



**勐海县茶园土壤养分状况及肥力质量评价**

刘娟, 张乃明, 邓洪

引用本文:

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.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0063>

**您可能感兴趣的其他文章**

Articles you may be interested in

**潮土区菜田土壤肥力现状评价**

王倩姿, 王书聪, 张书贵, 张静芝, 孙志梅, 马文奇, 薛澄

*农业资源与环境学报*. 2020, 37(5): 645–653 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0233>

**盐碱地土壤养分的空间变异及合理取样密度研究**

张华杰, 陈为峰, 宋富贵, 李晓, 周虎

*农业资源与环境学报*. 2016, 33(2): 120–126 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0255>

**自然降雨条件下不同施肥模式和耕作方式对坡耕地紫色土肥力质量的影响**

彭石磊, 何丙辉, 王润泽, 唐柄哲

*农业资源与环境学报*. 2018, 35(4): 318–326 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0045>

**氮肥对茶园土壤氟赋存形态及转化的影响**

张永利, 廖万有, 王烨军, 苏有健, 罗毅, 宋莉, 孙力

*农业资源与环境学报*. 2015, 32(5): 436–442 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0020>

**施用黑炭和羊粪对库尔勒香梨园土壤理化性质与产量的影响**

丁阔, 王雪梅, 陈波浪, 柴仲平, 刘茂, 罗湘

*农业资源与环境学报*. 2015, 32(5): 449–455 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0019>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

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 Juan, ZHANG Nai-ming, DENG Hong. Soil nutrient status and fertility evaluation of tea gardens in Menghai County[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(1): 79–86.



开放科学 OSID

## 勐海县茶园土壤养分状况及肥力质量评价

刘娟<sup>1,3</sup>, 张乃明<sup>2,3\*</sup>, 邓洪<sup>2,3</sup>

(1. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201; 2. 云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201; 3. 云南省土壤培肥与污染修复工程实验室, 昆明 650201)

**摘要:**勐海是云南省产茶大县, 深入了解全县茶园土壤养分状况与肥力水平, 可为勐海县茶园土壤改良与精准施肥提供科学依据。本研究对勐海县茶园面积集中的6个乡镇进行实地调查和布点采样, 分析了151个茶园土壤pH、有机质及大量营养元素的含量, 并采用模糊数学隶属度函数模型, 计算土壤肥力综合指数(IFI), 进而对勐海县茶园土壤养分状况进行数值化综合评价。结果表明, 勐海县各乡镇茶园pH为3.83~6.16, 大部分土壤pH适合茶树生长。茶园土壤有机质含量范围在20.88~101.80 g·kg<sup>-1</sup>之间, 有机质含量比较丰富, 均达到I级标准。勐海县各乡镇茶园全氮、全磷和全钾含量较高, 但碱解氮和有效磷含量不足。除勐混镇外, 其他各乡镇达到优质高产茶园土壤碱解氮含量的比例低于30%。速效钾供应充足, 仅勐阿镇和勐混镇分别有6.25%和20.00%土壤速效钾处于III级标准。勐海县各乡镇茶园土壤肥力综合指数为0.30~0.84, 勐阿镇、勐遮镇、格朗和乡和布朗山乡有部分茶园土壤达到I级和II级标准, 茶园土壤肥力等级主要分布在III级和IV级, 除布朗山乡外, 其余各乡镇茶园土壤肥力处于中低水平的比例超过60%。研究表明, 勐海县茶园大部分土壤pH适合茶树的生长, 土壤有机质、全氮、全磷、全钾及速效钾含量丰富, 而碱解氮和有效磷含量不足, 需要有针对性地调整施肥策略。

**关键词:** 茶园土壤; 碱解氮; 有效磷; 速效钾; 肥力评价

中图分类号: S158; S571.1 文献标志码: A 文章编号: 2095-6819(2021)01-0079-08 doi: 10.13254/j.jare.2020.0063

### Soil nutrient status and fertility evaluation of tea gardens in Menghai County

LIU Juan<sup>1,3</sup>, ZHANG Nai-ming<sup>2,3\*</sup>, DENG Hong<sup>2,3</sup>

(1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. College of Resource and Environmental Science, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 3. Yunnan Soil Fertility and Pollution Restoration Laboratory, Kunming 650201, China)

**Abstract:** Menghai is a large tea-producing county in Yunnan Province. In order to provide a scientific basis for soil improvement and precise fertilization, we studied the soil nutrient status and fertility level of tea gardens in Menghai County. In this study, soil samples from 151 tea gardens was analyzed in terms of pH, organic matter content, and nutrient elements, through field investigation and spot sampling in six towns within an area of concentrated tea gardens in Menghai County. The integrated fertility index (IFI) was also calculated to evaluate the soil nutrient status of the tea plantations. The pH of tea garden soil varied from 3.83 to 6.16, with most soil pH suitable for the growth of tea trees. The organic matter contents ranged from 20.88 g·kg<sup>-1</sup> to 101.80 g·kg<sup>-1</sup> and the content of organic matter was rich, reaching grade I standard. The total nitrogen, total phosphorus, and total potassium contents in Menghai County tea gardens were high, but the supply of available nitrogen and available phosphorus were insufficient. The available potassium supply was sufficient, with only Meng'a and Menghun towns having soil with available potassium lower than the grade III standard (6.25% and 20.00%, respectively). The integrated fertility index varied from 0.30 to 0.84, and some tea garden soils in Meng'a, Mengzhe, Gelanghe, and Bulangshan townships met the standards of grade I or grade II. However, the soil fertility of tea gardens in the villages and towns fell mainly in the grade III or

收稿日期: 2020-02-23 录用日期: 2020-04-21

作者简介: 刘娟(1990—), 女, 四川资中人, 博士研究生, 主要从事农用化学物质与环境研究。E-mail: 15587214232@163.com

\*通信作者: 张乃明 E-mail: zhangnaiming@sina.com

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0201208-2)

Project supported: The National Key Research and Development Program of China(2016YFD0201208-2)

grade IV categories. More than 60% of tea gardens had low or medium soil fertility levels, except for the Bulangshan townships. The soil pH levels of tea gardens in Menghai County are suitable for the growth of tea trees. The contents of organic matter, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, and available potassium in these soils are high, but the supply of available nitrogen and available phosphorus is insufficient. This highlights the need for suitable fertilization schemes.

**Keywords:** tea soil; alkaline nitrogen; available phosphorus; available potassium; fertility evaluation

茶树[*Camellia sinensis* (L.) O.Kuntze]是我国亚热带重要的经济作物,土壤是茶树生存和生长的物质基础<sup>[1]</sup>,土壤肥力是土壤的基本属性和本质特征,它是土壤物理、化学和生物学性质的综合反映<sup>[2]</sup>。土壤养分及其有效性是茶园土壤的供肥能力的直接体现<sup>[3]</sup>,它关系着茶树的生长发育和茶叶的品质<sup>[4]</sup>。茶树在生长的过程中对土壤养分需求量大,而我国茶园以施用尿素、复合肥等速效化肥为主,长期大量施用化学肥料,导致茶园土壤部分养分累积,出现了养分供应能力不平衡、有机质肥力降低以及酸化、表土养分流失等一系列问题<sup>[5-6]</sup>,准确掌握茶园土壤养分状况,明确茶园养分的限制因子,是实现茶树合理施肥、茶叶优产高产的前提条件<sup>[7]</sup>。

勐海县处于茶树原产地的中心地带,生态环境优越,茶种质资源丰富,产茶历史悠久,是云南省第一产茶大县,现有茶园面积3.85万hm<sup>2</sup>,采摘面积2.87万hm<sup>2</sup>,茶叶是勐海县传统支柱产业之一<sup>[8]</sup>,也是茶区农民主要经济来源。勐海县虽然茶园面积很大,但配套的茶园管理水平相对落后,茶农科学施肥的意识不强,精准施肥技术推广力度不够,盲目施肥导致土壤酸化、肥力下降,茶叶产量和质量不佳等一系列问题<sup>[9]</sup>,制约了勐海县茶产业的可持续发展。为了全面掌握勐海县茶园土壤养分状况,本研究在勐海主要茶产区(勐海、勐阿、勐遮等6个乡镇)进行茶园土壤调查采样,分析了茶园土壤样品的养分状况,并采用模糊数学隶属函数模型,计算土壤肥力综合指数(IFI),对勐海县茶园土壤养分状况进行数值化综合评价,可以为勐海县改善茶园养分管理、实现茶园优质高产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

勐海县(21°28'~22°28'N, 99°56'~100°41'E)位于云南省西南部,西双版纳傣族自治州西部,辖11个乡镇(勐海镇、打洛镇、勐遮镇、勐混镇、勐满镇、勐阿镇、勐宋乡、勐往乡、格朗和哈尼族乡、布朗山布朗族乡、西定哈尼族布朗族乡),总面积5 511 km<sup>2</sup>,其中山区

面积占93.45%,坝区面积占6.55%。勐海县属于热带亚热带西南季风气候,冬无严寒、夏无酷暑,年温差小,日温差大,年平均气温18.7℃,年均降雨量1 341 mm。县内土壤类型多样,各类土壤随海拔高低垂直分布,主要有砖红壤、赤红壤、红壤、黄壤、紫色土、水稻土、冲积土等7个土类。

### 1.2 土壤样品采集

勐阿镇、勐海镇、勐遮镇、勐混镇、格朗和乡和布朗山乡是该县主要产茶乡镇,茶园面积共2.70万hm<sup>2</sup>,占全县茶园面积的70.13%。于2018年2—12月在上述六个乡镇进行茶园土壤调查采样,运用网格布点的方法对采样点进行布设,采样时使用GPS进行定位,在距茶树施肥沟5~10 cm采用“S”型5点采样法采集0~20 cm表层土壤,共计采集茶园土样151个。土壤经过自然风干后过40目和100目筛混匀备用。

### 1.3 分析项目和测定方法

土壤pH采用玻璃电极法测定;有机质(OM)采用重铬酸钾氧化-外加热法测定;碱解氮(AN)采用碱解扩散法测定;有效磷(AP)采用0.5 mol·L<sup>-1</sup> NaHCO<sub>3</sub>溶液浸提-钼锑抗比色法测定;速效钾(AK)采用醋酸铵-火焰光度计法测定<sup>[10]</sup>;土壤全氮(TN)采用自动定氮仪法(NY/T 1121.24—2012)测定;土壤全磷(TP)采用碱熔-钼锑抗分光光度法(HJ 632—2011)测定;土壤全钾(TK)采用NaOH熔融-火焰光度法测定。

### 1.4 茶园土壤养分状况分级标准

茶园土壤养分状况分级标准参考任艳芳等<sup>[7]</sup>提出的茶园土壤养分分级标准,将茶园土壤分为I、II、III 3个等级(表1)。

### 1.5 土壤肥力评价方法

本研究选取土壤pH值、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷及速效钾8项土壤常规养分指标作为土壤肥力评价指标。其中,除pH值属于抛物线型函数,其余7项指标均属于S型函数。

S型函数:

$$f(x) = \begin{cases} 1 & x \geq x_{\max} \\ 0.9(x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) + 0.1 & x_{\min} \leq x < x_{\max} \\ 0.1 & x < x_{\min} \end{cases}$$

表1 茶园土壤养分分级标准

Table 1 Soil nutrient grading standards for tea gardens

指标 Index	I	II	III	优质茶园肥力 High-quality tea garden standard
pH	4.5~5.5	4.0~4.5 或 5.5~6.5	>6.5 或 <4.0	4.5~5.5
OM/(g·kg <sup>-1</sup> )	>20.00	15.00~20.00	<15.00	≥20.00
TN/(g·kg <sup>-1</sup> )	>1.00	0.80~1.00	<0.80	≥1.50
TP/(g·kg <sup>-1</sup> )	>1.00	0.40~1.00	<0.40	≥1.00
TK/(g·kg <sup>-1</sup> )	>10.00	5.00~10.00	<5.00	≥10.00
AP/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>20.00	5.00~20.00	<5.00	≥20.00
AK/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>100.00	60.00~100.00	<60.00	≥100.00
AN/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>100.00	80.00~100.00	<80.00	≥100.00

抛物线型函数:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1.0 - 0.9(x - x_b)}{x_{max} - x_b} & x_b \leq x < x_{max} \\ 1.0 & x_a \leq x < x_b \\ \frac{0.9(x - x_{min})}{x_a - x_{min}} & x_{min} \leq x < x_a \\ 0.1 & x < x_{min} \text{ 或 } x > x_{max} \end{cases}$$

其中,  $f(x)$  为指标隶属度;  $x$  为该属性测定值;  $x_{min}$  与  $x_{max}$  为分级标准最小值和最大值;  $x_a$ 、 $x_b$  为介于分级标准最小值和最大值区间; 属性值分级标准按照隶属度曲线转折点的取值, 8个指标的隶属度函数曲线中转折点的相应取值如表2所示。

评价指标权重的确定主要通过变异系数法获得, 评价指标权重的取值见表3, 各指标的变异系数计算公式如下:

$$V_i = \frac{\sigma_i}{x_i} \tag{1}$$

式中:  $V_i$  是指第  $i$  项指标的变异系数;  $\sigma_i$  是第  $i$  项指标的标准差;  $x_i$  是第  $i$  项指标的平均数。

而各指标的权重系数 ( $W_i$ ) 表示为:

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \tag{2}$$

表2 隶属度曲线转折点的取值

Table 2 The value of turning point of membership curve

分级 Grade	pH	OM/(g·kg <sup>-1</sup> )	AN/(mg·kg <sup>-1</sup> )	AP/(mg·kg <sup>-1</sup> )	AK/(mg·kg <sup>-1</sup> )	TN/(g·kg <sup>-1</sup> )	TP/(g·kg <sup>-1</sup> )	TK/(g·kg <sup>-1</sup> )
$X_{min}$	4.0	20	30	3	30	0.75	0.3	5
$X_a$	4.5	—	—	—	—	—	—	—
$X_b$	5.5	—	—	—	—	—	—	—
$X_{max}$	7.0	60	150	40	200	2	1	25

表3 评价指标权重的取值

Table 3 The values of evaluation index weight

pH	OM/(g·kg <sup>-1</sup> )	AN/(mg·kg <sup>-1</sup> )	AP/(mg·kg <sup>-1</sup> )	AK/(mg·kg <sup>-1</sup> )	TN/(g·kg <sup>-1</sup> )	TP/(g·kg <sup>-1</sup> )	TK/(g·kg <sup>-1</sup> )
0.02	0.05	0.17	0.24	0.23	0.06	0.08	0.15

IFI为土壤肥力综合指数值, 主要是根据茶园土壤养分分级标准, 确定各项肥力指标的权重和单项肥力指标的分值, 通过将单项肥力指标的权重与对应的分值相乘后再相加, 求和结果即为土壤肥力综合指数值(Integrated Fertility Index, IFI), 其数值越大, 表明土壤肥力越高。具体计算公式如下:

$$IFI = \sum_{i=1}^n w_i N_i \tag{3}$$

式中:  $w_i$  为第  $i$  个评价指标的权重;  $N_i$  为对应评价指标的隶属度;  $n$  为评价指标数。通过计算出的当地实际土壤肥力值, 结合前人的研究结果, 将IFI划分为4个等级(表4)。

### 1.6 数据分析

试验数据采用Excel 2016软件进行整理, 采用SPSS 18.0软件进行单因素方差分析和显著性检验, 检验方法采用ANOVA法, 显著水平设置  $\alpha=0.05$ 。

表4 茶园土壤肥力等级区间

Table 4 Range of soil fertility grade for tea gardens

指标 Index	IFI≥0.7	0.6≤IFI<0.7	0.5≤IFI<0.6	IFI<0.5
肥力等级 Fertility grade	I	II	III	IV
肥力水平 Fertility level	高	较高	中等	低

## 2 结果与分析

### 2.1 茶园土壤pH值

茶园土壤pH直接影响茶树的生长和茶叶的品质。由表5可知,勐海县各乡镇茶园pH在3.83~6.16范围内,变异系数在4.56%~7.84%范围内,变异系数较小。从茶园pH分布来看,6个乡镇(勐阿镇、勐海镇、勐遮镇、勐混镇、格朗和乡和布朗山乡)达到优质茶园pH的土壤分别占78.43%、50.00%、85.29%、25.00%、80.00%和100.00%,其中,布朗山乡茶园的土壤pH最适合茶树的生长。pH值低于4.0或高于6.5,对茶树生长都不利,在本研究中,仅勐遮镇和勐混镇分别有2.94%和25.00%的土壤pH值低于4.0或高于6.5,不利于茶树生长。

### 2.2 茶园土壤有机质

有机质不仅提供茶树生长所需要的各种营养元素,同时也是土壤微生物生命活动的能源,是反映茶园土壤肥力及熟化程度的重要指标之一<sup>[5,11]</sup>。勐海县各乡镇茶园土壤有机质含量如表6所示。由表6可知,勐海县茶园土壤有机质含量范围在20.88~101.80 g·kg<sup>-1</sup>之间,变异系数在14.65%~31.50%之间,勐海县各乡镇有机质含量依次为格朗和乡>勐遮镇>勐阿镇>布朗山乡>勐海镇>勐混镇。其中,格朗和乡茶园

土壤有机质含量最高,其有机质含量范围为49.04~101.80 g·kg<sup>-1</sup>,平均值为65.69 g·kg<sup>-1</sup>;而勐混镇的茶园土壤有机质含量最低,其有机质含量范围为22.85~42.27 g·kg<sup>-1</sup>,平均值为32.23 g·kg<sup>-1</sup>;勐海镇和布朗山乡的茶园有机质含量变异系数较小,分别为15.67%和14.65%,其有机质含量范围分别为30.52~58.07 g·kg<sup>-1</sup>和39.29~63.00 g·kg<sup>-1</sup>。从分布来看,勐海县各乡镇茶园土壤有机质含量均达到I级标准,勐海县各乡镇茶园土壤有机质含量符合优质茶园土壤营养标准。

### 2.3 茶园土壤氮素含量

由表7可知,勐海县各乡镇茶园土壤全氮含量在0.97~4.65 g·kg<sup>-1</sup>之间,变异系数在8.24%~34.91%之间,除勐混镇外,其他乡镇的茶园土壤全氮含量的平均值均高于优质茶园标准(1.5 g·kg<sup>-1</sup>),勐阿镇、勐海镇、勐遮镇、格朗和乡和布朗山乡茶园土壤全氮含量的平均值分别为1.99、1.73、2.83、2.74 g·kg<sup>-1</sup>和2.00 g·kg<sup>-1</sup>,可见,总体上,勐海县各乡镇茶园全氮含量丰富。

碱解氮是土壤有效氮的一个常用指标。勐海县各乡镇茶园土壤碱解氮含量如表7所示。勐海县各乡镇碱解氮变异较大,其范围为1.75~327.20 mg·kg<sup>-1</sup>,除勐混镇和布朗山乡外,其他乡镇的碱解氮变异系数均大于90%。在这些乡镇中,勐混镇平均碱解氮含量最高,达到了89.67 mg·kg<sup>-1</sup>,勐混镇有50%的茶

表5 勐海县各乡镇茶园土壤pH值

Table 5 Soil pH value of tea gardens of Menghai County

乡镇 Town	范围 Range	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation/%	样本分布频率 Samples distribution frequency/%		
					I	II	III
勐阿镇 Meng' a town	4.10~5.89	4.75	0.36	7.54	78.43	21.57	0
勐海镇 Menghai town	4.95~6.12	5.51	0.42	7.56	50.00	50.00	0
勐遮镇 Mengzhe town	3.83~5.06	4.68	0.29	6.24	85.29	11.77	2.94
勐混镇 Menghun town	4.76~6.16	5.51	0.31	7.84	25.00	50.00	25.00
格朗和乡 Gelanghe township	4.47~5.55	4.93	0.84	6.96	80.00	20.00	0
布朗山乡 Bulangshan township	4.67~5.39	5.06	0.23	4.56	100.00	0	0

表6 勐海县各乡镇茶园土壤有机质

Table 6 Soil organic matter of tea gardens of Menghai county

乡镇 Town	范围 Range/(g·kg <sup>-1</sup> )	平均值 Mean/(g·kg <sup>-1</sup> )	标准差 Standard deviation/(g·kg <sup>-1</sup> )	变异系数 Coefficient of variation/%	样本分布频率 Samples distribution frequency/%		
					I	II	III
勐阿镇 Meng' a town	26.27~76.31	53.10	12.19	22.73	100.00	0	0
勐海镇 Menghai town	30.52~58.07	48.43	8.00	15.67	100.00	0	0
勐遮镇 Mengzhe town	20.88~90.69	56.35	18.02	31.50	100.00	0	0
勐混镇 Menghun town	22.85~42.27	32.23	10.41	21.93	100.00	0	0
格朗和乡 Gelanghe township	49.04~101.80	65.69	16.86	24.84	100.00	0	0
布朗山乡 Bulangshan township	39.29~63.00	50.17	7.79	14.65	100.00	0	0

表7 勐海县各乡镇茶园土壤全氮、碱解氮含量

Table 7 The contents of total nitrogen and alkali-hydrolysis nitrogen in the soil of tea gardens in Menghai County

指标 Index	项目 Item	勐阿镇 Meng'a town	勐海镇 Menghai town	勐遮镇 Mengzhe town	勐混镇 Menghun town	格朗和乡 Gelanghe township	布朗山乡 Bulangshan township
TN	范围/(g·kg <sup>-1</sup> )	1.16~3.46	1.24~2.10	1.33~4.43	0.97~1.36	1.48~4.65	1.76~2.34
	平均值/(g·kg <sup>-1</sup> )	1.99	1.73	2.83	1.21	2.74	2.00
	标准差/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.60	0.20	0.80	1.00	1.10	0.20
	变异系数/%	27.40	13.15	27.77	8.24	34.91	9.60
AN	范围/(mg·kg <sup>-1</sup> )	1.75~210.00	8.02~205.10	6.30~327.20	29.25~139.13	2.45~159.25	9.80~79.25
	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	60.37	71.21	79.33	89.67	44.45	36.64
	标准差/(mg·kg <sup>-1</sup> )	57.86	67.58	90.04	31.42	48.97	24.65
	变异系数/%	94.90	90.04	111.82	38.15	106.68	58.88
样本分布 频率/%	I	25.49	30.00	26.47	50.00	18.75	0
	II	31.37	0	2.94	10.00	0	0
	III	43.14	70.00	70.59	40.00	81.25	100.00

园达到优质、高产茶园的土壤营养标准,10.00%的茶园土壤处于Ⅱ级标准,有40.00%的茶园土壤属于Ⅲ级标准,处于供氮不足的状况。勐阿镇茶园土壤碱解氮含量范围为1.75~210.00 mg·kg<sup>-1</sup>,其平均值为60.37 mg·kg<sup>-1</sup>,勐阿镇茶园土壤碱解氮含量达到Ⅰ级标准要求的土壤样品占25.49%,有31.37%的土壤碱解氮含量属于Ⅱ级,而有43.14%的土壤碱解氮含量属于Ⅲ级。在这些茶园中,勐海镇、勐遮镇、格朗和乡以及布朗山乡分别有70%、70.59%、81.25%和100.00%的土壤中碱解氮含量属于Ⅲ级标准,其中,布朗山乡平均碱解氮含量最低,仅为36.64 mg·kg<sup>-1</sup>。

#### 2.4 茶园土壤磷素含量

勐海县各乡镇茶园土壤全磷含量如表8所示,勐海县茶园土壤全磷含量范围为0.32~3.40 g·kg<sup>-1</sup>,变异系数在24.54%~53.03%之间。其中,勐阿镇、勐海镇、

勐混镇、格朗和乡和布朗山乡茶园土壤全磷含量范围为0.38~3.40、0.76~1.96、0.60~2.69、0.39~1.63 g·kg<sup>-1</sup>和0.44~1.68 g·kg<sup>-1</sup>,平均值分别为1.05、1.40、1.41、1.56 g·kg<sup>-1</sup>和1.15 g·kg<sup>-1</sup>,均值均达到Ⅰ级标准,而勐遮镇全磷含量的平均值为0.74 g·kg<sup>-1</sup>,在各乡镇中最小。

勐海县各乡镇茶园土壤有效磷含量范围为0.22~138.98 mg·kg<sup>-1</sup>。布朗山乡平均有效磷含量最高,达到Ⅰ级标准的土壤占77.78%,Ⅱ级标准的土壤占22.22%。勐阿镇、勐遮镇茶园土壤有效磷含量平均值分别为19.92 mg·kg<sup>-1</sup>和12.14 mg·kg<sup>-1</sup>,达Ⅱ级标准的土壤分别占84.31%、50.00%,达到Ⅰ级标准的土壤分别占15.69%、11.73%。勐海镇、勐混镇、格朗和乡茶园土壤有效磷含量均未达到Ⅰ级标准,达到Ⅱ级标准的土壤分别占10.00%、80.00%和25.00%,三个乡镇分别有90.00%、20.00%和75.00%的土壤处于Ⅲ级

表8 勐海县各乡镇茶园土壤全磷、有效磷含量

Table 8 The content of total phosphorus and available phosphorus in the soil of tea gardens in Menghai County

指标 Index	项目 Item	勐阿镇 Meng'a town	勐海镇 Menghai town	勐遮镇 Mengzhe town	勐混镇 Menghun town	格朗和乡 Gelanghe township	布朗山乡 Bulangshan township
TP	范围/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.38~3.40	0.76~1.96	0.32~1.79	0.60~2.69	0.39~1.63	0.44~1.68
	平均值/(g·kg <sup>-1</sup> )	1.05	1.40	0.74	1.41	1.56	1.15
	标准差/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.52	0.43	0.39	0.53	0.37	0.44
	变异系数/%	49.57	24.54	53.03	34.46	36.25	36.25
AP	范围/(mg·kg <sup>-1</sup> )	6.62~138.98	0.36~9.53	0.22~87.64	2.84~13.02	0.72~9.96	13.02~59.27
	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	19.92	2.88	12.14	6.92	3.48	34.08
	标准差/(mg·kg <sup>-1</sup> )	26.12	2.68	20.55	3.43	3.05	16.54
	变异系数/%	119.36	88.34	12.43	40.10	84.59	45.76
样本分布 频率/%	I	15.69	0	11.73	0	0	77.78
	II	84.31	10.00	50.00	80.00	25.00	22.22
	III	0	90.00	38.27	20.00	75.00	0

标准范围内。总的说来,勐海镇、勐遮镇、勐混镇以及格朗和乡茶园土壤有效磷含量处于中低水平。

### 2.5 茶园土壤钾素含量

钾作为酶的活化剂,具有促进茶树根茎生长、提高茶树抵御冻害和病虫害能力、改善茶叶香气等作用,同时,钾肥还能促进茶叶萌发、增加芽头密度和芽叶质量。由表9可知,勐海县各乡镇茶园土壤全钾含量范围为0.23~64.26 g·kg<sup>-1</sup>,变异系数为58.61%~90.55%,不同茶园土壤钾含量差异大,勐海县各乡镇茶园土壤全钾含量的大小依次为勐遮镇>勐阿镇>格朗和乡>布朗山乡>勐混镇>勐海镇。

勐海县茶园土壤速效钾含量范围为35.54~396.35 mg·kg<sup>-1</sup>。其中勐海镇、勐遮镇、布朗山乡速效钾含量范围分别为189.47~259.81、172.09~359.11、211.81~351.66 mg·kg<sup>-1</sup>,上述乡镇所有土壤均达到茶园土壤速效钾含量的I级标准(>100 mg·kg<sup>-1</sup>)。格朗和乡有80.00%的土壤达到I级标准,20.00%的土壤达到II级标准(60~100 mg·kg<sup>-1</sup>)。勐阿镇、勐混镇茶园土壤速效钾含量达到I级标准的土壤分别有

75.00%、60.00%,达到II级标准的土壤分别有18.75%和20.00%,处于III级标准(<60 mg·kg<sup>-1</sup>)范围内的土壤分别有6.25%、20.00%,表明勐阿镇、勐混镇的部分土壤速效钾含量还需提高。

### 2.6 茶园土壤肥力状况综合评价

由表10可知,勐海县各乡镇土壤肥力综合指数在0.30~0.84之间,土壤肥力综合指数达到I级标准的茶园主要分布在勐阿镇、勐遮镇和布朗山乡,其分布频率分别为5.00%、11.77%和23.07%。勐阿镇、勐遮镇、格朗和乡、布朗山乡分别有15.00%、20.58%、6.25%、69.24%的茶园土壤肥力达到II级水平,这些地区土壤肥力条件好,能满足优质茶叶生长的条件。而勐海县各茶园土壤肥力等级主要分布在III级和IV级,除布朗山乡外,其余乡镇均有超过60%茶园土壤肥力处于中低肥力水平。茶园土壤肥力指数为IV的区域占多数,其中勐混镇IV级所占比例最高,高达70.00%。土壤肥力等级在III级和IV级的茶园土壤中速效氮、磷和钾含量都不高,在一定程度上影响了茶树养分的吸收。勐阿镇、勐遮镇、格朗和乡茶园土壤

表9 勐海县各乡镇茶园土壤全钾、速效钾含量

Table 9 The contents of total potassium and available potassium in the soil of tea gardens in Menghai County

指标 Index	项目 Item	勐阿镇 Meng' a town	勐海镇 Menghai town	勐遮镇 Mengzhe town	勐混镇 Menghun town	格朗和乡 Gelanghe township	布朗山乡 Bulangshan township
TK	范围/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.65~64.26	1.78~8.09	2.29~53.40	0.23~23.57	0.87~28.28	0.23~26.71
	平均值/(g·kg <sup>-1</sup> )	14.39	3.91	15.67	4.93	12.64	12.07
	标准差/(g·kg <sup>-1</sup> )	13.05	3.40	10.54	8.87	8.64	9.44
	变异系数/%	90.55	58.66	68.70	58.61	60.34	73.79
AK	范围/(mg·kg <sup>-1</sup> )	42.99~396.35	189.47~259.81	172.09~359.11	35.54~321.05	73.61~229.19	211.81~351.66
	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	175.56	222.56	220.67	154.88	152.72	278.22
	标准差/(mg·kg <sup>-1</sup> )	125.18	96.69	105.23	88.75	98.43	88.01
	变异系数/%	54.34	14.75	28.54	62.08	35.74	21.24
样本分布 频率/%	I	75.00	100.00	100.00	60.00	80.00	100.00
	II	18.75	0	0	20.00	20.00	0
	III	6.25	0	0	20.00	0	0

表10 勐海县各乡镇茶园土壤肥力等级

Table 10 Soil fertility level of tea plantations in Menghai County

乡镇 Town	肥力综合指数 IFI	样本分布频率 Samples distribution frequency/%			
		I	II	III	IV
勐阿镇 Meng' a town	0.34~0.73	5.00	15.00	40.00	40.00
勐海镇 Menghai town	0.41~0.59	0	0	40.00	60.00
勐遮镇 Mengzhe town	0.38~0.81	11.77	20.58	17.65	50.00
勐混镇 Menghun town	0.34~0.55	0	0	30.00	70.00
格朗和乡 Gelanghe township	0.30~0.67	0	6.25	37.50	56.25
布朗山乡 Bulangshan township	0.54~0.84	23.07	69.24	7.69	0

部分土壤有酸化趋势,因此应该施用土壤改良剂,调节土壤的酸碱度,使茶园土壤的pH适宜茶树的健康生长。

### 3 讨论

#### 3.1 茶园土壤pH适宜性

土壤酸碱度对养分的有效性及其吸收利用、微生物活动产生很大的影响,茶园土壤pH还直接影响茶树生长及茶叶产量和品质<sup>[12]</sup>。茶树是喜酸植物,适合在pH值为4.0~6.5的土壤环境中生长,最适pH环境为4.5~5.5<sup>[8]</sup>。pH高于6.5茶树难以生长,而pH低于4.0会导致茶园土壤理化性质变劣、土壤养分有效性变低、茶幼苗生长受到抑制等。本研究发现,勐海县各乡镇茶园pH在3.83~6.16范围内,勐海县大部分土壤pH适合茶树生长,少部分土壤偏碱或酸化,不利于茶树的生长。造成茶园土壤酸化的原因很多,施肥可能是首要原因;其次,茶树自身的物质代谢、酸雨、红壤本身性质等都可能加剧土壤酸化。对于明显已经酸化的茶园土壤,可以通过施用有机肥、施用碱性肥以及测土配方施肥等方式,平衡茶园土壤养分和防止土壤酸化<sup>[13]</sup>。

#### 3.2 茶园土壤速效养分

土壤养分及其有效性是茶园土壤的供肥能力的直接体现,茶树在生长发育的各个阶段都需要不断吸收氮、磷、钾等养分,以维持茶树机体的正常生长发育<sup>[14]</sup>。氮是茶树生长发育必不可少的营养元素,氮素不足会使茶树体内蛋白质、核酸、叶绿素受阻,致使新梢伸长缓慢,萌发轮次减少,芽头密度小,对夹叶大量出现,影响茶叶的产量和品质。磷会影响茶树的光合作用、呼吸作用及生长发育,同时,茶树体内的各种酶促反应和能量传递也与磷素密切相关。而钾可以加强茶树光合作用,调节茶树对水分的吸收和利用,提高抗旱能力,施钾可以改善茶叶品质<sup>[15]</sup>。本研究发现,勐海县各乡镇茶园全氮、全磷和全钾含量丰富,但碱解氮和有效磷含量不足。除勐混镇,其他各乡镇达到优质高产茶园土壤碱解氮含量的比例最高不超过30%。除布朗山乡外,其他各乡镇有效磷供应严重不足,仅勐阿镇和勐遮镇有15.69%和11.73%的土壤达到Ⅰ级标准。速效钾供应充足,仅勐阿镇和勐混镇分别有6.25%和20.00%土壤速效钾属于Ⅲ级。氮、磷都是茶叶生长必需营养元素,土壤碱解氮和有效磷不足可能会导致茶叶产量下降或品质降低<sup>[16]</sup>,在勐海县未来的茶园土壤管理中,茶农应适当增施氮肥和磷肥

来提高勐海县茶园中碱解氮和有效磷的含量。

#### 3.3 土壤肥力综合评价分级的科学性及指标权重对评价结果的影响

土壤肥力是土壤的基本属性特征,也是土壤物理、化学和生物性质的综合反映<sup>[17]</sup>。实现养分平衡是进行茶园土壤养分管理、确定合理肥料用量的基础。由于茶园肥力质量的差异性,需要对茶园肥力状况进行综合评价。目前用于土壤肥力状况评价的方法很多,包括主成分分析法、土壤质量综合评分法等<sup>[18]</sup>,本研究主要根据茶园土壤养分分级标准,通过模糊数学模型的S型或抛物线型隶属度函数确定指标隶属度,并通过变异系数法计算各指标权重<sup>[19]</sup>,通过将单项肥力指标的权重与指标隶属度相乘后再相加得到土壤肥力综合指数。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。同时,评价指标权重的确定对于评价结果的可靠性会产生很大的影响。本研究选取土壤pH值、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷及速效钾8项土壤常规养分指标作为土壤肥力评价指标,但各指标对于土壤肥力的贡献不同,不宜直接比较其差别程度,因此采用变异系数法来确定评价指标的权重,变异系数法直接利用各项指标所包含的信息通过计算得到指标的权重,是一种客观赋权的方法<sup>[20]</sup>,它还可消除人为因素的干扰,具有合理性和实用价值。

### 4 结论

(1)勐海县各乡镇茶园pH在3.83~6.16范围内,6个乡镇(勐阿镇、勐海镇、勐遮镇、勐混镇、格朗和乡和布朗山乡)分别有78.43%、50.00%、85.29%、25.00%、80.00%和100.00%的土壤pH适合茶树生长,达到优质高产茶园的要求。茶园土壤有机质含量范围为20.88~101.80 g·kg<sup>-1</sup>,均达到Ⅰ级标准。

(2)勐海县各乡镇茶园全氮含量丰富,但有效氮含量不足,除勐混镇,其他各乡镇达到优质高产茶园土壤碱解氮含量的比例不超过30%;勐海县各乡镇全磷含量在0.32~3.40 g·kg<sup>-1</sup>之间,全磷含量整体较丰富,除布朗山乡外,其他各乡镇有效磷供应不足,仅勐阿镇和勐遮镇有15.69%和11.73%的土壤达到Ⅰ级标准;勐海县各乡镇茶园土壤全钾含量范围为0.23~64.26 g·kg<sup>-1</sup>,速效钾含量范围为35.54~396.35 mg·kg<sup>-1</sup>,钾素供应充足,仅勐阿镇和勐混镇分别有6.25%和20.00%土壤有效钾属于Ⅲ级标准。

(3)勐海县各乡镇土壤肥力综合指数(IFI)在

0.30~0.84之间,勐阿镇、勐遮镇、格朗和乡和布朗山乡有部分茶园土壤达到Ⅰ级和Ⅱ标准,勐海县各乡镇茶园土壤肥力等级主要分布在Ⅲ级和Ⅳ级,除布朗山乡外,其余乡镇均有超过60%茶园土壤处于中低肥力水平。

#### 参考文献:

- [1] 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):574-582. YANG Guang-rong, WANG Xiu-qing, XIE Jin, et al. Analysis of the relationship between soil nutrients and tea main quality components of ancient tea arboretum and modern tea garden in Yunnan Province[J]. *Journal of Tea Science*, 2015, 35(6):574-582.
- [2] 黄昌勇,徐建明.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2010. HUANG Chang-yong, XU Jian-ming. Soil science[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010.
- [3] 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(自然科学版),2018,33(5):925-933. WEN Ji-liang, ZHOU Yuan-qing, YANG Dong-hua, et al. Nutrient characteristics and assessment for the fertility quality of the tea plantation soils in Xiping County[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University(Natural Science)*, 2018, 33(5):925-933.
- [4] 高菲菲,李家华,祁文龙,等.云南省西双版纳州茶园土壤养分状况分析[J].土壤,2014,46(2):386-388. GAO Fei-fei, LI Jia-hua, QI Wen-long, et al. Analysis on soil nutrients of tea gardens in Xishuangbanna of Yunnan Province[J]. *Soils*, 2014, 46(2):386-388.
- [5] 师进霖,纳玲洁,宋云华,等.土壤肥力因子与茶叶品质的关系[J].中国农学通报,2005,21(4):97-100. SHI Jin-lin, NA Ling-jie, SONG Yun-hua, et al. Correlations of soil fertility factors with tea quality[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(4):97-100.
- [6] 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):1659-1663. XU Yan, SUN Yun-nan, YU Xiang-shuai, et al. Soil fertility diagnosis and evaluation of tea garden in Jinghong of Yunnan Province[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2016, 44(11):1659-1663.
- [7] 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 Yan-fang, HE Jun-yu, ZHANG Yan-chao, 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.
- [8] 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,2010,27(2):171-174. LI You-yong, LIANG Ming-zhi, XIA Li-fei, et al. Study on soil chemical constituents of the tableland tea garden in Yunnan Province[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 27(2):171-174.
- [9] 周宋芳,陈剑锋,朱兴正.勐海县茶产业发展现状与对策[J].现代农业科技,2008(8):51-52. ZHOU Song-fang, CHEN Jian-feng, ZHU Xing-zheng. Development status and countermeasures of tea industry in Menghai County[J]. *Xiandai Nongye Keji*, 2008(8):51-52.
- [10] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业出版社,2000:65-67. LU Ru-kun. Soil agricultural chemical analysis method[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000:65-67.
- [11] 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):286-291. ZHANG Xiao-qin, CHEN Juan, GAO Xiu-bing, et al. Analysis on pH and major soil nutrients of tea gardens in key tea producing areas of Guizhou[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 28(1):286-291.
- [12] 李欢,万青,胡振民,等.江苏茶叶主产区土壤养分空间分布特性[J].茶叶通讯,2019,46(2):170-176. LI Huan, WAN Qing, HU Zhen-min, et al. Analysis on spatial variation of soil nutrient in major tea producing regions of Jiangsu Province[J]. *Journal of Tea Communication*, 2019, 46(2):170-176.
- [13] 张玲玉,赵学强,沈仁芳.土壤酸化及其生态效应[J].生态学杂志,2019,38(6):1900-1908. ZHANG Ling-yu, ZHAO Xue-qiang, SHEN Ren-fang. Soil acidification and its ecological effects[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(6):1900-1908.
- [14] 尤雪琴,杨亚军,阮建云.田间条件下不同园龄茶树氮、磷、钾养分需求规律的研究[J].茶叶科学,2008,28(3):207-231. YOU Xue-qin, YANG Ya-jun, RUAN Jian-yun. Requirement on nitrogen, phosphorus and potassium by tea plants with different ages under field conditions[J]. *Journal of Tea Science*, 2008, 28(3):207-231.
- [15] 李静,夏建国.氮磷钾与茶叶品质关系的研究综述[J].中国农学通报,2005,21(1):62-75. LI Jing, XIA Jian-guo. Summary on nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K) and tea quality[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(1):62-75.
- [16] 王红娟,龚自明,刘明炎,等.夷陵区茶园土壤肥力及茶树营养状况分析[J].中国农学通报,2011,27(13):92-95. WANG Hong-juan, GONG Zi-ming, LIU Ming-yan, et al. Analysis of soil fertility and tea tree nutrition in Yiling district[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(13):92-95.
- [17] 翁伯琦,郑祥洲.现代农业发展过程中土壤肥力资源合理利用的思考与对策[J].农业资源与环境学报,2014,31(1):1-7. WENG Bo-qi, ZHENG Xiang-zhou. Thinking and countermeasures for rational utilization of soil fertility in modern agriculture developing[J]. *Journal of Agriculture Resource and Environment*, 2014, 31(1):1-7.
- [18] 陈长青,何园球,卞新民,等.基于特征向量的旱地连续种植模式土壤肥力综合评价[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):620-624. CHEN Chang-qing, HE Yuan-qiu, BIAN Xin-min, et al. Soil fertility comprehensive evaluation under continuous farming pattern on dry land base on eigenvector[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(4):620-624.
- [19] 吴登峰,任震震,戈春华.基于模糊数学模型的土壤肥力质量评价[J].水利科技与经济,2019,25(5):65-74. WU Deng-feng, REN Zhen-zhen, GE Chun-hua. Evaluation of soil fertility quality based on fuzzy mathematical model[J]. *Water Conservancy Science and Technology and Economy*, 2019, 25(5):65-74.
- [20] 郭明伟,杜洪艳.滨海盐土垦区土壤肥力评价研究[J].土壤通报,2014,45(4):978-983. GUO Ming-wei, DU Hong-yan. Evaluation of soil fertility in coastal saline reclamation area[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2014, 45(4):978-983.