

# 长江上游典型地区 SOTER 数据库 支持下的土壤肥力评价

周红艺<sup>1</sup>, 何毓蓉<sup>1</sup>, 张保华<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 - 水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 聊城大学, 山东 聊城 252059)

**摘 要:**在长江上游的典型地区彭州样区 1:5 万 PXSOTER 数据库的支持下,选取了表征土壤肥力的若干指标项目组成评价指标体系,在 GIS 环境中,应用层次分析(AHP)和模糊评价(Fuzzy)等数学分析原理,对该区水耕人为土的土壤肥力进行了综合评价,根据综合分值的高低将评价单元分为 3 个等级。基于 SOTER 的土壤肥力评价,实现了县域土壤肥力的分等评价自动化,提高了结果的科学性和客观性。

**关键词:**SOTER; 土壤肥力指标体系; 土壤肥力评价; GIS; 长江上游

**中图分类号:**S151; S152; S158.3

**文献标识码:**A

SOTER (Soil and Terrian Digital Database) 数据库研究至今只有 10 余年的时间<sup>[1]</sup>,创建者的愿望是为了不同用户,特别是非土壤学专业的使用者提供土壤资源的有效信息,使他们能方便地使用这些信息,这个愿望已初步得到实现<sup>[2,3]</sup>。SOTER 数据库可以将所有的野外观测资料和其他分析数据与 GIS 相连,并在 GIS 环境中根据用户的需求,提供单项指标的图件或不同目的的解译成果输出,为决策者提供定量化的信息依据<sup>[4]</sup>。土壤肥力是土壤水、热、气和养分状况及在提供植物生理所需物质所处的环境条件的协调程度。其复杂性决定了土壤肥力综合评价的难度。目前在长江上游地区,正在实施退耕还林、建设生态屏障,提供该区科学的、定量化的土壤肥力评价信息尤为迫切。本文以该区内的典型地区彭州市为样区,应用层次分析(AHP)和模糊评价(Fuzzy)等数学分析原理,开展建立和利用 SOTER 数据库与 GIS 系统相结合的土壤肥力评价试验研究。

## 1 评价区概况及土壤肥力基础数据库

### 1.1 评价区概况

研究区位于 103°40' E ~ 104°10' E, 30°54' N ~ 31°26' N。地处长江上游的成都平原西北部龙门山山前冲积扇。海拔多在 500 m ~ 750 m,在北部最高可达 4 814 m,在南部最低仅有 489 m。由于处在北亚热带

带区域,气候温暖湿润,年均温 15.7 °C,年均降雨量 972.9 mm。区内北部为亚高山、低山和深丘;中部为丘陵地区;南部为冲积平原地区,河流较多,是长江上游一个很有代表性的区域,也是长江上游退耕还林和生态环境治理的重点地区。

### 1.2 土壤肥力研究的基础数据库(PXSOTER)

SOTER 数据库是以地形、母质特性和土壤属性作为三类基础数据,划分为“均一”的地形 - 母质 - 土壤单元,即 SOTER 单元,单元的空间关系由 GIS 管理。相应地,每一个 SOTER 单元都包含全面的地形、母质特性和土壤属性信息,共 118 个属性。这些信息可以通过互相关联的地体单元数据库、地体组分数据库、土壤组分数据库、土壤剖面数据库和土层数据库来管理。所建立的 PXSOTER (1:50 000) 包括了该样区 53 个 SOTER 单元,每个单元都有配套的分析数据支持,成为土壤肥力研究的数据源<sup>[5,1)</sup>。

## 2 评价方法和步骤

### 2.1 建立评价指标体系

进行土壤肥力评价时,评价因子的选择应遵循以下几点原则<sup>[6]</sup>: 1. 所选择的参评因素应对耕作土壤的肥力有较大的影响,且在评价区域内有较明显的变异; 2. 对于不同用途或适宜性的耕地,应分别选

收稿日期:2002-6-15; 改回日期:。

基金项目:中国科学院知识创新项目(KZCX2-SW-319)和国家自然科学基金重点项目(49831004)资助

作者简介:周红艺, (1977-) 男,湖北恩施人,在读硕士研究生,专业:土壤地理学。

1) 中国科学院成都山地所土壤室:《成都平原彭州样区的土系及 SOTER 数据库的研究报告》, 2002 年。

择相应的参评因素,并根据地区的特点有所侧重;3. 选择稳定性高的因素做参评因素,使评价结果和资料在较长的一段时间内具有应用价值。或者选择虽然稳定性不高,但对当前生产有密切关系的因素;4. 选择因子应与评价范围相结合。小比例尺制图、大范围评价时,环境因素(如气候、地貌等)应占主导地位;反之,土壤等因素应作为主导参评因素。按照上述原则,结合向有关专家的咨询意见,选择了16个指标作为评价要素构成评价指标体系,建立了如图1所示的层次结构。

## 2.2 确立评价单元

评价单元是土壤及其空间实体,包括地貌、地形等相对一致的区域,在制图中表现为同一上图单元。本文以 SOTER 图中的土壤图(土系)层和土地利用现状图相叠加的方法,取得1700多个图斑单元,图斑单元命名采用国际通行的土壤系统分类中的基层分类单元土系的命名方法命名。为便于比较和评价,使所研究的土系在地貌类型及土壤类型上近似、每个单元空间界线及行政隶属关系明确、利用方式及耕作方式基本相同,所以首选水耕人为土的土系进行研究,共得到1110个图斑单元作为基础评价单元。

## 2.3 确定单因素权重:层次分析法<sup>[7]</sup>

首先构建层次结构(图1);其次构造判别矩阵,由于各评价指标对土壤肥力的影响不同,所以要确定它们的权重,以避免均衡评判产生的误差,进行客观的评价,使之更加与实际情况相吻合。根据该区的实际情况和掌握的专业知识并听取有关专家和有

实践经验的技术人员的意见,分别比较单个因素的相对重要性,判断它们的权重,得到判别矩阵。最后计算权向量并作一致性检验。根据层次分析的计算公式得到了层次分析结果列于表1。

从表1可以知道各判别矩阵的  $CR = CI/RI < 0.1$ ,说明判别矩阵具有满意的一致性,组合一致性检验中  $CR = 0.00056 < 0.1$ ,说明层次排序的计算结果具有满意的一致性。

表1 层次分析结果<sup>1)</sup>

Table 1 The result of analytic hierarchy process(AHP)

土壤因素	土体构型 (0.59446)	立地条件 (0.08569)	理化性状 (0.19996)	耕层养分 (0.119976)	组合权重 $\lambda = 3.749, CI = 0.084$ $CR = CI/RI = 0.093$
剖面构型	0.6				0.35667
有效土层 厚度(cm)	0.2				0.11889
耕层厚度(cm)	0.2				0.11889
地貌类型		0.75			0.06426
成土母质 质地		0.25			0.02142
容重(g/cm <sup>3</sup> )			0.59416		0.11886
pH			0.08569		0.01713
CEC <sub>7</sub> (cmol/kg)			0.19996		0.03998
碱解 N(mg/kg)			0.11997		0.02399
速效 P(mg/kg)				0.247	0.02963
速效 K(mg/kg)				0.040	0.00479
全 N(g/kg)				0.021	0.00252
全 P(g/kg)				0.144	0.01727
全 K(g/kg)				0.080	0.00959
有机质(g/kg)				0.040	0.00479
				0.428	0.05134
$\lambda$	3	2	3.947	7.402	
CI	0	0	-0.0177	0.067	
CR = CI/RI	0	0	0.0197	0.0507	0.00056

<sup>1)</sup>  $\lambda$  表示最大特征根, CI 表示判别矩阵的一致性指标, RI 表示同阶平均随机一致性指标, CR 表示随机一致性比率。

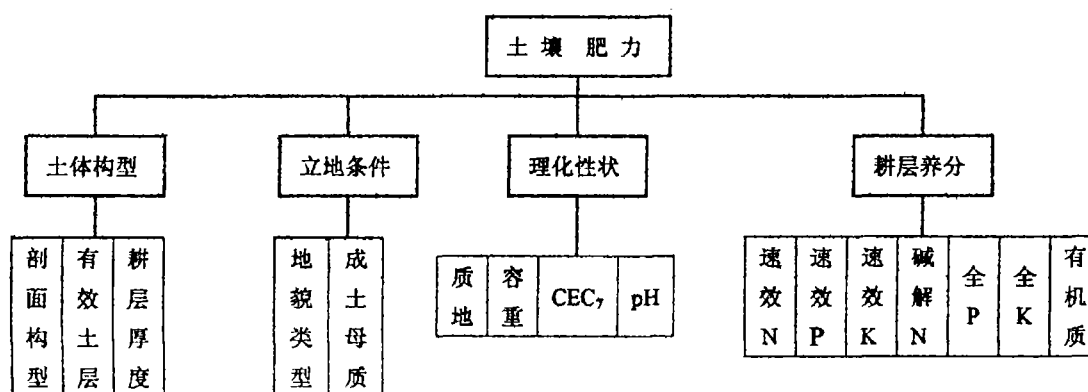


图1 土壤肥力指标层次结构图

Fig.1 Hierarchical structure of soil fertility factors

表 2 指标的类型及其经验公式<sup>1)</sup>

Table 2 Type and model of factor

指标	函数类型	经验公式	c	ut
耕层厚度(cm)	戒上型	$Y = 1/[1 + 0.0077(u - c)^2]$	20	5
有效土层厚度(cm)	戒上型	$Y = 1/[1 + 0.000429(u - c)^2]$	100	10
有机质(g/kg)	戒上型	$Y = 1/[1 + 1.0735(u - c)^2]$	25	8
CEC <sub>7</sub> (cmol/kg)	戒上型	$Y = 1/[1 + 0.00896(u - c)^2]$	25	5
速效 K(mg/kg)	戒上型	$Y = 1/[1 + 0.000854(u - c)^2]$	100	15
速效 P(mg/kg)	戒上型	$Y = 1/[1 + 4.29(u - c)^2]$	12	3
碱解 N(mg/kg)	戒上型	$Y = 1/[1 + 0.001(u - c)^2]$	130	24
全 K(g/kg)	戒上型	$Y = 1/[1 + 0.025(u - c)^2]$	25	5
全 P(g/kg)	戒上型	$Y = 1/[1 + 10.3(u - c)^2]$	1.0	0.2
全 N(g/kg)	戒上型	$Y = 1/[1 + 10.2(u - c)^2]$	1.5	0.4
容重(g/cm <sup>3</sup> )	戒下型	$Y = 1/[1 + 17.18(u - c)^2]$	1.2	1.8
pH	峰型	$Y = 1/[1 + 10.734(u - c)^2]$	7	2or12

1) Y 表示指标评语, u 为指标观测值, c 为标准指标值, ut 为指标下限值

## 2.4 指标评价模型:模糊评价法<sup>[8,9,13]</sup>

各指标与土壤肥力的关系主要分为:戒上型曲线、戒下型曲线、峰型曲线及概念型 4 种类型<sup>[9]</sup>。对于戒上型曲线:当  $u \leq ut$  时,  $Y = 0$ ; 当  $ut < u < c$  时,

$Y = 1/(1 + a(u - c)^2)$ ; 当  $c \leq u$  时,  $Y = 1$ 。对于戒下型曲线:当  $ut \leq u$  时,  $Y = 0$ ; 当  $c < u < ut$  时,  $Y = 1/(1 + a(u - c)^2)$ ; 当  $u < c$  时,  $Y = 1$ ; 对于峰型曲线:当  $u > ut_1$  或  $u < ut_2$  时,  $Y = 0$ ; 当  $ut_1 < u < ut_2$  时,  $Y = 1/(1 + a(u - c)^2)$ ; 当  $u = c$  时,  $Y = 1$  (Y 表示指标评语, u 为指标观测值, c 为标准指标值, ut 为指标下限值, a 为系数)。对于这三种类型,参照全国农业地力等级划分的标准<sup>[10]</sup>,根据唯一差异原则,通过田间试验的方法,对指标值进行了修订并拟和了各隶属函数的经验公式(表 2)。对于概念型要素的评价,通过请专家打分直接给出评语(表 3)。

## 2.5 计算土壤肥力综合指数 (IFI):累加型模型

本文选用了累加型模型  $IFI = \sum B_i \times A_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) 来计算土壤肥力综合指数。式中:IFI (Integrated Fertility Index) 代表土壤肥力综合指数;  $B_i$  为第 i 个因素的评语(隶属度);  $A_i$  为第 i 个因素的组合权重。

表 3 地貌、剖面构型和成土母质类型的隶属函数值

Table 3 Membership function and description of topographical features type and profile configuration and parent material

属函数值	描述				
	地貌类型	剖面构型		成土母质	
1	冲积平原	A - P - W - B	A1 - B1 - B2	A1 - A2 - B	Q <sub>4</sub> 灰棕冲积物
0.8	浅丘		A - P - W <sub>g</sub> - B <sub>g</sub>		Q <sub>2</sub> 老冲积物
0.6	中低山		A - P - W <sub>g</sub> - G		Q <sub>3</sub> 砂岩
0.4			A - G	A - C	

## 2.6 分级标准

评价单元的等级划分涉及确定等级数目和建立相应标准两个方面。等级数目的多寡视评价单元数目的多少、质量变异的大小以及评价的具体要求而定。关于等级的划分标准,人们一般将所求得的综合指数之极差按一定的规则细分为若干区间,区间类型包括等距法和不等距法两种<sup>[6,12]</sup>。结合当地农业生产实践,暂拟该区土壤肥力等级如表 4。

表 4 土壤肥力等级标准

Table 4 Criteria of soil fertility grade

级别	土壤肥力综合指数	平均粮食产量
Grade	IFI	(kg/hm <sup>2</sup> · a <sup>-1</sup> )
一等地	1 ~ 0.91	> 15000
二等地	0.81 ~ 0.90	10500 ~ 13500
三等地	≤ 0.80	< 10500

## 3 评价结果与讨论

### 3.1 样区评价结果

根据上述讨论的原理与步骤,在地理信息系统 ArcGIS 平台上,结合 Access 数据库软件,完成属性数据和图形数据的输入,在 Avenue 环境下开发该区的土壤肥力信息系统。系统运行后获得该区的土壤肥力综合指数和肥力分等分布面积统计指数。

根据评价结果可以得知:1. 该区水耕人为土肥力总体差异不大,土壤肥力总体较好,其中一二等地所占比重较大(占 89.49%);2. 一等地主要分布在漓江及清白江诸河流沿岸的一级阶地腹心地带,主要包括丰乐系等土系面积为 345hm<sup>2</sup>,占评价区的 44.24%。这些土系肥力很好,土层深厚,结构良好;养分含量丰富,保水肥能力强。广泛宜种粮、油和经

济作物,为该样区的稳产高产田;3.二等地主要分布在一级阶地的垄背两侧和河漫滩地带。包括利安系、太清系和庆兴系等土系统计面积为 352 hm<sup>2</sup>,占评价区的 45.25 %。这些土系的肥力较好,土层较深,结构较好;有效磷、钾含量偏低,保水肥能力较弱,土壤养分流失较重,应当注意补充磷、钾肥;4.三等地主要分布于老冲积台地稍高处和近代河流河漫滩地带,主要土系有九尺系、银福系、三界系和天彭系等土系统计面积为 82 hm<sup>2</sup>,占评价区的 10.51 %。这些土系的肥力条件稍差,土层较浅。在利用上,对这类土壤应当因地制宜地调整农业结构和针对其肥力问题,采取相应的改土增肥措施。

### 3.2 讨论

基于 SOTER 数据库的土壤肥力评价结果反映了土壤肥力的等级差异与空间分布规律。评价过程速度快捷、结果准确,实现了肥力评价与制图的自动化。本研究只是对县域土壤肥力分等的一次探索,部分问题有待于进一步探讨,如所选用的评价因素没有包含对土壤肥力有较大影响的土壤酶和微团聚体组成状况;也没有包括社会因素如排灌条件等。因为土壤是一个自然历史综合体<sup>[14]</sup>,人类活动对土壤的肥力影响甚大,此类因素在评价中的作用也需进一步明确。因此,在未来研究中必须开展大量的调查、分析并找出各种因素对土壤肥力的影响的内在规律,按综合分析的原则筛选出影响肥力的全部因素,使评价工作更加完善<sup>[15]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 龚子同,张学雷,等. SOTER 的建立及其在世界上的传播[J]. 地理科学. 2001,21(3):217~222.
- [2] Van Engelen, V W P and T. T. Wen. Global and national soils and terrain digital database(SOTER). Procedures manual[M]. ISSS-UNEP-FAO-ISRIC, Wageningen, Netherlands. 1995.
- [3] Van Engelen, V W P SOTER: The World Soil and Terrain Database. [A]. In: M. E. Summer editor-in-chief, Handbook of Soil Science[M]. CRC PRESS Boca Raton London New York Washington, D. C. 1999. H19~28.
- [4] 陈学华,朱波,等. 建立川中丘陵 SOTER 数据库的实践与问题讨论[J]. 山地学报. 2001. 19(增刊):75~78.
- [5] 周红艺,何毓蓉. 成都平原典型土系的分类在大比例尺制图中的应用——以彭州样区为例[J]. 西南农业学报, 2001, 14(增刊):5~8.
- [6] 徐盛荣. 土地资源评价[M]. 北京:中国农业出版社, 1997, 94~95.
- [7] 姜启源. 数学模型(第二版)[M]. 北京:高等教育出版社. 1993, 305~335.
- [8] 孙波. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价[J]. 土壤学报, 1995, 32(4):362~369.
- [9] 唐晓平. 四川紫色土肥力的 Fuzzy 综合评价[J]. 土壤通报. 1997, 28(3):107~109.
- [10] 傅伯杰. 土地评价的理论与实践[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1991, 112~121.
- [11] 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国农业行业标准:全国耕地类型区耕地地力等级划分[S]. 1996, 1~25.
- [12] 朱德举. 土地评价[M]. 北京:中国大地出版社, 1996, 91~104.
- [13] 张炳宁,张月平,等. 基本农田信息系统的建立及其应用. 耕地地力等级体系研究[J]. 土壤学报. 1999. 36(4):510~520.
- [14] 何毓蓉,黄成敏,等. 成都平原水耕人为土诊断层的微形态特征与土壤基层分类[J]. 山地学报. 2002, 20(2):157~163.
- [15] 张甘霖,杜国华等区域性土壤形成特征及其在土壤基层分类和土壤质量评价中的应用[J]. 山地学报. 2002, 20(2):165~170.

## Evaluation for Soil Fertility in the Typical Region of Upper Reaches of the Yangtse River by Using SOTER

ZHOU Hong-yi<sup>1</sup>, HE Yu-rong<sup>1</sup> and ZHANG Bao-hua<sup>1,2</sup>

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Science & Ministry of Water Country, Chengdu 610041 China; 2. Liaocheng university, Shandong Liaocheng 252059 China)

**Abstract:** Based on PXSOTER (1:50000) database in the typical region of upper reaches of the Yangtse River, evaluation factors which is token soil fertility were chosed to compose the soil fertility indexing system. In GIS environment, the stagnic anthrosols fertility in PengZhou county was evaluated by using the Analytic Hierarchy Process and Fuzzy evaluation and divided into 3 grades according to the aggregated scores. An automatic gradation of cultivated soil at county level is achieved and more accurate、objective results are obtained with the application of SOTER.

**Key words:** SOTER; soil fertility indexing system; soil fertility evaluation; GIS; upper reaches of the Yangtse River.