

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.20046

茶园土壤有机肥施用效应和施肥技术

刘佩诗, 黄瑜, 甘曼琴, 高琳琳, 马友华*

(安徽农业大学资源与环境学院, 安徽 合肥 230036)

摘要: 茶园土壤施用有机肥在提高土壤肥力、增加茶叶产量和改善茶叶品质方面具有积极效应, 同时也应注意施用有机肥带来的安全性风险。对茶园施用有机肥的作用、施肥技术与安全性风险进行研究发现, 茶园施用有机肥能改善土壤理化性状和土壤生物环境, 促进茶树生长及提升茶叶品质。有机-无机肥料配合施用是适宜现代化绿色、安全、可持续发展茶园的施肥模式。畜禽粪便生产的有机肥存在含有重金属、抗生素和激素残留的现象, 茶园施用动物源有机肥存在环境和健康风险。基于以上研究, 展望了茶园土壤有机肥施用的研究方向, 为茶园土壤推广和应用有机肥提供科学依据。

关键词: 有机肥; 茶园; 土壤肥力; 施肥技术; 安全性

保障茶园土壤肥力和健康是提高茶叶品质和产量的重要前提。众多的研究认为不合理的茶园施肥和土壤环境不断恶化, 是导致茶叶单产低、品质差的主要原因^[1-3]。据统计, 我国约有 30% 的茶园过量施用化肥, 约 80% 的茶园施用的化肥氮磷钾比例不完全符合茶叶养分需求, 其中有机肥仅占茶园施肥的 15%, 茶园土壤不断酸化且肥力水平下降^[4]。因此, 如何有效提高茶园土壤肥力和保障土壤健康, 解决茶园土壤施肥不合理和施肥技术问题, 是我国茶叶种植保持可持续发展的关键。

随着农业生产和投入的日益增长, 农业废弃物产出也不断扩大, 如何让农业废弃物成为一种安全、有效的有机肥料供给植物生长发育成为新的切入点。有机肥在改良茶园土壤的同时可以提升茶叶品质^[5-6], 对茶树生长、茶叶产量等都有积极作用^[7-9]。研究表明, 有机-无机肥配合施用营养全面, 能够满足茶树生长各方面需要, 配施比例为 20% ~ 50% 时, 土壤养分、茶叶品质及产量均达最优^[10]。茶叶对色香味等品质要求较为特殊, 而茶园中施用有机肥可以提高茶叶原有自然风味, 味浓耐泡, 品质提高^[11]。鉴于此, 本文围绕茶园施

用有机肥对茶园土壤肥力的影响、对茶树生长发育和茶叶品质的影响、施肥技术及安全性分析 4 个方面展开综述, 以期有机肥在茶园土壤改良、提高茶叶产量和品质等方面的应用提供理论依据。

1 有机肥施用对茶园土壤肥力的影响

1.1 有机肥对茶园土壤物理性状的影响

土壤结构、土壤水分和空气状况等土壤物理性状不仅直接决定土壤的通气透水性, 还进一步影响茶树的根系生长和水分、养分的吸收。罗文^[12]发现, 土壤容重适宜, 有较多疏松多孔的团粒结构, 持水导气能力强, 有利于茶树根系生长和增加地上部生物量。茶园生产中, 施用有机肥可有效改良土壤结构、提高土壤肥力, 进而提升茶叶的产量和品质^[13-14]。研究表明, 相比于不施肥, 长期连续施用不同类别有机肥的茶园土壤, 增加了 14.28% 的田间持水量, 降低了 14.59% 的土壤容重^[15-16]。黄海涛等^[15]研究了有机肥对 0 ~ 20 和 20 ~ 40 cm 土层水分和容重的影响, 结果表明, 菜饼肥处理下茶园土壤水分的增加效果明显, 较空白处理增幅 5.7% ~ 10.7%; 深层土壤容重降低, 降幅为 3.8%。此外, 长期施用有机肥可以增加土壤有机质的胶结作用和土壤微生物活性, 从而有利于土壤大团聚体的形成, 改善团聚体的粒径分布, 有利于茶园土壤质量健康^[17]。长期定位试验研究表明, 相比单施化肥处理, 施用菌渣有机肥的土壤表层有机碳提高了 43.1% ~ 104.21%, >5 mm 的大团聚体含量提高了 15.2% ~ 41.39%, >0.25 mm 的水稳性团聚体含

收稿日期: 2020-01-30; 录用日期: 2020-03-17

基金项目: 2017 农业部果蔬茶有机肥替代化肥试点项目 (皖农土函 2017-651)。

作者简介: 刘佩诗 (1995-), 女, 安徽人, 硕士, 主要从事土壤生态环境与农业面源污染控制研究。E-mail: 106716461@qq.com。

通讯作者: 马友华, E-mail: yhma@ahau.edu.cn。

量提升了 2.31% ~ 7.31%，且随着菌渣施用量的增加而增加^[18-19]。

1.2 有机肥对茶园土壤养分的影响

茶树的生长发育与土壤养分密切相关，茶园土壤最适 pH 为 4.0 ~ 5.5，当 pH 小于 4 时，通常认为土壤酸化严重。土壤严重酸化会导致土壤环境恶化、影响营养元素的吸收^[20]。研究表明，茶园施用有机肥料缓解了土壤酸化，全量有机肥处理 (pH=4.65) 较化肥处理 (pH=3.93) 增幅最大，达 18.3%^[21]。有机肥在提高茶园土壤 pH 的同时，也提高了肥料利用率，促进了养分的吸收与平衡^[22-24]。吴志丹等^[21]通过连续 4 年研究，比较了全量化肥、25%、50%、75% 和 100% 有机肥替代化肥 5 种处理对茶园土壤肥力的影响，结果表明 100% 有机肥替代化肥处理效果最佳，土壤有机质、全氮、有效磷和速效钾较单施化肥处理分别提高了 22.74%、32.23%、233.50% 和 56.63%。土壤速效养分的含量与土壤全量养分含量密切相关。研究表明，茶园配施有机肥增加了土壤活性有机碳储量^[23]，进一步提升有机质、全氮含量，保持速效养分供应的稳定性。林新坚等^[25]采取连续 4 年田间定位试验发现，配施有机肥处理对土壤有机质、全氮、全磷影响显著，其中全量有机肥处理各含量较化肥处理分别增加 233.59%、301.66%、296.19%。此外，陈默涵等^[26]比较了猪粪堆肥、沼渣和绿肥 3 种有机肥对春茶的影响，结果表明猪粪堆肥对土壤改良效果较好，土壤 pH、有机质、碱解氮和有效磷含量较不施肥处理分别增加了 6.60%、28.48%、73.83% 和 28.12%。相较于化肥处理，1/2 茶叶配方肥 + 1/2 有机肥 + 豆科绿肥处理更有利于土壤全氮、全磷、水解氮和速效钾含量的提升，增幅分别为 135.82%、138.12%、75.72% 和 40.38%^[25]。此外吴崇书等^[27]研究发现，长期单施化肥土壤具有较高的 $\text{NO}_3^- - \text{N}/\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和有效态无机氮含量，而有机肥和化肥配施的土壤协调了土壤养分的转化，降低了土壤氮磷流失的风险，有利于生态环境的健康发展。

1.3 有机肥对茶园土壤微生物性质的影响

在土壤生态系统中微生物是最活跃的组成成分，对土壤物质循环、能量流动具有重要作用。经有机肥处理的微生物碳和微生物氮含量分别为 129.00 和 28.98 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，较空白处理提高了 142.66% 和 66.17%^[28]。吴志丹等^[21]通过连续

定位试验表明，配施有机肥显著提高土壤微生物商 (微生物生物量碳 / 土壤有机碳)，提升幅度 38.46% ~ 43.85%，其中 25% ~ 50% 有机肥替代化肥处理降低了茶园土壤微生物生物量碳 / 微生物生物量氮，表明有机肥和化肥合理配施有利于土壤形成较为理想的微生物种群结构。土壤酶来自于微生物，动植物残体是土壤有机质和无机养分转化的直接调控者^[29]。研究表明长期配施有机肥能增加过氧化氢酶、脲酶、转化酶和磷酸酶的活性，维持土壤养分循环^[29]。丁力等^[30]研究表明，相比不施肥，当猪粪有机肥用量为 15008 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时，蛋白酶和脲酶的活性达到最大值，分别为 2.7 和 2.6 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ，之后随着猪粪施用量的继续增加酶活性呈现下降的趋势。近年来，磷脂脂肪酸分析、荧光定量、高通量测序等微生物测序方法被广泛应用于土壤微生物群落的研究。施用有机肥对土壤微生物群落结构的影响比单施无机肥效果明显，且施用有机肥能够显著提高茶园土壤微生物生物量碳以及磷脂脂肪酸含量^[28]。有机肥处理的茶园土壤，微生物相对丰度有所提升^[21, 31]，微生物活性的相关指标均显著高于常规化肥处理^[32]，土壤肥料利用率显著提高。

2 有机肥施用对茶树生长和茶叶品质的影响

2.1 有机肥对茶树生长的影响

发芽密度和百芽质量是影响茶叶产量的重要因素。施用有机肥的茶树，生长性状与施用化肥的茶树有所差异，发芽密度、百芽质量、鲜叶产量均有所提高^[8]。不同种类有机肥中，施用猪粪有机肥提升了 39.9% 的茶树发芽密度，49.1% 的百芽质量和 52.6% 的叶面积，提升效果显著^[26]。研究发现茶园配施 25% ~ 50% 的有机肥有利于提高茶叶产量和品质，75% ~ 100% 的有机肥替代对茶叶产量和品质产生负面影响^[21]。相较于施用化肥，茶园配施 20% 的有机肥提升了 9.2% 的茶叶产量^[10]。大量研究表明沼渣、生物有机肥等均能显著提升茶叶产量，增产幅度为 40% ~ 115%^[33-36]。在茶农习惯施氮量 (175 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{年}^{-1}$) 的前提下降低 20% 的氮投入，同时施用有机肥并不影响茶叶产量的提升，春茶产量较上一年增产 12.68%^[37]，此外茶树的产量与土壤养分密切相关^[38]。

2.2 有机肥对茶叶品质与质量的影响

内在品质：有机肥施用有利于茶叶水浸出物、

茶多酚、氨基酸等含量的提高。刘术新等^[8]将猪粪沼液、鸡粪堆肥和海产品残渣3种不同有机肥与单施化肥作对比,发现3种有机肥施用后茶叶中茶多酚含量和酚氨比均有所降低,降幅分别为3.77%~7.71%和20.85%~30.92%,而游离氨基酸、咖啡碱、水浸出物含量均有不同幅度提升,游离氨基酸含量增幅最大,达21.58%~33.62%。同时也有研究表明,植物源和动物源的有机肥对茶叶氨基酸和茶多酚的影响不一致。李磊^[33]对比了多种有机肥对茶叶品质的影响发现,生物厩肥和微量元素叶面肥同时施用效果最佳,茶叶氨基酸含量较不施肥处理提升了5%~15%,而茶多酚含量降低了7.7%~13.6%。王子腾等^[10]研究了有机肥和化肥不同配比对绿茶品质的影响发现,20%~50%的有机肥配比提升了5.3%~9.4%夏茶水浸出物的含量,降低了春夏绿茶的酚氨比,其中春茶降幅最大,达15.7%~17.8%,说明过高的有机肥配比不利于绿茶品质的形成,20%~50%有机肥配施化肥对绿茶品质提升效果最好。

外在品质:茶叶的外在品质主要包括茶叶感官评审的外形、汤色、香气、滋味、叶底等方面。有机肥施入茶园土壤,茶叶的香气浓度、持久度、滋味浓厚度、耐泡性和茶汤色度等方面均有不同程度的提升。研究表明,相较于不施肥和施用化肥,茶园施入沼肥能显著提高夏茶的滋味和汤色得分,施入菜籽饼肥能提高春茶的滋味和香气^[34]。吴志丹等^[21]对乌龙茶茶叶感官品质进行评审发现,25%有机肥替代化肥处理茶叶滋味和香气品质最高,显著高于全量化肥处理。康彦凯等^[6]研究发现,不同种类有机肥施入茶园土壤不同程度地提升了茶叶感官品质。茶叶外在品质的影响因素较为复杂,主要与有机肥种类、施用量和茶叶内在化学成分等紧密相关。

3 茶园土壤有机肥施肥技术

茶园土壤的供肥能力主要取决于土壤养分的含量,尤其是有效态养分含量及其存在形态和在土层中的分布。施肥是维持茶园土壤肥力的主要措施之一,但不同的有机肥料进入土体后其分解转化形式不同。因此,正确合理地确定茶园施肥量,不仅关系到肥料的增产效果,也关系着茶园土壤肥力的提高和茶区生态环境的保护。如何合理地施肥,确立科学的肥料种类、施肥时期、施肥量、施用方式成为亟待解决的施肥技术问题。

有机肥料种类和施肥时间:有机肥种类主要分为植物源有机肥和动物源有机肥。其中,植物源有机肥主要有菜饼肥、豆饼肥、桐子油枯、蚕沙肥,其中菜饼肥较为常用;动物源有机肥主要有猪粪、牛粪、羊粪、鸡粪等;此外,针对于茶园土壤环境特殊性,相继研发了茶树专用有机肥和生物有机肥等可以专一和高效地改善茶园土壤的有机肥。

有机肥分解速率相比化肥较慢,无论对幼龄(三四年生茶树)、成龄(定型后至第一次自然更新)还是老龄茶树(自然更新以后),重施基肥都是维持其生长的重要举措,因此有机肥一般作为基肥施入茶园土壤。研究表明,茶树地上部停止生长后为有机肥最佳施肥时期,一般在10月中旬至11月上旬,以保证茶树越冬根系活动所需营养,同时为来年茶芽萌发提供养分。

有机肥施用量:茶园土壤有机肥施用量与茶树种类密切相关。康彦凯等^[6]的研究发现,生产绿茶为主的茶园,相比于施用4500 kg·hm⁻²菜籽饼肥以及3900 kg·hm⁻²茶树专用肥,施用3900 kg·hm⁻²微平衡生态肥生产效应最大;而生产红茶为主的茶园,施用5100 kg·hm⁻²茶树专用肥则更有利于茶叶增产。此外,有机肥与适量无机肥配施对茶树生长也具有积极意义。阴代权^[39]研究表明,将磷钾肥和无机氮肥的15%~20%与有机肥混合一起施用,既可以提高无机肥施用效果,又能降低有机肥碳氮比,从而更加合理地使用有机肥。茶园施用富硒有机叶面肥,喷施量为120 mL·hm⁻²时效果最佳,有助于茶树生长^[40]。

有机肥施用方式:茶园土壤的有机肥施用方式,应根据茶树的生长状况来制定。幼龄茶树,适宜距根颈10~15 cm处平行茶行开沟,施用生物有机肥(宽约15 cm,深约15~20 cm)。成龄茶树,适宜沿树间垂直下位置开沟深施生物有机肥(沟深15~20 cm);此外成龄茶树还可采用隔行开沟施肥,应注意每年更换开沟位置,坡地茶园,基肥要施入茶行上坡位置或茶行内侧方位,以减少养分的流失。老龄期茶树应采取修剪措施,以达到更新复壮的目的,更新后的施肥参照幼龄茶树进行^[41]。同时,刘玉珍^[42]研究指出有机肥沟施不宜太浅,以防根系被诱导集中在浅层土壤,从而降低茶树抵御寒冻等自然灾害的能力。

采用“有机肥无机肥配施”、“有机肥水肥一体化”、“有机肥机械深施”等施肥模式对茶园土

壤肥力培育也有积极意义。程博一等^[43]研究发现, 相比常规施肥, 采用覆膜沟施可以增加茶园产量, 土壤表层和深层 pH 分别下降 8.16% 和 5.30%, 表层和深层有机质、全氮、有效磷、速效钾等均有不同程度提升。

4 有机肥茶园施用安全性分析

4.1 有机肥施用重金属残留安全问题

重金属残留威胁茶叶和人体安全, 动物源有机肥中常含有大量的 Cu、Zn、Cd、Pb、Cr、As, 有机肥施用后茶树中出现重金属残留问题^[44-46]。研究表明, 茶叶中重金属含量与土壤中重金属密切相关, 动物源有机肥是茶树生长环境中重金属的重要来源之一。董占荣^[47]研究表明, 施用含有高量 Cu、Zn 的猪粪对土壤中 Cu、Zn 积累的贡献较大, 猪粪中重金属 Cu、Zn 每年对土壤输入量约 2.31、2.42 mg · kg⁻¹, 危害土壤健康。重金属残留问题取决于有机肥的种类, 有机肥因原料的不同, 营养元素及有毒有害物质含量具有差异性。应关注不同有机肥增施下长期茶园定位试验结果的对比性研究, 在茶园施用有机肥时应明确有机肥的原料来源、有毒有害物质含量等, 从源头控制重金属污染风险。此外, 有机肥对重金属还起到调节作用, 影响茶叶对重金属的吸收, 长期施用化肥则会降低土壤酸碱度, 使重金属的活性增强^[8]。何文胜等^[48]研究发现施用有机肥处理的红茶, 其重金属 Pb、As、Hg、Cd 的含量依次为 0.160、0.016、0.008、0.035 mg · kg⁻¹, 低于普通土壤种植的茶叶。

4.2 有机肥施用抗生素与激素安全问题

土壤有机肥施用还存在着抗生素与激素残留问题, 威胁到土壤微生物群落稳定以及人体健康。研究表明, 畜禽养殖业大约使用了全部抗生素的 50%, 其中进入畜禽体内 40% ~ 90% 的抗生素又通过粪便排泄出来^[44]。由畜禽粪便处理而来的动物源有机肥可检测到抗生素残留, 其含量因不同的畜禽种类和管理水平而呈现较大的变化范围。施用商品有机肥相比于常规施用化肥增加了土壤中抗生素含量和抗生素抗性基因丰富度^[49]。研究表明, 畜禽粪便中诸如四环素类抗生素残留很可能对生态环境中的微生物群落造成一定影响^[50-51]。张慧敏等^[52]对浙北地区土壤中四环素类抗生素残留测定表明, 施用动物源有机肥, 农田表层土壤土霉素、四环素和金霉素的平均含量分别为未施有机肥农田

的 38、13 和 12 倍。此外, 畜禽粪便处理而来的动物源有机肥还可能含有一些环境激素 (如有机氯农药、多环芳烃等), 其对土壤和人体也可能带来一些风险。因此, 茶园土壤施用动物源有机肥可能会引起抗生素、激素等安全问题, 为减少抗生素与激素对人的危害, 施入有机肥时应考虑优先选用植物源类有机肥, 动物源有机肥需经过无害化综合处理后再施入茶园土壤。

4.3 有机肥中病原微生物

以畜禽粪便为原料发酵生产动物源有机肥应经过无害化处理, 杀死诸如大肠杆菌、沙门氏菌等可以通过粪便传染人类的病原微生物以及病毒。农田施用未经处理或无害化不完全的畜禽粪便有机肥时, 其所含的病原微生物在土壤中积累可能对环境对人类健康造成威胁。张树清等^[53]调查发现, 猪粪、鸡粪中总大肠杆菌的数量在 $35 \times 10^2 \sim 3.0 \times 10^{10}$ cfu · g⁻¹ 之间, 其他细菌数在 $3.0 \times 10^2 \sim 2.8 \times 10^9$ cfu · g⁻¹ 之间, 蛔虫卵在 0.2 ~ 14.8 个 · g⁻¹ 之间。病原生物、蛔虫卵等随粪肥进入土壤后, 影响作物生长, 威胁食品安全。因此, 在选择茶园有机肥料时应尽量选择无害化处理完全的有机肥, 降低由此带来的风险。

5 展望

有机肥在改善土壤理化性状和提高土壤微生物活性等方面具有良好的环境效应, 同时对茶树的生长指标、茶叶的产量和内含成分也具有积极的经济效应。为满足茶树正常生长所需, 有机肥和化肥的配合施用, 可以改善之前茶园因长期单施化肥而引起的一系列土壤问题。此外, 适宜茶园土壤的有机肥与化肥的配施比例及其对茶叶的作用和有机肥施用的安全性还有待深入研究。进一步为政府出台相关地方标准、农技部门对茶农的技术指导、茶农选择适宜的有机肥料提供理论依据, 从而保证茶园土壤健康和茶叶品质。同时, 还应引导有机肥产品生产专业化、规模化和安全化, 推广高效合理的“茶-沼-畜”施肥模式, 发展有机无机结合的绿色、安全茶叶产业。

参考文献:

- [1] 赵良骏. 茶园怎样合理施用饼肥 [J]. 中国茶叶, 1982 (6): 17.
- [2] 陶湘辉, 王秀萍, 钟秋生. 茶园饼肥的应用研究进展 [J]. 茶叶科学技术, 2009 (4): 12-14, 48.

- [3] 单武雄, 罗文, 肖润林, 等. 连续5年施菜籽饼肥和稻草覆盖对茶园土壤生态系统的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(3): 472-476.
- [4] 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.
- [5] 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, 1237.
- [6] 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.
- [7] 王峰, 陈玉真, 尤志明, 等. 连续3年施用菌渣有机肥对茶树生长及光合作用的影响[J]. 茶叶科学技术, 2014(4): 21-24, 28.
- [8] 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.
- [9] 何志华, 夏燕, 张玉龙, 等. 不同有机肥对有机茶园茶叶产量及开花量影响的研究[J]. 农机化研究, 2019, 41(1): 190-195.
- [10] 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.
- [11] 梁远发. 有机肥对茶叶生化成分的影响[J]. 贵州茶叶, 2000(2): 17-18.
- [12] 罗文. 不同施肥结构对红壤丘陵茶园生态和茶树生物学效应的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2007.
- [13] 任红楼, 肖斌, 余有本, 等. 生物有机肥对春茶的肥效研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(9): 105-109.
- [14] 梁远发, 田永辉, 王家伦, 等. 优化茶叶自然品质的栽培技术研究报告[J]. 贵州茶叶, 2000(3): 14-19.
- [15] 黄海涛, 郑旭霞, 敖存, 等. 不同种类基肥连续施用对茶园土壤理化性质的影响研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(34): 248-252.
- [16] 孙永明, 叶川, 张昆, 等. 江西丘陵红壤茶园有机肥肥效研究[J]. 蚕桑茶叶通讯, 2016(1): 6-9.
- [17] 严铁尔, 陈锁. 配施有机肥对茶园土壤性状及茶叶产量质量的影响[J]. 中国农业文摘-农业工程, 2018, 30(6): 40-42.
- [18] 陈玉真, 王峰, 吴志丹, 等. 施用菌渣对茶园土壤团聚体分布的影响[J]. 茶叶学报, 2017, 58(3): 121-126.
- [19] 王峰, 陈玉真, 尤志明, 等. 菌渣施用对茶园土壤有机碳含量及腐殖质组成的影响[J]. 福建农业学报, 2015, 30(2): 198-203.
- [20] 杨向德, 石元值, 伊晓云, 等. 茶园土壤酸化研究现状和展望[J]. 茶叶学报, 2015, 56(4): 189-197.
- [21] 吴志丹, 尤志明, 江福英, 等. 配施有机肥对茶园土壤性状及茶叶产量的影响[J]. 2015, 47(5): 874-879.
- [22] 宁川川, 王建武, 蔡昆争, 等. 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): 178-181.
- [23] 王玉, 侯玉杰, 付乃峰, 等. 生物有机肥对茶园土壤肥力、养分及土壤环境的影响[J]. 北方园艺, 2011(17): 171-173.
- [24] 宋红霞. 不同有机肥处理对茶园土壤、茶树生长及茶叶品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [25] 林新坚, 黄东风, 李卫华, 等. 施肥模式对茶叶产量、营养累积及土壤肥力的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(2): 151-157.
- [26] 陈默涵, 何腾兵, 舒英格. 不同生物有机肥对春茶生长影响及其土壤改良效果分析[J]. 山地农业生物学报, 2018, 37(2): 70-73, 94.
- [27] 吴崇书, 章明奎. 长期不同施肥对茶园土壤碳氮磷构成的影响[J]. 土壤通报, 2015, 46(3): 578-583.
- [28] 林新坚, 林斯, 邱珊莲, 等. 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): 93-101.
- [29] 詹雨珊, 冯有智. 秸秆还田对水稻土微生物影响的研究进展[J]. 土壤通报, 2017, 48(6): 1530-1536.
- [30] 丁力, 张清旭, 陈晓婷, 等. 动物源有机肥对茶树生长及其根际土壤酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(20): 121-125.
- [31] Lin W, Lin M, Zhou H, et al. The effects of chemical and organic fertilizer usage on rhizosphere soil in tea orchards [J]. Plos One, 2019, 14(5): e0217018.
- [32] 唐劲驰, 周波, 黎健龙, 等. 蚯蚓生物有机培肥技术(FBO)对茶园土壤微生物特征及酶活性的影响[J]. 茶叶科学, 2016, 36(1): 45-51.
- [33] 李磊. 不同肥料处理对茶树生长和茶叶品质的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2010.
- [34] 沈星荣. 有机肥料对茶树生长、茶叶品质及经济效益的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- [35] 张瑜. 不同施肥结构对茶叶产量品质和茶园土壤养分的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [36] Kamel B S, Martinez O B. Restoring soil fertility and enhancing productivity in Indian tea plantations with earthworms and organic fertilizers [J]. Annales de Chirurgie Thoracique et Cardio-vasculaire, 2002, 5(4): 738-741.
- [37] 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.
- [38] Han Y, Jiang L, Fei-de Fan H Y. Effects of long-term different fertilization structure on the trend of eco-physiological factors of tea plants [J]. Ekoloji, 2019, 28: 2081-2085.
- [39] 阴代权. 土壤肥力律及茶园施肥技术探讨[J]. 现代农业科技, 2016(11): 250-255.
- [40] 吴志丹, 江福音英, 王峰, 等. 喷施富硒有机肥对茶叶产量及硒含量的影响[J]. 茶叶科学技术, 2011(3): 14-16.
- [41] 杨晓东. 茶园施肥方法探讨[J]. 南方农业, 2017, 11(21): 26-27.

- [42] 刘玉珍. 无公害茶园施肥技术 [J]. 福建农业科技, 2016 (3): 41-42.
- [43] 程博一, 韩艳娜, 李叶云, 等. 施肥模式对茶叶品质、产量构成及土壤肥力的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2014, 22 (5): 525-533.
- [44] 武升, 邢素林, 马凡凡, 等. 有机肥施用对土壤环境潜在风险研究进展 [J]. 生态科学, 2019, 38 (2): 219-224.
- [45] 覃丽霞. 养殖源有机肥的重金属污染及环境风险评估研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [46] 覃丽霞, 马军伟, 孙万春, 等. 浙江省畜禽有机肥重金属及养分含量特征研究 [J]. 浙江农业学报, 2015, 27 (4): 604-610.
- [47] 董占荣. 猪粪中的重金属对菜园土壤和蔬菜重金属积累的影响 [D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [48] 何文胜, 程伟青, 吴水华. 有机肥对闽北红茶生化成分和重金属成分的影响分析 [J]. 宁德师范学院学报 (自然科学版), 2016, 28 (1): 88-92.
- [49] Zhou X, Qiao M, Wang F H, et al. Use of commercial organic fertilizer increases the abundance of antibiotic resistance genes and antibiotics in soil [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2017, 24 (1): 701-710.
- [50] Marilia C B, Danilo R D S, Elodie A, et al. Antibiotics and microbial resistance in Brazilian soils under manure application [J]. Land Degradation and Development, 2018, 29: 2472-2484.
- [51] 孙刚. 畜禽粪便中四环素类抗生素检测分析及其在堆肥中的降解研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2010.
- [52] 张慧敏, 章明奎, 顾国平. 浙北地区畜禽粪便和农田土壤中四环素类抗生素残留 [J]. 生态与农村环境学报, 2008 (3): 69-73.
- [53] 张树清, 张夫道, 刘秀梅, 等. 规模化养殖畜禽粪主要有害成分测定分析研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11 (6): 116-123.

Application effect and fertilization technology of organic fertilizer in tea garden soil

LIU Pei-shi, HUANG Yu, GAN Man-qin, GAO Lin-lin, MA You-hua* (School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei Anhui 230036)

Abstract: The application of organic fertilizer in tea garden soil has a positive effect on soil fertility, tea yield and tea quality improvement. At the same time, more attention should be paid to the risk of tea safety brought by organic fertilizer. This paper studies the effects of organic fertilizer, fertilization technology and risk of tea safety on organic fertilizer application in tea garden. The results show that the application of organic fertilizer in tea garden has a great influence on soil physical and chemical properties as well as the biological environment, promote the growth of tea trees and improve the quality of tea leaves. The combined application of organic with inorganic fertilizer is suitable for modern green, health and sustainable development of tea garden. Heavy metals, antibiotics and hormone residues exist in the organic manure produced by livestock and poultry manure, application of animal-derived organic fertilizer in tea gardens has environment and health risks. Based on the above research, this paper prospect the theoretical research direction of organic fertilizer application in tea garden soil, meanwhile, provide scientific basis for the promotion and application of organic fertilizer in tea garden soil.

Key words: organic fertilizer; tea plantations; soil fertility; fertilization models; security