

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2015.10.007

# 古茶园和现代茶园土壤养分与微生物数量的研究<sup>①</sup>

王秀青<sup>1</sup>, 李永梅<sup>1</sup>, 谢瑾<sup>2</sup>, 吕才有<sup>2</sup>, 杨广容<sup>2</sup>

1. 云南农业大学 资源与环境学院, 昆明 650201; 2. 云南农业大学 龙润普洱茶学院, 昆明 650201

**摘要:** 为揭示古茶园土壤肥力特征及其对土壤微生物的影响, 以森林土壤为对照, 对云南景迈山、布朗山和南糯山古茶园和现代茶园土壤表层(0~20 cm)的 pH 值, 阳离子交换量(CEC), 有机质(SOM)与氮磷钾养分分析和土壤微生物类群培养进行了研究. 结果表明: 茶园土壤 pH 值在 4.30~4.75 之间, 南糯山茶园和景迈山现代茶园的土壤 pH 值显著高于森林土壤, 布朗山古茶园的土壤 pH 值也显著高于现代茶园, 并且各茶园土壤的 CEC 均显著低于森林土壤; 3 座茶山古茶园土壤 SOM, 全氮(TN), 全磷(TP), 碱解氮和速效磷质量分数显著高于现代茶园; 茶树种植年限对茶园土壤 pH 值, CEC 和各养分质量分数没有一致性影响规律; 茶园土壤细菌、真菌和放线菌的数量普遍高于森林土壤, 并且微生物的总数量: 现代茶园高于古茶园, 但各微生物数量与茶园土壤养分质量分数之间相关性无统计学意义. 植茶和植茶年龄的增加并未加剧茶园土壤酸化, 茶园土壤酸化可能与土壤钾素营养水平关系密切; 与现代茶园相比, 古茶园良好的小气候环境、低强度生产模式和较小干扰栽培管理是古茶园土壤肥力持续利用和微生物群落多样性的基础, 将为现代茶园土壤管理和调控提供理论依据.

**关键词:** 古茶园; 森林; 现代茶园; 土壤特性; 微生物

**中图分类号:** S154.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2015)10-0043-08

茶树[*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze]是起源于热带和亚热带的多年生木本经济作物, 在长期适应热带和亚热带高温、高湿气候条件和土壤强淋溶生态环境的过程中, 形成了茶树适宜酸性土壤(pH 值为 4.0~5.5)的特性, 茶园土壤酸性环境造就了其特殊的微生物群落结构<sup>[1]</sup>. 茶园土壤微生物在土壤结构的形成与改良、有机质分解和腐殖质形成、养分转化和循环、有毒物质降解及净化等过程中起着极其重要的作用<sup>[2]</sup>. 很多研究表明, 随种植茶树年限的增加, 茶园土壤 pH 明显下降, Ca, Mg 等盐基离子和微量元素相对缺乏<sup>[3-4]</sup>, 而铝、氟和多酚类物质逐渐在茶园土壤中富集和累积<sup>[5]</sup>, 形成了独特的茶园土壤生态系统. Wang 等<sup>[6]</sup>和徐仁扣等<sup>[7]</sup>研究表明, 随着茶树种植年限增加, 茶园土壤逐渐酸化, 使茶园土壤微生物数量不断下降、群落多样性减少, 土壤酶活性降低、土壤有机质积累下降, 而影响茶园土壤氮磷钾及各种营养元素养分有效性与形态<sup>[8-11]</sup>, 导致茶园土壤肥力退化和养分失衡, 直接制约着茶园生产的可持续发展.

云南省古茶树分布达 133 km<sup>2</sup>, 其中集中成片、成林的古茶园达到 20~27 km<sup>2</sup>, 是中国乃至世界上保存古茶园面积最大、古茶树最多的省份<sup>[12]</sup>. 千百年来, 古茶园生态系统仍保持较高的生产能力, 与土壤肥力的自我维持密切相关<sup>[10-13]</sup>. 与现代茶园物种多样性丧失、土壤肥力退化及茶叶产量品质下降相比, 研究古茶园土壤肥力可持续具有十分重要的意义. 近年来, 为了保护和利用云南丰富的古茶树资源, 姜虹等<sup>[10]</sup>和梁志明等<sup>[14]</sup>对古茶园土壤化学特性、养分及酶质量分数进行了研究. 但是, 关于古茶园土壤微生物数量及群落结构与土壤特性、肥力持续性的研究尚未见报道. 本研究以云南代表性古茶山——景迈山、布朗山和南糯山的森林土壤为对照, 通过分析古茶园和现代茶园土壤微生物数量与土壤特性(pH, CEC)、有

① 收稿日期: 2014-11-20

基金项目: 云南省教育厅科研基金项目(2013Y464); 云南农业大学博士科研启动经费项目(A2002338).

作者简介: 王秀青(1989-), 女, 山西朔州人, 硕士研究生, 主要从事土壤养分及微生物的研究.

机质及氮磷钾养分质量分数变化关系,旨在揭示古茶园长期种植茶树对土壤肥力和微生物的影响,为现代茶园土壤肥力管理和调控提供理论依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤采样位点概况和取样

采样位点选取云南古茶园分布最具代表性的景迈山(大平掌)、布朗山(贺开村)和南糯山(半坡竹林小组)3大茶山的古茶园及其附近的现代茶园和森林土壤.各大茶山茶园均为生态茶园,除了景迈山和布朗山的现代茶园每年进行土壤翻耕外,其他茶园均处于免耕状况,所有茶园栽培管理均处于是不施肥和喷农药的有机茶园或是生态茶园.

土壤采样时间为2014年5月17至19日,各茶园处于云南雨季之前的春茶采摘末期,采样茶园的地理生态环境概况见表1.根据采样位点的地形条件,在20 m×20 m区域内,采用3~5点混合取样法,每个采样点沿着茶树树冠边缘垂直投影取样,适当清除地表的枯枝落叶,用土钻采集0~20 cm表层土壤,混合均匀,剔除杂质,取其中30~40 g土壤装入无菌聚乙烯封口袋内,即刻存放在冷藏采样箱中,当天采样结束置于0~20 °C冰箱中保存,2~3周内用于土壤微生物的培养实验;大部分土样24 h内室内自然风干,过2 mm或0.149 mm筛用于土壤pH,CEC及有效氮(碱解氮)、速效磷、速效钾及SOM, TN, TP,全钾(TK)测定.

表 1 茶园土壤采样点基本情况

茶山	茶园类型	植茶年龄	经度	纬度	海拔/m	坡度/°	光照强度/Lx	土壤含水	备 注
							12:00-14:00	量/%	
景迈山	森林	/	100°02'E	22°12'	1 416~1 422	18~32	251~358×10	19.2	
	现代茶园	<50年	100°00'E	22°12'	1 601~1 603	19~24	1 246~1 261×100	17.3	有机茶园遮阴树很少
	古茶园	>1 300年	100°00'E	22°11'	1 594~1 600	12~14	250~480×10	25.4	林下栽培型古茶园、成片集中分布,但不成行
布朗山	森林	/	100°29'E	21°48'	1 664~1 670	20~22	254~650×10	22.1	
	现代茶园	>60年	100°29'E	21°48'	1 594~1 597	14~24	1 014~1 316×100	24.2	老茶树树冠已经过台刈更新,茶园土壤偏沙性
	古茶园	>300年	100°29'E	21°47'	1 748~1 753	18~30	251~1 333×10	21.0	林下栽培型古茶园、成片集中分布,但不成行
南糯山	森林	/	100°36'E	21°56'	1 577~1 582	35~38	498~732×10	19.0	茶树为林下较平坦地方
	现代茶园	5~10年	100°36'E	21°56'	1 576~1 579	5~10	338~761×10	21.4	随机种植、分布稀疏,不成园
	古茶园	500~800年	100°36'E	21°56'	1 553~1 559	35~40	385~775×10	22.7	林下栽培型古茶园、成片集中分布,但不成行

### 1.2 土壤样品检测指标及方法

#### 1.2.1 土壤特性及养分质量分数分析

土壤pH值采用1:2.5土水(质量比)用玻璃复合电极法测定,阳离子交换量(CEC)用乙酸铵交换提取—蒸馏法;土壤有机质(SOM)用重铬酸钾容量法—外加热法,全氮(TN)用浓硫酸—双氧水消煮—凯氏定氮法;全磷(TP)用硫酸—双氧水消煮—钼锑抗比色法,全钾(TK)浓硫酸—双氧水消煮—火焰光度法;碱解氮用1 mol/L NaOH 碱解扩散法;速效磷用0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 溶液浸提—钼蓝比色法;速效钾用乙酸铵浸提—火焰光度法<sup>[15]</sup>.

#### 1.2.2 土壤微生物区系和数量的测定方法

土壤微生物群落测定采用10倍递增系列梯度稀释分离法,称取土样10 g,加入装有玻璃珠的90 mL 无菌

水中, 振摇 20 min, 制成  $10^{-1}$  g/mL 土壤稀释液, 再分别稀释得到  $10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}, 10^{-7}$  g/mL 土壤稀释液, 每个稀释梯度设 3 个重复. 所有操作在超净工作台上以无菌操作的方式进行.

土壤微生物数量测定采用稀释涂布平板菌落计数法, 其中细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基, 真菌采用马丁氏—孟加拉红培养基, 放线菌采用高氏 1 号培养基. 细菌在 28 °C 培养 3 d 计数、真菌在 28 °C 培养 5 d 计数、放线菌在 28 °C 培养 7 d 计数<sup>[16]</sup>.

### 1.3 数据处理与统计分析方法

用 SPSS 17.0 软件对数据进行分析, 采用单因素方差分析 (oneway-ANOVA) 和多重比较 (LSD) 法进行差异显著性检验和多重比较分析 ( $\alpha=0.05$  和 0.01). 此外, 对土壤微生物数量与土壤 pH, CEC 及各养分质量分数间的相关性进行分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 各茶园土壤化学性质

3 座茶山不同树龄的茶园土壤性质见表 2. 结合茶叶产地环境技术条件 (NY/T 853-2004)<sup>[17]</sup> 和优质、高效、高产茶园土壤营养诊断指标<sup>[11]</sup>, 将茶园土壤养分丰缺分为三级 (表 3). 土壤 pH 值 I 级表示酸化, II 级表示适中, III 级表示不适宜; 养分质量分数 I 级表示丰富, II 级表示适中, III 级表示缺乏. 根据茶园土壤分级标准, 除了现代茶园土壤全磷小于 0.4 g/kg 比较缺乏外, 其他营养指标均达到高产优质茶园的要求.

从总体上看各茶山现代茶园和古茶园土壤 pH 值在 4.30~4.75 之间, 除了景迈山古茶园土壤 pH 值  $4.30 < 4.5$  有酸化趋势外, 其他茶园的土壤 pH 值均大于 4.5, 处于适宜状态; 与森林土壤的 pH 值 4.43, 4.86 和 4.55 相比, 景迈山古茶园和布朗山茶园土壤 pH 值显著下降, 而南糯山茶园和景迈山现代茶园土壤的 pH 值则显著上升, 表明植茶和植茶年龄的增加不一定能导致茶园土壤酸化现象. 一般情况下, 土壤酸化导致土壤交换性盐基阳离子 (CEC) 质量分数降低<sup>[7]</sup>, 在此研究中, 除了景迈山古茶园外, 各茶园土壤的 CEC 均出现显著降低, 并且均表现为现代茶园的 CEC 显著低于古茶园.

同时, 与森林土壤相比, 3 座茶山古茶园土壤的有机质质量分数高达 87.34~104.06 g/kg, 显著高于森林土壤的 70.13~96.99 g/kg, 景迈山和布朗山的现代茶园土壤有机质质量分数分别为 58.39 和 55.40 g/kg, 显著低于森林土壤的 70.13~96.99 g/kg, 南糯山茶园土壤有机质均显著高于森林土壤.

表 2 茶园与森林表土 (0~20 cm) 基本化学性质 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

茶园类型	景迈山			布朗山			南糯山		
	森林	现代茶园	古茶园	森林	现代茶园	古茶园	森林	现代茶园	古茶园
pH(H <sub>2</sub> O/土, 2.5:1)	4.43±0.01B	4.64±0.02A	4.30±0.06C	4.86±0.01A	4.65±0.01C	4.75±0.03B	4.55±0.03C	4.75±0.03A	4.64±0.01B
CEC/(cmol·kg <sup>-1</sup> )	9.28±0.02B	8.43±0.06C	10.46±0.03A	18.41±0.06A	6.54±0.04C	12.81±0.28B	20.37±0.01A	14.61±0.29C	16.65±0.29B
SOM/(g·kg <sup>-1</sup> )	70.13±0.42B	58.39±0.27C	87.34±0.75A	96.99±2.72A	55.40±2.04B	101.18±1.05A	85.19±1.16C	100.28±0.42B	104.06±0.96A
TN/(g·kg <sup>-1</sup> )	1.36±0.01B	1.15±0.02C	1.55±0.03A	1.76±0.02B	0.84±0.01C	1.96±0.01A	2.07±0.01B	1.88±0.02C	2.44±0.01A
碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	112.07±2.23b	116.08±1.39a	110.03±2.05b	122.35±1.89B	87.14±1.64C	144.97±0.77A	150.69±0.81B	134.26±2.41C	172.03±1.45A
TP/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.19±0.01C	0.34±0.01B	0.54±0.01A	0.86±0.06A	0.29±0.06C	0.63±0.06B	0.92±0.01A	0.46±0.00C	0.71±0.01B
速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	7.05±0.41C	10.86±0.49B	19.19±0.62A	45.68±0.58A	7.63±0.23C	20.81±0.11B	48.65±0.49A	16.03±0.19C	20.42±1.18B
TK/(g·kg <sup>-1</sup> )	1.62±0.35B	6.30±0.00A	2.43±0.35B	12.61±0.36A	7.73±0.35C	9.15±0.35B	3.04±0.35C	8.13±0.00A	4.67±0.35B
速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )	104.12±2.33B	145.77±2.33A	106.81±4.03B	359.36±0.24A	151.14±4.03C	227.71±4.03B	114.87±4.03C	210.25±2.33A	137.71±2.33B
C:N	29.86±0.16B	29.39±0.52B	32.61±0.59A	31.99±0.65B	38.06±1.14A	29.88±0.09B	23.82±0.43C	30.94±0.39A	26.89±0.16B

注: 不同大写字母表示同一茶山不同土壤间的差异有统计学意义 ( $p < 0.01$ ), 不同小写字母表示同一茶山不同土壤间的差异有统计学意义 ( $p < 0.05$ ).

表 2 表明, 除了景迈山 3 种土壤的碱解氮质量分数现代茶园显著高于森林和古茶园土壤外, 每座茶山 3 种土壤的 TN 和碱解氮质量分数由大到小为古茶园, 森林, 现代茶园, 并且差异均有统计学意义; 各茶山 3 种土壤的 TP 和速效磷质量分数差异也有统计学意义, 但变化趋势不相同, 景迈山的 TP 和速效磷质量分数由大到小为古茶园, 现代茶园, 森林, 而布朗山和南糯山的 TP 和速效磷质量分数变化由大到小均为森林, 古茶园, 现代茶园. 这可能于景迈山成土母质磷质量分数较为贫乏有关, 其森林土壤的 TP 和速效磷质量分数仅为 0.19 g/kg 和 7.05 mg/kg. 3 座茶山的 TK 和速效钾质量分数丰富, 并且各座茶山 3 种土壤的

TK 和速效钾质量分数差异有统计学意义,但变化规律完全相反,其中,景迈山的 TK 和速效钾质量分数由大到小依次为现代茶园,古茶园,森林;布朗山则为森林,古茶园,现代茶园;南糯山为现代茶园,古茶园,森林,主要是因为各茶山森林土本身的 TK 和速效钾质量分数较大。

通常微生物分解有机质对土壤 C:N 需求在 20~25:1,如果土壤碳氮比过大,微生物的分解作用就慢,而且要消耗土壤中的有效态氮素.从表 2 看,除了景迈山现代茶园的 C:N 略低于森林土壤外,各茶园土壤的 C:N 均显著高于森林土壤,尤其是布朗山上的现代茶园土壤 C:N 高达 38.06,表明土壤微生物与茶树(或古茶树)存在竞争氮素的现象.

表 3 茶园土壤养分分级标准

养分种类	土壤养分分级标准		
	I 级	II 级	III 级
pH	<4.5	4.5~5.5	>5.5
SOM/(g·kg <sup>-1</sup> )	>20	15~20	<15
TN/(g·kg <sup>-1</sup> )	>1.0	0.8~1.0	<0.8
TP/(g·kg <sup>-1</sup> )	>1.0	0.4~1.0	<0.4
TK/(g·kg <sup>-1</sup> )	>10	5.0~10	<5.0
碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>100	80~100	<80
速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>20	5.0~20	<5.0
速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>120	80~120	<80

## 2.2 各茶园土壤微生物群落及数量

3 座茶山的各类茶园土壤主要微生物类群及数量见表 4. 景迈山现代茶园细菌数量与森林土之间没有显著差异,但古茶园土壤细菌数量显著高于森林和现代茶园土壤;布朗山和南糯山的 3 类土壤细菌数量差异均有统计学意义,并且细菌数量变化趋势相同,由大到小依次为现代茶园,古茶园,森林.

表 4 茶园与森林表土(0~20 cm)土壤微生物类群及数量

茶园类型		细菌/ ( $\times 10^6$ cfu·g <sup>-1</sup> )	真菌/ ( $\times 10^3$ cfu·g <sup>-1</sup> )	放线菌/ ( $\times 10^7$ cfu·g <sup>-1</sup> )
景迈山	森林	11.47±0.38bB	6.77±0.35b	3.63±0.32bB
	现代茶园	10.93±0.25bB	5.23±0.64b	3.70±0.36bB
	古茶园	18.37±1.33aA	7.50±0.30a	13.87±0.60aA
布朗山	森林	3.07±0.40cC	5.80±0.60	1.13±0.29cB
	现代茶园	25.57±0.50aA	6.03±0.96	5.27±0.68aA
	古茶园	17.63±0.55bB	7.40±0.300	4.1±0.72bA
南糯山	森林	7.23±0.31cC	5.53±0.15cC	3.97±0.50cC
	现代茶园	25.03±0.12aA	7.80±0.96bB	19.13±0.68aA
	古茶园	13.87±0.15bB	14.97±0.21aA	7.47±0.61bB

注:不同大写字母表示同一茶山不同土壤间的差异有统计学意义( $p < 0.01$ ),不同小写字母表示同一茶山不同土壤间的差异有统计学意义( $p < 0.05$ ).

由表 4 可知,3 座茶山的古茶园土壤真菌数量均比现代茶园和森林土壤多,其中景迈山古茶园土壤真菌数量显著高于现代茶园和森林土壤;布朗山 3 种土壤类型的真菌数量差异无统计学意义;南糯山的 3 种土壤真菌数量差异有统计学意义,并且与布朗山的真菌数量变化规律相同,由大到小依次为古茶园,现代茶园,森林.

此外,各茶山不同土壤的放线菌数量差异均有统计学意义,景迈山古茶园土壤放线菌数量显著高于现代茶园和森林土壤,但是现代茶园和森林土壤之间放线菌数量相接近,分别为  $3.70 \times 10^7$  和  $3.63 \times 10^7$  cfu/g,其变化趋势与细菌和真菌相似;布朗山茶园土壤的放线菌数量显著大于森林土壤,但是古茶园和现代茶园土壤的放线菌数量差异无统计学意义;南糯山茶园土壤的放线菌数量变化趋势则与景迈山相反为现代茶园,古茶园,森林.

## 2.3 茶园土壤性质之间及其与微生物数量间相关性

茶园土壤特性和微生物类群数量的相关性分析见表 5 和表 6. 尽管在表 2 中, 植茶和植茶年龄的增加, 茶园土壤的 pH 值有下降趋势, 但是南糯山各茶园和景迈山现代茶园土壤的 pH 值则显著升高, 表明植茶和植茶年龄的增加不是导致茶园土壤酸化主要诱因. 茶园土壤 pH 仅与全钾和速效钾呈极显著相关 ( $r = 0.91$  和  $0.82$ ,  $p < 0.01$ ), 说明茶园土壤酸化可能与土壤钾营养水平关系密切. CEC 则与土壤 SOM, TN, 碱解氮, TP 和速效磷营养呈显著正相关 ( $r > 0.70$ ,  $p < 0.01$ ). 此外, 各茶园土壤间除了 TN, TP, TK 与其有效量之间具有极显著正相关关系, C : N 与 CEC, TN 和碱解氮呈显著负相关关系外, 其他养分之间相关无统计学意义.

表 5 茶园土壤养分之间相关性 ( $n=9$ )

变量	pH	CEC	SOM	TN	C : N	TP	TK	碱解氮	速效磷
CEC	0.35								
SOM	0.31	0.73*							
TN	0.21	0.86**	0.91**						
C : N	0.07	-0.77*	-0.40	-0.73*					
TP	0.31	0.91**	0.66	0.76*	-0.53				
TK	0.91**	0.18	0.25	0.02	0.37	0.26			
碱解氮	0.24	0.75*	0.75*	0.93**	-0.81**	0.65	-0.05		
速效磷	0.28	0.88**	0.47	0.59	-0.48	0.93**	0.25	0.43	
速效钾	0.82**	0.38	0.43	0.19	0.21	0.41	0.93**	0.04	0.44

注: \* 和 \*\* 表示有统计学意义, 达到 0.05 和 0.01 水平 [ $r = 0.70$  ( $p < 0.05$ ),  $r = 0.81$  ( $p < 0.01$ ),  $n = 9$ ].

表 4 已表明, 植茶和植茶年龄增加, 各茶山茶园土壤主要微生物细菌、真菌和放线菌数量呈普遍增长趋势; 表 6 进一步表明, 各微生物类群数量与土壤各养分之间的相关均未达到统计学意义, 其中细菌数量与土壤 pH, CEC 和土壤各养分之间为负相关, 仅与 C : N 为正相关, 并且细菌数量与土壤 C : N ( $r = 0.56$ ), CEC 和 TP ( $r = -0.53$ ), 速效磷 ( $r = -0.66$ ) 的相关程度较其他土壤养分高; 真菌数量变化趋势则与细菌相反, 与土壤 CEC 和各土壤养分间为正相关, 与 C : N 为负相关, 并与土壤 SOM, TN 和碱解氮之间关系比较密切; 放线菌数量则与土壤 pH, CEC, TP, 速效磷, TK 和速效钾养分为负相关, 与土壤 SOM, TN 和碱解氮为正相关, 但相关性均处于比较低水平.

表 6 茶园土壤养分与微生物数量相关性 ( $n=9$ )

变量	pH	CEC	SOM	TN	C : N	TP	TK	碱解氮	速效磷	速效钾
细菌	-0.08	-0.53	-0.10	-0.29	0.56	-0.53	-0.18	-0.28	-0.66	-0.26
真菌	-0.01	0.24	0.54	0.55	-0.26	0.17	-0.18	0.65	-0.14	-0.16
放线菌	-0.21	-0.05	0.32	0.17	0.13	-0.16	-0.16	0.04	-0.28	-0.19

## 3 讨论

### 3.1 植茶对茶园土壤特性的影响

与森林土壤相比, 3 座茶山茶园土壤特性发生显著改变, 尽管各茶园的土壤 pH, CEC 和各种养分质量分数变化趋势不相同, 但从总体上看, 随着茶树种植年龄的增加, 茶园土壤 pH, CEC 质量分数均有下降趋势, 但茶园土壤酸化不明显; 各茶园土壤 SOM, TN, TP, 碱解氮和速效磷随树龄而增加, 而速效钾, C : N 有降低趋势 (表 2), 这与薛冬等<sup>[2]</sup>和俞慎等<sup>[5]</sup>和徐仁扣等<sup>[7]</sup>研究结果一致, 他们研究表明, 随着茶园植茶年龄的增加, 茶树凋落物、根系分泌物归还土壤, 茶园土壤有机碳、全氮、速效磷、碱解氮逐年增加, 而速效钾, C : N 在降低, 同时, 薛冬等<sup>[2]</sup>研究还表明, 茶园土壤矿化和硝化作用并不与有机碳同步增加, 并与土壤微生物学性质有密切联系, 茶园土壤的净硝化量也远远高于林地土壤. 在本研究中, 除了南糯山现代茶园土壤的 SOM 高于森林土壤外, 现代茶园土壤的 SOM, TN 和碱解氮质量分数均低于森林土壤, 古茶园土壤的 SOM, TN 和碱解氮质量分数则高于森林土壤, 这可能与茶园土壤的养分矿化和硝化作用有关.

同时,本研究中景迈山古茶园土壤的  $CEC$  高于森林土壤;布朗山现代茶园的  $SOM$ , 碱解氮和各茶园土壤  $TP$  和速效磷,  $TK$  和速效钾低于森林土壤;南糯山的现代茶园和古茶园土壤  $pH$  值均高于森林土壤等相反的变化,这可能与茶园土壤母质和森林或古茶园与现代茶园的小气候环境如光照、茶园内部空气湿度、土壤水分和温度等有关。本研究中景迈山森林土壤的  $CEC$ ,  $TP$  和速效磷明显低于其他两座茶山,而布朗山森林土壤的  $TK$  和速效钾质量分数及土壤  $C:N$  明显高于其他两座茶山(表 2);南糯山的现代茶园气候与古茶园较为接近,均为林下稀疏分布的茶园,茶园内部光照强度及土壤含水量均与森林和古茶园相近,而景迈山和布朗山的现代梯田茶园茶树集约化种植、极少有遮阴树,光照强度是古茶园的数十倍(表 1),其茶园土壤茶树根系分布密集程度及其分泌物对土壤理化特性的影响均强于南糯山现代茶园。张一平等<sup>[18]</sup>研究表明,古茶园由于有高大树木遮蔽,减弱了阳光的直接照射,其冠顶光照强度远小于常规茶园和旷地,茶园内部气温和土温昼夜温差小,湿度适中,而现代茶园日间光照强,气温和地表温较高,因此茶树蒸腾和地表蒸发作用较强,空气湿度低。这些茶园小气候条件必然对茶园土壤生态环境产生影响。段小华等<sup>[19]</sup>研究也表明,茶园长期种植的茶树凋落物归还和根系分泌物及其本身的植物特性将对茶园土壤  $pH$  值和一些营养元素的积累与吸收产生影响。

### 3.2 植茶对茶园土壤微生物类群和数量的影响

茶园土壤微生物具有固氮、释钾、解磷和分解有机物质以及增强土壤保湿性等优点,能有效调节茶园小气候,促进茶芽萌发和茶树次生代谢,减少茶树病虫害,明显提高茶青产量和茶叶品质,因此,茶园土壤微生物的群落组成以及数量反映了土壤肥力状况。大量研究已表明,茶园土壤特性及微生物数量随着植茶年龄的增加发生变化<sup>[2, 5, 20-21]</sup>。章家恩等<sup>[22]</sup>和邓欣等<sup>[23]</sup>研究表明,茶园土壤微生物数量显著多于稻田、林地、旱地的数量,说明茶园的土壤生态条件和土壤肥力更适合于土壤微生物的生存和繁殖,但不同类型茶园土壤微生物总数存在较大的差异,凡是土层深厚、土质疏松、物理性能较好、有效养分较丰富、茶树栽培时间长的茶园土壤微生物数量较丰富。本研究结果与上述研究结果相一致。除景迈山现代有机茶园外,3 座茶山各茶园土壤的微生物总量均高于森林土壤(表 4),并且古茶园土壤的真菌数量高于现代茶园(表 6),主要是古茶园处于原始森林遮蔽下,常年落叶量大,土壤表面有机质丰富,茶树分布相对稀疏、处于免耕状态,人为干扰少,有利于茶园土壤形成良好的微生物生态系统。李楠等<sup>[24]</sup>研究表明:常规耕作降低了土壤有机碳(即本研究中有机质)的质量分数,垄作免耕则能有效地保护土壤中的有机碳,张维等<sup>[25]</sup>对水稻田耕作影响研究表明,稻田垄作免耕能显著提高耕层土壤微生物的数量。关于古茶园免耕对土壤养分及微生物分布的影响目前尚无报道,有待于今后深入研究。

前人研究表明,茶园土壤微生物的数量与很多因素有关,如:土壤质地、成土母质、有机质质量分数、土壤  $pH$  值、施肥种类、种植年限、不同取样季节等<sup>[26]</sup>。本研究也表明各茶园土壤细菌、真菌和放线菌数量虽然与土壤特性及养分质量分数的相关性无统计学意义,但细菌数量与土壤  $C:N$ ,  $CEC$ ,  $TP$  和速效磷,真菌数量与土壤  $SOM$ ,  $TN$  和碱解氮的相关系数达到 0.5 以上(表 6)。3 座茶山微生物数量较多的细菌和放线菌数量普遍为:现代茶园多于古茶园,只有数量相对较少的真菌古茶园多于现代茶园,这与杨扬等<sup>[21]</sup>研究结果:3 类微生物总数量由多到少为 20 年生茶园,4 年生茶园,38 年生茶园,真菌在根际随茶树种植年限越长酸性增加而增加的变化趋势相似,原因可能与真菌喜酸性、放线菌喜碱性环境密切相关。

Pandey 等<sup>[27]</sup>对茶园生态系统中微生物研究发现,茶树根系能够抑制微生物的生长,茶树枯枝落叶也包含抗微生物物质,茶园土壤较低的  $pH$  值会引起铝毒,这些限制因子均导致了土壤微生物种类和数量的减少,在本研究中由于古茶园土壤  $pH$  值均在 4.3 以上的适宜范围,茶园土壤各类微生物的总数量与森林土壤相比并未减少。总之,茶园土壤中不同微生物种群数量变化受多种因素的影响,除直接受土壤中  $SOM$  质量分数和  $C:N$  影响外,还与茶树根系分布及其分泌物、成土母质和茶园小气候环境等造成土壤微生态环境改变的因子密切相关,有待于今后进一步研究。

## 4 结 论

1) 各茶园土壤  $pH$  值在 4.30~4.75 之间,处于适宜状态,南糯山各茶园和景迈山现代茶园的土壤  $pH$

值与森林土壤相比显著升高,布朗山古茶园的土壤 pH 值也高于现代茶园,表明植茶和植茶年龄的增加不一定导致茶园土壤酸化,茶园土壤酸化与 TK 和速效钾质量分数关系密切。

2) 古茶园土壤 SOM, TN, TP, 碱解氮和速效磷质量分数普遍高于现代茶园,古茶园良好的小气候环境、低强度生产模式和较少干扰的茶园栽培管理有利于茶园土壤肥力的可持续性利用。

3) 茶园土壤细菌、真菌和放线菌的数量均高于当地的森林土壤,并且以放线菌数量最多、细菌次之,真菌数量最少,茶园土壤微生物的总数量现代茶园多于古茶园,但茶园土壤 3 大类微生物数量变化与茶园土壤养分质量分数间相关性无统计学意义。

## 参考文献:

- [1] 王世强,胡长玉,程东华,等. 调节茶园土壤 pH 对其土著微生物区系及生理群的影响 [J]. 土壤学报, 2011, 43(1): 76—80.
- [2] 薛冬,姚槐应,黄昌勇. 不同利用年限茶园土壤矿化、硝化作用特性 [J]. 土壤学报, 2007, 44(2): 374—378.
- [3] CHENERY E M. A Preliminary Study of Aluminium and the Tea Bush [J]. Plant and Soil, 1955, 6(2): 174—200.
- [4] DONG Xue, HUANG Xiang-dong, YAO Huai-ying, et al. Effect of Lime Application on Microbial Community in Acidic Tea Orchard Soils in Comparison with Those in Wasteland and Forest Soils [J]. Journal of Environmental Sciences, 2010, 22(8): 1253—1260.
- [5] 俞慎,何振立,陈国潮,等. 不同树龄茶树根层土壤化学特性及其对微生物区系和数量的影响 [J]. 土壤学报, 2003, 40(3): 433—439.
- [6] WANG H, XU R K, WANG N, et al. Soil Acidification of Alfisols as Influenced by Tea Cultivation in Eastern China [J]. Pedosphere, 2010, 20(6): 799—806.
- [7] 徐仁扣,赵安珍,姜军. 酸化对茶园黄棕壤 CEC 和粘土矿物组成的影响 [J]. 生态环境学报, 2011, 20(10): 1395—1398.
- [8] 刘炳君,杨扬,李强,等. 调节茶园土壤 pH 对土壤养分、酶活性及微生物数量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39(32): 19822—19824.
- [9] 章明奎,方利平,张履勤. 酸化和有机质积累对茶园土壤铅生物有效性的影响 [J]. 茶叶科学, 2005, 25(3): 159—164.
- [10] 姜虹,沙丽清. 云南澜沧县景迈古茶园土壤养分和土壤酶活性研究 [J]. 茶叶科学, 2008, 28(3): 214—220.
- [11] 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园专用肥的研制 [J]. 茶叶科学, 2002, 22(1): 70—74.
- [12] 许玫,王平盛,唐一春,等. 中国云南古茶树群落的分布和多样性 [J]. 西南农业学报, 2006, 19(1): 123—126.
- [13] 齐丹丹,郭辉军,崔景云,等. 云南澜沧县景迈古茶园生态系统植物多样性评价 [J]. 生物多样性, 2005, 13(3): 221—231.
- [14] 梁名志,李友勇,马伟,等. 云南古茶园土壤化学成分研究 [J]. 西南农业学报, 2010, 23(1): 119—122.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2005: 30—86, 106—163.
- [16] 许光辉,郑洪元. 土壤微生物分析方法手册 [M]. 北京: 农业出版社, 1986: 102—125.
- [17] 中华人民共和国农业行业标准. 茶叶产地环境技术条件(NY/T, 853-2004) [S]. 2005.
- [18] 张一平,刘洋. 云南古茶园与常规茶园小气候特征比较研究 [J]. 华南农业大学学报, 2005, 26(2): 17—21.
- [19] 段小华,邓泽远,胡小飞,等. 模拟酸雨和外源铝对茶树铝及一些营养元素吸收积累的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2010, 19(10): 1936—1942.
- [20] 谢光新,张荣先,黄雪飞,等. 不同生长年限茶树根际微生物分布的差异 [J]. 湖北农业科学, 2012, 51(15): 3177—3179.
- [21] 杨扬,刘炳君,房江育,等. 不同植茶年龄茶树根际与非根际土壤生物及酶活性特征研究 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(27): 118—121.
- [22] 章家恩,刘文高,朱丽霞. 广东省不同地区土壤微生物数量状况初步研究 [J]. 生态科学, 2002, 21(3): 223—225.
- [23] 邓欣,谭济才,尹丽蓉,等. 不同茶园土壤微生物数量状况调查初报 [J]. 茶叶通讯, 2005, 32(2): 7—9.
- [24] 李楠,蒋先军,曹良元. 不同形态的有机碳在土壤团聚体中的分布及耕作的影响 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2009, 31(3): 126—130.

- [25] 张 维, 蒋先军, 胡 宇, 等. 微生物群落在团聚体中的分布及耕作的影响 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2009, 31(3): 131—135.
- [26] 周才碧, 陈文品. 茶园土壤微生物的研究进展 [J]. 中国茶叶, 2014(3): 14—15.
- [27] PANDEY A, PAINI L M S. The Rhizosphere Effect of Tea on Soil Microbes in a Himalayan Monsoonal Location [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1996, 21: 131—137.

## Study on Soil Nutrients and Quantity of Microbial Community of Ancient Tea Arboretums and Modern Tea Gardens

WANG Xiu-qing<sup>1</sup>, LI Yong-mei<sup>1</sup>, XIE Jin<sup>2</sup>,  
LÜ Cai-you<sup>2</sup>, YANG Guang-rong<sup>2</sup>

1. College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. College of Longrun Pu-erh Tea, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China

**Abstract:** A study was made to reveal soil fertility characteristics of ancient tea arboretums and their effects on the community of soil microbes so as to provide useful information for soil management in modern tea gardens. In some modern tea gardens and ancient tea arboretums of the Jingmai Mountains, the Bulang Mountains and the Nannuo Mountains in Yunnan Province, soil pH, cation exchange capacity (CEC), soil organic matter (SOM) and the contents of nitrogen, phosphorus and potassium of the surface soil (0—20 cm) were determined, with the forest soils as the control. Tea garden soil pH was shown to range from 4.30 to 4.75, and soil pH of tea gardens in the Nannuo Mountains and of modern tea gardens in the Jingmai Mountains was significantly higher than that of forest soils; and in the Bulang Mountains, soil pH of ancient tea arboretums was significantly higher than that of modern tea gardens. The CEC of tea garden soil was significantly lower than that of forest soils. The SOM, total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), alkali-hydrolyzable nitrogen and available phosphorus (Olsen-P) contents of ancient tea arboretums were significantly higher than those of modern tea gardens of the three mountains, No consistent effects were detected of the age of tea planting on soil pH, CEC and nutrient contents. The numbers of tea garden soil bacteria, fungi and actinomycetes were higher than the forest soil, and the total amounts of tea garden soil microorganisms appeared in the order of modern tea gardens > ancient tea arboretums, but the correlation was not significant between the quantities of the three types of soil microbes and nutrient contents of tea garden soil. Tea planting and the increase in tea garden age did not increase soil acidification, and tea garden soil acidification may be closely related to the level of soil potassium nutrition. Compared with modern terrace tea gardens, ancient tea arboretums have better microclimate environment, a production mode of lower intensity and lighter human interference of cultivation and management, which is the foundation for their sustainable utilization and microbial community diversity.

**Key words:** ancient tea arboretum; forest; modern tea garden; soil property; microbe

