基于主成分分析的土壤肥力综合指数评价*

吴玉红 田霄鸿** 同延安 南雄雄 周 密 侯永辉
(西北农林科技大学资源环境学院,陕西杨凌 712100)

摘 要 以杨凌为研究区域,选择田块尺度为评价单元,采集27个田块土壤,利用模糊数学中综合指数评价模型进行土壤肥力质量评价。经取样数合理性统计分析,27个样点估计研究区域土壤肥力评价能够满足90%置信水平条件下15%和20%的相对误差取样数的精度需求。运用主成分分析,通过计算变量的Norm值筛选速效钾、碳酸钙、全磷、全氮、土壤有机质、CEC、速效磷、全钾进入土壤肥力评价的最小数据库集(MDS),利用非线性隶属度函数实现评价指标量纲归一化且评价单项肥力指标,利用雷达图直观地反映单因素肥力指标在土壤中的状态以及土壤肥力的整体状况,结果表明,全磷和碳酸钙是影响研究区土壤肥力的限制性因子。研究区域在田块评价尺度上的土壤肥力综合指数范围为0.7~0.8。

关键词 主成分分析;最小数据库;隶属度函数;土壤肥力综合指数
中图分类号 S158.2 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2010)1-0173-08

Assessment of integrated soil fertility index based on principal components analysis. WU Yu-hong, TIAN Xiao-hong, TONG Yan-an, NAN Xiong-xiong, ZHOU Mi, HOU Yong-hui (*College of Resource and Environment, Northwest A&F University, Yangling* 712100, *Shaanxi, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, **29**(1): 173-180.

Abstract: Taking the Yangling of Shaanxi as a case and selecting field plot scale as the assessment unit, the farmland soil fertility quality was evaluated by using integrated fertility index. According to the statistical analysis for sample number rationality, the regional soil fertility assessment based on 27 sampling sites were sufficient to meet the required accuracy of 15% and 20% relative error under 90% confidence level. The minimum data set components including soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, available phosphorus, available potassium, CEC, and calcium carbonate were selected through calculating the Norm values based on principal components analysis, and the non-linear membership function was used to transform the indicators into dimensionless data and to evaluate single indicator. The radar plot was used to reflect the single factor fertility and the integral fertility. It was shown that total phosphorus and calcium carbonate were the limiting factors for the soil fertility quality in the study area, and the integrated fertility index at field plot scale was 0.7-0.8.

Key words: principal components analysis (PCA); minimum data set (MDS); membership function; integrated soil fertility index.

土壤是保证食物生产的基础,土壤质量的好坏直接关系到人类的生存状况,其中土壤肥力是土壤的本质属性。目前由于人为因素的影响,土壤肥力呈下降趋势,因此,对土壤肥力的正确认识和科学客观的评价是准确了解土壤本质及更好利用土壤资源的保障,也成为近年来国内外研究的重点(张庆利等,2003;马强等,2004;Andrews *et al.*,2004;Cambardella *et al.*,2004;Wienhold *et al.*,2004;Idowu *et al.*,2008)。土壤肥力评价是一个科学的研究过程(黄勇和杨忠芳,2009),主要包括评价尺度和评价单元的选择,评价指标的选择,土壤样品采集,评价方法的选择,每个过程都会影响评价结果的准确度。

评价尺度的选择直接影响到土地质量评价的精

*国家"十一五"科技支撑计划资助项目(2006BAD05B07、2007BAD89B16、2006BAD25B09)。
**通讯作者 E-mail:txhong@hotmail.com
收稿日期:2009-06-09 接受日期:2009-09-09

度。中国实行家庭联产承包责任制以后,田块成为基本的操作单元。研究表明(吕苏丹等,2002),田块尺度上,经过长期人为耕作的影响,同一田块内的土壤属性尤其是土壤肥力具有相对一致性,以田块作为评价单元进行评价和农民生产习惯相一致,评价更客观、更符合实际应用性。地处关中平原的杨凌地区,是历史悠久的农耕区,对其土壤肥力进行评价应主要侧重耕地肥力的动态变化的总结性评价(郭亚军和于兆吉,2002)。因此,本文主要探讨土壤肥力质量,旨在了解耕地肥力质量的动态变化,为提高基本农田土壤的生产力提供参考。

影响土壤肥力质量的土壤属性很多,土壤的每个理化性状、生物属性都可能是最终的评价指标,但对于特定区域,由于考虑到土壤属性的时空变异性、数据获取的成本及因子间的相关性等因素,显然不可能获取所有因子的数据,而只能从候选参数数据集中选出一个能最大限度的代表所有候选参数的最小数据集(MDS)(Govaerts *et al.*,2006;Rezaei *et al.*,2006;李桂林等,2007)。刘世梁等(2006)提出使用频率最高,且具有稳定性的评价耕作土壤肥力的因子,共有10项:有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾、pH、CEC、质地、耕层厚度、土壤质量的高低是诸多因素影响的结果,且因素之间很大程度上存在相关性,从众多因素中筛选出具有代表性、独立性、主导性的因子是定量准确评价土壤质量的关键。然而,在土壤质量评价研究中所采用的评价指标多是研究者依据经验人为确定的(刘世平等,2008;Masto *et al.*,2008),而不是从大量表征土壤理化生物属性的众多指标中采用一定的统计学方法筛选出来的,难免带有一定的主观性。大量研究表明,主成分分析法(PCA)是土壤质量定量评价中应用最为广泛的数理统计方法(王恒旭等,2006;Yemefack *et al.*,2006;陈留美等,2008),能够客观准确的筛选土壤属性的变异性,因此,本研究运用SPSS统计软件,基于土壤属性间的相关性,采用主成分分析筛选出能够独立敏感的反应土壤质量变化的土壤属性组成土壤肥力质量评价的最小数据库集(MDS)。

基于数理统计方法的土壤质量的定量评价成为土壤质量评价研究的热点(Glover *et al.*,2000;Andrews *et al.*,2002;廖桂堂等,2007)。常见的评价方法有模糊评价法和土壤质量指数法。土壤质量指数法是定量化评价土壤质量的常用方法。本文选用土壤质量指数法对杨凌地区不同利用类型耕地进行评价,旨在了解耕地肥力的动态变化,为基本农田保护和规划提供参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区域地属杨凌农业高新技术示范区,位于陕西关中平原中部。杨凌地区年均温度12.9℃,≥10℃的积温4185 ℃,年均降水量635.1 mm,夏秋季降水集中,占全年降水量70%,年均蒸发量993.2 mm,属半湿润易旱地区。土壤属石灰性土壤,pH值为8.0~8.5,土壤类型以塿土(土垫旱耕人为土)为主。塿土是关中地区的主要耕作土壤,塿土集中区分布区也是陕西省粮、棉、油及经济作物的重要生产基地分布区。关中地区因其特殊的土壤理化性质,抗旱力较强,具有井灌和渠灌条件,是我国西北的重要农业区之一,特别适于小麦、玉米等粮食作物和蔬菜的种植。

1.2 样品采集及分析

2006年11月中旬进行了土壤样品的采集,以田块为采样单元,随机在34°16.665′N—34°17.620′N,108°03.728′E—108°04.265′ E,利用GPS定位,采集27个田块0~20 cm土样。采样选点时,远离田边、沟边、路边或肥堆边,每个采样区域大小基本一致,约30 m×30 m。每一个样点都按农化样的采样要求,在每个区域内按S型布点法,多点混合采样。土样经风干处理后过1 mm筛,分取部分样品过0.25 mm筛备用。耕地类型以粮田和果园为主,其中编号1~18土样为粮田,均种植冬小麦;编号19~27为果园,种植苹果、猕猴桃。

土壤属性的测定方法(鲍士旦,1999):有机质(外加热法)、全氮(半微量开氏法)、全磷(NaOH熔融-钼锑抗比色法)、全钾(NaOH熔融-火焰光度法)、硝态氮和铵态氮(KCl浸提,流动分析仪测定)、速效磷(Olsen法)、速效钾(NH_4OAc浸提-火焰光度法)、阳离子交换量(乙酸钠浸提-火焰光度法)、pH值(DELTA-320 pH计)、碳酸钙含量(气量法)。

1.3 数据处理

数据经Excel整理后,利用SPSS 16.0软件的描述统计(descriptive statistics)进行平均值、标准差、变异系数分析以及利用SPSS 16.0软件的因子分析(factor analysis)进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 土壤肥力评价最小数据库集及因子权重的确定

区域土壤肥力评价的基本思路是通过用统计学的方法研究所采土壤样本的土壤属性特性,从而估计整个区域的土壤肥力状况,因土壤属性的合理取样数目是总体评价准确度的保障。文对在研究区采集的27 个样本数进行了样本采样数目的合理性分析。

本研究中研究区域土壤属同一类型且作物管理方式差异较小,取样方法的相关研究表明,随机取样方法是适合区域性土壤肥力评价的取样方法之一,因此,本研究选用纯随机取样方法进行样品采集,对取样数目的估计选用针对区域纯随机取样而构造的最佳取样数量计算公式(王珂等,2001):

$$n = (t_{(n,\alpha)} \times Std)^2 / d^2$$

式中:n 为需要的取样数量,t 为所要求的置信水平相对应的 t 值;Std 为样本标准差,d = 样本平均值 × 相对误差(%)。

表 1 各指标的变异系数大小顺序为硝态氮 > 铵态氮 > 全氮 > 全磷 > 速效钾 > 碳酸钙 > 速效磷 > 有机质 > CEC > pH,变异越大,达到一定精度要求所需的样本数量也会相应增加,硝态氮变异系数最大,其所需的取样数也最高。本研究 27 个样品除硝态氮、铵态氮其他指标能够满足 90% 置信水平条件下 15% 和 20% 的相对误差取样数的精度需求;能够满足 95% 置信水平 15% 和 20% 的相对误差取样数的需求(表 2),因此,对 27 个样点进行土壤肥力评价可估计研究区域整体的土壤肥力状况。

2.2 土壤肥力评价最小数据库集及权重的确定

进行土壤肥力质量评价,需从大量表征土壤肥力的土壤属性中筛选出对土壤肥力质量敏感的参评指标组成最小数据库集(MDS)。科学选取土壤指标是土壤肥力评价的重要方面,在指标选取时应避

表 1 土壤属性统计
Tab. 1 Descriptive statistics of soil properties

土壤属性	级差	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数(%)
有机质($g \cdot kg^{-1}$)	11.17	9.30	20.46	13.77	2.58	18.72
全氮($g \cdot kg^{-1}$)	2.79	0.84	3.63	2.03	0.90	44.25
全磷($g \cdot kg^{-1}$)	0.55	0.11	0.66	0.35	0.16	44.24
速效磷($mg \cdot kg^{-1}$)	64.06	16.54	80.60	40.38	9.40	23.29
全钾($g \cdot kg^{-1}$)	17.37	15.66	33.03	24.46	2.71	11.10
速效钾($mg \cdot kg^{-1}$)	326.64	86.62	413.26	163.95	72.37	44.14
CEC($com \cdot kg^{-1}$)	8.77	17.72	26.49	21.36	2.04	9.53
pH	0.65	7.88	8.53	8.32	0.21	2.47
碳酸钙 (%)	8.29	4.40	12.69	8.95	2.18	24.41
硝态氮($mg \cdot kg^{-1}$)	15.25	1.95	17.20	7.82	4.42	56.58
铵态氮($mg \cdot kg^{-1}$)	20.62	6.47	27.09	18.15	8.41	46.32

表 2 在允许误差范围内土壤合理取样数量分析
Tab. 2 Adequate sampling amount within the error

土壤属性	置信水平 95%				置信水平 90%			
	相对误差 5%	相对误差 10%	相对误差 15%	相对误差 20%	相对误差 5%	相对误差 10%	相对误差 15%	相对误差 20%
土壤有机质	59	15	7	4	41	10	5	3
全氮	332	83	37	21	229	57	25	14
全磷	353	88	39	22	243	61	27	15
速效磷	92	23	10	6	63	16	7	4
全钾	21	5	2	1	14	4	2	1
速效钾	329	82	37	21	227	57	25	14
CEC	15	4	2	1	11	3	1	1
pH	1	1	1	1	1	1	1	1
碳酸钙	100	25	11	6	69	17	8	4
硝态氮	540	135	60	34	372	93	41	23
铵态氮	363	91	40	23	250	62	28	16

免相对稳定的指标,如表层质地、土体构型等,而应选取有机质、全氮、速效磷、速效钾等受人类耕作方式影响较大的,且又能准确反映土壤肥力质量的养分指标来综合评定土壤肥力水平(孔祥斌等,2007)。在研究区内,由于各种环境因素和管理水平相对一致,土壤养分就成了影响土壤肥力质量的主要因素,且本研究旨在评价同一土壤类型的耕地肥力状况。因此,本研究在指标选择时侧重土壤养分指标及显著影响土壤肥力的环境因子,选择了11项肥力指标(表1)。MDS的确定通常有专家打分法、主成分分析法、聚类分析法等,其中主成分分析(PCA)法应用最为广泛。主成分分析是将多个指标化为少数几个指标,实现降维的一种统计方法,且可以很好地处理变量间的多重相关性,使彼此之间具有相互独立性(张润楚,2006)。本文运用主成分分析从表征土壤肥力质量的众多候选土壤属性参数中筛选出能够解释大多数变异的具有独立性、代表性、敏感性的评价指标。

对所测定的11项土壤属性指标进行主成分分析,结果表明(表3),特征值≥1的PC有4个,前4个主成分累计贡献率>85%,能够解释较多的变异性。通常利用PAC筛选MDS评价指标时,往往只依据某变量在一个PC上的旋转因子载荷的大小进行选取,这可能引起变量在其他特征值≥1的PC上的信息丢失。为避免此缺陷可通过计算变量的Norm值实现(李桂林等,2007)。Norm值的几何意义为该变量在由主成分组成的多维空间中的矢量长模(Norm)的长度,长度越长,则表明该变量对所有主成分的综合载荷越大,其解释综合信息的能力就越强。Norm值的计算如下:

$$N_{ik} = \sqrt{\sum_{i}^{k} (u_{ik}^2 \lambda_k)}$$

式中:N_{ik}为第i个变量在特征值≥1的前k个主成分上的综合载荷;u_{ik}为第i个变量在第k个主成分上的载荷;λ_k为第k个主成分的特征值。

通过PCA分析,先将参评的土壤属性依据分组原则(李桂林等,2007)进行分组并计算各自的Norm值(表3);将每个特征值≥1的PC中因子荷载≥0.5土壤参数分为1组,分组后入选MDS的原则是:每组中Norm值在最高Norm值10%范围内的参数被选取,同时参评指标选取还应符合MDS中易测定性、重现性、主导性、稳定性、精确性、实用性等原则。按照分组原则速效钾、碳酸钙含量、全磷、全氮、有机质、铵态氮、CEC为组1,铵态氮与有机质(0.699*),CEC(-0.608*)有较高的相关性,因此,组1中选择速效钾、碳酸钙含量、全磷、全氮、有机质、CEC进入MDS;速效磷为组2,全钾,硝态氮为组3,硝态氮变异系数较大,同一置信水平和同一相对误差下,所需的合理样本取样数较大(表2),因此,考虑到样本取样数可能会引起系统误差,所以硝态氮被剔除;pH为组4。组2及组4中各有一个因子。定量评价土壤质量宜选择中度、高度敏感的指

表3 土壤属性主成分因子载荷矩阵,公因子方差,因子权重及Norm值

Tab.3 Results of principal component analysis, factor loadings, communalities of soil quality factors, indicators' weight and Norm values

土壤属性	分组	主成分				公因子方差	权重	Norm值
		PC-1	PC-2	PC-3	PC-4			
速效钾	1	0.903	0.044	0.146	0.237	0.635	0.068	2.086
碳酸钙	1	0.899	-0.088	-0.364	0.011	0.758	0.081	2.101
全磷	1	0.826	0.121	0.450	-0.112	0.912	0.097	1.969
有机质	1	0.726	-0.207	-0.244	-0.166	0.921	0.098	1.714
全氮	1	0.711	0.463	0.121	-0.045	0.947	0.101	1.745
铵态氮	1	0.723	-0.387	-0.326	0.005	0.895	0.095	1.773
CEC	1	-0.722	0.241	0.491	-0.051	0.823	0.088	1.776
速效磷	2	0.727	0.114	0.517	0.304	0.901	0.096	1.800
全钾	3	0.136	0.761	-0.283	0.519	0.949	0.101	1.230
硝态氮	3	0.222	-0.752	0.444	0.209	0.856	0.091	1.255
pH	4	0.499	0.372	0.127	-0.720	0.779	0.083	1.449
主成分特征值		5.227	1.785	1.339	1.024			
主成分贡献率(%)		47.518	16.229	12.174	9.309			
主成分累计贡献率(%)		47.518	63.747	75.921	85.230			

标,由于变异系数 < 10% 为不敏感界限(许明祥等,2005b),因此,由于 pH 变异系数 2.47% < 10%(表 1),所以 pH 被剔除。综上,所选的 11 项土壤肥力指标最终进入 MDS 的指标有:速效钾、碳酸钙含量、全磷、全氮、土壤有机质、CEC、速效磷、全钾。

权重系数的确定是评价结果是否准确的关键,确定权重系数的方法一般有 3 类:1)主观赋权法;2)客观赋权法;3)主客观结合赋权法。本文基于土壤属性本身内在的关系,利用主成分分析法得到的各土壤评价指标的公因子方差,通过计算各个公因子方差占公因子方差总和的百分数,将权重值转换为 0 ~ 1.0 的数值(表 3)。

2.3 土壤肥力单因素评价

进行土壤肥力评价首先要对各评价因素的优劣进行分析研究。土壤属性具有空间变异性,对土壤质量的影响也处在动态变化中,因此,对各评价指标应进行模糊性评价。本研究通过建立土壤属性与土壤生产功能之间的隶属度函数,其隶属度值表明各指标在土壤中的状态,通过隶属度值的大小来体现各评价指标的优劣即对土壤功能影响的贡献率,同时实现评价指标量纲归一化,使评价指标间具有可比性。

由于土壤因子变化具有连续性,故各评价指标采用连续性质的隶属度函数。常见隶属度函数类型有 S 型、梯形型、抛物线型等。本研究中有机质、全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾、CEC 在一定的范围内,作物效应曲线呈 S 型,所以其隶属度函数采用 S 型曲线,属于这种类型的因子,其值越高,表明评价对象的质量越好,但达到一定临界值之后,其效用也趋于稳定(图 1);碳酸钙含量呈现梯形,属于这种类型的因子,其指标在一定范围内,评价对象质量较好,高于或低于该范围则变差,隶属度函数见图 1。各单项评价指标丰缺标准因不同的作物和土壤而有差异,因此,依据本文研究区土壤理化特点,以及参考相关研究(陕西省土壤普查办公室,1992;刘京等,2007;王德彩等,2008),曲线中转折点的相应取值见表 4。

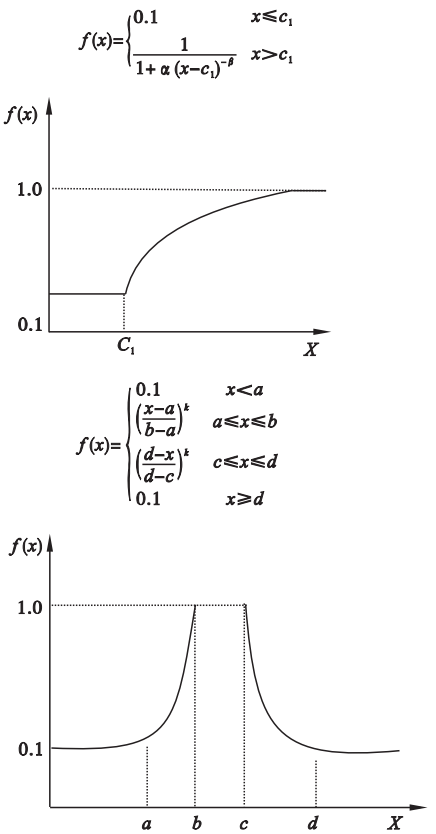


图 1 S 型及抛物线形隶属度函数及曲线

Fig. 1 Curve of S-type and parabola-type membership function

$f(x)$ 为参评因子影响土壤质量的分值;x 为因子实测值;c_1 为因子的最低阈值;α,β 为参数,本研究中令 $\alpha = 1$,$\beta = 1$;a、d 为临界值,b、c 为适宜作物生长的阈值,k 为参数,本研究中令 $k = 2$。图 1 中最大值 1.0 表示土壤属性能够满足作物生长的最佳状态;最小值 0.1 表示作物生长所需求的土壤属性作用分值的最低阈值。结合生产实际将最小值定为 0.1 而非零。

研究区 27 个样点 8 项参评的肥力指标利用相应的隶属度函数计算得到各指标隶属度函数值,经统计分析表明(表 5),27 个样品指标的隶属度函数值变异系数很小,因此,27 个样点可估计研究区 8 项参评指标的特性及对土壤肥力质量的影响。因此,用各指标的平均隶属度值制成雷达图来反映各指标的状态及研究区肥力质量的整体状况。雷达图的几何意义(高慧璇,2005):每个坐标轴上的点越向原点靠近,代表其属性状态越差,相反越远离坐标

表 4 隶属度函数曲线中评价指标的转折点取值

Tab. 4 Value of turning point in membership function of evaluating indicators

项目	有机质 (g·kg^{-1})	全氮 (g·kg^{-1})	全磷 (g·kg^{-1})	全钾 (g·kg^{-1})	速效磷 (mg·kg^{-1})	速效钾 (mg·kg^{-1})	CEC (cmol·kg^{-1})	项目	碳酸钙含量 (%)
C_1	6	0.05	0.06	6.0	3.0	50	10	c	5
								d	15

表5 各评价指标隶属度值统计($n=27$)

Tab. 5 Descriptive statistics of membership value of indicators

指 标	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数(%)
有机质	0.91	0.95	0.93	0.01	0
全氮	0.53	0.78	0.70	0.07	0.01
全磷	0.10	0.38	0.18	0.08	0.01
全钾	0.93	0.99	0.97	0.01	0
速效磷	0.91	0.96	0.95	0.01	0
速效钾	0.94	0.98	0.99	0	0
CEC	0.89	0.94	0.92	0.01	0
碳酸钙	0.10	0.97	0.41	0.27	0.07

原点,代表其属性状态越好,由坐标轴上各个点围成的多边形的面积大小代表由参评因子所组成的评价对象的整体状态。

从图2可见,全磷隶属度函数值最小,碳酸钙次之,远小于理想值,表明全磷和碳酸钙对土壤肥力的作用分值较小,全磷是该研究区影响土壤肥力质量的限制性因子之一。该研究区全磷含量普遍较低,潜在供磷能力较差。研究区土壤属石灰性土壤,碳酸钙是作物生长介质的限制因子之一,碳酸钙通过影响pH进而影响其他养分的有效性。全氮隶属度值在0.7左右,处在中间状态,有机质、全钾、速效磷、速效钾、CEC隶属度值在0.9以上,处在较好的状态。图2由8项参评因子组成的研究区综合肥力指数八边形明显偏向左下方,表明影响研究区土壤肥力质量的因子是全磷、全氮、碳酸钙;且八边形的面积比各指标处在最佳状态的正八边形面积明显要小,说明研究区整体的土壤肥力质量不高。图2果园土壤全磷,碳酸钙隶属度函数值均小于粮田土壤的,且由土壤肥力指标所组成的八边形的面积

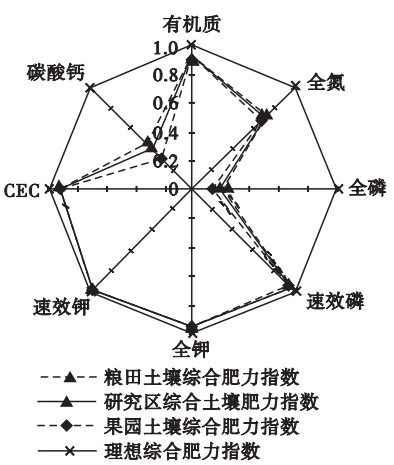


图2 各指标隶属度函数值的雷达图

Fig. 2 Radar plot of membership value of indicators

也略小于粮田的,说明果园土壤肥力状况较粮田差,这与相关研究表明的农地的土壤综合质量指数普遍高于果园的结论相一致(刘梦云等,2005),因此,本文采用的隶属度函数能够客观的反映研究区的单因素及整体土壤肥力质量状况。

2.4 土壤肥力指数评价

土壤肥力指数法是常用的一种定量化评价土壤肥力的方法,土壤质量指数能够综合有效的反映土壤质量的变异信息,因此,本文采用土壤肥力质量指数法进行土壤肥力评价。土壤质量指数法是将评价结果转化成0.1~1.0的数值,使评价结果更直观,更利于相互之间的比较,土壤质量指数越高代表土壤质量越好。常用的计算方法有:直接叠加法,权重加权求和法,综合评价模型等。本文采用模糊数学中的综合肥力指数评价模型IFI(integrated soil fertility indices)及权重加权求和指数ADD FQI(additive fertility quality indices)模型(王建国等,2001;许明祥等,2005a),其数学表达如下。

加权求和模型:$FQI = \sum_{i=1}^{n} W_i \cdot F_i$

综合评价模型:$IFI = \prod_{i=1}^{n} (F_i)^{W_i}$

式中:W_i为第i个因子的权重;F_i为第i个因子的隶属度;n为参评因子数;$\sum$表示求和;$\prod$表示连乘,连乘运算体现各评价因素间的交互作用,$(F_i)^{W_i}$体现各评价因素对土壤肥力质量的贡献率。

2种指数模型下研究区土壤肥力指数曲线变化趋势一致(图3),但在综合肥力评价模型下各样点肥力指数的变异较大。果园之间的土壤养分含量差异较大(刘汝亮等,2008),由综合肥力评价模型得到的土壤肥力指数大部分在0.7上下波动且偏幅幅度较小;由加权求和评价模型得到的土壤肥力指数在0.6左右波动。综合肥力指数与相关研究的结论

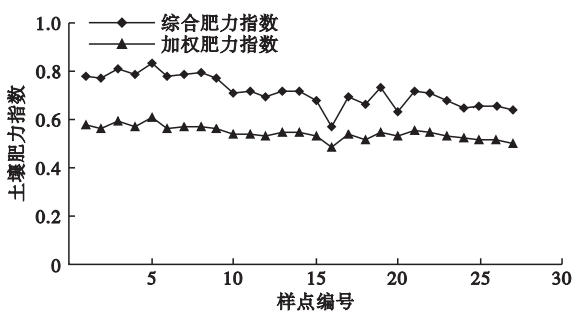


图3 土壤肥力加权及综合指数散点图

Fig. 3 Scatter chart of soil fertility index

基本吻合(王德彩等,2008)。从图 3 可见,果园(编号 19 ~27)的综合指数普遍略低于粮田(编号 1 ~ 18)。章明奎等(2002)研究表明,土壤肥力指标与耕地的利用方式有密切的关系,采样时间为 11 月,可能是因为果园的高产出,相应养分挟出量较大,土壤肥力质量明显下降。

3 结论与建议

进行区域土壤肥力质量评价时,由于土壤属性的空间变异性,在平衡采样成本和保证一定精确度需求的前提下需考虑取样的合理样本数。本研究中选用针对区域纯随机取样而构造的最佳取样数量计算公式对取样数目进行了估计,分析表明参评的 8 项肥力指标,能够基本满足 95% 置信水平 15% 和 20% 的相对误差取样数的需求。因此,本文中 27 个样本数估计研究区土壤肥力状况具有合理性。

单因素肥力评价结果表明,研究区土壤钾素营养充足,全磷成为限制性的肥力因子,因此在平衡施肥时应考虑施用磷肥。本研究中,用各参评指标的隶属度值组成反映各属性状态的雷达图,不仅可以直观地反映单项肥力指标对土壤肥力质量的贡献,同时可以通过其面积的大小直观反映研究区土壤肥力的整体状况,因此,可将雷达图推广应用到土壤质量评价中评价结果的表达,使结果表述更加直观。

本文中采用的主成分分析的权重确定方法,尽管降低了评价过程中的主观性,但不易突出评价区域内某限制性较强因子对评价对象的影响作用,为此,可通过主观赋权突出研究区域的限制因子对评价对象的作用,这尤其对适宜性评价研究结果影响较大。因此,在土壤肥力质量评价权重确定方法方面,有待于进一步探讨研究主客观结合赋权的方法,这对合理确定权重有重大意义。

本文克服了以往利用主成分筛选最小数据库集评价指标时,只依据某变量在一个主成分上的因子载荷的大小进行选取,这可能会引起变量在其他特征值≥1 的主成分上的信息丢失,通过计算变量的 Norm 值避免了此缺陷。

土壤肥力综合模型充分考虑了评价因素指标值,评价因素权重和评价因素之间交互作用对土壤肥力质量的共同作用,与加权指数模型相比能够综合反映土壤肥力质量的状况。土壤肥力综合模型评价结果表明,研究区土壤肥力质量指数为 0.7 ~ 0.8,全磷是影响土壤肥力的限制性因子,该评价结果与相关研究相一致。本文所选的田块评价尺度和农民习惯的耕作空间尺度相一致,因此,以田块为单元,评价更客观、更符合实际。

参考文献

鲍士旦. 1999. 土壤农化分析(第 3 版). 北京:中国农业出版社.

陈留美,桂林国,吕家珑,等. 2008. 应用主成分分析和聚类分析评价不同施肥处理条件下新垦淡灰钙土土壤肥力质量. 土壤,40(6):971-975.

高慧璇. 2005. 应用多元统计分析. 北京:北京大学出版社.

郭亚军,于兆吉. 2002. 综合评价的合理性问题. 东北大学学报(自然科学版),23(9):844-847.

黄 勇,杨忠芳. 2009. 土壤质量评价国外研究进展. 地质通报,28(1):130-135.

孔祥斌,刘灵伟,秦 静,等. 2007. 基于农户行为的耕地质量评价指标体系构建的理论与方法. 地理科学进展,26(4):75-85.

李桂林,陈 杰,孙志英,等. 2007. 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. 生态学报,27(7):2715-2724.

廖桂堂,李廷轩,王永东,等. 2007. 基于 GIS 和地统计学的低山茶园土壤肥力质量评. 生态学报,27(5):1978-1986.

刘 京,常庆瑞,刘 淼,等. 2007. 陕西省土壤信息系统的设计与建立. 西北农林科技大学学报(自然科学版),35(12):129-132.

刘梦云,安韶山,常庆瑞,等. 2005. 宁南山区不同土地利用方式土壤质量评价. 水土保持研究,12(3):35-37.

刘汝亮,同延安,高义民,等. 2008. 渭北旱塬苹果园土壤养分状况分析与平衡施肥研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版),36(3):135-140.

刘世梁,傅伯杰,刘国华,等. 2006. 我国土壤质量及其评价研究的进展. 土壤通报,37(1):137-143.

刘世平,陈后庆,聂新涛,等. 2008. 稻麦两熟制不同耕作方式与秸秆还田土壤肥力的综合评价. 农业工程学报,24(5):51-56.

吕苏丹,汪光宇,邬亚浪,等. 2002. 东阳万亩园区土壤养分综合评价研究. 浙江大学学报(农业与生命科学版),28(3):272-276.

马 强,宇万太,赵少华,等. 2004. 黑土农田土壤肥力质量综合评价. 应用生态学报,15(10):1916-1920.

陕西省土壤普查办公室. 1992. 陕西土壤. 北京:科学出版社.

王 珂,沈掌泉,John SB,等. 2001. 精确农业田间土壤空间变异与采样方式研究. 农业工程学报,17(2):33-36.

王德彩,常庆瑞,刘 京,等. 2008. 土壤空间数据库支持的陕西土壤肥力评价. 西北农林科技大学学报(自然科学版),36(11):105-110.

王恒旭,胡永华,王文成,等. 2006. 主成分分析在杞县大蒜种植区土壤质量评价中的应用. 中国农学通报,22

(8):297-301.
王建国,杨林章,单艳红. 2001. 模糊数学在土壤质量评价中的应用研究. 土壤学报,38(2):176-183.
许明祥,刘国彬,赵允格. 2005a. 黄土丘陵区侵蚀土壤质量评价. 植物营养与肥料学报,11(3):285-293.
许明祥,刘国彬,赵允格. 2005b. 黄土丘陵区土壤质量评价指标研究. 应用生态学报,16(10):1843-1848.
张庆利,潘贤章,王洪杰,等. 2003. 中等尺度上土壤肥力质量的空间分布研究及定量评价. 土壤通报,34(6):493-497.
张润楚. 2006. 多元统计分析. 北京:科学出版社.
章明奎,徐建民. 2002. 利用方式和土壤类型对土壤肥力质量指标的影响. 浙江大学学报(农业与生命科学版),28(3):277-282.
Andrews SS, Karlen DL, Cambardella CA. 2004. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal*, **68**: 1945-1962.
Andrews SS, Karlen DL, Mitchell JP. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable. production systems in Northern California. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **90**: 25-45.
Cambardella CA, Moormana TB, Andrews SS, *et al*. 2004. Watershed scale assessment of soil quality in the loess hills of southwest Iowa. *Soil and Tillage Research*, **78**: 237-247.
Glover JD, Reganold JP, Andrews PK. 2000. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **80**: 29-45.
Govaerts B, Sayre KD, Deckers J. 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil & Tillage Research*, **87**: 163-174.
Idowu OJ, van Es HM, Abawi GS, *et al*. 2008. Farmer-oriented assessment of soil quality using field, laboratory, and VNIR spectroscopy methods. *Plant and Soil*, **307**: 243-253.
Masto RE, Chhonkar PK, Singh D, *et al*. 2008. Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilization and manuring for 31 years in the semi-arid soils of India. *Environmental Monitoring and Assessment*, **136**: 419-435.
Rezaei SA, Gilkes RJ, Andrews SS. 2006. A minimum data set for assessing soil quality in rangelands. *Geoderma*, **136**: 229-234.
Wienhold BJ, Andrews SS, Karlen DL. 2004. Soil quality: A review of the science and experiences in the USA. *Environmental Geochemistry and Health*, **26**: 89-95.
Yemefack M, Jetten VG, Rossiter DG. 2006. Developing a minimum data set for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems. *Soil & Tillage Research*, **86**: 84-98.

作者简介 吴玉红,女,1983年出生,硕士研究生。主要从事土地(土壤)资源及其信息技术方面研究。E-mail:wuyuhong_yang@163.com

责任编辑 王 伟