

江福英, 吴志丹, 尤志明, 等. 闽东地区茶园土壤养分肥力质量评价 [J]. 福建农业学报, 2012, 27 (4): 379-384.

JIANG F-Y, WU Z-D, YOU Z-M, et al. Evaluation of Soil Fertility Quality of Tea Gardens in Eastern Fujian [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 27 (4): 379-384.

闽东地区茶园土壤养分肥力质量评价

江福英, 吴志丹, 尤志明, 张文锦, 王 峰

(福建省农业科学院茶叶研究所, 福建 福安 355015)

摘 要: 以闽东地区茶园土壤为研究对象, 选用 pH 值、有机质、全 N、有效 P、交换性 K、交换性 Mg、交换性 Ca、有效 Cu、有效 B 和有效 Zn 含量共 10 个土壤养分肥力指标作为评价参数, 应用 Fuzzy 综合评判法对茶园土壤肥力质量进行数值化综合评价。结果表明: 闽东地区茶园土壤整体肥力质量属于中上水平的占 60%, 属于中下水平的则占 40%。通过 Fuzzy 综合评判法推算出的土壤肥力综合指标值 IFI 与春茶产量显著相关, 较好地反映出闽东地区的土壤肥力状况。

关键词: 土壤肥力; 模糊综合评判法; 隶属度

中图分类号: S 154

文献标识码: A

Evaluation of Soil Fertility Quality of Tea Gardens in Eastern Fujian

JIANG Fu-ying, WU Zhi-dan, YOU Zhi-ming, ZHANG Wen-jin, WANG Feng

(Tea Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fu'an, Fujian 355015, China)

Abstract: Ten tea gardens in eastern Fujian were tested for their soil pH, organic matter, total nitrogen, available phosphor, exchangeable kalium, exchangeable magnesium, exchangeable calcium, available manganese, available cuprum, available boron and available zinc for the quality determination. These indices were subjected to the fuzzy comprehensive evaluation. The IFI value significantly correlated with the yield of the spring tea. Hence, the soil fertility could be well defined by using these indices. The fertility of the tea gardens in the eastern Fujian regions was above average, that is, 60% of them were higher and 40% lower than the national average.

Key words: Soil fertility; fuzzy comprehensive evaluation; membership degree

土壤是茶树生长的立地之本, 也是茶树优质、高产、高效益的基本条件^[1], 土壤肥力是土壤系统的化学、生物和物理组分之间复杂相互作用的综合体现^[2]。影响土壤肥力的因素很多, 而且没有统一的标准, 尤其我国领土辽阔, 自然条件多种多样, 土壤肥力质量高低差异很大, 对其进行客观的评价显得非常困难。因此, 在进行土壤肥力质量评价时, 指标的选取和评价方法的选择直接影响到土壤肥力质量评价的真实性、合理性和科学性。目前, 关于土壤肥力质量评价的方法较多, 如聚类分析、层次分析、因子分析、模糊数学等^[2-7]。模糊数学自 1965 年由 Zadeh 提出以来, 已得到较充分的发

展, 也被广泛用于生产实践中, 模糊数学方法可以通过隶属度描述土壤肥力因子的渐变性和模糊性, 使评价结果更加准确可靠^[6-7]。

福建省是我国茶叶生产的主要省份, 2009 年全省共有茶园面积 19.48 万 hm^2 , 占全国茶园总面积的 10.5%, 居全国第 4 位; 茶叶产量 26.6 万 t, 居全国第 1 位^[8]。闽东地区现有茶园面积和茶叶产量都约占全省总量的 1/3, 均居全国产茶地市之首^[9]。茶叶产量和品质与土壤肥力有密切联系, 肥沃的茶园土壤是茶园优质高产的基本保证。如何掌握和提高茶园土壤质量, 实现茶叶安全高效生产和可持续发展, 是茶农普遍关注的问题。本文选取闽东地区

收稿日期: 2012-03-19 初稿; 2012-04-18 修改稿

作者简介: 江福英 (1975—), 女, 硕士, 副研究员, 研究方向: 茶树栽培与环境生态 (E-mail: jfy98@sina.com)

通讯作者: 尤志明 (1964—), 男, 研究员, 研究方向: 作物栽培 (E-mail: youzm@faas.cn)

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-23); 福建省科技计划项目——省属公益类科研院所基本科研专项 (2010R1014-2、2011R1014-5)

茶叶主产区福安市和蕉城区茶园作为研究对象,对 2 市 32 个乡镇的主要茶园进行取样调查和样品测试,选用 10 项土壤肥力质量指标,应用模糊(Fuzzy)综合评价法和相关分析等模糊数学原理,对茶园土壤肥力质量进行综合评价,以期为闽东茶园土壤平衡施肥、茶叶优质高产提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区域概况

福安市地处东经 $119^{\circ}23' \sim 119^{\circ}52'$, 北纬 $26^{\circ}41' \sim 27^{\circ}24'$, 地势从北向南倾斜, 东、西部高, 中间低, 全市地形成为南北走向的狭长谷地。属中亚热带海洋性季风气候, 年平均温度 $13.6 \sim 19.8^{\circ}\text{C}$, 年平均降雨量 $1\,350 \sim 2\,050\text{ mm}$, 平均无霜期 290 d。主要土壤类型为红壤。

蕉城区地处东经 $119^{\circ}08' \sim 119^{\circ}51'$, 北纬 $26^{\circ}31' \sim 26^{\circ}58'$, 地势西高东低, 自西向东呈阶梯状下降, 大部分地区海拔 500 m 以上, 属中亚热带海洋性季风气候, 年平均气温为 $13.8 \sim 19.3^{\circ}\text{C}$; 年平均降水量 $1\,600 \sim 2\,200\text{ mm}$, 无霜期 312 d。主要土壤类型为红壤、黄壤和水稻土, 在耕地土壤中水稻土分布最广。

1.2 样品采集

于 2009 年 11 月秋茶收获后、基肥施用前, 选取连片茶园 (不小于 3 hm^2) 作为代表性茶园。以乡镇茶园面积设定取样数量, 每个乡镇取 1~5 个土壤样品。取样方法: 每个土样由 8~10 个样点的土壤组成混合样, 样点以“S”型布置, 每个样点按照行间位置取 3 个土钻: 行中间位置 (0~10 cm 宽度内随机选择)、偏中位置 (离行间中线 10~30 cm 范围随机选择) 和靠茶行位置 (离行间中线 30~60 cm 范围随机选择); 分 0~20 cm、20~40 cm 2 层取样, 分别测定后取平均值。福安市共取 34 个样品, 蕉城区共取 36 个样品。

1.3 评价指标

从众多影响茶树生长及茶叶产量和品质的土壤性状和营养元素中, 选用 pH 值、有机质、全 N、有效 P、交换性 K、交换性 Ca、交换性 Mg、有效 B、有效 Cu、有效 Zn 含量共 10 个土壤肥力指标作为评价指标。

土壤 pH 值采用水浸提 (水土质量比为 1:1), 电位法测定; 有机质采用重铬酸钾容量法测定; 全氮采用半微量凯氏定氮法测定; 速效磷用氟化铵-盐酸提取, 速效钾、交换性钙、交换性镁采用乙酸铵提取, 有效硼采用沸水浸提, 有效铜、有

效锌等用 $0.1\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸浸提, 等离子体发射光谱法测定^[10]。土壤肥力指标测定值取 2 层土样的平均值汇总于表 1。

1.4 评价方法

1.4.1 单项肥力质量指标隶属度的确定 应用 FUZZY(模糊)综合评判法对土壤肥力质量进行数值化的综合评价。根据土壤肥力质量指标对作物产量和品质之间在一定范围内的效应曲线均呈现为 S 型的特性, 其隶属度函数也采用 S 型曲线, 并将曲线型函数转化为相应的折线型函数 (图 1) 以利于计算。大多数土壤肥力质量指标属于这种类型, 如有机质、氮、磷、钾含量等。根据前人研究结果结合茶园土壤的实际, 本文确定各指标的隶属度函数曲线中转折点的相应取值如表 2^[6-7, 11-12] 所示, 并以此来计算单项肥力质量指标隶属度 N_i 。

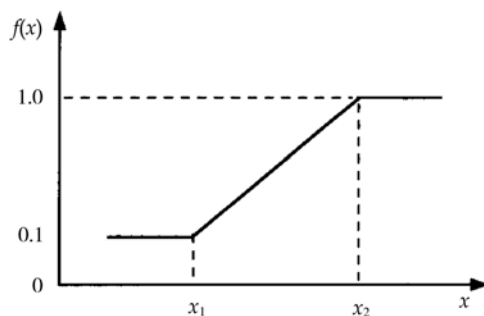


图 1 S型隶属度函数曲线

Fig. 1 Curve of S-type membership function

相应隶属度函数为:

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

作物的效应曲线呈现为抛物线型, 即随着指标值的增加, 效应值表现出开始时增加, 然后达到最高点, 最后下降的情形, 如土壤 pH 值等, 其隶属度函数如图 2 所示。根据茶园土壤的实际情况, 确定土壤 pH 值在隶属度函数曲线中转折点的相应取值为: $X_1 = 4.0$, $X_2 = 4.5$, $X_3 = 6.0$, $X_4 = 7.0$ ^[6-7, 11]。

由此可以计算出各项肥力指标的隶属度值, 这些值在 0.1~1.0, 其值的大小反映了其隶属的程度, 最大值 1.0 表示土壤肥力的最良好状态, 完全适宜作物的生长, 最小值 0.1 表示土壤肥力的严重缺乏。并为了计算的方便, 将最小值定为 0.1 而非零, 是符合生产实际的, 这就消除了各参数指标间

的量纲差异。

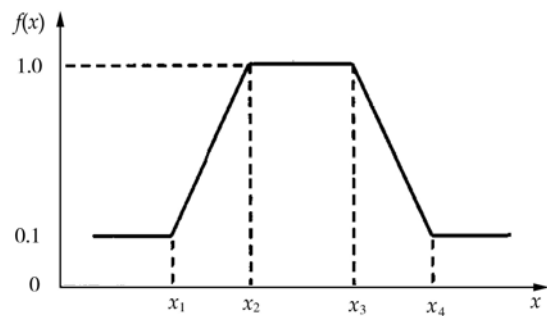


图 2 抛物线型隶属度函数
Fig. 2 Curve of parabola-type membership function

相应隶属度函数为：

$$f(x)=\begin{cases} 1.0-0.9(x-x_3)/(x_4-x_3) \\ 1.0 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 \\ 0.1 \end{cases}$$

1.4.2 单项肥力质量指标权重的确定 由于各肥力因素(指标)影响土壤整体肥力的作用不同,即各

指标对土壤肥力的贡献是不一致的,故对各项指标应给予一定的权重。权重系数的确定是肥力综合评价中的一个关键问题,为了避免人为主观因素的影响,应根据土壤肥力本身的内在关系做出正确的选择。本研究中单项肥力指标的权重系数由各指标间的偏相关系数来确定,计算步骤为:①求单项肥力质量指标间的相关系数,建立各肥力质量指标间的相关系数矩阵 R;②计算各因子与其他因子相关系数的平均值;③求出该平均值占所有肥力质量指标相关系数平均值之和的百分率,即为该单项肥力质量指标在表征土壤肥力质量中的贡献率,由此可以得出各项肥力指标的权重(Wi)^[13]如表 3 所示。

1.4.3 土壤养分肥力综合指标值的计算 根据加乘法则,在相互交叉的同类指标间采用加法合成,求出土壤肥力的综合性指标值 IFI(Integrated Fertility Index)。计算公式为:IFI=ΣWi×Ni,式中 Ni和 Wi分别表示第 i 种养分指标的隶属度值和权重系数。隶属度值和权重系数值应用 Microsoft Excel 软件进行计算。

表 1 闽东地区茶园土壤肥力性状
Table 1 Soil fertility of tea gardens in eastern Fujian

项目	pH 值	有机质/%	全氮/%	速效养分/(mg·kg ⁻¹)		交换性元素/(mg·kg ⁻¹)		有效微量元素/(mg·kg ⁻¹)		
				P	K	Mg	Ca	B	Zn	Cu
平均值	4.34	2.27	0.15	20.29	42.58	19.46	178.89	0.67	5.67	2.63
最小值	3.83	0.85	0.05	0.13	12.65	3.90	50.54	0.40	1.06	1.19
最大值	5.39	6.66	0.51	164.84	124.79	152.05	973.40	0.92	16.28	13.97
变异值	0.07	0.51	0.66	1.31	0.59	1.05	0.84	0.16	0.44	0.61

注:土壤样品为 70 个。

表 2 S 型隶属度函数曲线转折点的取值
Table 2 Value of turning point in s-type membership function

项目	有机质/%	全氮/%	速效养分/(mg·kg ⁻¹)		交换性元素/(mg·kg ⁻¹)		有效微量元素/(mg·kg ⁻¹)		
			P	K	Mg	Ca	B	Zn	Cu
X ₁	1.0	0.075	5	50	8	100	0.5	1.5	2.0
X ₂	3.0	0.15	20	150	16	200	1.0	3.0	4.0

表 3 各评价因素的权重(Wi)
Table 3 Weight coefficient of 10 fertility indices

项目	pH 值	有机质	全氮	速效养分		交换性元素		有效微量元素		
				P	K	Mg	Ca	B	Zn	Cu
权重	0.10	0.11	0.11	0.09	0.09	0.10	0.12	0.08	0.08	0.11

2 结果与分析

2.1 闽东地区茶园土壤肥力分级

采用 FUZZY (模糊) 综合评判法, 其中隶属度值是经过隶属度函数的转换处理, 所以各指标值均在 0.1~1, 因而最后的土壤肥力综合指标值 IFI 也在 0.1~1, 对其进行分级则可划分出供试土壤的肥力等级。为了避免人为主观的影响, 以各土样的综合肥力指标值 (IFI) 作为评价其肥力的新指标, 以欧式距离作为衡量各茶园土壤肥力差异大小, 采用离差平方和法进行系统聚类 (图 3)。结果表明, 通过聚类分析可将茶园土壤肥力供应状况分为 4 个等级, 其中 $IFI \geq 0.60$ 为第 I 类 (高), $0.5 \leq IFI < 0.6$ 为第 II 类 (中等), $0.4 \leq IFI < 0.5$ 为第 III 类 (较低), $IFI < 0.4$ 为第 IV 类 (低), 各组综合分级情况见表 4。可见, 闽东地区茶园土壤整体肥力质量有 61.43% 达中上水平, 38.57% 的茶园土壤处于中下肥力水平。

2.2 闽东地区茶园春茶产量与 IFI 值相关分析

一般而言, 作物产量是衡量土壤生产力水平的最直接标准^[13], 已有研究表明土壤肥力状况、不同施肥结构及施肥量对茶叶的芽头密度和茶叶产量的影响不同。王凯荣等^[14]研究表明茶园土壤肥力状况对茶叶产量影响甚大, 高产茶园土壤耕层的有机质平均含量大于 $30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全 N 大于 $1.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 碱解 N 大于 $150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 底土层的

有机质、全 N 和碱解 N 含量分别大于 $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 是低产茶园的 2 倍。黄东风等^[15]以 5 种不同肥料结构进行施肥处理, 结果发现施用硫酸钾镁肥处理对茶树的生长效果最好, 茶叶的芽头密度提高 28.88%, 茶叶鲜叶产量增加 14.27%。苏有健等^[16]的田间试验结果表明施用氮肥 90、180、360 和 $720 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理, 芽头密度比对照增加 8.79%~13.79%, 茶叶产量分别增加 19.76%、23.52%、25.19% 和 19.59%。为验证本评价结果的可信度, 在福安、蕉城随机选取种植品种为福云 6 号的点 16 个, 实地调查该取样点的施肥种类、施肥量、芽头密度、春茶产量, 结果见表 5。将施肥量、芽头密度、春茶产量与 IFI 值做相关分析, 得到的相关系数见表 6。从表 6 可知, 施肥量与芽头密度、春茶产量、IFI 值都呈显著相关 ($r=0.58$, $r=0.57$, $r=0.55$, $n=16$); 芽头密度与春茶产量、IFI 值都呈极显著相关 ($r=0.78$, $r=0.89$, $n=16$); 春茶产量与 IFI 值显著相关 ($r=0.60$, $n=16$)。

表 4 闽东地区茶园土壤肥力综合评价标准及结果

Table 4 Overall soil fertility and grade

IFI 值	0.6~1	0.5~0.6	0.4~0.5	0.1~0.4
数量	22	21	14	13
比例/%	31.43	30	20	18.57
分级	I	II	III	IV

表 5 闽东地区茶园土壤春茶产量

Table 5 Spring tea yield of tea gardens in eastern Fujian

地点	代表面积/ hm^2	施肥种类	施肥量 $/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$	芽头密度 $/(\text{个} \cdot \text{dm}^{-2})$	春茶产量 $/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	IFI 值
蕉城区霍童乡大石村	53.33	复合肥	2250	8.36	1500	0.5007
蕉城区霍童乡邑坂村	133.33	复合肥	1500	12.27	3750	0.7266
蕉城区九都乡九都村	33.33	复合肥	750	9.82	2250	0.6012
蕉城区金涵国营茶场	66.67	尿素	750	8.55	1650	0.5278
蕉城区石后乡三望村	26.67	鸡粪、复合肥	2250	8.73	3750	0.5077
蕉城区石后乡东湖溢村	53.33	鸡粪	4500	12.82	4500	0.7257
蕉城区金涵乡上金贝村	33.33	复合肥	1500	10.18	2250	0.6561
蕉城区八都乡仁厚村	53.33	复合肥	1500	8.18	1500	0.4096
福安市晓洋乡锁泉茶厂	17.33	复合肥	3000	10.00	1950	0.7196
福安市社口镇坦洋茶厂	73.33	鸡粪、复合肥	1200	6.73	1500	0.3364
福安市范坑乡茶场	200.00	鸡粪、复合肥	1500	7.82	1950	0.4537
福安市潭头乡白云茶厂	133.33	复合肥	1500	7.09	1050	0.4468
福安市潭头乡坑源村	53.33	复合肥	750	7.09	750	0.2758
福安市赛岐镇锦浦村	66.67	复合肥	2250	8.73	1350	0.5570
福安市赛岐镇泰康村	433.33	鸡粪、复合肥	2250	10.91	1950	0.7381
福安市溪尾镇利洋村	233.33	复合肥	1500	8.00	1350	0.5565

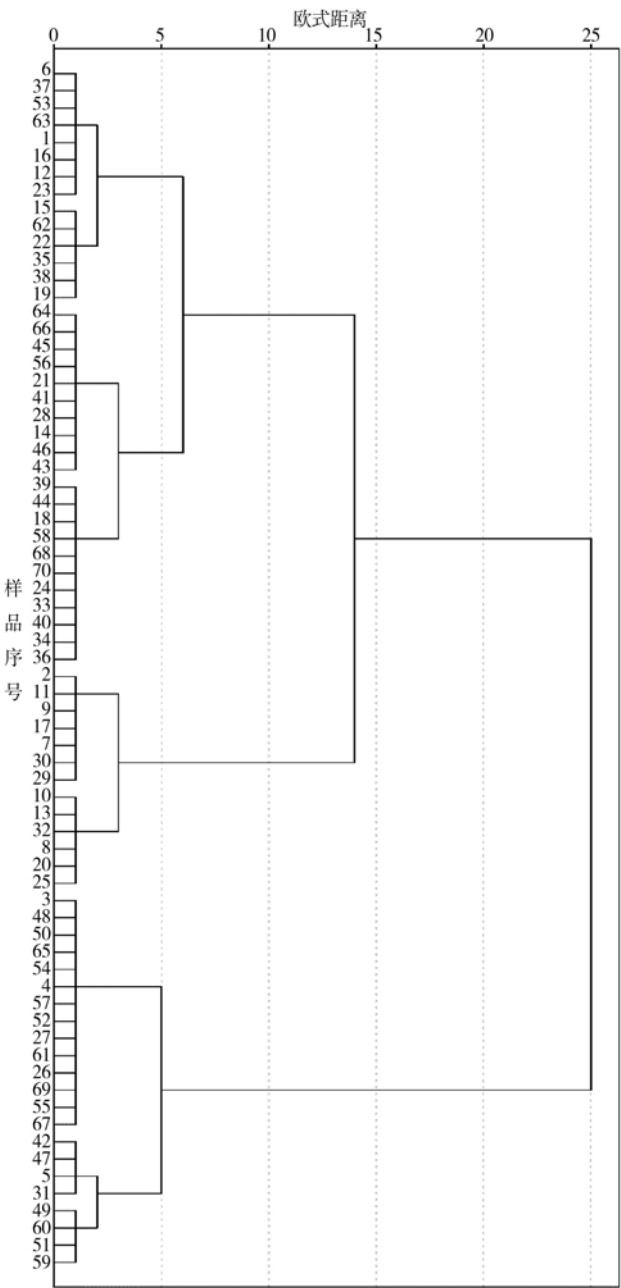


图 3 闽东地区茶园土壤样品系统聚类图

Fig. 3 Hierarchical clustering diagram of samples of tea gardens in eastern Fujian

表 6 闽东地区茶园土壤春茶产量与 IFI 值的相关分析
Table 6 Correlation between spring tea yields and IFI of tea gardens in eastern Fujian

相关系数	施肥量	芽头密度	春茶产量	IFI 值
施肥量	1.00	0.58 *	0.57 *	0.55 *
芽头密度	0.58 *	1.00	0.78 **	0.89 **
春茶产量	0.57 *	0.78 **	1.00	0.60 *
IFI 值	0.55 *	0.89 **	0.60 *	1.00

注：* $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。

3 讨论与结论

土壤肥力指标因子包括土壤的理化性质、土壤中各种酶的活性、土壤微生物的数量和活性等，单一指标无法完成对土壤肥力的定性描述^[17]。已有的报道对茶园土壤肥力质量的评价指标的选择不尽相同，多数仅考虑土壤 pH 值、有机质和大量营养元素（N、P、K）^[11,18-19]。茶树与其他高等植物一样，16 种必需营养元素不可或缺，其中碳、氢、氧主要来自空气和水，其他元素则主要来自土壤，中微量元素和大量营养元素具有同等重要的地位。韩文炎等^[20]的调查研究表明高产茶园土壤的有机质、全氮、速效 N、P、K、Mg、S、Cu 和 Zn 的含量普遍高于中产茶园，而中产茶园又明显高于低产茶园。本研究选用 pH 值、有机质、全 N、有效 P、交换性 K、交换性 Mg、交换性 Ca、有效 Cu、有效 B 和有效 Zn 含量 10 个土壤养分肥力指标能较好地反映出闽东地区茶园土壤肥力状况。

土壤肥力质量评价涉及的因素很多，除评价指标外，各评价指标隶属函数的表达、隶属函数阈值的划分、隶属度值和权重系数的确定等都会影响评价结果的可靠性^[21]。本研究运用 FUZZY（模糊）综合评判法进行闽东地区茶园土壤养分肥力质量评价，结果表明闽东地区茶园土壤整体肥力质量属于中上水平的占 60%，属于中下水平的占 40%，推算出的土壤肥力综合指标 IFI 值与芽头密度、春茶产量都有很好的相关性，说明本方法中单项肥力质量指标隶属度和权重的确定可以较好地消除人为因素的干扰，综合评价结果具有较高的合理性和实用价值，可为茶园土壤平衡施肥提供参考依据。

参考文献：

[1] 杨亚军. 中国茶树栽培学 [M]. 上海：上海科学技术出版社，2005：310—373.

[2] 章海波，骆永明，赵其国. 香港土壤研究：VI. 基于高近层次分析法的土壤肥力质量综合评价 [J]. 土壤学报，2006，43（4）：577—583.

[3] 陈留美，桂林国，吕家珑，等. 应用主成分分析和聚类分析评价不同施肥处理条件下新垦淡灰钙土土壤肥力质量 [J]. 土壤，2008，40（6）：971—975.

[4] 李方敏，艾天成，周治安，等. 用主成分分析法评价渍害土壤肥力 [J]. 地域研究与开发，2001，20（4）：65—67.

[5] 侯文广，江聪世，熊庆文，等. 基于 GIS 的土壤质量评价研究 [J]. 武汉大学学报：信息科学版，2003，28（1）：61—64.

[6] 颜雄，张杨珠，周卫军，等. 长沙县“百里茶廊”6 个茶叶基地的土壤肥力质量评价 [J]. 农业现代化研究，2007，28（3）：354—357.

- [7] 饶盈, 章炜, 谢秉楼, 等. 临安市杨桐栽培基地土壤肥力质量评价 [J]. 江苏林业科技, 2010, 37 (3): 9—14.
- [8] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 (2010) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [9] 张文锦, 李慧玲, 吴志丹. 闽东有机茶生产概况及典型案例介绍 [J]. 福建茶叶, 2010, (12): 2—5.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 477—490.
- [11] 颜雄, 张杨珠, 刘晶, 等. 洞庭湖区 5 个茶叶基地土壤的养分状况与肥力质量评价 [J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2008, 34 (5): 596—600.
- [12] 徐泽, 阮建云, 李中林, 等. 重庆市永川茶园土壤肥力考评 [J]. 西南农业学报, 2010, 23 (3): 791—795.
- [13] 吕晓男, 陆允甫, 王人潮. 土壤肥力综合评价初步研究 [J]. 浙江大学学报, 1999, 25 (4): 378—382.
- [14] 王凯荣, 龚惠群. 山区茶园土壤肥力性状及其对茶叶产量和品质的影响 [J]. 茶叶, 1994, 20 (1): 13—17.
- [15] 黄东风, 何春梅, 李清华, 等. 硫酸钾镁肥在红黄壤茶园上的应用效果初报 [J]. 土壤肥料, 2005, 21(10): 192—195.
- [16] 苏有健, 廖万有, 丁勇, 等. 不同氮营养水平对茶叶产量和品质的影响 [J]. 植物营养与肥科学报, 2011, 17 (6): 1430—1436.
- [17] 彭辉, 杨艳鲜, 潘志贤, 等. 云南金沙江干热河谷土壤肥力综合评价 [J]. 热带作物学报, 2011, 32(10): 1820—1823.
- [18] 傅海平, 张亚莲, 常硕其, 等. 茶园土壤肥力质量的综合评价 [J]. 江西农业学报, 2011, 23 (3): 78—81.
- [19] 王茂香, 张祖陆, 王学, 等. 日照茶树种植区典型茶园的土壤肥力状况评价 [J]. 山东国土资源, 2011, 27(7): 31—36.
- [20] 韩文炎, 阮建云, 林智, 等. 茶园土壤主要营养障碍因子及系列茶树专用肥的研制 [J]. 茶叶科学, 2002, 22(1): 70—74.
- [21] 邵岩, 王树会, 邓云龙, 等. 基于 GIS 的云南烤烟种植区划研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.

(责任编辑: 翁志辉)