

黑龙江典型农场土壤速效养分综合评价

袁泉, 唐颖, 赵鸿云, 许惠, 杨兴凤, 赵美美, 张志*

(黑龙江大学农业资源与环境学院, 黑龙江哈尔滨 150080)

摘要 以黑龙江省三江平原典型农场为例, 采集了 534 份 0~20 cm 表层农田耕层土壤样品, 进行土壤 pH、有机质、碱解氮、有效磷和速效钾等 5 个土壤养分指标的测定, 采用主成分分析法对土壤养分指标进行综合评价与分析, 得出土壤有机质和碱解氮是影响研究区土壤肥力最重要的因素, 通过土壤养分主成分综合得分线性方程, 计算不同质地土壤养分综合分值。这一研究为黑龙江农田土壤质量管理、施肥和土壤改良决策提供了科学依据。

关键词 农场; 土壤养分; 主成分分析; 综合评价

中图分类号 S158 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)13-0065-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.13.021



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Comprehensive Evaluation of Soil Available Nutrients in Typical Farms in Heilongjiang Province

YUAN Quan, TANG Ying, ZHAO Hong-yun et al (School of Agricultural Resource and Environment, Heilongjiang University, Harbin, Heilongjiang 150080)

Abstract Taking the typical farms in the Sanjiang Plain, Heilongjiang Province as an example, 534 soil samples of 0~20 cm surface farmland were collected for five soil nutrient indicators such as soil pH, organic matter, alkali-hydrolysis nitrogen, available phosphorus and available potassium. The principal component analysis method was used to comprehensively evaluate and analyze the soil nutrient indicators. It was concluded that soil organic matter and alkali-hydrolysis nitrogen were the most important influencing factors affecting the soil fertility in the study area. The comprehensive scores of soil nutrients in different textures were calculated by using the linear regression equation for the main components of soil nutrients. This study provides scientific basis for Heilongjiang farmland soil quality management, fertilization and soil improvement decision-making.

Key words Farm; Soil nutrient; Principal component analysis; Comprehensive evaluation

土壤是进行农业生产的重要资源, 土壤肥力的大小直接影响着农作物的生长和产量, 制约着农业的发展^[1]。作为土壤肥力的重要指标, 土壤养分对农作物的生长发育提供了营养条件, 对农业的可持续发展起到了重要作用^[2-3]。近年来, 由于人们对土地不合理的利用, 使耕地的生产力水平大大降低^[4-5]。此外, 频繁出现的粮食安全问题, 例如镉大米的出现, 充分证明了土壤的脆弱性。该研究为了探清黑龙江省采样区农田土壤肥力状况, 明确影响采样区土壤肥力的主要养分指标, 以黑龙江省典型农场作为研究区域, 对黑龙江农田 534 份土壤养分数据进行测定与分析, 并采用主成分分析法 (principal component analysis, PCA) 进行土壤养分综合评价。综合评价耕地土壤养分的高低, 评判土壤的肥沃程度是发展农业现代化的关键步骤^[6]。主成分分析法是重要的土壤养分评价方法^[7-9], 在土壤质量评价中得到广泛应用, 主成分分析法通过弱化各土壤养分变量间的自相关性, 形成互不相关的主成分, 计算主成分得分和综合评价得分, 精确评价土壤养分状况^[10]。笔者对黑龙江省农场的土壤养分进行了综合评价与分析, 这为农业生产中优化现有农业生产管理措施, 确定最佳的栽培方式具有重要的意义^[11]。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 采样区处于小兴安岭余脉南部的三江平原区, 地理坐标为 130°31'~131°02'E、47°22'~47°42'S, 位于

松花江下游萝北县境中部, 整体海拔在 110~220 m^[12], 属于寒温带大陆性季风气候区^[13], 耕地以水田和旱田为主。

1.2 样品采集及制备 在 2014 年秋共在采样区采集农田表层土壤样品 534 份, 编号、登记, 于 -20 °C 冰箱中进行密封保存, 待分析。

1.2.1 土壤养分测定。 参照农业部《测土配方施肥技术规范》《土壤技术分析规范》进行土壤样品速效养分的检测分析^[14], 主要检测土壤 pH(土液比 1:2.5-酸度计法)、有机质(重铬酸钾氧化高温容量法)、碱解氮(碱解扩散法)、有效磷(碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法)和速效钾(乙酸铵浸提-火焰光度计法)等土壤养分指标^[15-19]。

1.2.2 数据处理及分析。 数据处理及分析利用 SPSS、Excel 等软件进行, 采用主成分分析法 (PCA) 对采样区土壤养分进行综合评价。

2 结果与分析

2.1 土壤养分指标一般性描述 采样区土壤养分数据见表 1, 土壤养分指标平均值为 pH 5.53, 有机质 39.83 g/kg, 碱解氮 88.07 mg/kg, 有效磷 29.42 mg/kg, 速效钾 201.49 mg/kg。各土壤养分指标变异系数由大到小依次为有效磷、有机质、碱解氮、速效钾, 分布于 30%~40%, 属于中等变异; pH 的变异系数仅为 6.80%。

由表 2 可得, 碱解氮与有机质, 速效钾与 pH, 速效钾与有机质, 速效钾与碱解氮之间相关性在 0.01 置信水平上均呈极显著正相关。其中相关性最高的是碱解氮和有机质, 其相关系数为 0.759; 速效钾与有效磷之间的相关性在 0.05 置信水平上呈显著正相关; 有效磷与 pH 在 0.01 置信水平上呈极显著负相关。

基金项目 黑龙江省教育厅科学技术研究项目(12511410)。

作者简介 袁泉(1993—), 女, 河北人, 硕士研究生, 研究方向: 植物保护。* 通信作者, 副教授, 博士, 从事持久性有毒物质监测、环境归趋与生态风险评估研究。

收稿日期 2018-12-13

表1 土壤养分指标一般性描述
Table 1 Statistical results of soil nutrient index

指标 Index	pH	有机质 Organic matter g/kg	碱解氮 Alkaline nitrogen mg/kg	有效磷 Effective phosphorus mg/kg	速效钾 Quick-acting potassium mg/kg
极小值 Minimum	3.40	10.21	68.87	5.16	61.50
极大值 Maximum	7.90	120.01	578.00	98.10	503.15
均值 Mean	5.53	39.83	188.07	29.42	201.49
标准差 Standard deviation	0.38	15.22	64.00	11.75	65.85
变异系数 Coefficient of variation//%	6.80	38.21	34.03	39.95	32.68

表2 土壤养分相关系数矩阵

Table 2 Matrix of correlation coefficients of soil nutrients

养分指标 Nutrient index	pH	有机质 Organic matter	碱解氮 Alkaline nitrogen	有效磷 Effective phosphorus
有机质 Organic matter	0.074			
碱解氮 Alkaline nitrogen	-0.016	0.759**		
有效磷 Effective phosphorus	-0.191**	-0.033	-0.042	
速效钾 Quick-acting potassium	0.215**	0.162**	0.122**	0.109*

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平(双侧)上显著相关

Note: *, ** indicate significant correlation at 0.05 and 0.01 levels (both sides), respectively

2.2 土壤养分综合评价

2.2.1 主成分分析法评价土壤速效养分。土壤为农作物生长提供必要的营养成分,土壤速效养分是评价土壤肥力的重要参数^[20],因此,较好的土壤速效养分条件有利于保护地力和维持土地的可持续利用。各土壤指标之间的自相关性会影响土壤质量评价,利用主成分分析法计算并提取互不相关的主成分,可以达到土壤养分数据降维和减小变量间的自相关性误差的目的^[21]。该研究利用 SPSS 统计软件对研究区的 5 个土壤速效养分指标——pH、有机质、碱解氮、有效磷和速效钾进行主成分分析(PCA),综合评价农场土壤养分状况^[22]。

2.2.2 研究区土壤速效养分的主成分特征值描述。利用主成分分析法计算获得研究区 5 个土壤速效养分指标的特征向量和总方差,见表 3,研究区土壤速效养分状况 80% 以上的信息可以由前 3 个主成分表达,方差贡献率累积达到 82.469%。绘制研究区土壤速效养分主成分特征值碎石图,见图 1,前 3 个主成分特征值与第 4 个主成分之间有一个明显的下降,该农场土壤养分信息可以由前 3 个主成分代表。

表3 主成分特征向量及累计贡献

Table 3 Principal Component eigenvectors and cumulative contributions

主成分 Main ingredient	初始特征值 Initial eigenvalue		
	合计 Total	方差百分比 Percentage of variance//%	累积方差百分比 Cumulative variance percentage//%
1	1.821	36.428	36.428
2	1.207	24.141	60.570
3	1.095	21.899	82.469
4	0.641	12.828	95.297
5	0.235	4.703	100.000

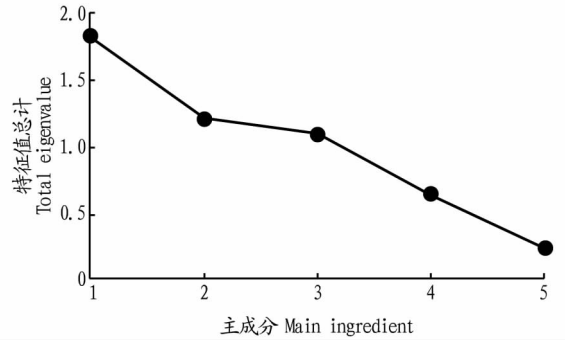


图1 特征值碎石图

Fig. 1 Characteristic value of gravel map

2.2.3 研究区土壤速效养分的主成分得分描述。通过土壤速效养分指标的主成分分析计算获得其主成分得分(表 4),第一个主成分中得分排在前 2 位的是土壤有机质和碱解氮含量,分别为 0.506 和 0.496,高于其他土壤养分指标,说明可以用第一主成分解释研究区的土壤有机质和碱解氮;pH 在第二个主成分中的得分最高,为 0.706,明显高于其他土壤养分指标,说明可以用第二主成分解释研究区的土壤 pH;第一个主成分中得分排在前 2 位的是有效磷和速效钾含量,分别为 0.677 和 0.653,说明可以用第三主成分解释研究区的土壤有效磷和速效钾。

表4 主成分得分系数矩阵

Table 4 Principal component score coefficient matrix

指标 Index	主成分 Main ingredient		
	1	2	3
pH	0.093	0.706	0.078
有机质 Organic matter	0.506	-0.107	-0.081
碱解氮 Alkaline nitrogen	0.496	-0.182	-0.128
有效磷 Effective phosphorus	-0.042	-0.432	0.677
速效钾 Quick-acting potassium	0.192	0.315	0.653

为了直观展示研究区土壤速效养分主成分分析的结果,绘制前 3 个主成分中各土壤养分主成分得分三维效果图,见图 2,土壤有机质和碱解氮距离最近,说明这 2 个土壤养分指标对土壤养分的影响可以统一考虑,构成第一主成分;而土壤有效磷和速效钾在第三主成分的坐标轴分量上距离最近,土壤有效磷和速效钾构成第三个主成分;而土壤 pH 与其他土壤指标距离较远,构成第二个主成分。土壤有机质分解过程中科研释放出碱解氮等土壤养分,土壤有机质和碱解氮影响是影响土壤肥力的最重要因素。因此,在进行土壤肥力管理和改良的过程中,要注意土壤有机质的维护和有机肥的施用。

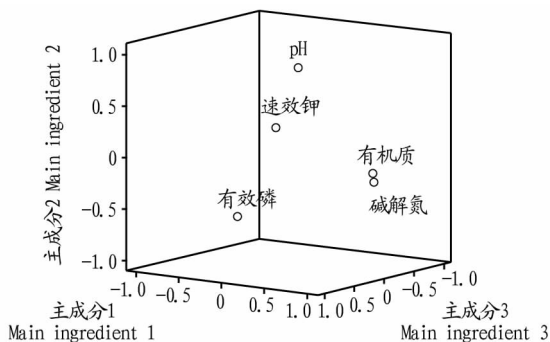


图2 主成分三维效果

Fig.2 Main component of the three-dimensional renderings

2.2.4 土壤养分主成分综合得分线性方程。通过前3个主成分的得分系数矩阵(表4),得出其每个主成分综合得分线性方程:

$$F_1 = 0.093X_1 + 0.506X_2 + 0.496X_3 - 0.042X_4 + 0.192X_5 \quad (1)$$

$$F_2 = 0.706X_1 - 0.107X_2 - 0.182X_3 - 0.432X_4 + 0.315X_5 \quad (2)$$

$$F_3 = 0.078X_1 - 0.081X_2 - 0.128X_3 + 0.677X_4 + 0.653X_5 \quad (3)$$

式中, X_1 为pH; X_2 为有机质; X_3 为碱解氮; X_4 为有效磷; X_5 为速效钾。

根据公式(1)~(3)可计算出每个土样的前3个主成分的得分,根据公式(4)进一步计算可以得出每个样品的综合得分,用于评价农田土壤土壤肥力状况。

$$IFI = \lambda_1 F_1 + \lambda_2 F_2 + \dots + \lambda_n F_n \quad (4)$$

式中, F 表示单个主成分得分; λ 表示对应主成分的贡献率。

在该研究中,具体模型为 $IFI = 0.364F_1 + 0.241F_2 + 0.219F_3$,最终计算所得534份土样的综合评价结果如下:分值的范围在44.99~182.74,平均值为86.35,标准差为22.03,变异系数25.51%,属于中等变异程度,见表5。

表5 不同质地土壤养分综合得分

Table 5 IFI of different soil nutrients

质地(国际制) Texture(international system)	均值 Mean	N	标准差 Standard deviation	极小值 Minimum	极大值 Maximum	变异系数 Coefficient of variation/%
砂土 Sand	80.26	45	20.84	50.78	131.75	25.97
砂壤 Sandy soil	81.31	118	18.34	54.18	145.64	22.56
壤土 Loam	66.61	2	3.57	64.09	69.14	5.35
中壤 Middle soil	87.39	213	23.13	44.99	171.04	26.46
重壤 Heavy soil	76.52	23	12.55	55.55	113.98	16.40
黏壤 Sticky	79.17	9	20.58	60.38	130.87	25.99
黏土 Clay	94.23	124	22.78	55.48	182.74	24.17
总计 Total	86.35	534	22.03	44.99	182.74	25.51

3 结论

研究区土壤养分指标平均值为pH 5.53、有机质39.83 g/kg、碱解氮88.07 mg/kg、有效磷29.42 mg/kg、速效钾201.49 mg/kg。土壤碱解氮与有机质,速效钾与pH,速效钾与有机质,速效钾与碱解氮之间呈极显著正相关,其中碱解氮和有机质相关系数为0.759;速效钾与有效磷之间呈显著正相关;有效磷与pH呈极显著负相关。土壤有机质和碱解氮是研究区土壤肥力最重要的影响因素,在进行土壤肥力管理和改良的过程中,要注意土壤有机质的维护和有机肥的施用。

参考文献

- [1] HE J H, LIU Y L, YU Y, et al. A counterfactual scenario simulation approach for assessing the impact of farmland preservation policies on urban sprawl and food security in a major grain-producing area of China[J]. Applied geography, 2013, 37: 127-138.
- [2] DUMANSKI J, PIERI C. Land quality indicators: Research plan[J]. Agriculture, ecosystems & environment, 2000, 81(2): 93-102.
- [3] WANG J, FU B J, QIU Y, et al. Analysis on soil nutrient characteristics for sustainable land use in Danangou catchment of the Loess Plateau, China[J]. Catena, 2003, 54(1/2): 17-29.
- [4] 陈美军, 段增强, 林先贵. 中国土壤质量标准研究现状及展望[J]. 土壤学报, 2011, 48(5): 1059-1071.
- [5] KOSMAS C, GERONTIDIS S, MARATHIANOU M. The effect of land use change on soils and vegetation over various lithological formation on Lesvos (Greece)[J]. Catena, 2000, 40: 5-68.
- [6] 付晓婷. 基于地貌分区的土壤养分空间变异性分析及采样设计研究[D]. 西安: 西北大学, 2012.

- [7] 白奕. 多指标综合评价的主成分分析模型及原理[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 1998, 26(2): 105-106.
- [8] 刘世梁, 傅伯杰, 吕一河, 等. 坡面土地利用方式与景观位置对土壤质量的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(3): 414-420.
- [9] 吴玉红, 田雷鸿, 同延安, 等. 基于主成分分析的土壤肥力综合指数评价[J]. 生态学杂志, 2010, 29(1): 173-180.
- [10] 陈吉, 赵炳祥, 张佳宝, 等. 主成分分析方法在长期施肥土壤质量评价中的应用[J]. 土壤, 2010, 42(3): 415-420.
- [11] 马强, 宇万太, 赵少华, 等. 黑土农田土壤肥力质量综合评价[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1916-1920.
- [12] 黑龙江省《共青农场志》编纂委员会办公室. 共青农场志(1955-1985)[M]. 《共青农场志》编纂委员会办公室, 1994.
- [13] 殷世平, 刘丹, 郭立峰, 等. 基于决策树的黑龙江省旱耕地分类[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(1): 92-96.
- [14] 全国农业技术推广服务中心. 土壤分析技术规范[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [15] 成斌斌. 土壤pH的测定[J]. 化学教与学, 2014(4): 95-97.
- [16] 张勇, 庞学勇, 包维楷, 等. 土壤有机质及其研究方法综述[J]. 世界科技研究与发展, 2005, 27(5): 72-78.
- [17] 郑红. 森林暗棕壤碱解氮、速效磷和有机质测定方法的比较研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006: 22-29.
- [18] 蒋柏藩. 土壤磷的化学行为与有效磷的测试[J]. 土壤, 1990(4): 181-183, 189.
- [19] 何琳华, 曹红娣, 李新梅, 等. 浅析火焰光度法测定土壤速效钾的关键因素[J]. 上海农业科技, 2012(2): 23.
- [20] 张亦驰. 耕作方式和轮作对黑土钾素形态及分布的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2012: 22-28.
- [21] 吴玉红, 田雷鸿, 同延安, 等. 基于主成分分析的土壤肥力综合指数评价[J]. 生态学杂志, 2010, 29(1): 173-180.
- [22] XU G C, LI Z B, LI P, et al. Spatial variability of soil available phosphorus in a typical watershed in the source area of the middle Dan River, China[J]. Environmental earth sciences, 2014, 71(9): 3953-3962.