

DOI: 10.11766/trxb201211060455

渭河平原县域农田土壤有机质时空变化特征*

赵业婷 齐雁冰 常庆瑞[†] 李志鹏

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

SPATIO-TEMPORAL VARIATION OF SOIL ORGANIC MATTER IN FARMLAND AT A COUNTY SCALE IN WEIHE PLAIN

Zhao Yeting Qi Yanbing Chang Qingrui[†] Li Zhipeng

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

关键词 土壤有机质; 空间特征; 动态变化; 兴平市

中图分类号 S153.6 文献标识码 A

土壤有机质既是表征土壤质量与肥力的重要指标,也是陆地生态系统碳循环的重要源与汇,是目前土壤学和环境学的研究热点之一^[1-4]。其含量的变化是一个长期的过程,一旦缺乏,需要较长的时间才能恢复,且影响着土壤肥力特性^[5]。因此,掌握有机质空间特征与变化规律对土壤肥力的调控及农业生产的可持续发展具有重要的现实意义。地统计学在土壤学、生态学等领域有着广泛地应用,已然成为研究土壤属性空间变异的有效工具,对农业生产具有积极地指导作用。研究表明,不同区域土壤有机质空间变异特征存在较大差异,区域的结构因素与随机因素作用方式及程度也不同^[1-14]。目前的研究多侧重于地统计学方法相关参数的获取与分析,而对渭河平原区农田土壤有机质的时空变化规律与特征及影响因素的系统定量分析鲜见报道。

兴平市作为渭河平原典型农业县,农田代表性高达 80.28%,而人均耕地面积与人均粮食产量均低于咸阳市平均水平,且后备土地资源匮乏,人地矛盾日益突出,亟需通过科学手段提高农田土壤肥力和粮食产量水平。本研究基于 GIS 技术平台,结合 GPS 技术、经典统计学、地统计学与数理统计

学等方法,在陕西省耕地地力调查与质量评价项目和测土配方施肥项目支持下,对现今兴平市农田土壤有机质的空间变异性、丰缺格局、影响因素进行定量研究;同时充分收集与整理第二次土壤普查时期留下的珍贵历史数据,研究近 30 年土壤有机质的动态变化特征,探讨其存在的问题;旨在为兴平市精准施肥、保养农田、提高农业生产水平和优化农业生产管理措施提供一定的理论和科学依据,为兴平市碳储量估算提供参考。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

兴平市是陕西省咸阳市辖的县级市,地处渭河平原腹地,地理坐标为东经 108°17′49″~108°37′07″,北纬 34°12′50″~34°26′53″,东西长 28.80 km,南北长 22.90 km,市域面积 507 km²。气候属于大陆性暖温带气候区,年均气温 13.10℃,年均降水量 585 mm,无霜期 216 d。属河谷阶地型平原县,地势南低北高,海拔介于 385~610 m,以渭河为起点,由南向北依次为渭河一、二、三级阶地和黄土台塬,覆盖物均为第四纪冲积、风积物。土壤基

* 国家 863 计划课题(2013AA102401)、国家科技支撑计划课题(2012BAH29B04-00)和陕西省耕地地力评价项目资助

[†] 通讯作者:常庆瑞(1959—),陕西子洲人,教授,主要从事土地资源与空间信息技术研究。E-mail: changqr@nwsuaf.edu.cn

作者简介:赵业婷(1985—),女,山东荣成人,博士研究生,主要从事土地资源与空间信息技术研究。E-mail:sofiacoffee@163.com

收稿日期:2012-11-06;收到修改稿日期:2013-04-26

本上只有熟化过程而无土壤侵蚀过程,由北向南依次分布着瘠土-黄土-壤土-潮土-淤土 4 种农业土壤,以壤土为主。地表植被主要为大田农作物(小麦和玉米)、蔬菜、果园和城市绿化等栽培植物类型。以地形、水利化程度和人均耕地为主导因子,土壤类型、作物布局和产量水平等为辅助因子,划分为北部台原粮木林区(I)、中部川道农工商综合经济区(II)和南部沿渭水产多经区(III)三个综合农业区(图 1)。

1.2 资料收集与土壤样品采集、测定

收集整理兴平市 1:5 万土地利用现状图(2010 年)、1:5 万地形图、综合农业区划图,第二次土壤普查时期的 1:5 万土壤图、土壤质地图、养分分级图及《兴平市土壤资料报告集》等资料。数字化纸质图件,建立空间数据库,服务于本研究。

遵照《中国耕地地力调查与质量评价技术规程》(NY/T 1634-2008),根据兴平市的土壤类型、土地利用类型、地形地貌和管理水平等因素特点,以全面性、均衡性、客观性和可比性为原则,确定采样单元。统一在 2009 年、2010 年和 2011 年秋季,作物收获后、施肥前,根据单元形状和大小确定布点方法即长方形地块采用“S”法,近似正方形地块采用“X”法或棋盘形布点法,并用 GPS 仪确定样点空间位置。将每一采样单元的 0~20 cm 土层上采集的 10~15 个样点土壤充分混匀后,用四分法留取 1 kg 土样装袋以备分析。土壤样品测试项目包括有机质、速效氮、速效磷和速效钾等均采用常规测定方法^[15]。三年共采集土样 938 个,采样遍及全市 26 个土种类型,223 个村(图 1)。

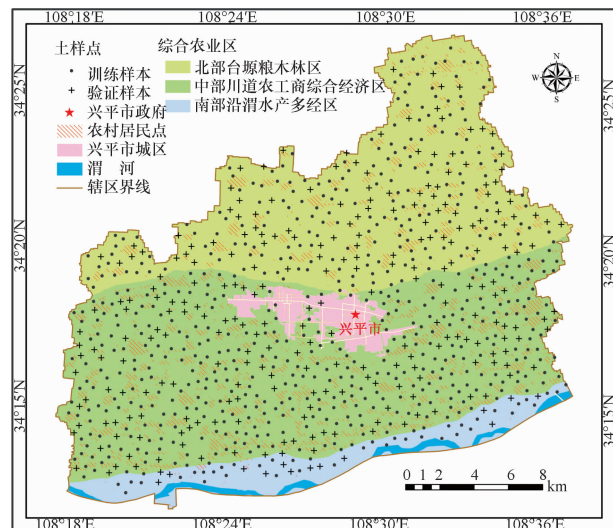


图 1 兴平市土壤采样点和农业区划图

1.3 数据处理

本研究通过对土壤有机质含量数据的极大值和极小值及其上、下 5% 数据的统计分析,结合域值法与邻近点数据比较法,进行特异值的替换和删除^[16-17],最终保留有效土样 891 个,其中 70% 的样点数据(训练样本)进行插值分析,余下 30% 的样点数据(验证样本)进行精度验证,样点间距约为 500 m。继而,应用 SPSS19 统计软件对土壤有机质有效数据进行正态分布性检验,计算描述性统计特征,进行方差分析、相关性分析等。应用 ArcGIS 9.3 软件将有效样点数据标准化,进行投影和坐标转换(Beijing_1954_GK_Zone_19);在其“Geostatistical Analyst”模块中分析和建立土壤有机质的最优半方差理论模型及其参数,进而结合普通克里格插值方法,实现养分值由点到面;在其“Spatial Analyst”模块中进行叠置操作,量化等级面积等。

2 结果

2.1 土壤有机质含量的基本统计特征

兴平市农田土壤有机质含量介于 5.20~23.60 g kg⁻¹,平均值为 14.52 ± 3.50 g kg⁻¹,处于陕西省土壤有机质分级标准的第 5 级即 12~15 g kg⁻¹,变异系数为 24.10%,属中等变异强度^[18]。三大综合农业区间耕层土壤有机质含量高低分异明显,呈极显著性差异($F = 26.41^{**}$, $p < 0.01$),极差高达 3.48 g kg⁻¹,以人为活动强烈的中部综合经济区 II 平均含量最高而变异强度最低,南部渭水沿岸区 III 平均含量最低而变异强度却最高。由表 1 可知,试验采用的训练样本和验证样本数据与全市样点数据具有相似的统计特征,均值精度误差均在 0.5% 以下,且空间分布均匀(图 1),表明两组样本数据具有较好的代表性。依据 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 正态分布检验,有机质数据均符合正态分布,即 P_{k-s} 大于 0.05,满足空间统计学克里格方法进行土壤特性空间分析的前提。

2.2 土壤有机质的空间变异特征

由表 2 可知,考虑一阶趋势,步长为 1.11 km 的条件下,兴平市土壤有机质最优半方差理论模型为指数模型,各向异性特征明显,变程介于 8.91~13.05 km,远大于采样间距(500 m),区域内可根据一定的精度要求优化采样点数量,以期达到经济、精准的插值。按照区域化变量空间相关性程度的分级标准^[18],土壤有机质具有弱的空间相关性,即受人为(随机)因素影响较大。

表 1 兴平市农田土壤有机质含量的统计特征

指标项	样本数 (个)	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数	偏度	峰度	P_{k-s}
		(g kg ⁻¹)			(%)				
农业区 I	314	5.20	23.60	14.28	3.66	25.63	-0.02	2.43	0.27
农业区 II	524	6.90	22.80	14.98	3.21	21.43	0.21	2.65	0.12
农业区 III	53	5.30	21.40	11.50	3.60	31.30	0.43	3.20	0.99
训练样本	624	5.20	23.40	14.50	3.54	24.41	0.04	2.63	0.64
验证样本	267	5.50	23.60	14.58	3.39	23.25	-0.01	2.80	0.79
兴平市	891	5.20	23.60	14.52	3.50	24.10	0.03	2.67	0.46

表 2 兴平市农田土壤有机质最优半方差模型及其参数

模型	方位 (°)	变程(km)		块金系数	训练样本预测误差			验证样本预测误差		
		最大	最小	$C_0/(C_0+C)$	MSE	$RMSSE$	r	MSE	$RMSSE$	r
指数	78.50	13.05	8.91	0.78	0.002	1.023	0.713 **	0.047	1.046	0.502 **

注: MSE 为均方误差, $RMSSE$ 为标准均方根误差, r 为样点实测值与预测值间的相关系数

2.3 土壤有机质的空间分布特征

本文以含量 1 g kg⁻¹ 为区间绘制兴平市农田土壤有机质空间格局图,如图 2 所示。按本市农田土壤有机质丰缺指标,结合陕西省土壤有机质分级标准,统计编制兴平市镇级单位农田土壤有机质等级面积分布饼状图,其中饼的大小表征着所属单位的农田面积的相对大小,如图 3 所示。

兴平市农田土壤有机质含量以 12 ~ 17 g kg⁻¹ 为主,整体表现为中部高南北低的格局,东南端渭河沿岸最低,与农业区划布局大致相同。 < 10 g kg⁻¹ 的低值区仅分布在东南部渭河沿岸的田阜的湾里村,农田面积占全市农田总面积的 0.22%。 10 ~ 12 g kg⁻¹ 的农田占 2.59%,空间上呈两大斑块,一是东北部店张的东北村;二是东南部田阜的马坊、侯村及阜寨的塔尔村。 12 ~ 15 g kg⁻¹ 的农田面积比例最大,达 66.13%,遍布各镇。 15 ~ 17 g kg⁻¹ 的农田面积比重达 31.06%,分布于除店张外的余下镇,主要分布在市区中南部的东、西城街道,西吴及庄头镇北部,马嵬及桑镇-汤坊的西部等。

由图 3 可以看出,兴平市农田土壤有机质整体处于“偏低”水平,现基本处于第 4、5 级,需采取有效措施提高土壤有机质含量,提升土壤肥力水平。镇级单位中,南部各镇农田分布面积虽小但含量等级分异程度较大,其中东南角的田阜镇有机质等级跨度最大,分布了 4 ~ 7 级共计 4 个等级,其次是阜寨镇,跨 4 ~ 6 级共 3 个等级,这些地区应积极制定分区培肥模式;余下单位基本处于 4 ~ 5 级 2 个等级,其中中部的马嵬、东城、西城和西吴 4 个镇有机

质含量主要处于 4 级水平,北部的店张、南市与南位 3 大农业镇和西南部的赵村、汤坊、丰仪 6 镇多集中于 5 级水平。

2.4 近 30 年农田土壤有机质动态变化特征

以 1980s 第二次土壤普查数据为参照,统计并编制各镇平均含量变化图(图 4)。依据陕西省第二次土壤普查有机质分级标准,绘制 1980 - 2010 年兴平市土壤有机质等级变化图(图 5),为使 2 期数据具有可比性,均采用 2010 年农田分布图为本底,统计近 30 年农田土壤有机质各等级面积变化,结果如表 3 所示。

近 30 年来,兴平市农田土壤有机质平均含量增加了 3.52 g kg⁻¹,变异系数下降了 6.35%,含量向区域均匀化方向发展。三大农业区自北向南平均含量分别增加了 36%、37.33% 和 6.40%,三者间含量的极值差异扩大了近 9 倍,分异明显,表明人为活动的影响越来越大。图 4 可知,辖内除东城街道农田土壤有机质平均含量下降,其他镇均有所增加,增幅介于 2.23% ~ 67.71% 之间,其中以北部的店张增幅最大,东南的田阜增量最多;中部的西城街道增幅及增量最少,表现出明显的近城区增速慢、远城区增速快的城乡过渡特征。

由图 5 和表 3 分析知,1980s 兴平市土壤有机质含量空间差异明显,整体呈中间高四周低格局,等级镶嵌分布特征显著,共跨 7 个等级,57.67% 集中于 5、6 级水平,即 10 ~ 15 g kg⁻¹。经过 30 年的生产实践,土壤有机质含量普遍顺次提升 1 ~ 2 个等级,现跨 4 个等级,97.19% 的农田集中于第 4、5 级水平

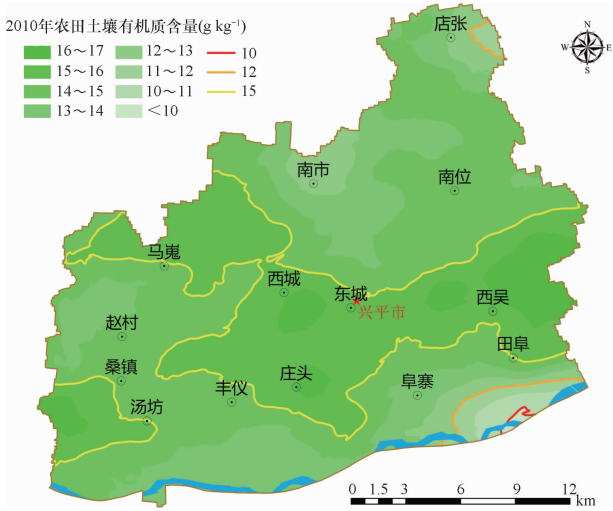


图2 兴平市土壤有机质含量空间分布图

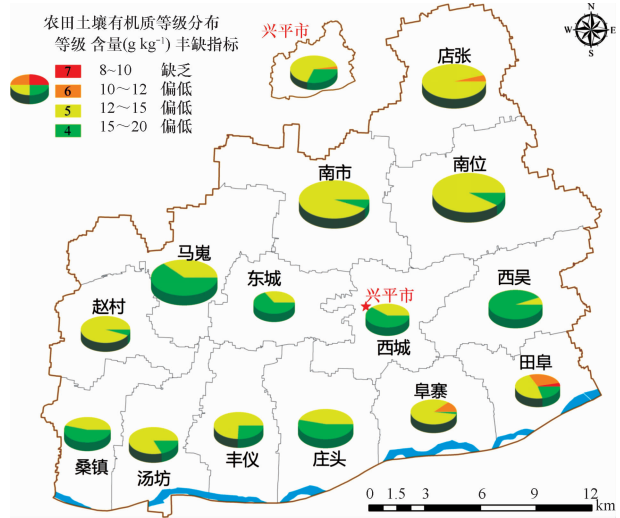


图3 各镇农田土壤有机质不同等级统计面积

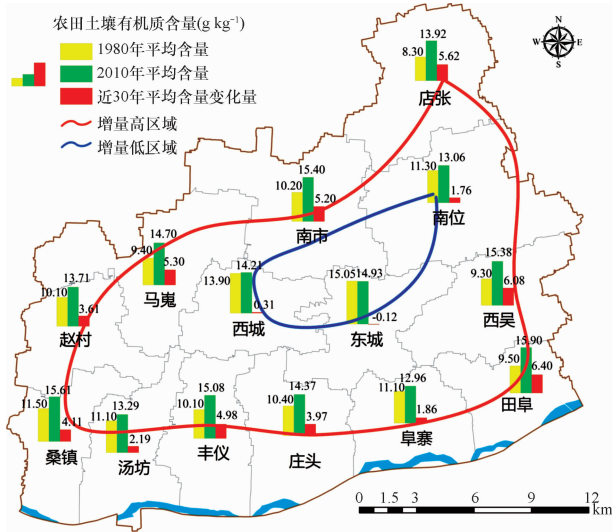


图4 1980-2010年兴平市各镇土壤有机质含量变化柱状图

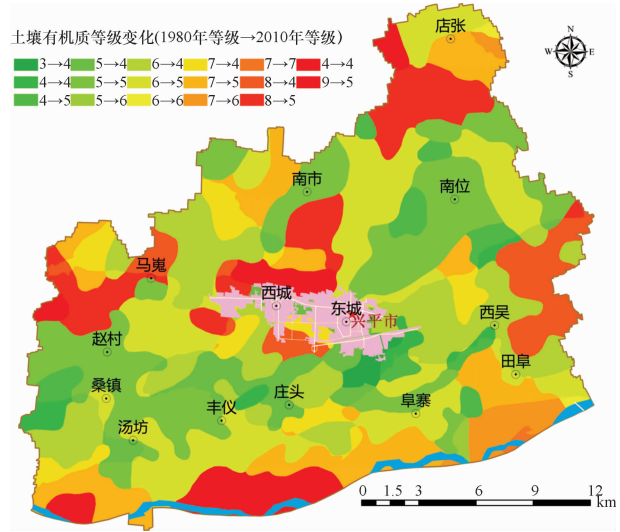


图5 1980-2010年兴平市土壤有机质等级变化分布图

即 $12 \sim 20 \text{ g kg}^{-1}$ 。2期相比,原高值区(3~4级)农田土壤有机质含量普遍降低,原低值区

(6~9级)含量显著提高,等级由两端向5级靠拢。共计74.42%的农田土壤有机质等级提升,其中含量提速最快即原9级顺次提升5个等级至4级的地块集中位于西城街道与市区相接的汤台村、药市村两处,增量大于 10 g kg^{-1} ;其次位于渭河沿岸的丰仪镇的高家-北张-郭公与庄头镇的马村-仪空,东部西吴镇的豆马村、上官道等地提升4个等级。21.29%的农田等级未变,较集中在赵村-桑镇-汤坊-丰仪一带,其次是南位镇中部及南市镇的南、北市村,其中19.21%仍然保持在原5级水平。4.29%的农田顺次降低1个等级,呈斑块状镶嵌分布,其中

0.52%的原3级降至4级的地块集中在东城街道的小阜村、惠址坊村;3.44%的原4级降至5级的地块空间分布散落,多分布于东城的正西村,南位的南韩村、张里村及赵村镇的前进村等;0.33%的原5级降至6级的地块集中分布于阜寨的塔耳村。可见,农户在积极提高原低值区土壤肥力的同时忽视了原高值区土壤肥力的保养,施肥管理模式不合理。中部近城区农田虽有机质增速慢,但土壤肥力基底好,含量仍然相对较高,但与其本身的优越条件相比,产量亦不理想,应避免盲目乐观。南部渭河沿岸农田基底差,面积少,粮、经争地矛盾突出,应适当压缩种粮面积,采取间套方法,扩种经济作物。

表 3 1980-2010 年兴平市农田土壤有机质等级面积变化

1980 年 有机质 等级	2010 年农田土壤有机质等级								合计(1980 年)	
	4		5		6		7			
	面积(km ²)	比例(%)	面积(km ²)	比例(%)	面积(km ²)	比例(%)	面积(km ²)	比例(%)	面积(km ²)	比例(%)
3	2.15	100	-	-	-	-	-	-	2.15	0.52
4	6.59	31.85	14.10	68.15	-	-	-	-	20.69	5.04
5	16.52	17.06	78.92	81.51	1.38	1.43	-	-	96.82	23.57
6	58.80	41.98	80.21	57.26	1.06	0.76	-	-	140.07	34.10
7	19.60	26.78	44.47	60.78	8.21	11.22	0.89	1.22	73.17	17.81
8	21.57	39.10	33.60	60.90	-	-	-	-	55.17	13.43
9	2.37	10.45	20.31	89.55	-	-	-	-	22.68	5.52
合计 (2010 年)	127.60	31.06	271.61	66.13	10.70	2.59	0.89	0.22	410.75	100

注:等级 3 有机质含量为 20~30 g kg⁻¹;等级 4 有机质含量为 15~20 g kg⁻¹;等级 5 有机质含量为 12~15 g kg⁻¹;等级 6 有机质含量为 10~12 g kg⁻¹;等级 7 有机质含量为 8~10 g kg⁻¹;等级 8 有机质含量为 6~8 g kg⁻¹;等级 9 有机质含量为 ≤6 g kg⁻¹

2.5 土壤有机质时空变化的影响因子

30 年来,农田机械化水平的提高、秸秆还田的普及、有机肥和化肥的大量施用是兴平市土壤有机质含量普遍提升的主要原因^[19]。为充分掌握现今土壤有机质含量水平的影响因子、有效指导农业生产,本文对研究区地貌、土壤类型、质地和种植模式等概念型指标进行单因素方差分析(表 4),同时提取样点距居民点、主干道路、水系沟渠为代表的人为环境变量的距离进行相关性分析(表 5)。结果表明,研究区各概念型因子间土壤有机质含量存在显著性差异($p < 0.05$),其中以种植模式间差异程度最大,大蒜-玉米地含量最高,莲菜地含量最低;其次是土壤类型,依次为黄绵土 > 壤土 > 潮土 > 淤土;再者为地貌类型,整体呈中间高南北低趋势即三级阶地 > 二级阶地 > 黄土台塬 > 一级阶地;差异程度最小的为土壤质地,有机质含量大致随土壤颗粒变

细而增加。人为环境变量与有机质含量均达到极显著的负相关关系($p < 0.01$),居民点、道路、水系沟渠等人为利用因素起到积极作用即呈近距离区含量高,远距离区含量低规律。

影响因子间相互关联并表现出一定程度的一致性与继承性特征。北部黄土台塬地,地势相对较高,多为黄土、壤土,质地较好,多园地,经济投入较大,含量亦较高。中部的渭河二、三级阶地,地势平坦,居民点多,物质技术装备较好,以历史悠久的小麦-玉米种植模式为主导,高干渠、省道 104 及铁路过境,灌溉、交通便利,含量显著高于其他地区。南部渭河一级阶地水、热条件好,复种指数高,但土壤基底差,分布着潮土、淤土,质地砂化,其中淤土距河床近,质量最差,沿河岸边种植莲菜,保水保肥力差,土壤相对贫瘠,有机质含量低。

表 4 不同影响因素下土壤有机质含量的差异(g kg⁻¹)

地貌类型	平均值	土类	平均值	土壤质地	平均值	种植制度	平均值
一级阶地	13.39 ± 0.31c	壤土	14.70 ± 0.13b	砂土	13.24 ± 0.43b	小麦-玉米	14.83 ± 0.12a
二级阶段	14.98 ± 0.16a	淤土	11.33 ± 0.83d	粉砂质壤土	13.91 ± 0.24b	大蒜-玉米	15.50 ± 0.33a
三级阶段	15.66 ± 0.47a	潮土	12.94 ± 0.35c	壤土	14.85 ± 0.18a	果园	13.04 ± 1.17b
黄土台塬	14.29 ± 0.20b	黄绵土	15.70 ± 0.38a	黏土	14.67 ± 0.23a	莲菜地	10.74 ± 1.58c
<i>F</i>	9.46 *	<i>F</i>	15.10 *	<i>F</i>	6.25 *	<i>F</i>	17.09 *

注:同列中不同字母表示差异达到显著水平($p < 0.05$);* 表示 0.05 的显著性水平

表 5 土壤有机质与人为环境变量的相关性

项目	距居民点距离	距主干道距离	距水系、沟渠距离
有机质	-0.231 **	-0.207 **	-0.183 **

注:** 表示 0.01 的显著性水平

3 结 论

现今兴平市农田土壤有机质含量普遍偏低,多集中于 $12 \sim 17 \text{ g kg}^{-1}$,需积极育土培肥,尤其是东南部的田阜和阜寨 2 镇应注重分区管理;空间上呈中间高南北低、东南最低的分布格局,与农业区划布局大致相同。在 500 m 采样尺度下,农田土壤有机质具有弱的空间相关性,其空间变异主要受施肥、种植模式、灌溉、土壤性质、地貌等作用。近 30 年农田土壤有机质含量普遍提升,表现出明显的近城区增速慢远城区增速快的城乡过渡特征;原土壤有机质高值区(3~4 级)含量在下降,原低值区(6~9 级)含量显著提高,整体多集中于 5 级水平,人为活动使得土壤有机质的空间相关性减弱,朝区域均一化方向发展。应建立起测土配方施肥动态指标体系,按农业区划结合丰缺格局进行分区培肥管理,普及科技施肥,平衡有机肥与化肥施用量,提高肥料利用率。

参 考 文 献

[1] 赵明松,张甘霖,王德彩,等. 徐淮黄泛平原土壤有机质空间变异特征及主控因素分析. 土壤学报, 2013, 50(1): 1—11

[2] Hu K L, Li H, Li B G, et al. Spatial and temporal patterns of soil organic matter in the urban-rural transition zone of Beijing. *Geoderma*, 2007, 141: 302—310

[3] 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. 土壤学报, 2012, 49(2): 403—408

[4] 李婷,张世熔,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. 土壤学报, 2011, 48(4): 863—868

[5] 张世熔,黄元仿,李保国,等. 黄淮海冲积平原区土壤有机

质时空变异特征. 生态学报, 2002, 22(12): 2041—2047

[6] 苑小勇,黄元仿,高如泰,等. 北京市平谷区农用地土壤有机质空间变异特征. 农业工程学报, 2008, 24(2): 70—76

[7] 邹青,赵业婷,常庆瑞,等. 黄土高原南部耕地土壤养分空间格局分析——以陕西省富县为例. 干旱地区农业研究, 2012, 30(5): 107—113

[8] 黄绍文,金继运,杨俐苹,等. 县级区域粮田土壤养分空间变异与分区管理技术研究. 土壤学报, 2003, 40(1): 80—88

[9] Darilek J L, Huang B, Wang Z G, et al. Changes in soil fertility parameters and the environmental effects in a rapidly developing region in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2009, 129(1/3): 286—292

[10] 杨奇勇,杨劲松. 不同尺度下耕地土壤有机质和全氮的空间变异特征. 水土保持学报, 2010, 24(3): 100—104

[11] Huang B, Sun W X, Zhao Y C, et al. Temporal and spatial variability of soil organic matter and total nitrogen in an agricultural ecosystem as affected by farming practices. *Geoderma*, 2007, 139(3/4): 336—345

[12] Zhang X Y, Sui Y Y, Zhang X D, et al. Spatial variability of nutrient properties in black soil of Northeast China. *Pedosphere*, 2007, 17(1): 19—29

[13] 张忠启,于法展,李保杰,等. 江苏北部县域土壤有机质空间变异特征. 水土保持研究, 2012, 19(5): 199—222

[14] 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. 农业工程学报, 2013, 29(2): 132—140

[15] 鲍士旦. 土壤农化分析. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000

[16] 潘瑜春,刘巧芹,陆洲,等. 离群样点对土壤养分空间变异分析的影响研究. 土壤学报, 2010, 47(4): 767—771

[17] 赵业婷,常庆瑞,陈学兄,等. 县域耕地土壤速效磷空间格局研究——以武功县为例. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2011, 39(3): 157—162

[18] 刘爱利,王培法,丁园圆. 地统计学概论. 北京: 科学出版社, 2011

[19] 赵广帅,李发东,李运生,等. 长期施肥对土壤有机质积累的影响. 生态环境学报, 2012, 21(5): 840—847

(责任编辑:檀满枝)