

崔莹莹,周 波,唐劲驰,等. 华南山地茶园有机肥高效施用模式[J]. 江苏农业科学,2023,51(22):172-179.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.22.024

华南山地茶园有机肥高效施用模式

崔莹莹,周 波,唐劲驰,黎健龙,唐 颖,陈义勇,刘嘉裕

(广东省农业科学院茶叶研究所/广东省茶树资源创新利用重点实验室,广东广州 510640)

摘要:分析不同有机肥配施对茶园土壤肥力及茶叶品质的影响,为探索华南山地茶园有机肥高效施用模式,实现施肥效果和成本投入平衡并达到最佳经济效益提供理论依据。采用田间试验的方法,以广东省梅州市梅县茶园的金牡丹茶树为研究对象,设置不施肥处理、商品有机肥处理、商品有机肥+豆粕处理、羊粪+豆粕处理等4个不同施肥模式,综合分析不同有机肥配施对山地茶园土壤肥力及茶叶品质的影响,并比较不同有机肥配施的肥料农学效率和综合经济效益。结果表明,与不施肥处理相比,不同有机肥配施的土壤理化性质指标均呈现上升趋势,其中商品有机肥+豆粕处理和羊粪+豆粕处理的土壤有机质含量显著高于其他处理,分别达到19.45、18.37 g/kg,羊粪+豆粕处理的全氮含量显著高于其他处理,达到0.97 g/kg($P<0.05$)。与不施肥处理相比,不同有机肥配施的茶叶产量和品质均有一定程度的提高。其中,商品有机肥+豆粕处理的芽头密度高于其他处理,茶叶产量显著高于其他处理($P<0.05$)。商品有机肥+豆粕处理的茶叶可溶性糖含量显著高于其他处理,羊粪+豆粕处理的茶叶茶多酚含量高于其他处理。商品有机肥+豆粕处理的肥料农学效率显著高于其他处理,与不施肥处理相比,商品有机肥+豆粕处理的综合效益增加最多,增加11.98万元/hm²,其次是羊粪+豆粕处理,增加4.34万元/hm²。对华南山地茶园有机肥高效施用模式进行探究,发现羊粪+豆粕配施对茶园土壤改良及茶叶品质提升效果最佳,商品有机肥+豆粕配施的肥料农学效率和综合经济效益最高,单一施用商品有机肥的作用最小。因此,在华南山地茶园施肥中可以优先考虑商品有机肥+豆粕配施模式,对优化土壤理化性质和茶叶品质提升均有一定的促进作用,且肥料农学效率和综合经济效益均较高。

关键词:茶树;有机肥配施;土壤肥力;茶叶品质;山地茶园

中图分类号:S571.106 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)22-0172-08

华南山地茶园土壤主要以砖红壤和赤红壤为主,高温多雨的气候条件导致土壤淋溶作用强,矿物质养分流失速度快,化学肥料利用率较低,且在高

档有机茶园创建中不鼓励使用化肥,因此有机肥是当地茶园种植中所施用的主要肥料之一^[1-2]。普通有机肥在改善土壤理化性状和提升茶叶品质方面的效果明显,也可以进一步提升茶叶品质^[3-5]。但是有机肥种类多样,价格不一,分解转化形式存在差异^[6-8],如何选择和搭配才能获得最佳的提升效果和经济效益是当前山地茶园有机肥施用的难题。因此,探究华南山地茶园有机肥高效施用模式有利于实现施肥效果和成本投入的平衡,获得最佳经济效益,对茶园生产具有实际指导意义。众多研究结果表明,施用有机肥是改良土壤,提升茶叶产量及品质的重要途径之一,茶园中大多选择商品有机

收稿日期:2023-01-06

基金项目:广东省梅州市科技计划(编号:2021A0304010、2021A0305004);

广东省农业科学院农业优势产业学科团队建设项目(编号:

202125TD);广东省现代农业产业技术体系创新团队项目(编号:

2023KJ120);现代农业产业技术体系建设专项(编号:CARS-19)。

作者简介:崔莹莹(1994—),女,广东河源人,硕士,研究实习员,主要从事茶树生态栽培研究。E-mail:cuiyingying@gdaas.cn。

通信作者:周 波,博士,副研究员,主要从事茶树生态栽培研究。

E-mail:zhoubo@gdaas.cn。

[14]王楠艺,付文婷,吴 迪,等. 辣椒品质研究进展[J]. 江苏农业科学,2022,50(16):21-27.

[15]徐 睿,张雅楠,林子翔,等. 观赏辣椒种质资源农艺性状遗传多样性关联分析[J]. 浙江农业学报,2018,30(11):1886-1892.

[16]裴红霞,高晶霞,王学梅. 220份辣椒种质形态学性状的遗传多样性分析[J]. 分子植物育种,2022,20(4):1331-1347.

[17]陈 林,曹振强,梁肇均,等. 黄瓜种质资源农艺性状多样性分

析[J]. 广东农业科学,2021,48(6):15-22.

[18]裴 芸,徐秀红,陆锦彪,等. 151份贵州地方樱桃番茄资源的遗传多样性分析[J]. 浙江农业学报,2022,34(2):310-316.

[19]耿广东,张素勤,盛 霞. 辣椒种质资源主要表型性状的聚类分析[J]. 长江蔬菜,2009(8):8-10.

[20]林子翔,马啸威,吴建国,等. 观赏辣椒杂种优势及重要性状遗传规律分析[J]. 浙江农林大学学报,2021,38(4):820-827.

肥、畜禽肥(如羊粪、牛粪等)和植物源肥料(如秸秆、豆粕、花生麸等)作为施用的主要肥料^[5]。商品有机肥为工厂化生产,价格适中,但市场上商品有机肥在组成和性质上都存在较大的差异,对土壤和茶叶品质的影响程度不一^[8]。田永等认为,不同商品有机肥对提高土壤肥力均有一定的效果,但对茶叶品质的提高效果并不显著^[9]。而李维等认为,施用商品有机肥后,春茶产量提高的效果显著,滋味、香气、汤色更有优势,品质最优^[10]。李正辉等认为,羊粪可显著影响土壤真菌微生物群落结构,推动土壤腐殖化进程,更有利于作物吸收营养物质^[11]。羊粪是一种弱碱性有机肥料,养分含量高,价格便宜,能有效改善土壤理化性质和生物环境^[12]。豆粕属于自然产物,在茶园中肥效相对较快,养分全面,供肥均衡,但是价格昂贵^[8]。辛董董等认为,施用豆粕能显著提高茶园土壤 pH 值和土壤肥力,显著提高茶叶品质,减少茶汤苦涩味,滋味更甘醇、鲜爽^[13]。选择和搭配适合的有机肥种类是改善华南山地茶园土壤肥力和提高茶叶品质的关键。本研究采用田间试验的方法,以广东省梅州市梅县茶园为例,探讨分析华南山地茶园不同有机肥配施对土壤肥力以及茶叶品质的影响,并比较不同有机肥配施的综合经济效益,以期华南山地茶园有机肥高

效施用提供理论支持和技术指导,实现施肥效果和成本投入的平衡,达到最佳的经济效益,进而推进华南山地茶产业的绿色可持续发展。

1 材料与方法

1.1 试验区域概况

试验于 2016 年 12 月至 2021 年 4 月在广东省梅州市梅县华银茶园进行,试验区位于 24°23′52″N、116°23′45″E,海拔 576.4 m,占地面积 0.4 hm² (80 m×50 m),属南亚热带季风气候,年均气温 21.3 ℃,年均日照时数 1 874.2 h,年均降水量 1 528.5 mm,年均相对湿度 77%,年均无霜期 306 d。试验田土壤的 pH 值在 4.0~5.0,属于强酸性至酸性的红壤;有机质含量处于中等水平;氮、磷、钾的有效含量较低,其中速效钾的缺乏程度最大,有效磷的缺乏程度次之,速效氮的缺乏程度最小。

1.2 试验材料

供试茶树品种为金牡丹,试验开始时树龄为 5 年。供试肥料有商品有机肥、豆粕和羊粪,均是从市场采购。商品有机肥、豆粕和羊粪的 pH 值及养分含量见表 1。

表 1 不同种类肥料的 pH 值及养分含量

肥料种类	pH 值	有机质含量 (%)	全氮含量 (%)	有效磷含量 (%)	速效钾含量 (%)
商品有机肥	6.78	55.96	3.58	0.98	1.80
豆粕	5.62	68.50	7.80	1.62	1.60
羊粪	9.79	23.33	1.35	0.65	1.05

1.3 试验设计

本试验始于 2016 年 12 月,肥料均作为基肥一次性施入,共设置 4 组不同有机肥配施处理,分别是不施肥处理、商品有机肥处理、商品有机肥+豆粕处理、羊粪+豆粕处理,每处理重复 3 次,具体试验方案见表 2。2016 年 12 月采用深沟法进行第 1 次施肥,沟宽和沟深均为 30 cm,开沟后将沟底土壤疏松后施入基肥,覆土后将土壤耙平,之后每年的 12 月均进行一次施肥,施肥方法同上,持续施用 5 年,直至 2021 年 4 月进行样品采集。

1.4 测定方法

1.4.1 样品采集与产量测定 2021 年 4 月对各试验处理区进行采样,茶叶采摘标准统一为 1 芽 2 叶。采用 0.33 m×0.33 m 的方框,计算芽头密度并随机

表 2 试验方案

处理	肥料种类与用量
CK	不施肥处理
T1	10 470 kg/hm ² 商品有机肥处理
T2	5 572 kg/hm ² 商品有机肥 + 2 250 kg/hm ² 豆粕处理
T3	14 775 kg/hm ² 羊粪 + 2 250 kg/hm ² 豆粕处理

注:数据根据等氮量 375 kg/hm² (源自广东省茶叶产区氮肥定额用量)计算所得。

选取 100 个芽头,测量芽长和百芽质量。土壤样品以不同试验处理为依据划分成 4 个取样区,分别进行混合采样,经风干过筛,用于测定土壤理化性质及土壤酶活性。茶叶样品同样以不同试验处理为依据划分成 4 个取样区,分别进行混合采样,放在

80 ℃ 的烘箱中,烘干至恒质量,用高速万能粉碎机将试样粉碎,过 0.149 mm 筛,做好标记,待测。

1.4.2 分析方法 本试验土壤理化性质各指标的测定:pH 值、有机质含量、全氮含量、碱解氮含量、有效磷含量、速效钾含量,具体测定方法主要参照文献[14];过氧化氢酶活性和蔗糖酶活性的测定主要参照文献[15]。

本试验茶叶品质各指标的测定:游离氨基酸总量、茶多酚含量、儿茶素类含量、咖啡碱含量、可溶性糖含量、水浸出物含量,具体测定方法主要参照文献[16]。茶叶氮磷钾含量的具体测定方法主要参照文献[14]。

本研究中肥料农学效率为施肥处理和空白处理的茶鲜叶产量的差值与肥料纯养分投入总量的比值。肥料偏生产力为施肥处理的茶鲜叶产量与肥料纯养分投入总量的比值^[17]。

1.5 统计分析

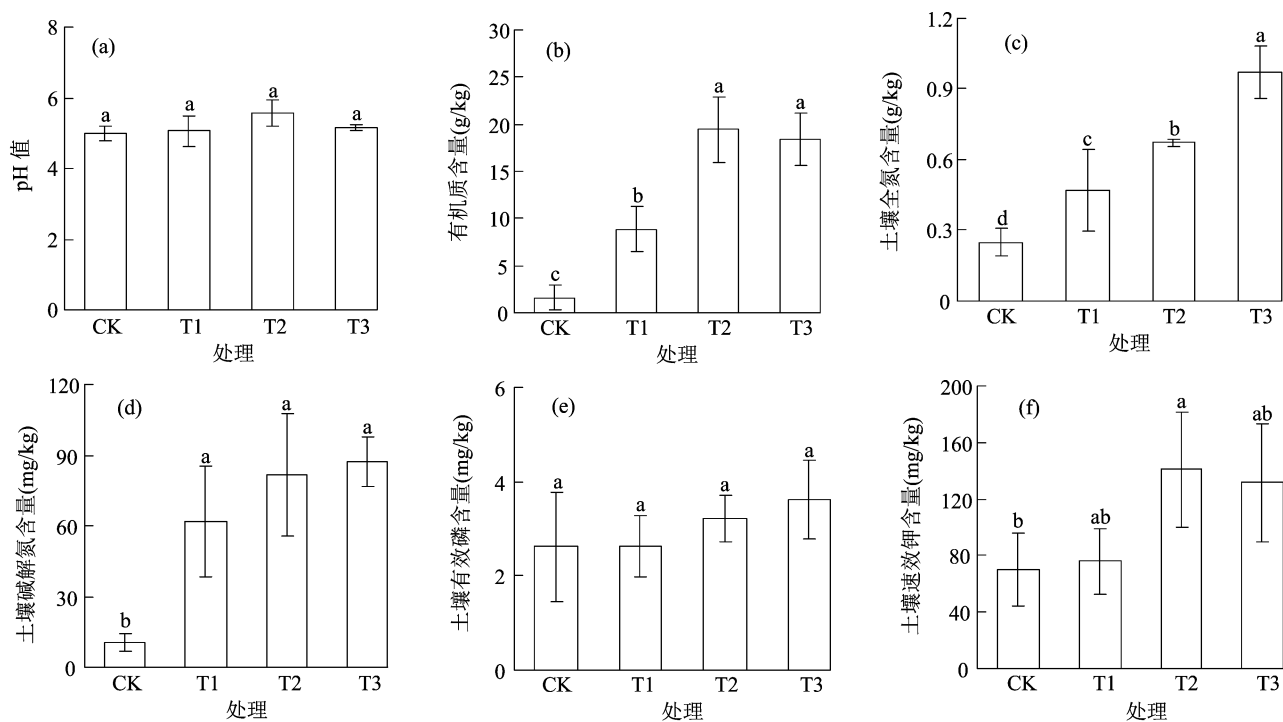
本研究试验数据计算整理采用 Microsoft Excel 2010 进行,运用 SPSS 25.0 统计软件对不同处理间的差异采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和 Duncan's 多重比较进行数据分析,显著性水平取 0.05。利用 R 对土壤理化性质指标和茶叶品质指标进行主成分分析(principal component analysis,

PCA)^[18]。效益分析中茶叶产值采用 2021 年的统计数据,为 530 元/kg(忽略茶叶质量差异带来的价格变化),采摘人工本按照 10 元/kg,商品有机肥按照 1 600 元/t,豆粕按照 5 000 元/t,羊粪按照 800 元/t 计算,综合效益计算忽略茶叶加工、销售及其他经营成本。

2 结果与分析

2.1 不同有机肥配施对土壤理化性质的影响

不同有机肥配施处理对茶园土壤理化性质的影响见图 1。T1、T2、T3 与 CK 相比,土壤有机质、全氮、碱解氮含量均显著增加($P < 0.05$,图 1)。T2 处理的土壤有机质和速效钾含量高于其他处理,土壤有机质含量达到 19.45 g/kg,是 CK 处理的 10 倍以上($P < 0.05$,图 1-b);与 CK 相比,土壤速效钾含量增加了 70.57 mg/kg,增幅超过 100% ($P < 0.05$,图 1-f)。T3 处理的土壤全氮含量显著高于其他处理($P < 0.05$,图 1-c),碱解氮含量显著高于 CK 处理,但与其他有机肥配施处理的差异并不显著($P > 0.05$,图 1-d)。不同有机肥配施处理的土壤 pH 值和有效磷含量差异均不显著($P > 0.05$,图 1-a、图 1-e)。

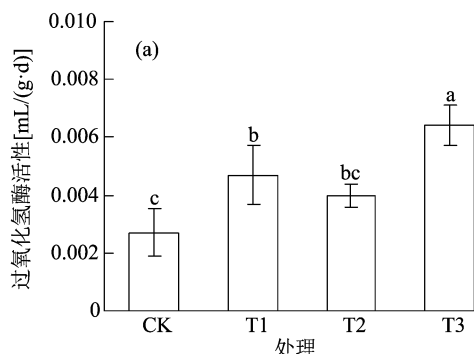


各处理数值为“平均值±标准差”, $n=3$ 。不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下同

图1 不同有机肥配施处理对土壤理化性质的影响

2.2 不同有机肥配施对土壤微生物活性的影响

不同有机肥配施处理中土壤过氧化氢酶和蔗糖酶活性存在显著差异 ($P < 0.05$, 图 2)。T3 处理的土壤过氧化氢酶活性最高, 与 CK 相比, 其活性显



著增加 137.04% ($P < 0.05$, 图 2 - a)。CK 的土壤蔗糖酶活性低于其他处理, 与 T3 处理差异显著 ($P < 0.05$, 图 2 - b)。

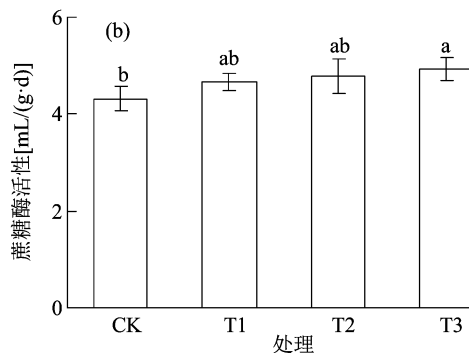
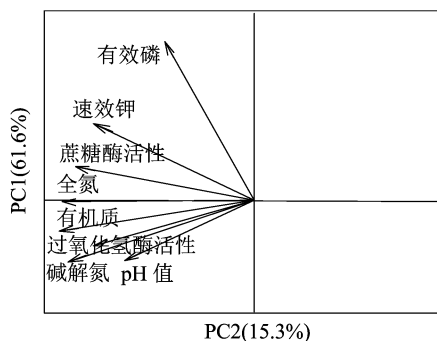


图2 不同有机肥配施处理对土壤微生物活性的影响

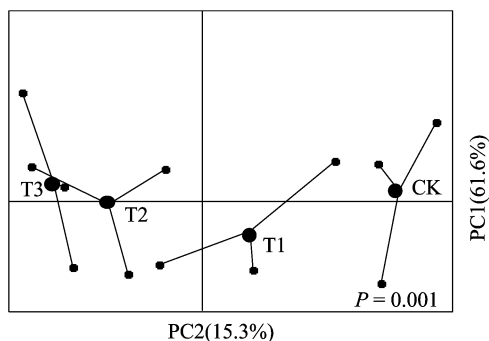
2.3 不同有机肥配施对土壤理化性质及微生物活性的综合评价

为综合分析不同有机肥配施处理中土壤理化性质的差异, 对不同有机肥配施处理的土壤理化性质进行主成分分析 (图 3)。由主成分分析的空间分布图 (图 3 - a) 可知, 第一主成分 (PC1) 贡献率为 61.6%, 对第一主成分贡献较大的指标主要有有机质含量、全氮含量、蔗糖酶活性、过氧化氢酶活性、碱解氮含量、pH 值等; 第二主成分 (PC2) 贡献率为 15.3%, 对第二主成分贡献较大的指标主要有有效磷含量等。第一主成分和第二主成分的累计方差贡献率达到 76.9%, 基本可以反映不同有机肥配施

处理中土壤理化性质差异的大部分信息, 且受第一、第二主成分的综合影响, 各处理中的土壤理化性质差异显著 ($P = 0.001$, 图 3 - b)。由主成分分析的综合得分图 (图 3 - b) 可知, T3、T2、T1 与 CK 相比, 依次从第一主成分的正方向朝第一主成分的负方向偏移, 根据各指标对第一主成分的贡献率可见, 有机肥配施处理的变化主要来源于有机质含量、全氮含量、pH 值和碱解氮含量。在第二主成分的方向上, T2、T3 与 CK 之间差异较小, 而 T1 显著偏向第二主成分负方向, 对第二主成分负方向贡献最大的指标是有效磷含量, 可见有机肥配施处理对土壤有效磷的影响并不大。



a. 主成分载荷图



b. 主成分得分图

图3 不同有机肥配施处理对土壤理化性质主成分分析

2.4 不同有机肥配施对茶叶产量的影响

茶叶采摘标准统一为 1 芽 2 叶, 茶青产量根据百芽质量和芽头密度进行估算, 全年采摘 4 季茶青。T2 处理的芽头密度高于其他处理, 超过 300 个/ m^2 (图 4 - a)。与 CK 相比, T1、T2 和 T3 的百芽质量和茶青产量均有增加 (图 4 - b、图 4 - c)。T2 处理的茶青产量显著高于其他处理 ($P < 0.05$, 图 4 - c)。

2.5 不同有机肥配施对茶叶品质成分的影响

不同有机肥配施处理对茶叶品质成分的影响以及不同有机肥配施处理中茶叶品质成分的差异见图 5。T1、T2 与 CK 相比, 茶叶水浸出物含量的差异均不显著, 而 T3 与 CK 相比, 其含量显著减少 7.94% ($P < 0.05$, 图 5 - a)。T2 的可溶性糖含量显著高于其他处理, 达到 3.69% ($P < 0.05$, 图 5 - b)。

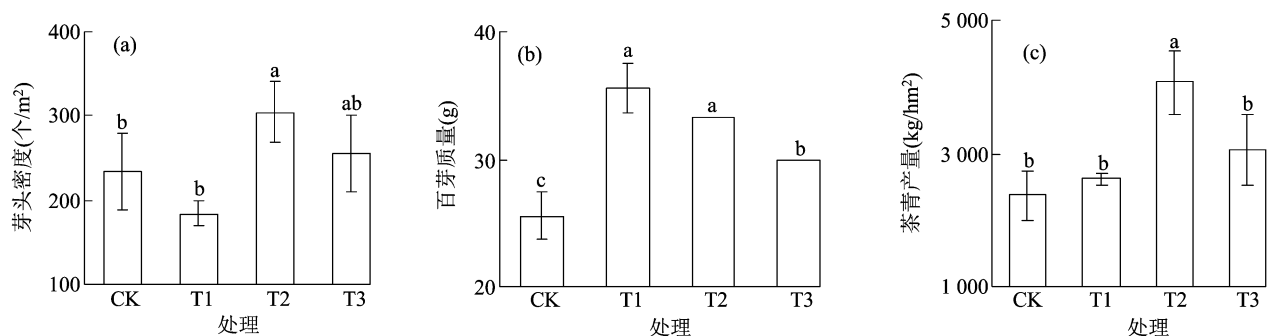


图4 不同有机肥配施对茶叶产量的影响

T1 和 T3 的咖啡碱含量显著高于 CK 处理,其含量分别增加 10.07%、7.80%,但 T2 的咖啡碱含量与 CK 相比差异并不显著 ($P > 0.05$,图 5 - c)。与 CK 相比,T1、T2、T3 中的游离氨基酸、茶多酚含量和酚氨比差异均不显著 ($P > 0.05$,图 5 - d、图 5 - e、图 5 - f)。在不同有机肥配施处理的茶叶中均检测出没食子儿茶素 (GC)、表儿茶素 (EC)、表没食子儿茶素没食子酸酯 (EGCG)、没食子儿茶素没食子酸酯 (GCG)、表儿茶素没食子酸酯 (ECG)。不同有机肥配施处理中的茶叶 GC 含量和 EC 含量差异均不显著 ($P > 0.05$,图 5 - g、图 5 - h)。与 CK 相比,T2 中的茶叶 EGCG 和 ECG 含量分别显著减少 7.44%、13.09% ($P < 0.05$,图 5 - i、图 5 - k),T1 和 T3 中的茶叶 GCG 含量分别显著增加 230.51%、208.41% ($P < 0.05$,图 5 - j)。

2.6 不同有机肥配施对茶叶产量及品质的综合评价

为综合分析不同有机肥配施处理中茶叶产量及品质的差异,对不同有机肥配施处理的茶叶产量及品质进行主成分分析(图 5)。由主成分分析的空间分布图(图 5 - a)可知,第一主成分(PC1)贡献率为 45.3%,其中对第一主成分贡献较大的指标主要有可溶性糖、咖啡碱、茶多酚、ECG、EGCG、GCG 含量等;第二主成分(PC2)贡献率为 19.0%,对第二主成分贡献较大的指标主要有水浸出物、游离氨基酸、GC 含量等。第一主成分和第二主成分的累计方差贡献率达到 64.3%,基本可以反映不同有机肥配施处理中茶叶产量及品质差异的大部分信息,且受第一、第二主成分的综合影响,各个处理中的茶叶产量及品质差异显著($P = 0.001$,图 5 - b)。由主成分分析的综合得分图(图 5 - b)可知,与 CK 相比,T1 偏向 EGCG、ECG、茶多酚含量较高的方向,T2 偏向可溶性糖、芽头密度、茶青产量较高的方向,T3

偏向 GC、EC、GCG 和游离氨基酸含量较高的方向。

2.7 不同有机肥配施对肥料农学效率及经济效益的综合分析

为综合反映不同有机肥配施的效果,对不同有机肥配施处理的茶鲜叶养分吸收情况及肥料农学效率进行分析(表 3)。T2 的肥料农学效率显著高于其他处理,与单施商品有机肥的 T1 相比,T2 处理的农学效率提升最大,增幅超过 6 倍,其肥料偏生产力也显著高于其他处理,增幅达到 72.1% ($P < 0.05$,表 3)。由表 4 可知,T2 和 T3 处理的茶叶产值均明显高于不施肥处理。与 CK 相比,T1 的茶叶产值增幅最低,仅提高 2.54 万元/hm²;T2 的茶叶产值增幅最高,达到 17.90 万元/hm²。T2 和 T3 的茶叶采摘人工成本明显高于 T1 和 CK。与 CK 相比,其他处理增加了施肥人工成本和肥料成本,T1、T2 和 T3 的施肥人工成本一样,但是 T2 的肥料成本明显高于 T1 和 T3 处理。综上,T2 和 T3 处理的综合效益与 CK 相比均有所提高,其中 T2 处理增加最多,增加 11.98 万元/hm²,其次是 T3 处理,增加 4.34 万元/hm²。

3 讨论与结论

茶园施入有机肥可以增加土壤对酸的缓冲性能,减少土壤中可溶性盐分的积累,提高土壤 pH 值,进而缓解茶园土壤酸化状况,防止土壤酸化^[19-20],且有机肥也有助于茶园土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量的提高^[21-22]。土壤有机质能够提高土壤的保水保肥能力,促进植物根系对矿物质养分的吸收^[23]。因此,有机肥的施入能够对茶园土壤的结构性状等进行优化,综合提高土壤肥力^[24]。在本试验的 4 个不同有机肥配施处理中,与不施肥处理相比,商品有机肥处理、商品有机肥 + 豆粕处理、羊粪 + 豆粕处理的各个土壤理化性质指标均呈现上升趋势(图 1),但是商品有机肥 + 豆粕处理和

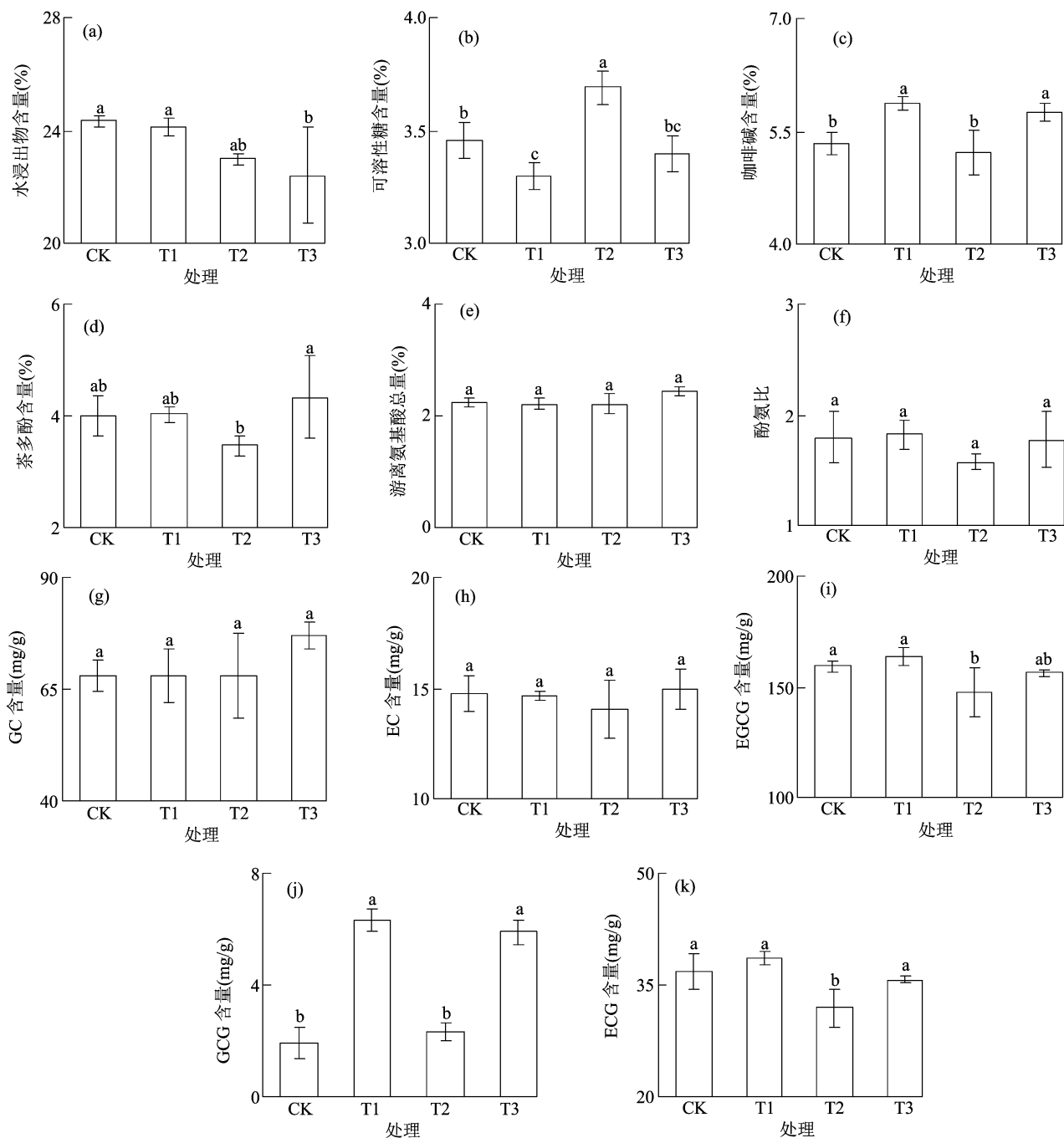


图5 不同有机肥配施对茶叶品质成分的影响

羊粪+豆粕处理明显偏向有机质含量、全氮含量、碱解氮含量、过氧化氢酶活性、蔗糖酶活性更高的方向(图3),说明商品有机肥+豆粕处理和羊粪+豆粕处理对优化土壤理化性质的效果更佳,培肥土壤效果更显著。姜利红等认为,有机肥的施入对于提升土壤各养分含量具有明显的作用^[25-26],而在茶园中施入有机肥还能通过改良土壤的理化性质,进而优化茶叶品质,提升茶叶产量^[27-28],本试验的研究结果与之基本一致,均能起到优化土壤理化性质

的作用,有助于培肥土壤。而部分土壤理化性质的优化效果不明显,可能是因为有机肥本身存在质量问题,有机肥种类多,有机物的腐熟程度没有明确的标准,检测标准的不统一导致有机肥质量得不到充分的保障^[29]。综上,在优化土壤理化性质方面,3种不同有机肥配施处理均有一定的作用,均可用于培肥土壤,且商品有机肥+豆粕处理和羊粪+豆粕处理的效果较佳。

茶叶作为中国重要的经济作物之一,其产量及

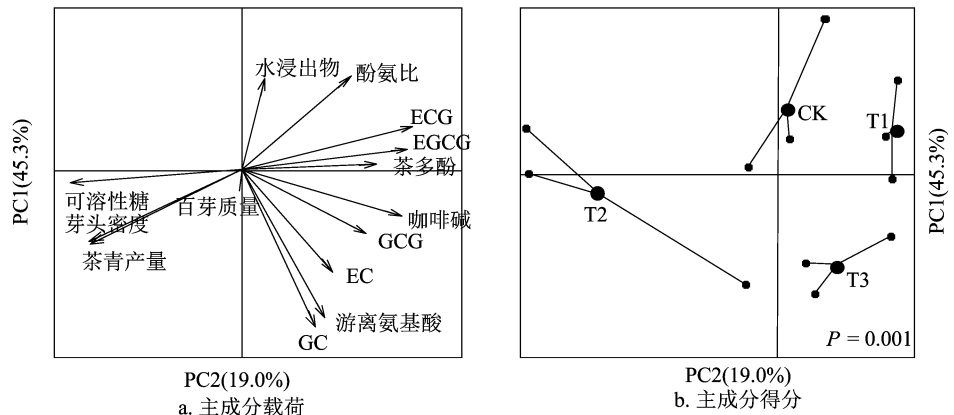


图6 不同有机肥施处理对的茶园产量及品质的主成分分析

表 3 不同有机肥施处理对 N、P、K 元素吸收及肥料农学效率的影响

处理	茶叶养分含量(%)			茶叶养分吸收总量(kg/hm ²)			肥料农学效率(kg/kg)	肥料偏生产力(kg/kg)
	N	P	K	N	P	K		
不施肥(CK)	3.37±0.06a	1.06±0.06b	1.43±0.01a	19.94±3.00b	6.24±0.85b	8.48±1.31b		
商品有机肥(T1)	3.91±0.75a	1.08±0.10b	1.43±0.02a	25.62±5.56b	7.05±0.52b	9.33±0.24b	0.36±0.14b	3.92±0.14b
商品有机肥+豆粕(T2)	3.59±0.34a	1.65±0.05a	1.45±0.00a	36.61±7.36ab	16.75±2.14a	14.69±1.69a	2.53±0.72a	6.75±0.79a
羊粪+豆粕(T3)	3.65±0.06a	1.01±0.04b	1.44±0.01a	27.97±5.08ab	7.79±1.63b	11.01±1.98b	1.04±0.80b	4.39±0.76b

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

表 4 不同有机肥施经济效益分析

处理	茶叶产值	采摘人工成本	施肥人工成本	肥料成本	综合效益
不施肥(CK)	25.16	2.37	0.00	0.00	22.78
商品有机肥(T1)	27.70	2.61	0.75	1.68	22.66
商品有机肥+豆粕(T2)	43.06	4.06	0.75	3.49	34.76
羊粪+豆粕(T3)	32.51	3.07	0.75	1.57	27.12

品质广受关注。而土壤的肥力条件间接影响茶叶的产量及品质成分含量。商品有机肥+豆粕处理中的芽头密度和茶青产量均高于其他处理(图4),这与郭龙等的研究结论基本一致^[30],说明施用有机肥可以提高茶叶产量。茶园施用有机肥可以通过改良土壤物理化学性质,进而优化茶叶的产量品质^[31-33]。本试验商品有机肥处理和羊粪+豆粕处理对于提高茶叶咖啡碱含量和GCG含量具有明显的作用,商品有机肥+豆粕处理对于提高茶叶的可溶性糖含量具有明显的作用(图5)。Lei等认为,有机肥能够改良茶园土壤,同时也能够提高茶叶品质^[33],有机肥施用有利于茶叶水浸出物、茶多酚、氨基酸等品质成分含量的提高^[7],这与本试验的研究结果基本一致。肥料农学效率可综合体现施肥增产效果。商品有机肥+豆粕处理的肥料农学效率

和肥料偏生产力显著高于其他处理,与单施商品有机肥相比,其农学效率提升最大,增幅达到6倍以上($P<0.05$,表3)。商品有机肥+豆粕处理的综合经济效益增幅也最高,增加达到11.98万元/hm²,其次是羊粪+豆粕处理,增加4.34万元/hm²(表4)。综上,商品有机肥+豆粕配施和羊粪+豆粕配施在提升茶叶产量和品质上效果较佳,但商品有机肥+豆粕配施的肥料农学效率和综合经济效益最高。

在对华南山地茶园有机肥高效施用模式的探究中,羊粪+豆粕配施对茶园土壤改良及茶叶品质提升效果最佳,商品有机肥+豆粕配施的肥料农学效率和综合经济效益最高,单一施用商品有机肥的作用最小。因此,在之后的山地茶园施肥中可以优先考虑商品有机肥+豆粕配施模式,不仅对优化土壤理化性质和茶叶品质均有一定的促进作用,且肥

料农学效率和综合经济效益高,但对商品有机肥的选择要注意选择正规优质的有机肥。

参考文献:

- [1] 伊晓云,马立锋,石元值,等. 茶园有机肥使用和有机肥替代化肥技术[J]. 中国茶叶,2018,40(6):10-13.
- [2] 崔莹莹,周波,陈义勇,等. 广东茶区土壤肥力时空变化分析与综合评价[J]. 中国农学通报,2023,39(1):85-95.
- [3] Huang S, Rui W Y, Peng X X, et al. Organic carbon fractions affected by long-term fertilization in a subtropical paddy soil[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems,2010,86(1):153-160.
- [4] 宁川川,王建武,蔡昆争. 有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展[J]. 生态环境学报,2016,25(1):175-181.
- [5] 罗贤力,席明,郑克梅. 茶叶施肥存在问题及解决对策[J]. 世界热带农业信息,2021(5):23-24.
- [6] 尹荣秀,王文华,郭灿,等. 有机肥对茶园土壤及茶叶产量与品质的影响研究进展[J]. 茶叶通讯,2020,47(1):6-12.
- [7] 刘佩诗,黄瑜,甘曼琴,等. 茶园土壤有机肥施用效应和施肥技术[J]. 中国土壤与肥料,2021(2):306-311.
- [8] 陈龙,韦增辉,赵庆杰,等. 不同蛋白源有机肥分解过程中组成性质变化特征[J]. 中国土壤与肥料,2021(3):331-339.
- [9] 田永,杨峥,曾婕. 不同商品有机肥对茶叶生长及产量的影响[J]. 现代农业科技,2022(11):15-17.
- [10] 李维,刘红艳,江涛,等. 有机肥配施对茶叶品质与茶园土壤养分的影响[J]. 茶叶通讯,2022,49(3):317-322.
- [11] 李正辉,殷全玉,马君红,等. 羊粪有机肥对洛阳植烟土壤微生物群落结构和功能的影响[J]. 山东农业科学,2022,54(5):84-97.
- [12] 芦伟,高月锋,简路洋,等. 羊粪作为有机肥对植物和土壤的影响[J]. 家畜生态学报,2019,40(9):86-90.
- [13] 辛董董,葛兰英,张浩. 茶园施用豆粕发酵肥对土壤理化性质与茶叶品质的影响[J]. 河南科技学院学报(自然科学版),2021,49(3):22-30.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000:14-177.
- [15] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986:112-234.
- [16] 张正竹. 茶叶生物化学实验教程[M]. 北京:中国农业出版社,2009:30-102.
- [17] 周波,陈勤,陈汉林,等. 广东单丛茶区化肥减施增效技术模式研究[J]. 茶叶科学,2020,40(5):607-616.
- [18] Thioulouse J, Chessel D, Doledec S, et al. ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software [J]. Statistics and Computing,1997,7(1):75-83.
- [19] Li R, Tao R, Ling N, et al. Chemical, organic and bio-fertilizer management practices effect on soil physicochemical property and antagonistic bacteria abundance of a cotton field: implications for soil biological quality [J]. Soil and Tillage Research,2017,167:30-38.
- [20] 刘明月,张凯鸣,毛伟,等. 有机肥长期等氮替代无机肥对稻麦产量及土壤肥力的影响[J]. 华北农学报,2021,36(3):133-141.
- [21] 陈贵,张红梅,沈亚强,等. 猪粪与牛粪有机肥对水稻产量、养分利用和土壤肥力的影响[J]. 土壤,2018,50(1):59-65.
- [22] 欧俊辉,张海. 长期定位施肥对小麦产量及土壤肥力的影响[J]. 安徽农业科学,2017,45(15):126-128.
- [23] 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.
- [24] 康彦凯,黄静,周长虹,等. 不同有机肥对茶叶产量与品质的影响[J]. 福建茶叶,2018,40(3):16-17.
- [25] 姜利红,谢桂先,刘强,等. 有机无机肥配施对双季稻田土壤微生物和碳库的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2018,44(3):295-300.
- [26] 吴立鹏,张士荣,娄金华,等. 有机无机配施对滨海盐渍化土壤磷含量及水稻生长、产量的影响[J]. 华北农学报,2018,33(1):203-210.
- [27] Ji L F, Wu Z D, You Z M, et al. Effects of organic substitution for synthetic N fertilizer on soil bacterial diversity and community composition: a 10-year field trial in a tea plantation [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment,2018,268:124-132.
- [28] 戴美玲,向铁军,陈琪,等. 不同施肥模式对茶叶产量和品质的影响[J]. 湖南农业科学,2020(12):32-35.
- [29] 张文,韩健,李先信,等. 浅谈商品有机肥[J]. 南方农业,2021,15(15):230-232.
- [30] 郭龙,李陈,刘佩诗,等. 牛粪有机肥替代化肥对茶叶产量、品质及茶园土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报,2021,35(6):264-269.
- [31] Das S, Borua P K, Bhagat R M. Soil nitrogen and tea leaf properties in organic and conventional farming systems under humid sub-tropical conditions [J]. Organic Agriculture,2016,6(2):119-132.
- [32] 王建华,马军伟,俞巧钢,等. 有机肥部分替代化肥对茶叶产量与品质的影响[J]. 浙江农业科学,2020,61(4):689-691.
- [33] Lei G, Chen X, Wei K. Preliminary study on the application of Jiayuan organic fertilizer on tea plant [J]. Agricultural Science & Technology,2016,17(5):1152-1154,1237.