

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.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.20.031

动物源有机肥对茶树生长及其根际土壤酶活性的影响

丁力¹,张清旭¹,陈晓婷¹,叶江华^{2,3},贾小丽^{2,3},孔祥海¹,林炜明¹,王海斌^{1,2}

(1. 龙岩学院生命科学学院,福建龙岩 364012; 2. 福建农林大学/福建省农业生态过程与安全监控重点实验室,福建福州 350002;
3. 武夷学院茶与食品学院,福建南平 354300)

摘要:以腐熟发酵过的猪粪、牛粪、羊粪为材料,采用外源添加处理的方法,探讨不同用量动物粪便对茶树光合指标、产量、茶叶品质指标及根际土壤酶活性的影响,以期为茶园土壤的改良提供依据。结果表明,随着处理粪用量的增加,茶树光合指标、产量、茶叶品质指标含量及根际土壤酶活性均呈现先上升后趋于平稳的趋势;当猪粪、牛粪、羊粪用量分别为 1.5、2.0、2.0 kg/m² 时,各项指标达到最大值。进一步分析发现,相同用量粪便处理后,猪粪有利于提高茶叶产量,而羊粪有利于提高茶叶品质;猪粪处理有利于土壤中抗性相关酶、氮素循环相关酶活性的提升,羊粪和牛粪处理有利于土壤磷素、碳素活性的提升。相关性分析结果表明,不同粪施用后,茶树光合指标、产量、茶叶品质指标、根际土壤酶活性之间存在着显著或极显著正相关。可见,动物粪施用后,土壤酶活性提高,茶树光合作用能力增强,茶树产量和茶叶品质得到提升。

关键词:动物粪便;茶树;光合生理指标;产量;茶叶品质;土壤酶活性

中图分类号: S571.106 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)20-0121-04

畜禽粪便含有大量的养分元素,充分利用畜禽粪便开发有机肥,不仅可以减少农业化肥使用量,保护生态环境,而且有利于改善农田土壤的质地,实现农田土壤的生态修复^[1-2]。据估算,2020年我国畜禽粪便的产生量将达到 28.75 亿 t,2030 年将进一步提升到 37.43 亿 t,因此畜禽粪便的充分利用对于推动农业可持续发展具有重要的意义^[3]。

茶树是喜酸作物,但当土壤 pH 值大于 5.5 或小于 4.5 时,茶树的生长极易受到抑制作用,茶叶产量降低、品质变劣^[4-6]。茶树在连续栽培过程中极易导致土壤酸化,进而影响茶树生长^[7-8]。众多学者尝试利用不同化学调节剂调节茶园土壤的酸性,虽然起到一定的效果,但不利于土壤的长期可持续发展^[9-10]。郑旭霞等研究发现,采用有机肥和复合肥混施可有效提高龙井 43 茶苗的成活率及其光合特性^[11]。李江涛等分析长期施用畜禽粪便对土壤生物化学质量指标的影响发现,畜禽粪便可提高土壤细菌和放线菌数量而降低真菌数量,提高土壤养分循环相关酶活性^[12]。王海斌等研究发现,利用动物粪便处理可以有效改善茶树根际土壤酸度和土壤微

生物区系的变化^[13]。施娟等采用猪粪与化肥配施处理植烟土壤,结果表明,猪粪有利于改善植烟土壤酶活性和土壤微生物数量,进而影响烟草的生长^[14]。可见,利用动物粪便发酵制成的有机肥可以有效调节土壤的酸化程度,改变土壤微生物的多样性,然而对于动物粪便使用后能否对茶树生长,茶叶产量、品质,土壤酶活性产生影响及其之间的关系还鲜有报道。因此,本研究以猪粪、牛粪、羊粪等为材料,将腐熟发酵后的动物粪施用于连作茶树,探讨动物粪便对茶树生长,茶叶产量、品质,土壤酶活性的影响及其相关性,以期对动物粪便在茶园生态系统中的应用提供一定的理论及依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料猪粪、牛粪、羊粪均为当地收集,并参照贾小红的方法^[15]进行高温腐熟发酵,发酵后的猪粪中氮、磷、钾含量分别为 2.61、1.27、1.22 g/kg,牛粪中分别为 2.48、0.52、1.17 g/kg,羊粪中分别为 2.42、0.54、1.19 g/kg;供试茶园位于东经 117°99′、北纬 24°96′,茶树树龄为 20 年,茶树品种为黄金桂,茶园面积约 5 hm²,海拔在 500~600 m 范围,年降水量 1 600 mm,相对湿度 80% 左右,年平均气温 16~18℃,茶园土壤为酸性红壤土,茶园土壤的基本理化指标为:pH 值 4.01,有机质含量 10.26 g/kg、全氮含量 2.35 g/kg、全磷含量 0.48 g/kg、全钾含量 6.75 g/kg、速效氮含量 133.14 mg/kg、速效磷含量 15.24 mg/kg、速效钾含量 147.48 mg/kg^[13]。

1.2 动物粪便处理

于供试茶园中选择面积相同且相邻的 16 个区域,每个区域面积 100 m²,每个区域长 10 m、宽 2.5 m,分 4 排,每排种植茶树 2 行,每行 40 株茶树,行间距 30 cm,株间距 0.5 m,共计每个区域种植茶树 320 株。于 2016 年 5 月选择 15 个区域,随机分 3 组,每组 5 个区域,用于不同肥料处理,3 组分别撒

收稿日期:2017-12-07

基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFD0200900);国家“948”项目(编号:2014-Z36);中国博士后科学基金(编号:2016M600493);闽台作物特色种质创制与绿色栽培协同创新中心项目(编号:2015-75);福建省自然科学基金青年基金(编号:2017J05057);福建省中青年教师教育科研项目(编号:JAT170573);龙岩学院人才引进项目(编号:LB2015001);龙岩学院博士基金(编号:LB2013010);龙岩学院百名青年攀登项目(编号:LQ2013025)。

作者简介:丁力(1983—),女,福建龙岩人,硕士,实验师,主要从事植物生理生态学研究。E-mail:18680133@qq.com。

通信作者:王海斌,博士,讲师,主要从事植物生理与分子生物学研究。E-mail:w13599084845@sina.com。

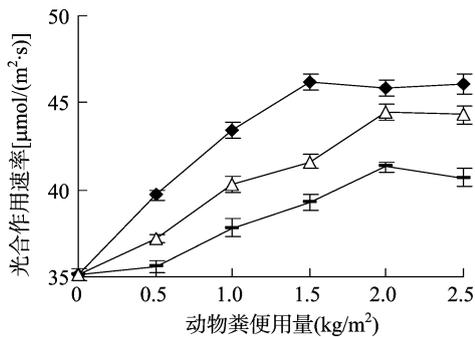
施不同量的猪粪、牛粪、羊粪;每组5个区域,使用的动物粪便量分别为0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 kg/m²,以未使用粪便处理的区域为对照^[13]。于不同粪便撒施后30 d(2016年6月)测定茶树功能叶的光合生理指标,此后按照传统方法测定茶叶的产量并收集茶树2叶1心用于茶叶品质指标的测定;在此基础上,收集不同粪便处理后的茶树根际土壤及对照区域的茶树根际土壤;每个区域随机选择24株茶树,每4株茶树的根际土壤混合后为1个重复,共6个重复;根际土壤取样:选择合适的茶树,去除表层落叶,轻挖茶树,除去茶树根际周边附着土壤,抖落离茶树根系1 cm的土壤即根际土壤,收集的根际土壤用于土壤酶活性测定。

1.3 茶树光合生理指标测定

茶叶采摘前选取茶树的功能叶,采用LI-6400便携式光合仪测定茶树的光合速率、气孔导度、蒸腾速率等生理指标。叶绿素含量测定采用叶绿素仪(型号SPAD502)进行,记录测定后的SPAD值用于评价叶绿素含量高低。

1.4 茶树茶叶产量及其品质指标测定

按照茶树黄金桂的传统采摘习惯统一进行茶叶采摘,采摘标准为驻芽中、小开面3~4叶;测定时选择每20 m²为1个样点,每个样品测定3个样点,再换算成1 hm²茶园茶叶产量。茶多酚及儿茶素类含量的提取与检测方法参照GB/T 8313—2008《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》,茶氨酸含量的测定参照GB/T 23193—2008《茶叶中茶氨酸的测定 高效液相色谱法》,游离氨基酸总量的测定参照GB/T 8314—2013《茶 游离氨基酸总量的测定》,咖啡碱含量的测定参照GB/T 8312—2013《茶 咖啡碱测定》)。



a. 光合速率

1.5 茶树根际土壤酶活性测定

依据关松荫的方法^[16]测定土壤酶活性,过氧化氢酶活性测定采用高锰酸钾滴定法,多酚氧化酶活性测定采用邻苯三酚比色法,脲酶活性测定采用比色法,蛋白酶活性测定采用Folin-Ciocalteu法,磷酸酶活性测定采用对硝基苯磷酸盐法,纤维素酶活性测定采用萘酚比色法。

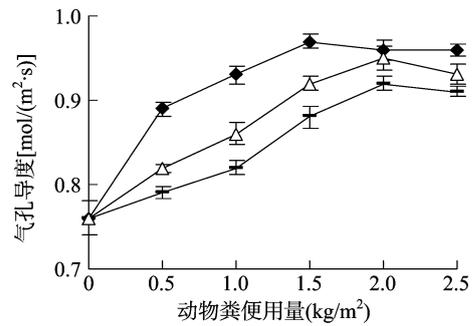
1.6 数据统计分析

采用Excel对数据进行归类、作图,采用DPSS数据处理系统对数据进行方差分析和相关性分析。

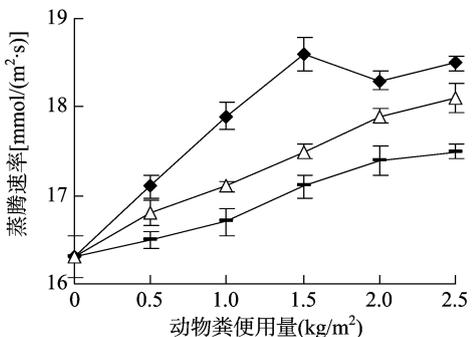
2 结果与分析

2.1 不同粪便处理后茶树叶片光合生理指标分析

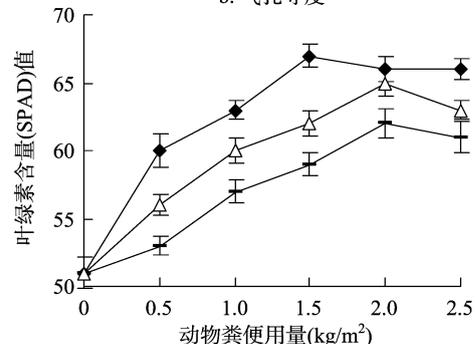
不同粪便处理后,随着处理粪使用量的增加,茶树叶片的光合速率、气孔导度、蒸腾速率、叶绿素含量均呈现先上升后趋于平稳的趋势;当猪粪用量为1.5 kg/m²时,茶树叶片的光合速率、气孔导度、蒸腾速率、叶绿素含量达到最大值,即分别达到46.2 μmol/(m²·s)、0.97 mol/(m²·s)、18.6 mmol/(m²·s)、67(SPAD值),而当牛粪和羊粪用量分别为2.0 kg/m²时,茶树叶片的光合速率、气孔导率、叶绿素含量达到最大值,分别为41.3 μmol/(m²·s)、0.92 mol/(m²·s)、62(SPAD值)和44.5 μmol/(m²·s)、0.95 mol/(m²·s)、65(SPAD值);当牛粪、羊粪用量分别为2.5 kg/m²时,茶树叶片的蒸腾速率达到最大,为17.5、18.1 mmol/(m²·s)。对茶树叶片光合生理指标的影响,以猪粪最大、牛粪最低小。可见,不同的动物粪便对茶树叶片光合生理指标影响存在一定的差异(图1)。



b. 气孔导度



c. 蒸腾速率



d. 叶绿素含量

◆ 猪粪; ■ 牛粪; △ 羊粪。下同

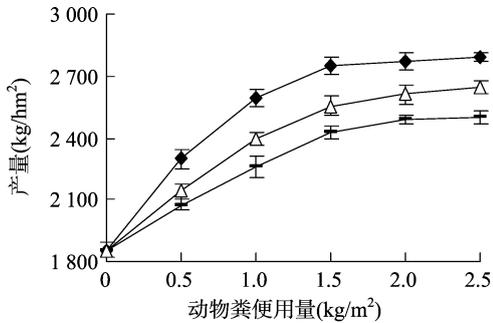
图1 不同粪便处理后茶树叶片光合生理指标

2.2 不同粪便处理对茶树产量及茶叶品质的影响

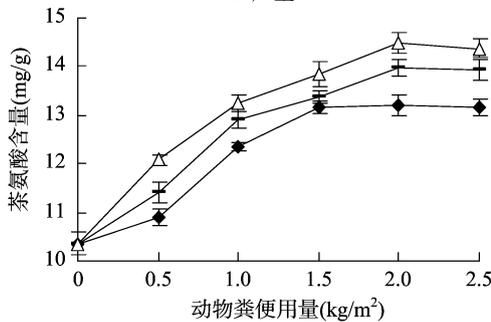
茶树产量及叶片品质指标分析结果表明,随着处理粪便

用量的增加,茶树产量及品质指标含量呈上升趋势后趋于平稳(图2)。产量上,猪粪、牛粪、羊粪处理后,茶树叶片的产量

分别由对照的 1 854.0 kg/hm² 上升到 2 793.0、2 500.5、2 644.5 kg/hm²；品质指标上,当猪粪用量为 1.5 kg/m² 时,茶树叶片的茶多酚、茶氨酸、咖啡碱等含量达到最大值,即分别为 268.39、13.17、27.84 mg/g,而牛粪和羊粪用量分别为 2.0 kg/m² 时达到最大值,分别为 281.34、13.96、28.86 mg/g



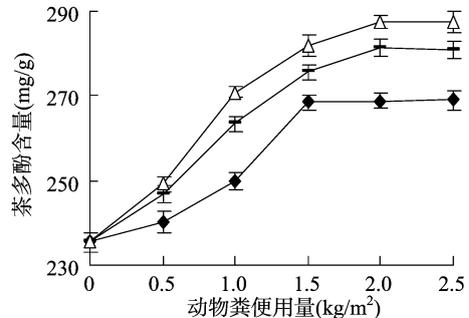
a. 产量



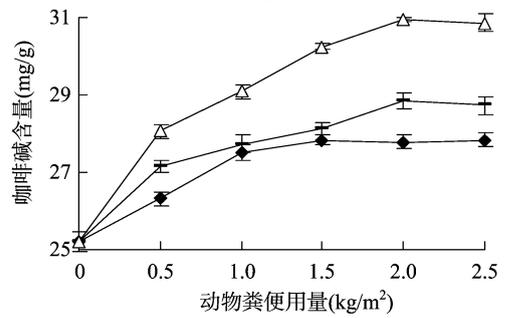
c. 茶氨酸

和 287.56、14.47、30.95 mg/g。

此外,相同用量粪便处理后,以猪粪处理后的茶树叶片的产量最高,羊粪次之,牛粪最低;而在品质指标含量上,则以羊粪最高、牛粪次之,猪粪最低。可见,猪粪有利于提高茶叶产量,而羊粪有利于提高茶叶的品质。



b. 茶多酚



d. 咖啡碱

图2 不同粪便处理后茶树产量及叶片品质指标含量

2.3 不同粪便处理后,茶树根际土壤酶活性分析

茶树根际土壤酶活性分析结果表明,不同粪便处理后,与土壤抗性相关的多酚氧化酶、过氧化氢酶活性,与氮素循环相关的蛋白酶、脲酶等活性呈现先上升后下降的趋势;当猪粪用量为 1.5 kg/m²,牛粪和羊粪用量分别为 2.0 kg/m² 时,土壤中这 4 种酶的活性均达到最大值。与磷素与碳素循环相关的磷酸酶和纤维素酶,随着猪粪用量的增加呈现先上升后下降的趋势,随牛粪用量的增加呈上升趋势;随羊粪用量的增加,磷酸酶活性呈现持续上升趋势,而纤维素酶活性则呈现先上升后下降的趋势。

此外,分析发现,相同用量粪便处理对茶树根际土壤中抗性、氮素循环相关酶活性的影响以猪粪最高,牛粪最低;对土壤磷素、碳素相关酶活性的影响以羊粪最高,猪粪最低。可见,不同粪便处理后,猪粪处理有利于土壤中抗性、氮素循环相关酶活性的提升,羊粪和牛粪处理有利于土壤磷素、碳素相关酶活性的提升。

2.4 茶树光合指标、产量、品质指标、土壤酶活性之间的相关性分析

相关性分析结果表明,茶树光合生理指标——光合速率、气孔导度、蒸腾速率、叶绿素含量,茶树产量,茶树叶片品质指标——茶多酚、茶氨酸、咖啡碱等含量,土壤酶活性——多酚氧化酶、过氧化氢酶、磷酸酶、纤维素酶、蛋白酶、脲酶活性之间存在着显著或极显著正相关关系(表 1)。可见,土壤酶活性变化后,可改变茶树自身的光合作用强度,进而影响茶树的产量和茶叶品质。

3 结论与讨论

茶树是我国重要的经济作物,然而连年的茶树种植,特别是化学肥料等的大量使用导致茶树根际土壤朝着恶化的方向发展^[17-18]。我国每年的畜禽粪便产生量巨大,畜禽粪便不仅含有大量的养分,而且对于土壤的改良及作物的生长具有一定的改善作用^[1-2]。本研究发现,动物粪便使用后,有利于提高茶树的光合作用,且不同粪便处理以猪粪最高、牛粪最低。此外分析发现,动物粪便处理后,有利于提高茶树的产量和品质;其中,相同用量粪便处理后,以猪粪处理后的茶树的产量最高,羊粪次之,牛粪最低;而在品质指标含量上,则以羊粪最高、牛粪次之,猪粪最低。陈伯华等研究认为,羊粪是家畜粪便中氮、磷、钾含量最高的有机肥^[19]。陈梅等发现,猪粪可以有效缓解有毒土壤对小麦的毒害,提高小麦的光合作用能力和产量^[20]。土壤酶活性分析结果表明,相同用量粪便处理对茶树根际土壤中抗性、氮素循环相关酶活性的影响以猪粪最高、牛粪最低,对土壤磷素、碳素相关酶活性的影响则以羊粪最高,猪粪最低。相关性分析发现,动物粪便处理后,茶树光合生理指标、茶树产量,茶树叶片品质指标及土壤酶活性之间存在着显著的正相关关系。可见,不同粪便处理后,猪粪处理有利于土壤中抗性、氮素循环相关酶活性的提升,进而提高茶树本身抗性,增强茶树的光合作用能力,提高茶树产量,而羊粪和牛粪处理有利于土壤磷素、碳素相关酶活性的提升,进而提高茶叶的品质。然而,土壤是一个复杂的生态系统,动物粪便使用后,有利于茶树的生长和品质的提高,但动物粪便是如

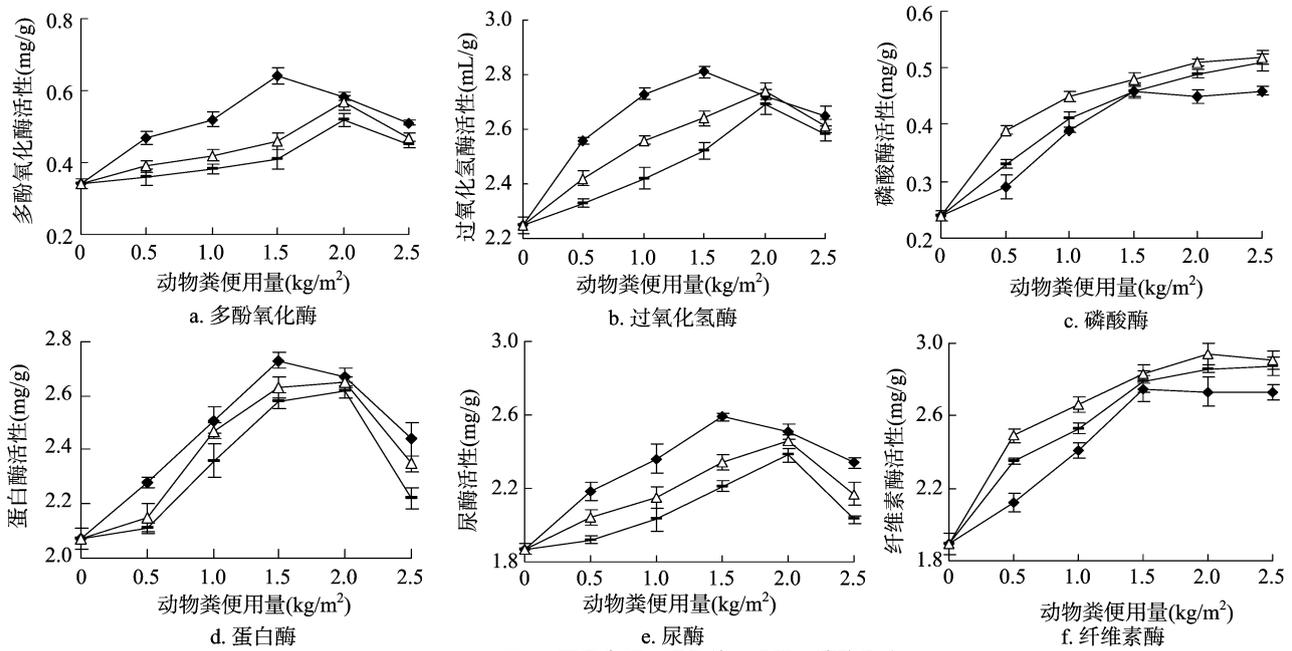


图3 不同粪便处理后茶树根际土壤酶活性

表1 茶树光合指标、产量、品质指标、土壤酶活性之间的相关性

指标	相关系数												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
B	0.97**												
C	0.99**	0.96**											
D	0.98**	0.99**	0.96**										
E	0.97**	0.98**	0.96**	0.99**									
F	0.68**	0.74**	0.65**	0.74**	0.78**								
G	0.73**	0.78**	0.70**	0.79**	0.82**	0.98**							
H	0.62**	0.67**	0.58**	0.67**	0.70**	0.92**	0.93**						
I	0.93**	0.93**	0.92**	0.93**	0.88**	0.57*	0.62**	0.50*					
J	0.94**	0.98**	0.92**	0.98**	0.95**	0.71**	0.77**	0.67**	0.95**				
K	0.75**	0.81**	0.74**	0.81**	0.85**	0.97**	0.99**	0.91**	0.64**	0.79**			
L	0.81**	0.84**	0.76**	0.86**	0.84**	0.72**	0.75**	0.62**	0.84**	0.89**	0.74**		
M	0.91**	0.92**	0.88**	0.93**	0.89**	0.62**	0.67**	0.56*	0.96**	0.95**	0.68**	0.94**	
N	0.74**	0.80**	0.72**	0.80**	0.85**	0.96**	0.98**	0.91**	0.65**	0.78**	0.99**	0.75**	0.69**

注:A—光合作用速率;B—气孔导度;C—蒸腾速率;D—叶绿素含量;E—产量;F—茶多酚含量;G—茶氨酸含量;H—咖啡碱含量;I—多酚氧化酶活性;J—过氧化氢酶活性;K—磷酸酶活性;L—蛋白酶活性;M—尿酶活性;N—纤维素酶活性;*、**分别表示相关性达到显著($P < 0.05$)、极显著($P < 0.01$)水平。

何影响茶树根际土壤微生物群落多样性变化,进而改变土壤的生态功能还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 钱徐慧,张敏. 刍议畜禽粪便生物资源利用的现状分析[J]. 兽医导刊,2017(12):32-33.
- [2] 张家才,胡荣桂,雷明刚,等. 畜禽粪便无害化处理技术研究进展[J]. 家畜生态学报,2017,38(1):85-90.
- [3] 朱宁,马骥. 中国畜禽粪便产生量的变动特征及未来发展展望[J]. 农业展望,2014(1):46-48.
- [4] 张倩,宗良纲,曹丹,等. 江苏省典型茶园土壤酸化趋势及其制约因素研究[J]. 土壤,2011,43(5):751-757.
- [5] Mehra A B C, Bioavailability O A. Copper and manganese from tea (*Camellia sinensis*) [J]. Food Chemistry,2007,100:1456-1463.
- [6] Nejatolahi M, Mortazavi S, Ildoromi A. Levels of Cu, Zn, Pb, and Cd in the leaves of the tea plant (*Camellia sinensis*) and in the soil of Gilan and Mazandaran farms of Iran [J]. Journal of Food Measurement and Characterization,2014,8(4):277-282.
- [7] Zhang Z C, He X L, Li T X. Status and evaluation of the soil nutrients in tea plantation [J]. Procedia Environmental Sciences,2012,12:45-51.
- [8] Li W, Zhang Z C, Li T X, et al. Effect of tea plantation age on the distribution of soil organic carbon fraction within water-stable aggregates in the hilly region of western Sichuan, China [J]. Catena, 2015,133:198-205.
- [9] 邓欣,刘红艳,谭济才,等. 不同种植年限有机茶园土壤那个微生物群落组成及活性比较[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2006,32(1):53-56.

贾国梅,岳云飞,王世彤,等. 茶树根际土壤微生物碳氮磷及其生态化学计量[J]. 江苏农业科学,2018,46(20):125-128.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.20.032

茶树根际土壤微生物碳氮磷及其生态化学计量

贾国梅^{1,2}, 岳云飞¹, 王世彤¹, LIU Xiao³, 向瀚宇¹, 瞿红云¹

(1. 三峡大学生物与制药学院,湖北宜昌 443002; 2. 湖北三峡地区生态保护与治理国际联合研究中心,湖北宜昌 443002;
3. Pall Corporation, NY, USA 11050)

摘要:土壤微生物生物量碳氮磷(分别简称 MBC、MBN、MBP)生态化学计量特征是评价陆地生态系统营养限制的一个有用的工具。以湖北省宜昌市五峰县海拔 800 m 处不同年龄(3 年、8 年、40 年)茶树的根际土壤作为研究对象,分析茶树根际土壤微生物量碳氮磷含量及它们的生态化学计量特征的变化。结果表明,根际土壤碳氮磷含量随着茶树林龄的延长而提高,但是在 8 年后逐渐趋于稳定。根际土壤微生物生物量碳氮磷含量都随着年限的延长升高,8 年达到最大值,随后趋于稳定。随着茶龄的延长,根际土壤碳氮磷计量比、MBC/MBN 和 MBC/MBP 都无显著性的变化,而 MBN/MBP 是 40 年的显著大于其他 2 个样地,这说明茶树根际土壤碳氮磷生态化学计量特征、MBC/MBN 和 MBC/MBP 都具有内稳态特征,但是 MBN/MBP 比值却是茶树生长后期(40 年)显著大于前期(8 年及以前)。这意味着根际土壤 MBN/MBP 可作为茶树根际微生态系统限制性营养的指标,茶树根际土壤有效磷在茶树生长后期(40 年)可能成为限制性元素。

关键词:土壤碳氮磷;微生物碳氮磷;生态化学计量;茶树根际

中图分类号: S154.1;S571.106 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)20-0125-04

生态化学计量学是研究生态系统功能和动态的一门学科,主要强调碳(C)、氮(N)、磷(P)循环及其组成关系^[1],对 C、N、P 化学计量比的研究,可以使营养物质的复杂性变得简单化^[2]。土壤微生物是陆地生态系统的重要组成部分,对土壤养分的固持、矿化,以及土壤养分循环具有重要的驱动和调节作用,在土壤肥力和有机质转化过程中扮演重要的角色^[3]。土壤微生物的数量、组成、生理活动的改变会影响它们的功能,进而影响生态系统生物地球化学循环的过程^[4]。土壤微生物可通过调整自身的生态化学计量比以及对资源的利用效率来适应周围环境的改变^[5]。微生物对土壤养分的固持和矿化可以通过土壤微生物量生态化学计量特征来反映^[6],因此土壤微生物生物量碳氮磷生态化学计量特征是评

价陆地生态系统营养限制的一个有用的工具^[7]。

茶树是湖北宜昌重要的经济作物,五峰采花毛尖、邓村绿茶和宜红茶品质闻名全国,然而目前关于茶园土壤的报道主要集中在闽、浙、皖等地区,且主要研究茶树土壤养分特性、微生物活性以及微生物群落结构特征^[8],对于茶树土壤碳氮磷生态化学计量特征的研究相对较少,对茶树根际土壤微生物生物量碳氮磷及其生态化学计量特征的研究报道则更为少见。因此,本研究以五峰茶园为研究对象,分析同一海拔不同茶龄茶树根际土壤微生物生物量碳氮磷含量及其生态化学计量特征,揭示茶树根际土壤微生物生物量碳氮磷生态化学计量比,探明影响茶树可持续生长的限制性营养元素,以为茶园的管理、增产和生态可持续发展提供一定的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区域与样地概况

研究地点位于湖北省宜昌市五峰县采花乡采花台茶场(110°24'E,30°8'N,海拔 800 m),属亚热带温湿季风气候。年平均气温为 13℃,气候较为温和,年均降水量 1 400 mm 以

收稿日期:2017-05-19

基金项目:国家自然科学基金(编号:51541903);三峡大学茶叶研究中心开放基金(编号:2015CY3)。

通信作者:贾国梅(1965—),女,甘肃永登人,博士,教授,研究方向为土壤微生物生态学。E-mail:jjgm@126.com。

[10] 伍丽,余有本,周天山,等. 茶树根际土壤因子对根际微生物数量的影响[J]. 西北农业学报,2011,20(4):159-163.

[11] 郑旭霞,敖存,黄海涛,等. 不同肥料对茶苗移栽成活率及生长势影响[J]. 浙江农业科学,2013(8):946-948.

[12] 李江涛,钟晓兰,刘勤,等. 长期施用畜禽粪便对土壤生物化学质量指标的影响[J]. 土壤,2010,42(4):526-535.

[13] 王海斌,张清旭,陈晓婷,等. 动物源有机肥对茶树根际土壤酸度及微生物的影响[J]. 中国农业科技导报,2017,19(5):115-122.

[14] 施娟,刘艳红,张德刚,等. 猪粪与化肥配施对植烟土壤酶活性和微生物生物量动态变化的影响[J]. 土壤,2015,47(5):899-903.

[15] 贾小红. 有机肥料加工与施用[M]. 北京:化学工业出版社,2010.

[16] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.

[17] 宁健美,李贵松,吴林土. 松阳县茶园土壤酸化的现状及改良措施[J]. 茶叶,2009,35(3):169-171.

[18] 张喜林,周宝库,孙磊,等. 长期施用化肥和有机肥料对黑土酸度的影响[J]. 土壤通报,2008,39(5):1221-1223.

[19] 陈伯华,王会金. 羊粪的开发利用[J]. 山西农业(致富科技),2001(7):21-22.

[20] 陈梅,陈亚华,沈振国,等. 猪粪对红壤铝毒的缓解效应[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(2):173-176.