

茶树施肥研究进展

赵锦^{1, 3}, 付静^{1, 2, 3*}, 刘宁宁^{1, 3}, 李新生^{1, 2, 3}, 咎丽霞^{1, 2, 3}, 燕飞^{1, 2, 3}, 曲东^{1, 2, 3}

[1. 陕西理工大学生物科学与工程学院, 陕西 汉中 723000; 2. 陕西省资源生物重点实验室, 陕西 汉中 723000; 3. 陕西省“四主体一联合”茶产业校企联合研究中心, 陕西 汉中 723001; 4. 陕西理工大学秦巴生物资源与生态环境省部共建国家重点实验室(培育), 陕西 汉中 723000]

摘要: 施肥是保证茶树健康生长、提高产量和品质的重要保证。单施无机肥或有机肥均能够对茶叶产量、茶产品品质及土壤肥力等方面起到促进作用, 但是存在明显的缺陷和隐患, 如土壤酸化、氮素损失严重和茶鲜叶产量降低等。因此, 在无机肥和有机肥配施基础上结合新型肥料和新型施肥技术体系, 如硒肥、炭基水溶肥和智能水肥一体化等是茶园可持续发展的重要途径。综述了无机肥、有机肥、无机肥和有机肥配施 3 种施肥模式对茶树生长发育、茶叶产量、茶叶品质、土壤肥力等方面的影响, 并结合茶园新型肥料和施肥技术, 从多方位提出相关的发展建议, 为实现茶园合理施肥、生产高产优质茶叶和提升茶园土壤质量提供参考。

关键词: 茶; 施肥; 产量; 品质; 土壤肥力

茶树是耐阴喜湿的多年叶用作物, 茶园水肥直接影响茶树生长与茶叶的产量和品质^[1]。随着我国茶叶资源的开发与利用, 目前我国不同茶园环境及施肥模式存在较大差异。我国茶园面积逐年增加, 2019 年达到 310.21 万 hm^2 , 比上一年增加 12 万 hm^2 ^[2]。我国不同省份茶园 N、 P_2O_5 和 K_2O 用量差异极大, 如湖北、湖南和江西化肥氮用量超过 600 kg/hm^2 , 而福建、陕西和重庆低于 300 kg/hm^2 ; 江苏、河南和山东有机肥普及率超过 70%, 绝大多数茶园有机肥普及率低于 50%^[3]。大多数茶园仍采用人工施肥^[4], 开沟施肥均优于撒施^[5]。全国茶园土壤类型多样, 土壤肥力及科技投入差异明显等综合因素造成了茶园施肥水平具有极大的区域差异。本文从无机肥、有机肥、无机肥和有机肥配施 3 种施肥模式对茶树生长发育、茶叶产量、茶叶品质、土壤肥力等方面的影响, 并结合茶园新型肥料和施肥技术, 从多方位提出相关的发展建议, 为实现茶园科学施肥、生产高产优质茶叶和提升茶园土壤质量提供参考。

1 施肥对茶树生长发育及产量的影响

1.1 无机肥对茶叶产量的影响

无机肥简称“化肥”, 也称“速效性肥料”, 包括 N、P、K 单质肥及复合肥等。氮素不足使芽头稀疏, 新梢生长缓慢, 氮素供应充足时营养充足, 生长旺盛, 促进芽叶萌发和新梢伸长, 低氮浓度促进茶树幼苗生长发育, 高氮浓度则抑制幼苗生长^[6]; 磷素促进花芽分化和幼苗生长, 增加开花与结实数目, 提高根系吸收能力; 钾肥有促进茶树树幅和叶层厚度增加、芽头密度增多、芽叶重增大等作用^[7]。N、P、K 肥有单施和配施模式。文献中单施 N、P 和 K 肥对茶叶产量影响总结见表 1。

陈福林等^[12]在福鼎大白茶园分别施加 N、NP 和 NPK 不同梯度, 发现配施 NPK 肥优于 N 和 NP 肥。雷琼等^[13]研究福鼎扦插苗分别施加 NPK、NK、PK 和 K 肥, 发现以 NPK 配施的产量增加最高。因此根据多样性营养需求, NPK 肥配施更有利于提高茶鲜叶产量。文献中配施 NPK 肥对茶叶产量影响总结见表 2。

1.2 有机肥和无机肥配施对茶叶产量的影响

长期高浓度施用无机肥会造成土壤氮素损失严重^[17]、茶园可持续降低^[18], 同时影响茶叶产量及品质^[19]等。有机肥来源于动植物, 须经微生物分解才能被茶树吸收利用, 可以增加产量、提高品质及改良土壤等^[20]。张耀华等^[21]研究表明, 在湖北

收稿日期: 2022-02-16; 录用日期: 2022-05-21

基金项目: 陕西省 2021 年中央引导地方科技创新专项项目 (2021ZY2-JD-19)。

作者简介: 赵锦 (1999-), 在读硕士, 研究方向为茶叶食品化学。
E-mail: 2895187176@qq.com。

通讯作者: 付静, E-mail: 305878355@qq.com。

山地紫砂泥土福鼎大白茶园 10 月时施加有机茶专用肥 1466.2 kg/hm² (含草炭鸡粪、有机质 >586.48 kg/hm², NPK 养分 >175.94 kg/hm²) 可增加百芽重并提高茶叶产量。当前茶园施肥更多倾向于有机肥和无机肥配施。有机肥和无机肥配施对茶叶产量的影响见表 3。

表 1 单施 N、P 和 K 肥对茶叶产量的影响

肥料	茶园概况	施肥时间	施用量 (kg/hm ²)	肥效	参考文献
尿素	杭州中国农业科学院茶叶研究所茶园第四季红土龙井 43 品种	基肥 10 月 31 日, 催芽肥为下年 3 月 21 日	300 ~ 450	提升茶园茶树的产量、氮利用率最高, 增施氮肥后, 氮利用率及产量下降	马立锋 ^[8]
尿素	福建省 5 年生丹桂品种平地茶园	基肥和春、夏、秋茶追肥 30% : 30% : 15% : 25%, 各茶季结束后分 4 次施用	337.5	茶产量最高	游小妹等 ^[9]
尿素	勉县同沟寺镇谷家沟村陈焕生茶园紫阳群体种	N 肥: 10 月下旬 60%、春茶采摘前 20 d 40%	0.0 ~ 562.5	茶叶产量与氮施用量成正比, 增施氮后茶叶产量下降	张世林等 ^[10]
尿素	杭州龙井 43 茶园	2 月初、10 月底施用 30%, 5 月末、7 月初 20%	119 ~ 285	茶树生长最适, 后增氮	Ma 等 ^[11]

表 2 N、P、K 配施对茶叶产量的影响

肥料	茶园概况	施肥时间	施用量 (kg/hm ²)	肥效	参考文献
尿素、过磷酸钙及硫酸钾	安溪县赤红壤土黄金桂茶园	基肥磷肥及 10% 氮肥, 氮肥春、夏、秋分别施 30%; 钾肥春肥 40%, 夏、秋肥各 30%	N 229.8、P ₂ O ₅ 104.9、K ₂ O 104.9	与不施肥相比显著增加茶青产量 71529.2 kg/hm ²	苏火贵 ^[14]
缓释肥 UF3、过磷酸钙及硫酸钾	湖北省红壤土福鼎大白茶园	2 月底	N 1709.4、P ₂ O ₅ 1424.8、K ₂ O 512.8	7 个月后施加缓释肥的茶树产量最高, 与等量 PK 肥相比增收 2.174 万元 /hm ² , 增幅为 30.85%	陈勋等 ^[15]
氮磷钾配施	广西红棕壤金牡丹盆栽	60% 尿素、过磷酸钙和硫酸钾均作基肥, 40% 尿素作追肥	N : P ₂ O ₅ : K ₂ O = 2.67 : 1.05 : 1	与不施肥相比产量增加 50%	田甜等 ^[16]

表 3 有机肥和无机肥配施对茶叶产量的影响

肥料	茶园概况	施肥时间	施用量 (kg/hm ²)	肥效	参考文献
鸡粪基肥 NPK 肥配施	广西酸性土壤 2 年生金花茶茶园	基肥 3 个月后	鸡粪 1.25 × 10 ⁴ 、N 34.35、P ₂ O ₅ 14.97、K ₂ O 11.23	有利于促进幼苗生长	柴胜丰等 ^[22]
NPK 无机肥 有机肥配施	黄棕壤上 5 年生的龙井 43 茶园	全部有机肥、磷肥、钾肥及 70% 的氮肥于 11 月底施用; 次年 2 月初追施 30% 氮肥	N 229.5 ~ 253.8、P ₂ O ₅ 225.0 ~ 257.1、K ₂ O 170.7 ~ 203.7、有机肥 11991.0 ~ 13921.5 (N 2.38%, P ₂ O ₅ 0.31%, K ₂ O 1.12%)	茶叶产量均有显著影响, 其影响顺序为氮肥 > 钾肥 > 有机肥 > 磷肥	林永锋等 ^[23]

结合表 1 和表 2 可以看出, 单施纯 N、P、K 肥用量分别为 119.0 ~ 562.5、2.71 ~ 84.50、250 kg/hm² 可以增加茶叶百芽重与发芽密度, 提高茶叶产量, 但后期不会增加产量反而阻碍了茶树的生长。配施氮、磷、钾肥的适宜配比为 N : P₂O₅ : K₂O = 1 : (0.4 ~ 0.5) : (0.8 ~ 0.9); 单施有机肥或生物肥虽然前期影响较小, 但对茶园的长期影响是有益的, 且成本增加不高。因此, 有机肥与无机肥合理

配施可显著提高茶园产量且降低成本，若配施比例不当则有可能产生拮抗作用。

2 施肥对茶叶的生化成分与品质的影响

2.1 无机肥对茶叶生化成分与品质的影响

茶叶中有 500 多种有机化合物，包括多酚类、含氮物质（蛋白质及氨基酸）、碳水化合物、芳

香物质、咖啡碱、维生素、色素及矿物质等 12 大类。这些物质对茶叶色、香、味等的形成有很大的影响，对茶叶品质起着十分重要的作用^[1]。为了提高茶叶的品质，可通过施肥来改变某些生化成分的含量，进而提升茶叶的品质。无机肥中的 N、P、K 可以通过各种途径形成鲜叶内成分。单施 N、P 和 K 肥对茶叶生化成分及品质的影响见表 4。

表 4 单施 N、P 和 K 肥对茶叶的生化成分及品质的影响

肥料	茶园概况	施肥时间	施用量 (kg/hm ²)	肥效	参考文献
N (无具体品种)	浙江杭州红壤土 龙井 43 茶园	连续施用 12 年	N 474	氨基酸总量最高，而继续施肥茶多酚总量升高，对应的酚氨比升高，茶品质下降	刘美雅等 ^[24]
尿素	重庆黄壤土福鼎 大白茶园	春肥 1 月 30 日、夏肥 4 月 28 日、秋肥 8 月 26 日、基肥 11 月 7 日按 3:2:2:3	N 225	新梢氨基酸含量最高，酚氨比值最小	邓敏等 ^[25]
控释氮肥 (包膜尿素)	1 年生龙井 43 茶 树	9 月底和次年 2 月底，对半 施加氮	N 345 ~ 642	比普通尿素同等 N 量的茶叶酚氨比明显降低，故提高茶品质	韩文炎等 ^[26]
尿素	福州茶园	10 年施氮	N 225	提高了鲜茶叶中总游离氨基酸，特别是 L- 茶氨酸的含量，同时降低了儿茶素含量，有利于提高茶叶的新鲜度	Chen 等 ^[27]
氯化钾	东茗一号 (3 年) 龙井 43 (8 年)	3 月 24 日	K ₂ O 120 ~ 240	使芳樟醇、花香气味的壬醛、辛醇等挥发性香气物质含量增加、青草气味的庚醛含量降低	边金霖等 ^[28]

从表 4 可以看出，施 N 肥可以增加蛋白质和氨基酸的含量，有利于提高茶汤汤色和鲜爽度；K 肥可以提高香气，促进幼龄茶树水浸出物和酚类物质的积累；但氮素过多会限制一部分糖类向多酚类转化，使多酚

类和水浸出物含量下降而影响茶叶品质^[29]。茶园 N、K 平衡是合理施肥的关键措施，N、P、K 肥配施可以提高茶叶水浸出物、蛋白质、咖啡碱和可溶性糖的含量^[13]。N、P、K 肥配施对茶叶品质的影响总结见表 5。

表 5 茶园 N、P、K 配施对茶叶品质的影响

肥料	茶园概况	施肥时间	施用量 (kg/hm ²)	肥效	参考文献
尿素、硫酸钾	日照市中国农业大学 研究生实践基地黄山 群体种	7 月 31 日、8 月 11 日及 8 月 22 日都以追肥的形式 将肥料和水按 1:5 混合	N 105、K ₂ O 54	氨基酸、儿茶素、水浸出物含量最高，酚氨比最小即品质最优	庞永磊等 ^[30]
尿素、过磷酸钙及硫酸钾	黄观音茶园黄红壤	10 月一次性施用	N 280 ~ 315、P ₂ O ₅ 105、K ₂ O 140	氨基酸含量提高 10.11% ~ 9.04%，酚氨比降低 10.11% ~ 5.57%	黄毅彪等 ^[31]
尿素、过磷酸钙及硫酸钾	广西红棕壤金牡丹盆 栽试验	基肥 PK 及 N 60%；追肥 N 40%	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=2.75:1.2:1.1	提高茶多酚和水浸出物的含量	田甜等 ^[32]
尿素及硫酸钾	南印度联合种植者协 会茶叶实验农场	长期施肥	N: 300 ~ 450, N:K ₂ O=1:0.8	成品茶的质量和风味指数最优，枝条的氨基酸和多酚含量也较高	Venkatesan 等 ^[33]
尿素、过磷酸钙及硫酸钾	武汉市 10 年生的鄂 茶 10 号、乌牛早、迎 霜和福鼎大白茶	11 月 18 日、次年 3 月 20 日	N 494.96、P ₂ O ₅ 92.76、K ₂ O 218.23	提高茶多酚、春茶游离氨基酸含量，肥料成本低	李佳等 ^[34]

2.2 有机肥及其与无机肥配施对茶叶品质的影响

Venkatesan 等^[33] 研究表明, 高水平氮钾配施极易损害茶叶的整体品质。康彦凯等^[35] 研究表明, 茶园施用有机肥(菜籽饼肥, 以棕榈粕、芝麻粕和菜粕等为主的微平衡生态肥, 茶枯为主的茶

树专用肥) 可以提升茶叶主要理化成分含量和感官品质, 在各自最适施用量条件下, 菜籽饼肥显著提高茶叶氨基酸含量, 茶树专用肥显著提高水浸出物和茶多酚, 微平衡生态肥对绿茶感官品质提升最大。单施有机肥对茶叶品质影响总结见表 6。

表 6 有机肥对茶叶品质的影响

肥料	茶园概况	施肥时间	施用量 (kg/hm ²)	肥效	参考文献
菜籽饼肥	江西福鼎大白 7 年生茶园一次施用	每年 11 月下旬深度 11 ~ 30 cm	菜籽饼 6000 (N 73.8、P ₂ O ₅ 169.2、K ₂ O 384.0)	两年后检测发现茶树氮素利用最优, 茶叶中水浸出物、咖啡碱、氨基酸及茶多酚随深度增加	江新风等 ^[36]
牛粪有机肥代替 70% ~ 100% 氮肥	安徽省黄棕壤“乌牛早”茶园	11 月(春茶前)施用牛粪有机肥代替 70%N 肥、PK 肥, 次年 2 月追施 30% 的氮肥	牛粪 4589.00 ~ 6555.91, 总量 N 165、P ₂ O ₅ 90、K ₂ O 120	游离氨基酸、水浸出物、咖啡碱含量最高, 酚氨比相差不大, 故此时茶品质提升	郭龙等 ^[37]
氮磷钾肥或蚯蚓堆肥	印度阿萨姆邦乔哈特托克莱试验田	每年 1 月	N 140、P ₂ O ₅ 50、K ₂ O 140 或蚯蚓堆肥 5000	单施堆肥比纯施化肥有更高儿茶素含量, 叶片叶绿素含量也显著影响, 茶品质提升	Sangeeta 等 ^[38]

从表 6 可知, 茶园施有机肥对茶叶品质有明显提升。从补充土壤营养元素和保持土壤健康需求的角度出发, 有机肥和无机肥配合施用更能达到营养全面。张国芹等^[39] 研究发现, 碧螺春

茶园中采用适宜施氮浓度配施有机肥(菜籽饼肥)与无机肥, 能够显著提高茶叶咖啡碱含量。有机肥和无机肥配施对茶叶品质的影响总结见表 7。

表 7 有机肥配施 N、P、K 肥对茶叶品质的影响

肥料	茶园概况	施用量 (kg/hm ²)	肥效	参考文献
尿素、过磷酸钙、硫酸钾及有机肥	贵阳市赵司贡茗茶园	N 187.5、P ₂ O ₅ 225、K ₂ O 56.25、有机肥 2250 (有机质 1845.7、全氮 60.81、全磷 16.81、全钾 8.59)	茶叶茶多酚、氨基酸含量、水浸出物含量提高, 酚氨比降低, 茶叶品质提升	王旭等 ^[40]
尿素、过磷酸钙、硫酸钾及有机肥	勐海县赤红壤大叶茶园	N 163.45 ~ 350.0、P ₂ O ₅ 20.0 ~ 166.7、K ₂ O 83.35 ~ 166.7、有机肥 3000.0 (有机质 ≥ 1350、总养分 270)	使茶叶中氨基酸、茶多酚、咖啡碱效果最好	王凯等 ^[19]

由表 4 ~ 7 可知, 单施 N、K 肥的合理用量范围按纯 N、K 用量计算分别为 225 ~ 474 和 120 ~ 240 kg/hm², 可以短期内提升茶叶品质; N、P、K 肥配施的合理用量范围按 N : P₂O₅ : K₂O = (2.1 ~ 2.67) : (1.2 ~ 1.8) : 1; 有机肥与无机肥配施可减少施肥量, 同时有利于提升茶叶品质。

3 施肥对土壤肥力的影响

3.1 无机肥对土壤肥力的影响

茶园施肥可以增加土壤营养元素的含量。无机肥易溶解, 施用后大部分可以很快被茶树吸收。土壤肥力指标主要包括全氮、全磷、全钾、有效氮、有效磷、速效钾、有机质和 pH 等。王峰等^[41] 研究

发现, 黄壤和红壤土茶园施氮 0 ~ 400 mg/kg 导致两种土壤的 pH 值成正比下降, 土壤酸化; Yang 等^[42] 在浙江龙井 43 茶园 2 ~ 10 月施氮肥 119 ~ 285 kg/hm², 发现 0 ~ 40 cm 处土壤肥力没有显著影响, 但超过最适氮肥用量后土壤酸化严重。配施 N、P、K 肥对茶园土壤肥力的影响进行统计, 见表 8。

3.2 有机肥及其与无机肥配施对土壤肥力的影响

单施无机肥可以提高土壤有机质和碱解氮含量, 降低土壤 pH^[47]。然而, 过度施用化肥会影响土壤细菌多样性和群落组成。Gu 等^[48] 提出, 土壤 pH 和硝态氮浓度是显著影响土壤微生物多样性和群落结构的关键物理化学因素, 与无机肥相比, 有机肥可以提高茶园土壤 pH 和硝态氮, 增加土

壤微生物多样性,改善潜在的生态系统功能。Zhang 等^[49]也认为施用有机肥可以缓解单施无机肥导致的土壤退化。Xie 等^[50]研究浙江省黄壤土茶园有机肥或无机肥施肥模式,菜籽饼有机肥 8539 kg/hm² (N 450 kg/hm²) 与无机复混肥 (N 450 kg/hm²) 相比,能够有效地提高土壤 pH 及有机质、铵态氮和硝态氮含量。黄尚书等^[51]在江西省红壤土福鼎大白成龄茶园土层 30 cm 处沟施油菜枯饼肥 8739.55 ~ 9169.95 kg/hm²

(有机质、N、P₂O₅ 及 K₂O 分别为 6143.9 ~ 6446.47、437.85 ~ 459.41、94.39 ~ 99.03 及 159.06 ~ 166.89 kg/hm²) 替代无机肥,发现施菜籽饼肥能够缓解无机肥造成的土壤酸化,同时提高土壤碱解氮含量。Fan 等^[52]研究武义县酸性黄壤茶园不同施肥模式,分别单施等 N 量 750 kg/hm² 尿素、菜籽饼肥和鸡粪,发现有机肥(菜籽饼肥和鸡粪)处理的土壤总氮和总碳呈增加趋势。

表 8 配施 N、P、K 肥对茶园土壤肥力的影响

肥料	茶园概况	施肥时间	施用量	肥效	参考文献
尿素、氯化钾、过磷酸钙或磷酸二氢钾	1 年生龙井 43 红壤土盆栽,浙江大学农田试验站	—	N 0.1 g/kg、P ₂ O ₅ 0.12 g/kg K ₂ O 0.2 ~ 0.5 g/kg	有效提高茶园土壤的 pH 值,但是随着施肥时间的增加,土壤 pH 值和有效态镉含量下降	吕亚敏等 ^[43]
磷钾肥、控释氮肥及尿素	青岛农业科学院果茶研究所实验基地黄山群体种	N、P 肥基施 1 次施入,追施 3 次,4 次施肥质量比为 3:3:2:2	N 600 kg/hm ² (30% 控释氮肥 +70% 尿素)、P ₂ O ₅ 750 kg/hm ² 、K ₂ O 750 kg/hm ²	显著增加 0 ~ 40 cm 土层土壤碱解氮的含量,能有效提供大量碱解氮,且在肥料施入 84 d 后土壤中碱解氮含量最低	付乃峰等 ^[44]
尿素、过磷酸钙、硫酸钾、镁立硼复合肥及金正大茶树专用控释肥	赤红壤渤海大叶茶园	4 月有机肥、控释肥、改良剂、磷肥、40% 氮肥、钾肥 6、8 月 30% 氮肥	控释肥 527.43 kg/hm ² (N 147.68、P ₂ O ₅ 26.37 和 K ₂ O 26.37 kg/hm ²)、N 354.69、P ₂ O ₅ 140.3、K ₂ O 140.3 kg/hm ²	茶园土壤养分肥力效果最优,土壤全氮、全磷、全钾、有效磷和速效钾含量最高	杨浩瑜等 ^[45]
NPK 复合肥	甘德铁观音茶树	每年 6、8、9 月分批施肥	750 kg/hm ² (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=1.75:1:1)	连作 20 年后,有益植物细菌的相对丰度显著降低;土壤 pH、有机质和养分含量显著下降	Li 等 ^[46]

Li 等^[53]研究福建红壤紫牡丹茶园有机肥替代无机肥施肥模式,发现土壤 pH、速效钾、有机碳、全氮和微生物量随着有机肥比例的增加而升高,但茶叶产量会下降。王金林等^[54]研究发

现,相比于单施化肥或有机肥,化肥有机肥配施可以稳定茶园土壤 pH,保证产量的可持续性。有机肥与无机肥配施对茶园土壤肥力影响的总结见表 9。

表 9 有机肥配施 N、P、K 肥对茶园土壤肥力的影响

肥料	茶园概况	施肥时间	施用量 (kg/hm ²)	肥效	参考文献
猪粪部分替代 NPK 化肥	酸性红壤紫牡丹品种	11 月下旬施用有机肥、过磷酸钙、40% 尿素和硫酸钾为基肥。其余 60% 的尿素和硫酸钾分别在 3 月初和 8 月中旬施用	猪粪 4933.3、N 300、P ₂ O ₅ 32.75、K ₂ O 62.23 (25% 有机肥 +75% 化肥)	增添有机肥后,与土壤理化与土壤质量呈显著正相关,也改变了土壤真菌群落的组成,考虑到土壤质量效益,选择 25% 有机肥	Ji 等 ^[55]
尿素、过磷酸钙、硫酸钾及菜饼肥	长沙县酸性红壤白毫早茶园	氮肥 60% 于春茶萌芽前沟施,春、夏茶采摘后施 20%; 磷、钾肥与有机肥作基肥	N 160.56 (75% 有机肥 +25% 化肥)、P ₂ O ₅ 80、K ₂ O 17.13	提高茶园土壤有机质和全氮含量	朱旭君等 ^[56]
醋糟有机肥与化肥(尿素、过磷酸钙及硫酸钾)	5 年生龙井 43 丹阳吟春碧芽茶场	11 月施加有机肥、磷肥、钾肥及 70% 的氮肥;次年 2 月初追施 30% 氮肥	醋糟有机肥 5247.38 (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=2.38:0.31:1.1) 与化肥 313.99 (N 104.62、P ₂ O ₅ 163、K ₂ O 46.33)	茶园土壤中有有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量最优	李萍萍等 ^[57]

续表

肥料	茶园概况	施肥时间	施用量 (kg/hm ²)	肥效	参考文献
尿素、过磷酸钙、硫酸钾及菜饼肥	绍兴县 10 年丰绿茶园	4 月 1 日 50% 化肥与有机肥, 5 月 20 日、8 月 1 日 25% 化肥	N 350.06、P ₂ O ₅ 125.88、K ₂ O 287.88 与菜籽饼肥 1904.0 (有 机肥:无机肥=1:4; 总 N 450、 总 P ₂ O ₅ 140、总 K ₂ O 300; 即 N: P ₂ O ₅ :K ₂ O=3:1:2)	茶园土壤中铵态氮、有效 磷、速效钾含量达到最佳 效果, 土壤养分含量达到 I 级土壤肥力标准	王子腾等 ^[58]
尿素、过磷酸钙及鸡粪、猪粪	杭州景山茶茶叶生产基地红黏土 40 年	3、6 和 10 月施用化肥 (包括尿 素和过磷酸钙) 及有机肥	N 139.2、P ₂ O ₅ 12.6, 鸡粪、猪粪 400 (N 9.54、P ₂ O ₅ 1.1)	随着时间增加, 有机肥对 土壤氮素循环中微生物群 落结构和基因丰富度的影 响优于无机肥	Wang 等 ^[59]
尿素+菜籽饼	咸宁 10 年茶园 — 采集土于实验 室	—	尿素:菜籽饼=2:1 总 N: 581 g/kg	减少土壤 N ₂ O 排放, pH 和微生物生物量碳含量优 于单旋尿素	Yu 等 ^[60]

由表 8 和表 9 可知, 单施 N 肥用量在 120 ~ 285 kg/hm² 时对土壤 pH 无显著不良影响, 过量后土壤逐渐酸化; N、P、K 肥配施比例为 N:P₂O₅:K₂O=(2 ~ 2.87):1:(1.3 ~ 1.6) 时可以有效改善土壤环境; 单施有机肥与 N、P、K 肥配施相比不会导致土壤恶化, 但产量降低。通过对表 9 数据统计发现, 采用有机肥无机肥配施, 即有机肥:无机肥=(20% ~ 25%):(75% ~ 80%) 条件下 N、P、K 配施比例为 N:P₂O₅:K₂O=3:1:2 时为最适施肥模式, 保证了高产的可持续性, 提高了茶园经济效益。

4 茶园新型肥料及施肥技术

4.1 茶园新型肥料

新型肥料根据功能及成分分类主要包括微生物肥料、调节剂类、氨基酸肥料、腐殖酸肥料及水溶性肥料等, 具有养分含量高、肥料利用率高、肥料成本低、绿色环保, 以及不会因过度施肥而造成环境污染和土壤养分失调等优点^[61]。新型肥料对茶园的影响总结见表 10。

表 10 新型肥料及其对产量、品质及土壤肥力的影响

肥料	茶园概况	施肥时间	施用量	肥效	参考文献
绿力硒之源	绍兴市龙虎山福鼎大白茶场	—	硒肥原液的有机硒含量 3%; 标准浓度和 1.5 倍标准浓度喷施	叶面喷施硒肥对茶叶夏季新梢生长时期的含硒量有显著影响, 喷施叶面 4 ~ 8 d 达到硒含量峰值	陈旭东等 ^[62]
“天御绿丰”富硒光合菌肥	英红九号 12 年茶树	喷施后 10、15、20 d	2.34 ~ 9.36 g/hm ² (硒 含 量 1.3 ~ 5.2 g/kg)	10 d 后叶面硒含量达 0.157 ~ 0.389 mg/g; 硒对茶叶中的多酚类物质 (正比) 及氨基酸含量 (反比) 影响较大	唐颖等 ^[63]
水溶肥 (杭州狮峰茶叶公司)	杭州龙井 43 成龄茶园	水溶肥施 2 年 (基肥 10 月: 催芽肥 2 月: 春追肥 5 月 = 3:2:2)	1049.5 kg/hm ² (水溶性 NPK 总量 554.7 kg/hm ² , 有效生物菌 2750 万个 /g)	和当地习惯施肥相比, 显著增加茶叶百芽重及产量, 促进茶叶叶片光合作用	韩文炎等 ^[64]
大量的元素水溶性肥	砂壤土 7 年生黄山群体种	4 月 1 日 ~ 5 月 20 日每 7 d 对茶叶叶面喷 1 次肥	0.5 ~ 1.0 kg/L (含大量元素 NPK)	使水浸出物、游离氨基酸含量提高, 孔晓君等 ^[65] 茶多酚含量降低, 故提高茶品质	孔晓君等 ^[65]
NPK 肥 腐殖酸肥 (山东泉林嘉)	安溪县砖红壤 6 年树龄铁观音	3 月底施入 40% NPK 肥及 50% 腐殖酸肥; 春、夏茶采摘后追肥 30% NPK 肥及 25% 腐殖酸肥	N 420.6、P ₂ O ₅ 179.9、K ₂ O 251.75 及腐殖酸肥 599.7 kg/hm ²	茶树百芽重、芽头密度、茶叶产量成正比增加	陈学涛等 ^[66]

续表

肥料	茶园概况	施肥时间	施用量	肥效	参考文献
专用生物炭基肥、生物炭基尿素	武夷山潮砂土水仙茶园	基肥:春茶追肥:秋茶追肥=40%:30%:30%	专用生物炭基肥 1425 kg/hm ² (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O 为 17:6.7:10.8)、生物炭基尿素 390 kg/hm ²	提高茶鲜叶 N、P、K、Ca 和 Mg 吸收量,提高肥料利用率,降低茶叶酚氨比	陈玉真等 ^[67]
尿素、钙镁磷肥、硫酸钾、花生麸及生物质炭(水稻谷壳烧制,含碳 46.7%)	广西黄壤3年桂香22号茶园	12月冬季基肥	N 219.69、P ₂ O ₅ 145.92、K ₂ O 319.15、花生麸 3000 kg/hm ² (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=6.39:1.17:1.34)、生物质炭 6540 kg/hm ² (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=0.59:0.47:2.6)	发芽密度提高,绿茶品质提升	王磊等 ^[68]
控释肥、酒糟有机肥、油菜籽饼肥及尿素	贵州省福鼎大白9年生茶园	沟20~25cm深施基肥,追施尿素	控释肥 600 (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=22:8:12)、酒糟有机肥 1500、油菜籽饼 1500 及尿素 450 kg/hm ² (总 N 375.6, P ₂ O ₅ 48.0, K ₂ O 72.0)	鲜叶产量最优,提高茶树新梢氮素利用率	刘声传等 ^[69]
麦秸腐熟肥、NPK 复合肥	日照市6年生中茶108品种茶园	秸秆发酵肥先用微耕机翻入土壤:25cm处开沟施入复合肥	麦秸腐熟肥 147×10 ⁴ 、复合肥 147.7~590.8 (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=22:9:9 且 N 32.5~130、P ₂ O ₅ 及 K ₂ O 13.3~57.6)	鲜叶百芽重大、酚氨比较低、水浸出物较高,茶叶品质最好	曹跃文等 ^[70]
专用配方氨基酸叶面肥	福建省黄红壤乌龙茶产区5年生	2~5月每隔7d于傍晚喷施1次,共施5次	1.5 g/L 500 mL (16%Asp+24%Glu+14%Leu+10%Ala+9%Gly、Phe、Lys 和 Arg)	乌龙茶显著提升总叶绿素、氨基酸和可溶性糖含量	李洁等 ^[71]
生物调理剂及过磷酸钙	江西省庐山黄棕壤	11月中旬沟施	生物调理剂 7312.5 kg/hm ² (有机质 592.17 kg、碱解氮 2.29 kg、有效磷 178.79 g) 及过磷酸钙 4875 kg/hm ² (碱解氮 0.67 kg)	增加土壤中有效磷、有机质含量,土壤酶活性且有效降低茶叶中重金属含量	侯馨洁等 ^[72]
豆粕固体、液体发酵肥	日照市黄山群体茶园	于茶树越冬芽萌发时期(2018年3月)常规沟施方式施入	豆粕固体发酵肥 750 kg/hm ² 、发酵肥液体发酵肥 1800 kg/hm ² 用 300 倍液施用(纯 N、P、K 用量为 154.47、44.76、88.51 kg/hm ²)	显著提高茶园土壤有机质、全氮、全磷和全钾含量,水浸出物、氨基酸及可溶性糖增加,酚氨比降低	辛董董等 ^[73]
过磷酸钙、硫酸钾肥及 TS-1 型生物有机肥	青岛农业科学院果茶研究所试验基地黄山群体种茶园	3月10日、6月22日、8月20日追肥3次,9月20日施过磷酸钙和硫酸钾做基肥	磷酸钙和硫酸钾 750 kg/hm ² ; TS-1 型生物有机肥 7500~12000 kg/hm ² (有效活菌率 0.50×10 ¹² cfu/kg, 有机质用量 2250~3600, N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 用量 375~600)	使土壤中有机质、全氮、碱解氮含量等显著提高,微生物种群数量及多样性提高	王玉等 ^[74]

4.2 茶园新型施肥技术体系

中国茶园的环境、土壤类型多样。水肥一体化技术体系可以依据地形自然落差进行灌溉施肥,具有省时省力省水、水肥均衡施入及萌芽早等优势。阮红丽等^[75]设计的一种茶园水肥一体化灌溉施肥装置相比于习惯施肥更能精准确定水肥比例。水肥耦合互馈效应模型因地制宜,只能在相似地区适用且计算施肥需求、施肥时间及仪器操作等要求人员更加专业。张冬菊等^[76]设计研究茶园智慧水肥一体化系统可以动态监测茶树长势、环境和土壤肥力

等指标,随时调控水肥比例及肥料配方实现智能化水肥管理。应用过程中存在施肥技术未标准化、缺乏专业人员、农机与农艺不配套、水肥一体化系统装置价格高等问题^[77]。通过使用水肥一体化技术施加有机肥,环保并节省省水。如马立锋等^[78]研究浙江省不同化肥减施技术模式与当地习惯施肥相比发现,有机肥+水肥一体化的茶叶产量最优(提高 19.5%),新梢养分利用率最高(提高 15.8%)和经济效益最高(节省 2.25 万元/hm²)。沈家禾等^[79]研究表明,常州市乌牛早茶园沼液水肥一体化技术

模式较常规化肥节肥 16.2%，增产 6.7%，增值 1 万元/hm²，施肥效率提高 10 倍以上。

5 总结与展望

茶园施无机肥及有机肥都能够对茶叶产量、茶产品品质及土壤肥力等方面起到一定的促进作用，但是单施某一种肥料会对土壤、茶叶产量和品质存在不良影响。因此，茶园施肥有必要采用无机肥和有机肥配施的模式。在此基础上，结合新型肥料和新型施肥技术体系，才能充分提高肥料利用率和茶园可持续性，早日实现精准施肥和智慧茶园。

基于以上分析，茶园施肥研究应关注以下方面：

(1) 有机肥存在病原微生物、重金属、抗生素等残留问题，可能会对土壤及茶树带来安全风险。

(2) 水肥一体化后续发展需要针对水肥一体化的不同流速、时间、养分配比、施肥方式（喷灌、微喷、灌溉及滴灌）等对茶树的影响进行研究；对水肥成分时空变换规律进行研究；推广宣传水肥一体化并培养相关专业人员，早日实现水肥一体化全面应用；此外，智能一体化水肥机通过数据传输计算施肥配比在茶园应用较少，应加强基于物联网水肥一体化在智慧茶园的应用研究，实现不同区域不同茶树品种的监控+水肥一体化的智慧灌溉模式。

(3) 新型肥料具有良好的研究潜力和应用前景。一些新型肥料尚处于前期预研阶段，需要深入研究。如碳基生态水溶肥可以通过改良土壤、增加茶树抗病、抗寒及抗旱的能力，从而降低成本、保护环境和茶园持续性发展。

参考文献：

- [1] 宛晓春. 茶叶生物化学 [M]. 北京：中国农业出版社，2003.
- [2] 刘仲华，陈宗懋，杨亚军，等. 创新驱动中国茶产业高质量发展——从茶学基础研究到支撑产业发展 [J]. 中国茶叶，2021，43 (2)：1-9.
- [3] 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.
- [4] 王文明，宋志禹，赵映，等. 我国茶园中耕管理机械研究现状与发展分析 [J]. 中国农机化学报，2021，42 (1)：52-58，218.
- [5] 李伟，唐茜，谭礼强，等. 不同施肥方式及肥料对幼龄茶树生长及主要生化成分含量的影响 [J]. 东北农业大学学报，2019，50 (2)：28-36.
- [6] Hu S K, Zhang M, Yang Y Q, et al. A novel insight into nitrogen and auxin signaling in lateral root formation in tea plant [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze]. [J]. BMC Plant Biology, 2020, 20 (1): 232-249.
- [7] 叶秋萍. 肥料对茶树生长和茶叶品质的影响 [J]. 茶叶科学技术，2007 (1)：26-28.
- [8] 马立锋. 茶树氮素吸收利用与氮肥施用技术研究 [D]. 北京：中国农业科学院，2015.
- [9] 游小妹，陈常颂，钟秋生，等. 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.
- [10] 张世林，祁海东. 勉县茶叶氮肥总量控制肥效试验初探 [J]. 陕西农业科学，2016，62 (10)：63-65.
- [11] Ma L F, Yang X D, Shi Y Z, et al. Response of tea yield, quality and soil bacterial characteristics to long-term nitrogen fertilization in an eleven-year field experiment [J]. Applied Soil Ecology, 2021, 166: 103976.
- [12] 陈福林，许淑琼. 湖北茶园施用钾肥增产效果研究 [J]. 湖北农业科学，2004 (2)：68-70.
- [13] 雷琼，袁玲. 钾肥对幼龄茶树氮磷钾吸收和茶叶产量及品质的效应 [J]. 中国土壤与肥料，2008 (5)：41-44.
- [14] 苏火贵. 不同施肥模式对黄金桂春茶产量的影响 [J]. 福建农业科技，2014 (3)：17-18.
- [15] 陈勋，王红娟，毛迎新，等. 缓释配方肥在茶树上的应用初探 [J]. 湖北农业科学，2015，54 (22)：5625-5628，5640.
- [16] 田甜，赵德恩，梁登云，等. 氮磷钾配施对茶叶产量及品质的影响 [J]. 江苏农业科学，2018，46 (14)：131-136.
- [17] 王峰，陈玉真，吴志丹，等. 酸性茶园土壤氨挥发及其影响因素研究 [J]. 农业环境科学学报，2016，35 (4)：808-816.
- [18] Haq S V, Boz I. Measuring environmental, economic, and social sustainability index of tea farms in Rize Province, Turkey. [J]. Environment, Development & Sustainability, 2020, 22 (3): 2545-2567.
- [19] 王凯，张乃明，刘惠见，等. 不同施肥措施对勐海大叶茶产量与品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料，2021 (3)：194-198.
- [20] 王辉，龚淑英，陈美丽. 茶园施用有机肥研究进展 [J]. 茶业通报，2012，34 (1) 23-26.
- [21] 张耀华，朱继军，罗敬东，等. 有机茶专用肥对茶叶品质和产量的影响试验 [J]. 茶业通报，2009，31 (2)：62-63.
- [22] 柴胜丰，唐健民，邹蓉，等. 不同基肥和氮磷钾配比追肥对金花茶幼苗生长的影响 [J]. 湖北农业科学，2020，59 (7)：41-45.
- [23] 林永锋，胡永光，李萍萍，等. 有机肥及氮磷钾肥施用量与茶叶产量的关系模型及其解析 [J]. 江苏农业科学，2014 (9)：207-210.
- [24] 刘美雅，汤丹丹，矫子昕，等. 适宜氮肥施用量显著提升夏季绿茶品质 [J]. 植物营养与肥料学报，2021，27 (8)：1407-1419.
- [25] 邓敏，徐泽，胡留杰，等. 不同氮营养水平对福鼎大白茶

- 产量及品质的影响[J]. 西南农业学报, 2012, 25(4): 1130-1133.
- [26] 韩文炎, 马立峰, 石元值, 等. 茶树施用控释氮肥的产量和品质效应[J]. 土壤通报, 2007, 12(6): 1145-1149.
- [27] Chen Y Z, Wang F, Wu Z D, et al. Effects of long-term nitrogen fertilization on the formation of metabolites related to tea quality in subtropical China [J]. *Metabolites*, 2021, 11(3): 22-25.
- [28] 边金霖, 董迹芬, 林杰, 等. 钾肥施用对茶鲜叶香气组分的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2012, 41(6): 601-607.
- [29] 李静. 不同肥料品种及其用量对茶叶产量和品质的影响研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2005.
- [30] 庞永磊, 王凤新, 黄泽军, 等. 适宜施氮钾水平提高滴灌秋茶的产量及品质[J]. 农业工程学报, 2019, 35(24): 98-103.
- [31] 黄毅彪, 胡泽波, 林燕萍, 等. 氮肥减量下缓释肥对乌龙茶鲜叶产量与品质的影响[J]. 福建农业学报, 2020, 35(5): 525-531.
- [32] 田甜, 韦锦坚, 赵德恩, 等. 氮磷钾配施对茶叶品质的影响[J]. 热带农业科学, 2018, 38(4): 36-45.
- [33] Venkatesan S, Ganapathy M N K. Impact of nitrogen and potassium fertiliser application on quality of CTC teas [J]. *Food Chemistry*, 2004, 84(3): 11-15.
- [34] 李佳, 黄玮, 马丹妮, 等. 不同施肥处理对四个茶树品种茶叶品质的影响[J]. 茶叶通讯, 2021, 48(4): 644-651.
- [35] 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(3): 16-17.
- [36] 江新风, 孙永明, 童忠飞, 等. 菜籽饼肥施用深度对茶叶产量、品质和氮素利用的影响[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(12): 172-178.
- [37] 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.
- [38] Sangeeta D, Prodeep K B, Rajib M B. 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.
- [39] 张国芹, 孙灵湘, 顾俊荣, 等. 肥料运筹对不同茶果间作模式碧螺春茶叶产量与品质的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(18): 59-64.
- [40] 王旭, 张崇玉, 丁钊. 春茶的产量与品质对氮磷钾及有机肥配施的响应[J]. 贵州农业科学, 2015, 43(11): 64-66.
- [41] 王峰, 陈玉真, 尤志明, 等. 不同施氮量对两种茶园土壤硝化作用和pH值的影响[J]. 茶叶科学, 2015, 35(1): 82-90.
- [42] Yang X D, Ni K, Shi Y Z, et al. Effects of long-term nitrogen application on soil acidification and solution chemistry of a tea plantation in China [J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2018, 252(3): 74-82.
- [43] 吕亚敏, 杨京平, 赵杏, 等. 磷肥对茶园土壤中镉有效性及其生物累积的影响[J]. 浙江大学学报(理学版), 2015, 42(6): 726-731, 754.
- [44] 付乃峰, 洪永聪, 丁兆堂. 控释肥与尿素配施对茶园土壤碱解氮含量和茶叶品质的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 9(4): 106-109.
- [45] 杨浩瑜, 刘惠见, 张乃明, 等. 化肥减施处理对茶园土壤养分及茶叶品质的影响[J]. 南方农业学报, 2020, 51(4): 887-896.
- [46] Li Y C, Li Z, Li Z W, et al. Variations of rhizosphere bacterial communities in tea (*Camellia sinensis* L.) continuous cropping soil by high-throughput pyrosequencing approach [J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2016, 121(3): 787-799.
- [47] 曾婕, 张德全, 闻禄, 等. 长期不同施肥模式对茶叶产量与土壤肥力的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(3): 161-166.
- [48] Gu S, Hu Q, Cheng Y, et al. Application of organic fertilizer improves microbial community diversity and alters microbial network structure in tea (*Camellia sinensis*) plantation soils [J]. *Soil & Tillage Research*, 2019, 195: 104356.
- [49] Zhang S N, Sun L T, Wang Y, et al. Cow manure application effectively regulates the soil bacterial community in tea plantation [J]. *BMC Microbiology*, 2020, 20(1): 1-11.
- [50] Xie S W, Yang F, Feng H X, et al. Organic fertilizer reduced carbon and nitrogen in runoff and buffered soil acidification in tea plantations: Evidence in nutrient contents and isotope fractionations [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 19(4): 762-764.
- [51] 黄尚书, 孙永明, 江新风, 等. 有机肥全量替代化肥对茶叶产量和品质、土壤养分及氮素利用的影响[J]. 华北农学报, 2021, 36(4): 163-171.
- [52] Fan D M, Fan K, Zhang D W, et al. Impact of fertilization on soil polyphenol dynamics and carbon accumulation in a tea plantation, Southern China [J]. *Journal of Soils & Sediments: Protection*, 2017, 17(9): 2274-2283.
- [53] Li J 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.
- [54] 王金林, 闻禄, 陈平, 等. 长期不同施肥对茶园土壤pH、茶叶产量可持续性和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(8): 84-88.
- [55] Ji L F, Ni K, Wu Z D, et al. Effect of organic substitution rates on soil quality and fungal community composition in a tea plantation with long-term fertilization [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2020, 56(5): 633-646.
- [56] 朱旭君, 王玉花, 张瑜, 等. 施肥结构对茶园土壤氮素营养及茶叶产量品质的影响[J]. 茶叶科学, 2015(3): 248-254.
- [57] 李萍萍, 林永锋, 胡永光. 有机肥与化肥配施对茶叶生长和土

- 壤养分的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(2): 64-69.
- [58] 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.
- [59] Wang H, Yang S H, Yang J P, et al. Temporal changes in soil bacterial and archaeal communities with different fertilizers in tea orchards [J]. Zhejiang Univ-Sci B (Biomed & Biotechnol), 2014, 15(11): 953-965.
- [60] Yu J L, Lin S, Muhammad S, et al. Nitrous oxide emissions from tea garden soil following the addition of urea and rapeseed cake [J]. Journal of Soils and Sediments. 2020, 20(9): 3330-3339.
- [61] 冯尚善, 崔荣政, 王臣. 我国新型肥料产业发展现状及展望[J]. 磷肥与复肥, 2020, 35(10): 1-3.
- [62] 陈旭东, 付杰, 夏小欢, 等. 喷施叶面硒肥对绍兴茶叶含硒量的影响试验初报[J]. 中国茶叶, 2010, 32(4): 17-19.
- [63] 唐颢, 唐劲驰, 黎健龙, 等. 英红九号茶树施用硒肥的富硒及产量品质效应[J]. 广东农业科学, 2012, 39(20): 52-54.
- [64] 韩文炎, 张兰, 姚惠明, 等. 水溶肥在茶树上的应用效果[J]. 中国茶叶, 2020, 42(12): 37-41.
- [65] 孔晓君, 庄美琪, 胡姗姗, 等. 大量元素水溶肥在茶树上的应用效果[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(15): 121-123.
- [66] 陈学涛, 孔庆波, 张青, 等. 腐植酸肥在铁观音茶树上的应用效果研究[J]. 福建农业科技, 2014(1): 24-26.
- [67] 陈玉真, 王峰, 吴志丹, 等. 化肥减施对乌龙茶产量、品质和肥料利用率及经济效益的影响[J]. 茶叶科学, 2020, 40(6): 758-770.
- [68] 王磊, 刘秋凤, 苏敏, 等. 生物质炭及与有机肥配施对桂香22号茶树生长、氮素吸收及品质的影响[J]. 热带农业科学, 2018, 38(6): 18-24, 48.
- [69] 刘声传, 林开勤, 梁思慧, 等. 不同化肥减施技术下茶叶产量、品质、养分利用率及经济效益[J]. 热带作物学报, 2021, 42(9): 2601-2609.
- [70] 曹跃文, 曹秋华, 刘萌, 等. 麦秸腐熟肥对茶叶产量和品质的影响[J]. 农业科技通讯, 2021(2): 140-142.
- [71] 李洁, 刘贝宁, 赵超逸, 等. 专用配方氨基酸叶面肥对乌龙茶树生理特性及品质的影响[J]. 热带作物学报, 2021, 42(1): 123-129.
- [72] 侯馨洁, 丁园, 张宝林. 基于磷肥的改良剂对庐山茶园土壤的持续改良[J]. 环境科学与技术, 2019, 42(10): 155-159.
- [73] 辛董董, 葛兰英, 张浩. 茶园施用豆粕发酵肥对土壤肥力指标与茶叶品质的影响[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2021, 49(3): 22-30.
- [74] 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): 179-181.
- [75] 阮红丽, 李光辉, 周小波, 等. 茶园水肥一体化灌溉施肥装置研究与设计[J]. 四川农业与农机, 2020(3): 40-42.
- [76] 张冬菊, 夏鸽飞, 朱登平, 等. 茶园智慧水肥一体化系统设计与应用分析[J]. 南方农业, 2020, 14(17): 176-178.
- [77] 梁飞. 协同视域下水肥一体化技术发展中存在的问题思考及对策[J]. 肥料与健康, 2021, 48(1): 1-5.
- [78] 马立锋, 倪康, 伊晓云, 等. 浙江茶园化肥减施增效技术模式及示范应用效果[J]. 中国茶叶, 2019, 41(10): 40-43.
- [79] 沈家禾, 沈鑫, 李琴, 等. 茶园沼液水肥一体化技术应用研究[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(21): 172-173, 210.

Research status and prospects of fertilization in tea plants

ZHAO Jin^{1, 3}, FU Jing^{1, 2, 3*}, LIU Ning-ning^{1, 3}, LI Xin-sheng^{1, 2, 3}, ZAN Li-xia^{1, 2, 3}, YAN Fei^{1, 2, 3}, QU Dong^{1, 2, 3}

[1. Biological Science and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong Shaanxi 723000; 2. Shaanxi Province Key Laboratory of Bio-resources, Hanzhong Shaanxi 723000; 3. Shaanxi Province 'Four Subjects and One Joint' Tea University & Enterprise Alliance Research Center, Hanzhong Shaanxi 723001; 4. Qinba State Key Laboratory of Biological Resources and Ecological Environment(Incubation), Hanzhong Shaanxi 723000]

Abstract: Fertilization is an important guarantee to ensure the healthy growth, yield improvement and high quality of tea trees. Single application of inorganic fertilizer or organic fertilizer can promote the yield of tea, tea product quality and soil fertility, but there are obvious defects and hidden dangers, such as soil acidification, serious nitrogen loss and reduced yield of fresh tea leaves. Therefore, inorganic fertilizer and organic fertilizer application, combining with new type of fertilizer and new fertilization technology system, such as selenium fertilizer, carbon-based water-soluble fertilizer and intelligent water and fertilizer integration, is an important way for the sustainable development of tea garden. In this study, the effects of three fertilization modes of inorganic fertilizer, organic fertilizer, inorganic fertilizer combined with organic fertilizer on tea plant growth and development, tea production, tea quality and soil fertility were summarized. Considering with new type fertilizers and fertilization technology in tea garden, this paper put forward relevant development suggestions from multiple aspects, so as to provide reference for realizing rational fertilization in tea plantations, producing high-yield and high-quality tea and improving soil quality in tea production. It provides research ideas for rational fertilization, production of high-yield and high-quality tea and improvement of soil fertility in tea garden in the future.

Key words: tea; fertilization; yield; quality; soil fertility