

# SOTER 数据库支持下的土壤质量综合评价

## ——以海南岛为例

张学雷, 张甘霖, 龚子同

(中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008)

**摘 要:** 在海南岛 SOTER 数据库基础上, 选取表征土壤质量的若干指标项目组成评价体系, 在 GIS 环境中对图斑的土壤质量进行了评价, 并交评价等级指数与空间数据库相连, 输出土壤质量评价结果。

**关键词:** SOTER; 海南岛; 土壤质量指标体系; 土壤质量评价; GIS

**中图分类号:** S151; S152; S158.3

**文献标识码:** A

土壤质量是反映土壤保持生物生产力、环境质量以及动植物健康能力的土壤的内在属性, 土壤的复杂性决定了对土壤质量进行综合评价的难度。土壤质量评价必需确定合适的时间和空间尺度, 根据土壤功能选择合适的评价指标, 对这些指标的时空变异进行定量分析, 在此利用土壤功能模型对土壤功能进行评价, 然后在 GIS 基础上建立综合量化评价模型, 利用土壤质量数据库量化评价土壤质量及土壤质量的时空演变规律, 为土壤的合理管理和可持续利用服务。本文初步摸索出一种结合数据库和 GIS 系统的定性定量相结合的土壤质量评价方法, 并应用于海南岛土壤质量评价的实践。

### 1 海南岛土壤质量研究的基础数据库 (HaiSOTER)

海南省是我国热带最大的岛屿和最年轻的省份, 面积 34 000 km<sup>2</sup>, 2000 年人口 770 万。作为热带宝岛, 湖南省在我国热带作物特别是橡胶的生产和大面积北移方面做出了重要贡献。由于气候和其他自然地理条件得天独厚, 热带经济作物, 如水果、橡胶、咖啡、香料、剑麻等, 都是热带农业的重要组成部分。在全岛范围内科学地规划热带作物的布局, 可以充分发挥地域自然优势, 增加产出并降低成本, 而这需要开展科学的土壤(土地)质量的评价。基于这种需要, 我们开展了此项研究工作, 其中重要内容之

一就是, 采用国际上最新的地体—土壤数据库 (SOTER) 方法, 建立海南省地体—土壤资源信息系统 (HaiSOTER), 目的是为科学地评价湖南省的土壤和土地资源现状、应用前景、利用适宜性等提供全面的基础信息和相应的评价模型, 给出评价结果以供决策参考。

SOTER 方法以地形、岩性和土壤作为三类基础数据, 划分“均一”的地形—岩性—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、岩性、土壤信息, 共 118 个属性。这些信息通过可以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。

土壤数据是 SOTER 数据库的核心部分。在全面收集历史资料的基础上, 重新调查了海南主要地体类型上的土壤, 基本上使所有 SOTER 单元都有典型剖面数据支撑。在建立 SOTER 的同时, 还根据 1995 年的卫星影像及其解译建立了海南土地利用数据库; 在收集海南全岛的气象资料的基础上建立了海南的气候数据库。这些附属数据库对今后的解译应用极其重要。

目前, HaiSOTER 覆盖海南全岛, 其中包括 183 个 SOTER 单元, 即地形—岩性—土壤单元, 在中南部山区每个 SOTER 单元上又细分出更多的地体组分, 现有代表性土壤剖面 130 个, 并有配套分析数据

收稿日期: 2000-09-25; 改回日期: 2000-12-17.

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 973 项目 (G1999011809) 资助。

作者简介: 张学雷 (1960-), 男 (汉族), 江苏省沛县人, 中国科学院南京土壤研究所博士后, 副教授, 主要从事土壤资源与信息系统研究, 发表论著 30 余篇 (部)。

支持,成为土壤质量研究的数据来源。

## 2 土壤质量的度量指标

### 2.1 选择反映土壤质量的土壤属性

研究土壤质量要与土壤的功能相联系,通常认为土壤的功能表现为农业生产和环境缓冲(environmental buffering)两个方面(1),这与目前我们HaiSOTER数据库的现状基本相吻合,或许下一步要更多地考虑其在环境缓冲方面的功能,更多地关注土壤质量对生态环境和人类健康的影响。

从土壤属性中可获取那些土壤内在的(inherent)能反映土壤质量的度量指标,在众多的属性指标当中,可确立一个能反映土壤质量的最小数据集MDS(minimum dataset),这个最小数据集应包括土壤物理、土壤化学和土壤生物三方面表征土壤质量的最低数量的指标。在我国,大量的土壤分析数据是土壤化学方面的,土壤物理方面积累的数据较少,土壤生物方面的数据更是凤毛麟角。在已经建立起来的HaiSOTER数据库中,虽有118项属性指标,且增补了较多土壤物理方面的指标,土壤生物方面的指标仍缺失,所以,目前看尚不能满足国际上流行的MDS的要求。然而,在没有更好数据库支持的情况下,先利用HaiSOTER数据库对海南岛土壤质量进行初步的评价还是可行的。随着研究的深入,可望为土壤质量的确定与量化表达提供更好的数据来源支持。

土壤物理方面的指标在评价土壤质量中十分重要,由于物理指标通常是难以改变的,因此具有较好的稳定性。土壤物理性状指标对农业生产的影响主要包括对作物根系的生长和水分及通透性两个方面,根据文献研究,可选择如下指标,即土层深度、表层土壤厚度、质地、结构、容重、土壤水分有效性等。土壤养分有效性受土壤化学指标的影响最大,在有关研究中,选用的指标有土壤有机质含量、CEC、pH、全N、全P、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $K^{+}$ 等。

### 2.2 土壤质量指标体系

在评价土壤质量的差异时,单一的土壤属性指标所起的作用是十分有限的,通常需要将这此土壤属性集合起来成为一个评价作用显著的指标体系,但是,这类指标体系只适用于特定的区域、特定的土壤和特定的作物,而非放之四海皆准。

土壤质量指标体系分为非量化体系和量化体系。非量化体系将用来评价土壤质量的指标归

结为连续的等级指数,如美国农部土地潜力分级LCC(USDA Land Capability Classification)<sup>[2]</sup>、美国垦殖局灌溉适宜性等级(USBR Irrigation Suitability)<sup>[3]</sup>等;定量化体系往往产生量化的指标,用来表示不同的土壤质量,定量化体系相对非定量化体系至少有两个优点,一是便于与GIS环境相连,二是可提供一组连续的土壤质量评价等级指数,基于此,本研究选用因子定性等级赋值与定量化指标体系相结合的综合方法。参照有关文献<sup>[2,4]</sup>,建立了海南岛土壤质量评价指标体系(表1)。土壤质量中水分有效性的界定对评价是至关重要的一步,问题是对特定作物生长期内,水分有效性受诸如土壤、植物、气候甚至人为管理活动的影响。估算水分有效性的方法较多,如静态水分模型法(static water balance model approach)、动态水分模型法(dynamic water balance model approach)<sup>[5,6]</sup>。前者较简便,生长期前半部分是以蒸发量一半时的降水( $P > 0.5PET$ , PET即潜在蒸发量)时间,后半部分作物的生长要靠土壤水分维持,两部分加起来为作物生长期IGP(length of growing period),此法亦称LGP法(图1),其中降水量大于蒸发量( $P > PET$ )的日期为湿润期(humid period)。后者除考虑LGP外还要考虑土壤、作物和气候等方面的因素,较为复杂。海南省水分有效性的估计根据IGP方法,全省共分为三个类型,即 $> 10$ 个月、 $5 \sim 10$ 个月、 $< 5$ 个月。海南岛西部为 $< 5$ 个月的地区,中部地区生长期为 $5 \sim 10$ 个月, $> 10$ 个月生长期的地区在岛东南部和东北部。

表1 土壤质量的指标和其表征因子

Table 1 Soil quality evaluation indexes and their combination factors

土壤质量指标	表征因子	评价等级划分方法
水分有效性	降雨,蒸发,温度...	静态水分模型法(LGP)
养分有效性	pH, OM, N, BS, CEC...	因子组合及决策树
根系站立性	土层深度,砾石含量	因子组合及决策树
潜在机械化	坡度,表层石质度...	因子组合及决策树
根系生长需氧有效性	排水状况	决策树

上述转换的结果代表区域气候水分有效性。严格说来,气候水分有效性并不能直接应用于土壤质量评价,但考虑到气候水分有效性与土壤水分有效性之间的高度相关性,在直接测定的土壤水分有效性数据缺乏的情形下,可以使用气候水分有效性来替代区域土壤水分特征。

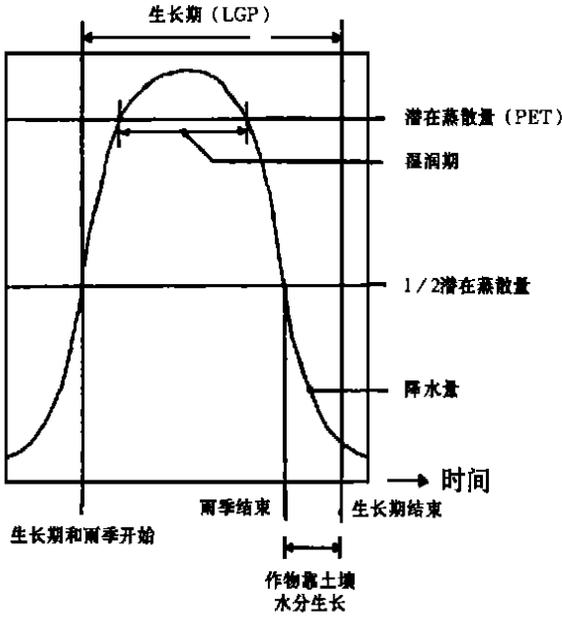


图 1 根据 AEZ 法确定作物生长期(LGP)

Fig. 1 The length of growing period as determined by the AEZ project

### 3 土壤质量的评价

#### 3.1 评价指标的表达

土壤质量评价指标  $Q$  是由多个单项土壤质量指标  $q_i$  组合而成, 可表达为<sup>[7]</sup>  $Q=f(q_1 \dots q_n)$ 。

需要说明的是, 用于土壤质量评价指标体系的土壤属性的 MDS 应该是动态的, 所以

$$dQ=f[(q_{i,t} - q_{i,t_0}) \dots (q_{n,t} - q_{n,t_0})]$$

如果  $dQ/dt \geq 0$ , 相对  $t_0$  时间土壤质量得到改善; 如果  $dQ/dt < 0$ , 则土壤产生退化。起点时间  $t_0$  可以任意设置一个时段, 据此可以对比在这一时段中土壤质量的变化情况, 如海南岛种植芒果或其他热带作物从开始到若干年后土壤质量的变化比较。

#### 3.2 土壤质量的评价

##### 3.2.1 评价单元

指用于评价的空间实体 (spatial entities), 即上图单元。此上图单元是指图上土壤、气候、地形、水文条件相对一致的区域, 这些条件的一致性保证了某种作物利用方式的需求<sup>[8]</sup>。据此, 把海南省 HaiSOTER 图与气象分区图即“农业生态带”AEZ 叠加, 生成的 1 444 个 AEU (Agro-Ecological Units) 图斑作为土壤质量评价的单元。

##### 3.2.2 土壤特征

土壤特征是用来表述评价单元的各项指标。这

些指标可以是能测定或估算的单项指标, 如年降水量、坡度、土壤排水等级、土层厚度等, 也可以是由单项指标组合而成的混合指标, 如养分有效性指标是由有机质、pH、阳离子交换量 (CEC) 以及盐基饱和度 (BAS) 共同组成的。

##### 3.2.3 土壤质量

土壤质量是借助于决策树 (decision tree) 对一个或多个土壤特征进行评价而得来的, 最后得到某种利用方式下土壤质量的评价等级指数。针对某些作物, 每一单项土壤质量均可定出评价等级指数, 而最终的土壤质量评价等级指数等级是由各单项土壤质量评价指数累积而来, 遵守最小限制因子率 (Law of Liebig), 选取 1~2 项最高限制因子来决定)。

用决策树对海南省 SOTER 为基础的 AEU 图斑进行评价, 如对土壤根系站立性这一单项土壤质量评价可用下列决策树来表示 (图 2)。其他单项土壤质量评价采用类似的方法, 当然选取不同的土壤特征指标。如养分有效性、水分有效性评价等, 首先选择相应的土壤特征, 以及每种特征的限制等级、等级名称、等级标准, 如构成养分有效性等级的土壤特征包括有机质含量、CEC、BAS 等等, 有机质含量又可确定为很低 (< 0.5%)、低 (0.5~1.0%)、中 (1.0~1.5%)、高 (> 1.5%) 4 个限制等级及标准。用决策树的形式来确定每一个图斑的土壤质量, 如通过各个单项土壤特征包括有机质含量、CEC、BAS 等等分别建立的决策树叠加成养分有效性作为土壤质量的一项。把所有土壤质量的分决策树再一次叠加, 最末端的“树叶”形成最终的土壤质量评价等级指数。

上述评价过程可以在 ALES 环境中构筑模型, 然后针对每一个评价单元运算模型。在 GIS (如 Arcview) 环境中, 将评价结果与图斑相连, 提供根据用户的需求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。表 2 是海南相对土壤质量评价的结果。这样的结果也可以用图示 (分布图) 的方法表达。

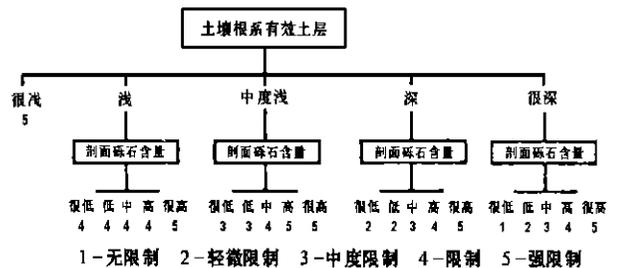


图 2 土壤根系站立性评价用决策树

Fig. 2 A decision tree for determination of the severity rating for the soil quality available foothold for roots

表 2 海南岛芒果、香蕉种植条件下土壤质量的评价结果

Table 2 Soil quality evaluation rating for Mango and Banana cultivation in Hainan

评价模型	土壤质量评价等级指数	AEU 图斑数	面积 (km <sup>2</sup> )
中投入、 中科技芒果	1	36	749
	2	10	248
	3	400	8777
	4	719	14370
中投入、 低科技芒果	1	11	137
	2	10	248
	3	409	8953
	4	735	14806
中投入、 中科技香蕉	1	36	749
	2	30	821
	3	363	7688
	4	736	14886
中投入、 低科技香蕉	1	3	80
	2	29	594
	3	355	7740
	4	778	15730

## 4 结论

海南岛 4 种热带作物 8 种土壤质量评价模型已经初步确定, 通过与 SOTER 数据库的连接, 模型运行结果都已与 GIS 关联, 已初步将评价结果输出, 并得到当地有关专家的认可。但是, 由于所使用的土壤质

量评价标准并非专为海南确定的, 而是引用联合国的有关规范, 因此所建模型并非完美, 建议通过当地实践结果, 对模型进行必要的修订, 使之更趋完善。

## 参考文献:

- [1] Michael J. Singer and Stephanie Ewing. Soil Quality. In: Interdisciplinary Aspects of Soil Science[M]. P. 284—287. 1999
- [2] Klingebiel, A. A., and P. H. Montgomery. Land — capability classification. Agriculture Handbook No. 210[M]. Soil Conservation Service USDA, Washington, DC. 1973.
- [3] USBR. Land classification handbook[M]. USDI. Bur. Recl. Pub. V, Part2. 1953.
- [4] Storie R. E. Handbook of soil evaluation[M]. Associated Students Store U. Cal. Berkeley, CA. 1964.
- [5] FAO, Guidelines; Land evaluation for rainfed agriculture. Soil Bulletin 52[J], FAO, Rome. 1983.
- [6] FAO, Land evaluation for forestry. Forestry Report 48[M], FAO, Rome. 1984.
- [7] Larson, W. E., and F. J. Pierce. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management[A]. In: J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, and B. A. Stewart(ed.) Defining soil quality for a sustainable environment[C]. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Pub. 35. p. 37—51, 1994
- [8] Driessen, P. M., and Konjin, N. T.. Land use systems analysis[C]. Wageningen Agricultural University, Wageningenpp 1992. 230.

# Soil Quality Indexing System and Evaluation for Hainan Island Based upon Haisoter

ZHANG Xue-lei, ZHANG Gan-lin and GONG Zi-tong

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

**Abstract:** A SOTER-based, automatic procedure for qualitative soil quality evaluation is developed. The objective was to design a procedure that allows for a quick separation of potentially suitable from non-suitable SOTER units for the intended use. Different kinds of soil are unequally suited to various uses, the evaluation is the assessment of the suitability of a tract of land for a specified kind of crop. In practice this implicates the comparison(matching) between the requirements of a specified crop and the properties of the soil. The paper presents the soil quality evaluation results for some selected tropical crops in Hainan island based upon its SOTER database after the soil quality indexing system established, which can be shown in GIS environment as products in response to the specific information and data needs of decision and policy makers.

**Key words:** evaluation; soil quality; HaiSOTER; GIS