

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 Yi-ying, PEI Jiu-bo, WANG Jing-kuan. 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.

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

刘忆莹, 裴久渤*, 汪景宽

(沈阳农业大学土地与环境学院, 土肥资源高效利用国家工程实验室, 农业农村部东北耕地保育重点实验室, 沈阳 110866)

摘要: 为了解东北黑土地有机质下降和酸化状况, 明确有机质和pH区域分布规律及其相互关系, 以东北典型黑土区耕地作为研究对象, 利用GIS空间插值法和相关性统计分析方法, 探讨了该区域耕地有机质和pH的空间分布规律及其相关关系。结果表明: 研究区耕地有机质平均值为 $26.57 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 总体呈现由北向南、由东向西递减的趋势; 耕地pH平均值为6.42, 研究区由东向西pH呈现逐渐增加趋势, 而南北方向并未呈现出明显的规律性; 东北典型黑土区有机质和pH总体呈极显著负相关性, 但局部趋势不同, 其中黑龙江省呈极显著负相关, 辽宁省和吉林省呈极显著正相关, 表明有机质和pH这两个因素在局部的作用关系还受到其他因素的影响。研究表明, 在不同区域耕地质量保护和管理中要重视多因素耦合关联分析, 这对区域耕地资源合理利用的评估具有重要科学意义。

关键词: 典型黑土区; 东北; 有机质; pH; 空间分布

中图分类号: S158.9; F301.24 文献标志码: A 文章编号: 2095-6819(2019)06-0738-06 doi: 10.13254/j.jare.2018.0292

Spatial distribution and relationship between organic matter and pH in the typical black soil region of northeast China

LIU Yi-ying, PEI Jiu-bo*, WANG Jing-kuan

(College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, Laboratory of Arable Land Conservation(Northeast China), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shenyang 110866, China)

Abstract: Examining the degradation of organic matter and acidification in the black soil region of northeast China in recent years, this study selected the cultivated land in the typical black soil region of northeast China as the study subject. The spatial distribution of organic matter and pH and their relationship in the study region were investigated by means of the inverse distance weighting method and correlation analysis. The results showed that the average concentration of organic matter was $26.57 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ with a decreasing trend from north to south and from east to west in the study area. The average pH in the study area was 6.42, thereby showing an increasing trend from east to west. Generally, there was a negative correlation between organic matter and pH in the study area. However, it varied among provinces, and showed an extremely negative correlation in Heilongjiang Province and a positive correlation in the provinces of Liaoning and Jilin. The results suggested that other factors influenced the regional relationship between organic matter and pH; thus, it was necessary to conduct a multi-factor coupling correlation analysis in the future to separate the protection and management of cultivated land quality in different regions. This study has important scientific significance to the evaluation of rational utilization of regional cultivated land resources.

Keywords: black soil; northeast China; organic matter; pH; spatial distribution

收稿日期: 2018-10-25 录用日期: 2018-12-07

作者简介: 刘忆莹(1995—), 女, 辽宁朝阳人, 硕士研究生, 从事土地资源管理研究。E-mail: Yiyingliu610@outlook.com

*通信作者: 裴久渤 E-mail: peijiubo@163.com

基金项目: 国家重点研发计划子课题(2017YFD0200604); 国家自然科学基金项目(41807086, 41671293); 辽宁省自然科学基金项目(20170540799); 沈阳农业大学博士启动基金项目(880416042, 880416020)

Project supported: The National Key R&D Program of China (2017YFD0200604); The National Natural Science Foundation of China (41807086, 41671293); Natural Science Foundation of Liaoning Province (20170540799); Doctoral Research Start-Up Funding of Shenyang Agricultural University(880416042, 880416020)

耕地是农业生产中最基本的资源之一,决定着我国粮食生产和农民的经济收入,在保障国民经济健康发展的同时保证社会政治稳定,所以耕地的合理利用显得尤为重要^[1]。当前,耕地土壤退化是耕地面临的最为严重的问题之一,其中有机质含量降低和土壤酸化是较为突显的两个内容^[2]。耕地土壤有机质和pH是衡量耕地生产力的重要指标^[3],也是衡量耕地质量的重要的综合指标^[4],它们的变化直接影响土壤质量和农田生产力^[5]。东北黑土区是我国重要的粮食生产基地,在国家粮食安全和粮食战略中起到了至关重要的作用^[6]。但是当前,由于长期的不合理耕作使得东北黑土退化严重,土壤有机质不断减少、土壤持续酸化等问题突显。党中央、国务院高度重视东北黑土地保护,明确提出要采取有效措施,加快实施“藏粮于地、藏粮于技”战略,以巩固提升粮食综合生产能力、保障土地资源安全和农业生态安全为目标,依靠科技进步,加大资金投入,调整优化结构,创新服务机制,推进工程与生物、农机与农艺、用地与养地相结合,改善东北黑土区设施条件、内在质量、生态环境,切实保护好黑土地这一珍贵资源,夯实国家粮食安全的基础。因此,当前对东北黑土地退化、合理利用与保护研究显得更加重要^[7]。评估东北黑土地有机质和pH的区域变化规律和相关关系,可为深入了解东北黑土区耕地土壤酸碱性和有机质的演变趋势提供科学依据,为深入研究耕地地力提升及耕地资源合理利用提供基础资料。为此,本研究以东北典型黑土区为研究对象,利用地统计学方法和GIS技术^[8],对东北典型黑土区有机质和pH空间变化规律及关系进行研究,旨在为进一步研究该地区土壤退化、防治耕地地力降低和恢复东北典型黑土区耕地质量提供基础理论指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

东北地区耕地资源自然条件优越,土壤肥沃,是我国重要的粮食生产区。该区常住人口1.09亿,占全国总人口的7.96%;粮食播种面积218万km²,共占全国的17.91%;粮食的总产量11 973.50万t,占全国19.27%。其中,东北地区的典型黑土区的土壤最为肥沃、耕地生产力最高、粮食生产能力最强^[9]。该区域是我国东北地区黑土分布的核心区域,位于东北平原中部,跨越黑龙江、吉林和辽宁三个省份。地处北纬42°23′~51°00′,东经123°32′~128°19′,位于亚洲大陆的东部,大陆性气候明显,属于温带季风性气候,

冬夏温差大。地貌以平原为主,纵贯东北三省,形状呈不规则的“刀把型”。主要包括黑龙江省的25个县,吉林省的13个县以及辽宁省昌图县在内的共计39个县。研究区位置如图1所示。

1.2 数据来源与研究方法

研究区行政区划图、耕地利用现状图、耕地采样点数据主要来自2007—2012年东北三省耕地质量调查与评价数据。根据记录的样点位置、有机质含量、pH值信息,结合行政区划图和耕地利用现状图,利用GIS技术建立了采样点分布图(图1)。共收集采样点数据7438个,其中黑龙江省5474个(代表面积56 274.69 km²)、吉林省1688个(代表面积23 067.58 km²)、辽宁省276个(代表面积3 683.39 km²),研究区各省份采样点的有机质和pH数据描述见表1。本研究利用ArcGIS 9.3软件中反距离加权插值方法对采样点有机质和pH数据进行空间插值,得到的栅格数据结果通过区域统计赋值到耕地利用现状图图斑上,最终形成耕地有机质与pH分布专题图,专题图各级别断点按照第二次土壤普查有机质和pH分级标准进行分级(表2)。

数据处理和统计分析采用Microsoft Excel 2016,有机质含量和pH的相关性分析采用SPSS软件进行。

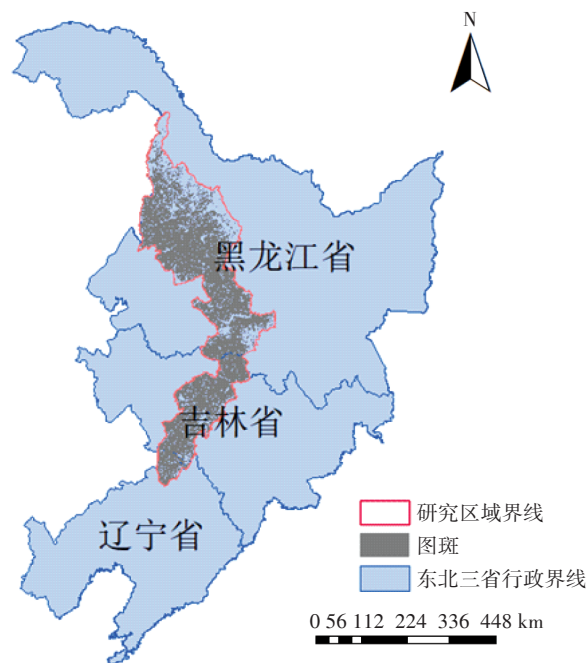


图1 研究区位置及采样点分布示意图

Figure 1 Location and distribution sketch map of sampling points in the study area

表1 东北典型黑土区耕地有机质与pH采样点描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of organic matter and pH in the typical black soil region of northeast China

省份 Provinces	指标 Index	平均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum	标准偏差 Standard deviation	变异系数 Variable coefficient
黑龙江	有机质/g·kg ⁻¹	38.81	2.60	131.50	13.90	35.80%
	pH	6.4	4.1	8.9	0.7	11.45%
吉林	有机质/g·kg ⁻¹	24.43	3.44	72.74	7.13	29.17%
	pH	6.6	4.1	9.4	1.0	15.41%
辽宁	有机质/g·kg ⁻¹	17.10	8.41	39.13	4.22	24.66%
	pH	6.2	5.2	8.7	0.8	13.25%

表2 东北典型黑土区第二次土壤普查耕地土壤
有机质与pH分级标准

Table 2 Grading standards for the second soil census of organic matter and pH in the typical black soil region of northeast China

级别 Ranks	有机质 Organic matter		pH	
	水平 Levels	含量 Contents/g·kg ⁻¹	水平 Levels	值 Values
1	很丰富	>40.0	强酸	<4.5
2	丰富	30.0~40.0	酸	4.5~5.5
3	中等	20.0~30.0	弱酸	5.5~6.5
4	较缺乏	10.0~20.0	中性	6.5~7.5
5	缺乏	6.0~10.0	弱碱	7.5~8.5
6	很缺乏	<6.0	碱	8.5~9.0
7			强碱	>9.0

2 结果与分析

2.1 东北典型黑土区耕地有机质空间变化

东北典型黑土区耕地有机质平均含量为 26.57 g·kg⁻¹,其区域含量变化如图2所示。从南北方向看,有机质的分布总体呈现由北向南逐渐降低的趋势,并且按照黑龙江省、吉林省、辽宁省的顺序依次递减。由东西方向看,有机质含量东部高西部低,且三个省份内部的有机质变化规律均呈现东部高西部低趋势。土壤有机质很丰富(>40 g·kg⁻¹)的地区主要是黑龙江的嫩江县、五大连池市、克山县、克东县、海伦市等地区,而依安县、拜泉县、望奎县等地区土壤有机质含量为丰富(30~40 g·kg⁻¹)。吉林省的有机质平均含量为中等(20~30 g·kg⁻¹),平均值 24.43 g·kg⁻¹,在其省内大部分地区分布,少部分地区有机质含量丰富(30~40 g·kg⁻¹)。辽宁省内的典型黑土区面积较小,主要位于辽宁北部昌图县小部分区域,黑土区耕地有机质含量较缺乏(10~20 g·kg⁻¹),平均值为 17.10 g·kg⁻¹,最小值为 8.41 g·kg⁻¹,最大值为 39.13 g·kg⁻¹。

表3为东北典型黑土区耕地有机质的面积分布,可以看出整个调查区域有机质级别范围为1~5级,

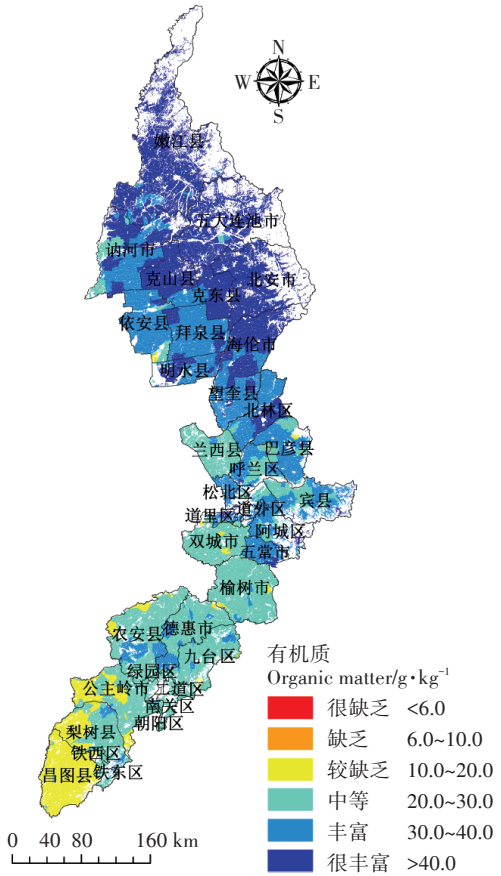


图2 东北典型黑土区耕地有机质含量空间分布

Figure 2 The spatial distribution of organic matter content in cultivated land of typical black soil area in northeast China

分布面积最多的是3级(20~30 g·kg⁻¹),面积为 26 518.98 km²,占总面积的 31.94%,分布面积最少的是5级(6~10 g·kg⁻¹),面积为 0.46 km²,占总面积的 0.01%。1、2级和4级的分布面积分别为 25 954.37、23 591.02 km²和 6 960.83 km²,占比分别为 31.26%、28.41%和 8.38%。

2.2 东北黑土区耕地pH空间变化

从表1和图3可以看出,东北典型黑土区耕地pH

平均值为6.4,总体呈弱酸性,最大值为9.4,最小值为4.1。整个调查区域由东向西pH逐渐增加,而南北向并未呈现出明显的规律。黑龙江省内典型黑土区耕地平均pH值为6.4,最大值为8.9,最小值为4.1,变异系数为11.45%。其中嫩江县、五大连池市、克东县、北安市、海伦市、巴彦县绝大部分pH值在5.5~6.5之间,呈弱酸性;讷河市、克山县pH在6.5~7.5之间,呈中性;东部的依安县、兰西县耕地呈弱碱性(pH 7.5~8.5)。吉林省内典型黑土区耕地pH平均值为6.6,最大值为9.4,最小值为4.1,变异系数为15.41%。其中九台区、二道区、南关区典型黑土区耕地pH值处于2级和3级,即酸性和弱酸性(pH 4.5~6.5);农安县典型黑土区耕地土壤pH值大部分处于4级中性和弱碱性之间(pH 6.5~8.5)。辽宁省内典型黑土区耕地平均pH值为6.2,最大值为8.7,最小值为5.2,变异系数为13.25%。其中昌图县大部分处于3级,即弱酸性

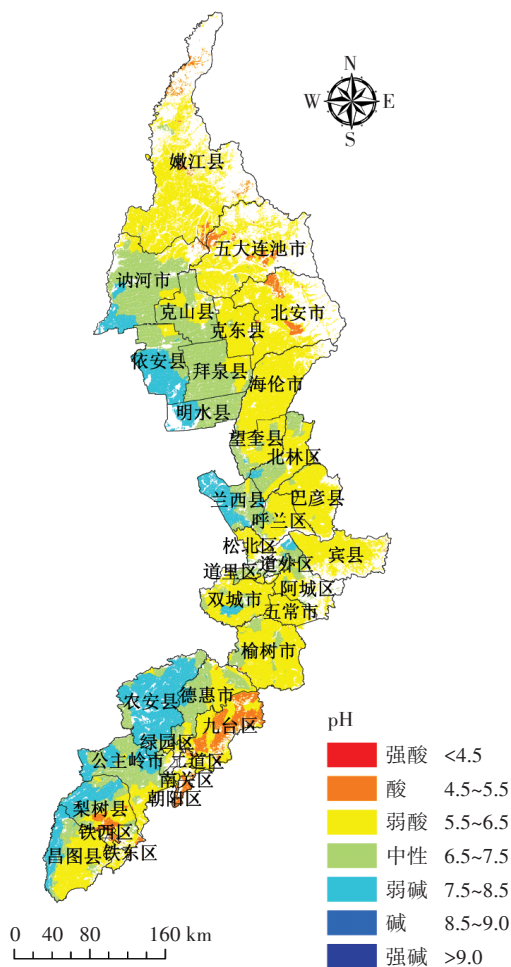


图3 东北典型黑土区耕地 pH 空间分布

Figure 3 The spatial distribution of pH in cultivated land in typical black soil area in northeast China

表3 东北典型黑土区耕地有机质分布

Table 3 The distribution of organic matter in the typical black soil region of northeast China

级别 Levels	有机质 Organic matter/g·kg ⁻¹	面积 Area/km ²	百分比 Percentage/%
1	>40.0	25 954.37	31.26
2	30.0~40.0	23 591.02	28.41
3	20.0~30.0	26 518.98	31.94
4	10.0~20.0	6 960.83	8.38
5	6.0~10.0	0.46	0.01
6	<6.0	0	0

(pH 5.5~6.5)。

表4为东北典型黑土区耕地pH面积分布情况。总体看,pH面积分布主要集中于3~5级(pH 5.5~8.5)。其中,分布最多的是3级,即弱酸性(pH 5.5~6.5),面积为45 941.29 km²,占总面积的55.334%;4级中性(pH 6.5~7.5)的分布面积为23 740.93 km²,占总面积的28.595%;pH为5级(pH 7.5~8.5)的土壤面积为9 726.45 km²,占总面积的11.715%;pH为2级酸性(pH 4.5~5.5)的土地面积为3 615.29 km²,所占比重较小,占总面积的4.354%;调查区内没有1级(pH<4.5)和7级(pH>9)的耕地土壤。

2.3 东北典型黑土区耕地有机质和pH的相关性

由表 5 可以看出,东北典型黑土区耕地有机质含量和 pH 相关系数为 -0.204,呈极显著负相关,其中三个省份的耕地有机质含量和 pH 均呈极显著相关 ($P < 0.01$),相关系数分别为 0.220、0.141 和 -0.292,表现为辽宁省和吉林省都呈极显著正相关,而黑龙江省呈极显著负相关。从结果上看,虽然都存在显著相关性,但相关系数相对较低,说明有机质和 pH 区域上仍然存在其他扰动因素,而且各区域间存在扰动因素的差异性,因此未来应进一

表4 东北典型黑土区耕地土壤pH分布

Table 4 The distribution of pH in the typical black soil region of northeast China

级别 Levels	pH	面积 Area/km ²	百分比 Percentage/%
1	<4.5	0	0
2	4.5~5.5	3 615.29	4.354
3	5.5~6.5	45 941.29	55.334
4	6.5~7.5	23 740.93	28.595
5	7.5~8.5	9 726.45	11.715
6	8.5~9.0	1.72	0.002
7	>9.0	0	0

表5 东北典型黑土区耕地有机质与pH的相关系数

Table 5 Correlation coefficient of organic matter and pH in the typical black soil region of northeast China

省份 Provinces	相关系数 Coefficient of association
辽宁省	0.220**
吉林省	0.141**
黑龙江省	-0.292**
东北典型黑土区	-0.204**

注:“**”在0.01水平上显著相关。

Note:“**”—The correlation was significant at the level of 0.01.

步从多因素角度进行耦合分析。

3 讨论

土壤有机质变化的影响因素包括自然因素和人为因素^[10],有机质的含量和质量在一系列自然和人为因素综合作用下保持着动态的平衡稳定关系^[11]。研究表明有机质含量不仅与温度、降雨量等自然气候因素有显著的相关性,而且还会随地势高度和地貌类型的变化而有所差异^[12-13]。东北典型黑土区耕地有机质呈现北高南低、东高西低的空间分布趋势,一方面与北部温度低、南部温度高、东部降水多于西部等气候条件差异有关,从而直接影响了有机质的积累;同时,南部农田耕作管理及开垦时间较北部长,也加大了有机质下降的可能性。此外,局部有机质的高低也与施肥不均衡、微地形的起伏有较大的关联^[14]。

土壤酸碱度(pH)是土壤形成过程中产生的一种自然属性,受到众多自然和人为因素的影响。对于土壤本身来说,土壤处于中性和偏酸性($5.0 < \text{pH} < 7.5$),特别是中性($6.5 < \text{pH} < 7.5$)范围时,对酸性物质的输入较敏感^[15]。东北典型黑土区耕地土壤pH面积分布最多的是第3级($\text{pH } 5.5 \sim 6.5$),总面积为45 941.29 km³,占总面积的55.33%,说明该地区大部分土壤酸碱度对酸性物质的输入比较敏感,自然酸化、环境的改变、农业耕作方式、管理方式(化肥的投入)等都是导致东北黑土区pH呈现西高东低的原因。

从耕地自然质量的角度来看,高质量与数量的有机质和适宜的酸碱度是从事农业生产并获得高产的良好土壤肥力供给的重要因素^[16-17]。因此,探讨耕地中有机质与酸碱度之间的变化关系显得尤为重要^[18]。研究发现,我国地带性土壤表层有机质含量与pH之间存在显著的负相关关系,即随着土壤pH升高,有机质含量显著降低^[19],本研究中东北典型黑土区三个省份的耕地有机质含量和pH均呈极显著相关($P <$

0.01),黑龙江省呈极显著负相关,这表明在同一时期内pH对有机质含量有着一定的影响,这也与土壤酸碱性会影响有机质周转过程的研究结论较为相符。但是在分析结果中,辽宁省和吉林省都呈极显著正相关,由此分析二者变化的相互影响需要中间因素的介入来间接反映,这些因素可能包括影响土壤性质差异的各种因素,如土壤质地、气候、微生物、种群结构等^[20]。此外,也可能包含农户耕作管理等因素。所以,影响有机质含量与pH值分布的因素较复杂,并且不同地区间的变化差异及相互关系可能不一致,需要今后进一步深入研究,这将对摸清有机质和pH的空间变化规律和提升耕地质量提供重要的理论参考。

4 结论

(1)东北典型黑土区耕地有机质的分布总体呈现由北向南逐渐降低、东部高西部低的趋势,有机质平均含量为26.57 g·kg⁻¹,3级(20~30 g·kg⁻¹)分布面积最多,占总面积的31.94%,5级(6~10 g·kg⁻¹)分布面积最少,占总面积的0.01%。

(2)东北典型黑土区耕地pH由东向西逐渐增加,而南北方向未呈现出明显规律,平均值为6.42,总体呈弱酸性,集中分布于3~5级($\text{pH } 5.5 \sim 8.5$),其中3级($\text{pH } 5.5 \sim 6.5$,弱酸性)分布面积最大,占总面积的55.33%。

(3)总体上,东北典型黑土区有机质和pH呈负相关性,但局部趋势不同,其中黑龙江省呈极显著负相关,辽宁省和吉林省呈极显著正相关,表明这两个因素在局部的作用关系受到其他因素影响。今后对不同区域耕地质量的保护和管理要重视多因素耦合关联分析。

参考文献:

- [1] 白树彬. 辽宁省耕地地力评价及地力提升研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2016.
BAI Shu-bin. Assessment and improvement of cultivated land fertility in Liaoning Province[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016.
- [2] 吴流通. 我国土壤质量及土壤资源的可持续利用分析[J]. 南方农业, 2018, 12(24): 169-170.
WU Liu-tong. Analysis of soil quality and sustainable utilization of soil resources in China[J]. *South China Agriculture*, 2018, 12(24): 169-170.
- [3] Yang O, Alain N R, Wang L X, et al. Spatio-temporal patterns of soil organic carbon and pH in relation to environmental factors: A case study of the black soil region of northeastern China[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2017, 245: 22-31.

- [4] Zhao Y C, Xu X H, Nan H, et al. Uncertainty assessment for mapping changes in soil organic matter using sparse legacy soil data and dense new-measured data in a typical black soil region of China[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 73(1):197-207.
- [5] Wang Y L, Wang S F, Wang X, et al. Effects of pore size and dissolved organic matters on diffusion of arsenate in aqueous solution[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2017, 52(2):190-196.
- [6] 王琦琪, 陈印军, 李然嫣. 东北黑土地保护评价指标体系研究[J]. 中国农学通报, 2018, 34(2):42-47.
WANG Qi-qi, CHEN Yin-jun, LI Ran-yan. Evaluation index system of black soil protection in northeast China[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(2):42-47.
- [7] 韩晓增, 李娜. 中国东北黑土地研究进展与展望[J]. 地理科学, 2018, 38(7):1032-1041.
HAN Xiao-zeng, LI Na. Research progress of black soil in northeast China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(7):1032-1041.
- [8] 余娟清. 基于遥感和GIS的土地利用变化及其环境效应分析[D]. 福州: 福建师范大学, 2004.
YU Juan-qing. Analysis on land use change and its impact on environment based on RS & GIS[D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2004.
- [9] Chen Y, Huang Y, Sun W. Using organic matter and pH to estimate the bulk density of afforested/reforested soils in northwest and northeast China[J]. *Pedosphere*, 2017, 27(5):890-900.
- [10] 王勇辉, 胡江玲. 干旱区湿地土壤有机质空间分布及关系研究——以艾比湖湿地为例[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(11):98-103.
WANG Yong-hui, HU Jiang-ling. Spatial distribution of soil organic matter in Ebinur Lake wetland[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2012, 26(11):98-103.
- [11] 范作伟, 彭畅, 金荣德, 等. 东北地区主要土壤类型及其肥力指标与气象因子的相关性[J]. 玉米科学, 2018, 26(3):140-146.
FAN Zuo-wei, PENG Chang, JIN Rong-de, et al. Main soil types in northeast China and fertility index correlation with meteorological factors[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2018, 26(3):140-146.
- [12] 江未来. 岳麓山坡面林下土壤有机质分布特征研究[J]. 邵阳学院学报(自然科学版), 2018, 15(3):82-87.
JIANG Wei-lai. Research on distribution characteristics of soil organic matter on woodland slope of Yuelu Mountain[J]. *Journal of Shaoyang University (Natural Science Edition)*, 2018, 15(3):82-87.
- [13] Zhu C, Wang T Z, Wang R X, et al. Spatial and temporal variability of soil organic matters in Se-rich areas of Hainan Island in recent 30 years[J]. *Agricultural Biotechnology*, 2018, 7(4):242-245.
- [14] 张立江, 汪景宽, 裴久渤, 等. 东北典型黑土区耕地地力评价与障碍因素诊断[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(1):110-117.
ZHANG Li-jiang, WANG Jing-kuan, PEI Jiu-bo, et al. Evaluation of cultivated land fertility and its obstacle factors diagnosis in the typical black soil area of northeast China[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2017, 38(1):110-117.
- [15] 邢培茹, 郑粉莉, 王彬. 典型黑土区坡耕地土壤碱性磷酸酶和有机质空间分布研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(1):39-42.
XING Pei-ru, ZHENG Fen-li, WANG Bin. Spatial distribution of soil alkaline phosphatase activity and soil organic matter on sloping farmlands in typical black soil region[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2014, 21(1):39-42.
- [16] 戎秋涛, 杨春茂, 徐文彬. 土壤酸化研究进展[J]. 地球科学进展, 1996(4):71-76.
RONG Qiu-tao, YANG Chun-mao, XU Wen-bin. Advance in study on soil acidification[J]. *Advances in Earth Science*, 1996(4):71-76.
- [17] 王亚男, 徐梦洁, 代圆凤, 等. 毕节市耕地土壤pH的空间变异特征与影响因素[J]. 土壤, 2018, 50(2):385-390.
WANG Ya-nan, XU Meng-jie, DAI Yuan-feng, et al. Spatial characteristics and influential factors of arable soil pH in Bijie, Guizhou[J]. *Soils*, 2018, 50(2):385-390.
- [18] 陕红. 有机物料对土壤酸碱度的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(32):70-76.
SHAN Hong. Effect of organic materials on soil acidity[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017, 33(32):70-76.
- [19] 戴万宏, 黄耀, 武丽, 等. 中国地带性土壤有机质含量与酸碱度的关系[J]. 土壤学报, 2009, 46(5):851-860.
DAI Wan-hong, HUANG Yao, WU Li, et al. Relationships between soil organic matter content and pH in top soil in China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(5):851-860.
- [20] Li M T, Zhao L P, Zhang J J. Effect of temperature, pH and salt on fluorescent quality of water extractable organic matter in black soil[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2013, 12(7):1251-1257.