

宁南山区不同土地利用方式土壤质量评价方法研究

刘梦云¹, 安韶山^{1,2}, 常庆瑞¹, 刘 举¹

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100;
2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 目前关于土壤质量评价的方法很多, 综合了多变量指标克立格法、土壤质量综合评分法和土壤相对质量评价法各种方法的优点, 也融入了本地区的土壤特性研究, 制定了有区域特色的层次分析法; 确立了隶属函数及其中的参数, 因而实现了原始数据的归一化处理; 同时也解决了利用主成分分析法如何决定各评价因子的权重分配问题。

关键词: 宁南山区; 土壤质量评价; 层次分析法; 隶属函数; 主成分分析
中图分类号: F301.24 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)03-0041-03

Method of Soil Quality Evaluation Under Different
Land Use in Southern Ningxia Mountain Area

LIU Meng-yun¹, AN Shao-shan^{1,2}, CHANG Qing-rui¹, LIU Ju¹

(1. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry;
2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: At present, there are a lot of methods concerning soil quality evaluation, integrating with the goodness of multiple variable indicator transform, synthetically graded method of soil quality and the method of soil relatively quality evaluation and the soil feature of this area, the method of arrangement analysis is made; subject function and their parameter are established, so it realizes the transaction of original data to the same dimension; as well as utilizing main ingredient analyzing solves how to determine the distribution of weightiness about every evaluated index.

Key words: mountain area of southern Ningxia; soil quality evaluation; the method of arrangement analysis; subject function; main ingredient analyzing

土壤质量评价是土壤质量研究的基础和重要内容之一, 因为不论是为了研究土壤质量变化的机理, 还是为了定向培育土壤, 都必须首先进行土壤质量评价, 确定被研究地区的土壤质量变化的方向和趋势。但是, 土壤质量是土壤的许多物理、化学和生物学性质, 以及形成这些性质的一些重要过程的综合体, 所以, 迄今为止, 尚没有评价土壤质量的统一标准。

近 10 年来, 发达国家的科学家们针对土壤质量问题, 开展了许多相关的课题研究, 我国科技工作者也从国情出发有重点的申请立项, 有关研究均在进行之中。研究土壤质量的目的是为了探索土壤质量的演变机理和对动植物健康的影响; 确定土壤质量评价指标并建立评价系统, 为保持土壤质量和土壤定向培育提供理论依据, 从而采取合理的土地利用方式, 提高农业发展的可持续性。因此, 本文正是结合国内外

的热点研究问题, 对黄土高原脆弱生态区不同土地利用方式下的土壤质量及其评价指标体系进行初步探讨。

1 土壤质量评价方法及评价方案的制定

国际上比较常用的评价方法有以下几种:^① 多变量指标克立格法(MVIT): 这是美国农业部和华盛顿州立大学的研究者提出的。这种方法可以将无数量限制的单个土壤质量指标综合成一个总体的土壤质量指数。这一过程称为多变量指标转换(MVIT, multiple variable indicator transform), 是根据特定的标准将测定值转换为土壤质量指数^①。各个指标的标准代表土壤质量最优的范围或阈值, 是在地区基础上建立和评价的。^④土壤质量动力学方法: 由于土壤系统的动态性, 所以对可持续管理的测量应该采用动态评价方法, 利用系统动态学特征测量其可持续性。^④土壤质量综合评分法: Coran

¹ 收稿日期: 2004-12-28
基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2001BA606A-04); 西北农林科技大学优秀人才专项基金(04ZX011)
作者简介: 刘梦云(1973-), 女, 讲师, 陕西蒲城人, 在读博士, 主要从事土地资源与地理信息系统研究。

和 Parkin 将土壤质量评价细化为食物与纤维的生产量、侵蚀量、地下水质量、地表水质量、大气质量和食物质量 6 个特定的土壤质量元素的评价。通过建立各个元素的评价标准,利用简单乘法运算计算出土壤质量的大小,每个元素的权重由地理、社会和经济因素所决定。^¼ 土壤相对质量评价法:通过引入相对土壤质量指数来评价土壤质量的变化,这种方法首先是假设研究区有一种理想土壤,其各项评价指标均能完全满足植物生长需要,以这种土壤的质量指数为参照,其它土壤的质量指数与之相比,得出土壤的相对质量指数(RSQI),从而定量地表示所评价土壤的质量与理想土壤质量之间的差距,这样,从一种土壤的 RSQI 值就可以明显而直观地看出这种土壤的质量状况,RSQI 的变化量可以表示土壤质量的升降程度,从而可以定量地评价土壤质量的变化^{1 2}。

以上土壤质量评价方法各有优点,本文采用的方法是将以上各种方法综合考虑,利用层次分析法来量化土壤相对质量。其评价方案为:首先确定土壤质量评价指标及其隶属度,再按隶属度求出各土壤评价指标的换算值;然后对于土壤评价指标的换算值用主成分分析法确定各指标的权重;再将换算值与各指标的权重加权求和,即得各自的相对数量值;最后,将得出的三组相对数量与各自权重(其权重确定仍采用主成分分析法确定)加权求和求出最终相对评判结果。

2 土壤质量评价指标的确立

土壤质量指标是表示从土壤生产潜力和环境管理的角度监测和评价土壤一般性健康状况的那些性状、功能或条件。影响土壤质量评价指标选择的因素很多,如土壤质量定义的复杂性、控制生物地球化学过程的各种物理、化学和生物学因子及其在时空和强度上的变化等。

评价土壤质量和健康十分复杂,需要考虑土壤的多重功能³,而且要把土壤物理、化学和生物学性质结合起来。经研究,植物通过分泌物和枯落物对土壤理化性状和微生物的影响显著。所以,关于供试区域土壤质量的评价指标,根据前人经验可分为三类:¹ 土壤物理性状指标:土壤容重,土壤机械组成,土壤团粒组成,土壤微团聚体组成;研究表明,这四种物理学指标对于土壤质量的变化反应灵敏。^④土壤化学性状:速效氮,速效磷,速效钾,全氮,有机质,阳离子交换量及土壤酸碱性;土壤的养分和与养分有直接关系的土壤酸碱性和阳离子交换量可以对土壤质量/健康和作物生产力产生巨大的影响,因而将其作为衡量土壤质量的重要指标。^{④④}土壤酶活性特征:由于土壤微生物对控制植物和动物材料的分解、生物地球化学循环(氮素固定)、土壤结构的形成和施入到土壤中的有机物质的归宿均有作用,因此,土壤微生物是土壤质量的有机组分。土壤酶活性的重要作用并不是仅仅测定每秒的生物学活性,而是作为反映管理措施和环境因子引起的土壤生物学和生物化学变化的指标,尤其是非专一性和水解性的土壤酶活性(如蔗糖酶活性)十分适合作这种指

标¹⁴。

依据评价方案和评价指标做出评价模型如图 1 所示:

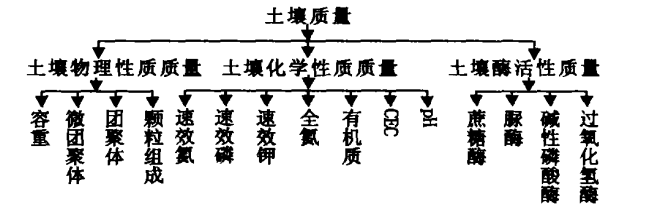


图 1 土壤质量评价模型

3 土壤质量指标隶属度的确定

3.1 土壤质量指标隶属函数模式的选择

各评价因素之间,没有明确外延,也没有统一量纲,直接应用测定数值无法进行土壤质量评价。本文结合供试土壤特点,依据研究资料和前人经验,选择各因素的隶属函数,并确定其极限值(表 1)。得到评价因素集合的模糊子集—评价因素隶属度集合⁵。表 1 中极限值的确定是依据该区域的实测数据制定的。

表 1 各评价因素极限值

评价因素	上限		中限		下限	
	数值	隶属度	数值	隶属度	数值	隶属度
容重/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	1.40	0	1.15	1	0.80	0
机械组成(0.005~0.002 mm)/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	120	0	80	1	20	0
团聚体总量/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	450	1	—	—	0	0
微团聚体(1~0.25 mm)/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	90	1	—	—	0	0
速效氮/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	35	1	—	—	0	0
速效磷/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	4	1	—	—	0	0
速效钾/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	250	1	—	—	0	0
全氮/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	1.5	1	—	—	0	0
有机质/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	20	1	—	—	0	0
CEC cmol/kg	15	1	—	—	0	0
pH	10	0	7	1	4	0
蔗糖酶/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	200	1	—	—	0	0
脲酶/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	90	1	—	—	0	0
碱性磷酸酶/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	160	1	—	—	0	0
过氧化氢酶/($\text{ml} \cdot \text{g}^{-1}$)	10	1	—	—	0	0

各指标的隶属度的计算模式主要有两种,现分述如下:

(1) 升半梯形隶属函数。在一定范围内,一些土壤评价指标值与土壤质量的好坏(如土壤的肥力状况、土壤健康状况等)呈正相关关系,而低于下限值或高于上限值对土壤功能的影响均较小。这类土壤性质的隶属函数可近似成升半梯形分布。

其隶属函数模式如下:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & (x = x_0) \\ \frac{x}{x_0} & (x < x_0) \end{cases}$$

式中: x ——评价因素的实际指标值; x_0 ——评价因素的上临界值; $\mu(x)$ —— x 的隶属函数。

(2) 三角形隶属函数。土壤 pH、容重和土壤颗粒组成等

性质对土壤功能的影响均有一个最佳范围, 超过此范围, 随着评价指标偏离程度的增大, 对土壤各方面的功能越不利, 导致土壤退化。这类指标, 可认为成梯形分布。为了简化, 将最佳值设为一个值, 这样梯形函数便简化为三角形函数。

$$\mu(x)=\begin{cases} 0 & (x \leq a \text{ 或 } x \geq b) \\ \frac{x-a}{c-a} & (a < x < c) \\ \frac{b-x}{b-c} & (c < x < b) \\ 1 & (x = c) \end{cases}$$

式中: x ——评价因素的实际值, a 和 b ——评价因素的下限值和上限值, c ——最适值的界点, $\mu(x)$ —— x 的隶属函数。

3.2 土壤质量指标的归一化处理

土壤质量指标的归一化处理的最终目的是为了使不同评价指标之间可以进行运算和相对比较, 是土壤质量评价中首先应完成的工作之一。土壤各评价指标依据其相应隶属函数进行归一化处理, 处理后的数据均为相对数值, 这些数值必须经过方差检验, 其检验结果尽量比原始数据的方差分析结果大, 这样, 才能使不同土壤的质量存在明显差别。

4 评价指标权重确定

(1) 为了避免人为打分确定评价因子权重带来的弊端^[7], 本研究采用多元统计分析中的主成分分析法^[6]计算各评价因子方差, 通过计算各个因子方差占其总方差的比例, 将其所占比例转换为 1~10 的数值, 作为单项评价指标的权重值。的计算公式以及过程如下:

表 2 土壤质量指标权重分配表

性质	指标 1	指标 2	指标 3	...	指标 n	特征值	比例 p_i	累计方差贡献率
主分量 1	W_{11}	W_{12}	W_{13}	...	W_{1n}	λ_1	p_1	b_1
主分量 2	W_{21}	W_{22}	W_{23}	...	W_{2n}	λ_2	p_2	b_2
主分量 3	W_{31}	W_{32}	W_{33}	...	W_{3n}	λ_3	p_3	b_3
...
主分量 n	W_{n1}	W_{n2}	W_{n3}	...	W_{nn}	λ_n	p_n	1
权重	K_1	K_2	K_3	...	k_n			

假设土壤质量评价指标有 n 个, 对其进行主成分分析便可得到表 2 所示项目和数值。在表 2 中, n 个指标进行主成分分析, 便可得到 n 个主分量, 同时这 n 个主分量也对应 n 个由上往下依次剧减的比例。 n 个指标最后会求得 n 个权重。按各指标对于方差的贡献率取最大值的原则, 其计算参考文献:

[1] 胡春胜. 土壤质量诊断与评价理化指征及其应用[J]. 生态农业研究, 1999, 7(3): 16– 18.
[2] 郑昭佩, 刘作新. 土壤质量及其评价[J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 1– 4.
[3] 肖风劲, 欧阳华. 生态系统健康及其评价指标和方法[J]. 自然资源学报, 2002, 17(2): 1– 7.
[4] 孙波, 赵其国, 张桃林, 等. 土壤质量与持续环境——土壤质量评价的生物学指标[J]. 土壤, 1997, (5): 225– 234.
[5] 杨江峰, 黄自立, 郭占富. 延安地区耕地土壤质量模糊评价及其应用[J]. 土壤通报, 1992, 23(1): 21– 24.
[6] 胡小平, 王长发. SAS 基础及统计实例教程[M]. 北京: 地图出版社, 2001.
[7] 张建辉. 长江上游川江流域林业土壤资源评价[J]. 资源开发与保护, 1992, 8(2): 83– 87.

式可设计为:

$$\begin{cases} \max \{ W_{11}p_1, W_{12}p_2, W_{13}p_3, \dots, W_{1n}p_n \} + \max \{ W_{12}p_1, W_{22}p_2, W_{23}p_3, \dots, \\ W_{2n}p_n \} + \dots \max \{ W_{n1}p_1, W_{n2}p_2, W_{n3}p_3, \dots, W_{nn}p_n \} = U \end{cases} \quad (1)$$
$$\frac{\max \{ W_{11}p_1, W_{12}p_2, W_{13}p_3, \dots, W_{1n}p_n \}}{U} = \frac{K_i}{10} \quad (2)$$

经实践检验, 该公式具有一定的合理性, 既减少了考虑各指标在所有主分量中的全面影响率繁重的计算工作量, 也体现了重点考虑的原则。

(2) 土壤质量评价指数。土壤质量的化学性质、酶活性、物理性质质量指数及最终的土壤综合质量指数的确定均采用加权法和进行计算:

$$SQR = \sum_{i=1}^n K_i \times C_i$$

式中: SQR ——土壤质量指数, C_i ——各个评价指标的隶属度值, K_i ——第 i 个评价指标的权重, n ——评价指标的个数。

将土壤的化学性质、酶活性及物理性质各评价因子的隶属度与其权重分别加权求和得出土壤化学性质质量指数、酶活性质量指数及物理性质质量指数。

(3) 土壤质量评价结果。利用(2) 得出土壤化学性质质量指数、酶活性质量指数及物理性质质量指数的分析结果得出的数值, 进行主成分分析, 同样也可利用(1) 中权重的分配方法, 求出土壤化学性质、酶活性及物理性质三大组成部分的权重分配。利用(2) 中的土壤化学性质、酶活性及物理性质的质量指数与其权重加权求和, 便可计算出土壤综合质量评价指数^[2]。

5 结论与讨论

(1) 目前关于土壤质量评价的方法很多, 本文综合了多变量指标克立格法、土壤质量综合评分法和土壤相对质量评价法各种方法的优点, 同时也融入了本地区的土壤特性研究, 制定了有区域特色的层次分析法。

(2) 本文的隶属函数中参数的决定存在一定的人为性, 因此其适宜范围有限, 但就其隶属函数模式来说具有共性, 适用于类似指标隶属度的决定。

(3) 利用主成分分析法决定权重分配是本文的特点之一, 但由于指标多, 各评价指标的权重需要按每一分量中起作用较大的系数及该主分量在所有分量中所占的比例来计算, 有一定的科学性, 同时也存在一定的偏差。