

黑龙江省松嫩平原南部表层土壤肥力质量评价研究

徐晓嘉, 雷国平, 张 慧, 王元辉

(东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘 要: 对土壤肥力质量进行定量化评价是为了准确了解土壤肥力状况, 进而通过合理施肥, 保障土壤养分均衡, 实现粮食高产稳产。以黑龙江省松嫩平原南部 8.15 万 km² 范围表层土壤为研究对象, 按照 1 个点/km² 的密度采集表层土壤样品 20 929 件, 应用地理信息系统(GIS)的 Kriging 插值方法, 对研究区内土壤元素含量进行空间变异特征分析, 并在考虑 pH 值对各元素有效性的影响后, 选取评价指标, 利用层次分析法确定指标权重, 选取隶属度函数模型, 采用加法模型得到表层土壤肥力质量综合指数, 制作 1: 200 万表层土壤肥力分等图。结果表明, 研究区表层土壤元素空间变异性主要受自然因素影响, 土壤肥力质量划分为丰富、适量和缺乏三个等级, 分别集中分布于研究区中部、东部和西部。

关键词: 土壤肥力; 地球化学; 空间变异; 松嫩平原

中图分类号: S153.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)05-0268-05

Study on Surface Soil Fertility Quality Evaluation of the Southern Songnen Plain in Heilongjiang Province

XU Xiao-jia, LEI Guo-ping, ZHANG Hui, WANG Yuan-hui

(College of Resource and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Quantitative evaluation of soil fertility quality is the accurate way to understand soil fertility status. And then through the rational fertilization to protect the soil nutrient balance is to achieve high and stable yields of grain. 20 929 soil samples, each square kilometer with one sample point from 81.5 thousands square in the southern Songnen plain in Heilongjiang province are collected. The spatial variation characteristics of all elements were analyzed by the geographic information system Kriging method, considering the effect of pH on the validity of each element. We chose evaluating indexes and use AHP to determine their weights and select the membership function model; the soil fertility quality comprehensive indexes were calculated by the additive model. 1: 200 000 fertility grading figures were produced. The results show that the spatial variability of the elements in surface soil of the research area mainly are affected by natural factors. Soil fertility quality is divided into rich, modest, and the lack 3 grades, mainly distributed in central, eastern and western of the research area.

Key words: soil fertility; geochemistry; spatial variability; Songnen plain

土壤肥力质量是土壤提供植物养分和生产生物物质的能力, 是保障粮食生产的根本^[1]。土壤肥力质量主要取决于土壤的自然组成部分, 同时也受到来自利用管理等人类行为的影响。作为一个复杂的功能实体, 土壤肥力质量不能够直接测定, 而是主要取决于其地理位置、土壤类型以及土壤本身各种元素间的相互作用, 因此, 对影响土壤肥力质量的各种元素进行空间变异特征分析后, 通过定量的土壤肥力质量指

标来计算得到土壤肥力质量等级, 能够更加直观地揭示土壤养分含量及肥力质量分布状况。近年来采用数学的方法对土壤肥力质量进行数量化评价, 取得了一定的效果, Fuzzy 综合评判法、指数法和聚类分析法、灰色关联分析法等方法的研究与应用, 使土壤肥力质量的研究取得了显著进展^[2]。同时, 土壤空间变异性研究越来越受到人们的重视, 特别是在土壤养分的管理上, 以精准农业为中心的养分管理正成为土壤

收稿日期: 2010-03-25

资助项目: 国土资源部地质大调查项目(1212010511217-04)

作者简介: 徐晓嘉(1986-), 女, 黑龙江人, 硕士研究生, 主要从事土地利用规划、土地质量评价研究。E-mail: xuxiaojia@live.cn

通信作者: 雷国平(1963-), 男, 黑龙江人, 博士生导师, 主要从事土地利用变化、土地利用规划、国土资源遥感调查与评价。E-mail: Guopin-
glei@126.com

养分管理研究的重点^[3]。

松嫩平原位于东北平原的中部, 是我国最好的一熟作物种植区和国家最为重要的商品农业基地之一, 该地区的粮食生产对于保障国家粮食安全具有举足轻重的地位^[4]。本文选取黑龙江省松嫩平原南部地区表层土壤作为研究对象应用地理信息系统软件对研究区内土壤肥力元素全量进行空间变异特征分析, 利用隶属度函数模型和加法模型对研究区表层土壤进行肥力质量综合评价, 以期能够为研究区土地合理施肥、实现精准农业以及进行区域内县级土地质量评价提供借鉴。

1 研究区概况

研究区位于黑龙江省松嫩平原南部, 地理坐标为东经 $122^{\circ}25' - 127^{\circ}45'$, 北纬 $45^{\circ}35' - 48^{\circ}00'$, 总面积为 8.15 万 km^2 。该区地处中纬度亚洲大陆东岸, 属于中温带。冬季在极地大陆气团控制下, 气候严寒干燥; 夏季受副热带海洋气团的影响, 降水集中, 气候温暖湿润, 具有明显的大陆性季风气候特征, 因而一年中的太阳高度角变化及各季节间的太阳辐射量的变化均较大, 致使气候年变化大, 四季分明, 冬季漫长而严寒, 夏季短促而炎热。研究区内共有土壤类型 9 种, 分别是暗棕壤、白浆土、黑土、黑钙土、草甸土、沼泽土、碱土、风砂土、水稻土, 其中以黑土、黑钙土和草甸土为主, 这三类土壤约占松嫩平原区面积的 90% 以上。

2 土壤样品采集及数据分析

2.1 土壤样品采集

土壤样品采集的工作比例尺为 $1:250\,000$, 采样点以 1 个点/km^2 的密度按照网格化布置, 按 $0 - 20 \text{ cm}$ 的采样深度采集表层土壤样本 $20\,929$ 件。采样点分布如图 1 所示。

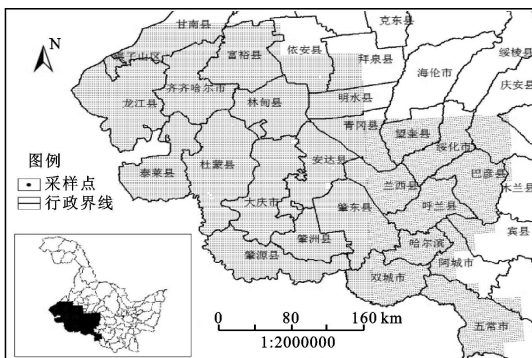


图 1 样点分布图

绘、采样记录、重复样采集、样品重量、样品加工、样品分析及质量监控等各项内容均按照中国地质调查局《多目标区域地球化学调查规范 ($1:250\,000$)》DD2005-01^[5] 中土壤表层样品规范的要求进行。应用 X 射线荧光光谱法等方法对 18 种土壤肥力元素全量进行分析。

2.2 土壤元素空间变异特征分析

土壤作为历史自然体, 受气候、生物、母质、地形、成土时间等成土因素的影响, 具有复杂性和时空变异性, 其随空间位置发生的变化, 被称为土壤的空间变异^[6]。

应用 Kriging 插值方法, 分别为各元素全量选择拟合状况最好的变异函数模型对其进行空间统计分析。模型选择合适与否的判断标准为: 预测误差的均值越接近于 0, 标准均方根预测误差越接近于 1, 其他值越小时, 其模型拟合状况越好^[7]。

表 1 为应用球形、高斯和指数等模型, 对研究区内表层土壤元素全量进行模型拟合所得到的相应参数。其中块金值 C_0 通常反映由实验误差和小于取样尺度的施肥、作物种植、管理水平等随机性因素引起的变异, 结构方差 C 是由土壤母质、地形、气候等区域性因素引起的变异, 变程 a 反映了变量空间自相关的尺度, 块基比 $C_0/C_0 + C$ 则反映变量的空间自相关程度, 块基比越小, 说明元素具有越显著的空间自相关性。即利用该元素的原始数据和半方差函数的结构性, 对未采样点区域化变量的取值进行线性无偏估值的效果越理想。

由表 1 可看出松嫩平原南部表层土壤绝大部分元素全量的变异受人为因素干扰情况较少, 而主要是受其土壤母质、地形、气候等自然因素的影响。

3 土壤肥力质量评价指标体系构建

研究区表层土壤肥力指标的筛选、指标权重的赋值、隶属度函数的选择计算以及肥力等别的划分, 均参照中国地质调查局《土地质量地球化学评价技术要求(试行)》DD2007-XX^[8] 的标准, 按照植物生长对土壤元素的不同需求, 将所有元素分为必需大量、必需中量、必需微量和有益元素 4 个指标层。同时, 考虑到研究区内表层土壤 pH 值偏高, 土壤盐碱化严重, 在评价指标的筛选过程中, 将 pH 值对元素有效量的干扰列为筛选评价指标的另一要因, 对各元素全量进行综合分析。

3.1 评价指标的筛选

按照第二次土壤普查养分分级标准将 N, P, K, Corg 4 种元素全量划分为六级; 采用全国土壤背景值

土壤样品的编号、采样深度、采样方法、定点与标

(A 层)顺序统计量的 25%, 50%, 75%, 90% 作为分级标准, 将 Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl, Si, Co, Ni, Na 共 14 种元素全量划分为五级。按照以上

分级统计判断各元素含量丰缺度, 结合 pH 值对肥力元素有效性的影响, 综合考虑各元素空间自相关性以及元素间相关性选取评价指标。

表 1 黑龙江省松嫩平原南部表层土壤指标空间变异特征统计

元素	模型	块金值 C_0	结构方差 C	基台值 $C_0 + C$	$C_0 / C_0 + C / \%$	最大变程 a
N	球形	104500	268800	373300	28	167.8
P	球形	7900	4900	56900	13.9	455.2
K	球形	0.015	0.0318	0.0468	32.1	96.4
Corg	高斯	0.159	0.319	0.478	33.3	185.1
Ca	球形	1.41	6.033	7.443	18.9	114.7
Mg	球形	0.0544	0.1734	0.2278	23.9	131.8
S	球形	3450	8060	11510	30.0	112.2
Fe	球形	0.198	1.379	1.577	12.6	190.4
Mn	指数	7400	58500	65900	11.2	504
Zn	指数	32.1	265.2	297.3	10.8	373.8
Cu	球形	6.61	20.07	26.08	24.8	178.4
B	指数	32.2	70.65	102.85	31.3	858.6
Mo	球形	0.01469	0.0215	0.03628	40.5	509.3
Cl	指数	13	121.12	134.12	9.7	23.7
Si	球形	6.53	26.67	33.2	19.7	98.2
Co	球形	1.56	9.19	10.75	14.5	166.2
Ni	球形	8.1	43.32	51.42	15.8	159.5
Na	球形	0.0746	0.2346	0.3092	24.1	209.9

必需大量元素中 P 元素全量为严重缺乏, Corg 次之; P 元素全量具有强烈的空间自相关性; P 元素全量在 $6 \leq \text{pH} \leq 7$ 时其有效量最高, 最易被植物所吸收, 而当 pH 值低于或高于此阈值范围时, P 元素有效量开始不断降低, 不易被植物吸收。研究区内仅有 19.61% 的 P 元素处于有效量最佳, 即从植物营养供给的角度分析, P 元素处于严重缺乏状态; 最后参考各必需大量元素间的相关关系, 最终确定必需大量元素中 P 和 Corg 为参评指标。

必需中量元素中 S 元素全量相对缺乏; Ca, Mg 元素全量具有强烈的空间自相关性, S 元素全量具有中等空间自相关性; 仅有不到 50% 的 Ca, Mg 元素全量处在 $6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$ 的有效量最佳状态, 而 S 元素有效量则受 pH 值干扰较小; 最后考虑到 S 与 Ca 之间相关性十分低, S 与 Mg 之间相关性较高, 因此, 确定 S 和 Ca 为参评指标。

必需微量元素中 Zn, Cu, B, Mo 等元素全量缺乏区面积占到了 50% 以上, 为较严重缺乏; Fe, Mn, Zn, Cu, Cl 等元素全量均具有强烈的空间自相关性, 全量 B, Mo 两元素则具有中等空间自相关性; 全量的 Fe, Mn, Zn, Cu 四种元素, 只有 19.61% 的样本处于 $6 \leq \text{pH} \leq 7$ 的有效量最佳阈值范围内, 在极强酸的土壤中, 其可溶性变大, 而使植物受到毒害, 在石灰性和碱性土壤中植物又往往发生缺乏现象, 全量的 B 元素

只有不到 25% 的样本处于 $5 < \text{pH} \leq 7$ 的有效量最佳阈值范围, 而全量的 Mo 元素受 pH 值影响则较小; 处于有效量最大状态; 最后考虑到以上各必需微量元素间相相关关系, 最终确定参评指标为 Mo, B, Fe, Cl。

有益元素中只有 Co 和 Ni 相对较为缺乏; 各元素均具有强烈的空间自相关性; 参考各有益元素间相关关系, 可知 Co, Ni 相关性极高; Si 和 Na, Co 为一般相关, Si 与 Ni 相关性稍高; Na 与 Ni, Co 的相关性均较高。最终确定 Co, Na 为参评指标。

通过以上综合分析, 最终选取对研究区土壤肥力质量影响至关重要的元素作为评价指标, 分别是必需大量元素中 P 与 Corg; 必需中量元素中的 S 与 Ca; 必需微量元素中的 Mo, B, Fe 和 Cl; 有益元素中的 Co 与 Na, 共 10 种元素。

3.2 评价指标权重的确定

结合研究区表层土壤元素的丰缺度分布特征及空间变异性, 采用经验法和层次分析法对各指标进行权重赋值。将选取的评价指标构建递阶层次结构, 参考相关研究中的指标权重值, 由下及上对各判断矩阵中的评价指标进行影响程度的两两比较, 由判断矩阵计算得到所比较元素的单层次权重, 并由准则层权重和指标层权重计算得到评价指标的最终组合权重值, 结果如表 2。

表 2 土地地球化学评价不同层次指标权重

目标层	土壤肥力									
准则层	必需大量元素		必需中量元素		必需微量元素				有益元素	
准则层权重	0.4038		0.4038		0.1529				0.0395	
指标层	P	Corg	S	Ca	Mo	B	Fe	Cl	Co	N
指标层权重	0.5	0.5	0.1667	0.8333	0.0989	0.4156	0.4156	0.0699	0.875	0.125
组合权重	0.2019	0.2019	0.0673	0.3365	0.0151	0.0635	0.0635	0.0107	0.0347	0.0049

经检验, 中间层要素判断矩阵的一致性比例 $CI = 0.0123 < 0.1$; 必需大量元素判断矩阵的一致性比例 $CI = 0.0000 < 0.1$; 必需中量元素判断矩阵的一致性比例 $CI = 0.0000 < 0.1$; 必需微量元素判断矩阵的一致性比例 $CI = 0.0226 < 0.1$; 有益元素判断矩阵的一致性比例 $CI = 0.0000 < 0.1$ 。各判断矩阵均符合一致性检验。

3.3 隶属度函数计算

首先进行评价指标的标准化处理, 为使评价的因子具有可比性, 需要对评价因子进行无量纲的标准化处理^[9]。根据参评元素与土壤肥力质量成正相关关系, 选择戒上型隶属度模型对各评价指标值进行标准化, 隶属度函数曲线如图 2 所示。

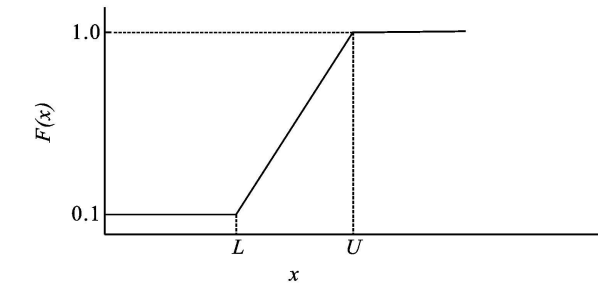


图 2 松嫩平原南部表层土壤肥力指标的隶属度函数曲线
相应的隶属度函数为

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & x \geq U \\ 0.1 + 0.9(x - L)/(U - L) & L < x < U \\ 0.1 & x \leq L \end{cases} \quad (1)$$

式中: U ——评估指标的上限值; L ——评估指标的下限值; x ——评估指标的测定值。

当规定测定值高于 U 时 $f(x) = 1.0$, 表明该评价指标值能完全满足植物生长所需肥力; 当规定测定值低于 L 时 $f(x) = 0.1$, 表明该评价指标对植物生长已表现不出肥力。

对各元素全量进行异常剔除后, 应用累计频率曲线法按照 20%, 40%, 60%, 80% 的累积频率值进行指标分级, 分别确定 20% 和 80% 的累积频率值为界限值 L 和 U 。

3.4 土壤肥力质量综合指数确定

应用隶属度函数模型计算结果和各元素权重阈值, 采用加法模型, 对各评价指标的实测值进行权重

和隶属度计算, 获得最终的表层土壤肥力质量地球化学评价综合指数。

$$P = \sum_{i=1}^n f_i \times C_i \quad (2)$$

式中: P ——表层土壤肥力质量地球化学评价的综合指数; f_i ——第 i 个评价指标的隶属函数值; C_i ——第 i 个评价指标的权重。

为实现土壤肥力质量评价结果的全国可比, 参照中国地质调查局《土地质量地球化学评价技术要求(试行)》DD2007-XX^[8] 中对土壤肥力质量等的划分标准, 以 0.3 和 0.7 为等别分界值, 将表层土壤肥力质量分为三等。并与黑龙江省行政区划图叠加, 生成 1: 200 万的表层土壤肥力质量评价等别分布图, 如图 3 所示。

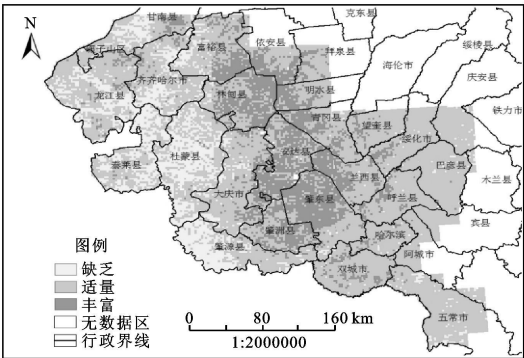


图 3 松嫩平原南部表层土壤肥力质量评价等别分布图

其中, 肥力质量为丰富等的土壤占研究区总面积的 19.19%, 适量等占 64.56%, 缺乏等占 16.25%。从表层土壤肥力质量的分布中可以看出, 表层土壤肥力丰富等主要集中在研究区中部, 其他区域也有零星分布, 肥力适量等主要围绕肥力丰富等分布, 集中于研究区东部区域内, 肥力缺乏等则较零散地分布于研究区西侧, 其中以肇源县西侧和杜蒙县分布较为集中。

4 结论

应用地理信息系统软件的统计分析和空间 Kriging 插值功能, 对研究区表层土壤元素地球化学特征进行了分析, 了解各元素的含量丰缺度和空间变异性特征, 研究表明, P, Corg, Zn, B, Mo 等元素为严重缺乏, Si 元素含量丰富, 其他元素含量较为适中; 研究区

内各元素均具有自相关性,其中 Mo 元素块基比最大为 40.5%,仍具有中等自相关性,说明研究区内各养分元素的变异受自然因素的影响较大。

将 pH 值对各元素有效性的影响,一同作为指标筛选的判断依据,避免了只考虑元素全量丰缺度造成的指标选择偏差。同时应用地理信息系统与数学模型相结合的方法,对表层土壤肥力质量进行评价,使得量化的评价过程更加直观,评价结果更加客观和具有参考价值。

将松嫩平原南部表层土壤肥力质量划分为 3 个等别,肥力丰富等占研究区面积的 19.19%,肥力适量等占 64.56%,肥力缺乏等占 16.25%。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 颜雄,张杨珠,刘晶.土壤肥力质量评价的研究进展[J].

湖南农业科学,2008(5):82-85.

- [3] 赵颖丽,吴克宁,黄勤,等.乡级土壤有效态元素空间变异特征及质量评价[J].农业工程学报,2008,24(1):48-52.
- [4] 王宗明,张柏,宋开山,等.松嫩平原土地利用变化对区域生态系统服务价值的影响研究[J].中国人口·资源与环境,2008,18(1):149-154.
- [5] 中国地质调查局.《多目标区域地球化学调查规范(1:250000)》(DD2005-01)[S].北京:中国地质调查局,2005:3-19.
- [6] 李亮亮,依艳丽,凌国鑫,等.地统计学在土壤空间变异研究中的应用[J].土壤通报,2005,36(2):265-268.
- [7] 陈彦,吕新.基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究[J].中国农学通报,2005,21(7):289-405.
- [8] 中国地质调查局.《土地质量地球化学评价技术要求(试行)》(DD2007-XX)[S].北京:中国地质调查局,2007:8-10.
- [9] 贾士靖,杨广林.创业农场农田土壤肥力评价[J].农业系统科学与综合研究,2003,19(2):142-144.

(上接第 264 页)

3.5 充分发挥媒体宣传监督作用,提高公众耕地保护意识

当今社会,报纸、电视和网络等媒体的力量变得越来越强大,任何社会事件,当媒体介入之后,在引起公众高度关注的同时而得以快速解决。在城镇过程中的耕地保护问题应该成为媒体关注的重点,各级土地行政主管部门应该定期将本行政辖区内的耕地违法案件的查处情况向媒体公布,同时通过媒体向全社会宣传我国实行耕地保护政策的重要性和迫切性,使公众形成“保护耕地就是保护我们的生命线”的共识。发挥群众的监督作用,走全民保护耕地的路线。

参考文献:

- [1] 郗静,曹明明,雷敏.城市经济发展与耕地保护规模研究:以西安市为例[J].西北大学学报:自然科学版,2009,39(2):298-302.
- [2] 王万茂,韩桐魁.土地利用规划学[M].北京:中国农业出版社,2002.
- [3] 秦明周.耕地保护制度、绩效与案例[M].北京:科学出版社,2009.
- [4] 周新记,黎伟,李阳阳.从城市建设征用土地看农民权益的保护[J].法制与社会,2009(19):290.
- [5] 陈多长.中国现行土地管理体制:制度缺陷与改革思路[J].特区经济,2004(8):28-30.
- [6] 《国土资源部关于开展 2009 年度土地卫片执法检查工作的通知》(国土资发[2010]15 号)

(上接第 267 页)

参考文献:

- [1] 尹德涛,南忠仁,金成洙.矿区生态研究的现状及发展趋势[J].地理科学,2004,24(2):238-244.
- [2] 魏忠义,王秋兵.大型煤矸石山植被重建的土壤限制性因子分析[J].水土保持研究,2009,16(1):179-182.
- [3] Bai Zhongke, Shi Guangrong, Zhao Jinkui. Revegetation of mine soil on surface mine in loess area[C]//International symposium on soil, Human and environment interaction. Beijing: China Science & Technology Press, 1998:103-108.
- [4] 卞正富.国内外煤矿区土地复垦研究综述[J].中国土地科学,2000,14(1):7-11.

- [5] Baker P. Some aspects of rehabilitation at South Blackwater[J]. The Australian coal Journal, 1993,41:17-25.
- [6] Baker D. A methodology for integration materials balance and land reclamation[J]. International Journal of Shape Modeling, 1996,10:143-146.
- [7] 王志宏,李爱国.矿山废弃地生态恢复基质改良研究[J].中国矿业,2005,14(3):22-23,27.
- [8] 卞正富,许家林,雷少刚.论矿山生态建设[J].煤炭学报,2007,32(1):13-19.
- [9] 胡振琪.煤矿山复垦土壤剖面重构的基本原理与方法[J].煤炭学报,1997,22(6):617-622.
- [10] 赵陟峰,郭建斌,景峰,等.山西葛铺煤矿区废弃地植被恢复与重建技术[J].水土保持研究,2009,16(2):92-100.