

# 西北地区有机质空间分布及其影响因素研究

雷琪<sup>1</sup>, 蒋洪丽<sup>1</sup>, 吴淑芳<sup>1,2</sup>, 冯浩<sup>1,2,3</sup>

(1.西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100;

2.西北农林科技大学中国旱区节水农业研究所, 陕西 杨凌 712100; 3.中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 为了探讨中国西北地区土壤有机质现状及影响因素, 运用 ArcGIS 和地统计学结合的方法, 研究西北地区土壤有机质的空间分布规律及其影响因素。结果表明: (1) 研究区土壤有机质含量处于较低水平, 3 级及以下占 68.94%, 有机质变化范围为 1.10~107.50 g/kg, 均值为 20.13 g/kg; 通过半方差函数模型分析得到有机质的最适理论模型为球状模型。(2) 通过绘制整个西北地区土壤有机质的空间分布图可知, 研究区东部区域从宁夏、陕北至甘南、陕南, 有机质含量呈现出梯级增加的趋势; 研究区西部有机质含量呈现出由新疆塔里木盆地中心区域向边界递增的同心圆分布。有机质高值区分布在研究区青海东部、新疆的天山一带; 低值区分布在宁夏、陕西北部和新疆的塔里木盆地。分布趋势与西北地区大地形区有一定的相似性。(3) 土壤有机质含量与海拔、降水存在正相关关系。(4) 有机质与土壤类型和土地利用方式之间存在显著相关关系, 草地、林地土壤有机质含量显著高于耕地和未利用土地, 但草地与林地之间没有显著性差异。海拔和降水是影响有机质的主要因素, 能解释 49% 的土壤有机质变化。该研究结果不仅有助于定性定量认识西北地区有机质空间分布, 而且为该地区的生态农业建设以及生态环境保护提供参考。

**关键词:** 西北地区; 土壤有机质; 空间分布; 影响因素

**中图分类号:** S159.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-2242(2022)03-0274-06

**DOI:** 10.13870/j.cnki.stbcxb.2022.03.039

## Spatial Distribution of Organic Matter and Its Influencing Factors in Northwest China

LEI Qi<sup>1</sup>, JIANG Hongli<sup>1</sup>, WU Shufang<sup>1,2</sup>, FENG Hao<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Water Resource and Architectural, Northwest A&F University,

Yangling, Shaanxi 712100; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of

Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100; 3. Institute of Water Saving

Agriculture in Arid and Semiarid Areas of China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** In order to explore the current status and influencing factors of soil organic matter in Northwest China, this paper used ArcGIS and geostatistics to study the spatial distribution of soil organic matter and its influencing factors in Northwest China. The results showed that: (1) The overall soil organic matter content in the study area is at a relatively low level, with grade 3 and below accounting for 68.94%, the organic matter variation range is 1.10~107.5 g/kg, and the average value is 20.13 g/kg; the organic matter is obtained by semivariance function model analysis. The optimal theoretical model was the spherical model. (2) By drawing the spatial distribution map of soil organic matter in the entire northwestern region, it could be seen that the organic matter content in the eastern part of the study area from Ningxia, northern Shaanxi to southern Gansu and southern Shaanxi shows a gradual increase. The central area of the Tarim Basin was distributed in concentric circles increasing to the boundary. The high-value areas of organic matter were distributed in the eastern part of Qinghai and the Tianshan Mountains in Xinjiang; the low-value areas were distributed in Ningxia, northern Shaanxi, and the Tarim Basin in Xinjiang. Such a distribution trend was somewhat similar to the distribution of large topographical areas in Northwest China. (3) There was a posi-

收稿日期: 2021-11-16

资助项目: 中国科学院 STS 区域重点项目 (KFJ-STQ-QYZD-108)

第一作者: 雷琪 (1997—), 男, 硕士研究生, 主要从事农业水土资源高效利用研究。E-mail: leiqiqz@163.com

通信作者: 吴淑芳 (1977—), 女, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事干旱半干旱地区土壤地力提升研究。E-mail: wsfsj@163.com

tive correlation between soil organic matter content and altitude and precipitation. (4) There were significant correlations between organic matter and soil types and land use patterns. The content of soil organic matter in grassland and woodland was significantly higher than that of cultivated land and unused land, but there was no significant difference between grassland and woodland. Altitude and precipitation were the main factors affecting organic matter, which can explain 49% of changes in soil organic matter. The results of this study will not only help qualitatively and quantitatively understand the spatial distribution of organic matter in Northwest China, but also provide a reference for soil texture for the construction of ecological agriculture and ecological environment protection in this region.

**Keywords:** Northwest China; soil organic matter; spatial distribution; influencing factors

土壤中的有机质作为土壤的组成部分之一,它可以在植物生长过程中提供所需要的营养物质。土壤有机质具有的保水、保肥效果,在促进土壤团粒结构的形成,改善土壤物理和化学性质发挥着非常重要的作用<sup>[1]</sup>。

我国对土壤空间变异方面的研究发展较晚,自上世纪八十年代起,我国学者逐步意识到研究土壤空间变异的重要性,并陆续开始使用半方差函数和地质统计学等方法对土壤物理性质方面变异性进行相关的研究,研究的重点是土壤制图分类和土壤物理性质的变化<sup>[2]</sup>。20世纪90年代后,地理信息系统和遥感技术逐步被应用于土壤空间变异的研究。刘东海等<sup>[3]</sup>运用地理信息系统,通过普通克里格插值绘制土壤养分分布图,研究了汉南区土壤有机质和养分含量的空间变异特征。海拔、降水、土地利用方式等都对土壤有机质的空间分布有一定影响。邓欧平等<sup>[4]</sup>研究分析了不同土壤养分与坡向、坡度和高程之间的相关关系表明,有机质与坡度、坡向存在显著的相关关系。Xiong等<sup>[5]</sup>研究了美国佛罗里达州5个典型土地利用类型的0—20 cm土层土壤有机碳自相关性表明,土壤有机碳的田间尺度变化是有尺度依赖的,并且与土地利用、土地覆盖类型和植被组成的结构紧密耦合。上述研究表明,地统计学结合GIS在探讨区域有机质空间变异性问题上发挥了重大作用,为研究大尺度土壤有机质空间变异性提供了可行性。土壤有机质含量空间变异受到自然因素、人为因素的综合影响<sup>[6]</sup>。但目前针对我国土壤有机质研究大多数集中在较小尺度上,如村级或者县级尺度,研究重点涉及某一类影响因子对于土壤有机质空间变异性的影响<sup>[7]</sup>。对于省级或更大尺度区域的复杂环境对土壤有机质的空间变异性研究涉及不多。我国西北地区自然环境、土地利用方式有着巨大的差异<sup>[8]</sup>,对西北地区土壤有机质空间变异及其影响因素还缺乏深入研究。因此,明确西北地区土壤有机质空间分布及其影响因素十分有必要。

基于上述内容,本研究结合地统计学与GIS,研究

西北地区的土壤有机物质含量的空间分布基本情况,分析自然因素以及不同土地利用方法等对土壤有机质变化的影响,以期对相关政府部门对农业生产政策制定、大范围土地保护、土壤改良的实施等提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

本文研究区为中国西北地区,位于 $75^{\circ}40'—111^{\circ}15'E, 31^{\circ}42'—49^{\circ}10'N$ (图1),包括新疆、青海、甘肃、陕西、宁夏5个省及自治区,研究区面积为308万 $km^2$ ,约占我国陆地总面积的1/3。研究区是沙漠、戈壁地貌比较集中的地区,境内地形复杂,山地、盆地、沙漠、戈壁犬牙交错。人口密度小,人均土地资源丰富,但难以利用是该地区的基本情况。西北地区处于亚欧大陆的腹地,海拔为 $-155\sim 8\,611\text{ m}$ ,大部属于干旱、半干旱地区,典型的温带大陆性气候,夏季温度高且多雨,冬季严寒干燥且降水较少。该地区年均降水稀少,大部分地区在500 mm以下,部分地区不足50 mm,但全区大部分地区年均蒸发量大于2 500 mm,部分地区达到4 000 mm以上,干旱是西北地区的主要特征之一。

### 1.2 数据来源

本文所使用的土壤有机质数据来自中国土壤数据(<http://vdb3.soil.csdb.cn/>),共441个样点;数据分析所使用到的土壤类型图、土壤质地空间分布图、中国各省、市行政边界数据以及各省土地利用现状遥感监测数据等来自中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>)。

### 1.3 异常值处理

本文所指的数据异常值,是在收集所得的数据中,出现可能性非常小的观测值,其数值远远偏离了样本的其他值。因此,对于异常值要予以剔除。通过数据检查,一般情况下认为,高度异常的异常值是大于或小于平均值的3倍标准差,即数据超出 $\mu - 3\sigma \sim \mu + 3\sigma$ 的范围,这样的值应当予以剔除<sup>[9]</sup>。本文中共有数据点441个,经异常值处理后剔除16个,最终选

取有效数据 425 个。

#### 1.4 数据分析

经典统计学统计分析认为,样本之间是独立的,不存在相关关系,本文将根据不同的条件,将样本划分统计和计算经典统计参数,如均值、方差、中值、最大值、最小值、偏度和峰度等,用来描述土壤有机质及

气温、海拔高度、降水等相关环境因素的统计分布情况;并计算皮尔逊相关系数、显著性,用来描述土壤有机质与相关的环境因素之间的相关关系。变异系数也是一个重要的参数,将被用来表示土壤有机质数据的整体变异大小。本文的数据分析处理是使用 SPSS 23 软件实现。

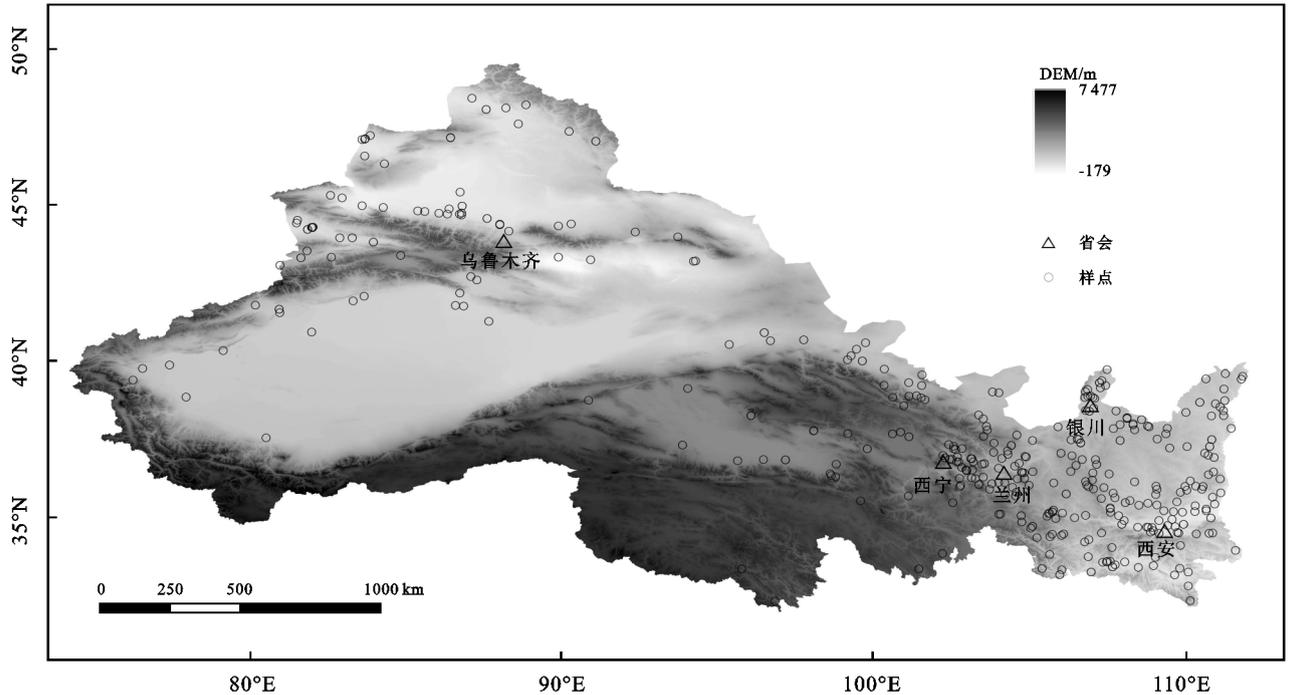


图 1 研究区位置及土壤样点

$$CV = \frac{\sigma}{|\mu|}$$

式中:CV 为变异系数; $\sigma$  为标准差; $\mu$  为  $\mu$  表示均值。

$$\rho_{X,Y} = \frac{\text{Cov}(X,Y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

式中: $\rho_{X,Y}$  为皮尔逊相关系数; $\text{Cov}(X,Y)$  为变量 X 和 Y 协方差; $\sigma_x$  为变量 X 的标准差; $\sigma_y$  为变量 Y 的标准差。

地统计学方法是用于揭示土壤有机质空间变异特征的有效手段,能够为克里格空间插值提供参数<sup>[10]</sup>。使用该方法时,需要数据符合或近似符合正态分布,需提前对数据分布进行检验。本文利用 K—S 检验法对数据进行检验,若出现数据不符合要求,则须对数据进行正态化处理。常用的正态化处理方法有对数转化、幂函数转化、平方根转化、倒数转化等<sup>[11]</sup>。正态化的数据经分析处理后需要经过反转还原。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤有机质的空间分布特征

对研究区域土壤有机质样本的数据预处理和异常值剔除。由表 1 可知,研究区域土壤有机质含量为 1.1~107.50 g/kg,平均值为 20.13g/kg,标准差为 19.55 g/kg,变异系数为 97.36%,属中等变异,研究区内有机质的含量稳定程度较低。依据全国土壤普查有机质分级表<sup>[9]</sup>结果表明,研究区内 68.94% 的土壤样品属于中等及以下水平,仅有 17.64% 的样点属于第 1 和第 2 等级,土壤有机质含量处于一个相对较低的水平。土壤有机质的偏度为 2.295,峰度为 5.524,均 >1,土壤有机质原始数据不符合使用地统计学的前提。因此,将土壤有机质数据进行自然对数转化,能够通过 K—S 正态性检验( $p < 0.05$ )。

表 1 西北地区土壤有机质基本统计信息

指标	最大值	最小值	均值	中值	标准差	偏度	峰度	变异系数/%
有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	107.50	1.10	20.13	13.00	19.55	2.30	5.53	97.36
经度/(°)	113.75	75.56	100.92	103.87	9.05	-1.15	0.13	8.96
纬度/(°)	48.06	29.05	37.57	36.67	3.62	1.02	0.53	9.87
高程/m	4600	-110	1576	1379	894	0.78	0.22	56.72
年降水量/mm	3400	4	405	396	278	3.15	30.27	30.27

运用地统计软件 GS+9.0 中的半方差函数分析模块,对西北地区及各省土壤有机质数据进行拟合(表 2),球状模型模拟效果最好,决定系数最大为 0.955,而残差(RSS)最小,为 0.019;高斯模型模拟结

果次之,线性模型的决定系数最低,不适用于西北地区。指数模型和高斯模型更适用于各省份间的插值。选择最优模型绘制出西北地区及各省份土壤有机质含量的空间分布(图 2)。

表 2 西北地区土壤有机质函数拟合模型及参数

地区	模型	块金值 $C_0$	基台值 $C+C_0$	异质比 $C_0/(C+C_0)$	决定系数 $R^2$	残差(RSS)
西北地区	线性模型	0.46	0.89	0.51	0.64	0.143
	球状模型	0.24	0.80	0.30	0.95	0.019
	指数模型	0.18	0.88	0.22	0.91	0.034
	线性模型	0.46	0.89	0.51	0.64	0.143
新疆	指数模型	0.17	1.03	0.83	0.50	0.179
青海	高斯模型	0.19	0.56	0.68	0.75	0.047
宁夏	指数模型	0.06	0.44	0.86	0.41	0.191
甘肃	指数模型	0.35	2.52	0.86	0.85	0.026
陕西	指数模型	0.12	0.75	0.83	0.93	0.016

由图 2 可知,研究区土壤有机质含量高值区有 2 个,分别为青海省南部、甘肃南部和新疆的伊宁市、阿勒泰市一带;土壤有机质含量低值区也有 2 个,分别为新疆南疆的塔里木盆地和陕西榆林市北部。有机质含量分布则呈现出 2 个趋向。从陕北、银川至陕南、甘肃南,有机质含量呈现出梯级增加的趋向;在新疆范围内有机质含量呈现出由中心区域向边界递增的同心圆分布趋向。

新疆由天山山脉分为南疆与北疆 2 个区域,新疆有

机质呈现北高南低的趋势。青海省有机质含量高值区位于青南,有机质含量最高达到 50 g/kg 以上,青海省西北部主要是柴达木盆地,有机质含量明显低于青南。最低仅有 5 g/kg。甘肃省有机质高值区位于甘南、陇南;低值区位于酒泉市。宁夏自治区土壤有机质范围在 5~23 g/kg,其分布随纬度的降低而增加的,由西向南逐渐增加。陕西省土壤有机质低值区位于陕西北部,有机质含量低于 12 g/kg,随着纬度降低,土壤有机质含量逐渐增加,陕南地区土壤有机质含量高。

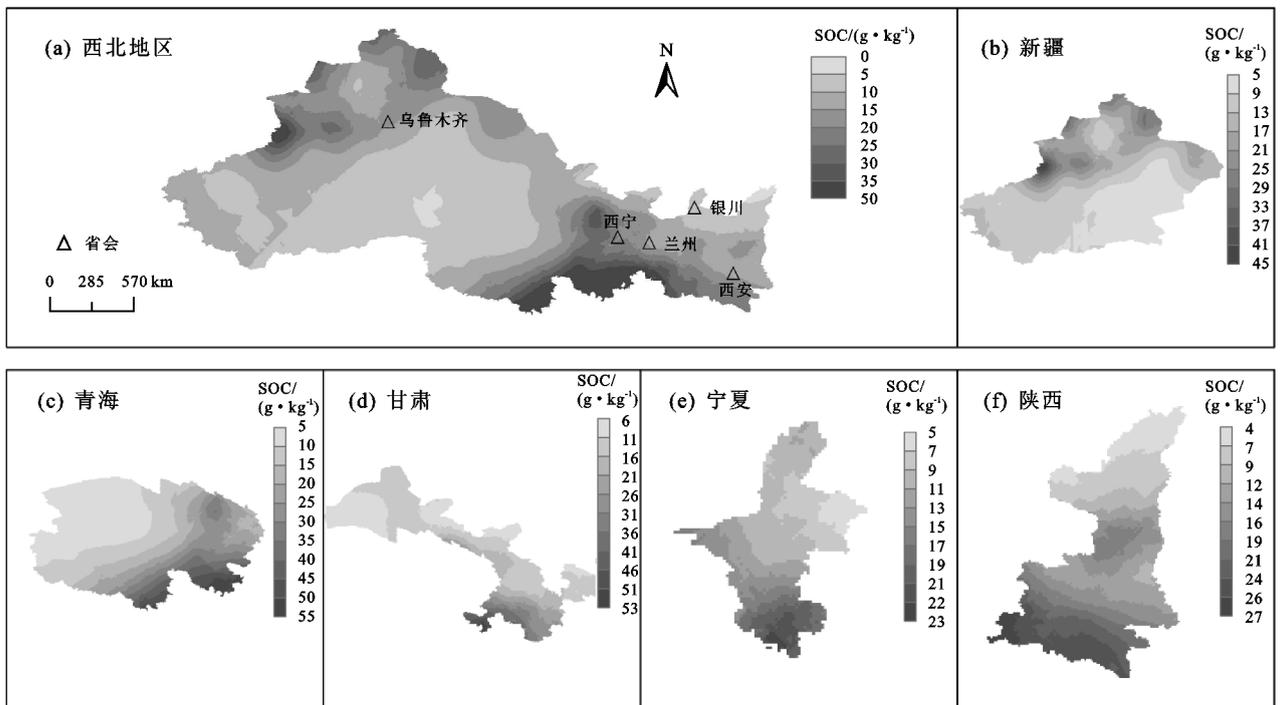


图 2 西北地区土壤有机质含量分布

## 2.2 土壤有机质的分布影响因素

2.2.1 降水与海拔高度对土壤有机质的影响 由图 3 可知,西北地区有机质含量随海拔高度和降水的变化,整体上西北地区土壤有机质含量是与高程和降水

呈正相关关系。降水为 100~400 mm,有机质与降水基本呈线性关系,由于随着降水量的增加,植被更丰富,群落更加复杂,因而有机质含量也逐渐增加。当降水 > 400 mm 后,降水对有机质的影响逐渐变

小,当降水量进一步增加时,降水对有机质的影响逐渐趋于稳定。

2.2.2 土壤类型对土壤有机质的影响 西北地区土壤类型多、分布广,主要土壤类型有风沙土、棕漠土、草毡土、寒钙土、灰棕漠土、棕钙土、寒冻土、黄绵土等。其中,寒钙土、寒冻土、冷钙土、石质土所在地区人迹罕至,样本数量较少,不足以进行数据分析,不予讨论。除去以上 4 种土壤类型外,按照面积大小在西北地区选取 16 种典型土壤进行分析(图 4)。在 16 类典型土壤类型中,灰褐土的平均有机质含量最大,为 57.51 g/kg;风沙土的有机质含量最小,仅为 3.89 g/kg,

不同土壤类型平均土壤有机质最大值和最小值相差达到 14.78 倍。土壤有机质的变异系数变化范围为 14.70%~95.39%,平均变异系数为 57.58%,属中等变异程度。有机质水平达到丰富及以上的(SOM>30 g/kg)有 6 类,分别为灰褐土、黑钙土、草毡土、棕壤土、草甸土和沼泽土。有机质平均含量达到极缺水水平的土壤类型有风沙土和棕漠土,平均有机质含量仅有 3.89,5.74 g/kg,这 2 种土壤面积为 4 409,2 493 hm<sup>2</sup>,在 16 类典型土壤中分别居第 1 和第 2。其变异系数也极为接近,分别为 49.87%,49.87%,属于中等变异程度。

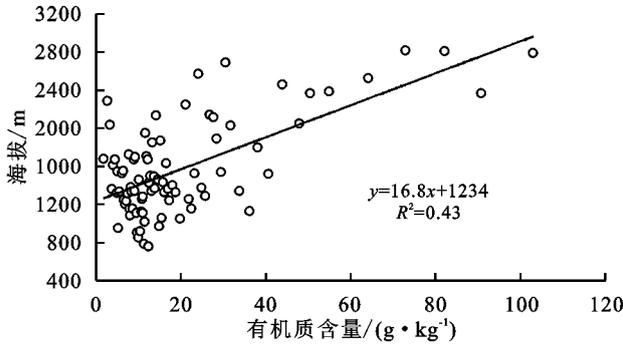
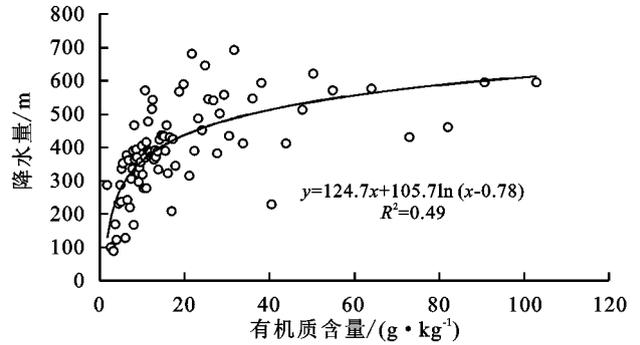


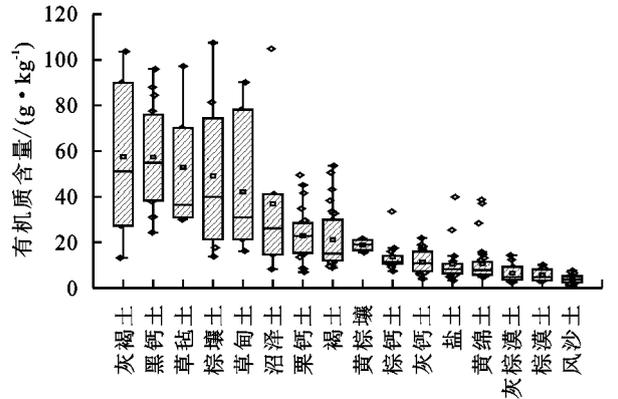
图 3 西北地区海拔、年降水量与土壤有机质含量的变化关系



2.2.3 土地利用类型对有机质的影响 将研究区土地分为 4 种主要类型,分别为耕地、林地、草地、未利用土地(图 5)。西北地区不同土地利用方式的土壤有机质含量之间存在着显著差异( $p < 0.01$ )。就有机质含量均值来说,草地>林地>耕地>未利用土地,有机质均值最高的草地为 29.00 g/kg,最低的未利用土地仅为 10.70 g/kg。草地与林地之间平均土壤有机质含量无显著性差异。耕地有机质含量呈中等。

明海拔和降水能够解释土壤有机质变化的 49%。4 个变量能够解释有机质变化的 57%。

2.2.4 有机质影响因素逐步回归分析 采用逐步回归分析方法,以上述 4 个因素为自变量,以土壤有机质含量为因变量,建立回归预测模型。由表 3 可知,对土壤有机质影响最大的是海拔,其次是降水。土壤类型和土地利用类型属于被排除的变量,对有机质的影响相对较小。模型中 Pearson 相关系数为 0.49,说



注:框图中□表示均值;—表示中位数;◇表示数据点;表示上、下界。下同。

图 4 西北地区 16 种典型土壤有机质含量

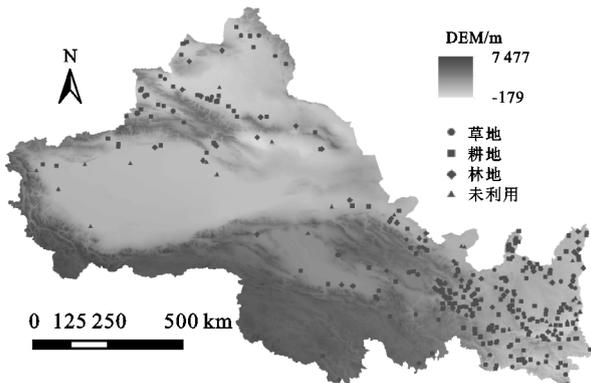


图 5 西北地区不同土地利用类型土壤分布和有机质均值含量

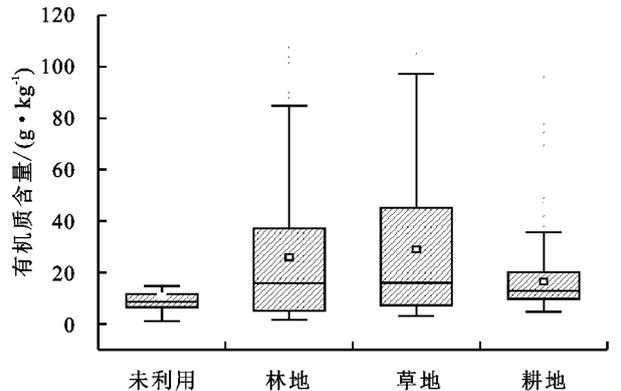


表3 逐步回归模型参数

变量	类型	非标准化 系数	标准化 系数	t	Sig	R
海拔	主要变量	0.001	0.380	8.889	0.001	0.49
降水量	主要变量	0.003	0.323	7.559	0.001	0.57
土壤类型	排除变量	—	—	—	—	—
土地利用	排除变量	—	—	—	—	—

### 3 讨论

土壤是一个时空连续的自然变异体,具有空间的高度变异性,受多种因素影响。新疆天山山脉阻隔来自大西洋的水汽进入南疆,导致植被覆盖少,荒漠居多<sup>[12]</sup>,使得有机质含量南低北高。柴达木盆地周围因高山阻挡,水汽无法进入形成降水,植被覆盖少,荒漠居多,有机质含量整体偏低<sup>[13]</sup>。青海省南部海拔高峻,向东倾斜呈梯型下降<sup>[14]</sup>,低温抑制了有机质的矿化,土壤有机质含量偏高。甘肃省有机质南高北低,与甘肃复杂多样的地貌特征有关<sup>[15]</sup>。杨帆等<sup>[16]</sup>研究发现,宁夏土壤有机质平均含量低,仅为 13.61 g/kg。陕西有机质由南至北由东至西大致呈降低趋势<sup>[17]</sup>,与本文的结果基本一致。

杨东等<sup>[18]</sup>研究表明,低海拔地区有机质含量略高于高海拔地区,但其研究是基于县域范围的研究结果,与大尺度研究存在一定差异。钟聪等<sup>[19]</sup>研究表明,在大尺度范围内海拔与有机质含量呈正相关关系。降水增加使得植被初级生产力增加,植物适宜生存的条件增加,使得有机质含量较高。而当降水的进一步增加时,通过构建土壤表层微生物群落加速了表土中有机质的转化率<sup>[20]</sup>。

土壤类型对有机质含量的影响一方面来源于成土母质,另一方面,来自于土壤本身的理化性质。不同土壤类型的有机质含量也存在着巨大的差异,有研究<sup>[21]</sup>表明,盐土、风沙土、黄壤土的有机质含量较低,而草甸土、褐土等有机质含量高,本文研究结果与前人<sup>[22]</sup>结果一致。

非耕地的土壤有机质含量明显高于耕地,高值区主要分布在草地和林地<sup>[23]</sup>,与本文的研究结果一致。森林和草原生态系统有大量凋落物输入,受到较少的人为扰动<sup>[19]</sup>,在西北地区,森林草原主要分布在温度较低的高海拔地区,进一步限制了有机质的分解<sup>[8]</sup>。耕地主要分布在降水较丰富,地形相对较为平坦的平原、河谷、盆地,具有较好水热条件,经过人为种植作物,有机质逐渐趋于稳定状态,其变异性也逐渐变低。西北地区未利用土地多处在干旱荒漠地区,干旱荒漠区土壤有机质总体水平较低,未利用土地总体水平较

低,变异性也较弱<sup>[24]</sup>。

### 4 结论

(1)西北地区土壤有机质含量较低,呈中等程度变异,变化范围为 1.10~107.50 g/kg,均值为 20.13 g/kg,不考虑各项变异性,土壤有机质半变异方差函数的最佳拟合模型为球状模型。

(2)西北地区表层土壤有机质分布呈现 2 个趋势,以祁连山脉为界,研究区东部区域从宁夏、陕北至甘南、陕南,有机质含量呈现出梯级增加趋势;研究区西部有机质含量呈现出由新疆塔里木盆地中心区域向边界递增的同心圆分布。

(3)降水、海拔对土壤有机质具有显著影响,呈正相关关系。不同土壤类型的土壤有机质含量具有显著差异。土地利用类型对土壤有机质分布有显著影响,有机质含量草地>林地>耕地>未利用土地,草地和林地的土壤有机质含量显著高于耕地和未利用土地,草地与林地之间无显著性差异。海拔和降水是影响土壤有机质的主要因素,能解释 49%的有机质变化。

#### 参考文献:

- [1] Schjønning P, Jensen J L, Bruun S, et al. The role of soil organic matter for maintaining crop yields: Evidence for a renewed conceptual basis [J]. *Advances in Agronomy*, 2018, 150:35-79.
- [2] 胡克林. 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.
- [3] 刘东海, 李双来, 陈云峰, 等. 武汉市汉南区土壤有机质和养分时空变异研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2014(4):24-28.
- [4] 邓欧平, 周稀, 黄萍萍, 等. 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] Xiong X, Grunwald S, Corstanje R, et al. Scale-dependent variability of soil organic carbon coupled to land use and land cover [J]. *Soil and Tillage Research*, 2016, 160:101-109.
- [6] 杜佩颖, 张海涛, 郭龙, 等. 平原丘陵过渡区土壤有机质空间变异及其影响因素[J]. *土壤学报*, 2018, 55(5):1286-1295.
- [7] 罗由林, 李启权, 王昌全, 等. 川中丘陵县域土壤氮素空间分布特征及其影响因素[J]. *环境科学*, 2015, 36(2):652-660.
- [8] 温丁, 何念鹏. 中国森林和草地凋落物现存量的空间分布格局及其控制因素[J]. *生态学报*, 2016, 36(10):2876-2884.
- [9] 姜赛平, 张认连, 张维理, 等. 近 30 年海南岛土壤有机质时空变异特征及成因分析[J]. *中国农业科学*, 2019, 52(6):1032-1044.

用,从而达到增产效果。进行有机替代后,在作物生长发育所需速效氮前期由化肥提供,后期则由有机肥矿化分解提供,保证作物整个生育期的养分供应,其中,活性有机氮的作用尤为重要。张莉等<sup>[37]</sup>连续3年进行玉米秸秆还田后,0—40 cm 土壤中有有机碳、可溶性有机碳均与小麦产量呈极显著正相关;王利民等<sup>[38]</sup>研究表明,茶叶产量与总有机碳、微生物有机碳存在密切的直线相关关系。本试验也表明,有机替代可较全量化肥处理显著提高土壤中活性有机碳、氮组分(表3和表4),进行相关分析后可知,总有机碳及部分活性有机碳组分和活性有机氮组分与冬小麦籽粒产量呈显著正相关,其中,水溶性有机碳与冬小麦籽粒产量呈极显著正相关。从产量构成来看,可溶性有机氮与穗数呈显著正相关;微生物有机氮则与穗粒数呈显著正相关;轻组有机氮对穗粒数与穗数呈极显著正相关,此结果与胡乃娟等<sup>[39]</sup>研究结果一致。

## 4 结论

综上所述,在黄土旱塬冬小麦种植区进行30%~50%的有机肥和腐殖酸替代化肥后,不但有显著的增产效果,而且对土壤中水溶性有机碳、可溶性有机碳、轻组有机碳、微生物有机碳和氮等组分的含量均有显著促进提升作用,且微生物有机氮、轻组有机氮、可溶性有机碳对小麦产量提高具有重要促进作用。其中,50%有机肥替代处理增产和培肥地力的效果更显著,适宜在当地推广应用。

### 参考文献:

- [1] 国家统计局.中国统计年鉴[J].北京:中国统计出版社,2019.
- [2] 李廷亮,谢英荷,高志强,等.黄土高原旱地小麦覆膜增产与氮肥增效分析[J].中国农业科学,2018,51(14):2735-2746.
- [3] Neumann K, Verburg P H, Stehfest E, et al. The yield gap of global grain production: A spatial analysis[J]. *Agricultural Systems*, 2010, 103(5): 316-326.
- [4] 杜为研,唐杉,汪洪.我国有机肥资源及产业发展现状[J].中国土壤与肥料,2020(3):210-219.
- [5] 林治安,赵秉强,袁亮,等.长期定位施肥对土壤养分与作物产量的影响[J].中国农业科学,2009,42(8):2809-2819.
- [6] Liu H F, Zhang J Y, Ai Z M, et al. 16-Year fertilization changes the dynamics of soil oxidizable organic carbon fractions and the stability of soil organic carbon in soybean-corn agroecosystem [J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2018, 265: 320-330.
- [7] Wu L, Zhang W J, Wei W J, et al. Soil organic matter priming and carbon balance after straw addition is regulated by long-term fertilization [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2019, 135: 383-391.
- [8] 张丹.湖北稻麦轮作系统中有机无机肥料配施效应研究[D].南京:南京农业大学,2016.
- [9] 于昕阳,翟丙年,金忠宇,等.有机无机肥配施对旱地冬小麦产量、水肥利用效率及土壤肥力的影响[J].水土保持学报,2015,29(5):320-324.
- [10] 谢军红,柴强,李玲玲,等.有机氮替代无机氮对旱作全膜双垄沟播玉米产量和水氮利用效率的影响[J].应用生态学报,2019,30(4):1199-1206.
- [11] 谢军,赵亚南,陈轩敬,等.有机肥替代化肥氮提高玉米产量和氮素利用效率[J].中国农业科学,2016,49(20):3934-3943.
- [12] Guo L Y, Wu G L, Li Y, et al. Effects of cattle manure compost combined with chemical fertilizer on topsoil organic matter, bulk density and earthworm activity in a wheat-maize rotation system in Eastern China [J]. *Soil and Tillage Research*, 2016, 156: 140-147.
- [13] Shafi M, Azamshah S, Bakht J, et al. Enhancing soil fertility and wheat productivity through integrated nitrogen management [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2012, 43(11): 1499-1511.
- [14] 张勉.夏闲期轮耕对旱地麦田土壤理化性状及有机碳组分的影响[D].山西 太原:山西农业大学,2017.
- [15] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [16] 徐明岗,于荣,王伯仁.土壤活性有机质的研究进展[J].土壤肥料,2000(6):3-7.
- [17] 郝小雨,高伟,王玉军,等.有机无机肥料配合施用对设施番茄产量、品质及土壤硝态氮淋失的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(3):538-547.
- [18] Wei W L, Yan Y, Cao J, et al. Effects of combined application of organic amendments and fertilizers on crop yield and soil organic matter: An integrated analysis of long-term experiments [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2016, 225: 86-92.
- [19] 赵隽,董树亭,刘鹏,等.有机无机肥长期定位配施对冬小麦群体光合特性及籽粒产量的影响[J].应用生态学报,2015,26(8):2362-2370.
- [20] 李太魁,寇长林,郭战玲,等.有机氮替代部分无机氮对砂姜黑土冬小麦产量及氮肥利用率的影响[J].江苏农业科学,2021,49(5):97-101.
- [21] Chen D M, Yuan L, Liu Y R, et al. Long-term application of manures plus chemical fertilizers sustained high rice yield and improved soil chemical and bacterial properties [J]. *European Journal of Agronomy*, 2017, 90: 34-42.
- [22] 吴家梅,霍莲杰,纪雄辉,等.不同施肥处理对土壤活性