

张 华,李春雷,李 伟,等. 优化追肥养分配方对提升茶树新梢品质的效果[J]. 江苏农业科学,2022,50(6):125-130.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.06.021

# 优化追肥养分配方对提升茶树新梢品质的效果

张 华<sup>1,2,3</sup>, 李春雷<sup>1,3</sup>, 李 伟<sup>4</sup>, 刘祖锋<sup>4</sup>, 黄晓琴<sup>1</sup>, 张群峰<sup>2</sup>, 阮建云<sup>2</sup>

(1. 山东农业大学园艺科学与工程学院, 山东泰安 271018; 2. 中国农业科学院茶叶研究所/农业农村部茶树生物学与资源利用重点实验室, 浙江杭州 310008; 3. 潍坊科技学院研究生教育研究中心, 山东寿光 261071; 4. 湖北恩施壮农业科技有限公司, 湖北宜昌 430071)

**摘要:** 优化茶园养管理效率是提高茶叶产量、品质的重要手段。为明确优化追肥养分配方对提升茶树新梢品质的效果, 设置了 4 个养分处理: 不施肥对照 (CK); 农民习惯施肥 (T1); 优化专用配方追肥 (T2, N : P : K : Mg 比例为 32 : 4 : 4 : 1); 添加硝化抑制的专用配方肥 (T3)。在盆栽和田间试验条件下测定了茶树生长量、新梢品质、养分吸收总量、肥料利用率和土壤肥力对养分优化的响应。结果表明, 与不施用追肥相比, 各施肥处理下茶树枝条持嫩性、叶片含水率、茶叶品质显著提升; 与农民习惯施肥相比, 专用配方和添加硝化抑制剂的 2 种追肥处理下枝条的持嫩性均显著增加; 添加硝化抑制剂的追肥对茶树新梢的叶绿素总量、氮平衡指数、新梢氨基酸含量具有进一步的提高作用, 而对茶树新梢茶多酚、类黄酮总量和花青素积累具有显著抑制效果, 有利于降低绿茶的酚氨比, 提高其滋味品质。表明优化追肥养分配方对茶树新梢品质具有显著改善效果, 是提高茶园养管理效率的重要措施。

**关键词:** 茶树; 追肥; 营养; 茶叶品质; 施肥

**中图分类号:** S571.106 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)06-0125-06

茶产业是我国农民脱贫增收和乡村振兴的支

柱产业。长期以来, 种植技术的改良对茶叶产业持续健康发展作出了重要贡献, 而其中茶园养管理技术的不断优化是茶叶产量和品质提升的重要技术保障。与大多数作物相同, 肥料的使用是茶叶增产增效的物质基础, 但长期不合理施肥也会造成土壤酸化、养分流失以及茶叶产量减少、品质下降甚至环境污染等问题<sup>[1-3]</sup>。因而, 提高养管理效率对提高茶叶产量和品质至关重要<sup>[4]</sup>。

收稿日期: 2021-10-19

基金项目: 国家茶叶现代产业技术体系建设专项 (编号: CARS-19); 中国农业科学院科技创新工程 (编号: CAAS-ASTIP-2019-TRICAAS)。

作者简介: 张 华 (1999—), 男, 安徽合肥人, 硕士研究生, 研究方向为茶树营养与养管理。E-mail: 1694952641@qq.com。

通信作者: 张群峰, 博士, 副研究员, 主要从事茶树营养与品质调控研究。E-mail: zhangqunfeng@caas.cn。

18(1):88-91,96.

[16] Rahman M, Punja Z K. Factors influencing development of root rot on ginseng caused by *Cylindrocarpon destructans* [J]. Phytopathology, 2005, 95(12):1381-1390.

[17] 杨 婷. 膜脂过氧化对植物细胞的伤害[J]. 科技与创新, 2018(8):61-62.

[18] Cai Z C, Liu X H, Chen H A, et al. Variations in morphology, physiology, and multiple bioactive constituents of *Lonicerae Japonicae* Flos under salt stress [J]. Scientific Reports, 2021, 11:3939.

[19] 赵晓萌, 张雪松, 祁建军, 等. 连作对西洋参根系生长及酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(13):103-107.

[20] 刘亮亮, 黄新琦, 朱 睿, 等. 强还原土壤对尖孢镰刀菌的抑制及微生物区系的影响[J]. 土壤, 2016, 48(1):88-94.

[21] 李云龙. 三七化感作用及其微生物学消减机制[D]. 南京: 南京师范大学, 2020.

[22] 田给林. 连作草莓土壤酚酸类物质的化感作用及其生物调控研

究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.

[23] Cheng H Y, Zhang D Q, Ren L R, et al. Bio-activation of soil with beneficial microbes after soil fumigation reduces soil-borne pathogens and increases tomato yield [J]. Environmental Pollution, 2021, 283:117160.

[24] 张志刚, 李一帆, 朱 丹, 等. 人参对脊髓损伤大鼠 MDA、SOD、NO 含量的影响及意义 [J]. 中风与神经疾病杂志, 2014, 31(12):1097-1099.

[25] 王韶娟. 人参根系分泌物对植物生长的影响及参后地植物修复 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2008.

[26] 张淋淋, 孙 海, 于红霞, 等. 水分胁迫对西洋参叶片生理生化指标的影响 [J]. 吉林农业大学学报, 2020, 42(4):403-408.

[27] 董 亮, 何永志, 王远亮, 等. 超氧化物歧化酶 (SOD) 的应用研究进展 [J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(5):53-58.

[28] 张亚玉, 李晓明, 郭 靖, 等. 人参、西洋参根系活力的初步研究 [J]. 吉林农业大学学报, 1996, 18(2):83-85.

茶园养分管理目标是不断追求茶树养分需求与土壤养分供应在时空上的精确匹配。茶树在快速生长中需要大量的氮素营养,以及高效的磷、钾和镁营养<sup>[5-7]</sup>。倪康等对我国茶园施肥现状调查分析后发现,30%的茶园过量施用化肥,80%的茶园施用的肥料氮、磷、钾比例不能完全满足茶树生长的养分需求<sup>[8]</sup>。传统施肥中,片面追求产量,茶农施肥量普遍较大,且以速效氮肥为主。此外,研究表明茶树具有喜铵的营养特性,硝化作用不仅增加氮素淋溶损失和温室气体(氮氧化物)排放,也不利于茶树对氮素营养的吸收<sup>[9-10]</sup>。因而,硝化抑制剂可以有效增加茶园氮肥的利用率,满足茶树生长时期的养分需求<sup>[11]</sup>。

当前茶叶生产中主要采用基肥与追肥结合施用的方法<sup>[12]</sup>,其中基肥<sup>[13]</sup>在茶树地上部分停止生长后施入,可以有效地补充茶树的养分储备,增加茶树在秋冬季的御寒能力,保障春季茶树产量和品质<sup>[14]</sup>。追肥<sup>[15]</sup>在生长期施入,补充生长期间的养分需求,满足新梢生长的需要,提高新梢产量和品质<sup>[16]</sup>。当前茶叶生产中磷钾肥主要在秋季作为基肥使用。相关研究发现,茶树对于磷元素的吸收时间主要为4—7月和9月,吸收量占全年吸磷总量的80%,茶树对于钾元素的吸收时间主要集中在7—9月,吸收量占全年吸钾总量的56%<sup>[17]</sup>。马立锋等研究表明,磷钾分次施用可以提高肥料利用效率和减少损失<sup>[18]</sup>。由此可见,磷钾肥在茶树养分需求与施肥时期上的匹配有待进一步优化。本研究以中茶108主栽品种为试验对象,通过对比不同追肥处理下的茶树的生长量、生长形态、品质、肥料利用率的差异,以期茶园高效施肥技术提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与处理

盆栽试验在中国农业科学院茶叶研究所嵊州综合试验站(120°48'52.97"E,29°46'23"N)进行。共设置4个处理:不施肥对照(CK);农民习惯施肥(T1,300 kg/hm<sup>2</sup>的尿素);优化专用配方追肥(T2,300 kg/hm<sup>2</sup>的复合肥,N:P:K:Mg的含量比例为32:4:4:1);添加硝化抑制的优化专用配方追肥(T3,300 kg/hm<sup>2</sup>的复合肥,N:P:K:Mg的含量比例为32:4:4:1)。每个处理20盆茶树,每盆茶树4株茶苗,每盆装土40 L。选取生长一致的经过

养分耗竭预培养的茶苗,2020年夏季、秋季、2021年春季分别进行追肥试验处理。

田间试验于2020年10月在宜昌下堡坪乡茶叶基地进行。土壤基础理化性质为pH值为4.93,有机质含量0.95 g/kg,全氮含量1.4 g/kg,速效钾含量13.51 mg/kg,有效磷含量3.19 mg/kg,有效镁含量72.14 mg/kg,有效钙含量279.68 mg/kg。设置空白对照、习惯施肥处理、优化专用配方追肥撒施、优化专用配方追肥沟施。不同施肥处理肥料用量以全年总量平衡计算。

### 1.2 样品采集与处理

用SPAD仪进行茶树叶片叶绿素含量检测。对各处理每株茶树选取10根最长的枝条,测量枝条的质量、红梗长度与叶片数量,然后在105℃烘箱干燥至恒质量,研磨后用于茶叶叶片磷、钾、镁等矿质元素含量测定和有机碳和全氮含量测定。

对各处理每株茶树的新梢进行随机取样,对采摘的新梢进行液氮灭活,-80℃低温保存,在液氮环境下用植物粉碎机粉碎,真空冷冻干燥后用于茶叶生化品质的测定。

对各处理的每株茶树盆栽土进行0~20 cm取鲜土。鲜土用20目筛过筛然后取50 g放入4℃冰箱冷藏待测,用于测量土壤中硝态氮与铵态氮的含量。同时将剩下的土风干,用100目筛过筛用于土壤磷、钾、镁等矿质元素和有机碳、全氮含量测定。

### 1.3 测定方法

1.3.1 茶多酚含量、游离氨基酸含量、叶绿素含量、氮平衡指数、类黄酮总量和花青素总量测定 新梢中茶多酚含量测定采用酒石酸亚铁比色法<sup>[19]</sup>,游离氨基酸总量测定采用茚三酮比色法<sup>[20]</sup>;叶绿素含量、氮平衡指数、类黄酮总量和花青素总量采用Dualex4测量仪(Force-A,Orsya,France)测定。

1.3.2 养分元素含量测定 茶叶中的全磷、全钾和全镁含量测定采用湿消化法,电感耦合等离子体原子发射光谱仪(ICP-AES)测定;土壤中的有效磷含量测定采用盐酸-氟化铵法,有效钾、有效镁含量测定采用乙酸铵提取法<sup>[21]</sup>。

茶叶和土壤中的有机碳和全氮含量采用元素分析仪(Vario mac-ro cube)测定<sup>[21]</sup>。

1.3.3 土壤铵态氮含量测定 土壤铵态氮含量采用靛酚蓝比色法测定<sup>[21]</sup>。

### 1.4 数据处理

(1)枝条的成熟度计算:成熟度=红梗长度/枝

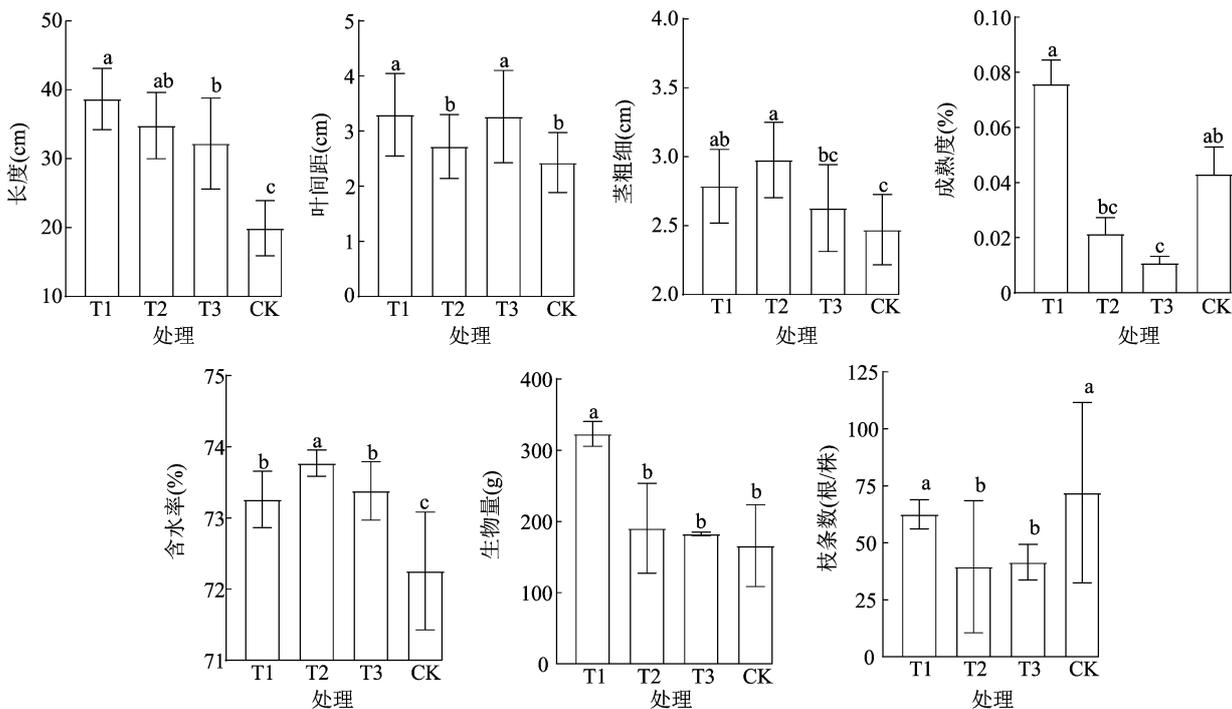
条长度 $\times 100\%$ 。(2)叶片含水率=(鲜质量-干质量)/鲜质量 $\times 100\%$ 。所有试验数据均采用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据统计及均值计算,采用 SPSS 18.0 统计软件进行统计分析及标准差计算,使用 LSD 法对数据进行差异显著性检验( $\alpha=0.05$ ),利用 GraphPad Prism 8.3.0 软件绘制图表。

## 2 结果与分析

### 2.1 茶园追肥养分配方优化对茶树生长的影响

从图 1 可以看出,优化茶园追肥养分配方对茶树生长起到了一定的促进效果,对茶树新梢枝条的

长度、叶片数量、茎粗以及总生物量都有一定的影响。尤其是优化配方处理对茶树的含水率和持嫩性的影响尤为显著。从枝条持嫩性的结果来看,与不施肥(CK)相比,T3 处理下枝条的持嫩性显著提升。与常规习惯追肥(T1)处理相比,T2、T3 处理下枝条的成熟度均显著降低( $P<0.05$ )。从枝条含水率的结果来看,与 CK 相比,施肥后枝条含水率显著增加( $P<0.05$ ),而与 T1 处理相比 T2 处理下枝条含水率更高( $P<0.05$ ),T1 与 T3 处理之间差异不明显( $P>0.05$ )。因此优化茶园追肥养分配方对茶树新梢的含水率和持嫩性有着显著的改善作用。



圆柱上不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。图 2 至图 5 同

图 1 不同追肥处理对茶树生长量的影响

### 2.2 茶园追肥养分配方优化对茶树新梢叶绿素含量和氮平衡指数的影响

叶绿素含量分析结果(图 2)表明,农民习惯追肥方式处理的茶树新梢叶绿素含量最低,而 T3 处理与其他各处理的叶绿素含量相比显著增加( $P<0.05$ )。此外,T2、T3 处理样品的叶绿素含量也显著高于 T1 处理( $P<0.05$ )。氮平衡指数(NBI)测定表明,不施肥处理的茶树新梢氮平衡指数最低,而 T3 处理的氮平衡指数显著高于其他各处理( $P<0.05$ ),优化茶园追肥养分配方对茶树新梢的叶绿素含量和氮平衡指数具有显著的提高作用。

### 2.3 茶园追肥养分配方优化对茶叶内含品质成分的影响

优化茶园追肥养分配方对茶树叶片类黄酮总量(Flav)和花青素总量(Anth)含量和新梢氨基酸、茶多酚含量有显著的影响(图 3)。不施肥处理的茶树叶片类黄酮总量和花青素总量最高,而 T3 处理显著低于 T1 和 CK 处理( $P<0.05$ );茶树新梢的氨基酸总量测定结果表明,不施肥处理的茶树新梢氨基酸总量最低,而 T3 处理与 T2 和 CK 处理相比显著增加( $P<0.05$ )。茶树新梢茶多酚总量测定结果表明,不施肥处理的茶树新梢茶多酚总量最高,而

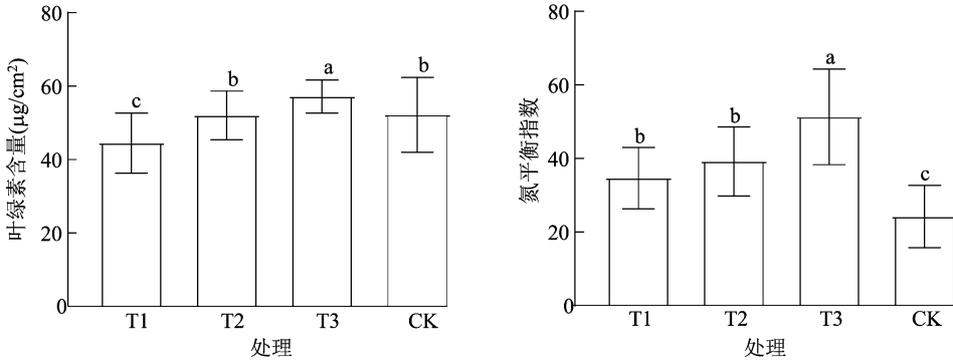


图2 不同追肥处理对茶树新梢叶绿素含量和氮平衡指数的影响

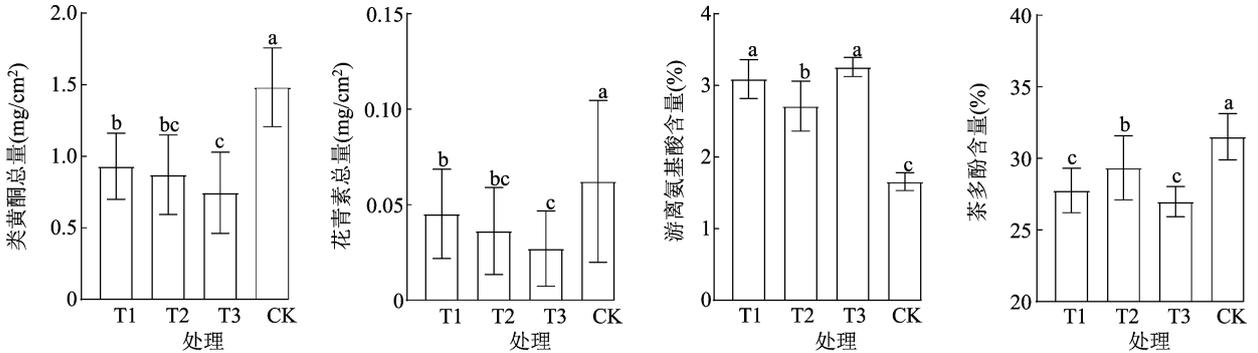


图3 不同追肥处理对茶叶内含品质成分的影响

T3 处理显著低于 T2 和 CK 处理 ( $P < 0.05$ )。因此优化茶园追肥养分配方会显著增加茶树新梢的氨基酸总量和减少茶树新梢的类黄酮总量、花青素和茶多酚总量。

#### 2.4 茶园追肥养分配方优化对新梢磷、钾、镁吸收量的影响

从表 1 可以看出,优化茶园追肥养分配方对茶树叶片氮、磷、钾和镁吸收量有一定程度的影响。与 CK 处理相比,T1、T2 与 T3 处理叶片碳含量均有一定程度的增加,其中 T1、T2 与 T3 处理之间差异

不显著 ( $P > 0.05$ );与 CK 处理相比,T3 处理叶片氮含量显著高于 CK ( $P < 0.05$ ),T1、T2 与 CK 处理之间差异不显著 ( $P > 0.05$ );T1、T2 与 T3 处理与 CK 处理相比叶片磷含量显著增加 ( $P < 0.05$ );与 CK 处理相比,T1、T2 与 T3 处理叶片钾含量均有一定程度的变化,其中 T1、T2 与 T3 处理之间差异不显著 ( $P > 0.05$ );与 CK 处理相比,T1、T2 与 T3 处理叶片镁含量均有一定程度的变化,其中 T1、T2 与 T3 处理之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。表明优化配方施肥影响茶树叶片中碳、氮、磷、钾、镁的积累。

表 1 不同追肥处理对茶叶碳、氮、磷、钾、镁养分含量的影响

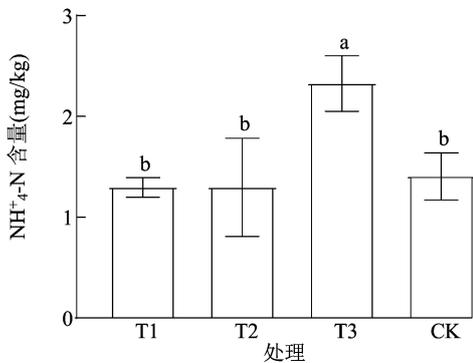
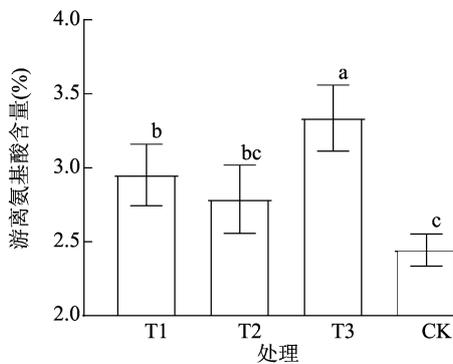
处理	碳含量 (g/kg)	氮含量 (g/kg)	磷含量 (mg/kg)	钾含量 (mg/kg)	镁含量 (mg/kg)
T1 (农民习惯施肥)	32.89 ± 0.180ab	815.32 ± 0.981a	8.30 ± 0.352a	65.16 ± 2.806a	7.70 ± 0.335a
T2 (专用肥)	32.52 ± 0.601ab	811.85 ± 1.474a	7.76 ± 0.102ab	62.34 ± 1.674ab	7.16 ± 0.297ab
T3 (添加硝化抑制的专用肥)	35.14 ± 0.614a	811.62 ± 2.070a	7.49 ± 0.234b	56.27 ± 1.911b	6.81 ± 0.171b
CK (不施肥对照)	27.75 ± 1.644b	802.31 ± 2.352b	6.83 ± 0.151c	60.95 ± 2.549ab	7.15 ± 0.129ab

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

#### 2.5 茶园追肥养分配方优化对土壤中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量的影响

优化茶园追肥养分配方对茶树土壤中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量有着显著的影响(图 4)。优化茶园追肥养分配

方处理的茶树土壤中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量显著高于其他各处理 ( $P < 0.05$ ),此外 T1、T2 和 CK 处理的茶树土壤中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量无显著差异。

图4 不同追肥处理对茶树土壤中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量的影响

2.6 茶园追肥养分配方优化对田间茶叶内含品质的影响

从田间茶树新梢氨基酸含量的分析结果(图5)来看,不施肥处理的茶树新梢氨基酸含量最低,而 T3 处理的氨基酸含量显著高于其他各处理( $P < 0.05$ )。不施肥处理的茶树新梢茶多酚含量最高,显著高于其他各处理( $P < 0.05$ ),而 T2 处理的茶多酚含量显著低于其他各处理( $P < 0.05$ )。因此,优化茶园追肥养分配方会显著增加茶树新梢的氨基酸含量和减少茶树新梢的茶多酚含量。

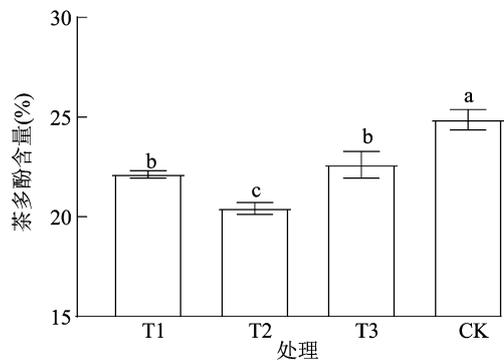


图5 不同追肥处理对田间茶叶内含品质成分的影响

### 3 讨论与结论

#### 3.1 优化追肥养分配方对茶树生长、品质的作用

施肥作为有效提升茶树产量和茶叶品质的主要措施之一,对茶树增产的贡献率达到 41%<sup>[22]</sup>。但目前我国的茶园施肥方法和方式存在较多问题,主要表现为过量施肥、茶树专用肥占比少、有机肥和中微量营养投入不足等。同时生产上大量采用表面撒施等落后施用方法,造成养分损失大,环境风险高。因此,不断总结优化茶园养分综合管理技术是保障茶产业绿色可持续发展的有效措施<sup>[12]</sup>。相关研究发现,与常规施肥相比,合理的减施氮肥、有机肥与无机肥配施、缓释肥、茶树专用肥等施肥结构与措施有利于增加茶树产量、提高茶叶品质和改善土壤理化性质等<sup>[23-25]</sup>。但是当前研究大多是基于全年养分供应总量的比较,而并没有针对追肥施用策略的详细比较。

与茶树休眠季节施用的基肥不同,追肥主要在茶树生产季节提供速效养分供应,满足茶树地上部快速生长时的养分需求。氮素作为植物生长最为重要的营养元素,在茶叶生产的追肥中已经被广泛重视并大量使用。然而磷钾镁等营养元素在习惯

中往往被忽视,这一方面可能是由于土壤对磷钾有相对高的固持能力,另一方面可能是由于这些养分对产量的贡献略小于氮肥。大量研究表明,磷钾镁肥分次施用可以显著提高茶叶产量,尤其是对茶叶品质具有显著的改善作用<sup>[18]</sup>。本研究结果表明,与不施肥处理(CK)相比,各施肥处理均出现生长和产量增加的现象。与按农民习惯施肥处理(T1)相比,施新型专用肥枝条的持嫩性和含水量有显著提升。相关研究表明,在追肥处理中以施中等水平的 N 和 P、低水平的 K 时,可以显著提升茶树的产量<sup>[26-27]</sup>。本研究结果表明,与 CK 相比,各施肥处理出现黄酮类、氨基酸和茶多酚含量有着显著的变化,花青素发生一定量的变化。与按农民习惯施肥处理 T1 相比,施新型专用肥的茶叶中黄酮类、花青素、氨基酸和茶多酚等含量发生了一定的改变。本试验在习惯追肥(速效氮肥)基础上优化了 P、K 养分比例,尤其是加入了 Mg 营养元素,通过追肥分次施入茶园,在时空上满足与茶树营养需求,从而达到增加茶树的持嫩性、延长茶树的生长周期。

#### 3.2 追施氮素优化对茶树的生长、品质和土壤的作用

硝化作用是在土壤中的硝化微生物的作用下

将土壤中的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  转变为  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的过程,大量研究表明,肥料中添加硝化抑制剂能够有效提升氮肥利用效率<sup>[28-29]</sup>,减少土壤氮素流失。孔晓君等研究表明,茶园控释肥应用能够有效提升茶叶品质,主要表现为提高茶叶游离氨基酸含量,提高水浸出物和降低酚氨比<sup>[30]</sup>。本研究结果表明,与施用新型专用肥(T2)相比,氮素缓释追肥的枝条持嫩性和叶间距有着显著的提升。茶叶氨基酸含量显著提升,茶多酚含量显著下降。

我国华南地区,追肥时间往往是降水较为集中的季节,从而大大增加了氮素营养流失的风险。本研究结果表明,茶园追肥中添加硝化抑制剂以后茶园土壤铵态氮含量显著高于其他各处理。与新型专用肥(T2)相比,氮素缓释追肥的茶园土壤铵态氮含量显著提升。这与前人的研究结果<sup>[29]</sup>基本一致,吴晓荣等研究表明,2种常用的硝化抑制剂对我国4种典型茶园的硝化作用确实有明显的抑制作用。田间试验表明,沟施与撒施相比具有更好的品质改善效果,这也进一步为优化配方肥料在生产实践上的应用提供了技术支撑。

#### 参考文献:

- [1] Ruan J Y, Ma L F, Shi Y Z. Potassium management in tea plantations: Its uptake by field plants, status in soils, and efficacy on yields and quality of teas in China [J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2013, 176(3): 450 - 459.
- [2] 刘宗岸, 杨京平, 杨正超, 等. 苕溪流域茶园不同种植模式下地表径流氮磷流失特征 [J]. *水土保持学报*, 2012, 26(2): 29 - 32, 44.
- [3] Li S Y, Li H X, Yang C L, et al. Rates of soil acidification in tea plantations and possible causes [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, 233: 60 - 66.
- [4] Dang M V. Soil - plant nutrient balance of tea crops in the northern mountainous region, Vietnam [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, 105(1/2): 413 - 418.
- [5] 袁小军, 周幼成, 吴喜昌, 等. 氮磷钾配比施肥对油茶花芽生长及分化的影响 [J]. *经济林研究*, 2019, 37(3): 1 - 8, 36.
- [6] 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.
- [7] 李金龙, 曾 婕, 汪云刚, 等. 镁对云南大叶种绿茶品质的影响 [J]. *陕西农业科学*, 2019, 65(1): 39 - 40, 52.
- [8] 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.
- [9] 颜 鹏, 韩文炎, 李 鑫, 等. 中国茶园土壤酸化现状与分析 [J]. *中国农业科学*, 2020, 53(4): 795 - 813.
- [10] 陈晓婷, 王裕华, 林立文, 等. 土壤酸度对茶叶产量及品质成分含量的影响 [J]. *热带作物学报*, 2021, 42(1): 260 - 266.
- [11] Roumani A, Olf H W. Nitrogen leaching and N use efficiency after application of zeolite and the nitrification inhibitor DMPP in a pot experiment with spring wheat [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2021, 44(15): 2191 - 2200.
- [12] 阮建云, 马立锋, 伊晓云, 等. 茶树养分综合管理与减肥增效技术研究 [J]. *茶叶科学*, 2020, 40(1): 85 - 95.
- [13] 张开渠. 茶园科学施肥技术 [J]. *种子世界*, 2017(5): 61.
- [14] 郑旭霞, 黄海涛, 敖 存, 等. 不同种类基肥对西湖龙井茶品质的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(23): 7857 - 7859.
- [15] 梅再胜. 茶树科学施肥技术 [J]. *科学种养*, 2018(5): 35 - 36.
- [16] 王 磊, 刘秋凤, 黄婷婷, 等. 不同追肥和修剪水平对“桂香 18 号”幼龄茶树生长及养分利用的影响 [J]. *南方农业*, 2017, 11(10): 31 - 33.
- [17] 牛 英. 普洱市茶园施肥现状调查以及土壤、植株矿质养分含量变化研究 [D]. 昆明: 云南农业大学, 2018.
- [18] 马立锋, 石元值, 杨向德, 等. “有机肥 + 水肥一体化”高效施肥技术模式 [J]. *中国茶叶*, 2020, 42(2): 46 - 47.
- [19] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法: GB/T 8313—2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 茶 游离氨基酸总量的测定: GB/T 8314—2013 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [21] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [22] 韩文炎, 李 强. 茶园施肥现状与无公害茶园高效施肥技术 [J]. *中国茶叶*, 2002, 24(6): 29 - 31.
- [23] 颜明娟, 林 琼, 吴一群, 等. 不同施氮措施对茶叶品质及茶园土壤环境的影响 [J]. *生态环境学报*, 2014, 23(3): 452 - 456.
- [24] 李俊强, 林利华, 张 帆, 等. 施肥模式对茶叶营养累积及土壤肥力的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(7): 170 - 174.
- [25] 李艳春, 李兆伟, 王义祥. 4 种植物物料改良茶园土壤酸度的效果 [J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(3): 204 - 209.
- [26] 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.
- [27] 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, 70.
- [28] 崔 磊, 李东坡, 武志杰, 等. 不同硝化抑制剂对红壤氮素硝化作用及玉米产量和氮素利用率的影响 [J]. *应用生态学报*, 2021, 32(11): 3953 - 3960.
- [29] 吴晓荣, 张蓓蓓, 余云飞, 等. 硝化抑制剂对典型茶园土壤尿素硝化过程的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2017, 36(10): 2063 - 2070.
- [30] 孔晓君, 尚晓阳, 李玉胜, 等. 不同施肥模式对茶叶产量、品质及经济效益的影响 [J]. *山东农业科学*, 2019, 51(8): 54 - 58.