化学过程,进而会造成土壤养分含量的空间变异。图 2 表明,土壤表层(0—20 cm)全磷含量在王东沟小流域内基本遵循塬面>坡面>沟道的空间分布特征。小流域内全磷高于 1.11 g/kg 的区域主要集中分布在塬面上,低于 0.792 g/kg 集中分布在沟道内。在塬坡上全磷的含量主要集中在 1.11～0.972 g/kg 范围内,并且呈梯度变化。

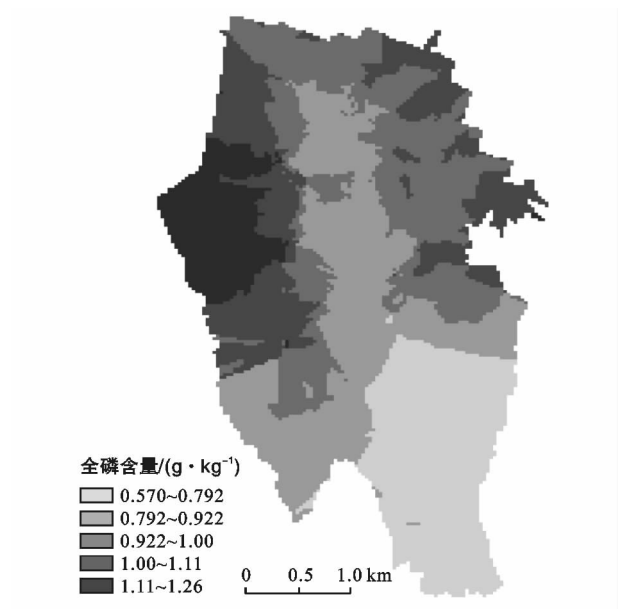


图 2　黄土高原沟壑区王东沟小流域表层(0－20 cm)全磷含量分布

郭胜利等[9]发现全磷含量从塬面、塬坡到沟道呈现依次降低的分布特征,流域土壤全磷平均含量为 664 mg/kg。这与本研究中全磷含量在不同地貌单元上的空间分布特征基本一致。但是,整个王东沟小流域经过十几年的变化发展,土地利用类型发生了明显的变化,果园种植面积增加、农田种植面积减少、废弃果园明显增多[13],土壤中磷有了明显的累积,全磷含量平均值提升了 28.0%,从 664 mg/kg 变为了 850 mg/kg。同时 14 a 前后对比研究发现,塬面依然是全磷含量较高的地貌单元,含量低的区域集中分布在沟道,塬坡呈现出塬面和沟道之间的过度状态。

2.3　土地利用方式对全磷空间分布的影响

如表 2 所示,土地利用方式和地貌单元对表层土壤全磷空间变异都存在着显著影响,然而二者之间交互作用的影响不显著。土地利用方式对全磷空间变异影响的显著性水平高于地貌单元对它的影响。

表 2　王东沟小流域地貌单元与土地利用方式对全磷含量影响的方差分析

误差来源	自由度 Df	均方	方差 F	显著性水平 sig.
地貌单元	2	0.32	6.80	0.001
土地利用方式	4	0.95	20.27	0.000
地貌单元×土地利用方式	4	0.06	1.24	0.296

图 3 表明,塬面上全磷含量呈:果园>农地>废弃果园>荒草地;塬坡上全磷含量呈:果园>废弃果园>农地>林地>荒草地;沟道上全磷含量呈:林地>荒草地。整个王东沟小流域全磷含量分布如图 4 所示,呈现为:果园>废弃果园>农地>林地>荒草地的分布规律,其中果园全磷含量与荒草地全磷含量之间最大差值为 1.78 g/kg。

2003 年张春霞等[14]对黄土高原沟壑区王东沟流域土壤养分分布特征进行了研究,结果表明塬面土壤有机质、全氮、全磷等养分的含量比坡台地和山地相对较高,大致呈现塬面>山坡地>坡台地的趋势。其中全磷在不同土地利用类型含量变化为:果园>农田>林地>草地,变幅为 0.41～1.27 g/kg。与前者研究不同,本研究中加入了沟道进行分析,且将山坡地

和坡台地归类为塬坡进行研究。研究结果表明,不同地貌单元上全磷含量分布呈现塬面>塬坡>沟道的规律,不同土地利用方式下全磷分布呈现果园>废弃果园>农地>林地>荒草地分布规律。这与之前研究的不同地貌和土地利用方式下全磷分布规律基本一致,只是全磷含量有所提升。王东沟小流域农业类型逐渐发展为以果园为主的经济型农业,近十年来苹果种植面积在所有土地利用类型中所占的比重最大,且每年呈逐步上升趋势[13]。近十几年来果园种植面积的大量增加的同时,肥料的投入量也随之增加。由于大量的化学肥料的使用,全磷含量在土壤中随着时间的推移有了更多的积累。

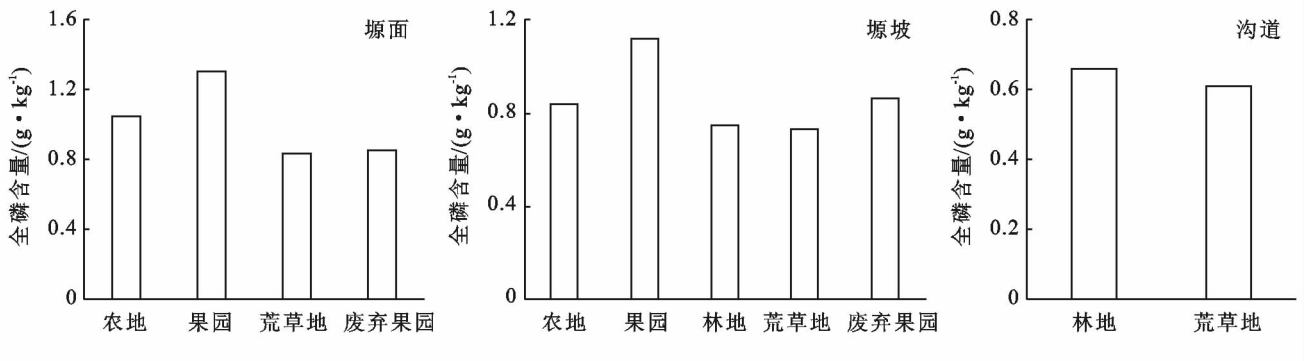


图 3 不同地貌单元下各土地利用类型全磷均值含量

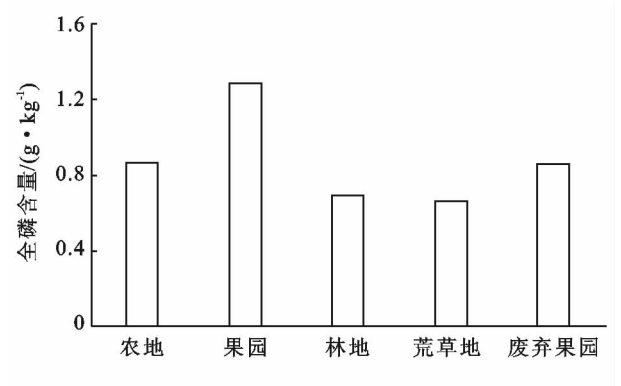


图 4 不同土地利用方式下全磷含量分布

3 结 论

王东沟小流域全磷含量在空间上属于中等变异。影响全磷空间变异的因素有地貌单元和土地利用方式。表层(0—20 cm)土壤的全磷含量呈现出塬面>塬坡>沟道的分布规律。沟道表层全磷含量的变化小,塬面和塬坡全磷含量变化显著。各个地貌单元下全磷含量空间变异有以下规律:塬面全磷含量分布规律为:果园>农地>废弃果园>草地;塬坡上全磷含量分布规律为:果园>废弃果园>农地>林地>荒草地;沟道内全磷含量分布规律为:林地>荒草地。同时王东沟小流域全磷含量在不同的地貌单元和土地利用方式下分布规律 14 a 内是稳定的,只是全磷含量有了大幅度的提升,平均含量从 664 mg/kg 变为了 850 mg/kg。土地利用方式对全磷空间分布的影响高于地貌单元。因此,在估算该区全磷含量时,需要充分考虑土地利用方式的影响。

[参 考 文 献]

[1] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000:15-19.

[2] 潘成忠,上官周平. 土壤空间变异性研究评述[J]. 生态环境,2003,12(3):371-375.

[3] 陆景陵. 植物营养学[M]. 北京:中国农业大学出版社,2003:35-47.

[4] 彭琳,彭祥林. 黄土地区土壤中磷的含量分布、形态转化与磷肥合理施用[J]. 土壤学报,1989,26(4):344-352.

[5] 欧勇胜,张世熔,余琼,等. 横断山北部生态脆弱区土壤磷素空间分布特征[J]. 生态学报,2005,25(10):2776-2781.

[6] 谭鑫. 青藏高原东缘高寒地区土壤磷素空间分布研究[D]. 成都:四川师范大学,2009.

[7] 王静怡. 小流域土壤磷素空间分布特征及流失风险评价[D]. 北京:首都师范大学,2007.

[8] 滕泽琴,李旭东,韩会阁,等. 土地利用方式对陇中黄土高原土壤磷组分的影响[J]. 草业学报,2013,22(2):30-37.

[9] 郭胜利,车升国,梁伟,等. 小流域土壤磷的积累特征及其环境效应:以黄土高原沟壑区王东沟小流域为例[J]. 自然资源学报,2009,24(7):1171-1180.

[10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:74-76.

[11] 胡江玲,张高. 新疆精河流域土壤质量空间分异规律分析[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(6):113-121.

[12] 崔旭辉,郝羽,邱扬. 黄土高原大南沟小流域土壤养分空间分异特征[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2016,52(4):472-478.

[13] 李文军,郝明德,牛育华. 黄土高原沟壑区王东沟流域农业生态经济系统演变过程[J]. 水土保持通报,2016,36(1):298-302.

[14] 张春霞,郝明德,王旭刚,等. 黄土高原沟壑区小流域土壤养分分布特征[J]. 水土保持研究,2003,10(1):78-80.