

蔬菜区土壤有机质空间变异特征分析

王晶¹,杨联安^{1*},杨煜岑¹,冯武焕²,于世锋³,吕爽²,张彬^{1,4}

1. 西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127
2. 西安市农业技术推广中心, 陕西 西安 7100613
3. 西安市农产品质量安全检验检测中心, 陕西 西安 710077
4. 内江师范学院 地理与资源科学学院, 四川 内江 641100

摘要: 本文以西安市集中蔬菜种植区为例, 采用地统计学方法, 对 369 份土壤样品有机质含量进行空间变异分析、空间丰缺水平评价, 并利用方差分析和相关性分析深入研究土壤性质对有机质含量的影响。结果表明, 蔬菜区土壤有机质的最适变异函数是指数模型, 其块金效应为 50.0%, 在 2661 m 范围内具有中等空间相关性, 有机质空间变异性在东南-西北方向上最明显; 蔬菜区土壤有机质含量处于中等偏低的水平, 临潼区和高陵区交界处、周至县和鄠邑区交界处周围土壤有机质含量低于 15 g/kg, 有机质含量随土壤颗粒的变细呈增大的趋势, 同时, 褐土有机质含量最高, 新积土有机质含量最低。土壤有机质与种植年限、pH 值呈显著负相关关系。研究结果可为蔬菜种植相关部门提供决策依据。

关键词: 土壤有机质; 空间变异; 地统计学; 蔬菜

中图分类号: S158.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2017)04-0562-08

Spatial Variation Characteristics Analysis of Soil Organic Matter in the Vegetable Field

WANG Jing¹, YANG Lian-an^{1*}, YANG Yu-cen¹, FENG Wu-huan², YU Shi-feng³, LV Shuang², ZHANG Bin^{1,4}

1. College of Urban and Environmental Sciences/Northwest University, Xi'an 710127, China
2. Xi'an Agricultural Technology Extension Center, Xi'an 710066, China
3. Xi'an Agricultural Product Quality Safety Inspection and Monitoring Center, Xi'an 710077, China
4. School of Geography & Resource Science/Neijiang Normal University, Neijiang 641100, China

Abstract: Taking the concentrated vegetable growing areas in Xi'an as an example, this paper took geostatistics to analyze the spatial variability and spatial abundance level in 369 soil samples and study the effect of soil properties on organic matter content with variance analysis and correlation analysis. The results showed that the optimal variation function of soil organic matter was exponential model with 50.0% nugget effect in vegetable fields, there was medium spatial correlation within the scope of 2661 m, and spatial variability of soil organic matter was most obvious in southeast-northwest. The soil organic matter content was at a lower-middle-level in vegetable fields, the content of soil organic matter was below 15 g/kg at the junction of Lintong and Gaoling, Zhouzhi and Huiyi, where should take measures to increase the soil organic matter content. The content of soil organic matter increased with the decrease of soil particles. At the same time, the content of soil organic matter in cinnamon soils was the highest, and the lowest in the new soil. Soil organic matter content had significant negative correlation with the planting age and pH value. The results can provide decision-making basis for the relevant vegetable cultivation departments.

Keywords: Soil organic matter; spatial variation; Geo-statistics; vegetable

土壤有机质既是植物矿质及有机营养的源泉, 又是形成土壤结构体的重要因素, 其含量高低直接影响土壤的保肥性、保水性、可耕性和通气性, 是反映土壤质量、土壤健康的一个重要指标^[1-3]。蔬菜区土壤有机质含量直接影响土壤肥力及蔬菜产量、品质。此外, 蔬菜生长期短、产量高、养分需求量大、复种指数高、肥料投入量大, 所以土壤有机质空间变异明显区别于其他大田土壤^[4]。因

收稿日期: 2017-03-27

修回日期: 2017-05-31

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划项目:基于地统计学和 GIS 的土壤网格采样技术研究(10YJA910010);陕西省农业科技攻关项目:果树促生微生物菌肥及精准化施肥技术研究(2011K02-11);西安市科技计划农业技术研发项目:蔬菜产区环境评估和土壤调控修复技术(NC1402);西安市科技计划农业技术研发项目:基于 Android 平台的嵌入式猕猴桃施肥管理系统开发(NC150201)及西北大学“211 工程”研究生自主创新项目(YZZ15013)

作者简介: 王晶(1992-),女,硕士研究生,主要研究农业资源利用。E-mail:751697930@qq.com

***通讯作者:** Author for correspondence. E-mail:yanglian@163.com

此,掌握蔬菜区土壤有机质空间变异规律、空间分布特征及土壤性质对其影响,对于改善土壤质量和提高作物生产力等方面起着重要作用。20世纪70年代,国外学者将地统计学与地理信息系统(Geographic information system,简称GIS)相结合并引入土壤空间变异分析,国内外学者对GIS和地统计学在农业中应用做了大量研究,集中于研究土壤养分空间变异研究、地统计插值方法比较以及土壤适应性评价等。XU Ling-fei等^[4]统计分析果园土壤有机质和其他养分元素含量及其空间变异规律,张彬^[5]等将改进TOPSIS和COK技术运用到土壤养分综合空间变异规律研究中。石小华等^[6]对常用的插值方法进行对比发现克里格插值方法明显优于其他方法。N.Walke等^[7]基于GIS技术提出采用多准则叠加法对棉花种植区土壤进行适宜性评价。Yang Gao等^[8]通过研究土壤酶行为的复杂性表明,遗传分析、生物标志物结合地质统计学方法可准确评价土壤质量。

土壤有机质含量分布受到自然和人为等多种因素作用^[9]。土壤有机质含量受气候、海拔、坡度、土壤质地等自然要素影响^[10],如Dai和Huang^[11]研究发现温度、降雨量及海拔是影响土壤有机质含量的关键因子;李婷等^[10]探讨了土壤有机质含量主要受土壤质地、海拔高度和坡度等因素影响。同时,人为因素对有机质空间变异也有重要作用,例如:土地利用方式、耕地施肥、种植方式^[12]。赵明松等^[13]分析表明江苏省土壤有机质含量的时空变异主要受农业生产管理措施、土地利用变化等因素显著影响。前人的研究多集中于耕地土壤,而对蔬菜区土壤研究较少,本文则结合自然因素下的土壤类型、土壤质地、pH值,和人为因素下的种植方式、种植年限来研究土壤性质对有机质空间变异的影响。

在前人研究基础上,以西安市蔬菜集中种植区(以下称“蔬菜区”)为例,对蔬菜区2014年369个土壤采样点数据进行处理,利用GS+7.0软件对土壤有机质进行空间变异特征分析,利用ArcGis10.3地统计学方法和克里金插值法分析土壤有机质空间分布,并结合SPSS软件研究土壤有机质与土壤类型、土壤质地、种植方式、种植年限、pH值等之间的关系,为蔬菜区提升土壤质量、改善土壤肥力提供科学依据。

1 研究材料

1.1 研究区概况

西安市位于黄河流域中部关中盆地,东经107°40′~109°49′和北纬33°42′~34°45′之间。辖境东西长约204 km,南北宽约116 km,面积10108 km²,属暖温带半湿润大陆季风气候,冷暖干湿,四季分明,年平均气温13.0℃~13.7℃,年降水量522.4 mm~719.5 mm,由北向南递增。7月、9月为两个明显降水高峰月。年日照时数1646.1 h~2114.9 h。蔬菜区主要分布于该市东北部和中部,东北部蔬菜区包括灞桥区、高陵区、临潼区、阎良区的部分村镇。中部蔬菜区包括长安区、户县、周至县的部分村镇。研究区由于气候与地形等因素的作用形成以潮土、褐土、黄绵土、壤土、水稻土、新积土为主的六种土壤类型,土壤类型分布图如1。研究区所属黄土高原区,土壤含砂量较大,根据土壤普查研究区分布有粉砂质黏壤土、轻壤、壤土、砂壤、中壤、重壤。在长期的耕作中,人们主要的种植方式有温室大棚种植、露地种植。温室大棚种植的蔬菜主要包括:西红柿、黄瓜、辣椒,露地种植则包括:青菜、白菜、菠菜、蒜苗等。

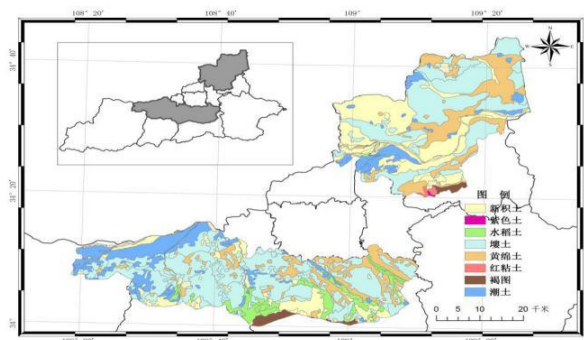


图1 研究区土壤类型

Fig.1 Soil types in the study area

2 研究方法

2.1 土壤样品采集、测定与资料收集

以西安市蔬菜区集中分布区作为实验蔬菜区，为了提高估值精度，充分考虑不同土壤类型和地形特点，均匀布设采样点（图 2）。采用全球定位系统（Global position system，简称 GPS）对采样点定位，记录其经纬度位置，所有样点采集遵循“等量”、“随机”、“多点混合”的原则，样地内采取 5 点重复，各点间隔 20 m，充分混合后四分法取土 1 kg，于 2014 年 10 月共采取土样 369 份。在土壤样品自然风干、过筛后，采用重铬酸钾容量法(油浴加热)测定土壤有机质，pH 值采用电位计法测定^[14]。土壤类型、土壤质地、种植方式、种植年限等由西安市农业技术推广中心提供。

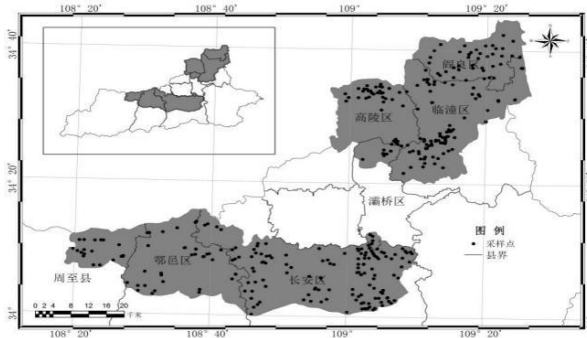


图 2 蔬菜区土壤采样点分布图

Fig.2 Distribution map of soil samples in the vegetable field

2.2 数据处理

采用 GS+和 SPSS 软件对研究区土壤有机质的空间变异进行研究。对原始数据运用 3 倍标准差法剔除异常值，分别用最大最小值替代异常值，进行 K-S 正态分布检验，对于非正态分布的变量要经数据转换使数据符合正态分布，计算研究区土壤有机质的最大值、最小值、均值、标准差、变异系数等，利用 ArcGis10.3 趋势分析探讨土壤有机质的趋势特征。以半变异函数决定系数 (R^2) 接近 1，残差 (RSS) 尽可能小的原则建立半变异函数模型，获取变异函数的块金值、基台值、变程、块金效应值等特征参数，及其各向异性，由此分析出土壤有机质空间变异特征。利用 ArcGis10.3 中的地统计模块预测土壤有机质，并绘制了有机质空间分布图，进行空间分析。最后，在 SPSS 软件中通过方差分析和相关分析研究土壤性质对土壤有机质含量的影响。

3 结果与分析

3.1 蔬菜区土壤有机质描述性统计与趋势分析

利用 SPSS 软件对经去异的土壤有机质数据进行描述性统计，统计结果见表 1。土壤有机质半方差分析的前提是：数据必须符合正态分布，否则会出现比例效应^[15]。利用 SPSS 软件对数据进行 K-S 正态分布检验，表明土壤有机质含量符合正态分布。

表 1 蔬菜区土壤有机质含量的统计特征值

Table 1 Statistical characteristic values of soil organic matter in the vegetable field

土壤属性	极小/g/kg	极大 g/kg	均值/g/kg	标准差	变异系数/%	Z 得分	显著性水平	分布类型
Soil property	Min	Max	Mean	SD	CV	Score	Level of significance	Distribution type
有机质	6.905	35.289	18.029	5.713	31.69	1.003	0.267	正态分布

空间变异的变异系数是指数据空间变异的大小，变异系数越大，表明它在空间上的分布不均匀，受到外界的影响程度越高，也就是说随机性越强。一般认为，当变异系数 $\leq 10\%$ 时，为弱变异； $10\% <$ 变异系数 $< 100\%$ 时，表示中等变异；变异系数 $\geq 100\%$ 时，表示强变异^[16]。表 1 表明，有机质变异系数为 31.69%，属于中等变异。

趋势分析是在三维视图下进行的探索空间数据，该方法将采样点分布在 X、Y 平面上，在每个采样点上，以一个平行于 Z 轴的线段表示采样点的值。将采样点的值分别投影到 X、Z 平面和 Y、Z

平面上形成散点图。通过这些散点可以做出一条最佳拟合线，并用它来模拟特定方向上的某种趋势，若散点图投影的拟合曲线是平的，则称为 0 阶效应，表明空间数据没有趋势特征；若散点图投影的拟合曲线是倾斜直线，则称为一阶效应；若散点图投影的拟合曲线为“U”型线时，称为二阶效应^[17]。蔬菜区土壤有机质趋势分析结果如图 3。

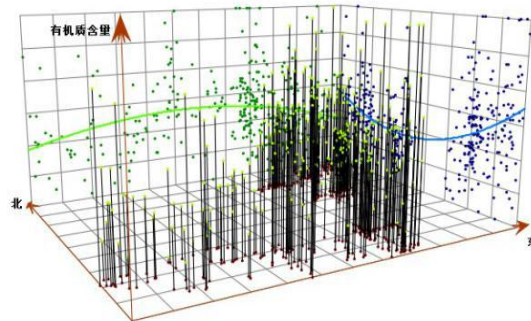


图 3 蔬菜区土壤有机质空间趋势图 (单位: g/kg)

Fig.3 Spatial trends of soil organic matter in the vegetable field (Unit:g/kg)

图 3 中，X 轴表示正东方向，Y 轴表示正北方向，Z 轴表示各采样点土壤有机质实测值得的大小。投影到 X、Z 平面的曲线表示东-西向的全局性趋势效应变化，投影到 Y、Z 平面的是南-北方向全局性的趋势效应变化。由图 3 表明，在东-西方向上土壤有机质含量变化较大，中间凸出，两边凹下，呈明显倒“U”型趋势，表示其含量分布自东向西具有“低-高-低”的特征。在南-北方向上土壤有机质含量变化显著，呈“U”型趋势，表示其含量由北向南有机质含量先降低后增高。在两个方向上土壤有机质都具有二阶效应，它会对半变异函数的计算和空间插值产生影响，因此需在分析中去掉趋势效应影响。

3.2 蔬菜区土壤有机质空间变异分析

采用 GS+7.0 软件对满足正态分布的采样点数据建立半变异函数模型，通过调节不同模型参数对比模型的决定系数和残差^[18]，因为决定系数是回归平方和占总平方和的比值，它直接能够反映变异函数理论模型与有效样本拟合程度的高低，所以，在决定系数均可能大的基础上，选择残差尽可能小得模型为最优模型，进而得到土壤有机质半变异函数图和半变异函数理论模型的参数，如表 2、图 4 所示。

表 2 蔬菜区土壤有机质含量的半方差函数及参数

Table 2 Semi variance function and parameters of soil organic matter in the vegetable field							
土壤属性	理论模型	块金值	基台值	块金效应/%	变程/km	决定系数	残差
Soil property	Theoretical model	Nugget(C0)	Sill(C0+C)	Nugget/Sill	Range	R ²	Residual
有机质	Exponential	23.09	46.19	50.0	2.661	0.723	57.9

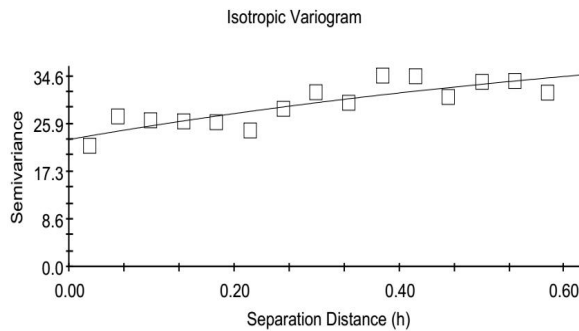


图 4 蔬菜区土壤有机质各向同性半方差函数

Fig.4 Isotropic semi variance of soil organic matter in the vegetable field

块金值表示土壤特性受人干扰随机性因素引起的变异，蔬菜区土壤有机质块金值为 23.09，表明在采样的过程中存在人为因素引起的随机变异。土壤有机质的最优模型是指数模型，土壤有机质

模拟情况较好, 决定系数在 0.6 以上, 且块金值和残差都较小, 表明理论拟合模型能够较好的反映土壤有机质的空间结构特征。基台值表示土壤特性的总变异, 包括结构性变异和随机性变异。块金效应即块金值与基台值的比值, 用它来反映土壤有机质的空间依赖性, 块金效应值越高, 空间依赖性越弱, 反之, 块金效应越低, 空间依赖性越强。较强的空间依赖性是由母质、地形等决定的^[19]。由表 2 可知: 有机质块金效应为 50.0%, 介于 25%~75%之间, 具有中等空间依赖性, 表明研究区土壤有机质空间变异的影响因素既包括结构性因素也包括随机性因素。变程表示土壤有机质空间自相关范围^[20]。由表 2 可得, 有机质的变程距离为 2661 m, 表明蔬菜区土壤有机质在此范围内分布连续, 存在空间自相关。

由于蔬菜区土壤长期受到自然和人为的共同作用, 土壤有机质的分布具有明显的方向异性和趋势特征, 为了更加全面的研究土壤有机质空间变异特征, 利用 GS+7.0 软件绘制 0°、45°、90°、135° 方向上的半变异函数, 进一步分析空间变异的各向异性。从图 5 中可以看出, 土壤有机质在东西 0° 方向、南北 90° 方向和东北-西南 45° 方向上的变异较小, 而在东南-西北 135° 方向上的变异较为明显。在 0° 和 90° 方向上, 当步长小于 45 m 时有机质随步长的变异程度大致相似, 表现为各向同性, 但当步长大于 45 m 时, 0° 方向上半方差值呈先降低后上升的趋势, 在 45° 方向上半方差值呈降低趋势; 在 90° 方向上有机质整体趋势与步长变异一致, 具有同向性; 135° 方向上当步长大于 382.4 m 时出现快速的上升趋势。

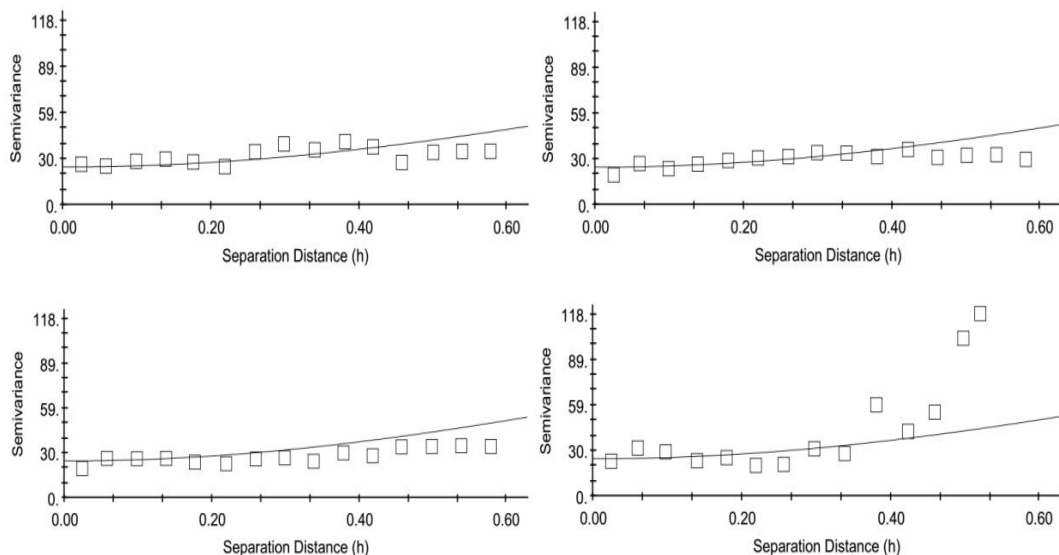


图 5 蔬菜区土壤有机质各向异性变异函数

Fig.5 Anisotropic semi variance of soil organic matter in the vegetable field

3.3 土壤有机质空间分布格局

采用 ArcGis10.3 中 Geostatistics analysis 模块的普通克里格方法进行半变异函数拟合, 得到蔬菜区土壤有机质含量空间分布图。由于蔬菜区土壤有机质含量比较集中, 如果采用全国第二次土壤普查养分分级标准会造成分级受限, 以致数据分析不够深入, 因此采用在全国第二次土壤普查养分分级标准^[21]上进行再分类的分级方法, 利用 ArcGis10.3 软件计算蔬菜区土壤有机质占蔬菜区总面积的百分比和累计百分比, 结果如图 6 和表 3 所示。

图 6 和表 3 表明, 研究区蔬菜区土壤有机质含量空间差异明显, 整体上土壤有机质含量处于中等偏低的水平。有机质含量低于 20 g/kg 的占总面积的 83.39%, 属于国家土壤有机质含量等级标准第四级, 其中, 临潼区和高陵区交界处、周至县和鄠邑区交界处周围有机质含量低于 15 g/kg, 这些区域要重点提高有机质含量。处于国家第三级 (20~30 g/kg) 的土壤占研究区总面积的 16.61%, 主要分布于长安区中部和西部、灞桥区北部以及阎良区东北和西北部的小范围区域。蔬菜区土壤分级的分界线走向基本呈东北-西南走向, 因此, 有机质空间变异在西北-东南方向 (135°) 较为明显, 这

与上文各向异性分析结果一致。

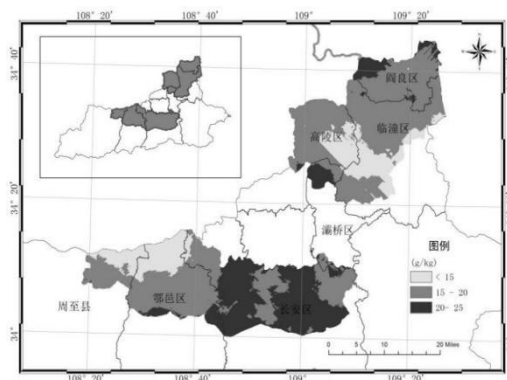


图 6 蔬菜区土壤有机质含量空间分布图

Fig.6 Spatial distribution map of the soil organic matter in the vegetable field

表 3 蔬菜区土壤有机质等级面积比例统计表 (单位: g/kg)

Table 3 Statistics area ratio for different soil organic matter grade in the vegetable field (Unit: g/kg)

土壤属性	等级	标准	改进	面积比/%	累计面积比/%
Soil property	Grade	National standard	Revised	Percentage	Cumulative area ratio
土壤有机质	三级(III)	20~30	20~25	16.61	16.61
	四级(IV)	10~20	15~20	58.36	83.39
			<15	25.03	

3.4 土壤性质对蔬菜区有机质含量的影响

3.4.1 土壤性质对蔬菜区土壤有机质含量的影响 为掌握影响土壤有机质含量水平的因子,有效指导农业生产,对研究区土壤类型、土壤质地、种植类型等概念型指标进行单因素方差分析,同时对种植年限、pH值因素进行相关性分析。土壤类型、土壤质地、种植类型与蔬菜区土壤有机质含量的方差分析(F检验)结果如表4。结果表明:不同的土壤类型、土壤质地间的土壤有机质含量存在显著差异($P<0.01$)。土壤质地有机质含量的影响达到极显著($P<0.001$),土壤类型的影响次之,达到了显著($P<0.01$),而种植方式对其含量影响不显著。 F 值为组间均方与组内均方的比值,表示不同分组间样本均数的差别,其值越大表明不同分组间的差异越明显。对蔬菜区土壤有机质含量变异有显著影响的因子中,土壤类型 F 值相对于土壤质地较低,表明土壤质地组间差异对土壤有机质变异影响存在的差异性较大。相关性分析结果表明:蔬菜区土壤有机质含量与种植年限、pH值之间都具有显著负相关关系($P<0.01$)。相关性由大到小依次为种植年限、PH值,相关系数分别-0.234、-0.198,即随着种植年限的增加,蔬菜区土壤有机质含量降低;有机质含量与pH值此高彼低。

表 4 蔬菜区土壤有机质各影响因子方差分析结果

Table 4 Variance analysis for soil organic matter at different impact factors in the vegetable field

影响因子	偏差平方和	自由度	均方	F	P
Impact factors	Sun of square	df	Mean square		
校正模型	2069.995a	12	172.500	6.202	0.000
种植类型	2.764	2	1.382	0.050	0.952
土壤质地	966.853	5	193.371	6.952	0.000
土壤类型	436.126	5	87.225	3.136	0.009

3.4.2 土壤质地对土壤有机质含量的影响 表5为蔬菜区不同土壤质地土壤有机质含量的分析结果,由表5可得,蔬菜区土壤有机质含量在不同土壤质地由大到小依次为:粉砂质黏壤土、中壤、轻壤、壤土、重壤、砂壤。粉砂质黏壤土有机质含量最多,砂壤中有机质含量最少,土壤有机质大致随土壤颗粒的变细呈增大的趋势,与赵明松等^[22]研究结果一致。这主要是因为砂质土壤通气和透水性良好,好养微生物活动十分活跃,其进行好气分解的速度快,分解完全,中间产物很少积累,因此不利于土壤有机质的积累。而黏质土壤与之相反,利于土壤有机质的积累。另一方面,土壤中的黏粒物质可与有机物质结合形成有机-无机复合体,吸附稳定土壤有机质,降低有机质矿化速度,促进有机质积累,而砂质土壤缺少有机-无机复合体,所以不利于土壤有机质积累^[23]。

表 5 蔬菜区不同土壤质地土壤有机质含量 (单位: g/kg)

土壤质地	平均值	计数	最大值	最小值	标准差	变异系数/%
Soil texture	Mean	Count	Max	Min	SD	CV
粉砂质黏壤土	20.792	119	35.289	6.905	6.007	28.89
中壤	18.175	68	35.289	7.632	5.82	32.02
轻壤	17.061	29	28.205	8.096	4.265	25.00
壤土	16.282	136	29.575	8.3	4.669	28.67
重壤	15.353	3	17.481	13.799	1.906	12.42
砂壤	14.024	16	26.528	8.608	5.233	37.32

3.4.3 土壤类型对土壤有机质含量的影响 表 6 为蔬菜区不同土壤类型下土壤有机质含量的分析结果, 由表 6 可得, 蔬菜区土壤有机质含量在不同土壤性质下由大到小依次为: 褐土、黄绵土、水稻土、壤土、潮土、新积土。这与土壤成土过程有关, 褐土有机质含量高, 营养元素较丰富, 新积土为新近冲积、洪积、坡积、塌积、海潮沉积或人工堆垫而成的土壤, 成土时间短, 没有剖面发育, 故新积土平均有机质含量最少。表 7 可以发现, 潮土变异系数最大, 高达 37.481%, 这主要是由于潮土的地下水埋藏较浅, 水分条件好, 这种土壤较早被开垦, 农业历史比较久远, 受到人为影响较大。

表 6 蔬菜区不同土壤类型下土壤有机质含量 (单位: g/kg)

土壤类型	平均值	计数	最大值	最小值	标准差	变异系数/%
Soil type	Mean	Count	Max	Min	SD	CV
褐土	27.53	4	33.4	22.168	4.604	16.73
黄绵土	19.33	51	35.289	7.027	5.858	30.31
水稻土	19.05	18	35.289	10.09	5.418	28.43
壤土	18.83	152	35.289	8.096	5.368	28.51
潮土	16.86	33	35.289	7.632	6.318	37.48
新积土	16.22	113	35.289	6.905	5.298	32.66

4 讨论

土壤有机质空间变异、丰缺水平研究结果与赵业婷^[24]、方瑞红^[25]、研究结果一致。与吕爽^[26]研究对比发现, 西安市菜田土壤有机质含量虽然呈现上升趋势, 但是整体仍处于中等偏低水平, 这是由于提高土壤有机质含量是个长期的过程。土壤类型对土壤有机质含量的影响, 与在赵明松^[13]和蒋威^[27]的研究结果一致。种植年限对有机质含量的影响, 与袁兆华^[28]、杨建峰^[29]、李香兰^[30]等研究结果一致, 这主要是由于人为长期种植蔬菜改善土壤通气性, 使得土壤有机质分解速度加快, 微生物更加活跃, 此外, 长期有机肥施用不足和土壤高强度利用也加剧蔬菜区土壤有机质含量减少。有机质与 pH 值呈显著负相关与杨世琦^[31]、郑玉龙^[32]的研究结果一致。因此, 在提高蔬菜区有机质含量的同时要注重调节土壤 pH 值, 防止土壤酸化, 可采取推行施用生理碱性肥料、施用石灰、炉渣等碱性土壤改良剂等方法。

5 结论

以西安市集中蔬菜区 369 份土壤样本数据为基础, 对蔬菜区土壤有机质进行空间变异分析和空间格局分析, 并用方差分析和相关性分析研究土壤性质对土壤有机质空间变异的影响。西安市蔬菜区土壤有机质表现出以下特征:

(1) 蔬菜区土壤有机质含量符合正态分布, 有机质变异系数为 31.69%, 属于中等变异程度。趋势分析表明有机质含量具有二阶效应: 自东向西具有“低-高-低”的特征, 由北向南有机质含量具有先降低后增高的特点;

(2) 蔬菜区土壤有机质的块金效应为 50.0%, 具有中等空间依赖性, 表明研究区土壤有机质空间变异受结构性因素和随机性因素共同影响。指数模型是有机质空间变异最适模型。在 0°、45°、90°方向上, 土壤有机质变异较小且具有相似性, 而在东南-西北 135°方向上的变异较为明显;

(3) 土壤质地和土壤类型对有机质含量具有显著影响, 土壤有机质与种植年限、pH 值呈显著负相关 ($P < 0.01$) 关系。有机质含量受土壤质地极显著影响, 组间差异性较大, 蔬菜区土壤有机质

含量随土壤颗粒的变细呈增大的趋势。土壤类型对有机质含量的影响主要与土壤成土过程、成土环境有关。

(4) 根据全国第二次土壤普查养分分级标准分类:土壤有机质含量总体处于中等偏低的水平。属于国家标准第四级(10~20 g/kg)的占研究区总面积的83.39%,处于第三级(20~30 g/kg)的占研究区总面积的16.61%。临潼区和高陵区交界处、周至县和鄠邑区交界处周围有机质含量低于15 g/kg,要重点提高有机质含量。

参考文献

- [1] 宋英强,杨联安,冯武焕,等.基于多源辅助变量和极限学习机的蔬菜地土壤有机质预测研究[J].土壤通报,2017(1):118-126
- [2] 王 超,王建宇,王 菲,等.中卫市压砂地土壤有机质空间变异特点研究[J].土壤通报,2016,47(2):287-293
- [3] 汤 宏,张杨珠,龙怀玉,等.洞庭湖平原菜园土壤养分径流规律及其影响因素[J].土壤学报,2012,49(1):111-120
- [4] Xu Ling-fei, Zhou P, Han QF, *et al.* Spatial Distribution of Soil Organic Matter and Nutrients in the Pear Orchard Under Clean and Sod Cultivation Models[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2013,12(2):344-351
- [5] 张 彬,杨联安,冯武焕,等.基于改进TOPSIS和COK的土壤养分综合评价[J].干旱区资源与环境,2016,30(7):180-185
- [6] 石小华,杨联安,张 蕾.土壤速效钾养分含量空间插值方法比较研究[J].水土保持学报,2006,20(2):68-72
- [7] Walke N, Reddy GPO, Maji AK, *et al.* GIS-based multicriteria overlay analysis in soil-suitability evaluation for cotton (*Gossypium* spp.): A case study in the black soil region of Central India[J]. *Computers & Geosciences*, 2012,41(2):108-118
- [8] Gao Y, Mao L, Miao CY, *et al.* Spatial characteristics of soil enzyme activities and microbial community structure under different land uses in Chongming Island, China: geostatistical modelling and PCR-RAPD method[J]. *Science of the Total Environment*, 2010,408(16):3251-60
- [9] 韩 丹,程先富,谢金红,等.大别山区江子河流域土壤有机质的空间变异及其影响因素[J].土壤学报,2012,49(2):403-408
- [10] 李 婷,张世焄,刘 浔,等.沱江流域中游土壤有机质的空间变异特点及其影响因素[J].土壤学报,2011,48(4):863-868
- [11] Dai W, Huang Y. Relation of soil organic matter concentration to climate and altitude in zonal soils of China[J]. *Catena*, 2006,65(1):87-94
- [12] 武 婕,李玉环,李增兵,等.南四湖区农田土壤有机质和微量元素空间分布特征及影响因素[J].生态学报,2014,34(6):1596-1605
- [13] 赵明松,张甘霖,吴运金,等.江苏省土壤有机质含量时空变异特征及驱动力研究[J].土壤学报,2014,51(3):448-458
- [14] 吕贻忠.土壤学实验土壤学实验[M].北京:中国农业出版社,2010:119-121
- [15] 史 丹.地统计学及在土壤学中的应用[M].北京:中国农业出版社,2006:19-19
- [16] 秦占飞,常庆瑞.县域土壤养分空间变异分析——以蒲城县为例[J].干旱地区农业研究,2012,30(1):30-35
- [17] 张婵婵,张瑞芳,张建恒,等.高阳县农田土壤速效养分空间变异特征研究[J].中国生态农业学报,2013,21(6):758-764
- [18] 王 军,傅伯杰,邱 扬,等.黄土丘陵小流域土壤水分的时空变异特征--半变异函数[J].地理学报,2000,55(4):428-438
- [19] 胡艳霞,周连第,魏长山,等.水源保护地土壤养分空间变异特征及其影响因素分析[J].土壤通报,2013(5):1184-1191
- [20] Lu P, Peng PQ, Song BL, *et al.* Geostatistical and GIS Analyses on Soil Total P in the Typical Area of Dongting Lake Plain[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005,38(6):1204-1212
- [21] 全国土壤普查办公室.中国土壤[M].北京:中国农业出版社,1998
- [22] 赵明松,张甘霖,李德成,等.苏中平原南部土壤有机质空间变异特征研究[J].地理科学,2013,33(1):83-89
- [23] Hook PB, Burke IC. Biogeochemistry in a Shortgrass Landscape: Control by Topography, Soil Texture, and Microclimate[J]. *Ecology*, 2000,81(10):2686-2703
- [24] 赵业婷,常庆瑞,李志鹏,等.1983-2009年西安市郊区耕地土壤有机质空间特征与变化[J].农业工程学报,2013(2):132-140
- [25] 方睿红,常庆瑞.关中平原台塬区土壤养分空间格局研究——以西安市长安区为例[J].水土保持研究,2011,18(6):141-145
- [26] 吕 爽,王 虎,王 安,等.西安市土壤养分现状评价及动态变化[J].中国农学通报,2015(3):194-198
- [27] 蒋 威,郜允兵,刘 玉,等.北京市大兴区南部土壤有机质空间变异及其影响因素[J].浙江农业学报,2016,28(3):482-488
- [28] 袁兆华,吕宪国,周 嘉.三江平原旱田耕作对湿地土壤理化性质的累积影响初探[J].湿地科学,2006,4(2):133-137
- [29] 杨建峰,孙 燕,郭华松,等.种植年限对胡椒园土壤化学肥力指标的影响[J].热带作物学报,2011,32(4):592-597
- [30] 李香兰,吴瑞雯.西安市郊区菜园土熟化程度与有机质含量的关系[J].土壤,1988(4):202-204
- [31] 杨世琦,杨正礼.黄土高原生态系统演替进程中土壤有机质和pH值变化规律[J].水土保持研究,2008,15(2):159-163
- [32] 邓玉龙,张乃明.设施土壤pH值与有机质演变特征研究[J].生态环境学报,2006,15(2):367-370