

## 新平县茶园土壤养分特征及肥力质量评价\*

温继良<sup>1</sup>, 周元清<sup>2</sup>, 杨东华<sup>2</sup>, 普金安<sup>3</sup>, 李淑英<sup>2</sup>, 卢国理<sup>2</sup>, 朱春蓉<sup>2</sup>, 张翠萍<sup>2\*\*</sup>

(1. 玉溪师范学院 国有资产管理处, 云南 玉溪 653100;

2. 玉溪师范学院 污染控制与生态修复研究中心, 云南 玉溪 653100;

3. 新平彝族傣族自治县经济作物工作站, 云南 新平 653400)

**摘要:**【目的】研究新平县茶园土壤肥力状况, 为新平县茶园高效养分管理提供参考依据。【方法】通过野外调查和室内分析, 应用模糊综合评判法, 以 9 项土壤肥力质量指标为评价依据, 对新平县 8 个主要种植茶园土壤肥力质量进行数值化综合评价。【结果】新平县茶园土壤 pH 为 4.40~5.83, 符合优质高产茶园要求, 有机质(OM)、全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)、有效氮(AN)、有效磷(AP)、有效钾(AK)平均含量分别为 57.1 g/kg、0.269%、0.077%、1.51%、206.3 mg/kg、11.0 mg/kg、154 mg/kg, 均为 I 级标准, 阳离子交换量(CEC)平均含量为 15.95 cmol/kg, 属于 II 级标准; 茶园土壤肥力指数(IFI)为 0.769, 为 I 级(高等水平), 依次是者竜乡(0.877)>戛洒镇(0.851)>漠沙镇(0.807)>平掌乡(0.799)>水塘镇(0.796)>建兴乡(0.734)>平甸乡(0.647)>新化乡(0.642), I 级(高等水平)占 75%, 平甸乡和新化乡属 II 级, 处于中上水平; 土壤中 TP、TN、OM、CEC、AK、AP 含量对土壤肥力的影响较大。【结论】新平县茶园土壤肥力水平达到 I 级标准, 但 AP 含量相对偏低, 需要有针对性的增施磷肥。

**关键词:** 茶园土壤; 土壤养分; 肥力质量评价; 模糊综合评判法

中图分类号: S 158.2

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X(2018)05-0925-09

## Nutrient Characteristics and Assessment for the Fertility Quality of the Tea Plantation Soils in Xinping County

WEN Jiliang<sup>1</sup>, ZHOU Yuanqing<sup>2</sup>, YANG Donghua<sup>2</sup>, PU Jinan<sup>3</sup>, LI Shuying<sup>2</sup>,  
LU Guoli<sup>2</sup>, ZHU Chunrong<sup>2</sup>, ZHANG Cuiping<sup>2</sup>

(1. State-owned Assets Management Bureau, Yuxi Normal University, Yuxi 653100, China;

2. Research Center for Pollution Control and Ecological Restoration, Yuxi Normal University, Yuxi 653100, China;

3. Xinping Yi-Dai Autonomous County Economic Crops Work Station, Xinping 653400, China)

**Abstract:** [Purposes] The soil fertility status of tea plantation in Xinping County was studied to provide a reference for the high-efficiency nutrient management of tea plantations in Xinping County. [Methods] Through field investigation and indoor analysis, fuzzy comprehensive evaluation method was applied. Based on 9 soil fertility quality indexes, we evaluated comprehensively the quality of soil fertility of 8 main tea plantations in Xinping County. [Results] The soil pH of tea plantation was between 4.4-5.83 and the soil pH had reached the requirement of high quality tea plantation in Xinping County. The average content of organic matter (OM), total nitrogen (TN), total phos-

收稿日期: 2018-01-31

修回日期: 2018-07-12

网络出版时间: 2018-09-07

\*基金项目: 国家自然科学基金项目(31460144, 31670472); 国家艺术基金青年项目(15CD137)。

作者简介: 温继良(1974—), 男, 云南元江人, 学士, 高级工程师, 主要从事城乡规划研究。E-mail: wenjiliang@yxnu.net

\*\*通信作者 Corresponding author: 张翠萍(1980—), 女, 云南通海人, 博士, 讲师, 主要从事污染控制与生态修复研究。E-mail: cuipingzh@yxnu.net

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201801049](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201801049)

phorus (TP), total potassium (TK), effective nitrogen (AN), effective phosphorus (AP) and effective potassium (AK) were 57.1 g/kg, 0.269%, 0.077%, 1.51%, 206.3 mg/kg, 11.0 mg/kg and 154 mg/kg, respectively. The nutrient index of the tea plantation soil had reached I-level standard except for average content of cation exchange capacity (CEC). The soil fertility index (IFI) of tea plantation was 0.769 and for higher levels, in turn, was Zhelong (0.877)>Gasa (0.851)>Mosha (0.807)>Pingzhang (0.799)>Shuitang (0.796)>Jianxing (0.734)>Pingdian (0.647)>Xinhua (0.642), higher level 75%, upper level accounted for 25%. The contents of TP, TN, OM, CEC, AK and AP in soil had great influences for fertility quality. [Conclusions] The soil fertility of the tea plantation in Xinping County is generally higher, but the content of AP is relatively low, and the phosphate fertilizer should be emphasized to promote.

**Keywords:** tea plantation soil; nutrient index; fertility quality assessment; fuzzy comprehensive assessment

茶作为一种天然健康饮品备受关注, 被誉为 21 世纪世界最流行、最健康的饮品<sup>[1]</sup>。茶园土壤是茶树生存的物质基础<sup>[2]</sup>, 土壤肥力是土壤的基本属性和本质特征, 是其物理、化学和生物特性的综合反映<sup>[3]</sup>。土壤养分作为土壤肥力的核心部分和重要表现, 其丰缺状况和供应强度直接影响茶树生长发育和茶叶的产量品质<sup>[4-5]</sup>。因此, 茶园土壤养分及肥力质量评价对掌握和提高茶园土壤质量、实现茶叶优质高效生产和茶产业的可持续发展具有重要意义。

土壤肥力质量评价的方法较多, 如关联度法<sup>[6-7]</sup>、聚类分析<sup>[8-9]</sup>、指数和法<sup>[3, 10]</sup>、地统计学评价法<sup>[11]</sup>、主成分分析法<sup>[12-13]</sup>、模糊综合评价法<sup>[14-16]</sup>等。其中, 模糊综合评判法隶属函数的建立及权重系数的确定均为定量评价, 且综合拟合了各种养分元素含量特征, 能较好地反映土壤实际肥力<sup>[17]</sup>, 评价结果准确可靠, 已被广泛用于生产实践中。

茶叶产业是云南省新平县的传统优势产业及农村经济的重要支柱, 得天独厚的生态环境使其具备了生产优质茶叶的资源优势, 但目前新平县茶园土壤肥力缺乏数值化的分析。为掌握新平县茶园土壤养分含量状况和肥力质量, 改善茶园土壤养分管理, 本研究对新平县 8 个乡镇的主要茶园进行土壤取样和检测, 选用 9 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, 以期为新平县茶叶优质高产的土壤养分管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

新平县位于云南省中部偏西南, 地处哀牢山脉中段, 东与峨山县毗邻, 南与元江县接壤, 西连镇沅县, 北与双柏县隔江相望, 地势西北高、东南低, 位于 N23°38'15"~24°26'05", E 101°16'30"~102°16'50"之间, 海拔差较大 (422.0~3 165.9 m), 立体气候明显, 土壤呈垂直分布, 属中亚热带半湿润季风气候区, 年均温度 18.1℃, 全年降雨量 931.7 mm, 年日照时间 2 197.9 h<sup>[18]</sup>。

### 1.2 土壤样品布设采集

新平县茶叶种植总面积约 3 200 hm<sup>2</sup>。按照 NY/T 395—2012<sup>[19]</sup>的土壤采样要求, 研究选取 150 hm<sup>2</sup> 作为农区每个点的代表面积, 共布设 30 个样点 (表 1)。在新平县有茶园种植的 8 个乡镇的主要种植区内选择连片、面积大的代表性茶园, 采用“S”型 5 点采样法采集 0~20 cm 深的混合土样, 并用 GPS 定位, 四分法留取约 250 g 土样, 将土样风干后, 玛瑙研钵磨细过 20 目尼龙筛, 装入保鲜袋, 用于测定土壤化学性质。

### 1.3 分析方法

土壤理化指标参照《土壤农化分析》<sup>[20]</sup>测定: pH 采用玻璃电极法, 水土比为 2.5:1; OM 采用重铬酸钾容量法; TN 采用半微量凯氏定氮法; TP 采用钼锑抗比色法; TK 采用酸溶火焰原子吸收法; AN 采用碱解扩散法; AP 采用钼锑抗比色法; AK 采用火焰光度法; CEC 采用中性乙酸铵法。

表1 新平县采样点分布

Tab. 1 Distribution of the sampling sites in Xinning County

| 编号<br>No. | 样点名称<br>plot name                                           | 经纬度<br>longitude and latitude | 土壤类型<br>soil type        | 海拔/m<br>elevation | 地形地貌<br>topography |
|-----------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------|
| 1         | 戛洒镇耀南村<br>Yaonan Village, Gasa Town                         | E 101°19'33", N 24°0'2"       | 棕壤<br>brown soil         | 1 982~1 988       | 山地 mountain        |
| 2         | 戛洒镇米尺莫村<br>Michimo Village, Gasa Town                       | E 101°24'11", N 24°3'37"      | 黄棕壤<br>yellow brown soil | 1 728~1 784       | 山地 mountain        |
| 3         | 建兴乡马鹿社区<br>Malu Village, Jianxing Town                      | E 101°22'28", N 24°24'20"     | 棕壤<br>brown soil         | 1 198~2 190       | 山地 mountain        |
| 4         | 建兴乡建兴村<br>Jianxin Village, Jianxing Town                    | E 101°19'23", N 24°25'13"     | 黄棕壤<br>yellow brown soil | 1 621~1 700       | 山地 mountain        |
| 5         | 建兴乡帽盒村黄草坝<br>Huangcaoba, Maohe Village, Jianxing Town       | E 101°21'39", N 24°25'28"     | 棕壤<br>brown soil         | 1 916~1 920       | 山地 mountain        |
| 6         | 建兴乡帽盒村双沟街<br>Shuanggou Road, Maohe Village, Jianxing Town   | E 101°34'15", N 23°43'11"     | 棕壤<br>brown soil         | 1 808~1 950       | 山地 mountain        |
| 7         | 漠沙镇仁和村<br>Renhe Village, Mosha Town                         | E 101°39'36", N 24°50'54"     | 暗棕壤<br>dark brown soil   | 1 769~1 949       | 山地 mountain        |
| 8         | 平甸乡龙湾哨<br>Longwanshao, Pingdian Town                        | E 101°55'10", N 24°05'20"     | 棕壤<br>brown soil         | 1 988~2 052       | 山地 mountain        |
| 9         | 新化乡老五斗村<br>Laowudou Village, Xinhua Town                    | E 101°34'07", N 24°03'57"     | 棕壤<br>brown soil         | 1 968~1 989       | 山地 mountain        |
| 10        | 新化乡大寨村大竹棚<br>Bamboo shed of Dazhai Village, Xinghua town    | E 101°49'05", N 24°09'41"     | 棕壤<br>brown soil         | 2 012~2 088       | 山地 mountain        |
| 11        | 新化乡大寨村小寨组<br>Xiaozhai Group of Dazhai Village, Xinghua Town | E 101°49'06", N 24°09'35"     | 棕壤<br>brown soil         | 1 962~1 988       | 山地 mountain        |
| 12        | 水塘镇邦迈<br>Bangmai, Shuitang Town                             | E 101°27'57", N 24°04'48"     | 棕壤<br>brown soil         | 1 491~2 053       | 山地 mountain        |
| 13        | 水塘镇大口村<br>Dakou Village, Shuitang town                      | E 101°26'35", N 24°10'27"     | 暗棕壤<br>dark brown soil   | 1 682~1 986       | 山地 mountain        |
| 14        | 水塘镇波村<br>Bo Village, Shuitang Town                          | E 101°25'31", N 24°12'47"     | 黄棕壤<br>yellow brown soil | 1 524~1 589       | 山地 mountain        |
| 15        | 水塘镇拉博村<br>Labo Village, Shuitang town                       | E 101°29'44", N 24°06'34"     | 黄棕壤<br>yellow brown soil | 1 350~1 516       | 山地 mountain        |
| 16        | 水塘镇旧哈村<br>Jiuha Village, Shuitang Town                      | E 101°28'25", N 24°08'06"     | 黄棕壤<br>yellow brown soil | 1 560~1 630       | 山地 mountain        |
| 17        | 水塘镇金厂村<br>Jinchang Village, Shuitang Town                   | E 101°30'57", N 24°03'35"     | 棕红壤<br>brown red soil    | 1 802~1 891       | 山地 mountain        |
| 18        | 者竜乡竹箐村<br>Zhuqing Village, Zhelong Town                     | E 101°20'17", N 24°20'12"     | 暗棕壤<br>dark brown soil   | 1 581~1 614       | 山地 mountain        |
| 19        | 者竜乡腰村<br>Xiangyao Village, Zhelong Town                     | E 101°25'06", N 24°17'29"     | 黄棕壤<br>yellow brown soil | 1 469~1 477       | 山地 mountain        |
| 20        | 者竜乡向阳村<br>Xiangyang Village, Zhelong Town                   | E 101°23'20", N 24°21'22"     | 黄棕壤<br>yellow brown soil | 1 433~1 792       | 山地 mountain        |
| 21        | 者竜乡者竜村<br>Zhelong Village, Zhelong Town                     | E 101°22'33", N 24°17'32"     | 黄棕壤<br>yellow brown soil | 1 350~1 420       | 山地 mountain        |
| 22        | 者竜乡庆丰村<br>Qingfeng Village, Zhelong Town                    | E 101°20'21", N 24°19'09"     | 棕壤<br>brown soil         | 1 730~1 850       | 山地 mountain        |
| 23        | 者竜乡峨毛村<br>Emao Village, Zhelong Town                        | E 101°24'14", N 24°18'28"     | 黄棕壤<br>yellow brown soil | 1 623~1 729       | 山地 mountain        |
| 24        | 平掌乡柏枝村<br>Bozhi Village, Pingzhang Town                     | E 101°33'50", N 24°47'56"     | 棕壤<br>brown soil         | 1 756~2 158       | 山地 mountain        |
| 25        | 平掌乡丫口村<br>Yakou Village, Pingzhang Town                     | E 101°28'43", N 24°48'59"     | 黄棕壤<br>yellow brown soil | 1 534~1 560       | 山地 mountain        |
| 26        | 平掌乡联合村<br>Lianhe Village, Pingzhang Town                    | E 101°30'41", N 24°51'03"     | 棕壤<br>brown soil         | 1 806~1 829       | 山地 mountain        |
| 27        | 平掌乡库独木村<br>Dumu Village, Pingzhang Town                     | E 101°29'36", N 24°51'37"     | 棕壤<br>brown soil         | 1 710~1 756       | 山地 mountain        |
| 28        | 平掌乡仓房村<br>Cangfang Village, Pingzhang Town                  | E 101°30'56", N 24°51'29"     | 暗棕壤<br>dark brown soil   | 1 623~1 877       | 山地 mountain        |
| 29        | 平掌乡平掌村<br>Pingzhang Village, Pingzhang Town                 | E 101°33'44", N 24°49'10"     | 黄棕壤<br>yellow brown soil | 1 772~1 872       | 山地 mountain        |
| 30        | 平掌乡梭山村<br>Suoshan Village, Pingzhang Town                   | E 101°33'23", N 24°51'25"     | 黄棕壤<br>yellow brown soil | 1 770~1 778       | 山地 mountain        |

1.4 评价方法

1.4.1 土壤养分单项指标评价

根据 NY/T 853—2004<sup>[21]</sup>的茶园土壤养分分级标准，将茶园土壤养分含量分为 3 级，I 级为优良、II 级为尚可、III 级为较差(表 2)。

表 2 茶园土壤养分分级标准

Tab. 2 Soil nutrient grading standard of tea plantation

| 指标<br>index                  | 等级 level |         |      |
|------------------------------|----------|---------|------|
|                              | I        | II      | III  |
| w(OM)/(g·kg <sup>-1</sup> )  | >15      | 10~15   | <10  |
| w(TN)/(g·kg <sup>-1</sup> )  | >1       | 0.8~1.0 | <0.8 |
| w(TP)/(g·kg <sup>-1</sup> )  | >0.6     | 0.4~0.6 | <0.4 |
| w(TK)/(g·kg <sup>-1</sup> )  | >10      | 5~10    | <5   |
| w(AN)/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | >100     | 50~100  | <50  |
| w(AP)/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | >10      | 5~10    | <5   |
| w(AK)/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | >120     | 80~120  | <80  |
| CEC/(cmol·kg <sup>-1</sup> ) | >20      | 15~20   | <15  |

1.4.2 土壤综合肥力质量评价

模糊综合评判法依据各类参评因子的特征，确定评价值与参评因子值间的函数关系(即隶属度函数)<sup>[22]</sup>，分为抛物线形和 S 型，本研究除土壤 pH 属于抛物线形(公式 1)，其余指标均属于

S 型(公式 2)。

$$N_i = f(x) = \begin{cases} 0.1 & x \leq x_1 \text{ 或 } x \geq x_4 \\ \frac{0.9(x-x_1)}{x_2-x_1} + 0.1 & x_1 < x < x_2 \\ 1.0 & x_2 \leq x \leq x_3 \\ 1.0 - \frac{0.9(x-x_3)}{x_4-x_3} & x_3 < x < x_4 \end{cases} \quad (1)$$

$$N_i = f(x) = \begin{cases} 1.0 & x \geq x_2 \\ \frac{0.9(x-x_1)}{x_2-x_1} + 0.1 & x_1 < x < x_2 \\ 0.1 & x \leq x_1 \end{cases} \quad (2)$$

式中， $N_i$  为评价因子  $i$  的隶属度值， $x$  为实测值，参照颜雄等<sup>[23]</sup>和傅海平等<sup>[24]</sup>的研究方法，结合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： $x_1=4.0$ ， $x_2=4.5$ ， $x_3=6.0$ ， $x_4=7.0$ ，其他指标的隶属度函数曲线中转折点的相应取值如表 3 所示。

各因子的权重系数( $W_i$ )表示为：

$$W_i = \frac{r_{i均}}{\sum r_{i均}} \quad (3)$$

式中， $r_{i均}$  指评价因子  $i$  与其他各因子间相关系数的平均值。

表 3 隶属度函数曲线转折点的取值

Tab. 3 Values of the curve of membership function curve

| 指标<br>index | pH  | w (OM)/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 全量养分/% total nutrients |      |   | 有效养分/(mg·kg <sup>-1</sup> ) available nutrients |    |     | CEC/(cmol·kg <sup>-1</sup> ) |
|-------------|-----|------------------------------|------------------------|------|---|-------------------------------------------------|----|-----|------------------------------|
|             |     |                              | N                      | P    | K | N                                               | P  | K   |                              |
| $x_1$       | 4.0 | 10                           | 0.075                  | 0.04 | 1 | 60                                              | 5  | 50  | 10                           |
| $x_2$       | 4.5 | 30                           | 0.2                    | 0.1  | 2 | 120                                             | 20 | 150 | 25                           |
| $x_3$       | 6.0 | —                            | —                      | —    | — | —                                               | —  | —   | —                            |
| $x_4$       | 7.0 | —                            | —                      | —    | — | —                                               | —  | —   | —                            |

IFI (intergrated fertility index) 为土壤肥力状况的综合评价值(公式 4)。

$$IFI = \sum_{i=1}^n N_i \times W_i \quad (4)$$

式中， $n$  为评价指标数量， $N_i$  和  $W_i$  分别表示第  $i$  个评价因子的隶属度值和权重系数，根据 IFI 的值即可对土壤肥力进行等级划分(表 4)。

表 4 土壤肥力综合评价标准

Tab. 4 Comprehensive evaluation criteria of soil fertility

| IFI 值 IFI value              | IFI≥0.70     | 0.59≤IFI<0.7  | 0.49≤IFI<0.59   | IFI<0.49   |
|------------------------------|--------------|---------------|-----------------|------------|
| 土壤肥力等级 soil fertility levels | I (高 higher) | II (中上 upper) | III (中下 middle) | IV (低 low) |

1.5 数据分析

Excel 2010 软件对试验数据进行统计，不同处理结果用平均数±标准误(mean±SE)表示，采用 SPSS 19.0 分析 9 种肥力质量指标间的 Pearson 相关系数。

2 结果与分析

2.1 新平县茶园土壤养分含量

2.1.1 土壤 pH、OM 和 CEC 分析

由表 5 可知：土壤 pH 为 4.4~5.8，均值为 4.95，

OM 含量在 27.9~85.9 g/kg 之间, 均值为 57.1g/kg, 属 I 级, 说明茶园土壤熟化度高, 保肥性较好。CEC 的含量范围在 10.43~25.88 cmol/kg, 均值为 15.95 cmol/kg, 除建兴乡、新化乡和水塘镇的低于 15 cmol/kg, 属Ⅲ级外, 其余均属Ⅱ级。pH、OM 和 CEC 的变异系数均小于 30%, 表明新平县 8 个乡镇茶园土壤的上述指标差异较小。

### 2.1.2 土壤氮、磷、钾营养元素含量分析

茶园土壤 TN、TK、AN 含量属 I 级(表 6), 平均值分别为 0.269%、1.51%、206.3 mg/kg, 且

3 种养分变异系数均低于 30%, 属于中等弱变异。除了平甸乡和新化乡属Ⅲ级(0.04%)外, 其余乡镇 TP 平均含量为 I 级, 新平县 AP 平均含量总体偏低, 均值为 11.0 mg/kg, 除戛洒镇和者竜乡大于 10 mg/kg (属 I 级)外, 其余均为Ⅱ级和Ⅲ级; AK 均值为 154 mg/kg, 除了建兴乡和平掌乡属Ⅱ级外, 其余 6 个乡镇均为 I 级。土壤 TP、AP 和 AK 含量分布极不均衡, 属于强变异(>30%), 尤其是 AP, 变异系数高达 175.1%。

表 5 茶园土壤 pH、OM 和 CEC 状况  
Tab. 5 The status of soil pH, OM and CEC of tea plantation

| 项目 item                         | pH       | w(OM)/(g·kg <sup>-1</sup> ) organic matter content | CEC/(cmol·kg <sup>-1</sup> ) cation exchange capacity |
|---------------------------------|----------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 均值 mean                         | 4.95     | 57.1                                               | 15.95                                                 |
| 范围 scope                        | 4.4~5.83 | 27.9~85.9                                          | 10.43~25.88                                           |
| 标准差 standard deviation          | 0.347    | 14.526                                             | 3.318                                                 |
| 变异系数/% coefficient of variation | 7.0      | 25.4                                               | 20.8                                                  |

表 6 茶园土壤养分状况  
Tab. 6 The nutrient status of soil in tea area

| 乡镇<br>town                      | 全量养分/% total nutrient |            |           | 有效养分/(mg·kg <sup>-1</sup> ) available nutrient |           |            |
|---------------------------------|-----------------------|------------|-----------|------------------------------------------------|-----------|------------|
|                                 | TN                    | TP         | TK        | AN                                             | AP        | AK         |
| 戛洒镇 Gasa Town                   | 0.26±0.06             | 0.080±0.02 | 1.22±0.20 | 194.6±53.9                                     | 34.9±31.7 | 144±25.7   |
| 建兴乡 Jianxing Town               | 0.25±0.05             | 0.071±0.02 | 1.53±0.39 | 217.8±75.5                                     | 7.45±7.38 | 106.5±32.4 |
| 漠沙镇 Mosha Town                  | 0.27±0.03             | 0.093±0.02 | 1.25±0.21 | 219.1±0.22                                     | 3.2±0.08  | 172±0.42   |
| 平甸乡 Pingdian Town               | 0.15±0.04             | 0.042±0.02 | 1.77±0.25 | 121±0.31                                       | 3.2±0.09  | 166±0.38   |
| 新化乡 Xinhua Town                 | 0.21±0.03             | 0.044±0.02 | 1.03±0.39 | 163.9±17.2                                     | 3.2±0.42  | 123.3±21.4 |
| 水塘镇 Shuitang Town               | 0.26±0.06             | 0.080±0.02 | 1.90±0.42 | 205.0±57.4                                     | 7.08±8.23 | 259.7±89.9 |
| 者竜乡 Zhelong Town                | 0.29±0.05             | 0.082±0.04 | 1.60±0.25 | 211.8±51.0                                     | 19.6±30.3 | 149±50.9   |
| 平掌乡 Pingzhang Town              | 0.32±0.11             | 0.090±0.03 | 1.39±0.45 | 228.1±44.0                                     | 7.7±11.02 | 106.4±29.8 |
| 平均值 mean                        | 0.269                 | 0.077      | 1.51      | 206.3                                          | 11.0      | 154        |
| 标准差 standard deviation          | 0.080                 | 0.029      | 0.450     | 56.461                                         | 19.235    | 75.883     |
| 变异系数/% coefficient of variation | 29.6                  | 37.4       | 29.7      | 27.4                                           | 175.1     | 49.3       |

## 2.2 土壤肥力质量等级评定

### 2.2.1 单项肥力质量指标的隶属度和权重

根据土壤肥力质量评价方法中的隶属度函数公式, 计算各项肥力质量指标的隶属度  $N_i$ (表 7) 和单项肥力质量指标间的相关系数(表 8), 其中 OM、TN、TP 间, AN 与 TN、TP 呈极显著正相关 ( $P<0.01$ ), CEC 和 OM、TP, OM 和 AN 均呈显著正相关 ( $P<0.05$ ), 表明土壤养分间关系密切, 要注意平衡施氮肥和磷肥。

茶园土壤各项指标的权重系数差异较大(表 9), 其中 OM、TN、TP、CEC 的权重系数相

差不大, 均大于等于 0.14; TK 和 AK 的权重系数较小, 分别为 0.051 和 0.057。表明土壤肥力提升主要依靠增施氮肥和磷肥, 茶树对钾肥需求较小。

### 2.2.2 土壤肥力质量综合评价等级

茶园土壤 IFI 平均值为 0.769, 变幅为 0.642~0.877, IFI 由大到小依次为: 者竜乡 (0.877)>戛洒镇 (0.851)>漠沙镇 (0.807)>平掌乡 (0.799)>水塘镇 (0.796)>建兴乡 (0.734)>平甸乡 (0.647)>新化乡 (0.642), 除平甸乡和新化乡 IFI 为Ⅱ级, 处于中上水平外, 其余 6 个乡镇均为 I 级, 属高等水

平, 占 75%, 土壤肥力质量较好。

将土壤肥力综合指数与各养分因子线性分析发现, 各因子间存在一定的相关性(图 1), Pearson 相关性分析表明: IFI 与 OM、TN、TP、CEC 呈极显著相关 ( $P<0.01$ ), 与 AK、AP 呈显著相关 ( $P<0.05$ )。为进一步了解养分因子与 IFI 之间的载荷情况, 进行主成分分析, 结果(表 10)表明: 前 3 个主成分的特征值大于 1, 累计方差贡献为 76.09%。IFI 与 TN、TP、CEC 在第一主成分(PC<sub>1</sub>)上具有较大载荷, 均大于 0.75; PC<sub>2</sub> 上 AK 和 IFI 具有较高的载荷, 分别为 0.902 与 0.396; PC<sub>3</sub> 上 AP、TK 与 IFI 具有较高的载荷, 分别为 0.937、

0.364、0.343。表明新平县茶园土壤中 TP、TN、OM、CEC、AK、AP 含量对土壤肥力的影响较大。

3 讨论

种植茶树将加速土壤的酸化, 并且随着植茶年限的增加, 土壤酸化程度日益严重<sup>[25]</sup>。茶树喜酸性土壤, 适宜生长的土壤 pH 值为 4.50~6.00<sup>[4]</sup>, 过酸将影响茶叶的产量和品质<sup>[26]</sup>。本研究, 新平县茶园土壤 pH 值介于 4.75~5.34 间, 与云南省古茶园和优质高产茶园土壤 pH 值相似。茶叶的产量和品质与土壤养分有密切联系, 肥沃的土壤是茶园优质高产的基本保证<sup>[27]</sup>。土壤有机质是土

表 7 新平茶园土壤肥力质量指标的隶属度  
Tab. 7 Membership of soil fertility quality index of Xinping tea plantations

| 乡镇<br>town         | 隶属度 membership |    |      |       |       |    |       |       |       |
|--------------------|----------------|----|------|-------|-------|----|-------|-------|-------|
|                    | pH             | OM | TN   | TP    | TK    | AN | AP    | AK    | CEC   |
| 戛洒镇 Gasa Town      | 1              | 1  | 1    | 0.7   | 0.298 | 1  | 1     | 0.946 | 0.528 |
| 建兴乡 Jianxing Town  | 1              | 1  | 1    | 0.565 | 0.477 | 1  | 0.247 | 0.609 | 0.372 |
| 漠沙镇 Mosha Town     | 1              | 1  | 1    | 0.895 | 0.325 | 1  | 0.1   | 1     | 0.534 |
| 平甸乡 Pingdian Town  | 1              | 1  | 0.64 | 0.13  | 0.793 | 1  | 0.1   | 1     | 0.403 |
| 新化乡 Xinhua Town    | 1              | 1  | 1    | 0.16  | 0.127 | 1  | 0.1   | 0.76  | 0.296 |
| 水塘镇 Shuitang Town  | 1              | 1  | 1    | 0.7   | 0.91  | 1  | 0.225 | 1     | 0.373 |
| 者竜乡 Zhelong Town   | 1              | 1  | 1    | 0.73  | 0.64  | 1  | 0.976 | 0.991 | 0.551 |
| 平掌乡 Pingzhang Town | 1              | 1  | 1    | 0.85  | 0.451 | 1  | 0.262 | 0.608 | 0.541 |

表 8 土壤肥力质量指标间的相关性  
Tab. 8 Correlation coefficient matrix between soil fertility quality indicators

| 指标 index | pH     | OM      | TN      | TP      | TK     | AN     | AP     | AK     | CEC |
|----------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|-----|
| pH       | 1      |         |         |         |        |        |        |        |     |
| OM       | -0.210 | 1       |         |         |        |        |        |        |     |
| TN       | -0.230 | 0.944** | 1       |         |        |        |        |        |     |
| TP       | -0.281 | 0.899** | 0.899** | 1       |        |        |        |        |     |
| TK       | -0.154 | -0.212  | -0.144  | 0.000   | 1      |        |        |        |     |
| AN       | -0.153 | 0.824*  | 0.940** | 0.899** | -0.115 | 1      |        |        |     |
| AP       | -0.447 | 0.466   | 0.311   | 0.315   | -0.161 | 0.192  | 1      |        |     |
| AK       | 0.465  | -0.006  | -0.122  | 0.116   | 0.601  | -0.095 | -0.095 | 1      |     |
| CEC      | -0.645 | 0.749*  | 0.637   | 0.750*  | -0.079 | 0.497  | 0.505  | -0.127 | 1   |

注: “\*\*”表示在  $P<0.01$  水平极显著相关, “\*”表示在  $P<0.05$  水平显著相关。  
Note: “\*\*” indicates a significant correlation with  $P<0.01$  level and “\*” indicates a significant correlation at  $P<0.05$  level.

表 9 各肥力质量指标的相关系数平均值和权重系数  
Tab. 9 Correlation mean and weight coefficient of each fertility quality index

| 指标 index                 | pH    | OM    | TN    | TP    | TK    | AN    | AP    | AK    | CEC   |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 相关系数平均值 correlation mean | 0.323 | 0.539 | 0.528 | 0.52  | 0.183 | 0.464 | 0.312 | 0.203 | 0.499 |
| 权重系数 weight coefficient  | 0.09  | 0.151 | 0.148 | 0.146 | 0.051 | 0.13  | 0.087 | 0.057 | 0.14  |

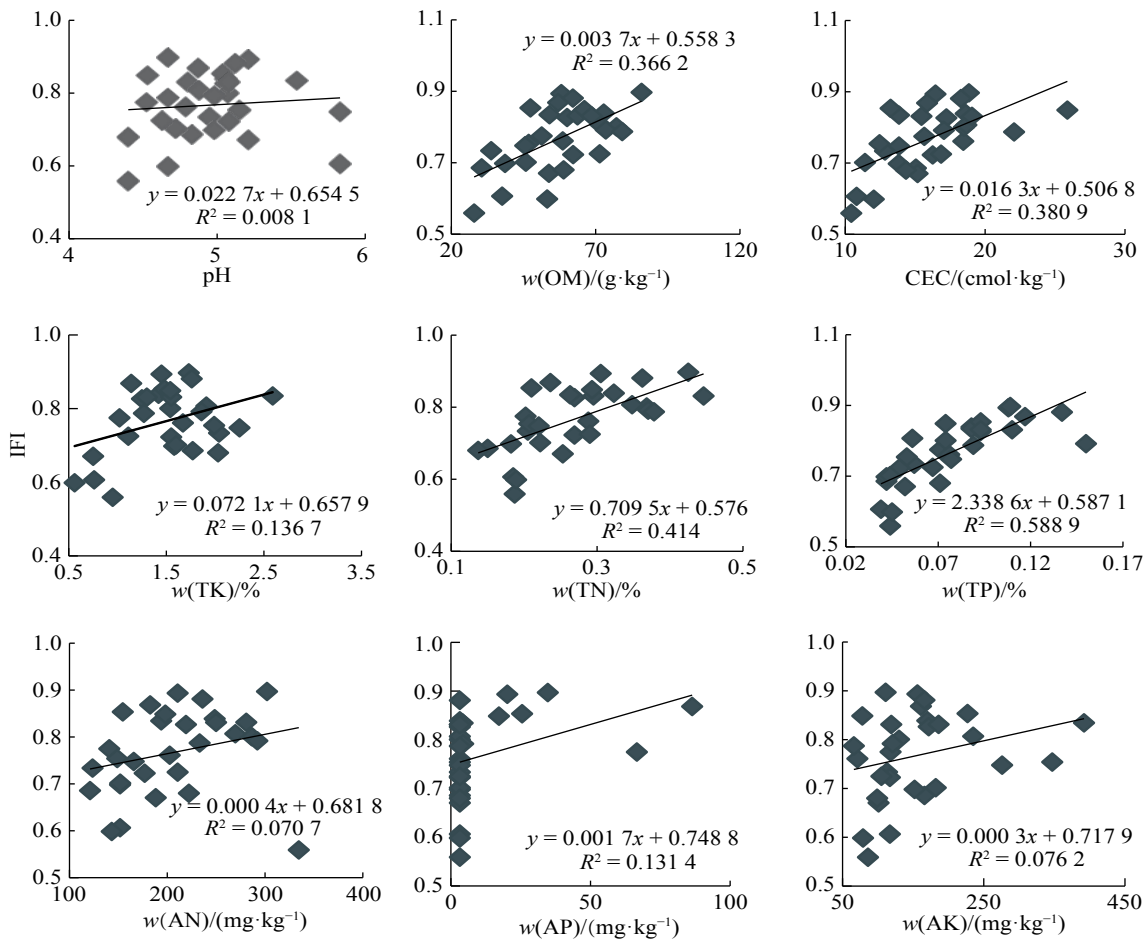


图 1 土壤肥力综合指标 (IFI) 与各养分指标的线性关系

Fig. 1 The linear relationship between the soil fertility index (IFI) and nutrient indexes

表 10 土壤养分元素因子载荷

Tab. 10 Factor matrix of nutrient elements of soil

| 主成分<br>principal component | OM    | AN    | AP    | AK    | TN    | TP   | TK    | CEC   | IFI  | 方差贡献率/%<br>variance contribution rate | 累计方差贡献/%<br>cumulative variance contribution |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|---------------------------------------|----------------------------------------------|
| PC <sub>1</sub>            | 0.09  | 0.66  | 0.17  | -0.11 | 0.91  | 0.80 | 0.59  | 0.81  | 0.81 | 40.8                                  | 40.8                                         |
| PC <sub>2</sub>            | -0.12 | -0.21 | -0.12 | 0.90  | -0.01 | 0.22 | -0.37 | -0.18 | 0.40 | 22.0                                  | 62.8                                         |
| PC <sub>3</sub>            | -0.13 | -0.40 | 0.94  | 0.05  | -0.23 | 0.24 | 0.36  | -0.02 | 0.34 | 13.3                                  | 76.1                                         |

壤微生物和茶树多种营养的物质基础,是茶园土壤熟化度和肥力水平的重要指标之一。有机质能增强土壤保水保肥能力,对酸碱有较强的缓冲能力,可以促进根系对矿质营养的吸收<sup>[28-29]</sup>。本研究表明:茶园土壤有机质均值为 57.1g/kg,属于 I 级,主要是由于新平县茶园山区丘陵地带,光照和水热条件较好,“山-林-茶”的立体种植模式使植物凋落物易被微生物分解及时归还土壤,加之矿化作用比较弱,有利于有机质的积累<sup>[30]</sup>。土壤矿质养分氮、磷、钾含量是茶树生长必要营养元素,其含量及比例直接影响茶叶生长、产量和

品质的高低<sup>[23]</sup>。本研究中,土壤 TN、TK、TP、AN、AP、AK 的平均值属 I 级(丰富水平),AN:AP:AK=1:0.05:0.75,土壤 AP 含量严重短缺。本研究与许燕等<sup>[2]</sup>对云南景洪市茶园土壤养分状况的研究结果相一致,所有茶园土壤的氮素水平优良,大多数茶园土壤有效磷含量较为缺乏。土壤磷含量是限制植物生长的主导因子之一<sup>[31]</sup>,AP 含量作为反映土壤供磷性状的重要指标,直接影响到茶树对土壤磷素的吸收利用<sup>[32]</sup>。新平县茶园土壤有效磷总体偏低且差异较大,根据“最小养分律”,茶农应注意增施磷肥或解磷菌肥。此

外,茶树作为菌根依赖性 (mycorrhizal dependence, MD) 较强的植物,需重视根际磷素营养的机理及调控技术,如混种具有解磷能力的丛枝菌根真菌经济作物改善土壤磷营养<sup>[33]</sup>。本研究中,土壤 TN、TK、AN 变异系数均低于 30%,属于中等变异,表明新平县 8 个乡镇茶园土壤 3 个因子分布相对均匀,TP、AP 和 AK 的变异系数则高于 30%,尤其是 AP 含量的变异高达 175.1%,与马家斌等<sup>[34]</sup>对新平县耕地和烟区土壤养分状况及评价的结果一致。磷和钾空间分布极不平衡,主要是由于不同茶园的土壤养分管理方式不同,施肥量、施肥时间等不同造成的<sup>[35]</sup>。

本研究中,茶园土壤 IFI 变幅为 0.642~0.877,平均值为 0.769,为 I 级,茶园土壤肥力质量较好。8 个乡镇中,者竜乡茶园土壤肥力最高,仅平甸乡和新化乡属 II 级,处于中上水平,这可能是由于平甸乡和新化乡茶园面积小、管理粗放,也可能与茶园山地土体厚薄度和养分管理有关。本研究发现:茶园土壤中 OM、TN、TP 之间呈极显著相关 ( $P<0.01$ ),与田孟华等<sup>[36]</sup>的研究结果基本一致。CEC 和 OM、TP, OM 和 AN 均呈显著相关 ( $P<0.05$ )。AN 与 TN、TP 呈极显著正相关性 ( $P<0.01$ ),说明 AN、TN、TP 具有同源性,与刘少春等<sup>[37]</sup>研究一致。TP、TN、CEC、OM、AK、AP 含量对土壤肥力的影响较大,土壤耕作管理中应加强这些养分因子的供应能力和协调性<sup>[38]</sup>。

#### 4 结论

(1) 新平县茶园土壤 pH 范围在 4.75~5.34 之间,适宜茶树生长,达到了优质高产茶园的要求,OM、TN、TP、TK、AN、AK 的含量丰富,基本达到了 I 级指标,AP 和 CEC 含量稍低。

(2) TN 与 TP 含量呈极显著正相关,OM、TN、TP 和 CEC 的权重系数较大,分别为 15.1%、14.8%、14.6% 和 14.0%。

(3) IFI 平均值为 0.769,土壤肥力等级为 I 级,各乡镇 IFI 依次为者竜乡>戛洒镇>漠沙镇>平掌乡>水塘镇>建兴乡>平甸乡>新化乡,其中平甸乡和新化乡属 II 级,处于中上水平。

(4) 土壤 TP、TN、OM、CEC、AK、AP 含量对土壤肥力的贡献较大,茶园有机质、土壤全氮含量整体水平较高,管理应根据各乡镇土壤肥力

状况,合理施用氮、磷、钾肥,部分乡镇注意增施磷肥。

#### [参考文献]

- [1] KARAK T, BHANAT R M. Trace elements in tea leaves, made tea and tea infusion: a review[J]. Food Research International, 2010, 43(9): 2234. DOI: 10.1016/j.foodres.2010.08.010.
- [2] 许燕,孙云南,玉香甩,等. 云南省景洪市茶园土壤肥力诊断与评价[J]. 山西农业科学, 2016, 44(11): 1659. DOI: 10.3969/j.issn.1002-2481.2016.10.20.
- [3] 周伟,王文杰,张波,等. 长春市森林绿地土壤肥力评价[J]. 生态学报, 2017, 37(4): 1211. DOI: 10.5846/stxb201604180723.
- [4] 杨广容,王秀青,谢瑾,等. 云南古茶园和现代茶园土壤养分与茶叶品质成分关系的研究[J]. 茶叶科学, 2015, 35(6): 574. DOI: 10.3969/j.issn.1000-369X.2015.06.009.
- [5] 任艳芳,何俊瑜,张艳超,等. 贵州省开阳茶园土壤养分状况与肥力质量评价[J]. 土壤, 2016, 48(4): 668. DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2016.04.007.
- [6] 崔超岗,周冀衡,李强,等. 陆良县植烟土壤类型与土壤肥力的灰色关联度分析[J]. 西南农业学报, 2016, 29(5): 1172. DOI: 10.16213/j.cnki.scjas.2016.05.032.
- [7] 杨奇勇,杨劲松,姚荣江,等. 基于 GIS 和改进灰色关联模型的土壤肥力评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 100. DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.04.016.
- [8] 赵方华,姜波,陈华. 基于层次和模糊聚类分析法的土壤肥力评价[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(9): 2214. DOI: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2016.09.012.
- [9] 刘洪华,龚加利,李发平,等. 因子分析和聚类分析法在施甸土壤肥力评价中的应用[J]. 安徽农学通报, 2014, 20(5): 13. DOI: 10.16377/j.cnki.issn1007-7731.2014.05.008.
- [10] SUN B, ZHOU S L, ZHAO Q G. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China[J]. Geoderma, 2003, 115(1): 85. DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00078-8.
- [11] 陶睿,王子芳,高明,等. 重庆市丰都县紫色土养分空间变异及土壤肥力评价[J]. 土壤, 2017, 49(1): 155. DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2017.01.023.
- [12] 张亚鸽,史彦江,吴正保,等. 基于主成分分析的枣园土壤肥力综合评价[J]. 西南农业学报, 2016, 29(5): 1156. DOI: 10.16213/j.cnki.scjas.2016.05.029.
- [13] YEMEFACK M, JETTEN V G, ROSSITER D G. Developing a minimum data set for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 86(1): 84. DOI: 10.1016/j.still.2005.02.017.
- [14] 李小庆. 西藏山南地区耕地肥力等级评价[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(12): 54. DOI: 10.3969/j.issn.1007-7731.2017.12.026.
- [15] ZHANG G W, LIU R X, YANG C Q, et al. Application of fuzzy comprehensive evaluation method based on entropy weight theory in evaluation of salt tolerance of cotton[J]. Agricultural Science and Technology, 2014, 15(9):

- 1441.
- [16] WANG J H, LU X G, JIANG M, et al. Fuzzy synthetic evaluation of wetland soil quality degradation: a case study on the Sanjiang Plain, Northeast China[J]. *Pedosphere*, 2009, 19(6): 756. DOI: [10.1016/S1002-0160\(09\)60171-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(09)60171-5).
- [17] 李忠意,程永毅,宋伟,等.重庆紫色土养分的模糊综合评判[J].*中国农学通报*,2011,27(23):238.
- [18] 罗浩.新平县芒果产业发展现状及对策[J].*林业调查规划*,2016,41(S):101. DOI: [10.3969/j.issn.1671-3168.2016.增刊.035](https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-3168.2016.增刊.035).
- [19] NY/T 395—2012.农田土壤环境监测技术规范[S].
- [20] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [21] NY/T 853—2004.茶叶产地环境技术条件[S].
- [22] 余悦虎,陶建明,陈福明,等.茶叶基地土壤环境与肥力质量评价研究[J].*农业与技术*,2014,34(2):6. DOI: [10.3969/j.issn.1671-962X.2014.02.004](https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-962X.2014.02.004).
- [23] 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. DOI: [10.13331/j.cnki.jhau.2008.05.004](https://doi.org/10.13331/j.cnki.jhau.2008.05.004).
- [24] 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. DOI: [10.19386/j.cnki.jxnyxb.2011.03.023](https://doi.org/10.19386/j.cnki.jxnyxb.2011.03.023).
- [25] WANG H, XU R K, WANG N, et al. Soil acidification of alfisols as influenced by tea plantation in eastern China[J]. *Pedosphere*, 2010, 20(6): 799. DOI: [10.1016/S1002-0160\(10\)60070-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(10)60070-7).
- [26] FUNG K F, WONG M H. Effects of soil pH on the uptake of Al, F and other elements by tea plants[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2002, 82(1): 146. DOI: [10.1002/jsfa.1007](https://doi.org/10.1002/jsfa.1007).
- [27] 万青,胡飞,胡振民,等.江苏省典型白化茶园土壤肥力现状分析[J].*江苏农业科学*,2017,45(24):272. DOI: [10.15889/j.issn.1002-1302.2017.24.072](https://doi.org/10.15889/j.issn.1002-1302.2017.24.072).
- [28] 张小琴,陈娟,高秀兵,等.贵州重点茶区茶园土壤pH值和主要养分分析[J].*西南农业学报*,2015,28(1):286. DOI: [10.16213/j.cnki.scjas.2015.01.054](https://doi.org/10.16213/j.cnki.scjas.2015.01.054).
- [29] 李友勇,梁名志,夏丽飞,等.云南台地茶园土壤化学成分研究[J].*中国农学通报*,2011,27(2):171.
- [30] 王钰莹,孙娇,刘政鸿,等.陕南秦巴山区厚朴群落土壤肥力评价[J].*生态学报*,2016,36(16):5133. DOI: [10.5846/stxb201502020266](https://doi.org/10.5846/stxb201502020266).
- [31] HINSINGER P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review[J]. *Plant and Soil*, 2001, 237(2): 173. DOI: [10.1023/A:1013351617532](https://doi.org/10.1023/A:1013351617532).
- [32] 黄晶,张杨珠,徐明岗,等.长期施肥下红壤性水稻土有效磷的演变特征及对磷平衡的响应[J].*中国农业科学*,2016,49(6):1132. DOI: [10.3864/j.issn.0578-1752.2016.06.009](https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2016.06.009).
- [33] 高秀兵,陈娟,郭灿,等.茶树丛枝菌根真菌的研究进展[J].*贵州农业科学*,2011,39(9):122. DOI: [10.3969/j.issn.1001-3601.2011.09.032](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-3601.2011.09.032).
- [34] 马家斌,李华珍,缪一飞,等.新平县耕地土壤养分状况与评价[J].*西南农业学报*,2013,26(6):2397. DOI: [10.16213/j.cnki.scjas.2013.06.016](https://doi.org/10.16213/j.cnki.scjas.2013.06.016).
- [35] 孙义祥,吴传洲,朱克保,等.插值方法与样点数对县域土壤有效磷空间变异特征评价的影响[J].*应用生态学报*,2009,20(3):673. DOI: [10.13287/j.1001-9332.2009.0090](https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.2009.0090).
- [36] 田孟华,王家金,张公信,等.云南昭通天麻不同产区土壤肥力特征与评价[J].*西南农业学报*,2016,29(11):2653. DOI: [10.16213/j.cnki.scjas.2016.11.026](https://doi.org/10.16213/j.cnki.scjas.2016.11.026).
- [37] 刘少春,张跃彬,郭家文,等.基于养分丰缺分级的蔗田土壤肥力主成分综合分析[J].*西南农业学报*,2016,29(3):611. DOI: [10.16213/j.cnki.scjas.2016.03.028](https://doi.org/10.16213/j.cnki.scjas.2016.03.028).
- [38] 陈轩敬,赵亚南,柴冠群,等.长期不同施肥下紫色土综合肥力演变及作物产量响应[J].*农业工程学报*,2016,32(1):139. DOI: [10.11975/j.issn.1002-6819.2016.z1.020](https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2016.z1.020).

责任编辑:何馨成