

# 基于 GIS 和地统计学的低山茶园土壤肥力质量评价

廖桂堂<sup>1</sup> 李廷轩<sup>1,2,\*</sup> 王永东<sup>1</sup> 张锡洲<sup>1</sup> 冯娜娜<sup>1</sup>

(1. 四川农业大学资源与环境学院 雅安 625014 ; 2. 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008 )

**摘要** 亚热带低山区是我国茶园的主要分布区域,研究其土壤肥力质量状况是茶园精准化和信息化管理的基础。利用地统计学、GIS 以及多元统计分析相结合的方法,对蒙顶山茶园土壤肥力质量进行了量化综合评价研究。结果表明:(1)蒙顶山茶园土壤肥力质量沿海拔高度垂直变化明显,大部分土壤肥力区沿蒙顶山阳坡面水平方向呈带状分布。土壤肥力较高的区域分布在山体的中上部,随着海拔高度的降低土壤肥力质量水平也逐渐降低。(2)蒙顶山茶园土壤肥力质量总体水平不高。区域内土壤各项肥力指标与优良茶园相比还存在差距,同时肥力质量偏低的区域所占面积较大,第四、五两级肥力区所占面积最大,占总面积的 42.35%。肥力较低的后 5 级占总面积的近 70%,而肥力最高的 3 级不到 10%。(3)采用该方法进行土壤肥力质量评价能较客观地反映土壤肥力状况,为地统计研究成果实际运用提供了思路。

**关键词** GIS;地统计学;茶园;土壤肥力质量

文章编号:1000-0933(2007)05-1978-09 中图分类号:Q143,S153.6 文献标识码:A

## Comprehensive evaluation of fertility quality in hilly tea plantation soils based on GIS and geostatistics

LIAO Gui-Tang<sup>1</sup>, LI Ting-Xuan<sup>1,2,\*</sup>, WANG Yong-Dong<sup>1</sup>, ZHANG Xi-Zhou<sup>1</sup>, Feng Na-Na<sup>1</sup>

1 College of Environmental and Resource Science, Sichuan Agriculture University, Yaan 625014, China

2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008, China

*Acta Ecologica Sinica* 2007, 27(5): 1978 ~ 1986.

**Abstract**: The subtropical low hill areas have the largest tea fields in China. Research on soil fertility is fundamental for accurate information management of the tea cultivations. A comprehensive evaluation of the soil fertility in Mengding Mountain was carried out with Geostatistics, GIS, and statistics methods. The study shows: (1) The soil fertility quality of Mengding Mountain is changing dramatically with the change of altitude. The hill can also be divided into different sections delimited by their fertility level: the richest soils are located in the middle and top section of the hill; the poorest, at the bottom. In other words: the higher the elevation, the richer the soil; the lower the elevation the poorer the soil. (2) The overall fertility level in Mengding Mountain is not high. There is a difference between today's Mengding fertility quality situation and the soil quality standards of good tea fields. In fact, most of Mengding Mountain has a low-grade quality soil. Indeed, the fourth and fifth grade soils cover 42.35% of the whole area. In contrast, the highest-grade soil accounts for

基金项目:国家自然科学基金资助项目(32230250);四川省科技厅应用基础研究资助项目(03JY029-0301);四川省教育厅重点研究资助项目(2003A022);四川农业大学科技创新基金资助项目(2005)

收稿日期:2006-03-29;修订日期:2007-01-20

作者简介:廖桂堂(1982~)男,四川宜宾人,硕士生,主要从事有机生态茶园推荐施肥、农业信息系统研究。

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liaoguitang1982@sohu.com

**Foundation item**: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 32230250); Applied groundwork item of Science and Technology Office in Sichuan Province (No. 03JY029-0301); Keystone item of the office of Education in Sichuan Province (No. 2003A022); Science groundwork item of Sichuan Agriculture University (No. 2005)

**Received date** 2006-03-29; **Accepted date** 2007-01-20

**Biography**: LIAO Gui-Tang, Master candidate, mainly engaged in fertilization information system in ecological tea plantation.

less than 10%. (3) The application of this comprehensive method provides accurate and objective information on the soil fertility quality. It also gives a new practical approach to Geostatistics.

**Key Words** : GIS ; geostatistics ; tea fields ; soil fertility

土壤肥力是土地生产力的基础,也是一种重要的农业资源,全面客观评价土壤的实际肥力质量对提高施肥水平、实现信息化管理等具有十分重要的现实意义。茶树是我国亚热带地区的重要经济作物<sup>[1]</sup>,种植面积达 110 万  $\text{hm}^2$ 。但是茶园土壤养分含量相对不足、施肥管理粗放、土壤酸化等现象突出<sup>[2-6]</sup>,严重制约了茶叶生产的可持续发展,其原因之一是没有客观认识和评价土壤的实际肥力水平,难以达到合理精确施肥。因此,全面客观准确的评价茶园土壤肥力质量是解决问题的关键措施之一。

目前土壤肥力评价中较多地选用氮、磷、钾和有机质等指标,且人为地确定肥力评价指标的数量级别以及各指标的权重系数,这种方法评价结果的准确性很大程度上取决于评价者的专业水平,科学性不够充分。利用 GIS、模糊数学以及多元统计方法进行土壤肥力评价已成为发展趋势<sup>[7-13]</sup>,指标体系最小数据集、评价指标处理数学模型、定量化评价方法等是当前研究的热点<sup>[14-18]</sup>。长期以来,土壤肥力评价对象均以大中尺度下平原丘陵区耕地、园地和林地等为主,而山地区经济作物用地的肥力质量评价方法探讨研究较少。

土壤是不均一和变化的连续体,土壤养分含量分布具有随机性和结构性的空间变异性质。传统的土壤肥力评价单元一般以自然田块、利用类型及土壤类型等为基础,忽略了土壤特性的空间变异性,其评价结果不能准确反映实际肥力质量状况,实用性受到限制。研究表明,地统计学是研究量化土壤特性空间变异特征的有效方法<sup>[19-20]</sup>。目前,地统计学在土壤学科中的运用主要集中在土壤各种物理化学性质的分布研究、土壤分类制图研究、试验设计和采样方法探讨等方面,部分学者对地统计学运用于推荐施肥等进行了探讨并取得了一定进展<sup>[21-22]</sup>,但是地统计学在土壤肥力质量评价方面的研究应用报道较少。本文综合运用地统计学、GIS 和多元统计分析等方法对低山茶园土壤肥力质量进行了研究,以为茶园的生态建设和信息化管理提供基础资料。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

蒙顶山是我国茶叶原产地之一,位于四川省名山县城西北约 6km,呈东北至西南走向,海拔 700 ~ 1456m,坡度为  $15^\circ \sim 35^\circ$ ,坡向为  $105^\circ \sim 160^\circ$ ,属于亚热带湿润气候区,土壤类型以黄壤和酸性紫色土为主。蒙顶山茶园主要分布在山体的阳坡面,茶园依坡而建,面积约  $518\text{hm}^2$ ,是典型的亚热带中低山茶园。

### 1.2 土壤样品采集

根据茶行走向,在坡面的水平和垂直方向分别作网格横线和竖线,在  $80\text{m} \times 120\text{m}$  网格内随机采样,并在地形相对复杂处加大采样密度(图 1),共采集土壤样品 106 个。每个土样以一个取土点为中心,在 10m 半径内取 5 点混合而成,同时用 GPS 记录中心点位置。具体取样点设在茶树树蓬滴水线下,取 0 ~ 30cm 土层<sup>[23]</sup>。

### 1.3 研究材料

(1)图件资料 1:10000 地形图、1:10000 数字化茶园边界图

(2)属性数据 容重、物理性粘粒、砂粒、粘粒、粗粉粒、中/细粉粒、pH、CEC、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾。

### 1.4 研究方法

#### 1.4.1 地统计学方法

地统计学是以区域化变量理论为基础,以半方差函数为基本工具的一种数学方法。半方差函数是描述土壤性质空间变异的一个函数,反映了不同距离观测值的空间自相关程度,它是研究土壤特性空间变异性的关键,同时也是进行空间布局估计的基础。半方差函数模型有球状(Spherical)、高斯(Gaussian)、指数

(Exponential)和线性无基台、有基台值 (Linear, Linear to sill)等模型<sup>[24]</sup>,其表达式如下:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2$$

式中  $\gamma(h)$  为半方差函数;  $h$  为步长;  $N(h)$  为观测样点对数;  $Z(x_i)$  和  $Z(x_i + h)$  分别是区域化变量  $Z(x)$  在空间位置  $x_i$  和  $x_i + h$  的实测值。

### 1.4.2 主成分分析法

主成分分析法是把许多错综复杂的成分或因子归结为较少几个综合因子的一种多元统计方法<sup>[25]</sup>,其主要应用于筛选评价指标、计算指标权重等方面<sup>[26-27]</sup>。主成分分析法基本思想是通过构造原变量的适当线性组合,以产生一系列互不相关的新变量,从中选出少数几个新变量并使它们含有尽可能多的原变量带有的信息,其计算以协方差矩阵为基础,通过正交单位化特征向量值计算出各主成分,计算公式为:

$$y_i = e_i^T X$$

式中  $e_i^T$  为正交单位化特征向量;  $X$  为协方差矩阵。

## 2 蒙顶山茶园土壤肥力质量评价

### 2.1 评价因子选择及处理

评价因子的选择是土壤肥力评价的关键。据实地调查及相关资料分析,蒙顶山茶园利用状况基本一致,温度、降水、光照和茶园管理水平等条件基本相同,因此土壤物理化学性质是影响茶园土壤肥力的主要因素,故选择容重、物理性粘粒、粉粘比、pH、CEC、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾等作为评价因子。采用正规化变换对各评价指标数据进行标准化处理,计算公式为<sup>[28-29]</sup>:

$$y = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

式中  $x$  为原始数据;  $x_{\min}$ 、 $x_{\max}$  为该项指标最小和最大值。

### 2.2 评价单元的划分

评价单元是土壤肥力评价的基础,其划分的方法决定了评价结果的精度和实用性<sup>[30]</sup>。通过空间变异分析与 GIS 相结合的方法不仅能使评价单元内各养分含量完全均一,而且能满足小尺度区域实际运用的精度要求。首先运用地统计方法分析得出各参评因子的半方差函数模型,然后用 ArcInfo9.0 地统计模块的 Kriging 插值功能生成各参评因子的单因素图层,最后结合 ArcInfo9.0 的叠置分析功能将各单因素图层进行叠置分析,生成基本评价单元。

#### 2.2.1 空间变异分析

##### (1) 各评价因子统计特征分析

运用 SPSS11.0 的频数分布表功能对 12 项因子进行统计分析,从表 1 可以看出,各指标偏度和峰度检验基本符合正态分布的要求,满足地统计学分析的假设条件。

##### (2) 半方差函数分析

半方差函数是地统计学解释土壤性质空间变异结构的理论基础,其有 3 个重要参数:块金值 (nugget)、变程 (range) 和基台值 (sill),其中变程反映土壤性质的空间变异特性,在变程外土壤性质空间独立,在变程内相关。块金值由测量误差和最小取样间距内土壤性质的随机性因子 (施肥、耕作、作物布局等) 引起。基台值反映区域化变量受结构性因子 (母质、地形、气候、植被等) 影响的程度。土壤性质的空间相关性可根据块金值

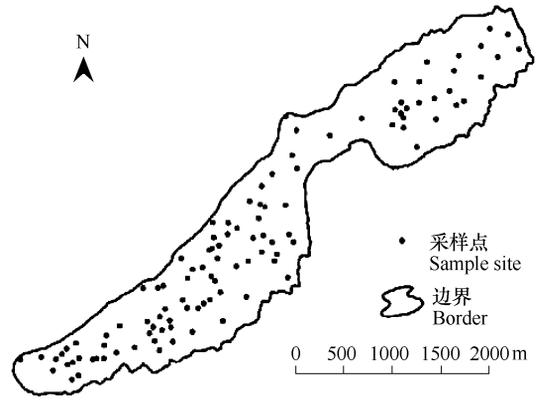


图 1 土壤取样点分布图

Fig. 1 The distribution of soil sample sites

与基台值之比  $C_0/(C_0 + C)$  划分<sup>[31]</sup>。半方差函数模型的选择是土壤特性空间变异结构分析的关键, 决定系数 ( $R^2$ ) 和残差 (RSS) 反映了模型拟合的精度。根据肥力质量评价精度要求, 在 130 m 步长间距下采用地统计软件 GS+ 5.3 进行模型选择, 由表 2 可以看出, 各项因子的理论模型以指数和球状模型为主, 各项因子决定系数较高、残差较小, 说明模型拟合精度较好。物理性粘粒、pH、有机质、全氮和 CEC 的  $C_0/(C_0 + C)$  值小于 25%, 表明几种因子在其变程内具有强烈的空间相关性, 结构性因素是空间变异的主要因素; 其余几种因子  $C_0/(C_0 + C)$  值均在 25% ~ 50%, 具有较强或中等程度的空间相关性, 虽然其不能完全反应更小尺度的空间变异规律, 但已满足本研究的分析精度要求。12 项因子中有 7 项的变程均超过 1000m, 最小的也在 200m, 对其进行 Kriging 插值能得到较准确的结果。

表 1 土壤各参评因子描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of evaluation norm in soil

参评因子 Index item	平均值 Mean value	中值 Medium value	最大值 Max. value	最小值 Min. value	标准差 S. D.	偏度检验 Skew.	峰度检验 Kurt.
容重 Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	1.19	1.19	1.51	0.83	0.12	-0.39	0.80
物理性粘粒 Slit and clay (g/kg)	0.44	0.44	0.58	0.31	0.06	0.04	-0.58
粉粘比 Slit-clay ratio (%)	2.24	2.20	4.23	1.67	0.34	2.55	11.45
pH	4.09	4.06	4.79	3.55	0.31	0.20	-0.92
CEC (cmol/kg)	10.03	9.70	14.34	7.53	1.50	0.60	-0.03
有机质 OM (g/kg)	26.99	26.65	49.97	14.47	6.37	0.75	1.04
全氮 TN (g/kg)	1.13	1.09	2.10	0.65	0.26	0.81	0.78
碱解氮 AN (mg/kg)	70.09	70.02	143.84	24.12	21.30	0.75	1.33
全磷 TP (g/kg)	0.63	0.53	1.69	0.27	0.30	1.52	1.89
速效磷 AP (mg/kg)	8.63	6.24	34.89	0.56	7.91	1.41	1.52
全钾 TK (g/kg)	13.57	13.69	16.39	9.82	0.98	-0.43	1.77
速效钾 AK (mg/kg)	51.80	49.79	100.84	24.48	14.48	0.77	0.56

表 2 各评价指标半方差函数理论模型及有关参数

Table 2 Theoretical semivariogram model and corresponding parameters of evaluation index in soil

参评因子 Index item	模型 Model	块金值 $C_0$	基台值 $C_0 + C_1$	变程 range (m)	$C_0/(C_0 + C)$ (%)	决定系数 $R^2$	残差 RSS
容重 Bulk density	E	0.00466	0.0154	1557	30.2	0.602	$1.174 \times 10^{-4}$
物理性粘粒 Slit and clay	E	0.0029	0.0198	342	14.6	0.544	$6.082 \times 10^{-5}$
粉粘比 Slit-clay ratio	S	0.00289	0.0109	1289	26.3	0.566	$8.715 \times 10^{-5}$
pH	G	0.0006	0.0072	2462	8.3	0.913	$1.447 \times 10^{-5}$
有机质 OM	E	0.0074	0.0512	411	14.5	0.603	$6.393 \times 10^{-4}$
全氮 TN	E	0.0019	0.0144	462	13.3	0.628	$4.670 \times 10^{-5}$
碱解氮 AN	S	0.0352	0.1064	1019	33.1	0.712	$3.627 \times 10^{-3}$
全磷 TP	S	0.0136	0.0396	3810	34.5	0.645	$1.372 \times 10^{-3}$
速效磷 AP	E	0.185	0.736	200	25.1	0.306	$4.72 \times 10^{-2}$
全钾 TK	S	0.0017	0.0052	1418	32.9	0.633	$1.586 \times 10^{-5}$
速效钾 AK	S	0.0371	0.0743	1315	49.9	0.643	$1.598 \times 10^{-3}$
CEC	E	0.0031	0.0183	576	17	0.697	$5.621 \times 10^{-5}$

E 表示指数模型 refers to exponential model S 表示球状模型 refers to spherical model G 表示高斯模型 refers to Gaussian model

### 2.2.2 评价单元的生成

将选定的指标模型参数输入 ArcInfo9.0 地统计模块进行 Kriging 插值, 生成各参评因子的含量分布图, 经细碎多边形合并和拓扑查错后, 再用叠置分析功能将单因素图层生成评价单元, 如图 2 所示。评价单元内各种养分含量均一, 客观反映了采样精度内茶园的肥力水平。

### 2.3 评价因子权重的确定

对采样点各参评因子进行主成分分析,首先求出各参评因子主成分的特征值和贡献率,由表3可得出前6个主成分的贡献率达到82.67%,已能代表主要影响因素。经因子旋转分析可知各主成分所代表的肥力因素:第一主成分为有机质、全氮、碱解氮、CEC;第二主成分为物理性粘粒、粉粘比、pH;第三主成分为全磷;第四主成分为容重、速效磷;第五主成分为速效钾;第六主成分为全钾。通过相应的因子载荷矩阵求出各评价因子的公因子方差,方差值代表了参评因子对土壤总体肥力质量的贡献,由此可算出各评价因子的权重值。由表4可知,土壤化学因子对肥力质量的影响高于物理因子,化学因子的权重值均在0.08以上而物理因子权重相对较小;有机质、全氮、全钾和速效钾4种参评因子对肥力质量的影响最大,这与主成分的分析结果吻合。

### 2.4 肥力质量综合评定

根据加乘法原理,在相互交叉的同类因子间采用加法合成,求出土壤肥力质量的综合性指标值IFI(Integrated Fertility Index)。计算公式为:

$$IFI = \sum Wi \times Ni$$

式中,  $Wi$  为指标权重,  $Ni$  为标准化后的数值。

对于每个评价单元的综合值通过编程计算后写入图斑的属性数据表中。为了更好的反映肥力质量的空间分布特点,满足精准农业应用的精度要求,依据《全国耕地类型区、耕地地力等级划分》(NY/T 309 ~ 1996)的分级方法,采用等距法将蒙顶山茶园分为十个等级的土壤肥力质量区,然后运用 ArcInfo9.0 的拓扑分析功能对相同等级的评价单元进行图斑以及细碎多边形合并,最后得出 1:10000 肥力质量评价成果图(图3)。

## 3 结果与分析

### 3.1 蒙顶山茶园土壤肥力质量变化特点

蒙顶山茶园土壤肥力质量沿海拔高度垂直变化明显,土壤肥力较高的区域分布在山体中上部,随着海拔高度的降低土壤肥力水平也逐渐降低。蒙顶山茶园微域气候条件随海拔高度不同而有所差异,山体中上部多雾、高湿、寡日照,土壤为山地黄壤,属壤质土、土层深厚,上部良好的气候条件和优质的土壤环境使该区域茶树生长旺盛,加上山体中上部茶园周围森林覆盖率相对较高,枯枝落叶量大,土壤有机质积累较丰富,从而大大提高了土壤的肥力。其次,研究区域内降雨充沛,雨水对土壤冲刷侵蚀严重,土壤表层各种养分易于损失,而坡体中上部茶园周边林木的覆盖度较好,使土壤受到的冲刷量相对较小,水土流失较轻,因此中上部茶园土壤养分的损失率比下部低,肥力相对较高。

区域内土壤肥力质量变化沿坡面等高线呈水平带状分布。蒙顶山具有梯式茶园的种植特点,这种结构对重力作用下土壤养分的迁移产生了一定程度的影响,同时以行为单位的水肥管理也使同一茶行上的肥力质量水平趋于一致。区域西北部地形相对复杂,坡度、坡

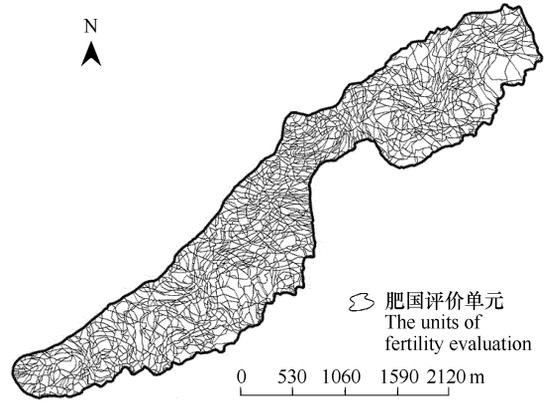


图2 土壤肥力基本评价单元

Fig.2 The units of soil fertility evaluation

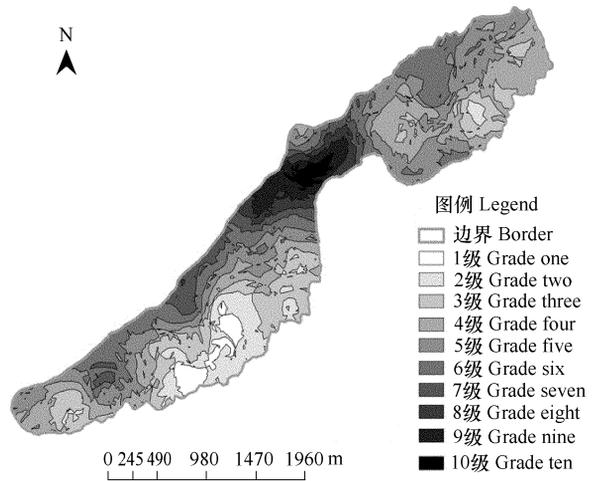


图3 蒙顶山茶园肥力分区图

Fig.3 Fertility level distribution of tea plantation soil in Mengding Mountain

向等的不同引起土壤中水热条件的再分配,进而影响土壤肥力的带状分布状况。

### 3.2 蒙顶山茶园土壤肥力质量限制因子分析和提取

蒙顶山茶园四、五级肥力区所占面积最大,肥力质量较低的后 5 个等级占了总面积的近 70%,而肥力最高的 3 个区所占比例不到 10%。第十级肥力区肥力水平最高,分布于山体顶部,面积为 6.5hm<sup>2</sup>。七级、八级和九级肥力区位于山体中上部,海拔 1300m 左右,面积分别为 31.6、22.8、21.2hm<sup>2</sup>,土壤酸性较强、碱解氮和速效钾含量低是其主要限制因子。四级、五级和六级肥力区分布在海拔 1100m 左右的山体中部,由西南向东北延伸,面积分别占 111.0、111.4、83.4hm<sup>2</sup>,CEC 偏低,碱解氮含量(60~80mg/kg)与十级(103mg/kg)存在较大差距,同时全磷、速效钾和有机质等含量较低也是其肥力不高质量的限制因子,该 3 个区域面积最大,占茶区面积的 58.2%,具有较好改良潜力,是优质高产茶园建设和管理的重点。一级、二级和三级肥力区处于海拔 1000m 以下的山体下部,西南部较集中,面积为 16.1、43.9、77.6hm<sup>2</sup>,坡度较大,土壤各种养分缺乏是其主要限制因子,增加肥料投入、整治坡面水系、培肥土壤是改善其肥力状况的关键。

蒙顶山茶园土壤肥力质量总体水平与优良茶园相比还存在差距。与中国茶叶科学研究所提出的优良茶园标准相比<sup>[32]</sup>,研究区内土壤酸化趋势严重,pH 均不符合优良茶园的要求;土壤容重、有机质、速效磷、碱解氮和全氮不符合优质茶园要求的面积分别占总面积的 15%、26%、30%、90% 和 90%,钾素供应严重不足,速效钾含量最高的肥力质量区平均值仅为 68mg/kg,远低于优质茶园的标准要求。pH、全氮、碱解氮、速效钾、速效磷等限制因子在一定程度上制约了蒙顶山茶园茶叶产量和品质的提高,提高土壤肥水平量状况应成为茶园管理的重点之一。

### 3.3 蒙顶山茶园土壤各肥力区生态特征分析

茶园作为人工生态系统,是生物与非生物环境之间进行物质流和能量流相交互的动态开放系统,研究各土壤肥力区的生态特性对生态茶园的建设具有重要意义。蒙顶山茶园七至十级肥力区位于山体上部,茶园周围均种有防护林、行道树等,区域内林木覆盖率较高、生物物种多样,生态环境基本良好。但是该区域是茶叶的传统种植区,种茶历史悠久,加上近年来重用轻养、环境保护意识淡薄,茶园土壤酸化较严重,生态质量有所下降,降低土壤酸性、增强土壤对酸的缓冲能力是生产管理重点<sup>[33]</sup>。四至六级肥力区位于山体中部,区域内主要为良种茶园,茶树品种单一,配套的防护林、行道树较少,没有间种绿肥,农药、化肥等施用量较大,导致茶园土壤结构变坏、肥力降低、季节性干旱严重、强光直射、病虫害严重、生态组分简单、环境脆弱等一系列生态问题。通过退茶还林、覆盖遮阳网、平衡施肥、间种绿肥等措施,降低土壤温度、提高茶园湿度和土壤含水

表 3 参评因子主成分的特征值和贡献率

Table 3 Eigenvalues and contribution of principal components

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率 (%) Contribution	累计贡献率 (%) Cumulative Contribution
1	4.024	33.530	33.530
2	1.669	13.909	47.439
3	1.376	11.470	58.909
4	1.287	10.724	69.632
5	0.912	7.599	77.232
6	0.653	5.439	82.671
7	0.615		
8	0.477		
9	0.420		
10	0.274		
11	0.227		
12	0.066		

表 4 各项参评因子的公因子方差和权重

Table 4 Community and weight value of index in soil fertility

参评因子 Index item	公因子方差 Communality	权重 Weight value
容重 Bulk density	0.641	0.065
物理性粘粒 Slit and clay	0.776	0.078
粉粘比 Slit-clay ratio	0.712	0.072
pH	0.830	0.084
有机质 OM	0.898	0.091
全氮 TN	0.882	0.089
碱解氮 AN	0.793	0.080
全磷 TP	0.821	0.083
速效磷 AP	0.857	0.086
全钾 TK	0.990	0.100
速效钾 AK	0.931	0.094
CEC	0.789	0.080

量、增加有机质的积累和各种养分的有效性<sup>[34]</sup>,建立一种多物种、多层次、多功能的茶园复合生态系统应成为该区域茶园发展的目标。一至三级肥力区位于山体下部,大部分区域为近年来新开辟幼龄茶园,缺乏水土保持措施,茶园表土大量被冲刷,水土流失、地力衰退等情况严重,同时由于距城镇区较近,茶园受环境“三废”的影响相对较大,部分区域存在重金属污染等现象。改善基本生态环境,加强土壤监测、防止环境污染,是该区域急需解决的首要问题。

#### 4 结论

4.1 采用地统计学、GIS 与多元统计分析结合进行肥力质量评价能更直观的反映土壤肥力质量的空间分布规律与程度。该方法综合考虑了土壤性质的空间变异性和评价单元各种养分的均一性,参评因子的权重以原始数据为基础获取,在保证评价精度的同时较大程度上避免了传统方法主观性较强的缺点,为地统计研究成果实际运用提供了思路。

4.2 蒙顶山茶园肥力偏低的区域所占面积较大。第四、五两级肥力区所占面积最大,占总面积的 42.35%。肥力较低的后 5 个等级占总面积近 70%,而肥力最高的 3 个区不到 10%,最高等级肥力区仅为 1%。蒙顶山茶园土壤肥力质量总体水平不高,pH、全氮、碱解氮、速效钾、速效磷是其主要限制因子。该研究结果与相关研究报告<sup>[35]</sup>和实际情况吻合度高,表明蒙顶山茶园土壤肥力质量评价较好的反映了研究区土壤肥力的真实情况,具有很好的实用价值。

4.3 土壤肥力质量评价发展还不够成熟,目前为止也没有建立起非耕地区的评价标准,其在评价指标体系的建立、肥力等级的划分等方面都还有待进一步研究和完善。同时,土壤肥力质量评价得出的仅是一种潜在的肥力,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,才能用于指导实际的农业生产。

#### References :

- [1] Chen X Y. North latitude if 30°—the zone of quality tea field. *Land and Resources* 2005, (3) 56—57.
- [2] Ruan J Y, Wu X, Shi Y Z, *et al.* Nutrient input and evaluation of fertilization efficiency in typical tea areas of China. *Soils and Fertilizers*, 2001, (5) 9—13.
- [3] Yang L, Fan X P, Zhao S J, *et al.* Study on soil regime and fertility culture ways about tea plantation of the red-yellow soil region in Hubei Province. *Hubei Agricultural Sciences*, 2003, (6) 42—44.
- [4] Liu J, Sun H W, Liu J, *et al.* Analysis of mineral elements in soil tea plantation and tea in Shandong Province. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2003, 12 (3) 40—43.
- [5] Ma L F, Shi Y Z, Lu J Y. Soil pHs in the tea gardens in Jiangsu, Zhejiang, and Anhui provinces and changes of soil pH in the past decade. *Chinese Journal of Soil Science* 2000, 31 (5) 205—208.
- [6] Xiao R L, Wang J R, Chen Z F, *et al.* Ecological Tea Plantations and Tea Safety Hi—efficiency Production in the Subtropical Hill Region of China. *Research of Agricultural Modernization*, 2004, 25 (5) 360—363.
- [7] Wu G F, Hu Y M, Zhang S K, *et al.* Soil fertility evaluation based on geographic information system and gray relative analysis. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2002, 18 (3) 170—172.
- [8] Nie Y, Zhou Y, Yu J, *et al.* Farmland quality evaluation based on GIS and fuzzy matter-element proximity cluster analysis model. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42 (4) 551—558.
- [9] Luo B S, Zhong J H, Chen J J. Integrated digitization evaluation on soil fertility. *Soils*, 2004, 36 (1) 104—106.
- [10] Bai Y L, Jin J Y, Yang L P, *et al.* Research on the Subarea Management Model of Soil Nutrients by GIS. *Scientia Agricultura Sinica*, 2001, 34 (1) 1—4.
- [11] Lu X N, Lu Y P, Wang R C. Integrated evaluation of fertility of red soils in the hilly area of Zhejiang Province in terms of numerical index. *Chinese Journal of Soil Science*, 2000, 31 (3) 107—111.
- [12] Kollias V J, Kalivas D P. The enhancement of a commercial geographical information system (ARC/INFO) with fuzzy processing capabilities for the evaluation of land resources. *Computers and Electronics in Agriculture*, 1998, (20) 79—95.
- [13] Bojorquez-Tapia L A, Diaz-Mondragon S, Ezcurra E. GIS based approach for participatory decision making and land suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science* 2001, (40) 477—492.
- [14] Doran J W, arrantonio M S, Lebig M A. Soil health and sustainability. In D. L. Sparks ed. *Advances in agronomy*. New York : Academic Press,

1996, (56):1-54.

- [15] Sun B, Zhao Q G. Evaluation indexes and methods of soil quality concerning red soil degradation. *Progress in Geography*, 1999, 18 (2): 118-127.
- [16] Larson W E, Pierce F J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In J. W. Doran *et al* eds. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Madison SSSA Special Publication, 1994.
- [17] Wang X J, Gong Z T. Evaluation and analysis of soil quality changes in different time periods at small regional level in red soil hilly regions. *Scientia Geographica Sinica*, 1997, 17 (2): 141-149.
- [18] Smith J L, Halvorson J J, Papendick R I. Multiple variable indicator Kriging: A Procedure for integrating soil quality indicators. In *Defining soil quality for a sustainable environment*, SSSA Special Publication, 1994, (35): 149-158.
- [19] Li M H, Peng S L, Shen W J, *et al*. Spatial variability of soil nutrients in a hill-pond landscape. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (9): 1839-1845.
- [20] Pan C Z, Shangguan Z P. Review of the research on soil spatial variability. *Ecology and Environment*, 2003, 12 (3): 371-375.
- [21] Li Y, Shi Z, Xu J M, *et al*. Utilization and Perspective of Geostatistics in Soil Sciences. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17 (1): 178-183.
- [22] Li L L, Yi Y L, Jing G X, *et al*. Utilization of Geostatistics in Soil Spatial Variability. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36 (2): 265-269.
- [23] FENG N N, LI T X, ZHANG X Z, *et al*. The Spatial variability of the content of organic matter in Montanic teaplantation soils with different sampling scales. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (3): 349-356.
- [24] Wang Z Q. *Geostatistics and Its Application in Ecology*. Beijing: Science Press, 1999.
- [25] Mei C L, Zhou J L. *Applied statistical methods*. Beijing: Science Press, 2002.
- [26] Xu M X, Liu G B, Bu C F. Soil fertility evaluation of planted forest land on the hilly-gullied Loess Plateau. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.*, 2003, 23 (8): 1367-1371.
- [27] Jia S J, Yang G L. Evaluation and analysis on Chuangye farm's soil fertility. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2003, 19 (2): 142-144.
- [28] Luo D Q, Bai J, Xie D T. Research on evaluation norm and method of soil fertility. *Soil and Environmental Sciences*, 2002, 11 (2): 202-205.
- [29] Jiao L X. On methods of standardization management of index. *Journal of Anhui Agrotechnical Teachers College*, 1999, 13 (3): 7-10.
- [30] Ma R H, Li Q, Li X B, *et al*. Comparison Plotting Methods of Appraising Subregion in Farmland Grading of County. *Geography and Territorial Research*, 2002, 18 (2): 93-95.
- [31] Zheng Y M, Chen H, Chen T B, *et al*. Spatial distribution patterns of Cr and Ni in soils of BEIJING. *Quaternary Sciences*, 2003, 23 (4): 436-445.
- [32] Pan G S. *Biology of tea plant*. Beijing: China Agricultural Press, 1992.
- [33] Yan H L. Research on the problems and countermeasures of ecological environment of tea-planting in Meng mountains. *Chongqing Environment Sciences*, 2000, 22 (5): 18-20.
- [34] Xiao R L, Wang J R, Chen Z F, *et al*. Ecological tea plantations and tea safety high-efficiency production in the subtropical hill region of China. *Research of Agricultural Modernization*, 2004, 25 (5): 360-363.
- [35] Zhang X Z, Li T X, Zhang R S, *et al*. Research on the feasibility of soil for planting tea in Mengshan mountain. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2000, 13 (4): 122-126.

#### 参考文献:

- [1] 陈晓阳. 北纬 30 度——优质茶叶产区带. *国土资源*, 2005, (3): 56-57.
- [2] 阮建云, 吴洵, 石元值, 等. 中国典型茶区养分投入与施肥效应. *土壤肥料*, 2001, (5): 9-13.
- [3] 杨利, 范先鹏, 赵书军, 等. 湖北红黄壤地区茶园土壤状况及培肥途径的研究. *湖北农业科学*, 2003, (6): 42-44.
- [4] 刘静, 孙海伟, 刘杰, 等. 山东茶园土壤与茶叶矿质元素的分析. *植物资源与环境学报*, 2003, 12 (3): 40-43.
- [5] 马立锋, 石元值, 阮建云, 苏, 浙, 皖茶区茶园土壤 pH 状况及近十年来的变化. *土壤通报*, 2000, 31 (5): 205-208.
- [6] 肖润林, 王久荣, 陈正法, 等. 亚热带丘陵山地茶园面临的生态问题与对策. *农业现代化研究*, 2004, 25 (5): 360-363.
- [7] 吴谷丰, 胡月明, 张少康, 等. 基于 GIS 与关联分析的土壤肥力评价. *农业系统科学与综合研究*, 2002, 18 (3): 170-172.
- [8] 聂艳, 周勇, 于婧, 等. 基于 GIS 和模糊物元贴近度聚类分析模型的耕地质量评价. *土壤学报*, 2005, 42 (4): 551-558.
- [9] 骆伯胜, 钟继洪, 陈俊坚. 土壤肥力数值化综合评价研究. *土壤*, 2004, 36 (1): 104-106.
- [10] 自由路, 金继运, 杨俐苹, 等. 基于 GIS 的土壤养分分区管理模型研究. *中国农业科学*, 2001, 34 (1): 1-4.
- [11] 吕晓男, 陆允甫, 王人潮. 浙江低丘红壤肥力数值化综合评价研究. *土壤通报*, 2000, 31 (3): 107-111.

- [15] 孙波,赵其国.红壤退化中的土壤质量评价指标及评价方法.地理科学进展,1999,18(2):118~127.
- [17] 王效举,龚子同.红壤丘陵小区域水平上不同时段土壤质量的评价与分析.地理科学,1997,17(2):141~149.
- [19] 李明辉,彭少麟,申卫军,等.丘塘景观土壤养分的空间变异.生态学报,2004,24(9):1839~1845.
- [20] 潘成忠,上官周平.土壤空间变异性研究评述.生态环境,2003,12(3):371~375.
- [21] 李艳,史舟,徐建明,等.地统计学在土壤科学中的应用及展望.水土保持学报,2003,17(1):178~183.
- [22] 李亮亮,依艳丽,凌国鑫,等.地统计学在土壤空间变异研究中的应用.土壤通报,2005,36(2):265~269.
- [23] 冯娜娜,李廷轩,张锡洲,等.不同尺度下山区茶园土壤有机质含量的空间变异.生态学报,2006,26(3):349~356.
- [24] 王政权.地统计学及在生态学中的应用.北京:科学出版社,1999.
- [25] 梅长林,周家良.适用统计方法.北京:科学出版社,2002.
- [26] 许明祥,刘国彬,卜崇峰.黄土丘陵区人工林地土壤肥力评价.西北植物学报,2003,23(8):1367~1371.
- [27] 贾士靖,杨广林.创业农场农田土壤肥力评价.农业系统科学与综合研究,2003,19(2):142~144.
- [28] 骆东奇,白洁,谢德体.论土壤肥力评价指标和方法.土壤与环境,2002,11(2):202~205.
- [29] 焦立新.评价指标标准化处理方法的探讨.安徽农业技术师范学院学报,1999,13(3):7~10.
- [30] 马仁会,李强,李小波,等.县级农用地分等评价单元划分方法评析.地理学与国土研究,2002,18(2):93~95.
- [31] 郑袁明,陈煌,陈同斌,等.北京市土壤中Cr、Ni含量的空间结构与分布特征.第四纪研究,2003,23(4):436~445.
- [32] 潘根生.茶树生物学.北京:中国农业出版社,1992.
- [33] 鄢和琳.蒙山茶业发展中的生态环境问题与对策刍议.重庆环境科学,2000,22(5):18~20.
- [34] 肖润林,王久荣,陈正法,等.亚热带丘陵山地茶园面临的生态问题与对策.农业现代化研究,2004,25(5):360~363.
- [35] 张锡洲,李廷轩,张仁绥,等.蒙山土壤的宜茶性调查研究.西南农业学报,2000,13(4):122~126.