

王艳飞, 潘丽敏, 郭淇峰, 等. 安溪县茶园土壤肥力评价 [J]. 福建农业学报, 2023, 38 (10): 1249–1258.

WANG Y F, PAN L M, GUO Q F, et al. Fertility of Tea Plantation Soil in Anxi [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2023, 38 (10): 1249–1258.

安溪县茶园土壤肥力评价

王艳飞¹, 潘丽敏¹, 郭淇峰¹, 朱悦蕊², 林慧凌², 高峰^{3*}, 高水练^{1,2*}

(1. 福建农林大学安溪茶学院, 福建 泉州 362400; 2. 福建农林大学园艺学院, 福建 福州 350002; 3. 福建省种植业技术推广总站, 福建 福州 350003)

摘要:【目的】探究福建省安溪县茶园土壤养分及其分布情况。【方法】在安溪县22个主要产茶乡镇随机采集茶园土壤样品243个, 通过测量土壤的pH值、有机质含量、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷和速效钾, 并利用Fuzzy综合评估法计算出茶园土壤肥力综合指数(IFI), 以此来评估土壤肥力质量等级。【结果】①安溪县各乡镇茶园土壤pH值为3.79~4.97, 均值为4.36, 变异系数为11.51%, 乡镇间茶园土壤pH差异显著($P<0.05$)。②只有一个乡镇茶园土壤有机质含量不符合I级土壤指标($>20.00\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。③茶园碱解氮、有效磷、速效钾含量分别为 $109.70\sim184.70\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $5.34\sim257.21\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $78.18\sim272.20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 土壤碱解氮含量均为I级, 有20个乡镇茶园土壤有效磷和速效钾均为I级, 其余各有2个为II级。④全氮磷钾含量分别为 $0.38\sim2.05\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.14\sim1.76\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $4.83\sim24.06\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 其中有4个乡镇茶园土壤全氮含量不符合I级标准, 为II级和III级各2个; 有5个乡镇茶园土壤全钾含量不符合I级标准, 为II级4个、III级1个; 而全磷只有1个乡镇符合I级标准, II级和III级分别占68.18%、27.27%, 乡镇间差异较大; ⑤茶园IFI肥力等级中I级、II级、III级、IV级分别占81.82%、4.55%、9.09%、4.55%。【结论】安溪县茶园土壤酸化严重, 有机质和速效养分总体较丰富, 全量养分较缺乏, 尤其是全磷含量普遍不足; 总体肥力等级较好, 但是养分结构不均衡、空间分布不均匀。因此, 建议: (1) 通过增施有机肥等手段改良茶园土壤酸化; (2) 适当增施含氮磷钾全量养分的矿物质, 以增加全量养分储备; (3) 推广测土配方技术, 促进精准施肥和减肥增效。

关键词:安溪县; 茶园; 土壤肥力; 评价

中图分类号: S158.2

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2023) 10-1249-10

Fertility of Tea Plantation Soil in Anxi

WANG Yanfei¹, PAN Limin¹, GUO Qifeng¹, ZHU Yuerui², LIN Huiling², GAO Feng^{3*}, GAO Shuilian^{1,2*}

(1. Anxi College of Tea Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Quanzhou, Fujian 362406, China; 2. College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; 3. Planting Technology Promotion Center of Fujian Province, Fuzhou, Fujian 350003, China)

Abstract:【Objective】Degree and distribution of tea plantations soil fertility in Anxi County, Fujian were determined and statistically analyzed.【Method】Soil specimens were collected from plantations in 22 major tea-producing towns in Anxi. pH, organic matter, total NPK, alkaline N, available P, and available K of the soils were measured. Fertility IFI for each sampling site was calculated by the fuzzy comprehensive evaluation method.【Result】From the randomly sampled 243 specimens, the following results were obtained. (1) pH of the plantation soils ranged 3.79–4.97 averaging 4.36 with a coefficient of variation of 11.51%. There were significant differentiations among the towns ($P<0.05$). (2) On the content of organic matter, only one town did not meet the Grade I standard of being higher than $20.00\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. (3) Alkaline N, available P, and available K in the soils ranged $109.70\sim184.70\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $5.34\sim257.21\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, and $78.18\sim272.20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively.

收稿日期: 2023-04-26 修回日期: 2023-10-03

作者简介: 王艳飞(1997—), 男, 硕士研究生, 主要从事农业管理、茶树营养与生理生态研究, E-mail: wyf1471197454@163.com

*通信作者: 高峰(1966—), 男, 硕士, 推广研究员, 主要从事农作物种植业技术推广研究, E-mail: fgao66@126.com; 高水练(1979—), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事茶树营养与生理生态研究, E-mail: gaoshuilian@126.com

基金项目: 安溪县茶园土壤配方施肥与生态改良项目(KH210209A); 农业农村部资助项目(KMD 18003A); 教育部产学合作协同育人项目(202102389030); 泉州市专家工作站项目(安溪三洋梅山岩); 福建农林大学科技创新专项(KFb22109XA)。

Hence, the alkaline N in all specimens reached the Grade I level, but the available P and K left two localities fall into Grade II. (4) The total N, P, and K at all sites were $0.38\text{--}2.05\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, $0.14\text{--}1.76\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, and $4.83\text{--}24.06\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. On account of total N, two towns were rated Grade II and two Grade III; on total K, 4 were Grade II and one Grade III; and on P, only one qualified for Grade I and 68.18% of the towns rated Grade II and 27.27% Grade III. Significant differences were evident among the towns and villages. And (5) on account of IFI, 81.82% of the sites belonged to Grade I, 4.55% Grade II, 9.09% Grade III, and 4.55% Grade IV. 【Conclusion】 Soil acidification was severe at the tea plantations in the county. The soil was generally rich in organic matter and available nutrients, but deficient in total nutrients, especially P. The IFI at the plantations was generally of acceptable grades, however, the structure and spatial distribution of soil fertility were not well balanced. To overcome such shortcomings, it was recommended the following measures be implemented for the region: (1) using green manure to enrich organic matter content mitigating soil acidification, (2) increasing NPK application to enhance total nutrient reserve, and (3) formulating precise and efficient fertilization with routine soil testing to foster technical advancements.

Key words: Anxi County; tea plantation; soil fertility; evaluation

0 引言

【研究意义】茶树 [*Camellia sinensis* (L.) O.Kuntze] 作为我国南方的重要经济作物之一, 喜温喜湿, 最适宜生长 pH 为 4.5~5.5。茶叶产量高低和品质优劣受茶树生长环境的影响, 茶园土壤作为茶树赖以生存和发展的环境基础, 土壤养分的丰缺和肥力水平的高低将直接影响茶树的生长^[1-2]。了解茶园土壤肥力水平和养分缺失分布状况, 可以为改良茶园土壤和测土配方施肥提供科学依据, 有利于改良茶园土壤肥力状况, 改善茶树种植技术, 对提升茶叶产量和品质、增加茶园收益具有重要意义。【前人研究进展】姜彬等^[3]通过对黄河中游渭北卤泊滩地区的盐碱地进行土壤肥力评价, 提出使用有机肥以及因地制宜采用暗管排盐技术; 李政昊等^[4]通过对铁岭植烟区土壤进行肥力评价, 提出要因地制宜地采取深松与旋耕联合作业加厚耕层并增施有机肥、微量元素肥料来均衡养分; 李文昭等^[5]通过采用 Fuzzy 综合评价法对贵州遵义茶园进行等级评价; 温继良等^[6]通过数值化综合评价, 新平县 8 个茶园土壤肥力水平达到 I 级标准, 但仍有部分含量低于标准, 因此需要进一步加强土壤肥力管理, 以保证茶园的可持续发展。并提出相应的施肥措施。【本研究切入点】安溪县作为“中国乌龙茶之乡”, 茶叶产量连续多年位居我国重点产茶县第一位, 茶产业是安溪县重要的经济支柱产业^[7]。前人调查发现, 在安溪县的茶园里, 37.67% 的土壤酸化严重, 仅有 10.03% 的土壤能够满足茶树的生长需求。此外, 随着茶树的生长, 这些土壤的酸化程度会越来越严重, 从而导致茶叶的产量和品质下降^[8]。但关于安溪茶园土壤肥力及分布情况研究较少, 养分结构和肥力等级尚不明确。【拟解决的关键问题】选择 pH、有机质、速效钾、有效磷、碱解氮、全氮、全磷、

全钾 8 个养分指标, 并采用 Fuzzy 综合评判法, 对安溪县 22 个主要产茶乡镇的茶园土壤肥力进行评估, 得出其肥力评价指数值 (IFI), 并对茶园土壤肥力等级进行评价, 明确安溪县茶园土壤养分结构及空间分布规律, 并因地制宜提出施肥建议措施, 为精准改良安溪县茶园土壤养分缺失状况提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

安溪县 (25.05627 N, 118.18719 E) 位于福建省泉州市东南部, 总面积 3057.28 km^2 , 属戴云山脉的延伸部分, 地势从西北向东南倾斜, 境内山峦起伏, 景色宜人, 气候宜人, 地形地势复杂, 多山地丘陵。安溪县属亚热带季风气候区, 年均气温 $16\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 年降雨量 1700 mm 左右, 无霜期约 260 d。生态环境优越, 气候温度适宜, 雨水充沛, 十分适合茶树生长^[9]。

1.2 样品采集与指标测定

于 2021 年 11 月在安溪县 22 个主要产茶乡镇茶园进行随机取样, 合计 243 个, 土壤以红壤、黄壤、红黄壤为主。茶树以铁观音、本山、黄金桂、毛蟹为主, 种植年限为 5~20 年。于取样区采用“S”形 5 点取样法采集 0~30 cm 土壤, 混合均匀, 剔除碎石、动植物残体后自然风干, 过 10 目筛混匀备用。

根据鲍士旦《土壤农化分析》(第 3 版)的方法^[10]: 使用水浸提—电位法测定土壤 pH; 重铬酸钾氧化—外加热法测定有机质 (OM); 碱解扩散法测定碱解氮 (AN); 氟化铵—盐酸溶液浸提法测定速效磷 (AP); 醋酸铵—火焰光度计法测定速效钾 (AK); 自动定氮仪法 (NY/T 1121.24—2012) 测定土壤全氮 (TN); 碱熔—钼锑抗分光光度法 (HJ 632-2011) 测定土壤全磷 (TP); NaOH 熔融—火焰光度法测定土壤全钾 (TK)。

1.3 土壤肥力质量等级评定标准

依据国家有关绿色食品产地质量标准 (NY/T 391—2000)、国家茶叶产地环境技术条件 (NY/T 853—

2004) 中的优质茶园的土壤营养诊断指标^[11-12], 提出茶园土壤养分含量分级标准(表1)。

表1 茶园土壤养分分级标准
Table 1 Standards for classifying nutrient contents in tea plantation soil

指标 Indicators	I 级 Grade I	II 级 Grade II	III 级 Grade III	优质茶园标准 High quality tea plantation standard
pH	4.5~5.5	4.0~4.5或5.5~6.5	>6.5或<4.0	4.5~5.5
有机质 Organic matter/ (g·kg ⁻¹)	>20.00	15.00~20.00	<15.00	≥20.00
全氮 Total nitrogen/ (g·kg ⁻¹)	>1.00	0.80~1.00	<0.80	≥1.50
全磷 Total phosphorus/ (g·kg ⁻¹)	>1.00	0.40~1.00	<0.40	≥1.00
全钾 Total potassium/ (g·kg ⁻¹)	>10.00	5.00~10.00	<5.00	≥10.00
碱解氮 Alkaline nitrogen/ (mg·kg ⁻¹)	>100.00	80.00~100.00	<80.00	≥100.00
有效磷 Available phosphorus/ (mg·kg ⁻¹)	>20.00	5.00~20.00	<5.00	≥20.00
速效钾 Available potassium/ (mg·kg ⁻¹)	>100.00	60.00~100.00	<60.00	≥100.00

土壤肥力综合指数值 (Integrated Fertility Index, IFI) 是一种衡量茶园土壤肥力的重要指标, 它反映了不同肥力指标的权重系数以及它们之间的隶属关系, 并且可以用来衡量土壤的肥力水平。IFI 的数值越大, 说明该地区的土壤肥力水平越好。通过结合前人研究^[13], 将土壤肥力综合指数值测算结果划分为 4 个等级 (表 2)。

表2 土壤肥力综合指数分级标准
Table 2 Standards of comprehensive fertility index on tea plantation soil

土壤肥力综合指标 IFI	IFI ≥ 0.7	0.6 ≤ IFI < 0.7	0.5 ≤ IFI < 0.6	IFI < 0.5
肥力等级 Soil fertility grade	I	II	III	IV
肥力水平 Fertility level	高 High	较高 Higher	中等 Medium	低 Low

1.4 土壤肥力综合质量评价方法

根据 Fuzzy 综合评判法, 可以将评估结果与各种养分指标之间的隶属度函数相联系, 将它们划分为

抛物线型和 S 型^[14]。在本研究中, 除了土壤 pH, 其他指标都属于 S 型。根据隶属度 (E_i) 的计算方法, 可以通过观察 x 来确定每个指标的隶属度函数曲线的拐点, 具体见表 3^[13,15]。

$$E_i = f(x) = \begin{cases} 0.1 & x \leq x_1 \text{ 或 } x \geq x_4 \\ \frac{0.9(x-x_1)}{x_2-x_1} + 0.1 & x_1 < x < x_2 \\ 1.0 & x_2 \leq x \leq x_3 \\ 1.0 - \frac{0.9(x-x^3)}{x^4-x^3} & x_3 < x < x_4 \end{cases} \quad (1)$$

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

变异系数 (V_i) 计算公式如下^[13], 其中 a_i 是指第 i 项指标的标准差, \bar{x}_i 是指第 i 项指标的平均数。

表3 各项养分指标隶属度函数曲线转折点取值表
Table 3 Threshold nutrient index on membership function curves

转折点取值 Turning point value	有机质 pH Organic matter/ (g·kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen/ (g·kg ⁻¹)	全磷 Total phosphorus/ (g·kg ⁻¹)	全钾 Total potassium/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮 Alkaline nitrogen/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available phosphorus/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium/ (mg·kg ⁻¹)
x_1	4.0	20	0.75	0.30	5.00	30.00	3.00
x_2	4.5	60	2.00	1.00	25.00	150.00	40.00
x_3	5.5	—	—	—	—	—	—
x_4	7.0	—	—	—	—	—	—

—表示无该取值

— Indicates that the value does not exist

$$V_i = \frac{\alpha_i}{x_i}$$

权重系数 (W_i) 计算公式如下^[13], 权重系数可以准确地反映各项土壤肥力评价指标在土壤肥力评价过程中所起的作用大小。

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

IFI 计算公式如下^[13], E_i 和 W_i 分别为单项肥力指标的隶属度值和权重系数。

$$IFI = \sum_{k=1}^n E_i * W_i$$

1.5 数据处理与方法

采用 Excel_2010 进行数据整理, 采用 SPSS_26.0 单因素分析 (one-way ANOVA) 进行数据分析, 使用 Duncan 法进行差异显著性分析 ($P < 0.05$), 采用 ArcMap_10.8.1 绘图。

2 结果与分析

2.1 安溪县茶园土壤肥力指标权重系数

土壤肥力指标的权重系数主要是通过变异系数法计算所得, 我们可以计算出各项土壤肥力评价指标的权重系数 (表 4)。

2.2 安溪县茶园土壤养分总体分布情况

2.2.1 茶园土壤 pH、有机质情况

试验结果表明 (图 1、表 5), 安溪县茶园土壤

pH 范围在 3.79~4.97, pH 平均值为 4.36, 变异系数为 11.51%, 表明各乡镇的茶园土壤 pH 变异呈现不显著, 各乡镇土壤 pH 之间呈显著差异水平 ($P < 0.05$), 其中 41% 茶园土壤 pH 低于安溪县茶园土壤 pH 平均值水平, 长卿镇 pH 最低为 3.79, pH 最高的是城厢镇为 4.97。此外, 27.27% 茶园土壤 pH 符合 I 级茶园标准和优质高产肥力标准, 59.09% 茶园土壤 pH 符合 II 级茶园土壤标准, 13.64% 茶园土壤符合 III 级茶园土壤标准, 说明安溪县大部分茶园土壤酸化问题很严重。

安溪县茶园土壤有机质变化范围为 7.35~72.35, 变异系数为 47.54%。各乡镇土壤 pH 之间呈显著差异水平 ($P < 0.05$), 其中, 金谷镇有机质含量最低, 有机质含量仅为 7.35 g·kg⁻¹, 茶园土壤符合 III 级茶园土壤有机质含量标准, 金谷镇近年来大力发展第二产业, 造成环境污染; 其余乡镇有机质含量较为丰富, 平均值为 50.96 g·kg⁻¹, 95.45% 茶园土壤有机质含量符合 I 级茶园有机质标准和优质高产茶园有机质标准, 说明安溪县大部分茶园有机质含量较为丰富。

2.2.2 茶园土壤氮素养分含量情况

试验结果表明 (图 2、表 5), 安溪县全氮的含量在 0.38~2.05 g·kg⁻¹, 平均值为 1.14 g·kg⁻¹, 各乡镇全氮含量变异系数为 71.4% ($P < 0.05$), 呈显著变异水平, 而碱解氮变异系数相对性较小, 为 52.14%, 变化范围在 109.70~184.70 mg·kg⁻¹, 碱解

表 4 各项土壤肥力指标权重系数取值表
Table 4 Weighted factors of soil fertility index

指标 Indicators	有机质 pH Organic Matter/ (g·kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen/ (g·kg ⁻¹)	全磷 Total phosphorus/ (g·kg ⁻¹)	全钾 Total potassium/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮 Alkaline nitrogen/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available phosphorus/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium/ (mg·kg ⁻¹)	
权重系数 Weighting factor/%	2.75	11.34	10.19	14.12	12.44	5.72	26.41	17.04

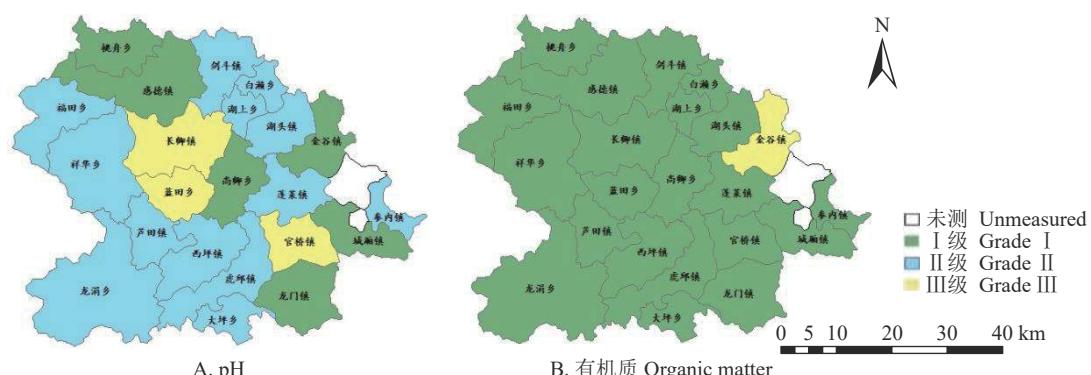


图 1 安溪县茶园土壤 pH、有机质分布

Fig. 1 Distribution of tea plantation soil pH and organic matter in Anxi County

表5 安溪县茶园土壤养分状况

Table 5 Soil fertility of tea plantations in Anxi County

乡镇 Town	pH	有机质 (g·kg ⁻¹)	全氮 (g·kg ⁻¹)	Total nitrogen/ (g·kg ⁻¹)	全磷 (g·kg ⁻¹)	Total phosphorus/ (g·kg ⁻¹)	全钾 (g·kg ⁻¹)	碱解氮 (mg·kg ⁻¹)	有效磷 (mg·kg ⁻¹)	有效钾 (mg·kg ⁻¹)	速效钾 (mg·kg ⁻¹)
蓬莱 Penglai	4.39±0.06g II	62.6±3.44d I	1.05±0.07f I	0.83±0.00d II	13.4±0h I	123.27±18.48f I	153.04±16.99b I	78.18±5.83j II			
祥华 Xianghua	4.34±0.35g II	62.68±21.46d I	1.35±0.42c I	0.43±0.32j II	15.21±9.6f I	145.63±32.47h I	31.56±34.76h I	102.54±54.77h I			
福田 Futian	4.26±0.11i II	61.47±28.23e I	1.12±0.17f I	0.89±0.42c II	11.08±3.96i I	126.72±16.29k I	20.22±24.87j I	90.64±57.92i II			
感德 Gande	4.54±0.47e I	52.56±25.38g I	1.07±0.45f I	0.55±0.26h II	15.27±6.92f I	123.9±22.99i I	83.25±72.5e I	101.68±58.07i I			
虎邱 Huqiu	4.88±0.6b I	55.2±20.7g I	1.14±0.25f I	0.81±0.28e II	15.43±5.41f I	142.49±29.12l I	111.42±64.06c I	238.66±86.28b I			
剑斗 Jandou	4.07±0.19j II	38.39±19.58m I	1.11±0.36f I	0.92±0.20c II	13.84±2.26g I	127.53±20.49k I	84.46±66.7e I	134.88±41.07g I			
桃舟 Taizhou	4.53±0.35e I	58.04±14.12g I	1.22±0.17e I	0.67±0.30f II	14.54±8.69f I	136.12±24.22j I	51.88±58.28h I	162.69±52.44f I			
金谷 Jingu	4.59±0.13d I	7.35±1.66g III	0.38±0.05h III	0.14±0.02o III	12.35±1.21h I	109.7±3.93m I	5.34±3.83k II	113.45±31.83h I			
湖上 Hushang	4.44±0.33f II	42.62±18.8j I	1.11±0.39f I	0.87±0.22c II	8.15±4.33k II	184.7±34.66a I	17.56±23.82j II	114.78±72.6h I			
官桥 Guanqiao	3.99±0.26k III	59.85±31.8f I	1.17±0.35e I	0.31±0.17l III	4.83±0.62am III	160.36±29.29e I	63.65±70.91f I	106.68±54.34h I			
蓝田 Lantian	3.92±0.21III	55.46±16.25g I	1.32±0.46c I	1.764±0.00a I	18.1±0e I	137.54±25.75j I	257.21±36.28a I	179.33±28.11e I			
大坪 Daping	4.01±0.44k II	72.35±29.57a I	1.58±0.3b I	0.38±11.33k III	24.06±3.71a I	137.93±22.48j I	46.37±49.44h I	104.98±39.91h I			
长卿 Changqing	3.79±0.17m III	65.06±18.86b I	1.19±0.27e I	0.89±0.25c II	10.08±7.1j I	170.3±70.71d I	73.66±38.6f I	189.85±106.37d I			
龙门 Longmen	4.73±0.44c I	40.42±27.23k I	1.3±0.59d I	0.52±0.14h II	20.45±7.15c I	133.94±25.19j I	87.71±108.6d I	160.16±13.66f I			
参内 Cannei	4.32±0.27h II	39.64±21.97l I	0.88±0.25g II	0.27±0.00m III	5.8±0II	141.09±21.4i I	24.03±25.18j I	119.83±17.06h I			
芦田 Lutian	4.35±0.76g II	44.31±23.47h I	1.09±0.51f I	0.89±0.15c II	20.28±13.06c I	157.5±46.55f I	59.75±73.52g I	239.98±171.94b I			
白濑 Bailai	4.27±0.3i II	28.06±16.41n I	0.98±0.33f I	0.46±0.16II	19.6±8.2d I	142.57±32.74i I	28.59±26.73i I	251.19±216.24b I			
龙涓 Longjuan	4.26±0.41i II	54.69±22.5g I	1.18±0.6e I	0.64±0.19g II	14.71±5.13f I	149.28±26.95g I	58.36±58.45g I	167.1±61.63f I			
城厢 Chengxiang	4.97±0.4a I	42.14±18.1j I	1.26±0.62d I	0.19±0.00m III	9.7±0II	164.05±30.2e I	31.38±26.62h I	173.38±100.28e I			
湖头 Hutou	4.35±0.47g II	43.56±19.61i I	1.2±0.27e I	0.49±0.11h II	9.84±1.18j II	175.87±22.8b I	58.81±50.09g I	272.2±201.37a I			
尚卿 Shangqing	4.62±0.17d I	64.67±18.65c I	2.05±0.96a I	1.42±0.00b II	22.8±0b I	174.02±20.31c I	36.71±36.68h I	229.8±114.37c I			
西坪 Xiping	4.27±0.36f II	40.85±20.06k I	0.81±0.4h III	0.23±0.06m III	11.35±1.31I	147.24±26.63g I	37.12±62.15h I	177.99±150.92e I			
平均值 Average	4.36	50.96	1.14	0.62	14.53	145.82	60.66	165.50			
变异系数(%)	11.51	47.54	71.4	110.68	23.96	52.14	42.72	59.16			
Coefficient of variation											

表中数据表示均值±标准差, 同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), I、II、III、IV为茶园土壤养分分级标准。Data are presented as mean ± standard deviation; those with different lowercase letters on same column indicate significant differences at $P<0.05$. I, II, III, and IV are grades on soil nutrients of tea plantations.

氮平均值为 $145.82 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，从茶园全氮含量分布情况来看，安溪县茶园全氮含量大于等于 $1.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的优质高产茶园占比 9.09%，白濑乡、参内镇、西坪镇、金谷镇全氮含量均低于 I 级茶园养分含量标准 ($1.00 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。说明安溪县茶园全氮含量分布不均，普遍偏低。而金谷镇茶园土壤氮素养分含量最

低，全氮含量仅为 $0.38 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，碱解氮含量为 $109.70 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，尚卿乡氮素含量在安溪县各个乡镇中相对较高，全氮含量为 $2.05 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，碱解氮含量为 $174.02 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，虎邱镇氮素含量则保持相对稳定。

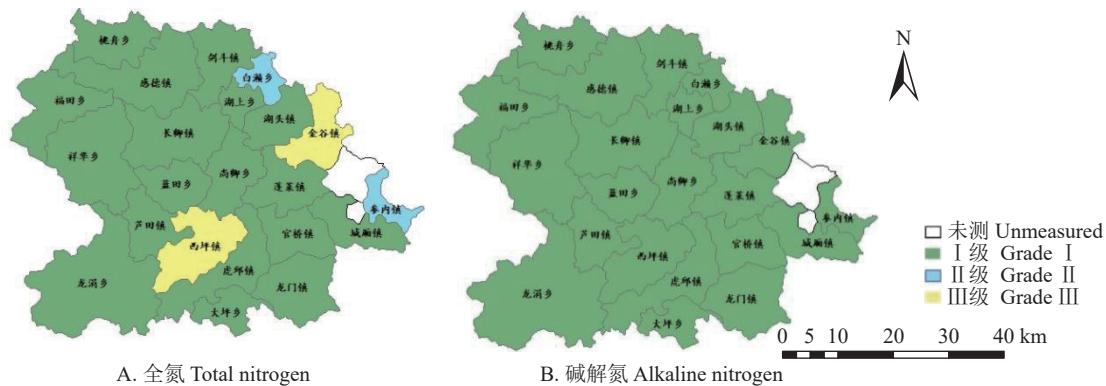


图 2 安溪县茶园土壤氮素含量分布

Fig. 2 Distribution of tea plantation soil nitrogen content in Anxi County

2.2.3 茶园土壤磷素养分含量情况

试验结果表明 (图 3、表 5)，安溪县全磷含量分布范围在 $0.14\sim1.76 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，全磷含量平均值为 $0.62 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，有效磷含量范围为 $5.34\sim257.21 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，变异系数为 42.72%，安溪县只有蓝田乡全磷含量达到优质茶园 (I 级茶园) 标准，安溪县有 68.18% 茶园全磷含量符合 II 级茶园标准 ($0.40\sim1.00 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)，

安溪县除湖上乡、金谷镇外，茶园土壤有效磷含量均大于 $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，可见安溪县磷素含量分布不均匀，金谷镇磷素含量最低，全磷含量仅为 $0.14 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，有效磷含量为 $5.34 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，而全县的全磷储备含量相对较为缺乏，有效磷等速效养分含量丰富，但分布不均匀。

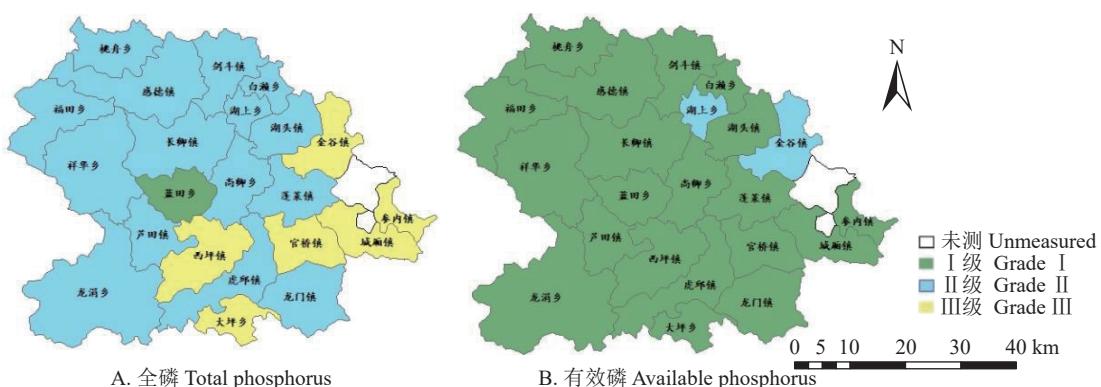


图 3 安溪县茶园土壤磷素含量分布

Fig. 3 Distribution of tea plantation soil P content in Anxi County

2.2.4 茶园土壤钾素养分含量情况

试验结果表明 (图 4、表 5)，安溪县全钾含量分布范围在 $4.83\sim24.06 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，全钾平均值为 $14.53 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，速效钾含量在 $78.18\sim272.20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，速效钾平均值为 $165.50 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，全县有 72.27% 茶园全钾含量达到高产优质茶园标准以及 I 级茶园肥力标准，18.18% 茶园均处于 II 级茶园标准，官桥镇茶园土壤

全钾含量则处于 III 级茶园水平，全钾含量仅为 $4.83 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。此外，蓬莱镇速效钾含量最低仅为 $78.18 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，福田乡速效钾含量也相对较低为 $90.64 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，全县除福田乡、蓬莱镇速效钾含量符合 II 级茶园标准外，其他茶园速效钾含量均处于高产优质茶园标准以及 I 级茶园肥力标准，说明安溪县土壤中钾素含量丰富，但地区分布不均匀。

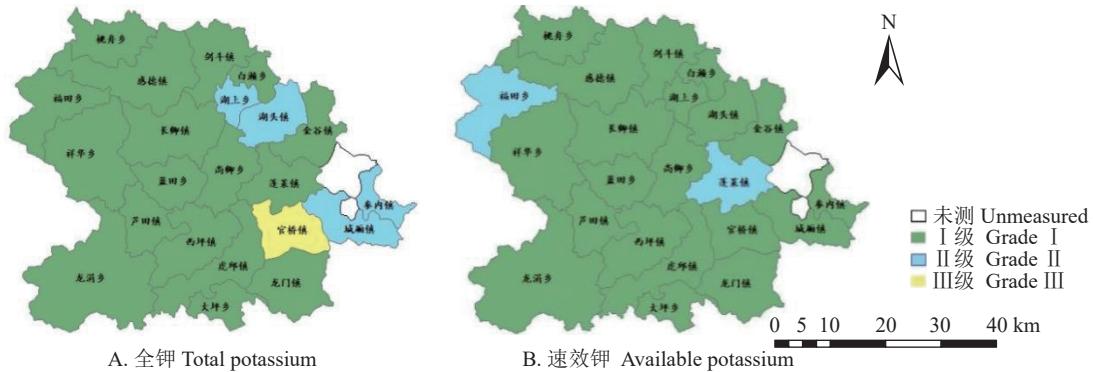


图 4 安溪县茶园土壤钾素含量分布

Fig. 4 Distribution of tea plantation soil K content in Anxi County

2.3 安溪县茶园土壤肥力等级评定

通过数据计算可知安溪县茶园土壤肥力指数情况(表6):安溪县茶园土壤肥力综合指数值在0.419~0.983,平均指数为0.760,等均等级为I级茶园土壤肥力标准,整体肥力处于高水平状态。其中,土壤肥力综合指数值最高的乡镇是尚卿镇,IFI指数值为0.983,最低的是金谷镇,IFI指数值为0.419,且土壤肥力等级为IV级,此外,处于III级土壤肥力标准的乡镇还有湖上乡、参内镇,福田乡IFI指数值为0.615,处于II级土壤肥力标准,其余乡镇均达到I级土壤肥力等级标准。可见,安溪县茶园土壤肥力质量虽然差异较大,但整体处于高水平。

3 讨论

3.1 安溪县茶园土壤酸化严重

安溪县茶园土壤pH大部分茶园均未达到高产优质茶园土壤标准,茶园土壤酸化严重且分布不均匀。茶树适宜在酸性土壤(pH值4.5~5.5)中生长,土壤pH过高或过低都不适宜茶树生长。安溪县茶园土壤pH范围在3.79~4.97,土壤多为酸性土壤,大部分茶园土壤酸化问题很严重,只有27.27%茶园土壤pH符合4.5~5.5这一茶树适宜生长范围,呈现由西北向东南“高-低-高”的变化趋势,可能是由于当地茶农施肥习惯影响以及西北部地区地势较高,植被生长较少,植物根系分泌的盐类物质和有机酸较少,对土壤pH影响较小,东南地区则反之;这与杨文丽等^[16]研究的关于福建省安溪县的茶园土壤正在经历酸化,并且已经采取了相应的改良措施一致。户杉杉等^[17]于2017年研究发现套种大豆可以增加土壤酶活性,改善茶园排灌系统,通过提升茶树对土壤营养的吸收能力,大大改善了茶叶的品质,并且可以有效地降低茶园施用30%的化肥量,有效缓解茶园土壤酸化。

3.2 安溪县茶园土壤养分结构不均衡

本研究调查范围广泛,可能是各地所施肥料种类和用量差异较大,养分测定数据波动较大,考虑到指标评价的统一性和公正性,权重系数的计算将采用变异系数法取得。研究结果表明,安溪县茶园土壤主要养分含量丰富,总体肥力较好,但结构分布不均衡^[18]。氮素是茶树生长必不可少的营养元素之一,安溪县全氮含量分布不均匀,除蓝田乡外,其他乡镇全氮含量均低于I级茶园养分含量标准($1.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。说明安溪县全氮含量储备不足,可能与安溪县近年来的土地利用方式的改变有关,大范围开垦茶园,改稻种茶使得土壤有机质和全氮等营养元素流失,土壤全氮储备下降^[19]。而全县碱解氮含量均高于 $74.69 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,符合I级茶园标准,这与安溪县茶园偏施氮肥以及土壤土质有一定关系,这与吴志丹等^[20]关于安溪茶园氮素营养分布情况和影响因素的研究相一致。安溪县茶园土壤磷素养分结构不合理,其中以金谷镇、白濑乡、湖上乡、参内镇等磷素含量相对较少,主要分布在老茶园,可能由于老茶园使用年限长,且近年来翻耕较少,土壤板结较严重,不利于有机质和有效磷的转化,当pH低于6.0时,磷酸的活性会大大减弱,从而使得土壤中的磷元素和其他营养物质更容易被淋失,从而影响土壤的肥力和生物活力^[21-22],而安溪大部分土壤酸化较严重,因此虽然部分地区有效磷测定含量较高,但茶树生长负面影响较小,茶树大量开花结果现象不普遍。安溪县茶园土壤钾素含量结构分布不合理,主要集中在官桥镇、蓬莱镇、城厢镇和参内镇等地区,集中在安溪县东南方位,海拔较低,降水量多,雨期绵长,茶园土壤中的钾离子容易被雨水淋溶到土壤的下层,导致茶园土壤中的钾离子数量偏少。这与吴志丹等^[23]关于安溪县钾素营养状况和影响因素的研究相一致。相较于其他成分,只有土壤有机质含量分布较为均匀,可能与茶农多施有机肥有关^[24]。

表6 安溪县茶园土壤肥力指数情况
Table 6 IFI of tea plantations in Anxi County

乡镇 Town	土壤肥力 综合指数值 IFI	等级Grade	分布频率 Distribution frequency /%			
			I 级 Grade I		II 级 Grade II	
			Grade I	Grade II	Grade III	Grade IV
蓬莱 Penglai	0.743	I 级	100.0	0.0	0.0	0.0
祥华 Xianghua	0.754	I 级	44.1	5.9	14.7	35.3
福田 Futian	0.615	II 级	25.0	5.0	15.0	55.0
感德 Gande	0.765	I 级	54.2	8.3	8.3	29.2
虎邱 Huqiu	0.875	I 级	85.7	9.5	4.8	0.0
剑斗 Jiandou	0.733	I 级	58.3	16.7	8.3	16.7
桃舟 Taozhou	0.847	I 级	75.0	25.0	0.0	0.0
金谷 Jingu	0.419	IV级	0.0	0.0	0.0	100.0
湖上 Hushang	0.578	III级	16.7	16.7	16.7	50.0
官桥 Guanqiao	0.724	I 级	25.0	25.0	25.0	25.0
蓝田 Lantian	0.861	I 级	100.0	0.0	0.0	0.0
大坪 Daping	0.860	I 级	61.1	27.8	0.0	11.1
长卿 Changqing	0.829	I 级	79.2	12.5	8.3	0.0
龙门 Longmen	0.838	I 级	50.0	16.7	0.0	33.3
参内 Cannei	0.574	III级	33.3	0.0	0.0	66.7
芦田 Lutian	0.864	I 级	55.0	5.0	5.0	35.0
白濑 Bailai	0.729	I 级	28.6	42.9	28.6	0.0
龙涓 Longjuan	0.835	I 级	66.7	18.8	10.4	4.2
城厢 Chengxiang	0.744	I 级	33.3	50.0	16.7	0.0
湖头 Hutou	0.814	I 级	60.0	0.0	40.0	0.0
尚卿 Shangqing	0.983	I 级	54.5	27.3	18.2	0.0
西坪 Xiping	0.740	I 级	24.1	15.5	15.5	44.8

3.3 安溪县茶园土壤肥力空间分布差异大

安溪县属于南方丘陵地区, 地形复杂, 多山地丘陵, 安溪县茶园土壤肥力呈现南高北低, 西高东

低的分布态势。安溪县受地理位置的影响, 南北安溪气候特点差异较大, 安溪县西北部多山地丘陵, 受北方气流影响较大, 四季分明, 雨量较大, 而安溪县东南部靠近海洋, 受海洋气流影响较大, 夏季漫长且炎热, 冬季短暂且不寒冷, 雨量充沛。安溪县土壤肥力综合指数较低的几个乡镇为金谷镇、参内镇、湖上乡, 多集中在安溪县东部地区^[25]。安溪县茶园土壤各项养分含量结构分布不均衡, 受茶园管理方式、耕作方式等影响导致茶园土壤养分空间分布差异大, 改善茶园土壤养分分布不均匀要因地制宜, 根据不同的乡镇的地理环境和管理背景, 要采取不同的管理方式改善土壤养分空间分布^[26]。同时, IFI是由各项土壤养分指标加权形成, 指标数值大, IFI的结果就高, 而对于以营养生长为主的茶树, 所需养分有一定区间合理性, 尤其是对磷的需求量相对果实作物较小, 因此, IFI在茶园土壤肥力评判上有一定局限性, 茶园配方施肥时还应结合茶树养分需求规律做适当调整。

4 结论

4.1 研究结论

综合以上研究结果可知, 安溪县茶园土壤酸化严重, pH平均值为4.36, 仅有27.27%的茶园pH达到优质茶园标准, 且土壤pH空间差异较大; 茶园土壤肥力总体较好, 但养分结构不均衡, 81.82%的茶园土壤肥力等级达到I级标准, 其中有机质和有效养分丰富, 全氮和全钾含量尚可、全磷普遍不足; 茶园土壤肥力空间分布差异大, 土壤肥力综合指数值(IFI)为0.419~0.983, 安溪东部的茶园土壤肥力综合指数较低。

4.2 施肥建议

(1) 通过增施有机肥改良茶园土壤酸化。通常来说, 有机肥是中性或微碱性的, 它可以中和土壤游离酸, 改善土壤物理化学性质, 增加孔隙率, 提升土壤的抗逆性, 从而阻止和减少盐分的流失。

(2) 适当增施用含氮磷钾全量养分的矿物质, 以增加全量养分储备。通过施用有机肥或矿物质, 可以提供丰富的钙、镁、钠、钾、磷等元素, 从而增加土壤的养分储备, 减轻土壤酸化的程度。此外, 有机肥经过微生物分解后形成的腐殖质, 可以与土壤中的矿物质结合, 形成一种有机-无机复合胶体, 有效地增强土壤的缓冲能力。

(3) 推广测土配方技术, 促进精准施肥和减肥增效。测土配方是科学有效的平衡施肥技术, 增加测土配方密度, 可以有效扩大科学施肥面积, 精准施肥, 提升肥料的科学利用率以及茶园土壤肥力水平。

参考文献:

- [1] 柳书俊, 姚新转, 赵德刚, 等. 涠潭茶园土壤养分特征及肥力质量评价 [J]. *草业学报*, 2020, 29 (11): 33-45.
- LIU S J, YAO X Z, ZHAO D G, et al. An evaluation of soil nutrient status and balance in Meitan tea plantations [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29 (11): 33-45. (in Chinese)
- [2] 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): 668-674.
- REN Y F, HE J Y, ZHANG Y C, et al. Soil nutrient status and comprehensive evaluation of quality of soil fertility of tea garden in Kaiyang of Guizhou Province [J]. *Soils*, 2016, 48 (4): 668-674. (in Chinese)
- [3] 姜彬, 闫板瑞, 李家鑫, 等. 黄河中游渭北卤泊滩地区盐碱地土壤肥力综合评价及分析 [J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2022, 52 (3): 371-379.
- JIANG B, YAN B R, LI J X, et al. Comprehensive evaluation and analysis of soil fertility of saline-alkaline land in Weibei Lubotan area in the middle reaches of the Yellow River [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2022, 52 (3): 371-379. (in Chinese)
- [4] 李政昊, 刘斯泓, 李嘉琦, 等. 辽宁省铁岭植烟区土壤肥力特征及综合评价 [J]. *土壤通报*, 2022, 53 (3): 631-639.
- LI Z H, LIU S H, LI J Q, et al. Soil fertility characteristics and comprehensive evaluation of tobacco-planting area in Tieling of Liaoning Province [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2022, 53 (3): 631-639. (in Chinese)
- [5] 李文昭, 颜雄, 徐国勇, 等. 遵义市典型茶园土壤肥力质量评价 [J]. *南方农业*, 2019, 13 (21): 184-187.
- LI W Z, YAN X, XU G Y, et al. Evaluation of soil fertility quality of typical tea plantations in Zunyi city [J]. *South China Agriculture*, 2019, 13 (21): 184-187. (in Chinese)
- [6] 温继良, 周元清, 杨东华, 等. 新平县茶园土壤养分特征及肥力质量评价 [J]. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2018, 33 (5): 925-933.
- WEN J L, ZHOU Y Q, YANG D H, et al. Nutrient characteristics and assessment for the fertility quality of the tea plantation soils in Xinping County [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2018, 33 (5): 925-933. (in Chinese)
- [7] 李娟, 章明清, 尤志明, 等. 福建乌龙茶园土壤速效氮磷钾丰缺指标与肥力状况评价 [J]. *茶叶学报*, 2018, 59 (1): 19-25.
- LI J, ZHANG M Q, YOU Z M, et al. Plentiful and lack index of soil available nitrogen, phosphorus and potassium and soil fertility evaluation for oolong tea garden in Fujian Province [J]. *Acta Tea Sinica*, 2018, 59 (1): 19-25. (in Chinese)
- [8] 王海斌, 陈晓婷, 丁力, 等. 福建省安溪县茶园土壤酸化对茶树产量及品质的影响 [J]. *应用与环境生物学报*, 2018, 24 (6): 1398-1403.
- WANG H B, CHEN X T, DING L, et al. Effect of soil acidification on yield and quality of tea tree in tea plantations from Anxi County, Fujian Province [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2018, 24 (6): 1398-1403. (in Chinese)
- [9] 安溪县地方志编纂委员会. 安溪县志(第二版)[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2012.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 中华人民共和国农业部. 国家绿色食品产地质量标准: NY/T 391—2000[S]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 中华人民共和国农业部. 国家茶叶产地环境技术条件: NY/T 853—2004[S]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [13] 刘娟, 张乃明, 邓洪. 勐海县茶园土壤养分状况及肥力质量评价[J]. *农业资源与环境学报*, 2021, 38(1): 79-86.
- LIU J, ZHANG N M, DENG H. Soil nutrient status and fertility evaluation of tea gardens in Menghai County [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(1): 79-86. (in Chinese).
- [14] MOKARRAM M, HOJATI M. Using ordered weight averaging (OWA) aggregation for multi-criteria soil fertility evaluation by GIS (case study: Southeast Iran) [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2017, 132: 1-13.
- [15] 缪叶旻子, 吴全聪, 李晓丽, 等. 基于改进模糊层次分析法的茶园土壤肥力评价 [J]. *数学的实践与认识*, 2019, 49 (10): 80-87.
- MIAO Y M Z, WU Q C, LI X L, et al. Evaluation of quality of soil in tea garden based on the improved fuzzy analytic hierarchy process [J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2019, 49 (10): 80-87. (in Chinese)
- [16] 杨文丽. 福建省安溪县茶园土壤酸化速率与改良技术 [J]. *茶叶学报*, 2021, 62 (2): 89-93.
- YANG W L. Acidification rate and improvement technology of tea garden soil in Anxi County, Fujian Province [J]. *Acta Tea Sinica*, 2021, 62 (2): 89-93. (in Chinese)
- [17] 户杉杉, 高水练, 陈倩洁, 等. 套种大豆对茶园化肥需求量的影响 [J]. *西南农业学报*, 2019, 32 (12): 2776-2782.
- HU S S, GAO S L, CHEN Q J, et al. Effect of interplanting soybean on fertilizer demand in tea garden [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 32 (12): 2776-2782. (in Chinese)
- [18] 张赟. 康县茶园土壤肥力状况评价 [J]. *基层农技推广*, 2019, 7 (4): 47-51.
- ZHANG Y. Evaluation on soil fertility of tea garden in Kangxian County [J]. *Primary Agricultural Technology Extension*, 2019, 7 (4): 47-51. (in Chinese)
- [19] 张君, 蔡德宝, 杨树琼, 等. 丹江口库区不同坡度对土壤肥力特征的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2021 (2): 32-38.
- ZHANG J, CAI D B, YANG S Q, et al. Soil fertility characteristics of different slopes in the Danjiangkou Reservoir area [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2021 (2): 32-38. (in Chinese)
- [20] 吴志丹, 江福英, 张磊, 等. 福建省安溪县铁观音茶园土壤氮素状况 [J]. *土壤*, 2020, 52 (1): 16-24.
- WU Z D, JIANG F Y, ZHANG L, et al. Study on soil nitrogen status of tieguanyin tea gardens in Anxi County of Fujian Province [J]. *Soils*, 2020, 52 (1): 16-24. (in Chinese)
- [21] 张智, 安冰, 付军, 等. 广西国有派阳山林场桉树人工林土壤肥力质量评价 [J]. *西南农业学报*, 2022, 35 (9): 2137-2143.
- ZHANG Z, AN B, FU J, et al. Evaluation on soil fertility quality of

- Eucalyptus* plantation in Guangxi state-owned Paiyangshan forest farm [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 35 (9) : 2137–2143. (in Chinese)
- [22] 唐健, 赵隽宇, 覃祚玉, 等. 1993—2018年广西桉树主产区土壤肥力演变特征分析 [J]. 中国农学通报, 2021, 37 (1) : 94–99.
TANG J, ZHAO J Y, QIN Z Y, et al. Soil fertility evolution characteristics in main *Eucalyptus* producing areas of Guangxi: 1993–2018 [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2021, 37 (1) : 94–99. (in Chinese)
- [23] 吴志丹, 江福英, 尤志明, 等. 福建省安溪县铁观音茶园土壤钾素状况 [J]. 茶叶学报, 2018, 59 (1) : 26–32.
WU Z D, JIANG F Y, YOU Z M, et al. Study on soil potassium status of tieguanyin tea plantations in Anxi County of Fujian Province [J]. *Acta Tea Sinica*, 2018, 59 (1) : 26–32. (in Chinese)
- [24] SOLOMON D, FRITZSCHE F, TEKALIGN M, et al. Soil organic matter composition in the subhumid Ethiopian Highlands as influenced by deforestation and agricultural management [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66 (1) : 68.
- [25] 吴岳庭, 李海平, 丁梦娇, 等. 玉米秸秆还田方式对酸性植烟土壤肥力及烟叶产值的影响 [J]. 西南农业学报, 2021, 34 (2) : 320–325.
WU Y T, LI H P, DING M J, et al. Effects of maize straw returning method on acid tobacco planting soil fertility and tobacco yield [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 34 (2) : 320–325. (in Chinese)
- [26] 罗跃新, 林国轩, 邓慧群, 等. 测土配方施肥技术在茶园上的应用研究 [J]. *现代农业科技*, 2011 (24) : 83.
LUO Y X, LIN G X, DENG H Q, et al. Study on the application of soil testing and formula fertilization technology in tea garden [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2011 (24) : 83. (in Chinese)

(责任编辑: 于洪杰)