

引用格式:

周家昊, 孙万春, 俞巧钢, 林辉, 王强, 叶静, 陈照明, 马军伟, 杨军. 3种有机肥部分替代化肥对春茶产量与品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2023, 49(1): 79–85.

ZHOU J H, SUN W C, YU Q G, LIN H, WANG Q, YE J, CHEN Z M, MA J W, YANG J. Effects of partial replacement of chemical fertilizer by three organic fertilizers on the yield and quality of spring tea[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2023, 49(1): 79–85.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



3种有机肥部分替代化肥对春茶产量与品质的影响

周家昊^{1,2}, 孙万春², 俞巧钢², 林辉², 王强², 叶静², 陈照明², 马军伟^{2*}, 杨军^{1*}

(1.长江大学农学院, 湖北 荆州 434025; 2.浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所, 浙江 杭州 310021)

摘要: 于浙西丘陵地区‘龙井43’成龄茶园设置纯化肥和猪粪、茶渣、沼渣3种肥源有机肥处理(有机肥替代50%化肥), 连续2 a进行大田试验, 探究3种不同肥源有机肥部分替代化肥对春茶产量、品质及中量、微量元素含量的影响。结果表明: 连续施用2 a有机肥后, 猪粪、茶渣、沼渣有机肥分别比纯化肥提高春茶鲜叶产量21.53%、3.98%和6.62%; 与纯化肥相比, 有机肥施用1 a和2 a后, 茶渣、沼渣有机肥处理的茶叶游离氨基酸总量均有所提高; 茶渣有机肥施用1 a后显著降低了茶叶酚氨比, 猪粪、沼渣有机肥施用2 a后也显著降低了茶叶酚氨比, 有机肥施用2 a对茶叶品质的提升效果比1 a更明显; 采用主成分分析法对2 a试验茶叶产量和品质数据进行综合评价, 茶渣有机肥、猪粪有机肥、沼渣有机肥、纯化肥的综合得分依次降低; 猪粪有机肥处理的茶叶Cu、Zn含量最高, 茶渣有机肥处理的茶叶Ca、Mg、Fe、Mn含量最高。可见, 施用3种有机肥均可提高茶叶产量, 改善茶叶品质, 促进茶叶对中量、微量元素的吸收, 尤其以茶渣有机肥在茶园的应用效果更佳。

关键词: 春茶; 有机肥; 猪粪; 茶渣; 沼渣; 中量元素; 微量元素

中图分类号: S571.106.2

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2023)01-0079-07

Effects of partial replacement of chemical fertilizer by three organic fertilizers on the yield and quality of spring tea

ZHOU Jiahao^{1,2}, SUN Wanchun², YU Qiaogang², LIN Hui², WANG Qiang²,
YE Jing², CHEN Zhaoming², MA Junwei^{2*}, YANG Jun^{1*}

(1.College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025, China; 2.Institute of Environmental Resources and Soil Fertilizer, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou, Zhejiang 310021, China)

Abstract: To explore the effects of three types of organic fertilizers on the yield, quality and content of medium and trace elements of spring tea, two-year field trials were performed in the ‘Longjing43’ mature tea garden in the hilly area of western Zhejiang. Four fertilization treatments were set including chemical alone fertilizer as control and three organic fertilizers, which were made by pig manure, tea residue, and biogas residue, and organic fertilizer replaces 50% of chemical fertilizer. The results showed that compared with chemical fertilizers, after continuous application of organic fertilizer for 2 a, the organic fertilizers from pig manure, tea residue, and biogas residue increased the yield of fresh leaves of spring tea by 21.53%, 3.98% and 6.62%, respectively. Compared with chemical fertilizers, the total amount of free amino acids in tea treated with organic fertilizers from tea residues and biogas residues increased after 1 a and 2 a of application. The phenol-ammonia ratio of the organic fertilizer from tea residues was significantly reduced after 1 a of application. The phenol-ammonia ratios of the three kinds of organic fertilizers significantly reduced after 2 a of application, and the improvement effect of organic fertilizer application for 2 a on tea quality was more obvious than that

收稿日期: 2022-04-27

修回日期: 2022-10-25

基金项目: 浙江省重点研发计划项目(2022C02045、2020C02030); 浙江科技创新领军人才项目(2021R52045)

作者简介: 周家昊(1997—), 男, 湖北宜昌人, 硕士研究生, 主要从事植物营养与土壤健康研究, jhzhou1997@163.com; *通信作者, 马军伟, 硕士, 研究员, 主要从事作物营养与施肥、农业废弃物资源化利用研究, majunwei11@163.com; *通信作者, 杨军, 博士, 副教授, 主要从事水环境与水生态、浮游植物和湿地水体修复研究, junyang2@yangtzeu.edu.cn

for 1 a. The data of tea yield and quality in the two consecutive years were comprehensively evaluated using the principal component analysis, and the comprehensive scores of tea residue, pig manure, biogas residue and only chemical fertilizer were decreased in turn. The content of Cu and Zn in tea leaves treated with pig manure organic fertilizer were the highest, and the content of Ca, Mg, Fe, and Mn in tea leaves treated with tea residue organic fertilizer were the highest. It could be seen that the application of the three organic fertilizers could increase the yield of tea, improve the quality of tea, and promote the absorption of medium and trace elements in tea, especially the application of tea residues organic fertilizer in tea gardens was better than the other two fertilizer.

Keywords: spring tea; organic fertilizer; pig manure; tea residue; biogas residue; medium element; trace element

随着区域产业结构调整,茶叶种植已成为部分地区农民增收的主导产业^[1],2020年中国茶园面积达321.7万hm²^[2]。然而,为追求更大的经济效益,茶农盲目施用化肥和农药,导致茶园土壤理化性状变差,养分流失,茶叶产量和品质降低等问题^[3-4]。随着社会的不断进步,人们对健康土壤越发重视。针对上述问题,农业农村部发布了《开展果菜茶有机肥替代化肥行动方案》等多种形式的茶园化肥减施增效技术方案,在茶园得以广泛应用^[5]。针对单施不同肥源有机肥,刘术新等^[6]研究结果显示,与纯化肥相比,施用猪粪沼液、鸡粪堆肥、海产品残渣3种有机肥均能显著提高茶叶鲜叶产量和改善茶叶品质,产量增加8.58%~17.83%,其中猪粪沼液效果最佳。孔晓君等^[7]研究化肥减量配施有机肥对茶叶产量及品质的影响,结果显示,化肥减量50%配施有机肥对茶叶产量及品质均有显著提升。也有报道^[8]称,有机肥替代20%~50%化肥时,全年茶叶产量较纯化肥显著提高,茶叶品质亦是最优。连续2a的田间定位试验表明,牛粪有机肥替代70%~100%氮肥对乌牛早茶产量及品质提升效果最佳,随着替代化肥比例的增加,产量呈上升趋势,但产量仍低于纯化肥处理^[9]。有机肥配施化肥可有效改良茶园土壤理化性状,提升茶叶产量及品质,但单施有机肥也可能对茶园产生不利影响^[10]。

目前,关于茶园有机肥施用的研究,普遍侧重于单一肥源有机肥的增产提质效果或不同有机替代比例对茶叶品质及产量影响等方面的研究。尤其是有机肥施用后对茶叶中量、微量元素吸收的研究较为缺乏,比较不同肥源有机肥对茶叶品质影响的研究也较少。茶渣作为茶叶食品、医药工业的副产物,产生量巨大,制成有机肥是将废

弃物资源化利用的最佳途径,但将茶渣有机肥应用于茶园的效果报道较少。本研究中,采用猪粪、茶渣和沼渣3种不同肥源有机肥的替代模式,以‘龙井43’绿茶为研究对象,研究3种有机肥配施化肥对茶叶产量、品质及中量、微量元素吸收的影响,探索适宜南方茶园有机肥替代化肥的最佳肥源,以期为南方茶园优质高效种植和有机肥替代化肥施用技术提供依据。

1 试验区概况

试验地点位于浙江省龙游县龙洲街道项庄村(28.976 839°N、119.167 604°E),地处浙江省西部,金衢盆地中部。降水多集中在4—9月,多年平均降水量1602.6 mm,年平均气温17.1℃,年日照时数1761.9 h,平均海拔高度80 m,无霜期257 d,属亚热带季风气候,盆地特征明显。于2018年10月—2020年10月选择地力较为均匀的成龄茶园进行田间试验。供试品种为绿茶‘龙井43’。茶园土壤为黄红壤,试验前表层土壤(0~20 cm)的pH为4.23,全氮、有机质质量分数分别为1.98、30.7 g/kg,有效磷和速效钾质量分数分别为124、525 mg/kg。

2 材料与方法

2.1 供试肥料

供试有机肥为猪粪有机肥、茶渣有机肥、沼渣有机肥。猪粪有机肥由龙游县旺农有机肥有限公司生产;茶渣有机肥由龙游茗皇生物科技有限公司生产;沼渣有机肥由浙江开启能源科技有限公司生产。3种有机肥质量均符合农业农村部的行业标准《有机肥料》(NY/T 525—2021),基本理化性状列于表1。茶叶专用复合肥养分质量分数为N 21%、P₂O₅ 7%、K₂O 12%,由湖北新洋丰肥业股份有限公司生产。

表 1 供试有机肥的基本理化性状

有机肥	pH	N/%	P ₂ O ₅ /%	K ₂ O/%	有机质/%	水分/%	Cu/(mg·kg ⁻¹)	Zn/(mg·kg ⁻¹)
猪粪	5.97	2.54	3.53	1.54	60.5	26.1	147.2	515.3
茶渣	8.02	3.88	3.75	1.08	79.9	56.5	50.7	219.8
沼渣	7.91	2.84	11.17	1.31	52.8	39.5	97.1	247.7

2.2 试验设计

试验设 4 个处理: CF, 纯化肥, 2.250 t/hm² 专用复合肥, 施肥量为 N 472.5 kg/hm²、P₂O₅ 157.5 kg/hm²、K₂O 270 kg/hm²; T1, 15 t/hm² 猪粪有机肥+1.125 t/hm² 专用复合肥; T2, 15 t/hm² 茶渣有机肥+1.125 t/hm² 专用复合肥; T3, 15 t/hm² 沼渣有机肥+1.125 t/hm² 专用复合肥。每个处理 3 个重复, 每个小区面积为 60 m², 连续开展 2 a 田间试验。有机肥作基肥施用, 用旋耕机开沟深施 (10~15 cm), 施肥后再覆土。每年 10 月施用基肥, CF 施用 0.750 t/hm² 专用复合肥, 其他处理施用 15 t/hm² 有机肥+0.375 t/hm² 专用复合肥; 次年 3 月和 6 月追肥 2 次, 每次 CF 和其他处理分别施用 0.750、0.375 t/hm² 专用复合肥。

2.3 样品采集与处理

于试验前(2018 年 9 月)采集茶园表层土壤(0~20 cm), 将土样风干研磨后过孔径 0.25 mm 筛, 用于测定土壤基本理化性状。每年 3 月中旬至 4 月底采集春茶两叶一心鲜叶, 春茶需要采摘 28~36 次, 累计测产。同时, 每个大区采集 3 个独立茶叶样品 500 g 左右, 冷藏保鲜并及时带回实验室, 用微波炉高温杀青 2 min, 晾干 2 h, 70 °C 下烘干 4 h 以上, 用于测定茶叶品质。选择 2020 年采集的春茶样品测定中量、微量营养元素含量。

2.4 测定方法

采用差重法(GB/T 8305—2013)测定茶叶水浸出物含量; 采用分光光度计法(NY/T 3082—2017)测定叶绿素总量; 采用酒石酸亚铁比色法(GB/T 8313)测定茶多酚含量; 采用茚三酮比色法(GB/T 8314—2013)测定游离氨基酸含量。酚氨比以茶多酚含量和游离氨基酸含量的比值表示。参照文献 [11], 采用硝酸-过氧化氢微波消解, 电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS, PlasmaQuant MS Elite, 德国耶拿分析仪器股份公司)测定茶叶的中量、微量

元素(铁、锰、铜、锌、钙、镁)。

2.5 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2019 进行数据处理与绘图; 利用 IBM SPSS Statistics 25.0 进行方差分析和主成分分析, 并选用 Duncan 法进行显著性检验。

3 结果与分析

3.1 不同有机肥对春茶鲜叶产量的影响

连续 2 a 有机肥施用, T1 两年春茶鲜叶产量均显著高于其他处理的, 2019、2020 年分别达 5565、3964 kg/hm², 分别较 CF 增产 14.51% 和 21.53%(表 2)。2019 年 T2、T3 春茶鲜叶产量均低于 CF 的, 分别减产 11.42%、17.28%; 2020 年 T2、T3 春茶鲜叶产量分别比 CF 处理增产 3.98% 和 6.62%。可见, 猪粪有机肥对春茶增产效果最好, 茶渣有机肥和沼渣有机肥连续施用 2 a 也有明显的增产效果。

表 2 施用不同有机肥的春茶鲜叶产量

Table 2 Yield of fresh leaves of spring tea with different organic fertilizers

处理	产量/(kg·hm ⁻²)		增产/%	
	2019 年	2020 年	2019 年	2020 年
CF	4860b	3262c		
T1	5565a	3964a	14.51	21.53
T2	4305c	3392bc	-11.42	3.98
T3	4020c	3478b	-17.28	6.62

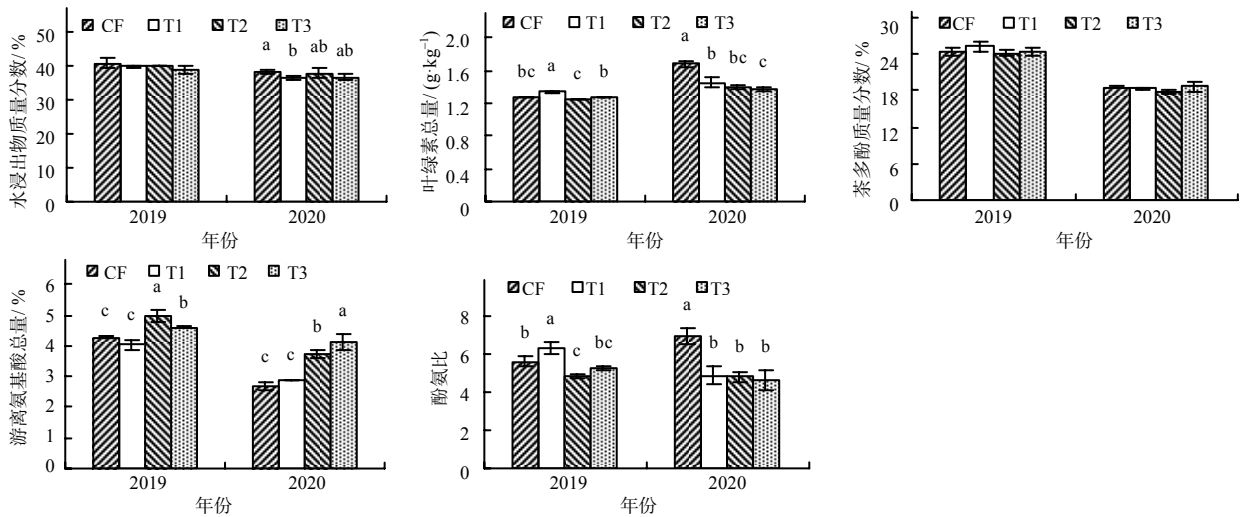
产量数据同列不同字母示处理间差异有统计学意义($P < 0.05$)。

3.2 不同有机肥对茶叶品质的影响

从图 1 可知, 连续 2 a 施用有机肥后, 不同肥源有机肥对茶叶品质有不同的影响。2019 年, 有机肥处理的茶叶水浸出物质量分数与 CF 的差异无统计学意义; 2020 年, T1 的茶叶水浸出物质量分数显著低于 CF 的, 其他各处理间的差异无统计学意义。2019 年, T1 的叶绿素总量显著高于其他处理的, T2、T3 与 CF 的差异无统计学意义; 2020 年, 有机肥处理的叶绿素总量则显著低于 CF 的,

T3 的最低。每年内各处理的茶多酚质量分数间的差异无统计学意义。2019 年, T1 的游离氨基酸总量与 CF 的差异无统计学意义, T2、T3 的均显著高于 CF 和 T1 的, 且 T2 的显著高于 T3 的; 2020 年, T1 的游离氨基酸总量依然与 CF 的差异无统计学意义, T2、T3 的仍显著高于 CF 和 T1 的, 只是 T3 的显著高于 T2 的。2019 年, T1 酚氨比显著

高于 CF 的, T2 的则显著低于 CF 的, T3 的与 CF 的差异无统计学意义; 2020 年, T1、T2、T3 的酚氨比均显著低于 CF 的。可见, 施用有机肥对茶叶品质的提升有积极作用, 尤其对游离氨基酸和酚氨比等品质指标有较大提升, 茶渣和沼渣有机肥对茶叶品质的提升效果明显优于猪粪有机肥的, 且施肥年限越长, 茶叶品质提升效果越好。



图柱上不同字母示相同年份处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

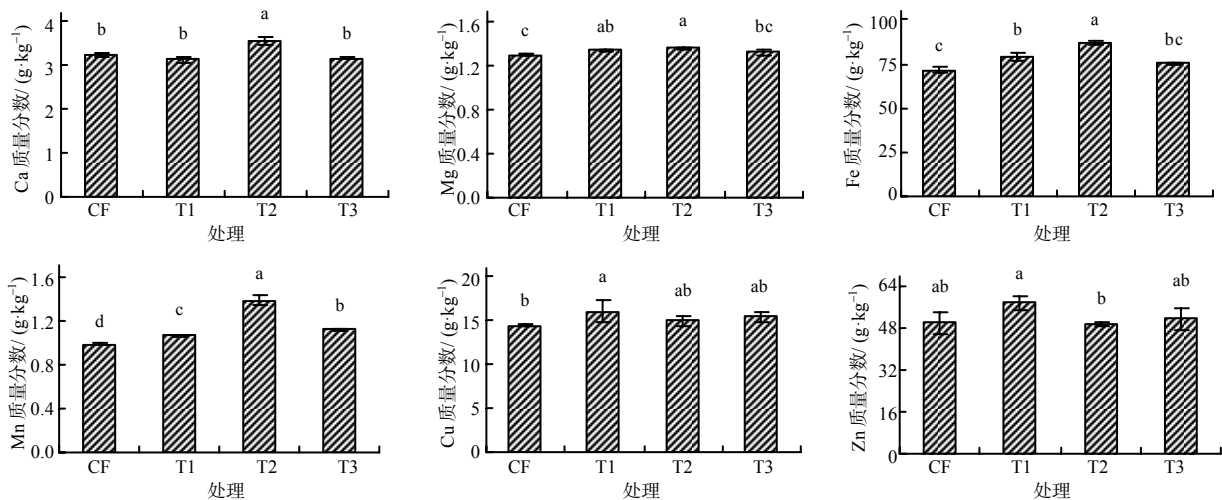
图 1 施用不同有机肥的春茶品质

Fig.1 The quality of spring tea with different organic fertilizers

3.3 不同有机肥对茶叶中量、微量元素的影响

连续 2 a 施用有机肥后, 不同有机肥处理茶叶中 Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn 等 6 种中量、微量元素质量分数有明显差异(图 2)。T2 茶叶中 Ca 质量分数显著高于其他处理的, 其他处理间的差异

均无统计学意义; 施用有机肥均能提高茶叶中 Mg、Fe、Mn 的质量分数, T2 的最高; T1 茶叶中 Cu 质量分数显著高于 CF 的, T2、T3 的与 CF 的差异均无统计学意义; T1、T2、T3 茶叶中 Zn 质量分数与 CF 间的差异均无统计学意义。表明 3 种



图柱上不同字母示处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

图 2 施用不同有机肥的春茶中的中量及微量元素质量分数

Fig.2 The mass fraction of medium and trace elements in the spring tea with different organic fertilizers

有机肥对茶叶中量、微量元素的吸收均有明显的促进作用，猪粪有机肥更有利于茶叶对 Cu、Zn 的吸收，对 Mg、Fe、Mn 的吸收也有显著的促进作用；茶渣有机肥促进茶叶对 Ca、Mg、Fe、Mn 吸收的效果最好；沼渣有机肥只对茶叶 Mn 的吸收有显著促进作用，整体效果明显差于猪粪有机肥和茶渣有机肥。

3.4 不同有机肥处理的茶叶产量和品质综合评价结果

对 2 年田间试验的茶叶产量、品质(水浸出物、叶绿素、茶多酚、游离氨基酸、酚氨比)等 6 个性状指标进行主成分分析，各指标间相关性系数如表 3 所示。所有指标均有 1 组及以上指标与之显著或极显著相关($P < 0.01$ 或 0.05)：因此，选择所有指标进行主成分分析。提取 2 个特征值大于 1 的主成分如表 4 所示。从表 4 可知，主成分 1、2 的特征值分别为 3.121、1.645，分别代表 4 种施肥处理的上述 6 个指标 52.01%和 27.42%的信息，前 2 个主成分累计贡献率达到 79.43%，说明这 2 个主成

表 3 施用不同有机肥的春茶产量和品质指标的相关系数

指标	相关系数				
	水浸出物	叶绿素	茶多酚	游离氨基酸	酚氨比
产量	0.390	-0.331	0.489*	0.210	-0.146
水浸出物		-0.487*	0.701**	0.503*	-0.247
叶绿素			-0.596**	-0.847**	-0.487*
茶多酚				0.592**	-0.246
游离氨基酸					0.442*

“*”“**”分别示相关性显著($P < 0.05$)、极显著($P < 0.01$)。

表 4 施用不同有机肥的春茶产量和品质指标的主成分分析结果

指标	主成分 1 载荷	主成分 2 载荷
产量	0.966 3	0.509 2
水浸出物	1.353 2	0.504 1
叶绿素	-1.547 6	0.504 1
茶多酚	1.494 6	0.465 6
游离氨基酸	1.508 7	-0.505 3
酚氨比	0.272 1	-1.210 8
特征值	3.121	1.645
贡献率/%	52.01	27.42
累计贡献率/%	52.01	79.43

分反映了 6 个原始变量 79.43%的信息：因此，提取前 2 个主成分代替原始 6 个茶叶产量、品质指标对不同施肥处理效果进行综合评价，达到降维目的。根据主成分综合得分模型，可计算出不同施肥处理对茶叶产量、品质影响的综合得分和排序(表 5)，T2、T1、T3、CF 的综合得分依次降低。

表 5 施用不同有机肥的春茶产量和品质指标的主成分分析得分和综合得分及排序

处理	主成分 1 得分	主成分 2 得分	综合得分	排序
CF	-1.629 6	2.034 1	-0.364 9	4
T1	-0.476 6	1.247 9	0.118 7	2
T2	1.078 9	-1.537 6	0.175 7	1
T3	0.482 4	-1.346 7	-0.149 0	3

4 结论与讨论

本研究中，与纯化肥处理相比，施用猪粪有机肥在第 1 年(2019 年)和第 2 年(2020 年)的春茶鲜叶产量分别增加 14.51%和 21.53%；施用茶渣有机肥和沼渣有机肥后第 1 年茶叶产量有所减产，但连续施用 2 a 春茶鲜叶产量分别增加 3.98%、6.62%；猪粪有机肥、沼渣有机肥、茶渣有机肥的增产效果依次降低，且在连续施用 2 a 有机肥后，3 种有机肥均表现出比第 1 年更好的增产效果。这与刘术新等^[6]施用猪粪有机肥较纯化肥显著提高茶叶鲜叶产量 8.58%~17.83%的研究结果相似。但不同肥源有机肥由于其成分和理化性状的差异^[12]，在土壤中矿化速率不同^[13]，当季养分供应量也是有差异的^[14-15]。茶渣是茶业经工业化提取后的废弃物，沼渣是在沼气池有机物料经高强度微生物分解后的残渣，二者的成分都较难矿化分解；猪粪有机肥更易矿化，而茶渣有机肥和沼渣有机肥在当年矿化比例低，释放养分少，需要更长时间才能充分发挥其功效：因此，本研究中的茶渣有机肥和沼渣有机肥施用时应提高化肥配施比例，减少化肥替代量，或延长有机肥施用年限等，以获得更好的增产效果。

据文献[6-8,16]报道，施用有机肥能够改善茶叶品质。本研究中，施用有机肥对茶叶品质的提升有明显效果，尤其对游离氨基酸和酚氨比等品

质指标的影响效果显著。酚氨比是衡量茶鲜叶品质的重要指标^[17]。就绿茶品质而言,酚氨比越低,越有利于提高名优绿茶的品质^[18]。本研究中,与纯化肥处理相比,有机肥施用 1 a 和 2 a 后,茶渣、沼渣有机肥处理的茶叶游离氨基酸总量均有所提高,且施用 2 a 比 1 a 提升效果更明显;有机肥施用 1 a 后茶渣有机肥显著降低茶叶酚氨比,施用 2 a 后 3 种有机肥均显著降低茶叶酚氨比,施用 2 a 对茶叶品质的提升效果明显好于施用 1 a 的。表明 3 种有机肥对茶叶品质均有很好的提升效果,且施肥年限越长,效果越好。采用主成分分析法对 2 年试验的茶叶产量和品质指标进行综合评价,茶渣有机肥、猪粪有机肥、沼渣有机肥、纯化肥的综合得分依次降低。茶渣有机肥更有利于提高茶叶品质,可能跟茶渣有机肥含有的养分种类和含量与茶叶的养分需求特征更相符有关。

茶树富含 Fe、Mn、Cu、Zn、Ca、Mg 等多种中量、微量元素,体内中量、微量元素的丰缺状况影响着茶树的生长发育^[19],一旦缺乏或过量,都将显著影响茶叶品质^[20]。施用有机肥能促进茶叶对中量、微量营养元素的吸收^[6,21]。本研究结果显示,连续 2 a 有机肥施用后,3 种有机肥促进茶叶中量、微量元素吸收的表现与提升茶叶品质的趋势是一致的,但针对具体的元素,不同类型有机肥处理间存在差异。猪粪有机肥处理更有利于茶叶中 Cu、Zn 的吸收,茶渣有机肥处理更有利于茶叶中 Ca、Mg、Fe、Mn 的吸收,沼渣有机肥只对 Mn 的吸收有显著促进作用。这与刘术新等^[6]研究发现有机肥均能显著提高茶叶 Cu、Zn 含量的结果基本一致。不同类型有机肥导致茶叶中量、微量元素含量的差异可能是与肥源的性质不同有关。据文献^[22-23]报道,中国规模化猪场粪便中 Cu、Zn 残留量较高,最高残留量分别达到 3692、916 mg/kg,故猪粪有机肥能促进茶叶 Cu、Zn 含量的增加。茶渣有机肥主要来源于茶叶加工提取后的废弃物,是茶业食品、医药等工业生产过程中的废弃物,富含 Fe、Ca、Mg、Mn 等元素^[24]。可见,茶渣有机肥更有利于茶叶中量、微量元素的吸收,猪粪有机肥次之。

有机肥养分总量和种类均比其替代的化肥更高、更丰富,其养分释放的缓效性有助于减少肥

料养分流失,提高养分利用率。同时,有机肥的腐殖质可促进土壤大团聚体的形成,减少微团聚体的比例^[25],有利于吸附、固定土壤中易流失的无机养分,提高配施化肥的肥料利用率。总体上有机肥配施化肥对全量和速效养分的提升效果优于单独施用化肥,可改善养分容库,提高土壤的供肥容量^[26-27]。这些因素均是有机肥替代部分化肥能提高茶叶产量和品质的原因。

茶园施用有机肥能明显提高茶叶产量和品质,也能促进茶叶对中量、微量元素的吸收,施肥年限越长的效果越好。猪粪有机肥对茶叶的增产效果最好;茶渣有机肥对茶叶品质和微量元素吸收具有最佳效果,是一种理想的茶园有机肥,但对茶渣有机肥替代化肥的最佳比例尚需进一步研究。

参考文献:

- [1] 唐文源,彭丽,张国政,等. 生产经营主体参与公共品牌建设的动力机制研究:基于湖南省茶叶产业的实证分析[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版), 2022, 23(1): 72-79.
- [2] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [3] 陈秋金. 不同调理剂对茶园土壤理化性状及茶叶产量、品质的影响[J]. 福建农业学报, 2014, 29(10): 1015-1020.
- [4] 黄东风,李卫华,范平,等. 低碳经济与中国茶业可持续发展对策研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(5): 1110-1115.
- [5] 倪康,廖万有,伊晓云,等. 我国茶园施肥现状与减施潜力分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(3): 421-432.
- [6] 刘术新,丁枫华,刘巧玲. 不同肥源有机肥对茶叶产量、品质及安全性的影响[J]. 河南农业科学, 2016, 45(12): 45-48.
- [7] 孔晓君,尚晓阳,李玉胜,等. 减少化肥配施有机肥对茶叶产量和品质的影响[J]. 山东农业科学, 2021, 53(11): 94-99.
- [8] 王子腾,耿元波,梁涛,等. 减施化肥和配施有机肥对茶园土壤养分及茶叶产量和品质的影响[J]. 生态环境学报, 2018, 27(12): 2243-2251.
- [9] 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.
- [10] 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.

- [11] AVULA B, WANG Y H, SMILLIE T J, et al. Quantitative determination of multiple elements in botanicals and dietary supplements using ICP-MS[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(16): 8887–8894.
- [12] 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.
- [13] 赵明, 蔡葵, 赵征宇, 等. 不同有机肥料中氮素的矿化特性研究[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(S1): 146–149.
- [14] ZHANG J M, WANG J K, AN T T, et al. Effects of long-term fertilization on soil humic acid composition and structure in Black Soil[J]. *PLoS One*, 2017, 12(11): e0186918.
- [15] ADEKIYA A O, EJUE W S, OLAYANJU A, et al. Different organic manure sources and NPK fertilizer on soil chemical properties, growth, yield and quality of okra[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 16083.
- [16] 孔晓君, 尚晓阳, 李玉胜, 等. 有机肥与控释复合肥配施对茶叶产量、品质和土壤化学性质的影响[J]. *土壤通报*, 2021, 52(6): 1377–1383.
- [17] LIANG Y R, LU J L, ZHANG L Y, et al. Estimation of black tea quality by analysis of chemical composition and colour difference of tea infusions[J]. *Food Chemistry*, 2003, 80(2): 283–290.
- [18] 吴瑞梅, 艾施荣, 吴彦红, 等. 基于近红外光谱的绿茶滋味品质估测模型[J]. *核农学报*, 2013, 27(10): 1495–1500.
- [19] 刘俏, 林勇, 胡小飞, 等. 氮磷肥对茶树锌硒等中微量元素吸收与分配的影响[J]. *生态学报*, 2021, 41(2): 637–644.
- [20] 姚元涛, 张丽霞, 王日为, 等. 山东棕壤茶区茶树荧光性绿斑病因的营养诊断[J]. *茶叶科学*, 2009, 29(2): 144–153.
- [21] 任艳芳, 何俊瑜, 张艳超, 等. 贵州省开阳茶园土壤有效微量元素状况分析[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(12): 432–435.
- [22] 王飞, 邱凌, 沈玉君, 等. 华北地区饲料和畜禽粪便中重金属质量分数调查分析[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(5): 261–267.
- [23] YANG X P, LI Q, TANG Z, et al. Heavy metal concentrations and arsenic speciation in animal manure composts in China[J]. *Waste Management*, 2017, 64: 333–339.
- [24] DAMBIEC M, POLECHOŃSKA L, KLINK A. Levels of essential and non-essential elements in black teas commercialized in Poland and their transfer to tea infusion[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2013, 31(1): 62–66.
- [25] HE Y B, YANG M X, CHEN B G, et al. Soil aggregation influences soil drought degree after long-term organic fertilization in red soil[J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2022, 15(5): 410.
- [26] LEI G X, CHEN X, KANG W. Preliminary study on the application of Jiayuan organic fertilizer on tea plant[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2016, 17(5): 1152–1154.
- [27] 刘雨薇, 裴久渤, 李艾蒙, 等. 长期化学氮肥和有机肥施用对棕壤肥力指标的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2020, 51(1): 117–121.

责任编辑: 邹慧玲
英文编辑: 柳正