

# 施肥模式对茶树根际土壤微生物数量及酶活性的影响

李俊强<sup>1</sup>, 林利华<sup>1</sup>, 张帆<sup>2</sup>, 万雪琴<sup>2</sup>

(1. 宜宾职业技术学院 生物与化工系, 四川 宜宾 644003; 2. 四川农业大学 农学院, 成都 611130)

**摘要:**施肥是提高茶树根际土壤质量及促进土壤肥力提高重要的农业措施之一。为了筛选出合理的施肥模式, 采用连续 3 年的田间定位试验方法, 研究了不施肥(CK)、全量化肥(NPK)、半量化肥+半量有机肥(NPKO)、全量有机肥(O)、全量化肥+豆科绿肥(NPKL)和半量化肥+半量有机肥+豆科绿肥(NPKOL)6 种不同施肥模式对茶树根际土壤微生物数量及酶活性的影响。结果表明: (1) 不同施肥模式显著提高了土壤含水量和电导率, 基本表现为 NPKOL>NPKL>O>NPKO>NPK>CK, 其中以 NPKOL 施肥模式提高最为显著, 而施肥模式降低了土壤容重和总孔隙度。 (2) 与对照(不施肥)相比, 其他几种不同施肥模式提高了茶园土壤的基本肥力状况(有机碳、全氮、全磷、全钾、有效磷、有效氮和有效钾), 对全磷影响并不显著。 (3) 不同施肥模式细菌数目、真菌数目、放线菌数目和微生物总数目均有显著的影响: 与对照(不施肥)模式相比, 其他几种不同施肥模式均可在一定程度上提高茶树根际土壤细菌数目、真菌数目、放线菌数目和微生物总数目, O 处理下土壤细菌数目、真菌数目、放线菌数目和微生物总数目与对照差异不显著( $p>0.05$ ), 其余施肥模式下均显著高于对照( $p<0.05$ )。 (4) 不同施肥模式增加了茶树根际土壤微生物量碳、氮和土壤酶活性。综合分析表明: NPKOL 施肥模式的茶树根际产量和茶树根际营养物质累积量最大, 这进一步佐证了此培肥模式能促进茶产量, 值得在茶园施肥上进一步推广应用。

**关键词:**施肥模式; 茶树根际; 土壤微生物数量; 酶活性

中图分类号: S665.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)03-0022-07

## Effect of Fertilization Regime on Soil Microbial Quantity and Enzyme Activity in Rhizosphere of Tea

LI Junqiang<sup>1</sup>, LIN Lihua<sup>1</sup>, ZHANG Fan<sup>2</sup>, WAN Xueqin<sup>2</sup>

(1. Yibin Vocational and Technical College, Yibin, Sichuan 644003, China; 2. Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

**Abstract:** Fertilization is an important agricultural measure that improves not only yield and quality, but also soil quality of tea plantation. Thus, a 3-year field orientation experiment was conducted with 6 fertilization regimes CK (control treatment), NPK (inorganic fertilizer), O (organic manure), NPKO (half inorganic fertilizer + half organic manure), NPKL (inorganic fertilizer + leguminous green manure), NPKOL (half inorganic fertilizer + half organic manure + leguminous green manure) to study the effect of fertilization regime on the soil microbial quantity and enzyme activity in rhizosphere of tea. The study was designed to facilitate the selection of reasonable fertilization models. The results showed that: (1) the fertilization regimes increased soil moisture content and conductivity; moreover, these two parameters were the highest in the regime of NPKOL, which decreased in the order: NPKOL>NPKL>O>NPKO>NPK>CK; (2) compared with the control treatment (CK), soil fertility significantly increased ( $p<0.05$ ), while soil total phosphorus did not significantly increase ( $p>0.05$ ); (3) the fertilization regimes increased the number of bacteria, number of fungi, number of actinomyces and total number of microorganisms, which decreased in the order: NPKOL>NPKL>O>NPKO>NPK>CK; (4) the fertilization regimes increased soil enzyme activity, which decreased in the order: NPKOL>NPKL>O>NPKO>NPK>CK. It was therefore beneficial to adopt the fertilization regime of half tea formula fertilizer plus half organic fertilizer with legume green manure regime in tea production.

**Keywords:** fertilization regime; rhizosphere; soil microbial quantity; enzyme activity

茶树是中国南方的重要经济作物,在我国农业生产中占有重要地位<sup>[1]</sup>。随着中国人口的增加及人民生活水平的不断提高,人们对茶叶产品的数量和质量需求日益提高,必然导致茶园种植面积的不断扩大,特别是近 10 a 来,茶园种植面积增加尤其突出。2009 年中国茶园面积达到 184.9 万  $\text{hm}^2$ ,比 2000 年(108.9 万  $\text{hm}^2$ )增加 69.8%,比 1995 年(106.1 万  $\text{hm}^2$ )增加 74.3%(2010 年中国统计年鉴)<sup>[2-3]</sup>。几十年来,居民生活水平不断提升,茶叶更是走进千家万户,茶需求自然不断上升,市场需求量增大的刺激下,茶叶种植自然日益普及,根据数据统计,近几十年茶树种植面积大幅上升超过 65%<sup>[4]</sup>。

我国是世界第一大茶叶生产大国,目前茶叶的生产中,化肥尤其是大量元素肥料施用量越来越大这不仅制约了化肥利用率的提高,也影响到茶叶质量的改善<sup>[4]</sup>。施肥对提高茶树产量和品质具有重要的作用。据联合国粮农组织对中国、印度、斯里兰卡和肯尼亚等主要产茶国调查表明,肥料投入对茶叶增产的贡献率高达 41%。作为叶用植物的茶树,每年需要从茶树上采摘大量鲜叶,因此,茶树比其他植物对氮肥的需求量更大<sup>[5-7]</sup>。我国茶区主要分布在低丘红壤地区,土壤有机质少,酸度强,淋失率高,有效氮含量低,土壤缺氮常成为茶园高产、优质、高效的瓶颈<sup>[7]</sup>,而过量施肥,不仅生产成本增高,也会引起土壤严重酸化、水体污染。施不同施肥模式不仅能提高土壤肥力,为作物提供全面的营养,还能改善土壤的理化性状、增强土壤的蓄水能力,并改善作物品质。近年来的研究表明,农地长期单一施用化肥不利于土地的持续利用,过量施用化学肥料可引起土壤酸化和板结、硝酸盐污染、养分的不均衡化和土壤次生盐渍化等生态环境问题<sup>[8-9]</sup>。有机肥与化肥的配合施用被认为是维持农业可持续发展的有效施肥模式,这对于我国南方红壤地区尤为重要,我国红壤具有 pH 值低、有机质含量低,淋洗作用强和有机质及养分流失严重等特点<sup>[10-11]</sup>。为了防止盲目施肥引起的肥料利用率低和土壤肥力退化等问题,使茶叶生产可持续发展,茶叶园培肥模式是关键,通过合理培肥,来改善土壤生态环境、提高茶叶产量、改善茶叶品质<sup>[12-15]</sup>。关于施肥与茶叶产量、品质及土壤肥力状况的变化研究也有较多报道,但这些研究大都只针对单独施用化肥、有机肥、化肥与有机肥配施或套种绿肥,还缺乏长期的试验数据验证。鉴于此。本研究通过连续 3 a 的田间定位试验,研究了不施肥(CK)、全量化肥(NPK)、半量化肥+半量有机肥(NPKO)、全量有机肥(O)、全量化肥+豆科绿肥(NPKL)和半量化肥+半量有机

肥+豆科绿肥(NPKOL)的施肥模式对茶树根际土壤养分、酶活性、微生物数量、土壤肥力的影响,旨在促进茶叶营养物质的累积及提升其土壤肥力,并推进我国茶叶产业的可持续发展提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验茶园为四川农业大学农学院茶园,属亚热带季风性湿润气候,年平均气温 15.7℃,年均降水量 940~1 000 mm。茶园土壤为黏盘黄棕壤,茶场年产量低,管理水平一般,施肥水平较低,土壤肥力分布均匀。供试茶树为“龙井 43”、“舒茶早”树龄 6 a,无性系扦插良种。

### 1.2 试验设计

定位试验始于 2014 年 5 月—2017 年 9 月,共计 6 种不同施肥模式:不施肥(CK)、全量化肥(NPK)、半量化肥+半量有机肥(NPKO)、全量有机肥(O)、全量化肥+豆科绿肥(NPKL)和半量化肥+半量有机肥+豆科绿肥(NPKOL),每处理 3 次重复,共计 18 个小区,每个小区面积为 6 m×6 m=36  $\text{m}^2$ ,6 个施肥处理的具体试验设计见表 1。为消除小区之间水肥相互影响,不同小区之间用厚塑料布埋入 1 m 深土层,进行隔离处理。试验以等氮量施用为基础,兼顾磷钾养分平衡;套种的豆科绿肥(圆叶决明)于每年的冬季覆盖在茶叶行间的表土上,其成熟的种子自然撒落在小区间的表土上,并于次年春季自发萌芽。供施肥料中饼肥为菜籽饼肥(N 高于 6.12%, $\text{P}_2\text{O}_5$  高于 4.03%, $\text{K}_2\text{O}$  高于 2.59%);钾肥主要成分为氯化钾( $\text{K}_2\text{O}$  高于 50%),中化公司生产;磷肥主要成分是过磷酸钙( $\text{P}_2\text{O}_5$  高于 15%);氮肥主要成分是尿素,总氮含量高于 50%;化肥分别用尿素、磷酸一铵和氯化钾;有机肥用“农地乐”牌精制有机肥。

试验期间采取同样的管理措施(大田管理措施),一年之间灌水 3 次,保证灌水量均相等,自然条件生长,试验期间不追肥,定期除草,最大程度上保证其长势一致。试验期间,每次单独测量每个试验小区的鲜重,每年累计总产量为当年茶叶产量。每年均进行茶叶的氮、磷、钾含量测定,分别于各试验小区内按“S”形线路多点采集根区土壤,充分混匀后取 1 kg 新鲜土样冰箱保存,作为该小区的分析测试土样。

### 1.3 试验方法

根际土采用抖落法<sup>[16]</sup>,挖取茶树具有完整根系的土体(根系主要分布的范围),先轻轻抖落大块不含根系的土壤,小刀刮下附在根系周围的土壤(非根际土),然后用刷子刷下粘附在根围的土壤(距离根围

0~5 mm)作为根际土,尽量减少损害植物根系,对于混杂于根际土中的根系要彻底去除,混合每种植物采集的根际土,将新鲜土样分为 3 份,第 1 份迅速置于聚乙烯速封袋中以测定土壤含水量,第 2 份带回实验室风干后(过 1 mm 筛)用于土壤酶活性及理化性质的测定,第 3 份 4℃ 冰箱保存,用于土壤微生物量及微生物数量的测定,并在同一区域用环刀测定土壤容重并计算土壤总孔隙度<sup>[17]</sup>。

表 1 不同施肥处理的试验设计

施肥处理	化肥/(kg·hm <sup>-2</sup> )			有机肥/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	豆科 绿肥
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
不施肥(CK)	0	0	0	0	—
全量化肥(NPK)	110	30	30	0	—
半量化肥+半量有机肥(NPKO)	55	15	15	2000	—
全量有机肥(O)	0	0	0	8000	—
全量化肥+豆科绿肥(NPKL)	100	30	30	0	套种
半量化肥+半量有机肥+ 豆科绿肥(NPKOL)	55	15	15	2000	套种

1.4 测定方法

土壤微生物的数量测定:采用平板梯度稀释法,其中细菌培养基为牛肉膏蛋白胨琼脂培养基,真菌培养基为马丁氏培养基,放线菌培养基为高氏一号琼脂培养基<sup>[18]</sup>。

土壤微生物量碳、氮采用氯仿熏蒸—K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 浸提法,其中氯仿熏蒸杀死的微生物体中的碳、氮被浸提出来的比例分别为 0.38,0.45<sup>[19]</sup>。

土壤酶活性的测定:根际土壤酶活测定用分光光度计进行比色法测定,测定酶活种类为纤维素酶(1 g 土样 1 d 内分解产生 1 mg 葡萄糖所需的酶量)、转化酶(1 g 土样 1 d 内分解产生 1 mg 葡萄糖所需的酶量)、脲酶(1 g 土样 1 d 内分解产生 1 mg 氨基氮所需

的酶量)和酸性磷酸酶(1 g 土样 1 d 内分解产生 1 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 所需的酶量<sup>[19]</sup>。

利用 Excel 2010 整理试验过程中获取的相关数据,通过 SPSS 21.0 进行统计分析和相关分析,并在 0.05 检验水平下进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 施肥模式对茶树根际土壤理化性质的影响

由表 2 可知,不同施肥模式对茶树根际土壤容重有显著的影响:与对照(不施肥)模式相比,不同施肥模式均显著降低了土壤容重,不同施肥模式下土壤容重变化范围为 0.81~1.27 g/cm<sup>3</sup>,降低幅度为 6.30%~66.67%,NPKOL 施肥模式下土壤容重下降幅度最大(66.67%),O 施肥模式下土壤 66.67 下降幅度最小(6.30%),其中不同施肥模式下土壤容重均显著低于对照( $p>0.05$ )。与对照(不施肥)模式相比,不同施肥模式均增加了土壤含水量,不同施肥模式下土壤含水量变化范围为 9.12%~16.01%,增加幅度为 0.99%~43.60%,NPKOL 施肥模式下土壤容重下降幅度最大(43.60%),O 施肥模式下土壤含水量下降幅度最小(9.12%)。不同施肥模式均增加了土壤电导率,土壤电导率变化范围为 59.03~86.17 μS/cm,增加幅度为 3.63%~33.98%,NPKOL 施肥模式下土壤电导率增加幅度最大(33.98%),O 施肥模式下土壤电导率增加幅度最小(3.63%)。不同施肥模式均增加了土壤总孔隙度,不同施肥模式下土壤总孔隙度变化范围为 36.59%~47.12%,下降幅度为 4.54%~34.63%,NPKOL 施肥模式下土壤容重下降幅度最大(34.63%),O 施肥模式下土壤含水量下降幅度最小(4.54%)。

表 2 施肥模式对茶树根际土壤理化性质的影响

施肥处理	含水量/ %	增幅/ %	容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	增幅/ %	电导率/ (μS·cm <sup>-1</sup> )	增幅/ %	总孔隙度/ %	增幅/ %
CK	9.03±1.02c	—	1.35±0.21a	—	56.89±3.25d	—	49.06±3.15a	—
NPK	12.01±2.16b	24.81	1.01±0.16c	-33.66	69.14±2.58b	17.72	43.26±2.01c	-13.87
NPKO	11.98±1.58b	24.62	0.98±0.10c	-37.76	65.89±2.97c	13.66	44.78±2.98c	-10.00
O	9.12±1.03c	0.99	1.27±0.26b	-6.30	59.03±3.01d	3.63	47.12±1.57b	-4.54
NPKL	15.36±2.89a	41.21	0.81±0.15d	-66.67	83.02±4.19a	31.47	38.45±2.06d	-28.11
NPKOL	16.01±2.54a	43.60	0.85±0.13d	-58.82	86.17±3.02a	33.98	36.59±2.13d	-34.63

注:同列不同小写字母表示差异显著( $p<0.05$ ),下同。

2.2 不同施肥模式对茶树根际土壤养分的影响

由表 3 可知,不同施肥模式对茶树根际土壤有机碳、全氮、全钾、有效氮、有效磷、有效钾均有显著的影响:与对照(不施肥)模式相比,其他几种不同施肥模式均可在一定程度上提高茶树根际土壤有机碳、全氮、全钾、有效氮、有效磷、有效钾,其增加幅度分别为 28.89%~176.89,77.63%~210.53,10.47%~

63.22%,37.08%~386.55%,58.41%~249.43%和 104.80%~340.12%。

其中,NPKOL 施肥模式下茶树根际土壤有机碳、全氮、全钾、有效氮、有效磷、有效钾最高,分别为 17.25 g/kg,2.36 g/kg,26.98 g/kg,46.32 mg/kg,217.87 mg/kg,68.79 mg/kg,比对照分别提高了 176.89%,210.53%,6.322%,386.55%,249.43%和

340.12%,而 NPKL 施肥模式下茶树根际土壤有机碳、全氮、全钾、有效氮、有效磷、有效钾最高次之。不同施肥模式下土壤有机碳、全氮、全钾、有效氮、有效磷、有效钾均表现为 NPKOL>NPKL>NPKO>NPK>O>CK,不同施肥模式下土壤有机碳、全氮、

全钾、有效氮、有效磷、有效钾均显著高于对照( $p>0.05$ ),其中 NPKOL 和 NPKL 差异不显著( $p>0.05$ ), NPKO 和 NPK 差异不显著( $p>0.05$ )。对于土壤全磷而言,不同施肥模式下土壤全磷含量高于对照,但与对照之间差异并不显著( $p>0.05$ )。

表 3 施肥模式对茶树根际土壤养分的影响

施肥处理	有机碳/ (g·kg <sup>-1</sup> )	增幅/ %	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	增幅/ %	全磷/ (g·kg <sup>-1</sup> )	增幅/ %
CK	6.23±0.56d	—	0.76±0.16d	—	0.92±0.06b	—
NPK	10.79±1.23b	73.19	1.87±0.23b	146.05	1.16±.09ab	26.09
NPKO	11.68±1.26b	87.48	1.96±0.35b	157.89	1.21±0.08ab	31.52
O	8.03±1.54c	28.89	1.35±0.34c	77.63	0.98±0.13b	6.52
NPKL	16.56±2.24a	165.81	2.34±0.16a	207.89	1.25±0.12ab	35.87
NPKOL	17.25±2.01a	176.89	2.36±0.37a	210.53	1.32±0.15a	43.48

施肥处理	有效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	增幅/ %	有效氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	增幅/ %	有效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	增幅/ %
CK	9.52±1.56c	—	62.35±5.63e	—	15.63±1.06d	—
NPK	29.78±1.74b	212.82	143.02±9.12c	129.38	51.78±2.56b	231.29
NPKO	32.69±1.36b	243.38	156.87±13.56b	151.60	56.12±2.37b	259.05
O	13.05±2.54c	37.08	98.77±8.94d	58.41	32.01±2.17c	104.80
NPKL	45.36±2.36a	376.47	206.98±9.45a	231.96	65.32±5.24a	317.91
NPKOL	46.32±3.57a	386.55	217.87±16.25a	249.43	68.79±5.98a	340.12

2.3 施肥模式对茶树根际土壤微生物数量的影响

由图 1 可知,不同施肥模式对茶树根际土壤细菌数目、真菌数目、放线菌数目和微生物总数目均有显著的影响:与对照(不施肥)模式相比,其他几种不同施肥模式均可在一定程度上提高茶树根际土壤细菌数目、真菌数目、放线菌数目和微生物总数目,其增加幅度分别为 12.50%~226.79%,25.23%~226.17%,

50.85%~322.88%,5.33%~217.16%。O 处理下土壤细菌数目、真菌数目、放线菌数目和微生物总数目与对照差异不显著( $p>0.05$ ),其余施肥模式下土壤细菌数目、真菌数目、放线菌数目和微生物总数目均显著高于对照( $p<0.05$ ),其中 NPKL 和 NPKOL 处理下土壤细菌数目、真菌数目、放线菌数目和微生物总数目差异不显著( $p>0.05$ )。

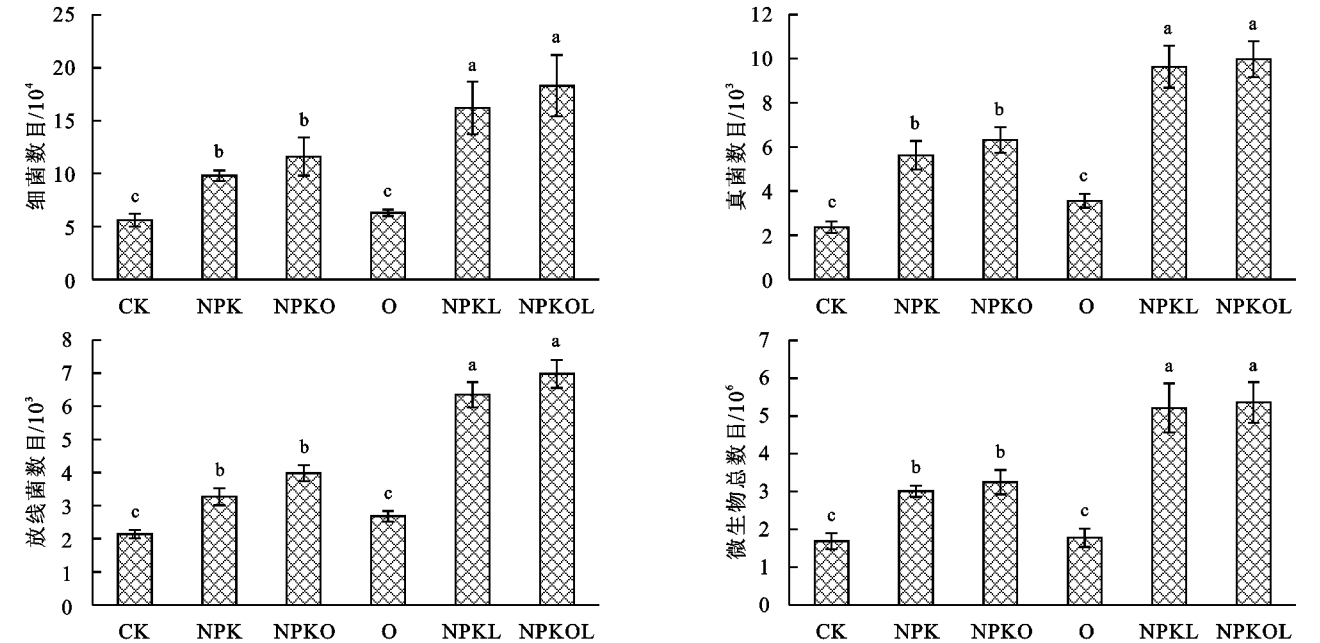


图 1 施肥模式对茶树根际土壤微生物数量的影响

2.4 施肥模式对茶树根际土壤酶活的影响

由表 4 可知,不同施肥模式对茶树根际土壤酶活均有显著的影响:与对照(不施肥)模式相比,其他几种不同施肥模式均可在一定程度上提高茶树根际土壤纤维素酶、脲酶、酸性磷酸酶、转化酶、蔗糖酶和过氧化氢酶,其增加幅度分别为 6.59%~56.55%,10.93%~59.18%,6.81%~55.21%,2.47%~65.43%,22.22%~78.17%和 5.94%~48.37%。其中,NPKOL 施肥模式下茶树根际土壤纤维素酶、脲酶、酸性磷酸酶、转化

酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性最高,分别为 3.59 mg/(g·d),6.59 mg/(g·d),4.89 mg/(g·d),4.57 mg/(g·d),4.49 mg/(g·d),3.99 mg/(g·d),比对照分别提高了 56.55%,59.18%,55.21%,65.43%,78.17%和 48.37%,而 NPKL 施肥模式下茶树根际土壤酶活性次之。不同施肥模式下土壤酶活性均表现为 NPKOL>NPKL>NPKO>NPK>O>CK,其中 NPKOL 和 NPKL 差异不显著( $p>0.05$ ),NPKO 和 NPK 差异不显著( $p>0.05$ )。

表 4 施肥模式对茶树根际土壤酶活性的影响

施肥处理	纤维素酶/ (mg·g <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	增幅/ %	脲酶/ (mg·g <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	增幅/ %	酸性磷酸酶/ (mg·g <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	增幅/ %
CK	1.56±0.16c	—	2.69±0.26c	—	2.19±0.35c	—
NPK	2.69±0.28b	42.01	4.15±0.35b	35.18	3.56±0.26b	38.48
NPKO	2.83±0.23b	44.88	4.57±0.62b	41.14	3.78±0.15b	42.06
O	1.67±0.18c	6.59	3.02±0.24c	10.93	2.35±0.39c	6.81
NPKL	3.12±0.36a	50.00	6.01±0.19a	55.24	4.27±0.24a	48.71
NPKOL	3.59±0.37a	56.55	6.59±0.27a	59.18	4.89±0.38a	55.21

施肥处理	转化酶/ (mg·g <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	增幅/ %	蔗糖酶/ (mg·g <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	增幅/ %	过氧化氢酶/ (mg·g <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	增幅/ %
CK	1.58±0.13c	—	0.98±0.06c	—	2.06±0.25d	—
NPK	2.69±0.26b	41.26	3.07±0.13b	68.08	2.56±0.31c	19.53
NPKO	3.04±0.27b	48.03	3.15±0.18b	68.89	2.98±0.39b	30.87
O	1.62±0.31c	2.47	1.26±0.24c	22.22	2.19±0.29d	5.94
NPKL	4.23±0.65a	62.65	4.01±0.21a	75.56	3.85±0.21a	46.49
NPKOL	4.57±0.61a	65.43	4.49±0.29a	78.17	3.99±0.28a	48.37

2.5 施肥模式对茶树根际土壤微生物量的影响

由图 2 可知,不同施肥模式对茶树根际土壤微生物量碳、微生物量氮、微生物量磷均有显著的影响:与对照(不施肥)模式相比,其他几种不同施肥模式均可在一定程度上提高茶树根际土壤微生物量碳、微生物量氮、微生物量磷含量,其增加幅度分别为 4.04%~74.67%,14.97%~219.94%,6.27%~36.44%。处理下土壤微生物量碳、微生物量氮、微生物量磷与对照差异不显著( $p>0.05$ ),其余施肥模式下土壤微生物量碳、微生物量氮均显著高于对照( $p<0.05$ ),其中 NPKL 和 NPKOL 处理下土壤微生物量碳、微生物量氮差异不显著( $p>0.05$ )。与对照(不施肥)模式相比,不同施肥模式均显著降低了土壤微生物量碳/微生物量氮,不同施肥模式下土壤微生物量碳/微生物量氮变化范围为 5.13~8.70,NPKOL 施肥模式下土壤微生物量碳/微生物量氮下降幅度最大,其中 O 和 NPKOL 处理下土壤微生物量碳/微生物量氮差异不显著( $p>0.05$ )。

3 讨论与结论

施肥是促进茶叶增产的重要农业措施之一。有关施肥与茶叶产量的关系研究也有较多的报道。大量结果表明,对茶树合理施用无机化肥、有机无机复合肥、有机肥、叶面肥等均可明显促进茶叶产量的提高<sup>[20-21]</sup>。但这些研究结果大都是在较短试验期内,且只针对单独施用化肥、有机肥、化肥与有机肥配施、叶面肥等对茶叶产量的影响,缺少不同肥料品种合理配施及较长期的试验结果,而有关茶园套种绿肥或其他肥料品种与绿肥配施对茶叶产量的影响报道甚少<sup>[20-21]</sup>,不合理的施肥则长远来看明显不利于茶产业的长远发展<sup>[22]</sup>。

本研究通过 3 a 的田间定位试验,研究了 6 种不同施肥模式对茶树根际土壤微生物数量及酶活性的影响,结果表明:与不施肥相比,其他几种不同施肥模式均能在一定程度上增加树根际土壤微生物数量及酶活性,其中,NPKOL 施肥模式效果相对最佳,其原

因可能有:(1)该施肥模式所用的茶树配方化肥的氮磷钾比例符合我国茶产区推荐的氮磷钾比例,氮磷钾施用比例合理;(2)该施肥模式施用的有机肥料所含养分较全面,不仅含有丰富的有机质,氮、磷、钾养分,还含有一定量的中量和微量元素,可以提高茶园土壤的有机质含量并平衡矿质养分,有利于茶树根系发育和养分吸收,同时,还可以解决某些元素的拮抗作用

和微量元素缺乏等问题,从而进一步提高茶叶的产量;(3)该施肥模式套种的豆科绿肥(圆叶决明)可以固定空气中的氮供茶树吸收,且每年冬季圆叶决明的枯枝落叶经腐烂分解为茶树提供丰富的养分,从而促进茶树增产;(4)该施肥模式因套种豆科绿肥,可以调节茶园微气候,创造更适宜于茶树生长的微环境,从而有利于茶树的生长<sup>[23-24]</sup>。

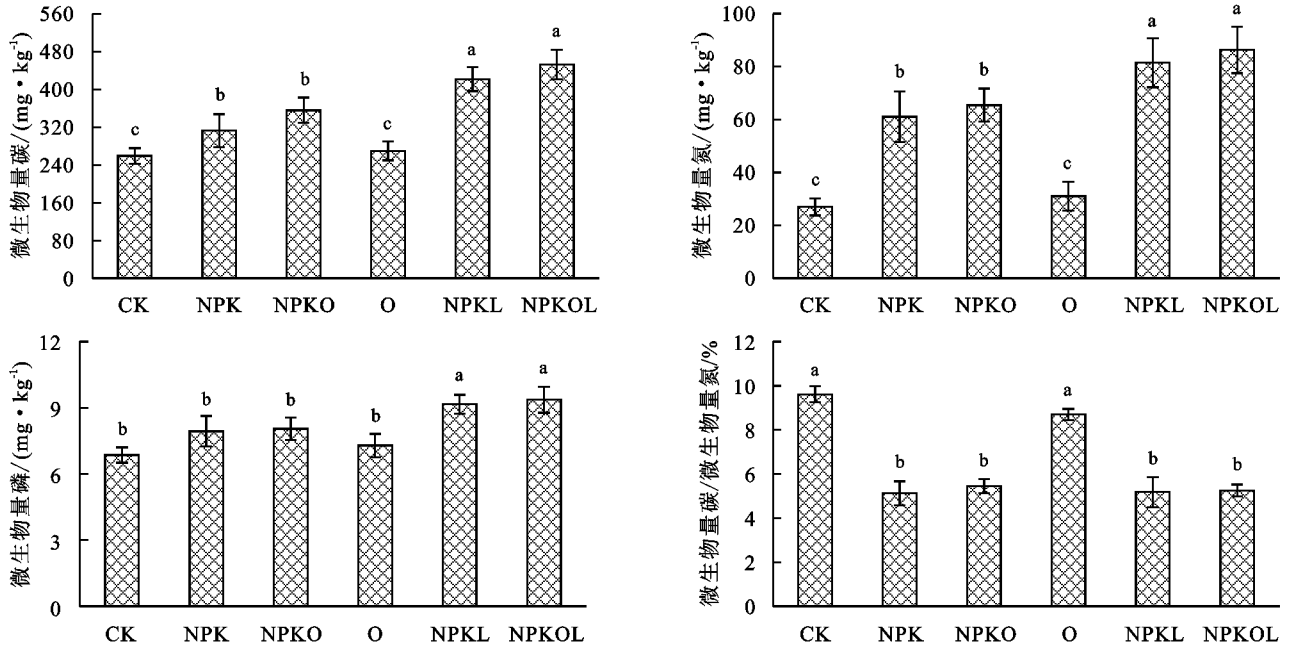


图2 施肥模式对茶树根际土壤微生物量的影响

土壤微生物是土壤生态系统物质循环和能量流动的主要驱动力,对土壤有机质的分解、腐殖质的形成、养分的转化及循环等过程具有重要作用<sup>[25]</sup>。本研究在相同生境条件下,施肥对土壤微生物量、酶活性及微生物数量表现为一定程度的增加效应,与前人的研究结果相一致,表明施肥有利于植被—土壤系统营养物质的循环、腐殖质的形成和土壤有效养分的提高,主要是由于较低的 pH 增加了根际土壤养分的吸收和利用,在生长繁殖过程中促进土壤酶活性及微生物量的增加,是多种环境因素共同引起的。土壤微生物通过分泌酶的方式参与土壤生态系统营养循环等,土壤酶活性动力学的变化可反映出土壤中各种生化过程的强度及其方向<sup>[26]</sup>。本研究中,施肥均明显地增加了根际土壤酶活性,造成这种情况的主要原因可能是由于施肥模式的根系释放不同的化学物质不一致,释放的物质通过化感作用影响土壤理化性质及营养循环等,对其根际土壤微生物的数量及分布造成不同的影响<sup>[27-28]</sup>。本研究显示了土壤微生物均以细菌最多,占微生物总数的 90% 以上,其次是放线菌和真菌,表明了施肥对于不同微生物菌落起着不同的效

果,但总体来说,施肥显著提高了微生物总数。

合理施肥是提升土壤肥力水平的关键措施,有研究表明,长期大量施用氮肥后,土壤中各种营养元素之间的正常比例将会受到破坏,氮对其他元素的拮抗作用将会明显表现出来,同时也会降低氮素本身的增产效果<sup>[24-25]</sup>;而化肥与有机肥或绿肥秸秆长期配合施用,可改良土壤结构,增加土壤微生物数量,提高土壤的生物肥力。大量的研究也表明,增施有机肥料是提高土壤肥力的主要途径,单施化学肥料虽然能在一定程度上提高土壤肥力水平,但效果有限,有机肥料与化肥配施对提高土壤肥力效果较好<sup>[29]</sup>。本试验也得出类似的研究结果,基于 3 a 的研究表明:不同培肥模式均有利于改善土壤肥力,土壤有机质、全氮、水解氮、速效钾含量均有不同程度的增加,特别是含有机肥的 3 种培肥模式(NPKOL, O 和 NPKL)的土壤肥力改良效果更为显著,增强了土壤的保肥供肥能力。综上所述,1/2 茶树配方化肥+1/2 有机肥+豆科绿肥施肥模式不仅能够明显提高茶叶产量、促进茶叶营养物质的累积,还能有效提升茶园土壤的肥力水平,因此,该种施肥模式值得今后在茶园施肥上进一步推广应用。

## 参考文献:

- [1] 方放,李想,石祖梁,等.黄淮海地区农作物秸秆资源分布及利用结构分析[J].农业工程学报,2015,31(2):228-234.
- [2] 刘美雅,伊晓云,石元值,等.茶园土壤性状及茶树营养元素吸收,转运机制研究进展[J].茶叶科学,2015,35(2):110-120.
- [3] 梁月荣,石萌.茶树遗传育种研究进展[J].茶叶科学,2015,35(2):103-109.
- [4] 赵青华,孙立涛,王玉,等.丛枝菌根真菌和施氮量对茶树生长,矿质元素吸收与茶叶品质的影响[J].植物生理学报,2014,50(2):164-170.
- [5] 梁月荣,陆建良,叶俭慧,等.茶树遗传育种研究进展(2016)[J].茶叶,2017,43(1):10-18.
- [6] 宛晓春,李大祥,张正竹,等.茶叶生物化学研究进展[J].茶叶科学,2015,35(1):1-10.
- [7] 黄丹娟,马建强,陈亮.茶树 DNA 分子指纹图谱研究进展[J].茶叶科学,2015,35(6):513-519.
- [8] 马建强,姚明哲,陈亮.茶树种质资源研究进展[J].茶叶科学,2015,35(1):11-16.
- [9] 龚淑英,谷兆骐,范方媛,等.浙江省主栽茶树品种工艺白茶的滋味成分研究[J].茶叶科学,2016,36(3):277-284.
- [10] 郭灿,高秀兵,何莲,等.茶树病虫害生物防治应用研究进展[J].广东农业科学,2014,41(6):105-109.
- [11] 梁月荣,郑新强,陆建良,等.茶树遗传育种研究动态(2015)[J].茶叶,2016,42(1):1-5.
- [12] 蒋会兵,孙云南,李梅,等.紫娟茶树叶片不同发育期花青素积累及合成相关基因的表达[J].茶叶科学,2018,38(2):174-182.
- [13] 王松琳,马春雷,黄丹娟,等.基于 SSR 标记的白化和黄化茶树品种遗传多样性分析及指纹图谱构建[J].茶叶科学,2018,38(1):58-68.
- [14] 郑雨婷,王梦馨,崔林,等.基于 EPG 技术分析茶树品种对茶小绿叶蝉的抗性及其相关的抗性物质[J].生态学报,2017,37(23):8015-8028.
- [15] 邓宇杰,罗理勇,田小军,等.干燥方式对不同品种茶树花主要生化成分的影响[J].食品工业科技,2017,38(7):356-360.
- [16] 贺永华,沈东升,朱荫涓.根系分泌物及其根际效应[J].科技通报,2006,22(6):761-766.
- [17] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:科学出版社,2000.
- [18] 章家恩,刘文高,胡刚.不同土地利用方式下土壤微生物数量与土壤肥力的关系[J].土壤与环境,2002,11(2):140-143.
- [19] 刘恩科,赵秉强,李秀英,等.长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响[J].植物生态学报,2008,32(1):176-182.
- [20] 徐阳春,沈其荣,冉炜.长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳,氮,磷的影响[J].土壤学报,2002,39(1):89-96.
- [21] 李秀英,赵秉强,李絮花,等.不同施肥制度对土壤微生物的影响及其与土壤肥力的关系[J].中国农业科学,2005,38(8):1591-1599.
- [22] 孙瑞莲,朱鲁生,赵秉强,等.长期施肥对土壤微生物的影响及其在养分调控中的作用[J].应用生态学报,2004,15(10):1907-1910.
- [23] 来璐,郝明德,王永功.黄土高原旱地长期轮作与施肥土壤微生物量磷的变化[J].植物营养与肥料学报,2004,10(5):546-549.
- [24] 谭周进,周卫军,张杨珠,等.不同施肥制度对稻田土壤微生物的影响研究[J].植物营养与肥料学报,2007,13(3):430-435.
- [25] 樊军,郝明德.长期轮作与施肥对土壤主要微生物类群的影响[J].水土保持研究,2003,10(1):88-89.
- [26] 田育军,林杉.长期不同施肥土壤微生物态氮作为土壤供氮指标的研究[J].甘肃农业大学学报,2000,35(1):24-28.
- [27] 李娟,赵秉强,李秀英,等.长期不同施肥制度下几种土壤微生物学特征变化[J].植物生态学报,2008,32(4):891-899.
- [28] 徐华勤,肖润林,邹冬生,等.长期施肥对茶园土壤微生物群落功能多样性的影响[J].生态学报,2007,27(8):3355-3361.
- [29] 侯晓杰,汪景宽,李世朋.不同施肥处理与地膜覆盖对土壤微生物群落功能多样性的影响[J].生态学报,2007,27(2):655-661.