



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

山东“蓝黄”两区耕层土壤有机质的时空分异特征

李因帅, 赵庚星, 李涛, 李建伟, 窦家聪, 范瑞彬

引用本文:

李因帅, 赵庚星, 李涛, 等. 山东“蓝黄”两区耕层土壤有机质的时空分异特征[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(5): 891–899.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0572>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

黄土高原东部潇河流域农田土壤有机质时空变异及影响因素

解文艳, 周怀平, 杨振兴, 冯悦晨, 白雪, 杜艳玲

农业资源与环境学报. 2019, 36(1): 96–104 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0195>

弃耕行为对亚热带农田土壤有机质时空变化作用机理研究

张童瑶, 胡月明, 任向宁, 陈飞香, 冯雪珂

农业资源与环境学报. 2020, 37(6): 805–817 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0480>

潮土区菜田土壤肥力现状评价

王倩姿, 王书聪, 张书贵, 张静芝, 孙志梅, 马文奇, 薛澄

农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 645–653 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0233>

盐碱地土壤养分的空间变异及合理取样密度研究

张华杰, 陈为峰, 宋富贵, 李晓, 周虎

农业资源与环境学报. 2016, 33(2): 120–126 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0255>

基于高光谱数据的北疆绿洲农田灰漠土有机质反演

单海斌, 蒋平安, 颜安, 朱磊, 郭星

农业资源与环境学报. 2018, 35(3): 276–282 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0256>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

李因帅, 赵庚星, 李涛, 等. 山东“蓝黄”两区耕层土壤有机质的时空分异特征[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(5): 891–899.

LI Y S, ZHAO G X, LI T, et al. Spatial and temporal variation characteristics of soil organic matter in topsoil in the “blue and yellow” economic zones of Shandong Province[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(5): 891–899.



开放科学 OSID

山东“蓝黄”两区耕层土壤有机质的时空分异特征

李因帅¹, 赵庚星^{1*}, 李涛², 李建伟², 窦家聪³, 范瑞彬⁴

(1. 山东农业大学资源与环境学院, 土肥资源高效利用国家工程实验室, 山东 泰安 271018; 2. 山东省土壤肥料工作总站, 济南 250013; 3. 山东省农业技术推广总站, 济南 250013; 4. 招远市自然资源和规划局, 山东 招远 265400)

摘要: 山东“蓝黄”经济区是国家重点规划建设区, 为研究其耕层土壤有机质的时空变异特征, 综合经典统计学、地统计学和 GIS (地理信息系统) 方法, 对 2005 年与 2017 年两个时段的耕层 (0~20 cm) 土壤有机质进行时空分异研究, 采用指示克里格法评估有机质缺乏的风险概率, 进而研究县域间有机质的聚集特征并提出规划建议。结果显示: 不同时期经济区的土壤有机质均具有中等的空间变异性和自相关性, 变异系数在 25.68%~35.46% 之间, 块基比在 45.45%~55.01% 之间。“蓝黄”两区 2005—2017 年有机质的年平均增速分别为 $0.21 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.32 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 2017 年的平均有机质含量分别为 $14.65 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $16.04 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 内陆平原区有机质含量高, 山丘与滨海平原区有机质含量低。“蓝黄”两区有机质缺乏的风险概率较低, 分别为 0.21 和 0.14, 两区有机质的空间聚集特征显著, 限制建设区 (高-高聚集型) 与综合整治区 (低-低聚集型) 均以“组团”形式分布。研究发现, 2005—2017 年山东“蓝黄”两区的耕层有机质在时间上不断累积, 空间上呈聚集分布, 研究结果可为区域规划和农业可持续发展提供科学依据。

关键词: 土壤有机质; 时空分异; 风险评估; “蓝黄”两区

中图分类号: S153.621

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2021)05-0891-09

doi: 10.13254/j.jare.2020.0572

Spatial and temporal variation characteristics of soil organic matter in topsoil in the “blue and yellow” economic zones of Shandong Province

LI Yinshuai¹, ZHAO Gengxing^{1*}, LI Tao², LI Jianwei², DOU Jiacong³, FAN Ruibin⁴

(1. College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, Tai'an 271018, China; 2. Soil and Fertilizer Station of Shandong Province, Jinan 250013, China; 3. Shandong General Station of Agricultural Technology Extension, Jinan 250013, China; 4. Natural Resources and Planning Bureau of Zhaoyuan City, Zhaoyuan 265400, China)

Abstract: The “blue and yellow” economic zones are national key planning and construction areas in China. To study the spatiotemporal variation characteristics of soil organic matter (SOM) in the topsoil, classical statistics, geostatistics, and GIS methods were used to explore the spatiotemporal variation of soil organic matter in the plough layer (0~20 cm) in 2005 and 2017. The risk probability of organic matter deficiency was evaluated by the Kriging indicator, while the accumulation characteristics of organic matter among counties were studied and planning suggestions were put forward. The results showed that the soil organic matter had moderate spatial variability and autocorrelation in different periods, with a coefficient of variation ranging from 25.68% to 35.46% and $C_0/(C+C_0)$ ranging from 45.45% to 55.01%. The annual average growth rates of organic matter from 2005 to 2017 in “blue and yellow” areas were $0.21 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $0.32 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively, while the average organic matter contents were $14.65 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $16.04 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. The organic matter content in the inland plain was high, while that in the hilly and coastal plain was low. At the same time, the risk probabilities of organic matter deficiency

收稿日期: 2020-10-07 录用日期: 2020-11-12

作者简介: 李因帅 (1998—), 男, 山东临沂人, 硕士研究生, 主要研究方向为土地资源与信息。E-mail: sdaudzhlly@163.com

*通信作者: 赵庚星 E-mail: zhaogx@sdau.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41877003); 山东省重大科技创新工程项目 (2019JZZY010724); 山东省“双一流”奖补资金 (SYL2017XTTD02)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China (41877003); The Major Scientific and Technological Innovation Project in Shandong Province (2019JZZY010724); The Supplementary Fund for “Double First-Class” Award in Shandong Province (SYL2017XTTD02)

were low, at 0.21 and 0.14, respectively. The spatial accumulation characteristics of organic matter in the “blue and yellow” areas were significant and the restricted construction area (H-H type) and comprehensive improvement area (L-L type) were distributed in the form of “clusters”. It was found that organic matter in the plough layer of “blue and yellow” areas accumulated in time and in space from 2005 to 2017, providing a scientific basis for regional planning and agricultural sustainable development.

Keywords: soil organic matter; spatiotemporal differentiation; risk assessment; Shandong Peninsula blue economic zone and Yellow River Delta efficient ecological economic zone

土壤有机质 (Soil organic matter, SOM) 作为土壤的重要组成部分, 对土壤养分的供应和农作物的生长发育至关重要, 是土壤碳储量和耕地质量的重要表征。在一定条件下, 土壤有机质含量直接反映了土壤肥力状况^[1-2]。土壤有机质具有较强的时空变异性^[3], 摸清区域有机质的时空分异规律, 对监测耕地质量变化, 改善农田管理, 提高粮食产量、质量和建设现代化农业具有重要意义。

目前地统计与 GIS (地理信息系统) 结合已成为土壤养分变异研究中应用最广泛的方法, 多位学者对不同空间尺度上的土壤有机质分异特征进行了大量研究^[4-6], 较好地掌握了区域有机质状况, 但静态的空间变异研究无法代表有机质的动态变化。近年来, 有机质的时空分异特征逐渐成为相关研究的热点, 研究区域涉及黄淮海平原^[7]、亚热带丘陵山地^[8]、云南典型岩溶流域^[9]、黄土高原^[10]等, 从时空尺度揭示了区域有机质的变异规律, 对实现长期的耕地资源质量监测和规划管理具有指导意义。

山东“蓝黄”经济区是国家级重点规划区, 其中蓝色经济区以发展现代化农业为重点, 在现代农业建设和产业结构调整中起引领与示范作用^[11]; 而黄色经济区的农业建设以高效化、产业化、生态化为理念, 旨在大力发展现代农业与节水农业, 建设高效生态农业区^[12]。目前已有学者从不同研究尺度, 对经济区有机质状况进行了研究。例如曾希柏等^[13]研究了经济区不同利用方式的农田土壤有机质含量及其变化; 甄兰等^[14]、林秀渠等^[15]以“蓝黄”两区的典型县、市为研究区, 对土壤有机质分异进行了研究; 张英鹏等^[16]则在更大尺度上分析了山东省主要耕地土壤的有机质含量与空间分异特征。纵观上述研究, 直接面向于“蓝黄”两区有机质状况的研究尚缺乏, 而经济区内自然状况、经济水平、区域优势及社会文化水平均有差异, 因此, 与耕地质量密切相关的有机质数据短缺将对经济区产业结构的规划与调整、相关政策的制定产生不利影响。

因此, 本研究以山东省“蓝黄”两区为研究区, 以

农田耕层土壤有机质为研究对象, 综合运用经典统计、地统计与 GIS 方法对经济区 2005—2017 年的土壤有机质时空分异特征进行研究, 旨在掌握经济区土壤有机质的时空变化规律, 为因地制宜地指导经济区种植结构调整、土地利用规划和生态农业高效发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

山东半岛蓝色经济区 (简称“蓝色经济区”) 位于山东半岛的东北部, 包括青岛、烟台、威海、潍坊、日照、东营六个市和滨州的无棣、沾化两个县。属于暖温带季风气候, 四季分明, 雨热同期。东部和西南部地势较高。耕地以水浇地、旱地和灌溉水田为主, 土壤有潮土、褐土等, 主要种植小麦和玉米。该区的现代农业起步较早, 发展水平高, 产业结构合理, 特色农业发展较好, 寿光蔬菜、栖霞苹果等闻名全国。

黄河三角洲高效生态经济区 (简称“黄色经济区”) 位于山东半岛的北部, 包括东营、滨州等地的 19 个县区。属于暖温带季风气候, 降水集中在夏季。地势整体低平, 黄河经该地汇入渤海湾。耕地以旱地和水浇地为主, 土壤有潮土、棕壤与滨海盐土等, 主要种植小麦、玉米、棉花。该区农业发展潜力大, 自然资源丰富, 后备土地资源充足, 是“渤海粮仓”的重要组成区。

“蓝黄”两区各县区的自然、社会、经济条件各异, 对农业发展的适宜性差异大, 准确把握耕层土壤有机质的时空分异规律是实现经济区农业优化布局 and 可持续发展的关键 (图 1)。

1.2 数据来源

土壤有机质数据来源于自 2005 年起的山东省县级测土配方施肥项目和 2017 年的黄淮海农业区耕地质量评价项目。使用 GPS 定位, 沿 S 形路线, 按耕层 (0~20 cm) 采样, 通过“四分法”保留 1 kg 土样。采用重铬酸钾氧化-外加热法测定有机质含量, 按拉依达准则法 (3 倍的标准差)^[17]剔除特异值, 在 2005 年“蓝黄”两区分别得到 11 622、4 781 个样点, 2017 年分别

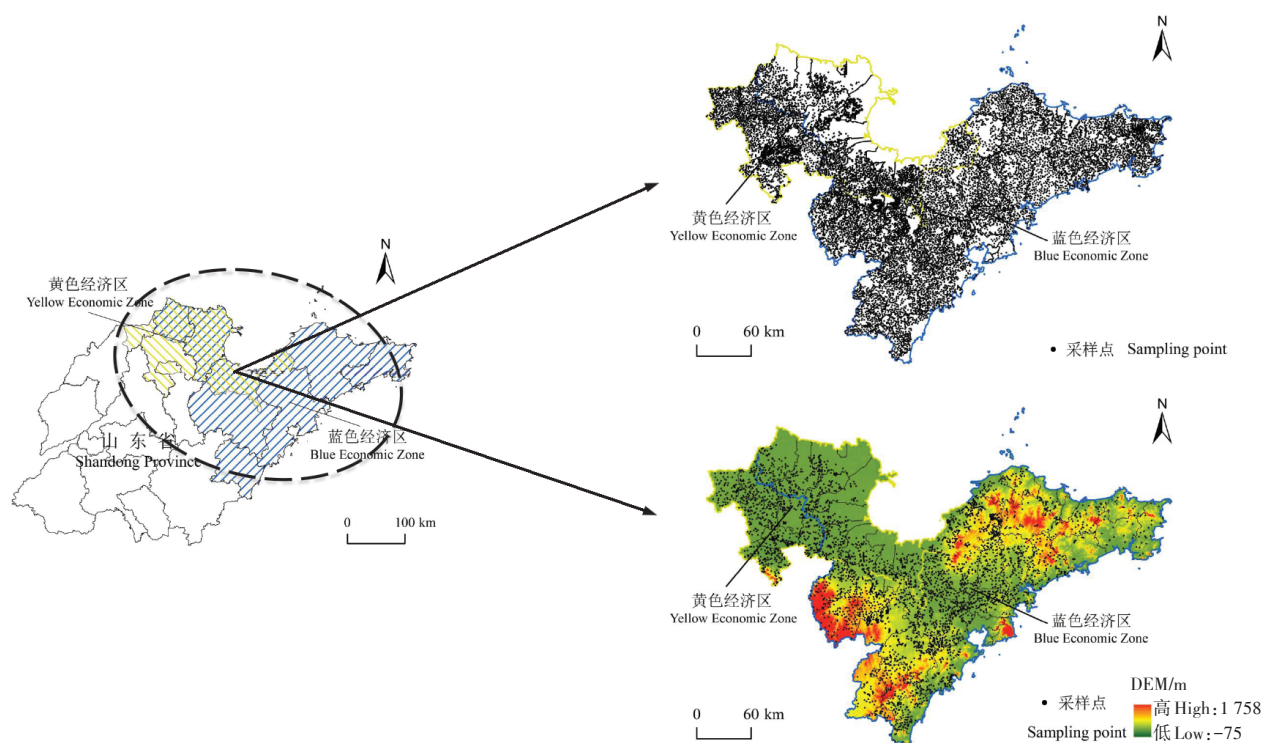


图1 研究区地理位置、采样点与地形地貌

Figure 1 Geographical location, sampling points and topography of the study area

得到3 542、1 509个样点,样点分布如图1所示。

1.3 研究方法

1.3.1 土壤有机质的统计分析

一方面借助SPSS软件对土壤有机质进行描述性统计分析,以变异系数(Coefficient of variation, CV)反映变量的离散程度。当 $CV \leq 10\%$ 时,为弱变异;当 $10\% < CV < 100\%$ 时,为中等变异;当 $CV \geq 100\%$ 时,为强变异^[18]。另一方面,使用GS+软件对土壤有机质进行半方差函数模拟,根据 R^2 (决定系数)最大、RSS(残差平方和)最小的原则确定最佳模型,利用块基比 $C_0/(C+C_0)$ 表示有机质空间自相关性的强弱。其中块基比 $\leq 25\%$,表示空间相关性强,变异主要受结构性因素影响; $25\% < \text{块基比} < 75\%$,表示中等空间相关性,变异由结构性和随机性因素共同影响;块基比 $\geq 75\%$,表示空间相关性弱,变异主要受随机性因素影响^[19]。

1.3.2 土壤有机质的时空分异研究

采用普通克里格法基于半方差函数模型及其参数进行插值,将有机质含量按照 >20 、 $15 \sim 20$ 、 $12 \sim 15$ 、 $10 \sim 12$ 、 $8 \sim 10$ 、 $6 \sim 8$ 、 $<6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 划分为1~7级,绘制“蓝黄”两区土壤有机质的空间分布图,进而统计各等级面积,分析经济区不同时期土壤有机质的时空变化

特征。

1.3.3 土壤有机质的风险评估

为进一步探索经济区土壤有机质缺乏的风险,针对2017年采样点数据,采用指示克里格法(Indicator kriging, IK)^[20]评估经济区土壤有机质在给定阈值下的风险概率。

1.3.4 土壤有机质的空间聚集特征分析

引入空间自相关分析方法,采用耕地图斑面积加权法^[21],以县为基本单位探讨2017年经济区县域间土壤有机质的空间集聚特征。其中全局Moran's I 指数反映有机质在空间上的相关性程度, Moran's $I > 0$ 表示空间正相关; Moran's $I < 0$ 表示空间负相关; Moran's $I = 0$ 则表示不存在空间相关性。而局部空间自相关分析以LISA聚集图的形式反映局部范围内相邻区域间土壤有机质的相关性,可分为高-高(H-H)聚集型、低-低(L-L)聚集型、高-低(H-L)聚集型、低-高(L-H)聚集型和非显著型^[22]。

1.3.5 经济区土壤有机质的规划建议

综合土壤有机质风险评估结果与LISA聚集图,对经济区县区间土壤有机质局部空间自相关显著的区域进行规划,提出利用建议。

2 结果与分析

2.1 土壤有机质的描述性统计分析

经济区不同时期的统计数据均通过K-S检验,2005年的土壤有机质数据均呈正态分布,2017年的土壤有机质数据经过对数变换后也都服从正态分布(表1)。2005年蓝色经济区土壤有机质含量的平均值为 $12.07\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,到2017年增加至 $14.65\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,年平均增速为 $0.21\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;黄色经济区土壤有机质含量的平均值则由2005年的 $12.17\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增加至2017年的 $16.04\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,年平均增速为 $0.32\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。从有机质的最值与标准差来看,蓝色经济区2005年的有机质含量介于 $1.70\sim 22.46\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,2017年的有机质含量介于 $1.44\sim 32.55\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,标准差由 $3.45\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增加至 $5.19\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;黄色经济区2005年的有机质含量介于 $2.67\sim 21.66\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,2017年的有机质含量介于 $2.50\sim 35.25\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,标准差由 $3.13\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增加至 $5.65\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。变异系数(CV)反映了有机质数据的离散程度,经济区不同时期的土壤有机质变异系数值在25.68%到35.46%之间,变异程度中等。

2.2 土壤有机质的时空分异特征分析

2.2.1 土壤有机质的空间结构特征

由表2可知,蓝色经济区2005年与2017年、黄色经济区2005年有机质数据的最佳理论模型均为指数模型(Exponential),黄色经济区2017年有机质数据的最佳理论模型为球状模型(Spherical)。虽然不同时期经济区有机质采样点的密度和位置有所差异,但各

模型的 R^2 均大于0.88,RSS均低于1.67,说明所选模型均能较好地拟合区域有机质的分布状况。模型的块基比反映了有机质空间自相关性的强弱,所得理论模型的块基比均在45.45%~55.01%之间,具有中等的空间相关性。

2.2.2 土壤有机质的空间分布特征

从土壤有机质的空间分布(图2)看,蓝色经济区中有机质含量低(5~7级)的部分主要分布于东部的胶东丘陵、西北部的黄河三角洲以及西南部的鲁南山地丘陵等地,而有机质含量较高(1~3级)的部分主要分布于中部的潍坊市和青岛市;黄色经济区中,东营市滨海区域的有机质含量普遍偏低,内陆平原的有机质含量则相对较高。整体看,2005—2017年“蓝黄”两区土壤有机质的空间分布特征基本稳定,在此基础上,各区域的有机质含量有不同程度的提升。

2.2.3 土壤有机质的时间变化特征

表3直观描述了2005—2017年“蓝黄”两区土壤有机质等级面积变化,由表3可知2005年两区的土壤有机质等级以3、4级为主,面积占比分别为78.22%和80.78%;2017年两区的土壤有机质等级则以2、3级为主,面积占比分别可达71.42%和77.38%。2017年“蓝黄”两区土壤有机质含量高于 $20\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的耕地面积分别达到 141.08 hm^2 和 120.51 hm^2 。总体看,2005—2017年“蓝黄”两区内高等级耕地面积不断增加,耕层土壤有机质不断积累。

2.3 土壤有机质的风险评价

根据研究区的有机质状况和山东省土壤养分分

表1 土壤有机质含量的主要描述性统计特征

Table 1 Main descriptive statistical characteristics of soil organic matter content

区域 Region	年份 Year	最小值 Min/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	最大值 Max/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	均值 Mean/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	标准差 SD/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	分布类型 Distribution type	变异系数 CV/%
蓝色经济区 Blue economic zone	2005	1.70	22.46	12.07	3.45	0.08	-0.19	正态	28.61
	2017	1.44	32.55	14.65	5.19	0.74	0.66	对数正态	35.46
黄色经济区 Yellow economic zone	2005	2.67	21.66	12.17	3.13	0.04	0.02	正态	25.68
	2017	2.50	35.25	16.04	5.65	0.55	0.34	对数正态	35.21

表2 土壤有机质的半方差模型与拟合参数

Table 2 Semi-variance model of soil organic matter and fitting parameters

区域 Region	年份 Year	模型 Model	块金值 C_0	基台值 $C+C_0$	块基比 $C_0/(C+C_0)$	变程 A_0/km	决定系数 R^2	残差平方和 RSS
蓝色经济区 Blue economic zone	2005	指数 Exponential	6.636	12.250	54.17%	110.7	0.97	0.79
	2017	指数 Exponential	0.014	0.028	50.00%	151.0	0.94	1.22×10^{-5}
黄色经济区 Yellow economic zone	2005	指数 Exponential	5.374	9.770	55.01%	61.8	0.88	1.67
	2017	球状 Spherical	0.015	0.033	45.45%	122.6	0.92	3.70×10^{-5}

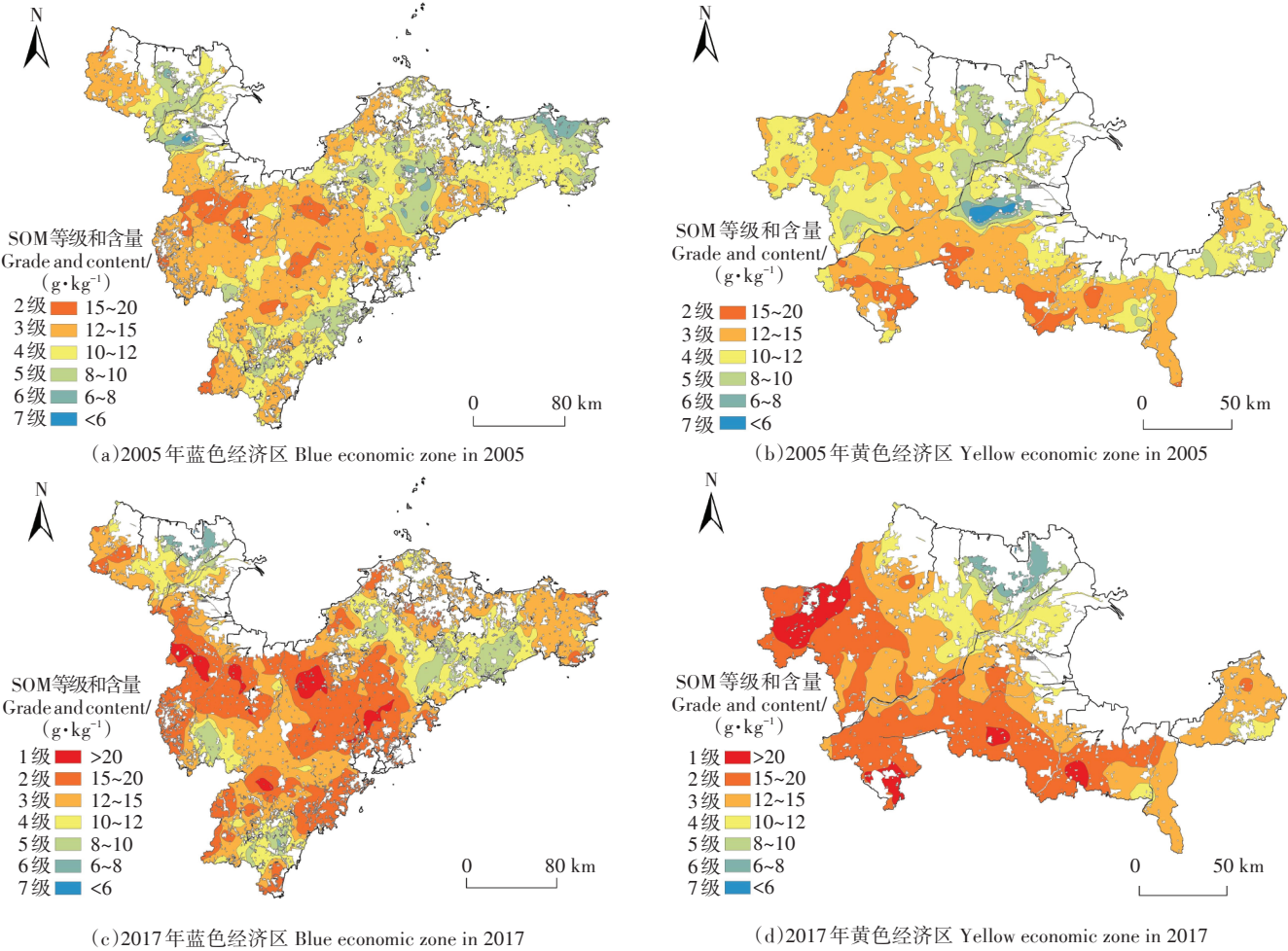


图2 不同时期“蓝黄”两区土壤有机质含量的空间分布

Figure 2 Spatial distribution of soil organic matter content in different periods of “blue and yellow” zones

表3 不同时期“蓝黄”两区各等级土壤有机质的面积

Table 3 Area of soil organic matter of different grades in “blue and yellow” zones in different periods

等级 Grade	蓝色经济区 Blue economic zone				黄色经济区 Yellow economic zone			
	2005		2017		2005		2017	
	面积 Area/hm ²	比例 Proportion/%	面积 Area/hm ²	比例 Proportion/%	面积 Area/hm ²	比例 Proportion/%	面积 Area/hm ²	比例 Proportion/%
1	—	—	141.08	3.61	—	—	120.51	6.76
2	279.86	6.31	1 378.77	35.28	120.77	6.50	741.80	41.61
3	1 977.20	44.58	1 412.39	36.14	886.23	47.70	637.69	35.77
4	1 491.99	33.64	672.58	17.21	614.61	33.08	208.23	11.68
5	595.64	13.43	270.44	6.92	196.38	10.57	36.19	2.03
6	87.82	1.98	31.66	0.81	24.90	1.34	38.15	2.14
7	2.66	0.06	1.17	0.03	15.05	0.81	0.18	0.01
合计	4 435.17	100.00	3 908.09	100.00	1 857.94	100.00	1 782.75	100.00

级标准,本研究以 10 g·kg⁻¹作为土壤有机质缺乏的风险评价阈值,当SOM>10 g·kg⁻¹时,指示变化值记为0,代表不缺乏有机质;当SOM≤10 g·kg⁻¹时,指示变化值

记为1,代表缺乏有机质。经济区风险评估结果如图3所示,可见两区土壤有机质缺乏的风险概率均较低,风险较高的部分集中于蓝色经济区东部的胶东丘

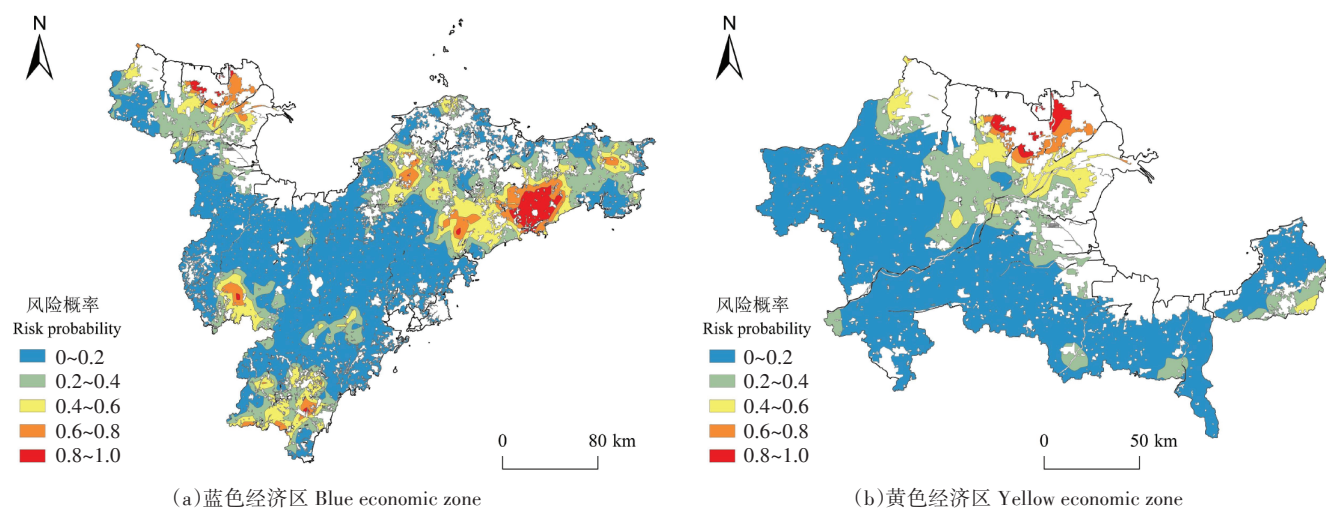


图3 土壤有机质缺乏的空间概率分布

Figure 3 Spatial probability distribution of soil organic matter deficiency

陵、西北部的黄三角滨海平原和西南部的部分山丘区,以及黄色经济区的北部沿海地区。经过统计分析得出“蓝黄”两区有机质缺乏的风险概率分别为0.21和0.14,块基比分别为35.1%和49.7%,表明两区有机质受结构性因素与随机性因素共同影响。

2.4 土壤有机质的空间自相关分析

通过比较经济区的空间邻接性频率直方图,均采用Queen邻接原则进行有机质的空间自相关分析,所得的全局Moran's *I*指数值分别为0.523和0.530,说明经济区的土壤有机质在空间上均具有正相关性。由局部空间自相关分析的LISA聚集图(图4)可知,“蓝黄”两区的有机质分布均属于正相关类型,以“组团”形式聚集分布,蓝色经济区中H-H型多聚集于潍坊、青岛的部分县区以及东营的广饶县,L-L型则聚

集于西北部的东营、滨州与东部的威海、烟台等地;黄色经济区中H-H型包括德州的乐陵市和庆云县,L-L型则包括沾化、河口、利津、垦利4县。

2.5 经济区土壤有机质的规划

对比图3与图4可以发现,“蓝黄”两区中H-H型的县区土壤有机质缺乏的风险概率普遍在0~0.2之间,有机质缺乏的风险低;而L-L型的县区土壤有机质缺乏的风险概率均大于0.2,少数区域超过0.8,有机质缺乏的风险概率较大。根据空间极化理论,不同极化层间区域发展的异质性会不断增加,而同一极化层内的同质性会越来越强^[23]。结合风险评估与空间自相关分析结果,H-H型的县区耕层土壤肥沃,有机质含量高且风险小,适合农业发展,将其划定为限制建设区。而L-L型的县区由自然和人为因素导致土

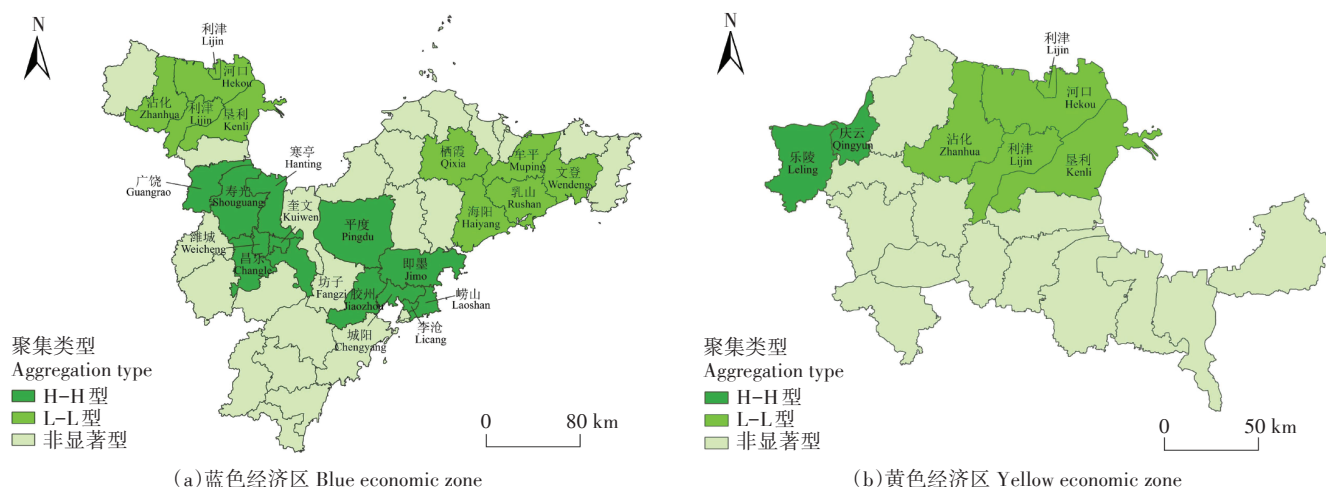


图4 土壤有机质的局部空间关联聚集图

Figure 4 Local spatial association aggregation of soil organic matter

壤贫瘠,耕层土壤有机质含量较低,有机质缺乏的风险概率大,不利于农业耕作,可将其划定为综合整治区。

对于有机质含量充足的限制建设区(H-H型),应注意加强耕地保护,限制非农用地乱占耕地,同时做到用养结合,将现代农业、高效生态农业建设与经济区建设统筹安排、协同推进,形成优势突出、特色鲜明的特色农业区;而对于有机质含量匮乏的综合整治区(L-L型),应加强土地整治,加大秸秆还田力度,增施有机肥,采取综合改良措施进行土壤培肥。同时发展新型农业,减轻传统农业对土壤的依赖,必要时考虑调整产业结构。

3 讨论

“蓝黄”两区作为国家级的区域发展战略规划区,在空间范围上既有重合又存在差异。2005—2017年,“蓝黄”两区的土壤有机质含量均有增加趋势。相关研究证明,施肥和秸秆还田等耕作技术的推广是影响耕层土壤有机质的主要因素^[24-25]。经济区一方面针对胶东地区的土壤酸化问题,通过施用土壤调理剂^[26]、推广种植绿肥^[27]等措施增加土壤有机质含量;另一方面大力推广水肥一体化技术,少施化肥,增施有机肥,有效降低了黄河三角洲地区的次生盐碱化风险^[28]。同时重点推广应用了秸秆精细还田和秸秆、畜禽粪便肥料化技术,有效增加了经济区的耕层土壤有机质含量^[29]。

从土壤有机质的空间分布变化看,“蓝黄”两区内陆平原部分的有机质含量丰富,2005—2017年的土壤有机质含量显著增加。该区域地形平坦、土壤肥沃,农业发展的限制因素少,经过多年的精耕细作,农田有机质含量不断累积;而山丘及滨海平原区的有机质含量相对匮乏,土壤有机质含量基本维持稳定。其中山丘区地形崎岖、坡度较大,夏季降水多而集中,易产生土壤侵蚀,造成土壤有机质淋失,且有机质分解迅速,导致积累缓慢^[30],与前人的研究^[31-32]结论一致。而滨海平原区受高蒸降比、高地下水位等自然因素及重灌轻排等人为因素影响,土壤盐渍化现象严重,使土壤物理化学性状发生改变,抑制植物的生长发育,甚至对其产生毒害,造成植被覆盖度偏低、有机质积累缓慢^[33]。

4 结论

本研究以山东省“蓝黄”两区为研究区,综合经典统计分析、地统计分析与GIS方法,通过普通克里格

插值法分析有机质的时空分异特征,指示克里格插值法评估有机质缺乏的风险概率,进而研究了县域间有机质的空间聚集特征并提出规划建议。得到以下结论:

(1)不同时期“蓝黄”两区的土壤有机质均具有中等变异性,变异系数在25.68%~35.46%之间;模型块基比在45.45%~55.01%之间,具有中等的空间自相关性,有机质受结构性因素(如气候、地形、土壤类型等)与随机性因素(如灌溉、施肥、秸秆还田等)共同影响。

(2)2005—2017年“蓝黄”两区的平均有机质含量分别由12.07 g·kg⁻¹和12.17 g·kg⁻¹增加到14.65 g·kg⁻¹和16.04 g·kg⁻¹,年平均增速分别为0.21 g·kg⁻¹和0.32 g·kg⁻¹。2017年“蓝黄”两区的土壤有机质均以2、3级为主,内陆平原区有机质含量高,山丘与滨海平原区有机质含量低;“蓝黄”两区有机质缺乏的风险概率较低,分别为0.21和0.14。

(3)“蓝黄”两区的全局Moran's I值分别为0.523和0.530,县区间有机质具有显著的聚集特征,限制建设区(高-高聚集型)与综合整治区(低-低聚集型)均以“组团”形式分布。

参考文献:

- [1] 廖宇波,温良友,孔祥斌,等.近40年大兴区耕地土壤有机质时空变异特征及其影响因素[J].土壤通报,2020,51(1):40-49. LIAO Y B, WEN L Y, KONG X B, et al. Spatio-temporal variability and influencing factors of soil organic matter in cultivated land of Daxing District in recent 40 years[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2020, 51(1):40-49.
- [2] 周一鹏,张雨辰,罗鑫叶,等.土壤有机质空间变异性及其驱动因素研究进展[J].土壤通报,2019,50(6):1492-1499. ZHOU Y P, ZHANG Y C, LUO X Y, et al. Review on spatial variability of soil organic matter and its driving factors[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2019, 50(6):1492-1499.
- [3] 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. JIANG S P, ZHANG R L, ZHANG W L, et al. Spatial and temporal variation of soil organic matter and cause analysis in Hainan Island in recent 30 years[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(6):1032-1044.
- [4] 王淑英,路苹,王建立,等.不同研究尺度下土壤有机质和全氮的空间变异特征——以北京市平谷区为例[J].生态学报,2008,28(10):4957-4964. WANG S Y, LU P, WANG J L, et al. Spatial variability and distribution of soil organic matter and total nitrogen at different scales: A case study in Pinggu County, Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10):4957-4964.
- [5] 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[J].土壤学报,2013,50(1):1-11. ZHAO M S, ZHANG G L, WANG D C, et al. Spatial variability of soil organic mat-

- ter and its dominating factors in Xu-Huai Alluvial Plain[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50(1): 1-11.
- [6] LIU S L, AN N N, YANG J J, et al. Prediction of soil organic matter variability associated with different land use types in mountainous landscape in southwestern Yunnan Province, China[J]. *Catena*, 2015, 133: 137-144.
- [7] 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[J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2041-2047. ZHANG S R, HUANG Y F, LI B G, et al. The temporal and spatial variability of soil organic matter contents in the alluvial region of Huang-Huai-Hai Plain, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2041-2047.
- [8] SUN B, ZHOU S L, ZHAO Q Z. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China[J]. *Geoderma*, 2003, 115(1/2): 85-99.
- [9] 蒋勇军, 章程, 袁道先. 岩溶区土壤肥力的时空变异及影响因素——以云南小江流域为例[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2288-2299. JIANG Y J, ZHANG C, YUAN D X. Temporal-spatial variability of soil fertility and its affecting factors of variability in Karst region: A case study of Xiaojiang watershed, Yunnan Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 2288-2299.
- [10] 解文艳, 周怀平, 杨振兴, 等. 黄土高原东部潇河流域农田土壤有机质时空变异及影响因素[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(1): 96-104. XIE W Y, ZHOU H P, YANG Z X, et al. The spatial-temporal variation of soil organic matter and its influencing factors in Xiaohe River basin in eastern Loess Plateau, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(1): 96-104.
- [11] 朱世英. 山东半岛蓝色经济区农业结构的演变特征与区域差异分析[J]. 经济与管理评论, 2012, 28(2): 157-160. ZHU S Y. Evolution characteristics and regional differences of agricultural structure in Shandong Peninsula blue economic zone[J]. *Review of Economy and Management*, 2012, 28(2): 157-160.
- [12] 王洪涛, 张玉芳, 刘东斌. 黄河三角洲高效生态农业模式与效益分析[J]. 农业环境与发展, 2001, 18(3): 19-21. WANG H T, ZHANG Y F, LIU D B. High-efficiency ecological agriculture model and benefit analysis in the Yellow River Delta[J]. *Agro-Environment and Development*, 2001, 18(3): 19-21.
- [13] 曾希柏, 白玲玉, 李莲芳, 等. 山东寿光不同利用方式下农田土壤有机质和氮磷钾状况及其变化[J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3737-3746. ZENG X B, BAI L Y, LI L F, et al. The status and changes of organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium under different soil using styles of Shouguang of Shandong Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(7): 3737-3746.
- [14] 甄兰, 崔振岭, 陈新平, 等. 25年来种植业结构调整驱动的县域养分平衡状况的变化——以山东惠民县为例[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(2): 213-222. ZHEN L, CUI Z L, CHEN X P, et al. The changes of nutrient balances driven by adjusting crop structure at county level during 25 years: A case study in Huimin County, Shandong Province[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2007, 13(2): 213-222.
- [15] 林秀渠, 刘晓龙, 李玉环. 山东省文登市耕层土壤有机质的空间变异特征研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2012, 43(3): 457-461. LIN X Q, LIU X L, LI Y H. Study on spatial variation characteristic of tilled topsoil organic matter of Wendeng City, Shandong[J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2012, 43(3): 457-461.
- [16] 张英鹏, 李彦, 于仁起, 等. 山东省主要耕地土壤的养分含量及空间变异分析[J]. 华北农学报, 2008, 23(S2): 310-314. ZHANG Y P, LI Y, YU R Q, et al. Nutrient contents of main plough-land in Shandong Province and their analysis of spatial variability[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23(S2): 310-314.
- [17] 张世文, 叶回春, 王来斌, 等. 景观高度异质区土壤有机质时空变化特征分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(12): 105-113. ZHANG S W, YE H C, WANG L B, et al. Temporal and spatial characteristics of soil organic matter for landscape heterogeneity area[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(12): 105-113.
- [18] 余慧敏, 郭熙. 鄱阳湖平原区农田土壤重金属Cd、Hg空间特征及潜在风险影响因素探析[J]. 核农学报, 2020, 34(8): 1785-1795. YU H M, GUO X. Spatial variation in cadmium and mercury and factors influencing their potential ecological risks in farmland soil in Poyang Lake Plain, China[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2020, 34(8): 1785-1795.
- [19] SU B W, ZHAO G X, DONG C. Spatiotemporal variability of soil nutrients and the responses of growth during growth stages of winter wheat in northern China[J]. *PLoS ONE*, 2018, 13(12): e0203509.
- [20] 杨奇勇, 杨劲松, 余世鹏. 禹城市耕地土壤盐分与有机质的指示克里格分析[J]. 生态学报, 2011, 31(8): 2196-2202. YANG Q Y, YANG J S, YU S P. Evaluation on spatial distribution of soil salinity and soil organic matter by indicator Kriging in Yucheng City[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(8): 2196-2202.
- [21] 韦仕川, 熊昌盛, 栾乔林, 等. 基于耕地质量指数局部空间自相关的耕地保护分区[J]. 农业工程学报, 2014, 30(18): 249-256. WEI S C, XIONG C S, LUAN Q L, et al. Protection zoning of arable land quality index based on local spatial autocorrelation[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(18): 249-256.
- [22] 高建岗, 黄锐. 基于耕地质量指数和空间自相关的苏南地区耕地保护分区[J]. 水土保持研究, 2019, 26(3): 213-218. GAO J G, HUANG R. Protection zoning of cultivated land based on cultivated land quality index and spatial autocorrelation on southern area of Jiangsu Province[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2019, 26(3): 213-218.
- [23] 赵映慧, 修春亮, 姜博, 等. 1990年代以来空间极化研究综述[J]. 经济地理, 2010, 30(3): 383-387. ZHAO Y H, XIU C L, JIANG B, et al. Review on spatial polarization since 1990's[J]. *Economic Geography*, 2010, 30(3): 383-387.
- [24] DARILEK J L, HUANG B, WANG Z G, et al. Changes in soil fertility parameters and the environmental effects in a rapidly developing region of China[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2009, 129(1/2/3): 286-292.
- [25] 杨帆, 徐洋, 崔勇, 等. 近30年中国农田耕层土壤有机质含量变化[J]. 土壤学报, 2017, 54(5): 1047-1056. YANG F, XU Y, CUI Y,

- et al. Variation of soil organic matter content in croplands of China over the last three decades[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2017, 54(5): 1047–1056.
- [26] 胡敏, 向永生, 鲁剑巍. 不同调理剂对酸性土壤降酸效果及大麦幼苗生长的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(3): 118–124. HU M, XIANG Y S, LU J W. Effects of soil conditioner on acid reduction and the seedling growth of barley[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2017(3): 118–124.
- [27] 曹卫东, 包兴国, 徐昌旭, 等. 中国绿肥科研60年回顾与未来展望[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(6): 1450–1461. CAO W D, BAO X G, XU C X, et al. Reviews and prospects on science and technology of green manure in China[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2017, 23(6): 1450–1461.
- [28] 李玉, 田宪艺, 王振林, 等. 有机肥替代部分化肥对滨海盐碱地土壤改良和小麦产量的影响[J]. 土壤, 2019, 51(6): 1173–1182. LI Y, TIAN X Y, WANG Z L, et al. Effects of substitution of partial chemical fertilizers with organic fertilizers on soil improvement and wheat yield in coastal saline and alkaline land[J]. *Soils*, 2019, 51(6): 1173–1182.
- [29] 山东省人民政府办公厅. 山东省人民政府办公厅关于印发山东省耕地质量提升规划(2014—2020年)的通知[EB/OL]. (2014-12-23). http://www.shandong.gov.cn/art/2014/12/23/art_2267_18813.html. General Office of Shandong Provincial People's Government. Notice of the General Office of the People's Government of Shandong Province on issuing the plan for improving the quality of cultivated land in Shandong Province (2014—2020) [EB/OL]. (2014-12-23). http://www.shandong.gov.cn/art/2014/12/23/art_2267_18813.html.
- [30] 赵越, 罗志军, 赵杰, 等. 南方丘陵区耕地土壤养分空间特征及其影响因素[J]. 浙江农业学报, 2018, 30(6): 1035–1043. ZHAO Y, LUO Z J, ZHAO J, et al. Spatial characteristics and influencing factors of soil nutrients in hilly region of south China[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2018, 30(6): 1035–1043.
- [31] 赵明松, 李德成, 张甘霖, 等. 江淮丘陵地区土壤养分空间变异特征——以安徽省定远县为例[J]. 土壤, 2016, 48(4): 762–768. ZHAO M S, LI D C, ZHANG G L, et al. Spatial variability characteristics of soil nutrients in Jianghuai hilly region: A case study of Dingyuan County, Anhui Province[J]. *Soils*, 2016, 48(4): 762–768.
- [32] 刘忆莹, 裴久渤, 汪景宽. 东北典型黑土区耕地有机质与pH的空间分布规律及其相互关系[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(6): 738–743. LIU Y Y, PEI J B, WANG J K. Spatial distribution and relationship between organic matter and pH in the typical black soil region of northeast China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(6): 738–743.
- [33] 范晓梅, 刘高焕, 唐志鹏, 等. 黄河三角洲土壤盐渍化影响因素分析[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1): 139–144. FAN X M, LIU G H, TANG Z P, et al. Analysis on main contributors influencing soil salinization of Yellow River Delta[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(1): 139–144.

