

孙小红, 王国夫, 夏何, 等. 夏季遮阴对茶园土壤丛枝菌根多样性及茶叶品质的影响 [J]. 福建农业学报, 2022, 37 ( 5 ): 641–647.  
SUN X H, WANG G F, XIA H, et al. Effects of Shading in Summer on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Diversity in Plantation Soil and Tea Quality [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 37 ( 5 ): 641–647.

# 夏季遮阴对茶园土壤丛枝菌根多样性及茶叶品质的影响

孙小红, 王国夫\*, 夏何, 余晓伟, 朱琰麟, 吴邵晗, 王凌峰

(绍兴文理学院元培学院, 浙江 绍兴 312000)

**摘要:**【目的】分析夏季遮阴条件下茶园土壤养分、丛枝菌根真菌以及茶叶品质的变化特征, 为夏季茶园合理遮阴栽培管理提供理论依据。【方法】以浙江某丘陵茶园为研究对象, 测定土壤养分、AM 真菌多样性以及茶叶品质指标等。【结果】与未遮阴处理相比, 茶园遮阴显著增加了土壤 pH、有机质、全氮、碱解氮、全磷和有效磷含量, 分别增加了 15.38%、17.8%、163.6%、77.86%、45.45% 和 27.80%。但未遮阴处理的土壤 AM 真菌多样性指数、丰度均高于遮阴处理。DGGE 条带测序分析显示: 未遮阴处理茶园土壤的优势 AM 真菌为球囊霉属 (*Glomus*), 而遮阴处理土壤球囊霉属丰度较非遮阴处理低。遮阴后, 茶叶中的叶绿素总含量、氨基酸含量和咖啡碱含量分别比对照提高了 46.18%、33.16% 和 32.30%。茶多酚含量比对照降低了 10.41%, 茶叶品质有所提高。【结论】茶园夏季遮阴能够增加土壤养分含量, 提高茶叶品质, 但降低了茶园土壤 AM 真菌多样性和丰富度指数。

**关键词:** 茶园; 遮阴; 丛枝菌根真菌; 土壤营养; 茶叶品质

中图分类号: S 56

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 ( 2022 ) 05-0641-07

## Effects of Shading in Summer on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Diversity in Plantation Soil and Tea Quality

SUN Xiaohong, WANG Guofu\*, XIA He, YU Xiaowei, ZHU Yanlin, WU Shaohan, WANG Lingfeng

(Yuanpei College, Shaoxing University, Shaoxing, Zhejiang 312000, China)

**Abstract:** 【Objective】Correlation between the nutrients and arbuscular mycorrhizal fungi in soil and the quality of tea produced at a plantation shaded from direct sun exposure in summer was analyzed. 【Method】The nutrients, fungal diversity, and tea quality at a hilly tea plantation in Zhejiang Province were determined for a correlation study on the effect of summer-shading over the tea bushes. 【Result】The shading significantly increased the pH, organic matters, total nitrogen, alkali-hydrolyzed nitrogen, total phosphorus, and available phosphorus in the plantation soil by 15.38%, 17.8%, 163.6%, 77.86%, 45.45%, and 27.80%, respectively. On the other hand, it reduced the fungal diversity index and richness. The DGGE band-sequencing analysis showed that the dominant fungi in the non-shaded control soil was *Glomus*, which was lower in abundance under the shading. The shading increased the contents of total chlorophyll, amino acids, and caffeine in tea leaves by 46.18%, 33.16%, and 32.30 %, respectively, but that of polyphenols declined by 10.41% over control. The tea quality was judged to be superior with the shading treatment. 【Conclusion】Shading in summer increased soil nutrient contents and improved tea quality, but reduced the diversity and richness of arbuscular mycorrhizal fungi in the plantation soil.

**Key words:** Tea garden; shading; arbuscular mycorrhizal fungi; soil nutrient; tea quality

### 0 引言

【研究意义】茶叶的产量和品质易受外界环境的影响, 如强光照和高温干旱天气制约茶区的茶叶

产量和品质<sup>[1]</sup>。目前市场上多以春茶为主, 夏茶较少。其主要原因是夏秋季季节气温较高, 光照强度大, 茶树碳代谢增强, 氮代谢被抑制, 使鲜叶中氨基酸含量减少, 茶多酚含量增多, 从而使酚氨比值

收稿日期: 2021-10-01 初稿; 2022-02-28 修改稿

作者简介: 孙小红 (1981-), 女, 副教授, 研究方向: 植物资源开发应用 (E-mail: xhsun2000@163.com)

\* 通信作者: 王国夫 (1967-), 男, 副教授, 研究方向: 植物资源开发利用 (E-mail: wgf83@usx.edu.cn)

基金项目: 浙江省自然科学基金项目 (2019C32032)

增大,导致夏茶苦涩味重;同时由于叶绿素合成减少,茶叶颜色干枯,品质较差,导致经济效益低。因此,探索提升夏季茶叶品质研究尤为重要。【前人研究进展】近年来国内外很多茶园通过种植遮阴树、设置遮阴网、茶果间作等措施,对茶树生长、茶园环境与茶叶品质等的影响进行了研究<sup>[2-4]</sup>,取得了一定成果。在夏季进行遮阴处理能有效降低茶园光照强度,提高土壤含水量,降低土壤温度,茶叶生长良好,从而提高茶叶品质 and 经济效益<sup>[5]</sup>。但是现代农业大量施用含氮化学肥料,导致茶园土壤中 Ca、Mg 等离子以及微量元素相对缺少,而铝、氟和多酚类物质逐渐富集和累积,使茶园土壤微生物总量和多样性减少,导致茶园土壤肥力退化和养分失衡,直接制约茶园的可持续发展<sup>[6-7]</sup>。丛枝菌根真菌 (*Arbuscular mycorrhizal fungi*, AMF) 在土壤中广泛存在,能与大部分植物结成共生体。研究表明,茶树根际土壤中存在多种 AM 真菌<sup>[8]</sup>,丰富的 AM 真菌种群能够改善土壤的理化性质,促进植物吸收利用矿质养分和水分,促进植物生长发育、增强环境耐受力<sup>[9]</sup>。AM 真菌受耕作方法和施肥方法的影响,在人为影响较少的土壤中能表现出更高的多样性<sup>[10]</sup>。【本研究切入点】目前对于夏季茶园遮阴后对茶园土壤养分、茶园 AM 真菌以及茶叶品质影响研究较少。【拟解决的关键问题】本试验通过研究遮阴条件下土壤养分、AM 真菌多样性以及茶叶品质,进一步探索茶园夏季遮阴对茶树土壤养分、土壤丛枝菌根和茶叶品质的变化特征,以期茶叶生产和茶园土壤的可持续利用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试茶园

本试验在浙江省绍兴市富盛镇茶园 (120°69'E, 29°90'N) 进行。茶树品种为薮北,树龄 12~15 a,实验区为长方形地块,试验设置遮阴和不遮阴 (对照) 2 个处理。采用搭棚遮阴方式,在茶园里搭建棚架,支柱为水泥柱,棚顶离地面 1.8 m 高。遮阴棚高 1.8 m、宽 5 m、长 20 m;对照处理宽 5 m、长 20 m,均设置 3 次重复。每年 5 月 10 日左右开始使用黑色遮阴网 (遮光率 70%),覆盖在棚面上,遮阴网在秋季 (10 月 10 日左右) 去掉。试验于 2016 年 5 月开始,连续处理 4 年。茶园每年施一次有机肥,商品有机肥用量一般为 3 000 kg·hm<sup>-2</sup>,每年春秋各施复合肥一次,用量为 1 500 kg·hm<sup>-2</sup>。

1.2 采样方法

在遮阴处理第 4 年即 2020 年 7 月 20 日采集土壤

样品。根据采样位点的地形条件,在实验区域内采用 5 点混合取样法,以茶树主茎为中心,在半径 20~30 cm 的范围内取土,去掉茶树根部表面土层,采集 0~20 cm 土壤<sup>[11]</sup>,采集好的样品分别装入无菌封口聚乙烯袋,放入冰盒。在超净工作台上捡去土壤中石块、植物根系等可见杂质。然后将每个样品分成 3 份,1 份置于 4 ℃ 冰箱保存备用,1 份置于超低温冰箱用于分析微生物群落结构多样性,1 份放室内自然阴干后过筛,用于测定该区域土壤理化特性。

同时采摘 1 芽 2 叶,按照杀青、理条、干燥的工艺,加工成夏茶,置于冰箱低温保存备用。

1.3 研究方法

1.3.1 茶园土壤养分测定 采用电位法测定土壤的 pH 值;采用灼烧法测定土壤的有机质;采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定土壤有效磷;采用氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法测定土壤全磷;采用凯氏定氮法测定法测定土壤全氮;采用碱解-扩散法测定土壤水解氮<sup>[12]</sup>。

1.3.2 土壤 AM 真菌多样性测定 土壤 AM 真菌的 DNA 提取采用 ZR Fecal DNA MiniPrep™ Kit 试剂盒 (Zymo Research; 货号: D6010),按照说明书步骤进行提取将其用于扩增。提取土壤总 DNA 用于 nested-PCR,经过 3 次 PCR 扩增,引物见表 1<sup>[13]</sup>。

表 1 nested-PCR 引物  
Table 1 Primers used in nested-PCR

| 引物<br>Primers | 引物序列<br>Primer sequences                                           |
|---------------|--------------------------------------------------------------------|
| GeoA2         | 5'-CCAGTAGTCATATGCTTGCTCTC-3'                                      |
| GeoI1         | 5'-ACCTTGTTACGACTTTTACTTCC-3'                                      |
| AM1           | 5'-GTTTCCCGTAAGCGCCGAA-3'                                          |
| NS31-GC       | 5'-CGCCCGCCGCGCGCGGGCGGGCGGGGC<br>ACGGGGGGTTGGAGGGCAAGTCTGGTGCC-3' |
| NS31          | 5'-TTGGAGGGCAAGTCTGGTGCC-3'                                        |
| Glo           | 5'-GCCTGCTTTAAACACTCTA-3'                                          |

取第 3 次 PCR 产物经过 QIAquick Gel Extraction Kit 进行纯化并进行电泳分离,快速银染后,进行 DGGE 凝胶图片的拍照。切胶回收采用 QIAEX II Gel Extraction Kit。切胶回收、连接 pBlue-T 载体 (北京艾德莱生物科技有限公司)、转化化学感受态细胞 DH5α,PCR 筛选后拿去 TaKaRa 公司进行测序,比对基因库,找出与目的片段相似度高的菌种。

1.3.3 茶叶质量测定方法 叶绿素含量测定采用分光光度法,测定试液在 645 nm 和 663 nm 处的吸光度

并计算<sup>[14]</sup>。茶多酚含量测定参照 GB/T 8313—2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》；氨基酸含量测定参照 GB/T 8314—2013《茶游离氨基酸总量的测定》，咖啡碱测定参照 GB/T 8312—2013《茶咖啡碱测定》。

1.4 统计方法

数据分析采用 Excel 2010 和 SPSS 22.0 统计软件，采用单因素多重比较检验 ( $\alpha=0.05$ ) 处理间的差异显著性，使用 Quantity One 软件进行 DGGE 条带数字分析以计算样品中可检测到的 DGGE 条带数量。采用 biodap 软件公式计算香农多样性指数、辛普森多样性指数。具体计算公式如下：

$$H_{shannon} = - \sum_{i=1}^{S_{obs}} \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N}; D_{simpson} = \frac{\sum_{i=1}^{S_{obs}} n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

$H_{shannon}$  代表香农多样性指数， $D_{simpson}$  代表辛普

森多样性指数， $n_i$  为 DGGE 图谱中条带的轨迹定量值， $N$  为所有条带的轨迹定量值  $n_i$  之和， $S_{obs}$  代表 DGGE 所有检测出来的条带总数。

2 结果与分析

2.1 茶园遮阴对土壤养分的影响

如表 1 所示，遮阴与未遮阴茶园土壤 pH 分别为 4.5 和 3.9，均小于等于 4.5，都有酸化倾向，未遮阴处理的茶园土壤 pH 值低于遮阴的茶园土壤，但差异不显著。从表 2 中可以看出，遮阴后茶园有机质增加 17.8%，反映出夏季遮阴为茶树提供了较高的土壤肥力环境。经过遮阴处理的茶园土壤平均碱解氮含量、全氮含量、全磷含量和有效磷含量均显著高于未经遮阴处理的茶园土壤，分别增加了为 77.86%、163.6%、45.45%、27.80%。试验表明，茶园夏季遮阴对增加土壤养分及增加土壤有机质均具有显著作用。

表 2 茶园土壤养分含量  
Table 2 Contents of nutrients in plantation soil

| 处理<br>Treatment | 有机质含量<br>Organic matter content/<br>(g·kg <sup>-1</sup> ) | 全氮含量<br>Total N content/<br>(g·kg <sup>-1</sup> ) | 碱解氮含量<br>Hydrolyze N content/<br>(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 全磷含量<br>Total P content/<br>(g·kg <sup>-1</sup> ) | 有效磷含量<br>Available P content/<br>(mg·kg <sup>-1</sup> ) | pH           |
|-----------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------|
| 遮阴 Shading      | 53.37±1.244 a                                             | 5.80±0.3 a                                        | 238.34±33.566 a                                         | 1.61±0.20 a                                       | 482.62±0.087 a                                          | 4.50±0.01 a  |
| CK              | 45.30±1.185 b                                             | 2.20±0.3 b                                        | 134.00±8.047 b                                          | 1.13±0.07 b                                       | 377.64±0.020 b                                          | 3.90±0.00 ab |

同列数据后不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )，表 3 同。  
Data with different letters on same column indicate significant difference at  $P<0.05$ , the same as table 3.

2.2 茶园遮阴对土壤 AM 真菌多样性的影响

由图 1 可知，未遮阴处理的茶园土壤 DGGE 指纹图谱的颜色深度以及条带数目要明显高于遮阴处理组，代表该样品中 AM 真菌种类较多。各处理土壤 AM 真菌多样性指数如表 3 所示。其中，未遮阴处理组的土壤环境中 AM 真菌多样性和丰富度均显著高于遮阴处理组，表明未遮阴处理的茶园土壤环境中 AM 真菌菌群的数量远多于遮阴处理的土壤组。遮阴处理的土壤样品 DGGE 优势条带与未遮阴处理的土壤样品中出现的相应条带不在同一水平，同时颜色深度各异。

为了更准确地了解遮阴对茶园土壤环境中 AM 真菌菌群的影响，将 DGGE 图谱中的部分条带进行回收，结果见表 4。茶园土壤 DGGE 条带比对显示：大部分条带所代表的菌群属于未培养的球囊霉属 AM 真菌。条带 2-16 代表的 AM 真菌菌群均属于球囊霉属 (*Glomus*)，条带 14 所代表的菌群与球囊霉属相似性高达 98.29%。其中，条带 3、4 和 11 所代表的

菌种归属于同一菌种。同时遮阴和不遮阴处理的土壤样品检测显示它们之间有共同的条带，如条带 21 和 22 都不是 AM 真菌。同时在遮阴处理组检测到了水生子囊菌 (*Distoseptispora aquatica strain*)、淡红丛枝瑚菌 (*Ramaria rubella*) 和未培养近微孢虫菌属 (*Uncultured Paramicrosporidium*)。水生子囊菌 (*Distoseptispora aquatica strain*) 是依赖于水环境的真菌<sup>[15]</sup>。

2.3 夏季遮阴处理对茶叶生化成分的影响

茶叶中，由于叶绿素含量不一样，所以茶叶的外观色泽和汤色都有着不同。茶叶中的叶绿素，其合成的客观因素是太阳光线。采取遮阴的方法，可以阻挡一部分的光线照射，使茶叶较小受到太阳光线的作用，可以促使茶叶中叶绿素含量的增加。从表 5 可知，经过遮阴处理的茶叶和不遮阴处理的茶叶中叶绿素 a 和叶绿素 b 以及叶绿素总量均有显著增加。同时遮阴后茶叶中的氨基酸含量增加显著，超过不遮阴处理组 33.16%，可见夏季短暂遮阴有利于



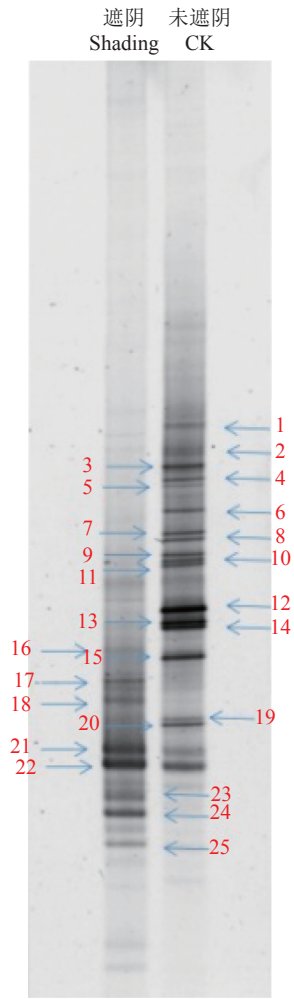


图 1 茶园 AM 真菌 DGGE 图谱

Fig. 1 DGGE banding patterns of arbuscular mycorrhizal fungi in plantation soils

表 3 茶园土壤 AM 真菌 DGGE 条带  
香农指数、均匀度及丰度

Table 3 Shannon index, richness, and evenness of plantation soils based on DGGE bands

| 处理<br>Treatment | 香农指数<br>Shannon-Wiener | 均匀度指数<br>Simpson's index | 丰富度<br>Richness |
|-----------------|------------------------|--------------------------|-----------------|
| 遮阴 Shading      | 2.06±0.11 b            | 0.99±0.01 a              | 8±1.20 b        |
| CK              | 2.93±0.24 a            | 0.99±0.02 a              | 19±1.57 a       |

氨基酸的积累。

茶汤的滋味浓度直接影响着茶叶品质的优次，通常认为决定茶汤滋味的主体成分是茶多酚，而这种影响是由于茶多酚和氨基酸的总量及组成比例的关系所决定的。由表 5 可知，未经过遮阴处理的茶叶中茶多酚类物质含量较经过遮阴处理的茶叶含量高，对酚氨比计算结果表明遮阴茶园中茶叶酚氨比显著小于非遮阴茶园模式，说明遮阴茶园的茶叶较对照处理茶叶味更浓而鲜爽。另外未遮阴茶叶中咖啡碱含量低于经过遮阴处理的茶叶。

### 3 讨论与结论

土壤有机质是土壤肥力的重要特征，是影响土壤理化、供肥保肥能力和养分有效性等的关键因子<sup>[16]</sup>。遮阴茶园土壤有机质含量远高于未遮阴的土壤，且遮阴处理后土壤水解氮、全氮、全磷、有效磷等主要矿质营养元素含量均显著高于未遮阴的土壤。以往研究也发现遮阴有利于有机物的积累，同时土壤有效态氮、磷、钾含量增加<sup>[17]</sup>，与本研究结果类似。在夏季高温对茶园进行遮阴处理，不光改善茶园空气温湿度，同时还明显影响茶园不同土层土壤温湿度，较低的温度缓解了土壤有机质的分解和茶树的呼吸消耗，有利于物质的积累<sup>[18]</sup>。

土壤 pH 值与土壤肥力、微生物活性以及植物生长等密切相关。土壤有机质是缓解酸性土壤 pH 主要的影响因子之一<sup>[19]</sup>，研究表明土壤有机质含量增加，可以有效缓解土壤酸化趋势<sup>[20]</sup>。

本研究表明，夏季遮阴使土壤 pH 值升高，这可能与遮阴后土壤有机质含量升高有关。茶园最佳 pH 应当在 4.5~5.5 的范围，土壤酸化易造成土壤肥力下降，重金属含量增加，从而影响茶树生长发育<sup>[21-22]</sup>。本试验中茶园遮阴处理时间为每年最热的 5 个月，在此时间内，遮阴处理使土壤 pH 上升到 4.5，有助于缓解茶园土壤酸化问题。

茶园根际土壤 AM 真菌是一个复杂的有机体。遮阴茶园土壤 AM 真菌指数和丰富度都低于未遮阴茶园，这些结果表明夏季遮阴处理反而降低茶园土壤样品的 AM 真菌丰富度及多样性，说明人为长期遮阴可能反而影响茶园土壤 AM 真菌多样性，目前有关人为遮阴对土壤 AM 真菌多样性影响研究资料较少。在对高寒草甸退化指示物种黄帚橐吾的菌根生态学研究以及其他植物群落研究发现<sup>[23]</sup>，长期遮阴降低了根内 AM 真菌的物种丰富度，遮阴可弱化黄帚橐吾与 AM 真菌的共生关系，从而影响 AM 真菌的丰富和好多多样性等。另外研究发现遮阴情况下接种 AMF 可以改变茶树的生长环境并提高茶叶品质<sup>[24]</sup>，但目前尚不清楚单纯遮阴对茶园丛枝菌根多样性的影响机制。同时本试验中出现了水生子囊菌（*Distoseptispora aquatica* strain）等依赖于水环境的真菌，可能与遮阴处理后茶园土壤环境湿度增加有关，另外也可能与本试验中 AMF 引物的特异性不强有关。进一步试验需要选择特有性更强的引物。

绿茶最主要的品质要素是色泽和滋味。经过遮阴处理的茶叶叶绿素总量显著增加。由此可见茶园遮阴有利于茶叶中叶绿素的合成，有利于绿茶“三

表 4 茶园土壤 AM 真菌 DGGE 条带序列对比  
Table 4 Sequences of arbuscular mycorrhizal fungi DGGE bands in plantation soil

| 条带<br>Band No. | 相似菌株<br>Similar strain                        | 相似性<br>Similarity/% | 登录号<br>Accession number |
|----------------|-----------------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| 1              | <i>Fuscheria uluruensis</i>                   | 94.89               | KF733753.1              |
| 2              | 球囊菌属真菌 <i>Glomeromycotina</i> sp.             | 100.00              | MG829430.1              |
| 3              | 未培养的球囊霉属真菌 <i>Uncultured Glomus</i>           | 99.15               | JN644353.1              |
| 4              | 未培养的球囊霉属真菌 <i>Uncultured Glomus</i>           | 100.00              | JN644353.1              |
| 5              | 未培养的球囊霉属真菌 <i>Uncultured Glomus</i>           | 99.15               | AB695035.1              |
| 6              | 未培养的球囊霉属真菌 <i>Uncultured Glomus</i>           | 99.57               | JN644349.1              |
| 7              | 未培养的球囊霉属真菌 <i>Uncultured Glomus</i>           | 100.00              | GU353685.1              |
| 8              | 未培养的球囊霉属真菌 <i>Uncultured Glomus</i>           | 99.15               | KP238340.1              |
| 9              | 未培养的球囊霉属真菌 <i>Uncultured Glomus</i>           | 99.15               | GQ140612.1              |
| 10             | 未培养的球囊霉属真菌 <i>Uncultured Glomus</i>           | 99.57               | KP238340.1              |
| 11             | 未培养的球囊霉属真菌 <i>Uncultured Glomus</i>           | 99.15               | JN644353.1              |
| 12             | 球囊菌亚门真菌 <i>Glomeromycotina</i> sp.            | 100.00              | MG829430.1              |
| 13             | 未培养的球囊霉属真菌 <i>Uncultured Glomus</i>           | 100.00              | AB695035.1              |
| 14             | 未培养的球囊霉属真菌 <i>Uncultured Glomus</i>           | 98.29               | DQ510942.1              |
| 15             | 未培养的球囊霉属真菌 <i>Uncultured Glomus</i>           | 99.57               | KP238340.1              |
| 16             | 未培养的球囊霉属真菌 <i>Uncultured Glomus</i>           | 96.58               | KU359437.1              |
| 17             | 被孢霉菌属真菌 <i>Mortierella</i> sp.                | 100.00              | MK123406.1              |
| 18             | 被孢霉菌属真菌 <i>Mortierella</i> sp.                | 99.57               | MK123406.1              |
| 19             | 未培养的球囊霉门真菌 <i>Uncultured Glomeromycota</i>    | 100.00              | KF745197.1              |
| 20             | 未培养的真菌 <i>Uncultured fungus</i>               | 99.57               | KU359465.1              |
| 21             | 被孢霉菌属真菌 <i>Mortierella</i> sp.                | 99.57               | MK123406.1              |
| 22             | 未培养的真菌 <i>Uncultured fungus</i>               | 100.00              | KU359465.1              |
| 23             | 水生子囊菌 <i>Distoseptispora aquatica</i> strain  | 99.57               | MK828314.1              |
| 24             | 淡红丛枝珊瑚菌 <i>Ramaria rubella</i>                | 96.57               | AY707095.1              |
| 25             | 未培养近微孢虫菌 <i>Uncultured Paramicrosporidium</i> | 100.00              | KP137393.1              |

表 5 不同遮阴处理下茶叶主要内含物质含量  
Table 5 Effect of shading on chemical composition of tea

| 处理<br>Treatment                                     | CK           | 遮阴<br>Shading |
|-----------------------------------------------------|--------------|---------------|
| 叶绿素a Chlorophyll a/ (mg·g <sup>-1</sup> )           | 2.06±0.24 b  | 2.79±0.01 a   |
| 叶绿素b Chlorophyll b/ (mg·g <sup>-1</sup> )           | 0.69±0.07 b  | 1.23±0.06 a   |
| 叶绿素总量 Total Chlorophyll/ (mg·g <sup>-1</sup> )      | 2.75± 0.02 b | 4.02±0.07 a   |
| 总氨基酸 Total amino acid/%                             | 1.96±0.05 b  | 2.61±0.05 a   |
| 茶多酚 Tea polyphenols/%                               | 14.32±0.01 a | 12.83±0.03 b  |
| 酚氨比<br>The ratios of tea poly phenol and amino acid | 7.31±0.02 a  | 4.92±0.03 b   |
| 咖啡碱 Caffeine/%                                      | 1.61±0.01 b  | 2.13±0.0 a    |

同行不同字母表示在0.05水平上的差异显著性。  
Data with different letters on same column indicate significant difference at P<0.05.

绿”(外形色泽绿、汤色绿、叶底绿)品质的形成<sup>[6]</sup>,提高茶叶的质量。形成茶汤鲜爽滋味的主要成分是氨基酸,该成分对组成绿茶滋味具有重要作用,同

时能缓解绿茶的苦涩味,增强其甜味,对茶叶天然香气的形成也起重要作用<sup>[25]</sup>。茶园中适度的遮阴可以使茶叶中的咖啡碱含量上升,茶多酚含量下降<sup>[4]</sup>,本研究中存在同样的变化趋势。研究发现夏季适度遮阴,可以改变茶园中光、温、湿等环境条件,会使氮代谢加强,有利于茶树新梢中氨基酸的积累<sup>[6]</sup>;另一方面使茶树呼吸代谢和酶系统活性减弱,抑制茶多酚合成,使茶多酚含量下降。由此茶叶中多酚类化合物含量下降,氨基酸总量增加,从而使酚氨比变小,绿茶苦涩味减少,使茶汤鲜爽,并具有较高香气<sup>[26]</sup>。本试验中遮阴茶园中茶叶氨基酸含量较对照高,酚氨比较对照低,茶叶品质比对照优良,与文献报道类似<sup>[27]</sup>。

在长期发展中,茶树形成了喜温、喜湿、喜阴和喜漫射光的特性。夏暑季节实施遮阴,缩短了温湿度日较差,从而改善茶园环境条件,避免连续的高温干热天气对茶树造成的热害和旱害。适度遮阴可以促进茶树光合作用的进行,有利于积累有机

物;通过遮阴,可以增加茶叶中叶绿素和氨基酸的含量,减少茶多酚含量,从而提高茶叶的品质。在实际生产中,遮阴技术这一农艺措施简便易行,特别对夏秋茶园土壤性质以及夏茶的品质有明显的改善作用,可以进一步推广应用于生产中。但茶园土壤 AM 真菌多样性有下降趋势,有关遮阴对茶园 AM 真菌影响趋势值得进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] SHARMA D, KAYANG H. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi (amf) on *Camellia sinensis* (L.) o. kuntze under greenhouse conditions [J]. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 2017, 5 (2): 235-241.
- [2] 秦志敏, 付晓青, 肖润林, 等. 不同颜色遮阳网遮光对丘陵茶园夏秋茶和春茶产量及主要生化成分的影响 [J]. *生态学报*, 2011, 31 (16): 4509-4516.  
QIN Z M, FU X Q, XIAO R L, et al. Effects of colour shading on the yield and main biochemical components of summer-autumn tea and spring tea in a hilly tea field [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31 (16): 4509-4516. (in Chinese)
- [3] 田月月, 张丽霞, 张正群, 等. 夏秋季遮光对山东黄金芽茶树生理生化特性的影响 [J]. *应用生态学报*, 2017, 28 (3): 789-796.  
TIAN Y Y, ZHANG L X, ZHANG Z Q, et al. Effects of shading in summer and autumn on physiological and biochemical characteristics of 'Huangjinya' in Shandong Province, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28 (3): 789-796. (in Chinese)
- [4] WANG Y S, GAO L P, SHAN Y, et al. Influence of shade on flavonoid biosynthesis in tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) [J]. *Scientia Horticulturae*, 2012, 141: 7-16.
- [5] KU K M, CHOI J N, KIM J, et al. Metabolomics analysis reveals the compositional differences of shade grown tea (*Camellia sinensis* L.) [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58 (1): 418-426.
- [6] 舒华, 王盈峰, 张士康, 等. 遮荫对茶树新梢叶绿素及其生物合成前体的影响 [J]. *茶叶科学*, 2012, 32 (2): 115-121.  
SHU H, WANG Y F, ZHANG S K, et al. Effect of light-shading on accumulation of chlorophylls and their precursors in tea shoots [J]. *Journal of Tea Science*, 2012, 32 (2): 115-121. (in Chinese)
- [7] UJIHARA T, HAYASHI N, IKEZAKI H. Objective evaluation of astringent and umami taste intensities of matcha using a taste sensor system [J]. *Food Science and Technology Research*, 2013, 19 (6): 1099-1105.
- [8] SHAO Y D, ZHANG D J, HU X C, et al. Mycorrhiza-induced changes in root growth and nutrient absorption of tea plants [J]. *Plant, Soil and Environment*, 2018, 64 (No.6): 283-289.
- [9] MICKAN B S, ABBOTT L K, STEFANOVA K, et al. Interactions between biochar and mycorrhizal fungi in a water-stressed agricultural soil [J]. *Mycorrhiza*, 2016, 26 (6): 565-574.
- [10] SÄLE V, AGUILERA P, LACZKO E, et al. Impact of conservation tillage and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2015, 84: 38-52.
- [11] 赵艳, 胡桂萍, 宋凤琴, 等. 茶园根际土壤细菌群落结构及多样性 [J]. *生物安全学报*, 2013, 22 (3): 187-195.  
ZHAO Y, HU G P, SONG F Q, et al. Structure and diversity of bacterial communities in the rhizosphere soil of tea plantations [J]. *Journal of Biosafety*, 2013, 22 (3): 187-195. (in Chinese)
- [12] 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.
- [13] 贺学礼, 耿晓进, 赵丽莉, 等. 金银花根围AM真菌多样性的季节性变化研究 [J]. *生态环境学报*, 2013, 22 (1): 90-94.  
HE X L, GENG X J, ZHAO L L, et al. Seasonal variation of AM fungal diversity in the rhizosphere of *Lonicera japonica* [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2013, 22 (1): 90-94. (in Chinese)
- [14] 向芬, 李维, 刘红艳, 等. 茶叶叶绿素测定方法的比较研究 [J]. *茶叶通讯*, 2016, 43 (4): 37-40.  
XIANG F, LI W, LIU H Y, et al. Comparison methods of chlorophyll extraction in *Camellia sinensis* [J]. *Journal of Tea Communication*, 2016, 43 (4): 37-40. (in Chinese)
- [15] HU D M, LIU F, CAI L. Biodiversity of aquatic fungi in China [J]. *Mycology*, 2013, 4 (3): 125-168.
- [16] 霍颖, 张杰, 王美超, 等. 梨园行间种草对土壤有机质和矿质元素变化及相互关系的影响 [J]. *中国农业科学*, 2011, 44 (7): 1415-1424.  
HUO Y, ZHANG J, WANG M C, et al. Effects of inter-row planting grasses on variations and relationships of soil organic matter and soil nutrients in pear orchard [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44 (7): 1415-1424. (in Chinese)
- [17] 段建真, 郭素英. 遮荫与覆盖对茶园生态环境的影响 [J]. *安徽农学院学报*, 1992, 19 (3): 189-195.  
DUAN J Z, GUO S Y. Effect of shading and covering on the ecological environment of tea garden [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 1992, 19 (3): 189-195. (in Chinese)
- [18] 付晓青, 陈佩, 秦志敏, 等. 遮荫处理对丘陵茶园生态环境及茶树气体交换的影响 [J]. *中国农学通报*, 2011, 27 (8): 40-46.  
FU X Q, CHEN P, QIN Z M, et al. Effects of shading on eco-environment and leaf gas exchange of tea in hilly tea plantation [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27 (8): 40-46. (in Chinese)
- [19] 汪吉东, 戚冰洁, 张永春, 等. 长期施肥对砂壤质石灰性潮土土壤酸碱缓冲体系的影响 [J]. *应用生态学报*, 2012, 23 (4): 1031-1036.  
WANG J D, QI B J, ZHANG Y C, et al. Effects of long-term fertilization on pH buffer system of sandy loam calcareous fluvo-aquic soil [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23 (4): 1031-1036. (in Chinese)
- [20] 苏有健, 王辉军, 张永利, 等. 不同植茶年限茶园土壤pH缓冲容量 [J]. *应用生态学报*, 2014, 25 (10): 2914-2918.  
SU Y J, WANG Y J, ZHANG Y L, et al. Soil pH buffer capacity of tea garden with different planting years [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25 (10): 2914-2918. (in Chinese)
- [21] 樊战辉, 唐小军, 郑丹, 等. 茶园土壤酸化成因及改良措施研究和展

- 望[J]. *茶叶科学*, 2020, 40 (1): 15–25.
- FAN Z H, TANG X J, ZHENG D, et al. Study and prospect of soil acidification causes and improvement measures in tea plantation [J]. *Journal of Tea Science*, 2020, 40 (1): 15–25. (in Chinese)
- [22] 李昌娟, 杨文浩, 周碧青, 等. 生物炭基肥对酸化茶园土壤养分及茶叶产质量的影响 [J]. *土壤通报*, 2021, 52 (2): 387–397.
- LI C J, YANG W H, ZHOU B Q, et al. Effects of biochar based fertilizer on soil nutrients, tea output and quality in an acidified tea field [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2021, 52 (2): 387–397. (in Chinese)
- [23] 石国玺. 高寒草甸退化指示物种黄帚橐吾的菌根生态学研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2014.
- SHI G X. *Arbuscular mycorrhizal ecology of an indicator species of vegetation degradation, Ligularia virgaurea, in alpine meadow ecosystems*[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2014. (in Chinese)
- [24] SUN M F, YUAN D, HU X C, et al. Effects of mycorrhizal fungi on plant growth, nutrient absorption and phytohormones levels in tea under shading condition [J]. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2020, 48 (4): 2006–2020.
- [25] FENG L, GAO M J, HOU R Y, et al. Determination of quality constituents in the young leaves of albino tea cultivars [J]. *Food Chemistry*, 2014, 155: 98–104.
- [26] ZHANG Q F, LIU M Y, MUMM R, et al. Metabolomics reveals the within-plant spatial effects of shading on tea plants [J]. *Tree Physiology*, 2020, 41 (2): 317–330.
- [27] 秦志敏, John Tanui, 冯卫英, 等. 遮光对丘陵茶园茶叶产量指标和内含生化成分的影响 [J]. *南京农业大学学报*, 2011, 34 (5): 47–52.
- QIN Z M, TANUI J, FENG W Y, et al. Effects of shading on yield index and biochemical components of tea in hilly tea plantation [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2011, 34 (5): 47–52. (in Chinese)

(责任编辑: 于洪杰)