

川江流域防护林区土壤质量评价方法*

张 建 辉

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所)

提 要 根据川江流域防护林区内森林地、宜林地并存,且宜林地占有相当比重的特点,将评价对象仅限于土壤本身,并选取土壤质地等十项可实测土壤指标为评价因素。在此基础上,邀请众多专家进行土壤质量的指标强度分级和因素权重分配。最后采用模糊数学的综合评判法对土壤质量作出评价。评价结果表明,此套方法对川江流域防护林区土壤质量评价是较为合理的,并较其他方法更具优越性。

关键词 川江流域 土壤质量 评价方法 模糊数学

在国内外,土壤(土地)质量评价是土壤(土地)资源研究的核心问题,而受人们高度重视。但由于土壤(土地)资源一直没有公认的概念,土壤(土地)资源质量评价至今尚无一个清晰的定义,以致评价方法多种多样。产生种类繁多的评价方法的另一原因,如 McRae 等(1981)所揭示的那样,并非是因为有许多人想去建立各种新的方法,而是因为评价目的和各地自然条件不同,不得不对现有方法加以修改,以适应当地条件下应用^[1]。

现拟从评价对象、评价项目(因素)、评价标准和处理手段等诸方面探讨川江流域防护林区土壤质量的评价问题,以期提出一套适宜于本区特点的土壤质量评价方法。

一、评 价 方 法

(一)评价方法的回顾

就林业而言,土壤(土地)质量评价包括:有林地评价和宜林地评价。

评价有林地土壤生产力(地位质量),常用地位级、地位指数、林型、收获表和收获级等表达林地为一树种所提供的生产力^[2]。划分地位质量的指标通常是指示植物、树高等。这些标准都是以树木生长状况直接评价土壤质量的。然而人们总是希望将评价结果建立在直接的较为稳定的评价实体上,因而认为单纯据地位级或地位指数等评价,不利于迹地更新和荒山荒坡的造林工作。于是便从土壤性状中寻找评价土壤生产力的综合指标。

罗汝英等^[3]曾用几个土壤指标的乘积来综合评价森林土壤生产力。刘寿坡等^[4]通过对土壤性状及其他立地因子与林木生长关系的研究,寻找综合评价土壤生产力的指标。这些方法的评价对象虽然转到(或基本转到)较为稳定的实体上,但仍涉及到林木生长状况的某些指标,因而不适宜于宜林地的评价。

*“七五”国家重点科技攻关课题《长江上游水源涵养林、水土保持林营造技术研究》中之《长江上游生态环境和社会经济条件研究与评价》专题的部分成果。

承唐时嘉副研究员指导;参加野外工作的还有:唐时嘉、何毓蓉、郭永明等,谨此一并致谢。

本文改回日期:1992-03-07(收稿日期:1990-10-04)。

对宜林地质量的评价,常用到立地条件及其类型。近年来,许多研究者将土壤因素与林分地位质量的指标——地位指数之间建立复回归方程,以预测宜林地的生产潜力。但是地位指数的获得必须是在有林地的基础上,并且回归分析往往需要大量的样方资料。否则根据有限的有林地资料,预测无林地的生产潜力往往精度较差。

(二)评价对象的确定

不同的评价方法有不同的评价对象,概括起来大致有两类:1. 按土地生产力加以评价,主要依据为经济因素,也考虑有关的自然因素;2. 按土地肥沃度和土壤改良的难易程度加以评价,主要依据为土壤属性,结合考虑有关自然因素。

对于涉及生物因素(如树高、生长量等指标)的方法,从整体上看都较难适宜于川江流域防护林区土壤的评价。因为本区森林破坏严重,迹地、荒山荒坡较多,需解决迹地更新和荒山荒地的绿化问题。从全局来看,区内土壤质量评价的目的不仅是要提高营林技术,更重要的是要建设新林地。由此可见,评价对象就只能从土壤本身来加以考虑。

实际上,土壤本身就是反映环境因素作用的自然综合体。它既是地理景观的一部分,又是地理景观的一面镜子,这面镜子清晰地反映了成土母质、气候、生物、地形、时间及人类活动对土壤形成的综合作用结果。从这种意义上说,不论是天然林地、人工林地,还是宜林地,其土壤都是环境(包括人文)因素作用的产物。再从生态学观点来看,森林生态系统中各个子系统是相互联系、彼此制约的。实践证明,天然林和经营集约度较低的人工林,其林分生产力的高低,决定于生态因子是否能满足各树种生长发育的要求,而土壤不仅是主要的生态因子,也是错综复杂生态因子的集中反映^[4]。

(三)评价方法的确定

既然评价土壤本身就可以了解林地土壤生产力状况,那么采用何种方法来评价就十分重要。综观国内外土壤资源评价方法,总体上可归为分等法和评分法两种^[4]。

然而分等法较为粗糙。它虽考虑到了各种影响因素,但最后评等并未充分吸收每一因素的信息,而是仅取决于某一限制因素。且分等法没有数值指标,其结果无定量含义,易受评价者主观影响。

评分法虽较精细且有定量含义,但在评价因素的分级、评分以及最后划归等级类型上,多次进行人为性处理,不可避免主观的影响。例如某一地区土壤的适宜性评价中,将总指数 > 3.25 者归为第一类, $3.25-2.75$ 为第二类……若某一种土壤总指数为 3.00 ,则无疑属第二类;倘若另有两种土壤,其总指数分别为 3.26 和 3.25 ,按此标准同应分属第一和第二类,这就很难让人信服。像这类问题,用模糊数学方法就能予以解决。

二、评价指标体系

(一)评价因素的选取

评价因素的选择是一项十分重要的基础工作。选择的原则是既要全面,又要抓住主要矛盾。本区土壤评价因素的选择是,在全面考虑每一可能影响因素的前提下,筛选出主要因素。在主要因素中,对相关性极为密切到两个以上因素,则选择其中一个时间上最为

稳定的、空间上变异最小的、且易于测定的因素。例如土壤容重和紧实度均是土壤质量的主要影响因素,但两者相关性很好(容重愈大,紧实度愈大),而紧实度(用紧实度仪测定)的空间变异较大,容重的空间变异较小,因而选择了容重这个因素。

实地调查和实验分析结果表明,影响川江流域防护林区林木生长的土壤性质包括:物理、养分、化学三种性质。物理性质主要有:质地、容重、湿度、砾石含量和土层厚度五个因素;养分性质主要有:有机质含量、全氮含量和速效磷含量三个因素;化学性质主要有:pH值和石灰含量二个因素。于是便选取这十项因素作为本区土壤质量的评价因素,并将物理、养分、化学三种性质定为二级评价因素,其下所辖各因素均定为一级评价因素。

表 1 川江流域防护林区土壤质量评价专家指标强度分级

Table 1 Comprehensive index gradation by the experts for the soil evaluation in the protective forest regions of the Chuanjiang Basin

因 素		级 别				
		I	II	III	IV	V
质 地 (粒径<0.01毫米 颗粒含量,%)	范围	10.00—60.00	10.00—30.00 45.00—85.00	10.00—20.00 40.00—75.00	<10.00 50.00—85.00	<5.00 >65.00
	平均	25.01—42.00	15.01—25.00 42.01—54.26	10.01—15.00 54.27—69.00	5.00—10.00 69.01—80.00	<5.00 >80.00
容 重 (克/厘米 ³)	范围	0.80—1.50	<1.00 1.00—1.50	>1.50 1.20—1.60	1.40—1.70	>1.60
	平均	0.98—1.25	1.26—1.38	1.39—1.52	1.53—1.68	>1.68
湿 度 (%)	范围	45.00—90.00	36.00—80.00 90.00—100.00	25.00—75.00 >100.00	<25.00 45.00—70.00	<65.00 >48.75
	平均	66.25—88.12	57.75—66.26	48.75—57.76	88.13—100.00	>100.00
砾石含量 (%)	范围	<30.00	<50.00	10.00—70.00	>30.00	>50.00
	平均	<20.00	20.00—32.15	32.16—48.40	48.41—63.33	>63.33
土层厚度 (A+B,厘米)	范围	>70	40—100	10—80	<70	<50
	平均	>80	80—58	57—36	35—27	<27
有 机 质 (%)	范围	>3.00	1.00—15.00	<10.00	<7.00	<1.00
	平均	20.00—7.68	7.67—4.89	4.88—3.34	3.33—1.00	<1.00 >20.00
全 氮 (%)	范围	>0.15	0.70—0.08	<0.50	<0.30	<0.10
	平均	>0.31	0.31—0.22	0.21—0.15	0.14—0.08	<0.08
速 效 磷 (ppm)	范围	>4.00	70.00—2.70	<40.00	<30.00	<10.00
	平均	>22.37	22.37—12.77	12.76—8.08	8.07—3.43	<3.43
pH	范围	5.50—7.50	<6.50 6.50—8.50	4.50—5.50 6.00—8.20	<4.80 >7.50	<5.50 >8.50
	平均	5.95—6.99	5.31—5.94 7.00—7.84	4.58—5.30	7.85—8.98	<4.58 >8.98
石灰含量 (%)	范围	<1.00	1.00—3.00	3.00—10.00	>5.00	>6.00
	平均	<1.00	1.00—3.00	3.01—6.00	6.01—9.00	>9.00

(二)评价因素的指标强度分级

评价因素选定后,就需进行指标强度分级。这在过去一般是由评价者凭经验确定的,其结果难免带有一定的主观色彩。为使土壤质量评价更符合客观实际,以便与模糊综合评判法相匹配,兹聘请十位专家加以评级定值,建立评价标准专家系统。

首先将各评价因素的评语确定为五级,用 I → V 级表示之,以 I 级为最优。然后请专家们各自独立地对上述十项评价因素给予定值,经综合整理后,得评价标准专家系统。

从收回的专家指标强度分级结果中可以看出,不同专家对同一因素给出的分级标准是不尽相同的,分级界限彼此有所交叠。如质地(粒径 < 0.01 毫米颗粒含量)分级的 I 级标准分别为 30—45, 30—45, 20—45, 20—45, 10—30, 30—60, 25—42, 25—42(%)等。这些需避免的差异可作为有利的评价基础,以建立综合评价的评判矩阵(后文详述)。

为便于了解指标强度分级情况,仍需将专家结果进行综合处理。其办法是:将专家们给出的每个指标强度分级的上下限分别平均,得新的上下限值,相邻级别的上下限值可能会交叠,需加以分割,仍以平均方法取中值为分界值,即得综合指标强度分级。例如土壤容重,所有专家的平均 I 级范围为 0.98—1.28, II 级为 1.22—1.38,于是取 1.28 和 1.22 的中值,得新的分界值为 1.25,即 I 级标准为 0.98—1.25, II 级标准为 1.26—1.38(表 1)。

(三)评价因素的权重分配

土壤质量(或土壤生产力)是土壤各种属性的综合表现,但各种因素对土壤质量(或土壤生产力)的贡献并不相同。因此评价土壤质量,需对各评价因素进行权重分配。过去对权重系数的确定,虽有人提出请专家打分的办法,但实际进行这一工作的实属罕见。

本区土壤质量评价因素的权重系数也由十位专家加以打分确定,经综合整理后,得平均权重系数(表 2)。

表 2 川江流域防护林区土壤质量评价因素的权重系数

Table 2 Weight coefficients of soil evaluation factors in the protective forest regions of the Chuanjiang Basin

二级因素 权 重	物 理 0.59					养 分 0.25			化 学 0.16	
一级因素 权 重	质地	容重	湿度	砾石	土层厚度	有机质	全氮	速效磷	pH	石灰
	0.17	0.16	0.19	0.13	0.35	0.45	0.30	0.25	0.72	0.28

三、土壤质量的模糊综合评判

根据本区土壤评价因素的数量和层次,采取模糊综合评判的二级模型^[5]评价土壤质量。现以普通腐棕土(其各因素测定值¹⁾分别为:粒径 < 0.01 毫米颗粒含量 25.00%,容重 1.27 克/立方厘米,湿度 94.00%,砾石含量 0%,土层厚度 10 厘米,有机质含量 2.62%,全氮含量 0.181%,速效磷含量 3.60 ppm, pH 值 8.24,石灰含量 2.38%)为例,简要叙述土壤质量的模糊综合评判过程。

1. 确定评判对象的因素集,即土壤质量 = {质地,容重……石灰含量}。将因素集分成三个因素子集,即物理因素子集 = {质地,容重,湿度,砾石含量,土层厚度},养分因素子集 = {有机质含量,全氮含量,速效磷含量},化学因素子集 = {pH 值,石灰含量}。

2. 给出评判集(或称评语集),即 {I, II, …, V}。

3. 对各因素子集分别进行一级模糊综合评判。

1) 0—50 厘米土层加权平均值。

1) 单因素评判

建立单因素评判矩阵

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}, (0 \leq r_{ij} \leq 1; i=1, 2, \cdots, n; j=1, 2, \cdots, m), \quad (1)$$

式中 m 为评语个数; n 为评价因素个数。

上已述及, 不同专家对同一指标的分级界限在一定范围内存在着差异, r_{ij} 值就是通过求同一级别内某一指标的实测值出现的频数 n 与专家总数 N 的比值而得, 即

$$r_{ij} = n/N. \quad (2)$$

例如普通腐棕土质地 I 级频率 r_{11} 的求法是: 已知粒径 < 0.01 毫米颗粒含量 $x = 25.00\%$, 而专家质地 (粒径 < 0.01 毫米颗粒含量) 分级中 I 级标准分别为 $30\% < x \leq 45\%$, $30\% < x \leq 45\%$, $20\% < x \leq 45\%$, $20\% < x \leq 45\%$, $10\% < x \leq 30\%$, $30\% < x \leq 60\%$, $25\% < x \leq 42\%$, $25\% < x \leq 42\%$ 等, 则可知实测值落入三个专家的所给标准内, 于是由式 (2) 得: $r_{11} = 3/8 = 0.375$. 同理可得其他各值。这样便有单因素评判矩阵

$$\begin{aligned} \text{物理 } \tilde{R}_1 &= \begin{bmatrix} 0.375 & 0.500 & 0 & 0.143 & 0 \\ 0.500 & 0.375 & 0.125 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.250 & 0.286 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.500 & 0.430 & 0.200 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{质地} \\ \text{容重} \\ \text{湿度} \\ \text{砾石含量} \\ \text{土层厚度} \end{matrix} \\ \text{养分 } \tilde{R}_2 &= \begin{bmatrix} 0 & 0.125 & 0.500 & 0.430 & 0 \\ 0.125 & 0.375 & 0.250 & 0.286 & 0 \\ 0.125 & 0.125 & 0.375 & 0.143 & 0.400 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{有机质含量} \\ \text{全氮含量} \\ \text{速效磷含量} \end{matrix} \\ \text{化学 } \tilde{R}_3 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.125 & 0 & 0.200 \\ 0 & 1.000 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{pH 值} \\ \text{石灰含量} \end{matrix} \end{aligned} \quad (3)$$

2) 综合评判

将式 (3) 中的各模糊关系矩阵 \tilde{R}_i 与模糊向量 (即权重系数, 见表 2) a_i , 按 $b_i = a_i \circ \tilde{R}_i$ 分别进行复合运算, 得

$$\begin{aligned} \text{物理 } b_1 &= a_1 \circ \tilde{R}_1 = (0.170, 0.160, 0.190, 0.130, 0.350) \circ \begin{bmatrix} 0.375 & 0.500 & 0 & 0.143 & 0 \\ 0.500 & 0.375 & 0.125 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.250 & 0.286 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.500 & 0.430 & 0.200 \end{bmatrix} \\ &= (0.170, 0.170, 0.350, 0.350, 0.200), \\ \text{养分 } b_2 &= a_2 \circ \tilde{R}_2 = (0.450, 0.300, 0.250) \circ \begin{bmatrix} 0 & 0.125 & 0.500 & 0.430 & 0 \\ 0.125 & 0.375 & 0.250 & 0.286 & 0 \\ 0.125 & 0.125 & 0.375 & 0.143 & 0.400 \end{bmatrix} \\ &= (0.125, 0.300, 0.450, 0.430, 0.250), \\ \text{化学 } b_3 &= a_3 \circ \tilde{R}_3 = (0.720, 0.280) \circ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.125 & 0 & 0.200 \\ 0 & 1.000 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0, 0.280, 0.125, 0, 0.200). \end{aligned} \quad (4)$$

式(4)经归一化处理后,分别得

$$\begin{aligned} b_1 &= (0.137, 0.137, 0.282, 0.282, 0.161), \\ b_2 &= (0.080, 0.193, 0.289, 0.277, 0.161), \\ b_3 &= (0.000, 0.463, 0.207, 0.000, 0.330). \end{aligned} \quad (5)$$

4. 进行二级综合评判。取 $\tilde{R} = (b_1, b_2, b_3)^T$ (T 表示转置), 作与一级综合评判同理的复合运算

$$\begin{aligned} b &= a \circ \tilde{R} = (0.590, 0.250, 0.160) \circ \begin{bmatrix} 0.137 & 0.137 & 0.282 & 0.282 & 0.161 \\ 0.080 & 0.193 & 0.289 & 0.277 & 0.161 \\ 0 & 0.463 & 0.207 & 0 & 0.330 \end{bmatrix} \quad (6) \\ &= (0.137, 0.193, 0.282, 0.282, 0.161), \end{aligned}$$

式中 a 为二级因素模糊向量(权重系数); \tilde{R} 为二级因素模糊关系矩阵。

将式(6)归一化后, $b = (0.130, 0.180, 0.270, 0.270, 0.150)$, 这就是最后评判结果。那么怎样用这一向量来确定土壤质量的等级呢? 通常是根据最大隶属原则, 选取 b 值中最大者为在同时考虑多种因素时的评判等级。因而区内的普通腐棕土质量属 III 或 IV 级。

在模糊综合评判的复合运算中, 有多种算子^[5]。采用不同的算子会有不同的结果(精度)。以上复合运算是采用最常用的扎德算子, 其结果对数据来源可靠性低的情况已可满足要求。但对评价结果要求较细时(如普通腐棕土只允许属一个级别), 则需采用“加细”运算模型, 最常用的是“加权平均型”算子, 运算公式为

$$b_j = \min \left\{ 1, \sum_{i=1}^n a_i \cdot r_{ij} \right\}, \quad (j = 1, 2, \dots, m). \quad (7)$$

按式(7)运算, 得普通腐棕土的评判结果为 $b = (0.118, 0.237, 0.292, 0.236, 0.118)$ 。据此可判定其质量属 III 级, 得到了明确的评价等级。

至于模糊综合评判法在林业土壤质量评价中的适用性, 在文献[6]中已经论述。通过与传统的土壤质量定量评价方法——评分法的对比发现, 在多数情况下, 两种方法所产生的结果是基本相同的, 而不同之处则正是模糊综合评判法的优势体现, 它弥补了评分法的某些不足。因而模糊数学方法不仅是有效的方法, 而且较传统的方法具有更强的客观性和全面性, 是一种较为理想的土壤质量评价手段。

综上所述, 本区的土壤质量评价方法是较为合理和优越的。其特点归纳为如下三点。

1. 将评价对象限定于土壤本身, 利于获得实测数据, 而使评价结果更为可靠。本方法既适用于有林地的评价, 又能评价宜林地质量。
2. 所建立的土壤质量评价标准和评价因素权数的专家系统, 在很大程度上避免了评价者自己的主观性。
3. 采用模糊数学方法, 并使之与专家系统有机结合, 较传统的方法提高了评价结果的客观性, 又显示出特有的全面性。

参 考 文 献

- [1] 何同康, 1983, 土壤(土地)资源评价的主要方法及其特点比较, 土壤学进展, (6), 第 1—12 页。
[2] 詹昭宁, 1982, 森林生产力的评定方法, 中国林业出版社, 第 2—4 页。
[3] 罗汝英等, 1983, 森林土壤学, 科学出版社, 第 117—119 页。
[4] 中国林业科学研究院林业研究所, 1986, 中国森林土壤, 科学出版社, 第 263—267, 342 页。
[5] 王凡, 1988, 模糊数学与工程科学, 哈尔滨船舶工程学院出版社, 第 124—126 页。
[6] 张建辉, 1991, 多层次模糊综合评判在林业土壤评价中的应用, 资源开发与保护, 7(1), 第 8—12 页。

EVALUATION METHOD OF SOILS FROM PROTECTIVE FOREST
AREAS IN THE CHUANJIANG BASIN, SICHUAN PROVINCE

Zhang Jianhui

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences
& Ministry of Water Conservancy)

Abstract

The forests in this area were severely ruined by reason of history. Accordingly, what mainly needs to be done is to plant on the desert land and to afforest on the barren hills and the wasteland. However, the current evaluation methods of soils are hardly fit for the local conditions. The characteristic of this kind being taken into consideration, evaluation object was completely confined to the soil itself. On the basis of a great deal of investigation and soil analysis, 10 items of soil texture, bulk density, moisture, gravel content, soil thickness, O. M., total N, available P, pH and calcium carbonate were chosen as evaluation factors on the principle of the combination of an all-round way with major points. And these factors were divided into three kinds of different characteristics, i. e. physical (from the 1st to the 5th), nutritive (from the 6th to the 8th), and chemical (from the 9th to the 10th) in accordance with different properties.

Following these, a group of experts was invited to conduct the index gradation and the weight distribution of evaluation factors. And then an expert system was established through a certain technical treatment. Based on the fuzzy mathematics principle, the soil quality was comprehensively judged.

To sum up all the present evaluation methods of soils, there are 2 types; the gradation method and the score method. The gradation method is not of qualitative idea. The score method has obvious subjectivity. In order to overcome these shortcomings the fuzzy comprehensive judgement technique was applied to the soil evaluation. 1. It uses the index system performed by the experts, which can strengthen objectivity of the results; 2. The results were directly acquired by means of a series of operation; 3. Because the result was expressed in a vector, it was more entire than the score method's result which can be expressed by only one numerical value.

Key words Chuanjiang Basin, soil quality, evaluation method, fuzzy mathematics