

我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价*

孙波 张桃林 赵其国

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

摘 要

土壤肥力是土壤的养分状况以及土壤在供应植物生理所需物质时所处的环境条件这两者的有机结合,本文根据模糊(Fuzzy)数学和多元数理统计分析原理,建立了一个定量的土壤肥力综合评价方法。首先,利用我国东南丘陵山区的第二次全国土壤普查资料,选取了11项评价指标,分成两组,并根据其植物效应建立了两类隶属度函数(S型和抛物线型),分别计算了隶属度值;然后,利用统计分析软件STATGRAPHICS进行因子分析,确定各因子的权重。最后,根据加乘法则,求出土壤肥力的综合性评价指标值(IFI, Integrated Fertility Index)。根据评价结果,采用地理信息系统(GIS)软件ILWIS绘制了东南丘陵区土壤肥力状况图。

从土壤肥力水平与该区粮食、水果产量水平进行比较中,我们找出了存在差距的地区以及引起这些差距的主要因子。结果表明,这一地区土壤肥力大多处于中下水平,高、中、低肥力土壤的面积比例分别为25.9%、40.8%和33.3%。内陆腹地,特别是土壤肥力较高的安徽沿江平原、鄱阳湖平原、湘西武陵山区和广西的河池等地区,土壤肥力资源尚有较大潜力待进一步挖掘,限制本区土壤肥力资源潜力发挥的两个主要因子是土壤侵蚀严重和投入水平低。

关键词 土壤肥力,综合评价,东南丘陵山区,地理信息系统

我国南方丘陵山区总面积218万平方公里,其中东部丘陵山区包括琼、桂、粤、闽、湘、赣、浙、鄂、苏、皖10省(区)的619个县(市),土地总面积113.3万平方公里,占全国土地总面积的11.8%,跨越热带、亚热带,具有丰富的光、温、水、土和生物资源,历来在我国农业和经济发展中占有举足轻重的作用。为使这一地区的农业和农村经济保持持续发展,就需要综合利用该区丰富的自然资源,充分发挥资源的潜力,并协调不同地带间的生态经济互补关系。目前,本区仍处于资源制约型农业阶段,土壤是一个决定性的生产因素,尤其在肥料投放少的地区,土壤肥力的高低决定了作物的生产潜力,是充分发挥这一地区丰富的气候和生物资源潜力的关键因子。即使在现代集约农业阶段,土壤肥力的作用随着农业投入水平的提高相对下降,但也无法完全替代。因此,对土壤肥力资源进行综合评价,并据此提出合理开发利用的措施与策略,挖掘其潜力,防止其退化,具有十分重大的意义。

一、土壤肥力的概念

早在古代的中国、希腊和罗马,人们就已经认识到水、肥、气是构成土壤肥力的重要因

* 本研究为国家“八五”攻关专题85-009-01-11的部分工作。承蒙席承藩研究员提供第二次全国土壤普查资料、鲁如坤研究员提出宝贵意见,在此一并致谢!

素。17 世纪李比西等欧美的土壤学者多侧重从土壤的植物营养方面探讨土壤的肥力^[4]。到了现代, 美国土壤学会把土壤肥力定义为: 在内外界因素(光照、温度与土壤物理条件等)都适合特定植物生长时, 土壤以适当的量和平衡的比例向这种植物供应养分的能力^[6]。我国土壤学界的看法与此类似^[3,4]。由于缺乏严格的科学定义以及数量化的指标, 土壤肥力的概念在一定的程度上仍停留在感性认识阶段。有鉴于此, 黎孟波和张先婉提出了一个土壤肥力的逻辑模式, 试图系统地地区分从土壤肥力到土地生产力等概念的不同内涵与外延^[5]。

事实上, 人们在不断地扩展土壤肥力概念的外延, 缩小其内涵, 并有将地貌、水文、气候、植物等环境因子以及人类活动等社会因子作为土壤肥力系统组分的倾向, 如 20 世纪 40 年代后形成的土体-植物-环境整体性土壤肥力的概念, 已与土地生产力的概念接近^[6]。从土壤学角度出发, 我们认为土壤肥力应包括两个有机结合的部分, 即土壤的养分状况以及土壤在供应植物生理所需物质时所处的环境条件。土壤的养分状况包括有机质、大量营养元素以及必需的微量营养元素等; 而环境条件又分为物理、化学和生物环境条件三个方面, 其中物理环境包括质地、物理性粘粒、粉粘比、表土层厚度等, 化学环境包括酸碱度、阳离子交换量等, 生物环境包括微生物数量、组成以及土壤酶活性等。

二、土壤肥力的评价方法

土壤肥力资源的评价方法很多, 所选择的评价指标也不一致。以往的评价方法大多人为划分土壤肥力评价指标的数量级别以及各指标的权重系数, 然后利用简单的加法、乘法合成一项综合性的指标评价土壤肥力的高低^[7-10]。这些方法简便明确, 直观性强, 但其评价结果的准确性在很大程度上取决于评价者的专业水平。近来, 研究者们把模糊(Fuzzy)数学方法、多元统计分析方法引入土壤肥力的综合评价中, 通过对大量信息的处理, 得出反映土壤肥力高低的综合指标, 在较大程度上避免了评价者主观因素的影响^[11,12]。在这些研究的基础上我们提出如下的方法评价我国东南丘陵山区的土壤肥力水平。

(一) 评价指标的选择

由于我们采用第二次全国土壤普查资料进行土壤肥力综合评价, 而各省的普查水平参差不齐, 所以在选择评价指标时, 是在全面性和系统性的基础上, 考虑指标能否获取, 最终选择了 11 项评价指标。

评价指标分为三个层次, 第一层为土壤肥力的综合指标; 第二层中包含相互独立的两项, 一项表示土壤养分的状况, 另一项表示土壤供应植物养分时所处的物理和化学环境条件; 第三层为相互交叉的单项肥力指标(图 1)。我们以土种为基本单元, 按省收集各项肥力指标值, 利用 FOXBASE 建立土壤肥力数据库, 然后进行计算评价。

(二) 评价指标值的计算

首先建立各评价指标的隶属度函数, 计算其隶属度值, 以此表示各项肥力指标的状态

1) 翟玉顺, 1992: 中国中亚热带低丘红壤地区农业资源的系统分析与耕作制度的优化设计。南京农业大学博士学位论文。

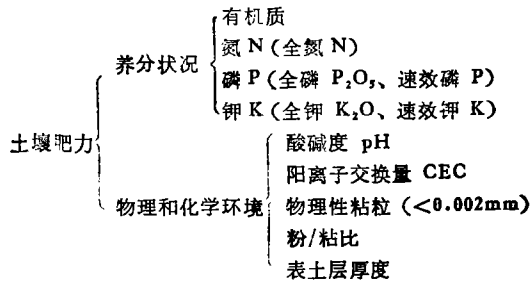


图 1 土壤肥力评价指标体系

Fig. 1 Index system evaluating soil fertility

值。根据作物效应曲线将隶属度函数分为两种类型(S型和抛物线型),并将曲线型函数转化为相应的折线型函数,以利于计算^[13]。

(1) 抛物线型隶属度函数

属于这种类型的土壤肥力指标包括 pH、物理性粘粒含量和粉/粘比,其隶属度函数曲线如图 2 所示,相应的隶属度函数为:

$$f(x) = \begin{cases} 0.9(x - x_3)/(x_4 - x_3) + 0.1 & x_3 < x \leq x_4 \\ 1.0 & x_2 < x \leq x_3 \\ 0.9(x - x_1)/(x_2 - x_1) + 0.1 & x_1 \leq x < x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \text{ 或 } x > x_4 \end{cases} \quad (1)$$

根据已有的研究资料^[14,15]以及本区土壤在不同利用方式下的肥力特征,我们确定了曲线中转折点的相应取值(表 1)。

(2) S型隶属度函数

属于这种类型的土壤肥力指标包括有机质、全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾、CEC和表土层厚度,其隶属度函数曲线如图 3 所示,相应的隶属度函数为:

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & x \geq x_2 \\ 0.9(x - x_1)/(x_2 - x_1) + 0.1 & x_1 \leq x < x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \end{cases} \quad (2)$$

这种类型的肥力指标在曲线中的转折点取值见表 2。实际上, S型曲线只是抛物线型曲线的前面一段 ($x \leq x_3$),由于属于这种类型的土壤肥力指标在现实中极少出现抛物线型曲线的后面一段 ($x > x_3$)的情况,因而把这些指标列入 S型曲线类型。

表 1 抛物线型隶属度函数曲线中转折点的取值

Table 1 Values of turning point in parabola-type membership function

转折点 Turning point	pH			物理性粘粒 (<0.002mm, %) Silt and clay	粉/粘比 Silt-clay ratio
	水 田 Paddy field	旱 地 Upland	林 地 Woodland		
x_1	4.5	4.5	4.5	20	0.7
x_2	5.5	6.5	6.5	40	1.2
x_3	6.5	8.0	7.5	60	2.5
x_4	8.5	8.5	8.5	80	3.5

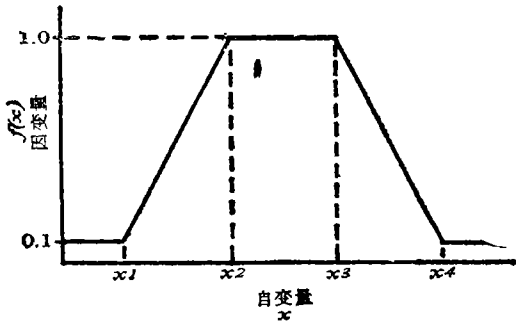


图 2 抛物线型隶属度函数曲线

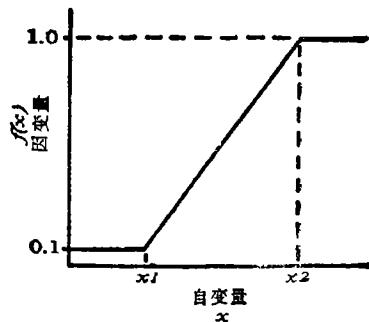


图 3 S型隶属度函数曲线

Fig. 2 Curve of parabola-type membership function Fig. 3 Curve of S-type membership function

表 2 S型隶属度函数曲线中转折点的取值

Table 2 Values of tuning point in S-type membership function

土地利用方式 Land use pattern	转折点 Turning point	有机质 (g/kg) O. M _z	全氮 (g/kg) Total N	全磷 (g/kg) Total P ₂ O ₅	全钾 (g/kg) Total K ₂ O	速效磷 (mg/kg) Available P	速效钾 (mg/kg) Available K	CEC (cmol (+)/kg)	表土层厚度 (cm) Thickness of epipedon
水田	x ₁	15	0.75	0.4	5	2.5	40	10	12
	x ₂	30	1.50	1.0	25	10.0	100	25	18
旱地	x ₁	10	0.50	0.2	5	5.0	50	10	10
	x ₂	20	1.20	1.0	25	10.0	100	25	20
林地	x ₁	10	0.50	0.2	10	2.5	50	10	5
	x ₂	50	1.20	1.0	30	10.0	100	25	20

根据公式(1)、(2)和表 1、表 2, 可以计算出各项肥力指标的隶属度值, 这些值在 0.1—1.0 范围之间。最高值 1.0 表示土壤肥力指标完全适宜植物生长。最低值取 0.1 是因为完全没有肥力的土壤极少, 而且在计算时可避免零值过多。

(三) 权重的确定

各项肥力指标的权重利用多元统计分析中的因子分析法确定。我们采用统计绘图系统软件 (STATGRAPHICS) 进行分析, 首先求出各个肥力因子主成分的特征值和贡献率(表 3)。因为样本量大, 前 6 个主因子的贡献率(76.6%)已能满足信息提取的要求。经因子旋转分析可知, 各主因子主要表达的土壤肥力指标, 第一个为有机质和全氮, 第二个为全钾和速效钾, 第三个为 CEC 和表土层厚度, 第四个为全磷和速效磷, 第五个为 pH 和物理性粘粒含量, 第六个为粉/粘比。然后计算相应的载荷矩阵, 并求出各项肥力指标的公因子方差, 方差的大小表示了该项肥力指标对土壤肥力总体变异的贡献, 由此可以得出各项肥力指标的权重(表 4)。

根据加乘法则, 在第二层相互独立的两类指标间采用乘法进行合成, 而在第三层相互交叉的同类指标间采用加法进行合成, 最终求出土壤肥力的综合性指标值 IFI, (Integrated Fertility Index)。计算公式如下:

表 3 肥力因子主成分的特征值和贡献率

Table 3 Eigenvalues and contribution of principal fertility components

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率(%) Contribution	累计贡献率(%) Cumulative contribution
1	2.49505	22.7	22.7
2	1.60029	14.5	37.2
3	1.29873	11.8	49.0
4	1.14590	10.4	59.4
5	1.02942	9.4	68.8
6	0.86179	7.8	76.6
7	0.82767	7.5	84.2
8	0.64488	5.9	90.1
9	0.56418	5.1	95.2
10	0.41907	3.8	99.0
11	0.11362	1.0	100.0

表 4 各项肥力指标的公因子方差和权重

Table 4 Estimated communality and weight value of indexes of soil fertility

指标类型 Type of index	指标名称 Name of index	公因子方差 Communality	权重值 Weight value
养分状况	有机质	0.88938	0.189
	全氮 N	0.91208	0.194
	全磷 P ₂ O ₅	0.77563	0.165
	全钾 K ₂ O	0.60993	0.130
	速效磷 P	0.75166	0.160
	速效钾 K	0.75985	0.162
物理化学环境	pH	0.73124	0.196
	CEC	0.63426	0.170
	物理性粘粒	0.73484	0.197
	粉/粘比	0.77625	0.208
	表土层厚度	0.85605	0.229

$$IFI = N \times E$$

$$N = W(N) \times (n_{ij})_{c \times a}$$

$$E = W(E) \times (e_{ij})_{c \times b}$$

其中 N 表示养分状况指标隶属度集合, E 表示环境指标隶属度集合, W 表示权重向量, n 和 e 表示两类指标的隶属度值, c 表示样本数量, a 和 b 表示两类指标的个数, 分别为 6 和 5。

(四) 土壤肥力等级分布图的绘制

把计算出的各亚类土壤综合肥力值, 划分成高(>0.45)、中(0.20—0.45)、低(<0.20)三级, 同时利用红黄壤地区土壤图^[2]作底图, 借助地理信息系统(GIS)软件 ILWIS 进行底图的数字化输入以及土壤肥力综合评价图的绘制。

三、丘陵山区土壤肥力的分布及其潜力的发挥

按上述步骤,利用东南丘陵山区九省(区)(琼、桂、粤、闽、湘、赣、浙、鄂、皖)的第二次全国土壤普查资料,我们分别计算了各亚类土壤的综合肥力值,并绘制出土壤肥力状况分布图(图 4)。

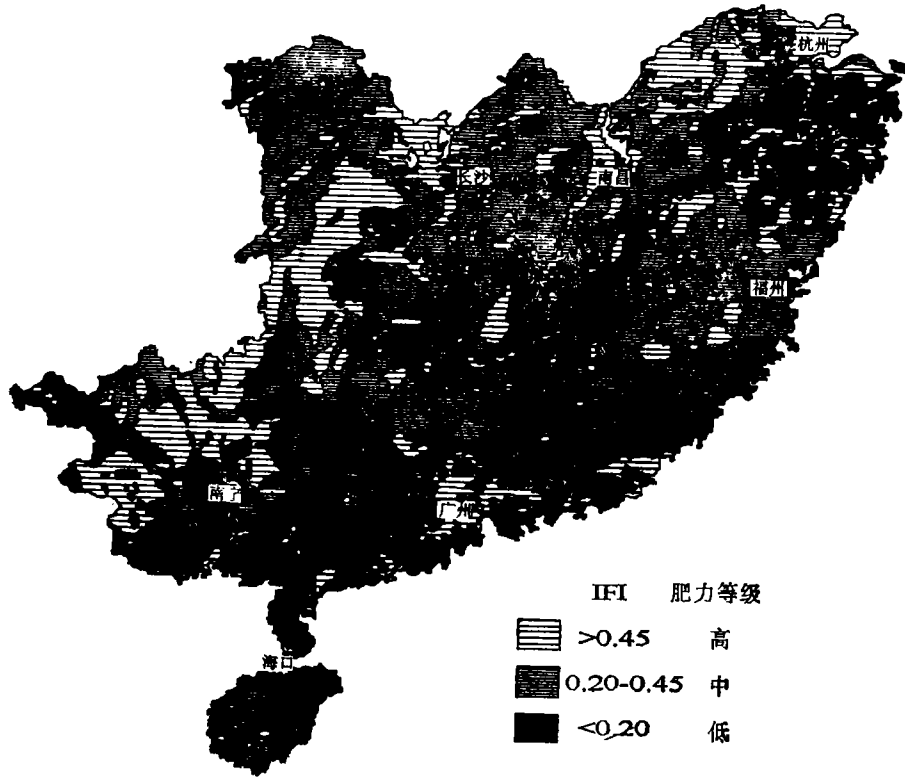


图 4 我国东南丘陵山区土壤肥力的状况

Fig. 4 Soil fertility in hill region of Southeastern China

结果表明,这一地区土壤肥力大多处于中下水平,高、中、低肥力土壤的面积分别为 29.3、46.2 和 37.6 万平方公里,分别占 25.9%、40.8% 和 33.3%。高肥力土壤主要分布在两湖平原、杭嘉湖平原、安徽沿江平原、珠江三角洲平原、湘西武陵山区和广西的河池地区,主要是水稻土、黄壤和一些自然红壤;低肥力土壤主要分布在桂、粤的赤红壤区、桂西的百色地区、赣中吉泰盆地、闽南和浙东,主要是赤红壤和砖红壤;其余地区属于中等肥力分布区。

当然,计算出的土壤肥力仅是一种潜在肥力,还需经光照、温度、施肥、灌溉、技术、经济和社会等因素的校正后,才形成最终的产量,即土地现实生产力。因此,土壤肥力水平与其最终的土地产量水平之间往往存在差距,找出存在差距的地区以及引起这些差距的主要因子对于发展农业生产具有重要的指导意义。

根据 1991 年的统计资料,这一地区粮食高产(≥ 9000 公斤/公顷)、中产(6000—9000 公斤/公顷)、低产(< 6000 公斤/公顷)的面积分别占 18.0%、48.7% 和 33.3%, 水果高产(≥ 6000 公斤/公顷)、中产(3000—6000 公斤/公顷)、低产(< 3000 公斤/公顷)的面积分别占 19.4%、31.6% 和 49.0%。将土壤肥力水平与粮食、水果产量水平进行比较发现,沿海地区由于投入与集约化管理水平较高,土壤肥力资源的利用水平相应也较高,而内陆腹地的利用水平则较低,尚有较大潜力待进一步挖掘。在土壤肥力较高安徽沿江平原、鄱阳湖平原、湘西武陵山区和广西的河池等地区,由于投入水平偏低,其土壤肥力资源的潜力发挥度也较低。从 1991 年的统计资料中可以发现,化肥用量高(≥ 6000 公斤/公顷)的县面积仅占 15.9%, 主要分布在沿海地区;化肥用量中等(3000—6000 公斤/公顷)的占 59.5%, 分布在广大的红壤腹地地区;而化肥用量低(< 3000 公斤/公顷)的占 24.7%, 主要分布在琼西、桂西和湘西等地区。另一方面,该区目前水土流失面积为 24.8 万平方公里,占土地总面积的 21.4%, 比 80 年代增加了 2.82 万平方公里。其中具有明显水土流失的县有 159 个,占 25.7%。水土流失严重的地区,一般分布在农业人口密度较大,人均收入较低的贫困地区,如江西赣南、粤东、湘西、湘中和桂东南等地区。据统计,桂、粤、闽、湘、赣、浙六省每年表土流失量为 5.85 亿吨,由此损失的土壤有机质为 877.5 万吨, N、P、K 等无机养分为 918.5 万吨。可见,水土流失是造成本区土壤肥力衰减的一个最直接和最重要的原因。因此,提高投入水平、减少土壤侵蚀是充分发挥这一地区土壤肥力资源巨大潜力的两个重要措施。

参 考 文 献

1. (美)蒂斯代尔 (S. L. Tisdale), 纳尔逊 (W. L. Nelson) 著(孙秀廷等译), 1984: «土壤肥力与肥料», 5—14 页, 科学出版社。
2. 红壤利用改良区划协作组, 1985: «中国红壤地区土壤利用改良区划»。农业出版社。
3. 熊毅, 1978: «中国土壤», 科学出版社。
4. 侯光炯, 1979: «中国土壤学概论», 农业出版社。
5. 黎孟波、张先婉, 1991: 土壤肥力概念与模式; 土壤肥力状态函数; 土壤肥沃度的理化评价。《土壤肥力研究进展》(张先婉主编), 208—241 页, 科学技术出版社。
6. 赵国栋, 1990: 土壤与土壤肥力的相对性。农业系统科学与综合研究, 第 3 期, 6—10 页。
7. 何同康, 1980: 土壤资源研究方法简介。土壤专报, 第 37 号。
8. 杨艳生等, 1983: 县一级土壤资源评价的研究。土壤专报, 第 38 号。
9. 陆彦椿等, 1987: 太湖地区水稻土肥力的综合评价。农业生态环境, 第 1 期, 7—11 页。
10. 徐盛荣, 1991: 江西省临川县小华山红壤实验区土地资源的分析评价与治理设计。自然资源, 第 3 期, 27—33 页。
11. 李小平、姚造华, 1993: 土壤肥力因子数值化综合分析的程序方法。计算机农业应用, 第 2 期, 23—26 页。
12. 杨京平、张熙谷, 1993: 江苏省丹阳市水稻土自然生产潜力的初步分析。自然资源学报, 第 3 期, 254—261 页。
13. 沈思源, 1990: 土壤资源评价指标的研究。《自然资源的评价与决策研究》(中国自然资源研究会青年协会编), 128—133 页, 科学出版社。
14. 沈汉, 1990: 土壤评价中参评因素的选定与分级指标的划分。华北农学报, 第 5 卷 3 期, 63—69 页。
15. 江西省土地利用管理局、江西省土壤普查办公室, 1990: «江西土壤»。481—501 页, 中国农业科技出版社。
16. Soil Conservation Society of America, 1970: Resource Conservation Glossary.

COMPREHENSIVE EVALUATION OF SOIL FERTILITY IN THE HILLY AND MOUNTAINOUS REGION OF SOUTHEASTERN CHINA

Sun Bo, Zhang Taolin and Zhao Qiguo

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing 210008*)

Summary

An evaluation method of soil integrated fertility was developed and used for evaluating soil fertility in the hilly and mountainous region of Southeastern China, with soil fertility being considered as a complex of the state of soil nutrients and the capacity to regulate and transform the materials needed by plants.

With systematic principle and the data of the Second National Soil General Survey, 11 indexes were divided into two groups representing, separately, states of soil nutrients and environments of nutrient supplying, involving content of soil organic matter, total N, total P_2O_5 , total K_2O , available P_2O_5 , available K_2O , pH, CEC, physical clay, silt-clay ratio and thickness of epipedon. Then two types of membership functions of these indexes, S-type and parabola-type, were developed based on their effects on plants. Their values of function were also calculated. Through factor analysis of these values with software STATGRAPHICS, weight values of these indexes were decided. Finally, IFI (Integrated Fertility Index) of different soils was calculated according to addition-multiplication principle.

With GIS software ILWIS, the map of soil comprehensive fertility in Southeastern China was drawn. The soil fertility in this region was mainly middle and low, and soils with high, middle and low fertility amount to 25.8%, 40.8% and 33.3% respectively. The regions which had great potentiality in soil fertility often have high soil fertility, such as Anhui plain along the Yangtse River, the Poyang Lake plain, Wuling Mountain area in the western Hunan and Hechi region in Guangxi. Two principal reasons affecting the full utilization of soil fertility were low input and serious erosion.

Key words Soil fertility, Comprehensive evaluation, Hilly and mountainous region, Southeastern China, GIS