

# 陕南丘陵山地土壤养分与地形因子的相关性研究

花东文<sup>1,2,3,4</sup>, 李劲彬<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup>陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

<sup>2</sup>陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

<sup>3</sup>自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

<sup>4</sup>陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

收稿日期: 2022年11月9日; 录用日期: 2022年12月7日; 发布日期: 2022年12月22日

## 摘要

研究不同微地形下区域土壤养分的空间分布特征及其与地形因子相关性, 以期为同地形的其它区域土壤养分管理提供理论依据。以陕南丘陵山区为研究对象, 采用方差分析、相关分析等分析方法对不同微地形(坡度、坡向、坡位)下的土壤有机质、全氮、速效钾和速效磷的空间分布特征进行了分析, 并探讨各土壤养分与地形因子之间的相关性。结果表明: 研究区表层(0~10 cm)土壤有机质、全氮、速效磷和速效钾含量显著高于中下层土壤, 均属中等强度变异。土壤全氮、速效钾、有效磷和有机质含量在一定程度上受坡度、坡向和坡位的影响, 总体上土壤全氮、有机质含量与坡位呈显著负相关关系( $P < 0.05$ ), 与坡向呈极显著正相关关系( $P < 0.01$ ), 而土壤速效钾与速效磷与坡位、坡度呈极显著负相关关系( $P < 0.05$ )。

## 关键词

土壤养分, 空间变异性, 地形因子, 陕南丘陵山区

# Study on the Correlation between Soil Nutrients and Topographic Factors in the Hills and Mountains of Southern Shaanxi

Dongwen Hua<sup>1,2,3,4</sup>, Jinbin Li<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup>Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

<sup>2</sup>Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

<sup>3</sup>Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

<sup>4</sup>Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

Received: Nov. 9<sup>th</sup>, 2022; accepted: Dec. 7<sup>th</sup>, 2022; published: Dec. 22<sup>nd</sup>, 2022

## Abstract

To study the spatial distribution characteristics of regional soil nutrients under different micro-topography and their correlation with topographic factors, in order to provide a theoretical basis for soil nutrient management in other regions with the same topography. Taking the hilly and mountainous areas of southern Shaanxi as the research object, the spatial distribution characteristics of soil organic matter, total nitrogen, available potassium and available phosphorus under different micro-topography (slope, slope aspect, slope position) were analyzed by variance analysis and correlation analysis. Analyzed and explored the correlation between various soil nutrients and topographic factors. The results showed that the contents of soil organic matter, total nitrogen, available phosphorus and available potassium in the surface layer (0~10 cm) of the study area were significantly higher than those in the middle and lower soil layers, all of which belonged to moderate intensity variation. The contents of soil total nitrogen, available potassium, available phosphorus and organic matter were affected by slope, slope aspect and slope position to a certain extent. In general, soil total nitrogen and organic matter contents were significantly negatively correlated with slope position ( $P < 0.05$ ). The slope aspect showed a very significant positive correlation ( $P < 0.01$ ), while the soil available potassium and available phosphorus had a very negative correlation with the slope position and slope ( $P < 0.05$ ).

## Keywords

Soil Nutrients, Spatial Variability, Terrain Factors, Hilly and Mountainous Areas in Southern Shaanxi

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

土壤养分包含了植物生长发育所必需的营养元素, 是土壤肥力的物质基础[1]。土壤的水热分配条件和物质移动堆积特点在不同的海拔、坡度和坡向地形条件下存在明显差异, 尤其是山地, 在同一地区成土条件类似情况下, 往往因地形的不同而导致土壤养分的空间分异。因此, 地形特征影响着表层土壤养分的含量及空间分配特征[2] [3]。长期以来, 国内学者对土壤养分与地形因子的相关关系做了大量研究。邓欧平[4]等采用地统计方法, 研究了川中紫色丘陵区坡位、坡度、坡向和坡形 4 个地形因子及其不同组合与土壤养分空间分布的相关性, 结果表明坡位、坡度及坡向对土壤养分分布具有强烈影响; 赵越[5]等以江西省峡江县为例, 运用地统计学方法与 GIS 技术探讨了土壤各养分与高程、坡度、坡向之间的相关性; 杨建虎[6]等以陕西彬县红岩河小流域为例分析了土壤养分含量的空间特征及其与地形因子的相关性。陕南丘陵地区属于典型的土石混合山区, 有着特殊的地理条件, 目前, 关于该地区地形因子对土壤养分影响的研究还较少见[7]。为此, 本文主要通过研究不同微地形下区域土壤养分的空间分布特征及其相关关系, 以期为同地形的其它区域土壤资源养分管理和生态环境建设提供一定的参考依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究区概况

研究区位于陕西省商洛市境内, 地理坐标介于东经 110°24'22"~110°01'43", 北纬 33°05'53"~33°44'37" 之间。地貌类型以低山丘陵为主, 西南和北部较高, 东南和中部较低, 呈西北向东南倾斜, 山势纵横交错, 浸润河流众多, 形成山、川、坪、滩纵横一体的掌型叶脉复杂多样性地貌。气候属于南暖温带温暖半湿润季风气候区, 年平均气温在 10.7℃~15.0℃之间, 年均 > 10℃积温 4406.0℃。土壤类型以黄褐土为主, 具有明显的垂直地带性和水平地带性。

### 2.2. 采样方法

选取商洛市清油河、过风楼和金丝峡 3 个典型采样区, 分别采集 0~10、10~20、20~40 cm 土层的土壤样品, 采用梅花采样法, 共采集土样 150 个。每个样点采集土样 1 公斤左右, 均匀摊开, 在室内干净通风处自然风干。风干后剔除石砾、植物残渣、根系等杂物, 研磨过筛, 供土壤养分含量测定使用。

### 2.3. 土壤养分及地形因子测定

土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法 - 外加热法测定; 土壤全氮含量用硫酸 - 双氧水消煮蒸馏定氮法测定; 土壤速效磷含量用碳酸氢钠浸提 - 钼锑抗比色法测定; 土壤速效钾含量用醋酸氨浸提 - 火焰光度计法测定。

经纬度和海拔采用手持 GPS 测量, 坡度、坡向采用手持罗盘仪测量, 将各类地形因子做如下分类: 1) 坡位: 下坡位(<500 m)、中坡位(500~550 m)、上坡位(>550 m); 2) 坡度: 缓坡(<10°)、缓中坡(10°~15°)、中坡(15°~25°)、陡坡(>25°); 3) 坡向: 阴坡(0°~45°、315°~360°), 半阳坡(45°~135°), 阳坡(135°~275°)、半阴坡(275°~315°)。

### 2.4. 数据处理

试验原始数据采用 Excel 2013 进行整理和特征值计算, 然后采用 SPSS19.0 软件进行统计分析。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 土壤养分的垂直分布特征

从表 1 可以看出, 研究区土壤养分含量在土层间的垂直分布上存在较大差异, 随土层深度增加均呈现出降低趋势, 且在土层间的差异相似, 即 0~10 cm 与 20~40 cm 土层间存在显著差异( $P < 0.05$ ), 而 0~10 cm 与 10~20 cm 土层间无显著差异, 说明研究区土壤养分的表聚现象较为明显。研究区 0~40 cm 土壤中总氮、有效磷、速效钾和有机质的平均含量分别为 0.22 g/kg、9.99 g/kg、75.62 g/kg、3.27 g/kg, 其中, 速效钾含量的差异最大, 最大值是最小值的 45 倍, 全氮、有效磷和有机质含量的最大值分别是各自最小值的 16 倍、5 倍和 19 倍。从变异系数来看, 不同土层深度全氮、速效钾、有效磷、有机质的变异系数均介于 33%~79%, 属于中等强度变异。在 3 个不同层次 4 种养分指标中, 变异系数相对最大的是 0~10 cm 土层全氮( $C_V = 0.79$ ), 相对最小的是 20~40 cm 土层速效钾( $C_V = 0.41$ )。

**Table 1.** Characteristic values of soil nutrients at different soil depths in the study area

**表 1.** 研究区不同土层深度的土壤养分特征值

土壤养分	土层深度	最大值	最小值	平均值	多重比较	CV
总氮(g/kg)	0~10 cm	0.84	0.12	0.29	a	0.79

Continued

	10~20 cm	0.49	0.12	0.24	a	0.54
	20~40 cm	0.19	0.05	0.13	b	0.53
	0~40 cm	0.84	0.05	0.22	—	0.75
有效磷(g/kg)	0~10 cm	22.18	4.71	12.04	a	0.44
	10~20 cm	20.29	3.12	9.85	ab	0.50
	20~40 cm	15.52	1.21	8.09	b	0.47
	0~40 cm	22.18	4.71	9.99	—	0.63
速效钾(g/kg)	0~10 cm	188.65	44.18	88.30	a	0.42
	10~20 cm	145.63	33.69	71.27	ab	0.42
	20~40 cm	123.94	33.69	67.29	b	0.41
	0~40 cm	188.65	4.18	75.62	—	0.49
有机质(g/kg)	0~10 cm	19.14	6.02	12.03	a	0.39
	10~20 cm	16.37	2.93	7.41	ab	0.45
	20~40 cm	7.74	1.01	3.27	b	0.55
	0~40 cm	19.14	1.01	7.57	—	0.42

注: 算术平均值  $\pm$  标准误差; 同列不同字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ ), 下同。

### 3.2. 微地形下土壤养分的分布特征

由表 2 可知, 不同坡位下研究区土壤全氮、速效钾、有效磷和有机质含量均随坡位的上升而降低, 即上坡位 < 中坡位 < 下坡位。这是由于陕南丘陵山地土壤保水保肥力差, 上坡位地势陡峭, 降雨淋洗作用强, 上坡位土壤中的养分元素随降雨径流冲刷而下, 在下坡位的低洼部位累积[8]。由各养分在坡位间的差异分析可知, 土壤有机质和速效养分在下坡位的含量显著高于中、上坡位( $P < 0.05$ ), 而中坡位和上坡位间的差异不显著。

在坡度上, 土壤有机质、全氮和速效钾的含量随着坡度的增加而降低, 在缓坡处含量最高, 分别为 10.17 g/kg、0.28 g/kg 和 117.28 g/kg, 是陡坡的 1.6、1.4 和 2.0 倍。但不同坡度之间土壤有机质和全氮的差异均不显著( $P > 0.05$ ), 而缓坡与陡坡速效钾含量的差异达到了显著水平( $P < 0.05$ )。这是因为土壤速效钾易溶于地表径流, 坡度作为影响坡面水土流失过程的重要因素, 坡度越大, 水土流失量越大, 随之流失的速效钾也就越多。而土壤速效磷含量则表现出中坡 > 陡坡 > 缓中坡 > 缓坡的变化趋势, 且缓坡与中坡、陡坡和缓中坡的差异达到了显著水平( $P < 0.05$ )。这主要是因为土壤速效磷主要与土壤中细小颗粒结合在一起, 陡坡、中坡处人为活动相对较少, 植被覆盖相对较好, 径流冲刷带走的泥沙量较少[9]。

在坡向上, 阴坡、半阳坡土壤全氮和有机质含量显著高于半阴坡、阳坡( $P < 0.05$ ), 而速效钾和速效磷含量则表现为半阳坡、阳坡显著高于半阴坡、阴坡( $P < 0.05$ )。这是因为不同的坡向接受的光照和雨水条件不同, 阳坡、半阳坡、半阴坡受到的阳光照射适中, 温度适宜, 微生物活跃度高, 有机质和氮素的分解和氧化速率加快, 不利于养分累积[10]。

**Table 2.** Soil nutrient content under different slope position, slope and aspect conditions in the study area

**表 2.** 研究区不同坡位、坡度、坡向条件下的土壤养分含量

地形	微地形	有机质(g/kg)	总氮(g/kg)	有效磷(g/kg)	速效钾(g/kg)
坡位	上坡位	6.33 $\pm$ 0.40b	0.18 $\pm$ 0.01b	8.82 $\pm$ 0.35b	70.39 $\pm$ 3.44b
	中坡位	7.22 $\pm$ 0.60b	0.23 $\pm$ 0.02b	9.59 $\pm$ 0.32ab	73.83 $\pm$ 2.32b

Continued

	下坡位	10.53 ± 0.53a	0.28 ± 0.01a	11.48 ± 0.24a	81.76 ± 3.17a
坡度	缓坡	10.17 ± 3.47a	0.28 ± 0.01a	5.35 ± 0.14b	117.28 ± 9.35a
	缓中坡	8.26 ± 1.38a	0.23 ± 0.01a	10.31 ± 0.77a	75.65 ± 5.33ab
	中坡	7.06 ± 2.27a	0.20 ± 0.01a	12.24 ± 0.76a	63.80 ± 3.68ab
	陡坡	6.28 ± 1.19a	0.20 ± 0.02a	11.45 ± 0.62a	60.09 ± 3.28b
	阴坡	8.49 ± 0.60a	0.26 ± 0.01a	8.69 ± 0.66b	63.80 ± 25.55b
坡向	半阳坡	8.26 ± 0.42a	0.24 ± 0.02a	12.24 ± 1.56a	92.03 ± 30.91a
	阳坡	5.89 ± 0.58b	0.18 ± 0.01b	12.10 ± 1.48a	89.50 ± 22.34a
	半阴坡	6.35 ± 0.71b	0.18 ± 0.01b	7.50 ± 1.01b	56.57 ± 18.34b

### 3.3. 土壤因子与地形因子的相关性分析

由表 3 相关性分析可知, 研究区除速效磷外, 全氮、有机质与坡度呈现负相关关系, 速效钾与坡度呈现显著负相关( $P < 0.05$ ), 速效钾与坡度呈现显著正相关( $P < 0.05$ )。而土壤速效养分和有机质含量均与坡向成正相关, 其中, 土壤全氮、有机质含量与坡向呈极显著正相关( $P < 0.01$ ), 这表明, 土壤养分含量在一定程度上还受光照条件制约, 直接影响有机质分解速率。土壤速效养分和有机质均与坡位均呈显著负相关关系( $P < 0.01$ ), 说明受长期径流冲刷的作用, 坡顶的养分元素不断向坡底迁移聚集。

**Table 3.** Correlation analysis matrix of soil nutrients and topographic factors in the project area

**表 3.** 项目区土壤养分与地形因子的相关性分析矩阵

指标	总氮	速效钾	有效磷	有机质	坡度	坡向	坡位
总氮	1.000	—	—	—	—	—	—
速效钾	0.201**	1.000	—	—	—	—	—
有效磷	0.123*	0.195**	1.000	—	—	—	—
有机质	0.733**	0.228**	0.057	1.000	—	—	—
坡度	-0.068	-0.152*	0.148*	-0.034	1.000	—	—
坡向	0.157**	0.080	0.100	0.200**	0.251*	1.000	—
坡位	-0.520**	-0.486*	-0.403*	-0.432*	0.105	0.102	1.000

注: \*、\*\*分别表示显著相关( $P < 0.05$ )和极显著相关( $P < 0.01$ )。

## 4. 结论

陕南丘陵山区土壤养分具有明显的表聚现象, 0~10 cm 土层土壤有机质、全氮、速效磷和速效钾含量显著高出 20~40 cm 土层。综合分析土壤速效养分、全氮和有机质在不同微地形下的含量特征可知, 坡位、坡度及坡向对研究区土壤养分分布状况具有较为强烈的影响, 特别是全氮和有机质, 在不同坡位和不同坡向上具有显著差异, 而坡度主要对土壤速效磷和速效钾影响较大。相关性分析结果表明: 土壤全氮、有机质含量与坡位呈显著负相关关系( $P < 0.05$ ), 与坡向呈极显著正相关关系( $P < 0.01$ ), 而土壤速效钾与速效磷与坡位、坡度呈极显著负相关关系( $P < 0.05$ )。因此在本研究区域, 坡向和坡位是影响土壤有机质和全氮含量的主要微地形因子, 而坡度和坡位是影响土壤速效养分的主要微地形因子。

## 参考文献

- [1] Song, X., Li, L.-D., Kou, C.-L., *et al.* (2011) Soil Nutrient Distribution and Its Relations with Topography in Hua-

- 
- ngshui River Drainage Basin. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **22**, 3163-3168.
- [2] Schwanghart, W. and Jarmer, T. (2011) Linking Spatial Patterns of Soil Organic Carbon to Topography—A Case Study from Southeastern Spain. *Geomorphology*, **126**, 252-263. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.11.008>
- [3] 高美荣, 朱波, 黄菊英, 等. 紫色土地尺度土壤养分的空间变异特性[J]. 西南农业学报, 2007, 20(6): 1241-1245.
- [4] 邓欧平, 周稀, 黄萍萍, 邓良基. 川中紫色丘区土壤养分空间分异与地形因子相关性研究[J]. 资源科学, 2013, 35(12): 2434-2443.
- [5] 赵越, 罗志军, 廖牧鑫, 曹丽萍, 赵杰, 冉凤维. 泰和县耕地土壤养分空间分布及影响因素[J]. 水土保持学报, 2018, 32(5): 296-303.
- [6] 杨建虎, 常鸿莉, 魏琪. 黄土高原小流域土壤养分空间特征及其与地形因子的相关性[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(12): 85-90.
- [7] Zhang, W., Liu, S.-J., Ye, Y.-Y., *et al.* (2013) Spatial Variability of Soil Nutrients and Its Influencing Factors in Typical Karst Virgin Forest. *Transactions of the CSAE*, **29**, 93-101.
- [8] Chuai, X.W., Huang, X.J., Wang, W.J., *et al.* (2012) Spatial Variability of Soil Organic Carbon and Related Factors in Jiangsu Province, China. *Pedosphere*, **22**, 404-414. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(12\)60026-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60026-5)
- [9] Zhang, H.W., Wei, Z.Y. and Wang, Q.B. (2008) Spatial Variability of Soil Total K Available N in Shenyang Urban Area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **19**, 1517-1521.
- [10] 秦松, 樊燕, 刘洪斌, 王正银. 地形因子与土壤养分空间分布的相关性研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(1): 46-49+52.