

配施有机肥对茶园土壤性状及茶叶产质量的影响^①

吴志丹¹, 尤志明^{1*}, 江福英¹, 王峰¹, 翁伯琦²

(1 福建省农业科学院茶叶研究所, 福建福安 355015; 2 福建省农业科学院农业生态研究所, 福州 350013)

摘要:通过连续4年(2009—2012)的田间定位试验,研究了配施不同比例有机肥对茶园土壤性状及茶叶产、质量的影响,筛选了适宜茶园的施肥结构。结果表明:配施有机肥显著提高茶园土壤pH,有效阻控茶园土壤酸化;提高茶园土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量,提高幅度随着有机肥施用比例的增加而增加。配施有机肥处理土壤微生物生物量碳(SMBC)、氮(SMBN)分别比对照处理提高41.70%~72.23%和49.66%~75.63%,土壤微生物商(SMBC/SOC)和微生物生物量氮占土壤总有机氮的比例(SMBN/TN)分别比对照处理提高38.46%~43.85%和16.84%~72.96%;土壤基础呼吸量以全量施用有机肥处理最低,75%有机肥配施25%化肥处理最高;配施有机肥处理土壤呼吸商比对照处理降低20.94%~50.12%。适当的施肥结构促进茶树生长和提高茶叶品质,茶叶产量及品质以25%~50%有机肥配施75%~50%化肥处理较优。综合施肥结构对土壤基础性状、生物学性状和茶叶产量品质的影响,初步认为25%~50%有机肥配施75%~50%化肥(以氮素投入量计)是茶园系统较优的有机肥配施模式。

关键词:施肥模式;土壤性状;土壤微生物量;茶叶产量;茶叶品质

中图分类号:S141

茶叶是我国重要的经济作物之一,茶叶生产在我国区域经济和社会发展中占有重要地位。合理施肥是调控茶树生长和促进茶叶产量、品质形成的重要措施之一^[1-2],同时也显著影响土壤质量及其可持续发展^[3-4]。施肥制度不同,土壤微生物种群、数量和活性不同,导致土壤生物肥力不同,而这种差异又会对土壤结构、肥力和生产力产生重要影响。林斯等^[5]研究表明,“无机肥+有机肥+豆科绿肥”培肥模式的茶叶产量和茶叶营养物质累积量最大,促进茶园生态系统生产力提升;徐华勤等^[4]研究表明,配施有机肥茶园土壤微生物生物量碳和有效态养分均有明显提升,有机肥和化肥配合施用更有利于提高土壤肥力。目前虽然就茶园施肥结构进行了一定的研究,但关于有机肥在茶园中适宜的施用比例仍不清楚。有机肥的精细化、高效化投入是茶园土壤培肥的研究方向。

发酵床养猪作为一种有机农业生产技术,即猪在发酵床上生长,猪粪污被发酵床垫料中的微生物吸收分解,粪尿免清理,猪舍无臭味,在国内得到广泛的推广应用^[6]。但针对用后废弃发酵床垫料,尚无良好的处理方法^[7]。为此,本研究设置了养猪场发酵床垫

料有机肥替代化肥茶园应用长期定位试验,评价发酵床垫料茶园施用对土壤性状及其茶叶产量品质的影响,研发区域茶园适宜的有机无机肥料配施模式,以为养猪场发酵床垫料的资源化利用和茶树绿色高效栽培提供理论基础和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本研究试验地位于福建省寿宁县武曲镇国营龙虎山茶场,地理位置119°34'E,27°14'N,海拔163 m,属中亚热带季风气候区,年均降雨量1646 mm,年无霜期285天,年平均温度19.3℃;土壤系花岗岩风化的红壤,试验前(2008年11月取样)茶园0~20 cm土层土壤pH 4.15,有机质24.25 g/kg,全氮1.04 g/kg,碱解氮112.70 mg/kg,有效磷(Olsen-P)18.43 mg/kg,速效钾132.10 mg/kg。茶树定植于2006年冬天,品种为紫牡丹,种植密度为行距1.5 m,株距0.3 m。

1.2 试验设计

试验采用各处理等氮量投入,2009年、2010年(茶树幼龄期)每年施氮量150 kg/hm²,2011年、2012

基金项目:国家科技支撑计划项目(2014BAD15B01)、福建省公益类科研院所专项(2014R1012-7)和福建省农业“五新”工程项目(2013)资助。

* 通讯作者(youzm@faas.cn)

作者简介:吴志丹(1983—),男,福建安溪人,硕士,助理研究员,主要从事茶树栽培生理生态研究。E-mail: 1269182@qq.com

年(茶树开采期)每年肥料用量为施氮量 300 kg/hm²。设计有机肥和化肥不同配施比例,共 5 个处理,分别为对照 CK:0% 有机肥+100% 化肥(全量施用化肥),磷肥(P₂O₅)每年用量 150 kg/hm²,钾肥(K₂O)每年用量 150 kg/hm²;M1:25% 有机肥+75% 化肥,采用有机肥替代 25% 的化肥,化肥用量为 CK 的 75%;M2:50% 有机肥+50% 化肥,采用有机肥替代 50% 的化肥,化肥用量为 CK 的 50%;M3:75% 有机肥+25% 化肥,采用有机肥替代 75% 的化肥,化肥用量为 CK 的 25%;M4:100% 有机肥+0% 化肥,采用有机肥完全替代化肥,有机肥施用量与 CK 氮肥施用量相同。试验开始于 2008 年 11 月(即 2009 年度基肥),小区面积 30 m²,随机区组排列,3 次重复。有机肥料种类为养猪场发酵床垫料,肥料有机质含量(干基,下同)688 g/kg,全氮 13.3 g/kg,全磷(P₂O₅)12.1 g/kg,全钾(K₂O)10.1 g/kg;化肥种类为尿素、硫酸钾和过磷酸钙。各处理中,有机肥和磷肥均在每年 11 月下旬作为基肥一次性施用,化学氮肥和钾肥分基肥(占年化肥施用总量的 40%,11 月下旬)、催芽肥(30%,3 月上旬)、秋茶追肥(30%,8 月中下旬)的比例结合茶树生长与营养特征在距离茶行 20 cm 处开宽约 10 cm 深 5~10 cm 浅沟施用。茶园其他管理措施一致。

1.3 研究方法

1.3.1 土壤取样 土壤取样时间为 2012 年 11 月(基肥施用前),取样深度 20 cm(茶园中耕深度为 15~20 cm);每个土壤样品由 6 个样点组成,6 个样点在小区内随机分布,每个样点取 4 个钻,分布于茶树间、距离茶树基部 20、40、60 cm 处^[8],同小区土壤样品混匀过 2 mm 筛,平均分成两份,一份鲜样用于土壤微生物量碳(SMBC)、氮(SMBN)和基础呼吸测定,一份风干过筛用于土壤基础性状测定。

1.3.2 测试方法 土壤微生物生物量碳、氮采用氯仿熏蒸 K₂SO₄ 提取-TOC/N 仪测定;土壤基础呼吸测定采用室内密闭培养法,用 NaOH 溶液作为 CO₂ 吸收溶液,用标准酸滴定;土壤有机质采用重铬酸钾

氧化容量法-外加热法,全氮采用半微量开(凯)氏定氮法,碱(水)解氮采用碱解扩散法,有效磷用碳酸氢钠提取-钼锑抗比色法(Olsen-P),速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度计法,pH 采用水浸提($m_{*} m_{\pm}=2.5 1$),复合电极法^[9]。采用平方尺调查框调查茶树芽头密度,采用钢尺测量茶行宽度;全小区采摘测产;采摘鲜叶同处理混合,统一采用闽南乌龙茶加工工艺制成茶进行感官审评,按香气(50%)、滋味(50%)计算综合品质得分。

1.3.3 数据处理方法 数据统计分析在 DPS6.85 和 Microsoft Excel 2003 软件中进行,处理间平均数的比较采用最小显著差数法(LSD),图表中的数据均采用平均值±标准差(M±SD)表示,差异显著水平为 P<0.05;绘图采用 Microsoft Excel 2003 软件。

2 结果与分析

2.1 配施有机肥对茶园土壤基本性状的影响

有机肥料施用为土壤提供了有机碳源增加微生物活性,促进土壤有机碳和养分的转化,提高土壤养分含量^[10-11]。从表 1 可以看出,与纯化肥施用处理(CK)相比,配施有机肥可以明显提高茶园土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量,提高幅度随着有机肥料施用比例的增加而增大。连续 4 年配施有机肥料,土壤有机质和全氮分别比 CK 处理提高 3.00%~22.74% 和 2.48%~32.23%,其中全量施用有机肥料处理(M4)与 CK 处理差异显著(表 1);土壤碱解氮含量提高 2.95%~18.53%,但与 CK 处理差异不显著;土壤有效磷含量提高 34.15%~233.50%,其中 M3、M4 处理与 CK 处理差异显著;土壤速效钾含量提高 15.69%~56.63%,其中 M4 处理与 CK 处理差异显著。

从表 1 还可以看出,配施有机肥处理在提高土壤养分含量的同时提高茶园土壤 pH,连续 4 年配施有机肥料处理土壤 pH 比 CK 处理提高 0.22~0.72 单位,提高幅度随着有机肥料施用比例的增加而增大。

表 1 配施有机肥对茶园土壤基本性状的影响
Table 1 Effects of application of chemical fertilizer with organic manure on soil properties

处理	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	pH
CK	27.17 ± 2.21 b	1.21 ± 0.08 b	109.79 ± 16.95 a	19.97 ± 3.36 c	133.39 ± 20.85 b	3.93 ± 0.12 c
M1	27.99 ± 2.18 b	1.24 ± 0.09 b	113.03 ± 11.85 a	26.79 ± 0.89 bc	154.32 ± 19.69 ab	4.15 ± 0.10 bc
M2	28.21 ± 2.37 b	1.29 ± 0.02 b	114.65 ± 10.10 a	42.84 ± 15.29 bc	168.88 ± 38.25 ab	4.17 ± 0.17 bc
M3	29.97 ± 1.41 ab	1.39 ± 0.08 b	120.42 ± 11.27 a	47.52 ± 11.77 ab	178.89 ± 22.35 ab	4.21 ± 0.13 b
M4	33.35 ± 3.03 a	1.60 ± 0.17 a	130.13 ± 7.41 a	66.60 ± 19.42 a	208.93 ± 68.42 a	4.65 ± 0.14 a

2.2 配施有机肥对茶园土壤微生物生物量碳、氮的影响

土壤微生物生物量碳(SMBC)、氮(SMBN)是土壤有机碳、氮中较活跃的组分之一,其与土壤养分转化和供应以及温室气体的排放有密切关系,常用来评价耕作栽培、施肥等措施对土壤性质的影响^[12-13]。如表 2 所示,配施有机肥处理 SMBC 随着有机肥施用比例的增加而提高,提高幅度为 41.70%~72.23%,当有机肥施用比例达到 75% 时(M3、M4 处理)与 CK 处理差异显著;配施有机肥处理 SMBN 与 CK 处理相比也有明显增加,增加幅度为 49.66%~75.63%,但以 M1 处理最高,并与 CK 处理差异显著。

土壤微生物商(SMBC/SOC)是表征土地利用和管理方式变化引起土壤有机碳变化的有效指标^[14],可以在早期预测土壤有机碳的长期变化趋势^[15]。从

表 2 可以看出,配施有机肥显著提高土壤微生物商,分别比 CK 处理提高 38.46%~43.85%,并与 CK 处理差异显著,但不同配施比例处理间差异不显著。不同施肥处理微生物生物量氮占土壤总有机氮的比例(SMBN/TN)在 1.96%~3.39%,比 CK 处理提高 16.84%~72.96%,其中以 M1 处理最高,M2 处理次之,并与 CK 处理差异显著。

土壤微生物生物量碳/土壤微生物生物量氮比(SMBC/SMBN)可反映微生物群落结构信息,其显著的变化喻示着微生物群落结构变化可能是微生物量较高的首要原因^[16]。从表 2 可以看出,较低的有机肥配施比例(M1、M2 处理)降低土壤 SMBC/SMBN 值,而较高的有机肥料配施比例(M3、M4 处理)提高土壤 SMBC/SMBN 值,但处理间差异不显著。

表 2 配施有机肥对茶园土壤微生物生物量碳、氮的影响
Table 2 Effects of application of chemical fertilizer with organic manure on soil microbial biomass C and N

处理	SMBC(mg/kg)	SMBN(mg/kg)	SMBC/SOC(%)	SMBN/TN(%)	SMBC/SMBN
CK	206.25 ± 75.20 b	23.80 ± 3.15 b	1.30 ± 0.43 b	1.96 ± 0.14 c	8.65 ± 2.84 a
M1	292.25 ± 52.27 ab	41.80 ± 7.43 a	1.80 ± 0.23 a	3.39 ± 0.66 a	6.99 ± 0.22 a
M2	305.37 ± 70.88 ab	35.62 ± 3.83 a	1.85 ± 0.27 a	2.75 ± 0.26 ab	8.51 ± 1.13 a
M3	326.27 ± 49.02 a	36.74 ± 8.50 a	1.87 ± 0.19 a	2.65 ± 0.64 bc	9.15 ± 2.05 a
M4	355.22 ± 70.89 a	36.69 ± 4.13 a	1.86 ± 0.50 a	2.29 ± 0.06 bc	9.84 ± 2.80 a

2.3 配施有机肥对茶园土壤基础呼吸和呼吸商的影响

土壤呼吸综合反映了植物根和土壤微生物的活性及土壤中碳的代谢作用,土壤基础呼吸部分(土壤微生物呼吸)反映了土壤的生物学特性和土壤物质的代谢强度^[17]。从图 1 可以看出,土壤基础呼吸量随配施有机肥料比例的增加呈先升高后降低的趋势,以全量施用有机肥处理(M4)最低,M3 处理最高。

呼吸商也称微生物代谢商,是微生物基础呼吸强度与微生物生物量碳的比值,用来评价土壤微生物利用土壤有机碳的效率^[18]。从图 1 可以看出,配施有机肥处理土壤呼吸商比 CK 处理降低 20.94%~50.12%,其中以 M4 处理最低,并与 CK 处理差异显著。土壤呼吸商的降低说明有机肥料配合施用提高了茶园土壤微生物利用有机碳的效率,促进了土壤有机碳的固定。

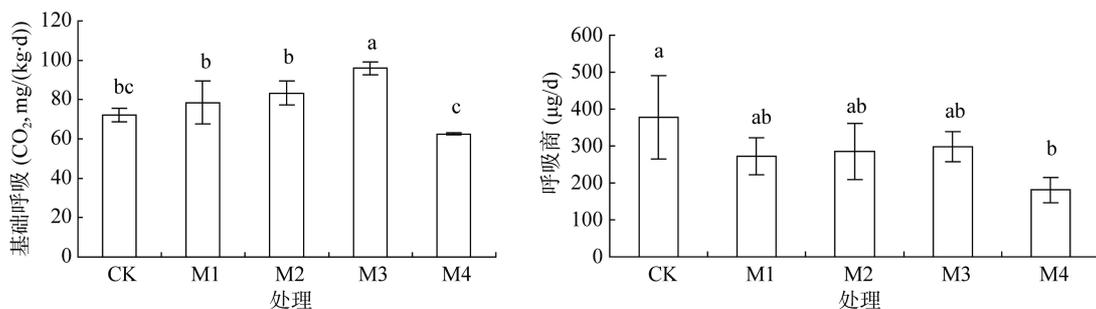


图 1 配施有机肥对茶园土壤基础呼吸和呼吸商的影响

Fig. 1 Effects of application of chemical fertilizer with organic manure on soil basal respiration and metabolic quotient

2.4 配施有机肥对茶叶产量和品质的影响

从表 3 可以看出,春季和秋季茶叶产量均以 M1 处理最高,全年茶叶产量(春季产量与秋季产量之和)

比 CK 处理提高 2.63%,但与 CK 处理差异不显著;M2、M3 处理全年茶叶产量分别比 CK 处理下降 2.62%和 3.25%,但差异不显著;M4 处理比 CK 处理

降低 16.80%，与 CK 处理差异显著。从表 4 可以看出，适量配施有机肥促进乌龙茶茶叶品质的形成，各处理春季、秋季茶叶感官审评综合得分均以 M1 处理

最高，M2 处理次之，M4 处理最低。说明适当的有机肥配施比例有利于提高茶叶产量和品质，但过高的施用比例对茶叶产量和品质则产生负面影响。

表 3 配施有机肥对茶树生长和茶叶产量的影响
Table 3 Effects of application of chemical fertilizer with organic manure on tea yield

处理	2012 年春季				2012 年秋季			
	株高 (cm)	行宽 (cm)	芽头密度 (个/0.11m ²)	鲜叶产量 (kg/小区)	株高 (cm)	行宽 (cm)	芽头密度 (个/0.11m ²)	鲜叶产量 (kg/小区)
CK	78.89 ± 2.36 a	109.11 ± 1.58 ab	35.67 ± 3.06 a	7.31 ± 0.66 ab	79.56 ± 0.51 a	113.44 ± 4.17 a	35.33 ± 1.53 a	7.51 ± 0.48 a
M1	79.11 ± 3.85 a	109.44 ± 1.35 a	35.56 ± 2.27 a	7.67 ± 0.37 a	79.11 ± 3.50 ab	109.67 ± 2.85 a	34.11 ± 1.50 a	7.54 ± 0.24 a
M2	79.56 ± 4.19 a	110.78 ± 2.67 a	35.56 ± 4.44 a	7.26 ± 1.04 ab	80.00 ± 2.08 a	109.11 ± 0.96 a	34.33 ± 3.71 a	7.22 ± 0.67 ab
M3	78.89 ± 0.19 a	110.33 ± 1.15 a	34.67 ± 1.33 a	7.14 ± 0.23 ab	79.11 ± 0.69 ab	111.33 ± 2.91 a	33.44 ± 2.22 a	7.25 ± 0.71 a
M4	74.56 ± 7.46 a	101.56 ± 8.60 b	34.00 ± 0.58 a	6.23 ± 0.73 b	75.78 ± 3.02 b	99.56 ± 8.95 b	34.44 ± 1.62 a	6.10 ± 0.68 b

表 4 配施有机肥对茶叶感官品质的影响
Table 4 Effects of application of chemical fertilizer with organic manure on tea quality

茶季	处理	香气	滋味	综合	评语
春茶	CK	93	93	93.00	花香浓郁，稍涩，汤色黄绿
	M1	93	96	94.50	香纯正，味醇爽，汤色黄绿
	M2	93.5	95	94.25	花香较纯正，味纯厚，微带涩，汤色橙黄
	M3	92	91	91.50	香偏粗，汤中有香，微带涩，稍欠纯，汤色橙黄
	M4	91.5	92	91.75	略带粗，香稍杂，味纯正，稍淡，汤色橙黄
秋茶	CK	94	95	94.50	香气较浓郁，味醇且清爽，汤色黄绿
	M1	95	96.5	95.75	香气清纯，有花香，味浓鲜爽，汤色黄绿
	M2	94.5	95	94.75	香清纯，稍有涩味，汤色黄绿
	M3	94	95.5	94.75	香较清纯，味纯爽，汤色橙黄
	M4	93	95	94.00	香气浓、微粗，味醇厚，汤色深橙黄

注：审评员：张方舟，教授级高级农艺师，国家高级评茶师。

3 讨论与结论

长期不合理的化肥施用是造成茶园土壤酸化的主要原因之一。Guo 等^[19]综合全国大量定位试验站点的数据库研究结果表明，连续 20 年大量施用氮肥已导致我国南方红壤表层 pH 明显下降，其中种植粮食作物土壤下降了 0.23 单位，种植经济作物土壤下降了 0.3 单位；曹丹等^[20]的研究表明，江苏省有 67% 的茶园 0~20 cm 土壤酸化速率大于 0.1 pH 单位/年，其中 33% 的茶园土壤酸化速率大于 0.2 pH 单位/年，50% 的茶园土壤 pH 低于 4，酸化速率显著大于自然土壤。有机肥料的合理配施减缓土壤酸化，甚至会提高土壤 pH^[21-22]。本研究表明，连续 4 年的纯化肥施用(CK)茶园土壤 pH 降低 0.22 单位，配施有机肥料处理土壤 pH 比 CK 处理提高 0.22~0.72 单位，提高幅度随着有机肥料施用比例的增加而增加，说明合理的配施有机肥可以有效阻控茶园土壤酸化。

土壤肥力是农业可持续发展的资源基础，大量的

研究表明，有机肥料与无机肥料配合施用可以明显改善土壤养分性状^[23]。本研究表明，连续 4 年配施有机肥茶园土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾含量大幅提升，提升幅度随着有机肥料施用比例的增加而增大，说明增加有机物料的投入是培肥茶园土壤的有效途径。

土壤微生物是土壤生态系统的重要组成部分，其群落的组成和活性对保持土壤肥力和提高土壤质量具有重要的作用。施肥增加了土壤养分供应，改变了土壤物质循环，对土壤微生物和有机碳固持产生重要影响。徐华勤等^[4]利用 Biolog 方法研究了长期施肥后茶园土壤微生物群落多样性的变化，认为施用有机肥在提高微生物活性方面的效果好于单施化肥，有机肥与无机肥配施能大大提高微生物丰富度；陈琳等^[24]研究发现施用生物有机肥料与施用复合肥或不施肥相比，显著提高土壤碳源利用率，提高土壤质量。而单施化肥或不施肥土壤有机碳含量低，微生物可利用的碳源少，不良的土壤环境导致土壤微生物生

物量碳和利用碳源效率下降,单位微生物量的呼吸量升高^[25-26],土壤质量较低。本研究发现,配施有机肥提高土壤微生物生物量碳、氮,提高土壤微生物商(SMBC/SOC)和微生物生物量氮占土壤总有机氮的比例(SMBN/TN),降低土壤呼吸商,说明配施有机肥可以有效改善茶园土壤生物学性状,提升茶园土壤质量。土壤微生物生物量碳/土壤微生物生物量氮比(SMBC/SMBN)是反映微生物群落结构信息的重要数据^[16],SMBC/SMBN 决定于土壤表层与根系系统物质分解过程中诱导形成的微生物区系的差异,一般情况下细菌在 5:1 左右,放线菌在 6:1 左右,真菌在 10:1 左右^[27]。本研究中,合理的配施肥比例(M1、M2 处理)降低了 SMBC/SMBN 值,说明合理的施肥结构诱导土壤形成较为理想的微生物种群结构(细菌增多)。

适当配施有机肥通过改善茶园土壤基础性状和生物学性状,促进养分的平衡供给,促进茶树生长,提高茶叶产量,改善茶叶品质。化肥的投入对于快速增加土壤中的有效养分含量有着明显的作用,但从作物的需肥规律和肥料利用率的角度来看,有机肥的使用更有利于培肥土壤、增加功能性微生物的数量、促进作物生长^[28]。本研究表明,配施适量的有机肥料促进茶叶产量和茶叶品质的提高,其中以配施 25%~50%有机肥料(M1、M2 处理)茶叶产量、品质较佳,全量施用有机肥(M4 处理)最差。过高的有机肥配施比例降低茶叶产量和品质的原因可能:一是茶树是喜铵态氮植物,施用有机肥料在改善土壤酸度的同时,提高了茶园土壤硝化势^[29],降低土壤铵态氮含量。本研究在 2013 年 4 月(茶树生长季)取样测定了土壤矿质态氮含量(表 5),发现配施有机肥处理土壤矿质态氮含量较低,硝态氮占矿质态氮的比例升高,这与有机肥料的矿化速率和土壤硝化速率有关。二是与本研究采用的有机肥过高的 C/N 比值(30.01)有关。唐

表 5 配施有机肥对茶园土壤矿质态氮含量的影响

Table 5 Effects of application of chemical fertilizer with organic manure on soil mineral nitrogen

处理	NH ₄ ⁺ -N(mg/kg)	NO ₃ ⁻ -N(mg/kg)
CK	98.34 ± 22.21 a	18.56 ± 8.26 b
M1	86.21 ± 13.48 ab	30.24 ± 1.92 ab
M2	72.36 ± 15.32 ab	40.12 ± 6.00 a
M3	29.85 ± 21.27 bc	37.18 ± 4.83 ab
M4	7.61 ± 2.22 c	27.96 ± 4.51 ab

注:2013 年春季催芽肥施用时间为 3 月 4 日,根据试验设置各处理分别施尿素 195.65 kg/hm²(CK)、146.74 kg/hm²(M1)、97.83 kg/hm²(M2)、48.91 kg/hm²(M3)、0 kg/hm²(M4);2013 年 4 月 28 日取土壤样品测定。

玉霞等^[30]研究表明 C/N 比对土壤氮素供应起着重要调节作用,当肥料组合 C/N≤20 时,对作物生长和产量无明显影响,当肥料组合的 C/N=30 时,导致作物明显减产。

综上所述,配施有机肥可以提高茶园土壤 pH,有效减缓茶园土壤酸化速率;有机肥料的配合施用可以提高茶园土壤养分含量,提高土壤微生物生物量碳、氮含量,提高土壤微生物商,降低土壤呼吸商,改善茶园土壤微生物肥力指标;适当配施有机肥促进茶树生长,提高茶叶产量,改善茶叶品质。综合施肥结构对土壤基础性状、生物学性状和茶叶产量品质的影响,初步认为 25%~50% 有机肥配施 75%~50% 化肥(以氮素投入量计)是茶园系统较优的有机肥配施模式。

参考文献:

- [1] 唐劲驰,吴利荣,吴家尧,唐颢,黎健龙,庞式.初投产茶园氮磷钾配比施用与产量、品质的关系研究[J].茶叶科学,2011,31(1):11-16
- [2] 游小妹,陈常颂,钟秋生,陈志辉,林郑和,张文锦.不同用氮量水平对乌龙茶产量、品质的影响[J].福建农业学报,2012,27(8):853-856
- [3] 林新坚,林斯,邱珊莲,陈济琛,王飞,王利民.不同培肥模式对茶园土壤微生物活性和群落结构的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(1):97-105
- [4] 徐华勤,肖润林,杨知建,宋同清,夏艳君,罗文,李盛华.不同培肥措施对红壤茶园土壤微生物量碳的影响[J].生态学杂志,2007,26(7):1009-1013
- [5] 林斯,邱珊莲,邱宏端,陈济琛,王飞,林新坚.不同施肥模式对茶园红壤细菌群落基因多样性的影响[J].中国土壤与肥料,2013(1):32-37
- [6] 刘波,蓝江林,唐建阳,史怀.微生物发酵床菜猪大栏养殖猪舍结构设计[J].福建农业学报,2014,29(5):505-509
- [7] 蓝江林,刘波,宋泽琼,史怀,黄素芳.微生物发酵床养猪技术研究进展[J].生物技术进展,2012,2(6):411-416
- [8] 尤志明,吴志丹,江福英,王峰,王义祥,张磊,翁伯琦.南方红壤区 3 年生茶园土壤呼吸特征[J].热带亚热带植物学报,2013,21(3):193-202
- [9] 鲁如坤主编.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000
- [10] 张敬业,张文菊,徐明岗,黄庆海,骆坤.长期施肥下红壤有机碳及其颗粒组分对不同施肥模式的响应[J].植物营养与肥料学报,2012,18(4):868-875
- [11] Liang B, Yang XY, Daniel VM, Zhou JB. Long-term combined application of manure and NPK fertilizers influenced nitrogen retention and stabilization of organic C in Loess soil[J]. Plant and soil, 2012, 353(1/2), 249-260
- [12] Powlson DS, Hirsch PR, Brookes PC. The role of soil microorganisms in soil organic matter conservation in the tropics. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2001, 61(1/2): 41-51
- [13] 梁斌,周建斌,杨学云,艾娜.不同培肥措施下种植制度及撂荒对土壤微生物量碳氮的影响[J].中国生态农业学报,2009,17(2):209-214

- [14] Hart PBS, August JA, West AW. Long-term consequences of topsoil mining on select biological and physical characteristics of two New Zealand loessial soils under grazed pasture[J]. *Land Degrad Rehab*, 1989, 1: 77–88
- [15] Powlson DS, Brookes PC, Christensen BT. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19: 159–164
- [16] 刘恩科, 赵秉强, 李秀英, 姜瑞波, 李燕婷, Hwat Bing So. 长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响[J]. *植物生态学报*, 2008, 32(1): 176–182
- [17] 李国辉, 陈庆芳, 黄懿梅, 安韶山, 郑粉莉, 陈利顶. 黄土高原典型植物根际对土壤微生物生物量碳、氮、磷和基础呼吸的影响[J]. *生态学报*, 2010, 30(4): 976–983
- [18] 郑聚锋, 张旭辉, 潘根兴, 李恋卿. 水稻土基底呼吸与CO₂ 排放强度的日动态及长期不同施肥下的变化[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(4): 485–494
- [19] Guo JH, Liu XJ, Zhang Y, Shen JL, Han WX, Zhang WF, Christie P, Goulding KWT, Vitousek PM, Zhang FS. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. *Science*, 2010, 327(19): 1 008–1 010
- [20] 曹丹, 张倩, 肖峻, 宗良纲. 江苏省典型茶园土壤酸化速率定位研究[J]. *茶叶科学*, 2009, 29(6): 443–448
- [21] 吴道铭, 傅友强, 于智卫, 沈宏. 我国南方红壤酸化和铝毒现状及防治[J]. *土壤*, 2013, 45(4): 577–584.
- [22] 王小兵, 骆永明, 刘五星, 李振高, 何园球. 长期定位施肥对亚热带丘陵地区红壤旱地质量的影响[J]. *土壤学报*, 2011, 48(1): 98–102
- [23] 黄东风, 王利民, 李卫华, 邱孝煊. 培肥措施培肥土壤的效果与机理研究进展[J]. *中国生态农业学报*, 2014, 22(2): 127–135
- [24] 陈琳, 谷洁, 胡婷, 高华, 陈智学, 秦清军, 王小娟. 生物有机肥对板栗土壤微生物群落代谢活性的影响[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(6): 1 627–1 632
- [25] Nsabimana D, Haynes RJ, Wallis FM. Size, activity and catabolic diversity of the soil microbial biomass as affected by land use[J]. *Applied Soil Ecology*, 2004, 26(2): 81–92
- [26] 胡诚, 曹志平, 胡婵娟, 王金凯. 不同施肥管理措施对土壤碳含量及基础呼吸的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(5): 63–66
- [27] 姜培坤, 周国模. 侵蚀型红壤植被恢复后土壤微生物量碳、氮的演变[J]. *水土保持学报*, 2003, 17(1): 112–114
- [28] 屠人凤, 樊剑波, 何园球. 红壤地区不同有机配施比例对花生产量、养分吸收及土壤有效养分动态变化的影响[J]. *土壤*, 2013, 45(5): 883–887
- [29] 王小治, 孙伟, 尹微琴, 封克. pH 升高对红壤硝化过程产生N₂O的影响[J]. *土壤*, 2009, 41(6): 962–967
- [30] 唐玉霞, 孟春香, 贾树龙, 王惠敏, 刘巧玲. 不同碳氮比肥料组合对肥料氮生物固定、释放及小麦生长的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(2): 37–40

Effects of Combined Application of Organic Manure and Chemical Fertilizer on Properties of Tea Garden Soil and the Yield and Quality of Tea

WU Zhi-dan¹, YOU Zhi-ming^{1*}, JIANG Fu-ying¹, WANG Feng¹, WENG Bo-qi²

(1 *Tea Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fu'an, Fujian 355015, China;*
2 *Agriculture Ecology Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China*)

Abstract: The combined application of organic manure and chemical fertilizer with different ratios of organic manure/chemical fertilizer on properties of tea garden soil and the yield and quality of tea were investigated using 4-year (2009–2012) field experiments to determine appropriate fertilization mode for tea garden. The results showed that soil pH was increased and thus soil acidification was inhibited by the combined application of organic manure with chemical fertilizer. The contents of organic matter, total nitrogen, available nitrogen, available phosphorus and available potassium in tea garden soil were improved, and increased with the increasing ratio of organic manure/chemical fertilizer. Compared with the control, the microbial biomass carbon (SMBC) and microbial biomass nitrogen (SMBN) were increased by 41.70%–72.23% and 49.66%–75.63%, respectively. The contents of soil microbial quotient (SMBC/SOC) and ratio of SMBN/TN were increased by 38.46%–43.85% and 16.84%–72.96%, respectively. The treatment with only organic manure had the lowest content of soil basal respiration, while the treatment with organic manure/chemical fertilizer ratio of 3 had the highest one. Appropriate fertilization mode could improve the growth, yield and quality of tea, treatments with 25%–50% organic manure and 75%–50% chemical fertilizer had the optimum yield and quality of tea. Based on the effects of fertilizer structure on soil basic properties, biological properties and the tea yield and quality, it was concluded that the combined application of 25%–50% organic manure with 75%–50% fertilizer (as nitrogen input) was the optimum mode for tea garden.

Key words: Fertilizer mode; Soil properties; Soil microbial biomass; Tea yield; Tea quality