

土壤肥力数值化综合评价研究

骆伯胜 钟继洪 陈俊坚

(广东省生态环境与土壤研究所, 广东省农业环境综合治理重点实验室 广州 510650)

摘要 以林地砖红壤为例,对土壤各肥力因子进行系统数值化处理,通过隶属度函数模型和偏相关分析,确定了土壤各肥力因子的隶属度值及其权重,建立了土壤肥力的综合评价指标体系。根据本体系对雷州半岛桉树砖红壤的综合肥力水平进行了分析和探讨,研究结果显示林地砖红壤其土壤综合肥力水平并不高,绝大部分土壤属于较低或极低水平,与实际土壤生产水平完全吻合。

关键词 数值化;土壤肥力;综合评价;隶属度

中图分类号 S158.3

INTEGRATED DIGITIZATION EVALUATION ON SOIL FERTILITY

LUO Bo-sheng ZHONG Ji-hong CHEN Jun-jian

(Guangdong key Laboratory of Integrated Control of Agro-environment,

Guangdong Institute of Soil and Environmental Sciences, Guangzhou 510650)

土壤肥力是土地生产力的基础。人们早就认识到水、肥、气是构成土壤肥力的重要因素。长期以来,人们多采用土壤性质或环境因素与土壤肥力(植物产量)的相关关系来表现土壤肥力的高低,这就难于全面综合地反映土壤肥力真正的高低水平。

由于对土壤肥力这一科学概念缺乏严格的定义,特别是缺少数量化的指标,一般在生产应用上,常用N、P、K和有机质等养分含量的多少来衡量土壤肥力的高低,无疑土壤养分是土壤肥力的核心部分,是土壤综合肥力评价的根本。目前大多数研究仍局限于人为地划分土壤肥力的等级指标和相对权重系数等,致使评价结果的准确性受主观随意性影响较大,评价者之间没有统一性和可比性,导致结果的应用没有普遍意义。近年来,越来越多的人把聚类分析、因子分析、主成份分析和模糊数学等应用于土壤肥力的综合评价^[1~3],并通过对大量信息的处理,得出反映土壤肥力高低的综合性指标。因此,为了使土壤肥力评价趋于标准化和定量化,我们根据对土壤普查所分析和测定的土壤养分数据,对土壤养分肥力进行数值化综合评价,并根据调查结果和生产实际进行检验,务求达到理论和实践的统一。

有鉴于此,本文试图从数值化方面来综合研究土壤的肥力水平,为土壤和作物营养诊断提供科学依据。

1 研究材料和指标选择

研究土壤采自广东雷州半岛砖红壤区,该地区属台地地形,地势较平坦开阔,属北热带海洋性季风气候,年均降雨量大,土壤风化作用明显,土壤母质主要以浅海沉积物为主。所采供试土壤(约400个样本)为林地桉树短轮伐期土壤,分布于雷州半岛的徐闻、雷州、遂溪、廉江和湛江市郊等5个市县,南北跨度达200 km,东西宽约50 km。根据调查目的和土壤对作物生长的影响,分析测试了14个项目,它们包括pH、有机质、全NPK、速效NPK、交换性Ca、Mg和有效微量元素Cu、Zn、Mn、B等,这些均对作物生长影响很大。考虑到土壤养分元素对土壤肥力的影响,尽量选用较多的元素来表征土壤综合肥力,因此,选用土壤大量元素和中微量元素的含量来共同分析研究土壤肥力,以达到较全面评价的目的,为此选用上述14项肥力特性作为砖红壤肥力综合评价的参考指标。原始土壤肥力指标测定值汇总于表1。

2 土壤肥力的评价

前人对土壤综合肥力评价也进行了一些研究,提出了土壤综合肥力的分级法和评分法^[4,5],对土壤肥力数值化综合评价也进行了一定的探讨^[1~3,6~8],

表 1 土壤肥力指标测定值统计结果 (395 个样)

项目	pH 值	有机质 (mg/kg)	全量养分 (g/kg)			速效养分 (mg/kg)			交换性元素 (mmol/kg)		有效微量元素 (mg/kg)			
			N	P	K	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	B
平均值	4.41	12.44	0.51	0.17	2.08	43.96	1.89	13.46	4.19	1.08	0.47	0.77	5.49	0.12
最小值	3.69	1.44	0.12	0.02	0.13	6.73	痕量	0.51	0.12	0.03	0.00	0.12	0.00	0.00
最大值	7.28	46.12	2.54	0.91	21.35	231.0	84.75	195.0	31.74	18.09	12.57	17.06	200.3	0.70
标准差	0.432	1.793	0.139	0.072	1.312	11.92	0.832	8.889	2.79	0.872	0.352	0.278	0.32	0.099
变异系数	0.10	0.2504	0.346	0.602	0.9305	0.4185	0.986	0.7171	0.7247	1.1474	1.4024	0.5949	0.9503	0.8668

但对土壤参评因素的选定、各肥力因素分级指标的划分,权重系数的确定没有统一的标准,随意性较多,而各有优缺点,这为进一步完善土壤肥力的综合评价打下了基础。本文在综合考虑各种方法的基础上,采用大家都可应用的方法进行分析探讨和研究。

2.1 对评价指标值的处理

由于各肥力因素对土壤整体肥力水平的影响作用不同且实测值的量纲也各异,所以在求算土壤肥力综合指标时,不能将各单项肥力指标简单地直接相加,而应经过一定的数学处理。

首先,对土壤中各养分建立相应的隶属函数,计算其隶属度值,以此来表示各肥力指标的状态值。对于酸性土壤,其土壤肥力指标包括 pH 值、有机质、全 NPK、速效 NPK、交换性 Ca、Mg 和有效微量元素 Cu、Zn、Mn、B 等。因在一定的范围内,作物的效应曲线均呈现为 S 型,所以其隶属度函数也采用 S 型曲线,并将曲线型函数转化为相应的折线型函数(如图 1 所示)以利于计算。

相应的隶属度函数为:

$$f(X) = \begin{cases} 1.0 & x \geq x_2 \\ 0.9(x - x_1)/(x_2 - x_1) + 0.1 & x_1 \leq x < x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \end{cases}$$

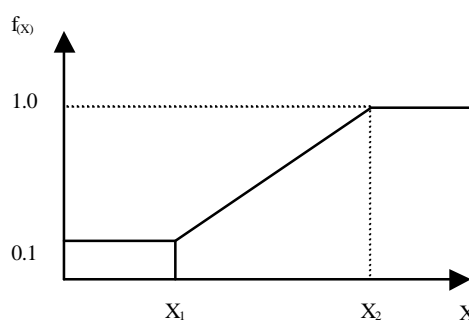


图 1 S 型曲线的折线型

根据前人研究结果^[9, 10],各单项肥力丰缺指标对于不同的作物和土壤是有差异的,根据本文研究的对象,结合酸性土壤的具体实际,确定曲线中转折点的相应取值如表 2 所示。

表 2 S 型隶属度函数曲线转折点取值

项目	pH 值	有机质 (mg/kg)	全量养分 (g/kg)			速效养分 (mg/kg)			交换性元素 (mmol/kg)		有效微量元素 (mg/kg)			
			N	P	K	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	B
X1	4.5	10	0.75	0.9	9.0	60	5	50	25	8	2.0	1.5	2.0	0.5
X2	6.0	30	1.5	1.5	20	120	20	150	35	16	4.0	3.0	3.0	1.0

由此可以计算出各项肥力指标的隶属度值,这些值在 0.1 ~ 1.0 范围之内,其值的大小反映了其隶属的程度,最大值 1.0 表示土壤肥力的最良好状态,完全适宜作物的生长,最小值 0.1 表示土壤肥力的严重缺乏。并为了计算的方便,将最小值定为 0.1 而非零,是符合生产实际的,这就消除了各参数指标间的量纲差异。

2.2 单项指标权重的确定

由于各肥力因素(指标)影响土壤整体肥力的作用不同,即各指标对土壤肥力的贡献是不一致的,故对各项指标应给予一定的权重。权重系数的确定是肥力综合评价中的一个关键问题,为了避免人为

主观因素的影响,应根据土壤肥力本身的内在关系作出正确的选择。由于土壤肥力各要素之间是相互作用并相互影响的,它们之间存在一种友好协同的关系,在土壤有机地结合为一个整体,任意两因子之间的关系必然受到其它因素变化的影响,因此,只有在排除或固定其它因素影响的前题下,分别研究两两因素之间的相关关系,才能求得每一因子对土壤肥力的实际贡献率,这正是偏相关(或净相关、纯相关)分析所要解决的问题。所以对于土壤肥力的研究,单项肥力指标的权重系数可以由各指标间的偏相关系数来确定,计算步骤为:

求单项肥力指标间的相关系数,建立各肥力

指标的相关系数矩阵 R ；由相关系数矩阵求出其逆矩阵 R^{-1} ；由逆矩阵中的相关元素值计算偏相关系数 r_{ij} ；

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & \dots & r_{mm} \end{bmatrix}$$

$$R^{-1} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & \dots & c_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & \dots & c_{mm} \end{bmatrix}$$

$$r_{ij} = \frac{-C_{ij}}{\sqrt{C_{ii}C_{jj}}}$$

计算各因子与其它因子偏相关系数的平均值(R_i)，该平均值占有所有肥力指标偏相关系数平均值之和 (R_i)的百分率即为该单项肥力指标在表征土壤肥力中的贡献率，由此可以得出各项肥力指标的权重 (W_i)。结果如表 3 所示。

2.3 土壤养分肥力综合指标值的计算

根据加乘法则，在相互交叉的同类指标间采用加法合成，求出土壤肥力的综合性指标值 IFI (Integrated Fertility Index)。计算公式为：

$$IFI = W_i \times N_i$$

式中 N_i 和 W_i 分别表示第 i 种养分指标的隶属度值 ($f_{(X)}$) 和权重系数。

表 3 各评价因素的权重

项目	pH 值	有机质 (mg/kg)	全量养分 (g/kg)			速效养分 (mg/kg)			交换性元素 (mmol/kg)		有效微量元素 (mg/kg)			
			N	P	K	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	B
权重	0.01	0.09	0.15	0.07	0.01	0.11	0.02	0.09	0.10	0.04	0.16	0.07	0.06	0.03

3 结果与讨论

用隶属度函数计算各指标的隶属度值，由于对指标值进行了转换处理，其各指标值均在 0.1~1 之间，最后计算出的综合性指标值亦在 0.1~1 之间。将计算出的土壤肥力综合指标值 IFI，按一定的标准即可划分土壤肥力等级。根据本地区的研究目的，按表 4 所列标准确定各评价样本的土壤肥力等级。本文拟定义 IFI 0.8 为高，0.8>IFI 0.6 时为较高，

0.6>IFI 0.4 时为中等，0.4>IFI 0.2 时为较低，IFI<0.2 时为低等 5 个级别。根据计算结果，按高中低等肥力土壤面积的比例为 1:3:46，可见，雷州半岛短轮伐期桉林砖红壤的肥力水平普遍为低和较低，占 90% 以上，而中等的约为 6%，高肥力水平土壤仅有 2%。为了更进一步分析土壤肥力，可进一步细分 IFI 值，从而可更精确地划分土壤综合肥力等级。

表 4 砖红壤区短轮伐期林地土壤肥力综合评价标准及结果

IFI 值	[0.8~1]	[0.6~0.8]	[0.4~0.6]	[0.2~0.4]	[0~0.2]
土壤肥力等级					
面积 (hm ²)	137.0	822.1	2877.3	9865.0	36034.7
比例 (%)	0.28	1.65	5.79	19.83	72.45

根据分析结果与生产实际相比较，本方案所得结果完全符合实际情况，与土壤的实际生产能力相吻合。从具体的地块林木产出对比来看，拟合度乃相当好。

土壤肥力是土壤多项肥力因素综合的结果，肥力因素错综复杂，为更好地反映土壤综合肥力水平，必须抓住影响土壤肥力的最主要因子或决定因素，方能达到准确评价土壤肥力的目的。对于作物响应函数曲线转折点的确定，前人已做了很多研究，只要加于统一即可形成一定的标准。本文对权重的确定，采用偏相关系数进行处理，消除了人为因素的

干扰，比较符合实际，但在指标选择和等级划分上还有待于进一步完善。

参考文献

- 1 吕晓男, 陆允甫, 王人潮. 土壤肥力综合评价初步研究. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 1999, 25(4): 378 ~ 382
- 2 张兴昌. 土壤肥力的数学评价初探. 陕西农业科学, 1993, (4): 8 ~ 11
- 3 曹承绵, 严长生, 张志明等. 关于土壤肥力数值化综合评价的探讨, 土壤通报, 1983, (4): 13 ~ 15

括树木、水果等)及畜产品,它是人类生存和生活的重要基础。因此,土壤圈是地球表面很重要的一个自然圈层。我根据赵其国院士的意见,在“地理科学系统”的全球变化图式中,增加了一个土壤圈。

土壤的物质循环和交换规律,如 C、N、P、S 等循环和交换规律,是土壤发生、发育的集中反映,因此,弄清土壤圈中土壤物质循环的规律,对认识土壤发生、发展过程以及土壤退化过程均极为重要。

土壤圈中土壤物质循环的研究,如 C 的释放和储存,对全球环境也产生重要影响,并受到国际土壤学界的普遍关注。因此,土壤圈物质循环的研究,已成为国际地球科学研究的一个新热点。赵其国院士有鉴于此,于 1987 年在中国科学院南京土壤研究所创建了“土壤圈物质循环开放实验室”,16 年来由于不断做出高水平的研究成果,最近,已被国家列为国家重点开放实验室。由赵其国院士 1987 年主编的“Pedosphere”英文刊物,已于 2003 年被列入国际 SCI 收录刊物。此外,赵其国院士在担任土壤所所长期间,于 1985 年在江西鹰潭设立了中国科学院红壤生态试验站。该站对我国红壤的发生及生态过程进行了深入的研究,已不断取得红壤研究的新成果。

赵其国院士等在我国红壤长期研究的理论与实践基础上,确定以中国红壤为研究对象进行了长期深入的工作,针对土壤物质循环开展了全面与系统研究,最后编写出版《红壤物质循环及其调控》一

书,这是赵其国院士及其研究者,对红壤物质循环长期定位观测、试验和实验研究的结晶。全书 60 余万字,共十章。

本书首先论述自然界红壤形成的水热条件、植被条件和母质条件与大气圈、水圈、生物圈和岩石圈间的物质循环。然后对红壤的两个最重要要素 - 肥力与水分,详细介绍其养分和水分循环。

目前,红壤物质循环在很大程度上已受人类作用的影响而发生改变。故本书后来以较大篇幅介绍不同利用方式下红壤物质循环的特点,论述红壤退化与物质循环的关系,阐明红壤退化的机制,并提出治理和调控方案。

最后一章(第十章)是全书的总结,对红壤物质循环及其调控规律,红壤物质循环在利用中的调控途径等进行了全面的总结与归纳。

本书数据丰富、研究内容有所创新,并附有大量图表,有很高的科学和应用价值,是最近我国土壤学界的一本创新巨著,对国际土壤学和全球变化研究均有重要贡献。

由于两书内容对其他国家亦有参考价值,故两书最后均有详细英文摘要,可供对外交流。

以上介绍仅略举两书的主要贡献,挂一漏万,在所不免,但由此已可看出两书的巨大科学意义和重要应用价值。

(上接第 106 页)

- | | |
|--|--|
| 4 何同康. 土壤(土地)资源评价的主要方法及其特点比较. 土壤学进展, 1983, (6): 1 ~ 12 | 7 阙文杰, 吴启堂. 一个定量综合评价土壤肥力的方法初探. 土壤通报, 1994, 25(6): 245 ~ 247 |
| 5 张先婉主编. 土壤肥力研究进展. 北京: 中国科学技术出版社, 1991 | 8 蔡崇法, 丁树文, 史志华等. GIS 支持下乡镇域土壤肥力评价与分析, 土壤与环境, 2000, 9(2): 99 ~ 102 |
| 6 谢承陶, 林治安, 李志杰. 禹城睢土壤肥力综合数值评价分区的研究. 见: 张先婉主编, 土壤肥力研究进展. 北京: 中国科学技术出版社, 1991 | 9 张华, 张甘霖. 土壤质量指标和评价方法. 土壤, 2001, 33 (6): 326 ~ 330 |

(上接第 109 页)

- | | |
|--|--|
| 3 Xu Liyu. Vetiver Research and Development: A Decade Experience from China, Proceedings: The Second International Vetiver Conference, ORDPB, Bangkok, 2002, 311 ~ 322 | |
|--|--|