

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2019.06.009

复合微生物肥对茶树生长的促进作用初探

肖开兴^{1,2}, 肖析蒙^{1,3*}, 杨瑶君^{1,2}, 易志飞^{1,2}, 唐雪^{1,2}

(1. 乐山师范学院 竹类病虫害防控与资源开发四川省重点实验室, 乐山 614000;

2. 乐山师范学院 生命科学学院, 乐山 614000; 3. 西华大学, 食品与生物工程学院, 成都 610039)

摘要:为初步探究复合微生物肥对茶树生长的促进作用,本实验以表观测量、酒石酸亚铁比色等方法测量了施用复合微生物肥后茶树的株高、检测茶叶中叶绿素和茶多酚的含量以及土壤中铵态氮、速效磷、有效钾的含量。结果显示,相比于施用普通化肥,在施用复合微生物肥后,茶树株高同比提高75.05%;茶多酚含量同比增长11.00%;叶绿素含量同比增长1.69%;铵态氮同比增长201.04%;速效磷同比减少6.09%;有效钾含量降低33.06%。研究表明,复合微生物肥的使用,能显著提高植株对矿质元素的吸收,改善茶叶品质。

关键词:促生;茶多酚;叶绿素;营养元素;根际促生菌

中图分类号:S571.1 文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2019)06-0048-07

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



A Preliminary Study of Growth Promotion of Tea Trees by Compound Microbial Fertilizer

XIAO Kai-xing^{1,2}, XIAO Xi-meng^{1,3*}, YANG Yao-jun^{1,2} YI Zhi-fei^{1,2} TANG Xue^{1,2}

(1. Bamboo Diseases and Pests Control and Resources Development Key Laboratory of

Sichuan Province, Leshan Normal University, Leshan 614000, China;

2. College of Life Science of Leshan Normal University, Leshan 614000, China;

3. College of Food and Biological Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: In order to explore the role of compound microbial fertilizer in promoting the growth of tea trees, measurements were conducted on the height, the chlorophyll content and tea polyphenols of tea trees, and the content of ammonium nitrogen, quick-acting phosphorus and effective potassium in the soil after the application of compound microbial fertilizer by direct measurement, tartaric acid sub-iron colorimetry, etc. The results showed that, after applying bacterial fertilizer, the YoY tree height increased by 75.05%, the YoY content of tea polyphenols increased by 11.00%, the YoY chlorophyll content increased by 1.69%, the YoY ammonium nitrogen increased by 201.04%, the YoY quick-acting phosphorus decreased by 6.09%, and the content of effective potassium decreased by 33.06%. It indicated that compound microbial fertilizer improved the absorption of mineral elements and the quality of tea significantly.

Key words: Growth promotion, Tea polyphenols, Chlorophyll, Nutrient elements, Plant growth promoting rhizobac

收稿日期:2019-08-15

作者简介:肖开兴(1997-),男,四川德阳人,本科,主要从事生物化学研究,e-mail:1814678238@qq.com。

* 通讯作者:肖析蒙(1991-),男,四川自贡人,硕士,主要从事生物化学研究,e-mail:807861348@qq.com。

农药化肥对茶树品质造成严重破坏,急需生态环保的新技术。近年来,微生物菌肥对植物的促生、抗病等领域的研究速度迅猛,已发现其对谷类和豆科等植物的增产、增收效果显著^[1],根际促生菌有助于增加植物盐胁迫能力,增强植株耐受性^[2],为满足农业可持续发展的需要,使用菌肥代替部分化肥已经受到了研究人员的关注^[3],复合微生物肥是一种经过特殊的加工工艺制成的、含有活菌的生物肥料,可通过解磷、固氮、解钾来提升土壤中营养元素的效果^[4],在本实验中,以植株的生长状态,叶片中茶多酚、叶绿素的含量,土壤中氮磷钾的含量作为体现复合微生物肥促生、抗病效果的主要检测指标。

茶叶源自中国,早期是作为祭品使用,茶叶饮品也被誉为“世界三大饮品之一”,茶多酚(tea polyphenols, TPs)是茶叶中多类物质的总称。研究表明,饮茶对人体健康具有重要的保护作用,且其药理作用和安全性已经得到证实^[5-6]

叶绿素(chlorophyll)是植物光合作用最重要的色素之一,也是评价叶片光合能力的主要指标之一^[7],植物先通过叶绿素利用光能来进行光合作用从而为植物提供营养,经研究表明,对植物使用菌肥后植株叶片中叶绿素含量的提高^[8]。

土壤中的营养元素的存在状态对植物来说至关重要,其含量也是影响植物生长发育的重要条件,氮、磷、钾作为大量元素,对植物的生长尤为重要,本实验分析了复合微生物肥对茶树土壤中的铵态氮、速效磷、有效钾的影响,以期研究复合微生物肥对增加茶叶产量和改善茶叶品质的作用。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料

1.1.1.1 试验材料

1.1.1.1.1 茶树株高测试材料 该实验所有测试项目实验材料由乐山市夹江县迎江乡郭坪村(经度:103.50 纬度:29.78)茶树种植基地提供,测量初次选取长势大致相同的植株,共测试样品 60 株,其中 1~30 号样品为处理组(生长期间施加复合微生物肥);31~60 号样品为对照组(生长期间施加普通化肥),处理组用地和对照组用地之间相隔 7 m,处于同一水平面上,初次测量时间为 2018 年 3 月,

二次测量时间为 2018 年 12 月。

1.1.1.1.2 茶多酚测试材料 在以下 3 个测试项目中,实验材料的选取与上述茶树株高测试材料选取的地区一致,海拔相同,茶树长势以及前期施肥情况相同。本项目测试样品共 30 组,其中 1~15 号样品为处理组(生长期间施加复合微生物肥);16~30 号样品为对照组(生长期间施加普通化肥)。茶叶样品的采制参考《茶树种质资源描述规范和数据标准》^[9]。2019 年 1 月 12—15 日进行样品茶多酚含量测定^[10]。

1.1.1.1.3 叶绿素测试材料 该项目共测试样品 30 组,其中 1~15 号样品为处理组(生长期间施加复合微生物肥);16~30 号样品为对照组(生长期间施加普通化肥)。样品在采制时选取顶部成熟叶片,避免采摘的叶片出现破损、虫病等情况,采摘的大小要求基本一致 2019 年 1 月 21—24 日进行样品叶绿素含量测定^[11]。

1.1.1.1.4 土壤中主要营养元素测量材料 该项目共测试样品 30 组,其中 1~15 号样品为处理组(生长期间施加复合微生物肥);16~30 号样品为对照组(生长期间施加普通化肥)。选取植株根系附近土壤作为实验样品,为避免土壤物质理化性质遭到破坏,将样品于通风处自然风干约 10 d,所得干燥样品便于实验后续操作。

1.1.1.2 化学试剂 茶多酚纯品、酒石酸钾钠、氯化亚铁、丙酮、磷酸二氢钾、磷酸氢二钠(以上试剂均为 AR 级)、土壤养分测定相关试剂(由托普云农科技股份有限公司提供)。

复合微生物肥 由四川鑫鑫骄阳生物科技有限公司提供,产品含枯草芽孢杆菌等有效菌 5 亿 CFU/克,有机质 70%,蓄水倍数 60 倍。

酒石酸亚铁溶液 准确称取硫酸亚铁样品 1g,酒石酸钾钠样品 5 g,加水溶解后定容至 1L(可加少量铁粉防止配置好的溶液发生氧化)。

pH7.5 磷酸缓冲溶液 准确称取磷酸二氢钾 9.08 g(经过 100 °C、2.5h 烘干处理),加水溶解后定容至 1L;准确称取磷酸氢二钠 23.9 g,加水溶解后定容至 1L,需用时取上述两种溶液按照 $\text{KH}_2\text{PO}_4:\text{Na}_2\text{HPO}_4 = 17:3$ 的比例均匀混合使用。

1.1.2 实验仪器

分光光度计、土壤测定仪(本项目测定使用土壤测定仪由托普云农科技股份有限公司研发)、摇床、烘箱、水浴锅、电子天平。

1.2 方法

1.2.1 株高测量方法

测量植株基部至主茎顶部记为主茎生长点之间的距离。根据实际情况,本实验采用软皮尺进行数据测量。

1.2.2 叶片样品处理方法

样品采集后,将样品放至 0 °C 冰箱保存,实验时,取大小大致相同叶片,在其同一部位,避开比较粗大的叶脉,选取约 1 cm²,均匀切成 1 mm 宽、5 mm 长的细丝状,切成 20 份。

1.2.3 土壤样品处理方法

将土壤放置于通风口,均匀铺在干净的纸板上,风干 10 d,待风干后,将样品碾磨处理,过 80 目筛,去除土壤中植物根茎等杂质。收集处理好的样品(完成每项测量指标需处理好的土壤样品 4~5 g)。

1.2.4 样品中茶多酚的检测

1.2.4.1 制作茶多酚标准曲线 茶多酚类的物质能够和亚铁离子结合,形成蓝色的络合物,并且在一定波长有最大的吸收度,茶多酚在溶液中的含量与形成的络合物的吸光度在一定范围内成正比,因此可用分光光度法测量茶多酚在溶液中的含量。本实验需准确称取 0.5 g 茶多酚纯品,用水定容至 100 mL,用移液枪量取 0.00 mL、0.10 mL、0.20 mL、0.30 mL、0.40 mL、0.50 mL,加水至 10 mL,再向其加入酒石酸亚铁溶液 5 mL^[12],混合均匀加入磷酸缓冲液至刻度,摇匀,静置 10 min。在 550 nm 处用空白溶液作为参比,测定其吸光度,从而绘制茶多酚标准曲线。

1.2.4.2 样品中茶多酚含量的测定 每组取茶叶样品 0.5 g 倒入装有 20 mL 水的玻璃管中,放置于水浴锅中,水浴温度为 60 °C,浸提时间为 120 min^[13]。水浴完成后,用移液枪吸取茶叶样品浸提液 2 mL,同时,加入配制好的酒石酸亚铁溶液 5 mL,再加入蒸馏水 8 mL,摇匀,加入磷酸缓冲液至容量瓶刻度线,摇匀,静置 10 min。在 550 nm 处用空白溶液作为参比,测定其吸光度,根据绘制好的茶多酚标准曲线(见图 1)计算得出样品中的茶多酚浓度。

1.2.5 样品中叶绿素含量的测定

1949 年经 Arnon 解释和推导以来^[14],丙酮法作为 Arnon 法在国际上被广泛应用至今^[15]。将处理好的叶片样品倒入 20 mL、80% 丙酮溶液中,在黑暗条件下提取 24 h。根据 Lambert-Beer 定律,在 645 nm 和 663 nm 处用 80% 丙酮溶液作为参比,测定其

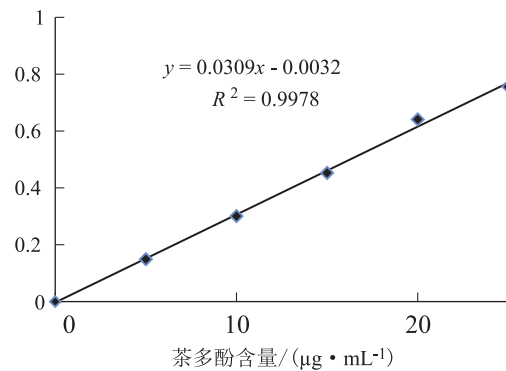


图 1 茶多酚标准曲线

Fig. 1 The standard curve of tea polyphenols

吸光度,根据以下公式计算得出样品中叶绿素的含量:

$$C = C_a + C_b = 8.04A_{663} + 20.29A_{645}^{[16]} \quad (1)$$

1.2.6 土壤样品中铵态氮、速效磷、有效钾含量的测定

本项目测定使用托普云农科技股份有限公司研发的土壤养分测试仪。

1.2.6.1 铵态氮含量的测定 每组准确称取土壤样品 4 g,放入容量为 100 mL 三角瓶中,加入 20 mL 蒸馏水以及 1 号粉末 1 g,在摇床中摇匀 10 min,160 r · min⁻¹,过滤,所得滤液用移液枪吸取 1 000 μL 于比色皿中,此为待测液;用移液枪吸取 900 μL 蒸馏水,再加入 100 μL 氮标准溶液,混匀,所得溶液为标准液;用移液枪吸取 2 mL 蒸馏水于比色皿中,此为空白液。向标准液和待测液中各加入 100 μL 氮 1 号试剂,混匀,再加入 100 μL 氮 2 号试剂,混匀。停放 20 min,再加入 800 μL 蒸馏水,立即上机操作,记录数据。

1.2.6.2 速效磷含量的测定 每组准确称取土壤样品 4 g,放入容量为 100 mL 三角瓶中,加入 20 mL 蒸馏水以及 2 号粉末 0.5 g(用精确 pH 试纸测定土壤为弱碱性),在摇床中摇匀 10 min,160 r · min⁻¹,过滤,所得滤液用移液枪吸取 200 μL 于比色皿中,再加入 800 μL 蒸馏水,此为待测液;用移液枪吸取 900 μL 蒸馏水,再加入 100 μL 磷标准溶液,混匀,所得溶液为标准液;用移液枪吸取 2 000 μL 蒸馏水于比色皿中,此为空白液。向标准液和待测液中各加入 100 μL 磷 1 号试剂和 800 μL 蒸馏水,混匀,再加入 50 μL 磷 2 号试剂,混匀。立即上机操作,记录数据。

1.2.6.3 有效钾含量的测定 每组准确称取土壤

样品 4 g,放入容量为 100 mL 三角瓶中,加入 20 mL 蒸馏水以及 1 号粉末 1 g,在摇床中摇匀 10 min,160 r · min⁻¹,过滤,所得滤液用移液枪吸取 1 000 μL 于比色皿中,此为待测液;用移液枪吸取 900 μL 蒸馏水,再加入 100 μL 钾标准溶液,混匀,所得溶液为标准液;用移液枪吸取 2mL 蒸馏水于比色皿中,此为空白液。向标准液和待测液中各加入 100 μL 钾 1 号试剂,混匀,再加入 100 μL 钾 2 号试剂,混匀。停放 5 min,再加入 800 μL 蒸馏水,立即上机操作,记录数据。

2 结果与分析

2.1 株高测量结果与分析

从图 2 可以看出,在经过施肥处理的茶树处理

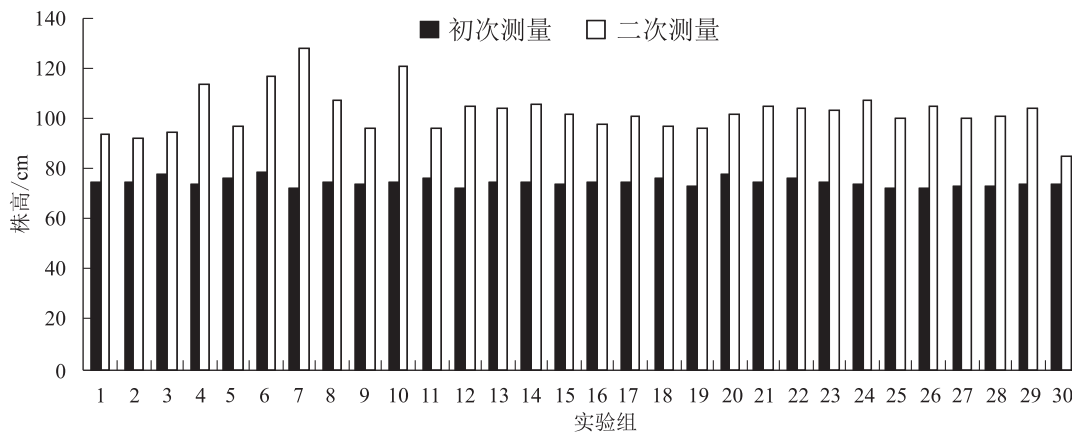


图 2 实验组株高测量结果

Fig.2 The measurements of plant height in experimental group

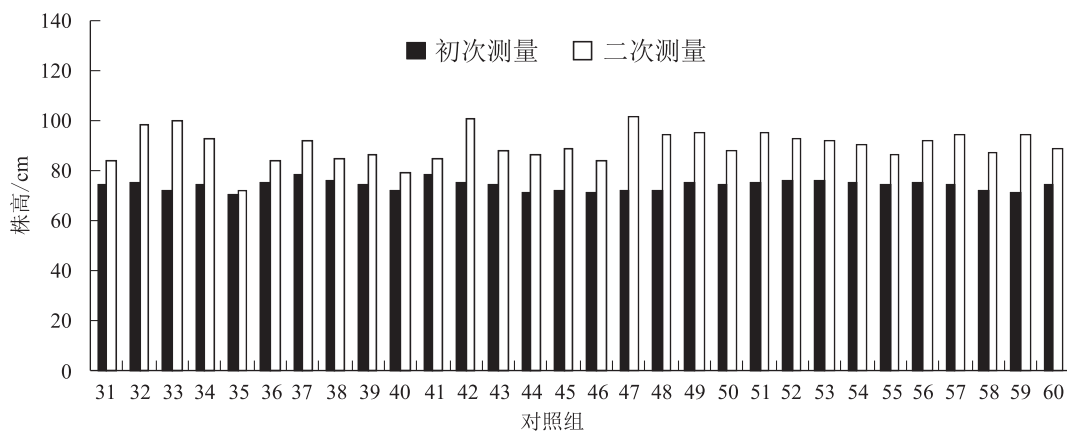


图 3 对照组株高测量结果

Fig.3 The measurements of plant height in control group

结合实验组和对照组的数据来看,在初次测量时,为保证实验的科学性、准确性,在选择实验对象时,选取的实验组样本即施肥处理的 30 株茶树比选

组中,在第二次记录数据时,第 7 组的长速最快,增长达到了 56 cm,第 30 组的生长速度较慢,增长了 11 cm,在经过复合微生物肥施肥处理的 30 株样品植株中,其平均株高达到了 102.73 cm,初次测量时平均株高为 74.67 cm,植株平均增高达到了 28.06 cm,增幅达 37.58%。

从图 3 中可以看出,没有经过施肥处理的对照组,在进行第二次测量的时候,第 47 组的长速最快,增长达到了 30 cm,第 35 组的生长速度较慢,仅生长了 2 cm,在未经过复合微生物肥施肥处理的 30 株样品植株中,其平均株高为 89.90 cm,初次测量时平均株高为 73.87 cm,植株平均增高达到了 16.03 cm,增幅为 21.66%。

取的对照组即未施肥处理的 30 株茶树在平均株高上仅高出 0.8 cm,在第二次测量时,实验组即施肥处理的茶树比对照组即未施肥处理的茶树仅高达

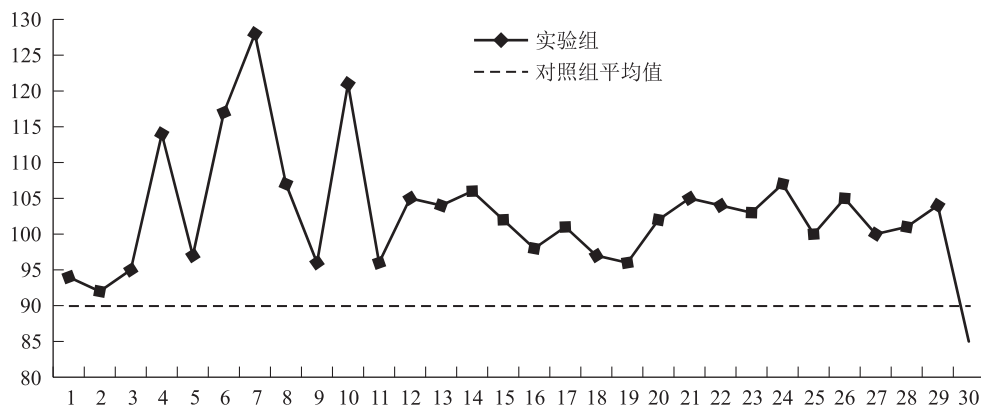


图4 实验组与对照组株高平均值比较结果

Fig. 4 The comparison results between experimental group and control group

12.83 cm,在实验组的30组样本中,有29组的增长高度高于对照组的平均水平,有1组的增长高度略低于对照组的平均水平。经Excel的显著性分析结果显示,复合微生物肥对茶树的生长具有促进作用,且效果明显。

2.2 茶多酚含量测量结果与分析

由表1可以看出,经过施肥处理的15组茶树样品中,其茶叶中的茶多酚含量最高可达 $411.43 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,最低为 $309.49 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,极差为 $101.94 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均含量为 $374.86 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;未经过处理的15株茶树样品中,其茶叶中的茶多酚最高为 $406.58 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,最低为 $293.31 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,极差为 $113.27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均含量为 $334.99 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;经过施肥处理的15株茶树的茶叶的平均茶多酚含量比未经过处理的15株茶树样品中茶叶的平均茶多酚含量高出 $36.87 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。在实验组的15组样本中,有13组的增长高度高于对照组的平均水平,有2组的增长高度略低于对照组的平均水平,增长率达86.7%,且实验组和对照组的差异性极显著($P = 0.002832 < 0.01$)。经实验测量结果表明,复合微生物肥对茶树的生长具有促进作用,且效果明显。实验结果显示,该复合微生物肥有助于提高茶树中茶多酚含量,进一步提升茶叶的品质。

表1 茶叶中茶多酚含量的测量数据

Tab.1 The measurement data of contents of tea polyphenols

	处理组	对照组
平均值	371.86	334.99
最大值	411.43	406.58
最小值	309.49	293.31
变异系数%(CV)	0.0738	0.1092

2.3 叶绿素含量测量结果与分析

由表2我们可以知道经过施肥处理的15组茶树样品中,其茶叶中的叶绿素含量最高可达 $1.04 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,最低为 $0.98 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,极差为 $0.06 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,平均含量为 $1.00 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$;未经过处理的15株茶树样品中,其茶叶中的茶多酚最高为 $1.01 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,最低为 $0.96 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,极差为 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,平均含量为 $0.986 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$;经过施肥处理的15株茶树的茶叶的平均茶多酚含量比未经过处理的15株茶树样品中茶叶的平均茶多酚含量高出 $0.02 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。在实验组的15组样本中,有13组的增长高度高于对照组的平均水平,有2组的增长高度略低于对照组的平均水平,且实验组和对照组的差异极显著($P = 0.000253 < 0.01$),实验结果显示,该复合微生物肥有助于茶树中叶绿素含量的提高。

表2 茶叶中叶绿素含量的测量数据

Tab.2 The measurement data of contents of chlorophyll

	处理组/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	对照组/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
平均值	1.00432	0.98563
最大值	1.03537	1.01085
最小值	0.98560	0.96176
变异系数%(CV)	0.012571	0.012715

2.4 土壤中铵态氮、速效磷、有效钾含量测量结果与分析

2.4.1 铵态氮含量测量结果与分析

铵态氮是氮元素的一种自然存在状态,它可以与其他形式的氮元素在某些条件下相互转化,易溶解,因此能够被植物快速吸收,同时也容易被水分带走。从表3可以看出在经过施用复合微生物肥处理的15个样品中,铵态氮平均值达到了

122.134 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,最大值为 297.62 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而未经过施用复合微生物肥处理的 15 个样品中,铵态氮的平均值为 40.571 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,最大值为 129.63 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,在平均值上增长了 81.563 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增幅达 49.74%。增长态势稳定、良好,且实验组和对照组差异性极显著($P=0.000772 < 0.01$)。经过试验结果证明,复合微生物肥有助于土壤中的铵态氮的固定,增加土壤中铵态氮的含量,有利于植物的生长。

2.4.2 速效磷含量测量结果与分析

速效磷指的是在土壤中被植株吸收的磷成分,也是评价土壤提供磷水平的一个重要指标,当速效磷的含量达到 25 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,即被称为含磷较高的土壤^[17]。由测量数据可以得出,复合微生物肥对速效磷在土壤中的固定并无显著性差异($P=0.374855 > 0.05$),从表 3 可以看出,施用复合微生物肥的土壤速效磷的平均含量为 58.169 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,降幅为 6.09%,属于含磷较高的土壤,未使用菌肥的土壤速效磷的含量为 61.941 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,同属于含磷较高的土壤。研究表明,施用枯草芽孢杆菌后,植物中的全氮、全磷、全钾含量均增加^[18],即植物吸收的矿质元素增加,有利于植物的生长。

2.4.3 有效钾含量测量结果与分析

有效钾含量是土壤提供钾水平的一个重要指标,据表 3 可以看出,经过施肥处理的土壤,有效钾的含量被控制在了 1 048.442 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而未经过施用复合微生物肥处理的土壤,有效钾的含量达到了 1 566.292 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,施用菌肥后土壤中的有效钾含量降低了约 33%,且实验组和对照组具显著性差异($0.01 < P=0.043599 < 0.05$)。根据《土壤农业化学分析方法》^[19],在土壤中的有效钾含量高于 250 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,即被称为含钾量极高的土壤,因此,施用该菌肥对植物吸收土壤中的钾有很好的促进作用。

表 3 土壤中铵态氮、速效磷、有效钾含量测量结果与分析

Tab.3 The contents measurements data and analysis of ammonium nitrogen, quick-impact phosphorus and effective potassium of chlorophyll

	平均值 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	最大值 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	最小值 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	变异系数 /% (CV)
铵态氮(处理组)	122.134	297.620	23.020	0.843752
铵态氮(对照组)	40.571	129.630	8.440	0.60022
速效磷(处理组)	58.169	163.040	10.940	0.375622
速效磷(对照组)	61.941	118.540	19.730	0.636471
有效钾(处理组)	1 048.442	2 128.900	311.300	0.587958
有效钾(对照组)	1 566.292	3 244.560	332.700	0.550017

3 讨论

本实验所使用的复合微生物肥有助于茶树的生长,促生长率达 96% 以上,选取样本在 9 个月的时间里,普遍生长 28 cm 以上,增幅达 37.58%;该菌肥对茶叶中茶多酚含量增加也很明显,平均含量比未经过施肥处理的植株增长了 36.87 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,相较于未施肥处理的植株,茶多酚含量增长约 11%;叶片中的叶绿素含量在经过施肥处理后也有所提高,有利于植株进行光合作用积累有机物,有利于植株的生长;同时,菌肥的使用对土壤中的营养物质有所影响,尤其是对铵态氮的作用,平均增长了 81.563 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,极大地提高了土壤中的氮成分含量,也对肥力不均的现象有所改善,有效控制了土壤中高钾含量的现象。

近几年来,在农民的种植方面,施肥是一个十分普遍的现象,种植和施肥已经紧密地联系在一起,但是根据大量的实验证明,土地中作物对肥料的利用率不断下降,由此可知,施用化肥不能保证土地常年增产,且大量施用化肥还会造成土壤污染、水污染等一系列问题。微生物菌肥的出现极大地改善了这一情况,菌肥中的枯草芽孢杆菌、巨大芽孢杆菌在活化后产生的分解酶,能有效的将土壤中的有机质分解为小分子,释放出无机盐^[20]。在植物发育的早期,植物根际促生菌的使用会直接影响芽和植物根系的生长,从而提高植物吸收营养的能力以达到提高作物产量的作用^[21]。将有机肥和复合微生物肥搭配使用,将会减少施肥用量,缓解土壤中肥力不均的问题^[22]。除此之外,有研究证明,根际促生菌也有利于提高植物在干旱胁迫条件下造成的极端环境的存活率^[23],将菌肥与改性吸水性竹纤维搭配使用,还可以运用到干旱土壤的种植,解决土壤板结,具有有效涵养水源,稳定供给营养成分的作用。

参考文献:

- [1] F. Pérez-Montaño, C. Alfás-Villegas, ect. Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants; From microorganism capacities to crop production[J]. Microbiological Research, 2013.
- [2] Sheikh Hasna Habib, Hossain Kausar, Halimi Mohd Saud. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Enhance Salinity Stress Tolerance in Okra through ROS-Scavenging Enzymes[J]. BioMed Research International, 2016.
- [3] 张春云,王新建,吉海,等.“光合元”生物菌肥在红枣南疆红上

- 的应用研究[J]. 新疆农业科学, 2014, (9): 1644 ~ 1651
- [4] 张建忠. 生物菌肥在番茄种植中的运用[J]. 农业与技术, 2018, 21: 125
- [5] Wang S, Huang Y, Xu H, et al. Oxidized tea polyphenols prevent lipid accumulation in liver and visceral white adipose tissue in rats [J]. *European Journal of Nutrition*, 2017, 56(6): 2037 ~ 2048.
- [6] 李娟, 活泼, 杨海燕, 等. 茶叶功效成分研究进展[J]. 浙江科技学院学报, 2005, (4): 285 ~ 289
- [7] 刘进. 三个水稻叶绿素代谢相关基因的鉴定与功能分析[J]. 技术与市场, 2017, 11(1).
- [8] Jose Antonio Lucas, Jorge García-Cristobal, Alfonso Bonilla, ect. Beneficial rhizobacteria from rice rhizosphere confers high protection against biotic and abiotic stress inducing systemic resistance in rice seedlings[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2014. 82: 44 ~ 53.
- [9] 陈亮, 杨亚军, 虞富莲, 等. 茶树种质资源描述规范和数据标准[M]. 中国农业出版社, 2005, 1: 70 ~ 72.
- [10] 王丽丽, 陈键, 宋振硕, 等. 茶叶中茶多酚检测方法研究进展[J]. 茶叶科学技术, 2013(4): 6 ~ 12.
- [11] 胡秉芬, 黄华梨, 季元祖, 等. 分光光度法测定叶绿素含量的提取液的适宜浓度[J]. 草业科学, 2018(8).
- [12] 中国国家标准化管理委员会. GB/T8313-2002 茶 茶多酚测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002; 1. 理学报, 2014, 2: 164 ~ 170.
- [13] 杨皓彬, 杨娜, 柏雪等. 白茶中茶多酚提取工艺及抗氧化活性的研究[J]. 中国食品学报, 2014(12): 24 ~ 31.
- [14] Arnon DI. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*[J]. *Plant Physiol*, 1949, 24: 1 ~ 15.
- [15] 严国光. 植物生产过程测定法[M]. 农业出版社, 1982.
- [16] 苏正淑, 张宪政. 几种测定植物叶绿素含量的方法比较[J]. 生物生理学通讯, 1989(5): 77 ~ 78.
- [17] 韩俊杰, 马保国, 韩宝坤, 等. 麦稻轮作高产条件下施磷对土壤速效磷及作物产量的影响[J]. 河北农业大学学报, 2001(3): 22 ~ 26.
- [18] 李伟, 王金亭. 枯草芽孢杆菌与解磷细菌对苹果园土壤特性及果实品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, (3): 140 ~ 144.
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000.
- [20] 张艳红, 魏志宇, 荚金华, 等. 枯草芽孢杆菌对调节养殖大棚水环境的作用机理及施用方法[J]. 渔业致富指南, 2018(16): 46 ~ 47.
- [21] 张典利, 孟臻, 亓文哲, 等. 植物根际促生菌的研究与应用现状[J]. 世界农药, 2018(6): 37 ~ 43.
- [22] 顾欣, 何继涛, 曹云娥, 等. 有机肥与菌肥配施对拱棚西瓜生长和品质的影响[J]. 北方园艺, 2016(18): 39 ~ 43.
- [23] 王欢, 高曹晨乐, 张鑫雨. 植物根际促生菌提高植物抗旱能力的研究分析[J]. 中国战略新兴产业, 2018(40): 148.

~~~~~

(上接第 37 页)

- [9] 申文辉, 何琴飞, 郑威, 等. 珠江流域中游 5 种不同森林类型物种组成及其多样性[J]. 广西林业科学, 2015, 44(4): 325 ~ 332.
- [10] KEENAN R, LAMB D, WOLDRING O, et al. Restoration of plant biodiversity beneath tropical tree plantations in Northern Australia. *Forest Ecology and Management*, 1997, 99(1 ~ 2): 117 ~ 131.
- [11] MANNING A D, FISCHER J, LINDENMAYER D B. Scattered trees are keystone structures-implications for conservation. *Biological Conservation*, 2006, 132(3): 311 ~ 321.
- [12] ZHANG D J, ZHANG J, YANG W Q, et al. Effects of afforestation with *Eucalyptus grandis* on soil physicochemical and microbiological properties. *Soil Research*, 2012, 50(2): 167 ~ 176.
- [13] 李金良, 郑小贤. 北京地区水源涵养林健康评价指标体系的探讨[J]. 林业资源管理, 2004(1): 31 ~ 34.
- [14] 龙冬梅, 汪正祥, 雷耘, 等. 天然水杉林的群落分类及演替动态[J]. 湖北林业科技, 2008, 5(153): 6 ~ 11.
- [15] 魏鹏, 李贤伟, 范川, 等. 华西雨屏区香樟人工林土壤表层细根生物量和碳储量[J]. 应用生态学报, 2013, 24(10): 2755 ~ 2762.
- [16] 罗涛, 何平. 人类干扰和竹类侵扰下的四面山南方红豆杉群落物种多样性研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2012, 37(10): 87 ~ 92.
- [17] 贺书珍, 王得祥, 杨改河, 等. 局域与区域生态过程对太白山牛皮桦林林隙内草本植物物种丰富度的影响[J]. 西北植物学报, 2012, 32(1): 0180 ~ 0186.
- [18] 马克平. 生物多样性与生态系统功能的实验研究[J]. 生物多样性, 2013, 21(3): 247 ~ 248.
- [19] 王景燕, 胡庭兴, 龚伟, 等. 川南坡地不同退耕模式土壤及枯落物持水特性[J]. 四川农业大学学报, 2012, 30(1): 24 ~ 29.
- [20] 陈杰, 郭屹立, 卢训令, 等. 伊洛河流域草本植物群落物种多样性[J]. 生态学报, 2012, 32(10): 3021 ~ 3030.
- [21] 王娟, 达良俊, 李艳艳, 等. 城市化进程中上海植被的多样性、空间格局和动态响应(V): 管护放弃后城市水杉林下植被自然演替格局的研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2009(6): 12 ~ 21.
- [22] 李艳, 姚小兰, 郝建锋, 等. 林窗对川西周公山柳杉人工林林下物种多样性的影响[J]. 西北植物学报, 2015, 35(6): 1238 ~ 1245.
- [23] 陈飞鹏, 暨淑仪, 汪殿蓓, 等. 海南南红稻田杂草群落物种多样性指数的测定及评价[J]. 华中农业大学学报, 2001, 20(5): 438 ~ 441.
- [24] 褚建民, 卢琦, 崔向慧, 等. 人工林林下植被多样性研究进展[J]. 世界林业研究, 2007, 20(3): 9 ~ 13.
- [25] 郝云俊, 王金锡, 王启和, 等. 柳杉纯林改造后林分空间结构变化预测[J]. 林业科学, 2006, 42(8): 8 ~ 13.
- [26] 吴萌, 车国宣. 慈竹丰产结构研究[J]. 四川林业科技, 1985(1): 7 ~ 10.
- [27] 何友均, 梁星云, 覃林, 等. 南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(8): 2484 ~ 2495.