

杨黎敏,李晓燕,任永星,等. 基于最小数据集的长春市耕地土壤质量评价[J]. 江苏农业科学,2019,47(20):305-310.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.20.067

基于最小数据集的长春市耕地土壤质量评价

杨黎敏¹, 李晓燕¹, 任永星¹, 付 晓²

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130012; 2. 白城职业技术学院, 吉林白城 137000)

摘要:吉林省长春市是东北黑土集中分布的区域,是我国重要的粮食生产基地,其辖区内榆树县、农安县、德惠县均为全国排名前十的产粮大县,实时评价耕地土壤质量保障区域土地资源适宜性管理和粮食安全的基础。但由于土壤指标繁多,成本较高,给区域尺度耕地质量评价带来了困难。耦合 GIS 空间分析和主成分分析法筛选最小数据集对长春市耕地土壤质量进行评价,并对其影响因素进行分析。结果表明:(1)长春市耕地土壤质量最小数据集包括有机质含量、全氮含量、阳离子交换量、pH 值、有效锌含量、有效铁含量 6 项指标,最小数据集的评价结果与全数据集具有较好的一致性($R^2 = 0.801$);(2)研究区耕地质量水平总体较高,一级、二级和三级土壤质量面积占总面积的 77.34%,土壤质量区域差异性显著,土壤质量较好的耕地主要集中在长春市郊区、德惠县、榆树县一线,由此线向西北、东南方向土壤质量逐降;(3)方差分析表明,土壤类型、成土母质、地形、气候因素对土壤质量的区域异质性均有显著影响。

关键词:评价指标;土壤质量;最小数据集;环境因素;GIS;长春市

中图分类号: S158.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)20-0305-06

土壤是陆地生态系统的重要组成部分,其质量状况与区域生态安全与农业可持续发展密切相关^[1]。目前,土壤质量相关研究已经取得了丰硕成果,但仍没有一个普适的、统一的评价标准^[2]。不同的评价目的和对土壤不同功能的侧重决定了评价指标的差异,参评指标主要涉及对土壤功能具有敏感性适应改变的物理、化学和生物性质 3 个方面的指标,用于

综合反映内在的土壤作用特征和可见的植物特征^[3-5]。不同的评价方法也会对土壤质量评价结果产生显著影响,土壤质量综合评价法近年来使用较为普遍^[2]。由于存在土壤质量评价因子的种类、数量多,数据获取成本高且因子共线性等问题,参评因子的选择成为解决土壤质量评价标准化程序的关键问题^[6-7]。最小数据集(MDS)是可以反映土壤质量的最少指标参数的集合,由于高效、经济而在土壤质量评价及监测中得到了广泛的应用^[8-9]。但由于土壤属性的时空变异性及其影响因素的复杂性,可靠的、能够反映区域土壤特征的 MDS 评价因子的选择仍待深入探讨^[6]。

长春市是东北黑土集中分布的区域,是我国重要的粮食生产基地,其辖区内榆树县、农安县、德惠县均为全国排名前

收稿日期:2018-07-28

基金项目:国家自然科学基金(编号:41671219)。

作者简介:杨黎敏(1995—),女,江苏南京人,硕士研究生,主要从事资源遥感与土地信息系统研究。E-mail:aurora_ylm@sina.com。

通信作者:李晓燕,博士,副教授,主要从事资源遥感与土地信息系统研究。E-mail:lxyan@jlu.edu.cn。

量变化及其对气候要素的敏感性分析[J]. 中国农业气象, 2015,36(5):570-577.

[20] 王晓东,马晓群,许 莹,等. 淮河流域参考作物蒸散量变化特征及主要气象因子的贡献分析[J]. 中国农业气象,2013,34(6):661-667.

[21] 符淙斌,王 强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992,16(4):482-493.

[22] 吴文玉,孔芹芹,王晓东,等. 安徽省近 40 年参考作物蒸散量的敏感性分析[J]. 生态环境学报,2013,22(7):1160-1166.

[23] Hamed K H, Rao A R. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data[J]. Journal of Hydrology, 1998, 204(1/2/3/4):182-196.

[24] 刘 娜,王艳君,宗 燕. 长江流域参照蒸发量突变及其原因分析[J]. 人民长江,2013,44(3):6-9.

[25] 王建兵,王素萍,汪桂桂. 1971—2010 年若尔盖湿地潜在蒸散量及地表湿润度的变化趋势[J]. 地理科学,2015,35(2):245-250.

[26] 赵 璐,梁 川. 近 50 年来四川省潜在蒸散量变化成因研究

[J]. 水土保持研究,2014,21(4):26-30.

[27] 张伟伟,王 允,张国斌. 西南地区 1960—2013 年参考作物蒸散量时空变化特征及成因分析[J]. 中国农学通报,2016,32(2):135-141.

[28] 陈 超,庞艳梅,潘学标,等. 四川地区参考作物蒸散量的变化特征及气候影响因素分析[J]. 中国农业气象,2011,32(1):35-40.

[29] Roderick M L, Rotstain L D, Farquhar G D. On the attribution of changing pan evaporation[J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34(17):1-6.

[30] He Y Q, Wang Y J, Kong X G, et al. High resolution stalagmite $\delta^{18}\text{O}$ records over the past 1 000 years from Dongge Cave in Guizhou[J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(10):1003-1008.

[31] 张志斌,杨 莹,张小平,等. 我国西南地区风速变化及其影响因素[J]. 生态学报,2014,34(2):471-481.

[32] 杨小梅,安文玲,张 薇,等. 中国西南地区日照时数变化及影响因素[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2012,48(5):52-60.

十的产粮大县。由于开垦年代较久,开垦强度较大,该区面临着土壤侵蚀、有机质含量降低、土层变薄、土壤板结、土壤封闭、盐碱化等严重土壤退化问题。开展土壤质量评价,在此基础上发展适宜性管理是黑土可持续利用及保障区域粮食安全的前提和基础。研究耦合 GIS 空间分析和主成分分析法筛选最小数据集,对长春市耕地土壤质量展开评价,并分析了土壤环境因素对区域土壤质量分异的影响。评价结果可为合理规划区域农业生产及因地制宜进行施肥提供参考及理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

长春市地处我国东北平原腹地(124°18′~127°05′E、243°05′~45°15′N),总面积 206 万 hm^2 。该区属北温带大陆性季风气候,年平均气温 4.8℃,年平均降水量为 582 mm,具有四季分明、雨热同季、干湿适中的气候特征。长春市以台地、平原为主,兼有山地、丘陵,形成了“一山四岗五分川”的地貌格局。长春市自东向西分布着暗棕壤带、黑土带和黑钙土带,不同地带内由于地域性因素的影响土壤系列各不相同,形成了以暗棕壤、黑土、黑钙土、草甸土为主的众多的土壤类型。

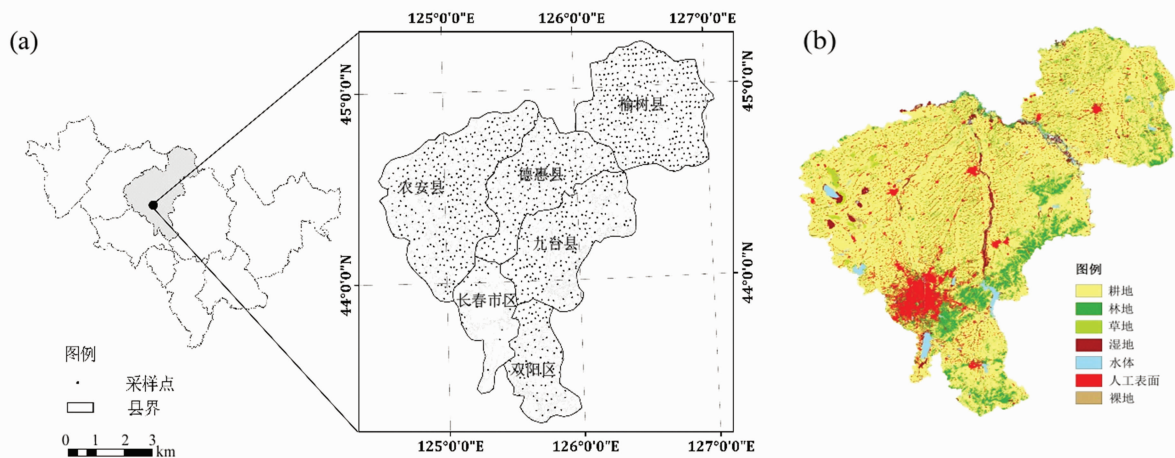


图1 土壤采样点分布图(a)及土地覆被类型图(b)

1.2.3 环境数据来源 环境数据包括土壤数据、气候数据和地形数据。其中,数字化土壤类型分布图由吉林省土肥站提供。母质数据是在 1:250 000 万地质图的基础上经野外调研补充生成。2000—2013 年间的月降水量和日均温数据由吉林省气象局提供,在此基础上计算多年平均降水量和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温,并在 ArcGIS 10.2 软件中采用克吕格空间插值进行空间化,生成研究区年平均降水量和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温分布图。DEM 数据由地理云数据网下载(<http://www.gscloud.cn>),对原始 ASTER GDEM V2 数据进行校正、裁剪后,提取研究区的 DEM。

1.3 研究方法

1.3.1 最小数据集的构建 研究综合选取表征土壤理化性质的 11 个指标建立土壤质量评价全数据集(TDS),采取主成分分析法(PCA)遴选最小数据集。选取特征值大于 1 的主成分、各主成分中高因子载荷指标,包括最大因子载荷指标及因

1.2 数据来源

1.2.1 样品采集与处理 基于随机性原则和代表性原则,采用混合采样法在研究区耕地表层(20 cm)采集土壤样品 1 241 个。采集的土壤样品经自然风干、磨碎、过 2 mm 筛以供测定,选取指标实验室测定方法如下:土壤阳离子交互量(CEC)采用醋酸铵法测定;pH 值采用电位法测定;有机质含量采用重铬酸钾容量-外加法测定;全氮含量采用半微量凯氏定氮法测定;碱解氮含量采用碱解扩散法测定;有效磷含量采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用乙酸铵浸提-火焰光度法测定;缓效钾含量采用硝酸浸提-火焰光度法测定;有效锌、有效铜、有效铁含量采用盐酸浸提-ICP-AES 法测定^[10]。

1.2.2 土地覆被数据 在美国地质调查局网站下载完全覆盖研究区范围的同时期遥感影像数据(Landsat/OLI),经几何校正、影像增强、裁剪和拼接等预处理过程获得研究区影像数据。依据 HJ 192—2015《生态环境状况评价技术规范》将土地覆被类型划分为 7 种类型:耕地、林地、草地、湿地、水体、人工表面和裸地。在 eCognition 软件中采用面向对象分类方法对影像数据进行解译,获得研究区土地覆被数据^[11](图 1-b)。提取耕地作为土地质量评价的范围。

子载荷绝对值达到最大因子载荷 90% 的指标,当 1 个主成分高因子载荷指标只有 1 个时,该指标进入最小数据集^[9]。当 1 个主成分中有超过 1 个高因子载荷指标时,若相关系数 $r < 0.6$,各高因子载荷指标均被选入最小数据集;若相关系数 $r > 0.6$,认为存在冗余指标,须进一步取舍^[12]。

1.3.2 土壤质量评价方法 土壤质量评价采用应用比较广泛的综合质量指数法进行计算,计算公式如下^[10]:

$$IQI = \sum_{i=1}^n W_i S_i \quad (1)$$

式中: W_i 为确定的指标权重; S_i 为指标因子线性得分值; n 为指标个数。

指标权重由主成分分析获得的指标公因子方差所占比例确定^[13],指标因子线性得分值由标准化函数确定。依据土壤指标不同的功能属性,选取戒上型函数(UL)和峰值型函数(PL)2 类函数。PL 型函数具有最适宜的范围;UL 函数指标

越大,表明土壤质量越好。计算公式如下^[2]:

UL 型函数

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x \leq L \\ 0.1 + 0.9 \times \frac{x-L}{U-L} & L \leq x \leq U \\ 1 & x \geq U \end{cases} \quad (2)$$

PL 型函数

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 + 0.9 \times \frac{x-L}{pL-L'} & L \leq x \leq pL \\ 1 & pL \leq x \leq pU \\ 1 - 0.9 \times \frac{x-pU}{U-pU} & pU \leq x \leq U \\ 0.1 & x \leq L \text{ or } x \geq U \end{cases} \quad (3)$$

式中: x 为测量的指标值; L 和 U 分别为下限值和上限值; pL 和 pU 分别为最优范围的下限值和上限值。

1.3.3 环境因素影响的方差分析 土壤理化性质的差异是气候因素、成土母质、地形地貌、土壤生物类型及生物量等长期综合作用的结果^[4]。对土壤类型、成土母质、高程及气候因子进行方差分析,探究环境因素与土壤质量的关系,计算的显著性概率 P 用来说明各环境因素对土壤质量是否具有显著性影响。主成分分析和方差分析在 SPSS 24.0 软件中

完成。

2 结果与分析

2.1 土壤要素的统计特征分析

有机质及氮、磷、钾是土壤主要营养物质,CEC 是表征土壤物理环境的重要指标,pH 值与土壤外部环境、土壤结构相关,微量元素铜、铁、锌影响土壤养分的吸收与循环,共同反映土壤质量水平^[14]。由表 1 可知,研究区有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾、缓效钾含量分别为 25.6 g/kg、1.4 g/kg、125.6 mg/kg、18.6 mg/kg、147.0 mg/kg、1 029.2 mg/kg,土壤养分状况总体较好。有机质和碱解氮含量在区域尺度变化较小,变异系数 < 25%;有效磷含量变异较大,变异系数为 68.8%;CEC 为 24.3 cmol/kg,表明土壤缓冲能力、保肥性能较好;pH 值平均值为 6.5,变异系数为 15.8%,区域差异较小;微量元素有效锌、有效铜、有效铁含量平均值分别为 1.6、3.1、33.4 mg/kg,均高于吉林省平均值,其中有效铜、有效铁变异系数较高,分别为 73.0%、83.7%,表明元素区域分布差异性显著。正态检验表明,CEC、pH 值、有机质含量、全氮含量、碱解氮含量符合正态分布,其他元素经对数转换后符合正态分布。

表 1 土壤要素的统计特征值

指标	最大值	最小值	均值	标准差	变异系数(%)	分布类型
CEC (cmol/kg)	44.3	4.9	24.3	6.3	25.8	N
pH 值	8.4	4.7	6.5	1.0	15.8	N
有机质含量 (g/kg)	51.0	8.0	25.6	6.0	23.4	N
全氮含量 (g/kg)	3.2	0.2	1.4	0.4	27.4	N
碱解氮含量 (mg/kg)	237.9	25.7	125.6	26.5	21.1	N
有效磷含量 (mg/kg)	75.0	1.4	18.6	12.8	68.8	LN
速效钾含量 (mg/kg)	400.0	2.3	147.0	61.0	41.5	LN
缓效钾含量 (mg/kg)	2 741.0	161.0	1 029.2	389.2	37.8	LN
有效锌含量 (mg/kg)	5.0	0.1	1.6	0.8	47.4	LN
有效铜含量 (mg/kg)	12.9	0.2	3.1	2.2	73.0	LN
有效铁含量 (mg/kg)	155.1	1.4	33.4	27.9	83.7	LN

注:N 表示正态分布;LN 表示对数正态分布。

2.2 土壤质量评价最小数据集

采用主成分分析法选取 4 个特征值大于 1 的主成分,累积贡献率达到 62.387% (表 2)。基于高载荷指标选取原则,确定全氮含量、CEC、有效铁含量、有机质含量、pH 值、有效锌含量 6 项指标构建研究区土壤质量评价的最小数据集。6 个因子相关性均小于 0.6,表明冗余较小地代表了黑土地区土壤的特性。其中,全氮含量和 pH 值是影响研究区土壤质量的重要因素,权重分别为 0.187、0.185,有效锌含量的贡献率最低,为 0.129。

2.3 基于 MDS 的长春市耕地土壤质量评价

研究区强酸、强碱性对土壤质量均有较大的负效应,pH 值属于 PL 隶属度型函数。CEC、全氮含量、有效铁含量、有机质含量、有效锌含量对土壤质量均具有积极作用,属于 UL 隶属度型函数。根据各因子线性得分及权重采用公式(1)至(3)计算研究区耕地土壤质量。基于计算结果,采用 ArcGIS 10.0 中普通克里金的空间插值模型实现土壤质量的空间化

(图 2)。结合文献资料和区域特点将研究区土壤评价结果划分为 5 级,其阈值分级见表 3。一级耕地土壤质量最高,最适宜农业生产。从 1~5 级,土壤质量指数值越来越小,对植物生长适宜性逐渐下降,而对植物生长的障碍程度逐步上升^[2]。

土壤质量评价结果(表 4)表明,研究区内土壤质量条带状分布特征明显,其中 1 级土壤占总面积的 4.64%,主要分布在研究区中部,位于西部平原和东部丘陵的交界处,在长春市郊区和德惠境内有成片分布;2 级土壤面积为 5 331 hm²,占总面积的 31.04%,分布上沿 1 级土壤向外延伸,集中分布在榆树、德惠和长春郊区。1 级和 2 级土壤分布区地处松辽平原腹地,地势平坦,境内水资源丰富。3 级土壤面积为 7 156 hm²,是各级土壤中面积最大的,占总面积的 41.66%,大面积分布在 3 级土壤的两侧及研究区西南角。4 级土壤面积为 3 200 hm²,占总面积的 18.63%,集中分布在农安及德惠东部。5 级土壤面积最小,为 694 hm²,占总面积的 4.04%,仅

表 2 主成分荷载矩阵及确定的指标权重

指标	荷载值				最小数据集(MDS)	
	PC1	PC2	PC3	PC4	公因子方差	权重
CEC	0.743	0.088	-0.355	-0.013	0.681	0.162
pH 值	0.275	0.308	-0.569	0.285	0.775	0.185
有机质含量	0.421	-0.201	0.571	0.061	0.736	0.175
全氮含量	0.827	-0.006	0.057	0.048	0.783	0.187
碱解氮含量	0.282	-0.037	0.505	-0.471		
有效磷含量	-0.022	0.622	0.330	0.217		
速效钾含量	0.312	-0.597	0.279	0.386		
缓效钾含量	0.599	-0.045	0.082	-0.320		
有效锌含量	0.017	0.345	0.509	0.573	0.543	0.129
有效铜含量	0.573	0.568	-0.145	0.003		
有效铁含量	-0.215	0.718	0.294	-0.293	0.677	0.161
特征值	2.399	1.848	1.594	1.022		
贡献率	21.806	16.798	14.490	9.293		
累计贡献率	21.806	38.604	53.094	62.387		

注:下划线数字为各主成分中的高因子荷载指标。

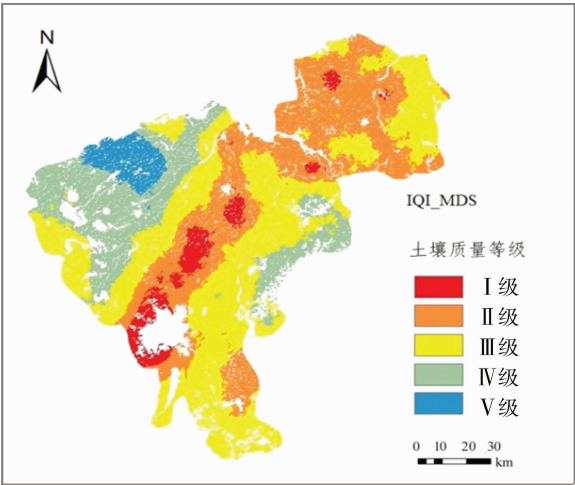


图2 基于 MDS 指标体系的长春市耕地土壤质量分级

表 3 土壤质量分级标准

土壤质量等级	土壤质量指数 IQI 的 MDS
I	>0.67
II	0.63 ~ 0.67
III	0.55 ~ 0.63
IV	0.50 ~ 0.55
V	<0.50

表 4 最小数据集下长春市耕地土壤质量分级

土壤质量等级	面积 (hm ²)	面积比 (%)
I	797	4.64
II	5 331	31.04
III	7 156	41.66
IV	3 200	18.63
V	694	4.04

分布在农安县北部。总体来说,土壤质量较高,1~3 级土壤所占面积占研究区总面积的 75% 以上。以长春市郊区、德惠县、榆树县一线土壤质量最好,由此线向西北、东南方向土壤质量逐渐下降。从各区域土壤 IQI 平均状况来看,德惠县平

均值最高,农安县最低(表 5)。德惠县内中部饮马河自北向南纵贯全县,由于中部地势平坦,水源充足,为黑土和草甸土集中分布的地区,耕地质量较高,多为 1 级和 2 级耕地,由此向西北和东南耕地质量有所下降。农安县虽然由于耕地面积广大而产量较高,但近年来沙化、盐碱化日益加重,尤其是北部和西北部土壤退化严重^[15~16],除东南部耕地质量较高外,耕地土壤质量普遍较低。

表 5 最小数据集下长春市各县(市、区)平均耕地土壤质量指数

县(市)	IQI
长春市郊区	0.639
双阳区	0.621
九台市	0.568
德惠市	0.644
农安县	0.538
榆树市	0.634

2.4 MDS 评价结果的可靠性检验

最小数据集评价结果能够在多大程度上反映全数据集的评价结果,须对其进行验证。本研究对最小数据集和全数据集的土壤质量指数进行回归分析,对最小数据集评价结果的可靠性进行了验证^[10]。从线性回归分析结果(图 3)可知,两者线性显著相关($r^2=0.801, P=0.001$),表明研究区内所选的最小数据集能较好地代替全数据集来反映区域土壤质量。

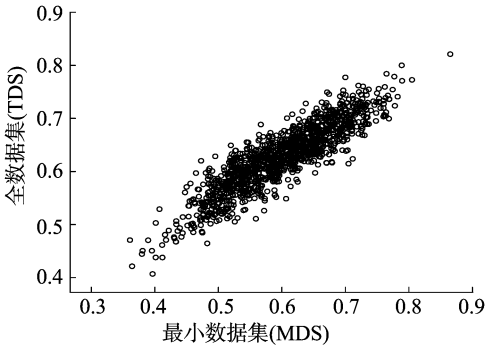


图3 MDS 和 TDS 土壤质量指数线性拟合

2.5 环境特征对土壤质量的影响

采用方差分析法(ANOVA)分析了土壤类型、成土母质、地形及气候对土壤质量的作用。结果(表6)表明,土壤类型($F=88.501, P<0.001$)、成土母质($F=25.945, P<0.001$)、高程($F=11.057, P<0.001$ 、年降水量($F=596.087, P<0.001$)和 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温($F=127.148, P<0.001$)均对土壤质量的影响作用显著。

土壤类型方差分析(表6)中,水稻土的土壤质量指数最大,为0.660;黑土(0.647)次之;黑钙土和风沙土土壤质量指数较低,土壤质量指数分别为0.569、0.506。黑土和黑钙土的标准差最小,均为0.047,而草甸土(0.061)、风沙土(0.059)和水稻土(0.057)标准差较大。

表6 不同环境因素下土壤质量指数

因素	分类	IQI	标准差
土壤类型	黑土	0.647a	0.047
	暗棕壤	0.612ac	0.051
	黑钙土	0.569c	0.047
	风沙土	0.506b	0.059
	草甸土	0.641a	0.061
	白浆土	0.637a	0.050
	水稻土	0.660a	0.057
成土母质	风沙沉积物	0.491b	0.048
	黄土母质	0.628a	0.058
	冲积母质	0.632a	0.064
	湖积母质	0.642a	0.071
	坡积母质	0.615a	0.044
DEM	<200 m	0.631a	0.059
	$\geq 200\text{ m}$	0.618b	0.068
年降水量	<550 mm	0.610a	0.067
	$\geq 550\text{ mm}$	0.647b	0.049
$\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温	<2 900 $^{\circ}\text{C}$	0.650a	0.050
	$\geq 2\text{ }900\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.572b	0.054

注:同一因素下相同小写字母表示差异不显著,不同小写字母表示差异显著。

成土母质的土壤质量指数由大到小排序为湖积母质>冲积母质>黄土母质>坡积母质>风沙沉积物,标准差由大到小排序为湖积母质>冲积母质>黄土母质>风沙沉积物>坡积母质,可以看出,风沙沉积物发育的土壤质量普遍较低,由湖积母质和冲积母质发育而来的土壤质量虽然较高,但标准差较大,说明土壤质量受自然因素或人为因素影响区域变异性较大。

研究区地势相对平坦,坡度极缓,仅以高程200 m作为阈值将研究区划分成2组:DEM<200 m和DEM $\geq 200\text{ m}$,两区域土壤质量指数分别为0.631、0.618,标准差分别为0.059、0.068。相比较高程较低区域土壤质量较高,区域分布较均衡。

气候通过降水、温度和光照驱动着土壤物质的转化和运动,影响人类对土壤的利用方式^[6]。以550 mm和2 900 $^{\circ}\text{C}$ 分别作为年降水和 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温的阈值进行分组。结果表明,气温和降水量对土壤质量具有显著影响,年降水量 $\geq 550\text{ mm}$ 地区和 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温<2 900 $^{\circ}\text{C}$ 的地区土壤质量普遍较高,区域变异性小,主要分布在1~3级土壤,年降水量<550 mm

和 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温 $\geq 2\text{ }900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 地区以4、5级土壤为主。

3 结论与讨论

3.1 结论

东北黑土区是我国重要粮食生产基地,开展土壤质量评价,在此基础上发展适宜性管理是黑土可持续利用及保障区域粮食安全的前提和基础。研究耦合GIS空间分析和主成分分析法筛选最小数据集,对长春市耕地土壤质量展开评价,并分析土壤环境因素对区域土壤质量分异的影响。得到以下主要结论:(1)最小数据集在一定程度上能降低参评因子的数量,减少数据冗余。所确定的全氮含量、CEC、有效铁含量、有机质含量、pH值、有效锌含量6个指标能够较好地反映区域尺度耕地土壤质量。(2)长春市地处东北黑土带,土壤质量总体水平较高,1~3级质量的耕地面积占总面积的77.34%。土壤质量较好的耕地主要集中在长春市郊区、德惠县、榆树县一线,土壤质量由此线向西北、东南方向逐渐下降,质量最低的土壤分布在农安县西北部。各县(市、区)耕地土壤平均状况由高到低依次为德惠县>长春市郊区>榆树县>双阳区>九台县>农安县。(3)土壤类型、成土母质、地形和气候因素对长春市土壤质量影响显著。水稻土土壤质量最高,风沙土最低,区域差异性均较大;黑土土壤质量整体较高,差异性较小。由湖积母质发育而形成的土壤质量最高,由风沙沉积物发育而来的土壤质量最差。研究区内高程与土壤质量呈极显著相关关系。年降水量 $\geq 550\text{ mm}$ 的地区和积温<2 900 $^{\circ}\text{C}$ 的地区土壤质量较高,区域变异性较小。

3.2 讨论与结论

国内外学者已在亚热带、湿润带地区对盐碱地、水稻土、白浆土等土壤类型下的农业用地构建了最小数据集的评价指标^[4,17]。所建立的最小数据集中,土壤容重、pH值、团聚体平均质量直径、有机质含量、全氮含量、钠吸附比、黏粒、有效含水率、有效磷含量和有机碳含量为使用频率最高的10个指标^[18],其中全氮、有机质含量和pH值均为高贡献因子。本研究在全数据集的指标在其他地区农业用地评价中均有所使用,针对典型黑土区所确定的全氮含量、CEC、有效铁含量、有机质含量、pH值、有效锌含量6个指标能够较好地反映区域尺度耕地土壤质量。所建立的最小数据集中全氮含量和pH值对土壤质量贡献率较大,有效锌和有效铁含量虽然贡献率较小,但最小数据集中微量元素的人选表明微量元素对于农业生产和耕地肥力具有重要指示作用。

长春市地处东北黑土带,土壤质量总体水平较高,这与已有研究结果^[12]是一致的。同时,长春又是哈长城市群的核心城市,2000年东北振兴以来城市化迅速发展。研究发现,长春市郊区耕地质量普遍较高,由于城郊土地的高附加价值和经济效益远远大于耕地的生产价值,随着快速城市化很多高质量的耕地被侵占,使得高质量土壤资源遭到破坏。如何协调快速城市化与粮食安全之间的矛盾是未来区域面临的重要问题。

土壤质量受人类活动与环境因素的共同作用,其中环境因素作用相对稳定^[19]。研究结果表明,土壤类型、成土母质、地形和气候因素等与研究区内土壤质量均显著相关。黑土和水稻土虽然平均土壤质量均较高,但水稻土质量变异系数较

大。研究区近年来旱田改水田面积持续增加^[20],虽然大面积旱田改水田可以提高产量和农民的收益,但由于水稻土变异性较大,从长远来看土壤的稳定性也被破坏,不利于黑土区农业的可持续发展。成土母质决定着土壤的矿物成分、质地和类型,进一步影响土壤抗蚀性和土壤质量水平,控制土壤利用的方向和改良途径^[21]。本研究表明,由湖积母质发育而形成的土壤质量最高,由风沙沉积物发育而来的土壤质量最差,该结果与已有研究结果^[22]相一致。海拔和坡度等地形因素通过影响地表的水热分配和物质堆积在分布和运动方向、速度等上的差异而对土壤质量产生影响^[23]。有研究表明,土壤质量受地形变化影响显著,且坡度对土壤质量的影响大于高程^[24]。但研究区坡度平缓,高程与土壤质量呈极显著相关关系。东北为典型旱作雨养农业,有研究表明,东北黑土区土壤水分的补给和补给程度取决于年降水量和年内降水的分布,降水对东北旱作土壤具有重要意义^[25]。积温高可以延长作物生长周期,对于寒地土壤来说也会减少有机质的累积,导致土壤质量下降,温度与作物生长并不呈线性关系。

本研究仅考虑了空间上耕地土壤质量的差异而未考虑时间上耕地质量的变化;没有对影响土壤质量的人为因素进行分析。今后还应开展土壤指标的长期、大尺度、动态监测,在系统、全面评价的结果基础上遴选在黑土区土壤质量评价中具有普适性的最小数据集,推进土壤质量评价的标准化。

参考文献:

- [1] Bindraban P S, Stoorvogel J J, Jansen D M, et al. Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield gap and soil nutrient balance [J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2000, 81(2): 103–112.
- [2] Qi Y B, Darilek J L, Huang B, et al. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China [J]. *Geoderma*, 2009, 149(3/4): 325–334.
- [3] Takoutsing B, Weber J, Aynekulu E, et al. Assessment of soil health indicators for sustainable production of maize in smallholder farming systems in the highlands of Cameroon [J]. *Geoderma*, 2016, 276: 64–73.
- [4] Guo L L, Sun Z G, Ouyang Z, et al. A comparison of soil quality evaluation methods for Fluvisol along the lower Yellow River [J]. *Catena*, 2017, 152: 135–143.
- [5] Schwilch G, Bernet L, Fleskens L, et al. Operationalizing ecosystem services for the mitigation of soil threats: a proposed framework [J]. *Ecological Indicators*, 2016, 67: 586–597.
- [6] Bünemann E K, Bongiorno G, Bai Z G, et al. Soil quality—a critical review [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2018, 120: 105–125.
- [7] 李桂林, 陈杰, 孙志英, 等. 基于土壤特征和土地利用变化的土壤质量评价最小数据集确定 [J]. *生态学报*, 2007, 27(7): 2715–2724.
- [8] Andrews S S, Karlen D L, Mitchell J P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2002, 90(1): 25–45.
- [9] Imaz M J, Virto I, Bescansa P, et al. Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi-arid Mediterranean cropland [J]. *Soil & Tillage Research*, 2010, 107(1): 17–25.
- [10] 邓绍欢, 曾令涛, 关强, 等. 基于最小数据集的南方地区冷浸田土壤质量评价 [J]. *土壤学报*, 2016, 53(5): 1326–1333.
- [11] 满卫东, 刘明月, 李晓燕, 等. 1990—2015 年三江平原生态功能区生态功能状况评估 [J]. *干旱区资源与环境*, 2018, 32(2): 136–141.
- [12] Li X Y, Li H Y, Yang L M, et al. Assessment of soil quality of croplands in the corn belt of northeast China [J]. *Sustainability*, 2018, 10(1): 248.
- [13] Sun B, Zhou S L, Zhao Q G. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China [J]. *Geoderma*, 2003, 115: 85–99.
- [14] 刘占锋, 傅伯杰, 刘国华, 等. 土壤质量与土壤质量指标及其评价 [J]. *生态学报*, 2006, 26(3): 901–913.
- [15] 张素梅, 王宗明, 张柏, 等. 利用地形和遥感数据预测土壤养分空间分布 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26(5): 188–194.
- [16] 李永东. 安安县耕地质量监测研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [17] Yu P J, Liu S W, Zhang L, et al. Selecting the minimum data set and quantitative soil quality indexing of alkaline soils under different land uses in northeastern China [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 616–617: 564–571.
- [18] 金慧芳, 史东梅, 陈正发, 等. 基于聚类及 PCA 分析的红壤坡耕地耕层土壤质量评价指标 [J]. *农业工程学报*, 2018, 34(7): 155–164.
- [19] 王丹, 宋轩, 陈杰. 基于环境因子的土壤养分预测制图——以河南省封丘县为例 [J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(4): 277–280.
- [20] 贾树海, 张佳楠, 张玉玲, 等. 东北黑土区旱田改稻田后土壤有机碳、全氮的变化特征 [J]. *中国农业科学*, 2017, 50(7): 1252–1262.
- [21] 王秋兵, 韩春兰, 丁玉荣, 等. 用于大比例尺土壤调查的侵蚀分级指标研究——以辽宁西部低山丘陵区为例 [J]. *水土保持研究*, 2006, 13(3): 111–114.
- [22] 杨艳丽, 史学正, 于东升, 等. 区域尺度土壤养分空间变异及其影响因素研究 [J]. *地理科学*, 2008, 28(6): 788–792.
- [23] 秦松, 樊燕, 刘洪斌, 等. 地形因子与土壤养分空间分布的相关性研究 [J]. *水土保持研究*, 2008, 15(1): 275–279.
- [24] Wang Z M, Zhang B, Song K S, et al. Soil organic carbon under different landscape attributes in croplands of Northeast China [J]. *Plant Soil & Environment*, 2008, 54(10): 420–427.
- [25] 邹文秀, 韩晓增, 江恒, 等. 东北黑土区降水特征及其对土壤水分的影响 [J]. *农业工程学报*, 2011, 27(9): 196–202.