 DOI: https://doi.org/10.12349/rwae.v7i2.10843

Study on Changes of Soil Microbial Community Structure under Continuous Cultivation Obstacles in Tea Gardens

Xiaoyan Chen[1] Yingwu Li[2] Xiaohong Guo[2]

1. Zhangzhou Sanju Biotechnology Co., Ltd., Zhangzhou, Fujian, 363600, China
2. Fujian Provincial Engineering Technology Research Center for Biofertilizer Enterprises, Zhangzhou, Fujian, 363600, China

Abstract

Continuous cropping obstacles in tea gardens pose a critical challenge to the sustainable development of the tea industry. Soil microbial communities, as the most essential components of soil ecosystems, exhibit significant structural changes that are closely associated with the formation of cropping obstacles. This study analyzed soil bacterial and fungal community composition, diversity, and dominant species variations through high-throughput sequencing across tea gardens with different cropping years. The research investigates the temporal patterns of soil microbial community structure under continuous cropping conditions, revealing the intrinsic relationship between microbial community imbalance and cropping obstacles. The findings provide data support for elucidating the microecological mechanisms underlying tea garden cropping obstacles and offer insights for regulating soil microorganisms to mitigate such challenges.

Keywords

tea garden; continuous cropping obstacle; soil microorganisms; community structure; microecological mechanism

茶园连作障碍下土壤微生物群落结构变化研究

陈晓燕[1] 李英武[1] 郭小红[2]

1. 漳州三炬生物技术有限公司，中国 · 福建 漳州 363600
2. 福建省生物肥料企业工程技术研究中心，中国 · 福建 漳州 363600

摘 要

茶园连作障碍问题是茶产业可持续发展面临的关键问题，而土壤微生物群落是土壤生态系统中最核心的构成要素，土壤微生物群落结构变化与其连作障碍的形成有着密切的关系。该研究选取不同连作年限茶园土壤，通过高通量测序对土壤中细菌和真菌群落组成，多样性和优势种群的变化特征进行了分析，探讨土壤微生物群落结构受连作年限的变化规律，揭示茶园微生物群落结构不平衡与连作障碍之间的内在联系。研究结果对解析茶园连作障碍微生态机制提供数据支持，同时为调节土壤微生物减轻连作障碍提供数据支持。

关键词

茶园；连作障碍；土壤微生物；群落结构；微生态机制

1 引言

茶树作为多年生常绿木本植物其连作种植模式是我国茶区普遍采用的种植模式，长时间的连作容易诱发土壤理化性质的退化和土传病害的频繁发生，茶树生长衰弱及其他连作障碍严重地影响了茶叶的产量和质量。土壤微生物群落是土壤物质循环，养分转化和病害防控的重要参与者，土壤微生物群落结构的稳定性直接决定了土壤生态功能的发挥，该研究基于土壤微生物生态学的视角，本文通过对连作年限不同时茶园土壤中微生物群落特征分析，发掘连作障碍条件下茶园微生态系统演化规律，以期对茶园连作障碍生态调控研究提供一种新的研究理念和实践方向。

【课题项目】茶树专用微生物肥料的开发与应用，项目编号：2024l1007。

【作者简介】陈晓燕（1968–），女，中国湖南长沙人，硕士，高级工程师，从事农业推广研究。

2 茶园连作障碍的表现及成因

在福建地区茶园连作过程中，长期间植会出现一系列生长问题，表现在生长势变弱，新梢萌发缓慢，产量一般随连作年限增加而下降，据实际检测达 10%~25%。在品质方面，茶多酚、氨基酸等主要品质指标超出适宜范围，同时土壤传播的疾病发生严重，根腐、炭疽病等比新植园发生严重，达 30% 以上，土壤保水保肥能力下降，原因较为综合的，比如长时间连作，土壤理化性状变化，PH 平均每年降低 0.1~0.2，酸化倾向，速效磷钾养分不平衡积累，有效氮比例降低等，均可导致连作障碍 [1]。

3 茶园连作障碍下土壤微生物群落结构变化的特点

3.1 群落多样性梯度性降低

随着茶园连续种植的年数的增长，土壤微生物群落的多样性呈现出明显的梯度性下降。根据福建地区测序数据揭示，连续种植 5 年、10 年和 15 年的茶园土壤微生物 OTU 数量相对于新种植的茶园分别下降了 12.3%、28.7% 和 41.5%，Shannon 指数按顺序下降了 0.52、1.18、1.86, 而 Simpson 指数则是同步上升的，同时群落的均匀性也在持续下降，在这之中，细菌群落的多样性减少的速度相对较慢，连续种植 15 年后下降了 38.2%，而真菌群落的下降幅度高达 45.7%，是导致群落多样性减少的主要原因 [2]。从门的角度分析，连续种植后，放线菌门、变形菌门等主导细菌的多样性下降了 32.1% 和 29.6%，而子囊菌门、担子菌门等真菌种类的多样性减少了超过 40%。这种梯度性的减少与连续种植导致的土壤酸化和化感物质的积聚有明显的正向关联（$P < 0.05$），并且随着连续种植的年数增加，土壤中的微生物对环境的适应性逐渐下降，群落结构稳定性与抗干扰性不断下降，并最终导致微生物群落结构单一化与脆弱化。

3.2 优势种群演替呈失衡性特征

茶园连作时土壤微生物优势种群逆向演替显著，表现为有益菌丰度降低和有害菌过多繁殖等不平衡性，其种群结构不平衡程度与其连作年限成正相关。在福建省内产茶区域细菌群落中，芽孢杆菌属和假单胞菌属等有益菌具有固氮、解磷和促生的功能，与新种植的茶园相比，连续种植 15 年后，其丰度分别下降了 62.5% 和 58.3%，而放线菌门的丰度也从 35.2% 减少到了 18.7%，但耐酸、耐化感物质、黄单胞菌属等有害细菌丰度增加了 3.2 倍 [2]。在真菌群落里，如木霉属和曲霉属这样的腐生型有益真菌的丰度下降了超过 50%，而导致土传疾病的致病真菌，如疫霉菌属和丝核菌属的丰度则分别增加了 4.5 倍和 3.8 倍，子囊菌门中腐生菌类群占比从 42.1% 降至 23.6%，寄生性类群占比从 15.3% 升至 38.7%。由于主导种群的不平衡演替，土壤微生物在物质循环和疾病预防等生态功能上都遭受了重大打击，连续种植 15 年的茶园土壤微生物分解有机物的效率下降了 39.2%，抑制细菌的活性减少了 56.7%，这成为了茶园连作障碍加重的主要微生态原因。

表 1: 优势种群演替呈失衡表现

微生物群落	有益菌丰度变化	有害菌丰度变化
细菌群落	芽孢杆菌属下降 62.5%，假单胞菌属下降 58.3%	耐酸、耐化感物质、黄单胞菌属增加 3.2 倍
真菌群落	木霉属和曲霉属下降超过 50%	疫霉菌属增加 4.5 倍，丝核菌属增加 3.8 倍
子囊菌门	腐生菌类群占比从 42.1% 降至 23.6%	寄生性类群占比从 15.3% 升至 38.7%

3.3 群落的功能转化表现为病理性减弱

茶园连作使土壤微生物群落结构和多样性发生变化，同时也诱发微生物生态功能病理性减弱，造成土壤生态系统自我调节能力不断下降，这一功能转化实质是群落优势种群演替不平衡的直接结果，体现在土壤自净能力，养分转化能力和抗病抑害能力系统性降低，并和连作年限呈显著正相关，受连作障碍长期推动，土壤微生物群落从“健康型的功能群”变为“失衡型的功能群”。原先参与有机质分解，氮磷循环和养分活化等关键功能微生物类群的活性和丰度显着萎缩，使土壤有机质矿化速率变缓、养分释放效率的下降直接限制茶树营养元素吸收和利用，具体表现在茶树长势衰弱，叶片黄化和生长缓慢等生理性障碍。同时，涉及土传病害控制的抑病型微生物群落结构被打破，对病原微生物竞争排斥能力明显减弱，是病原真菌、细菌的定殖和暴发为根际病害提供了宽广的生态位和进一步加重了根际病害发生的频度和为害程度，这种病理性弱化一旦形成，将在连作过程中不断自我强化，形成“功能衰退—环境恶化”的恶性循环，成为茶园连作障碍难突破的关键生态瓶颈和茶园产业可持续发展的重要制约因素。

4 茶园连作障碍下土壤微生物群落结构变化的应对措施

4.1 筛选施用本土有益微生物菌剂

调整和改善微生物群失衡是添加有效的本土微生物菌剂的关键技术措施，筛选出适合茶园土壤微生境的有益微生物是核心，应坚持 " 本土探索，高效适配，复合配伍 " 的原则，本研究以健康茶园根际土壤筛选芽孢杆菌、木霉菌、放线菌等作为高效有益菌，室内复配优化配置，构建出有效活菌数≥ 2.0×10^9 cfu · g-1 的复合菌剂。施用方式采用沟施和灌根相结合，亩用菌剂 20~30 kg，并以腐熟有机肥做载体，增加菌剂定殖率，连续应用 2~3 个生长季，土壤中有益菌的丰度可以增加 40%~60%，芽孢杆菌属、木霉属等有益菌的定殖率可超过 75%[3]。

4.2 改善土壤理化性质，调控微生境

为了解决连作茶园土壤酸化和养分失衡的问题，通过理化改良来调整微生境，为有益微生物的增殖创造适宜的条件。核心指标是将土壤 pH 值调整到 4.5~5.5 的茶树适宜范围，并将土壤有机质含量提高到 2.0% 以上，施用生石灰或者钙镁磷肥酸化改良后，亩施生石灰 50~80 kg 或者钙镁磷肥 80~100 kg 均能提高土壤 pH 值 0.5~0.8, 有效减少化感物质对生物的毒害，施用硅酸钾 20~30 kg 亩，促进土壤阳离子交换量达到 10~15 cmol · kg-1, 提高土壤保肥能力 [4]。

4.3 轮作间作优化茶园栽培模式

利用轮作间作模式对茶园耕作体系进行优化，突破连作单一化的微生态环境，筛选出与茶树不发生常见土传病害，能够改良土壤和促进有益微生物大量繁殖的农作物，建立合理种植结构，在进行轮作时，可以选择如紫云英和苕子这样的豆科作物，采用 2 年茶园与 1 年豆科作物的轮作模式，其中豆科作物的固氮量可以达到 150~200 kg/hm^2，这种方法可以使土壤中的有效氮含量增加 25%~30%，同时也能

刺激根瘤菌、芽孢杆菌等有益微生物的增长，与连作茶园相比，其丰度提高了 40%~50%[5]。在进行间作时，可以选择桂花树、杉木等宽叶乔木，并确保株与行之间的距离控制在 4m × 5m, 或者选择紫云英、油菜等植物作为间作，以确保覆盖度维持在 60% 至 70% 之间，这种方法可以使土壤中的有机物含量每年平均增加 0.2%~0.3%，同时土壤的温度变化范围减少 3~5° C, 湿度增加 10%~15%[6] 如图一所示。

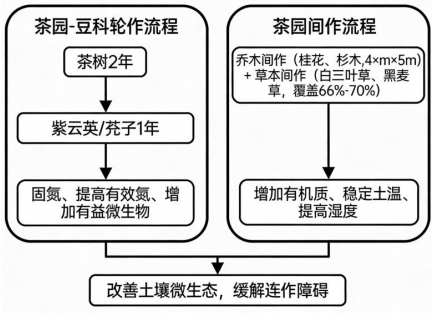


图 1: 轮作栽培模式

4.4 科学增施有机肥，培肥土壤菌群

正确施用成熟的有机肥，补充土壤中的有机物和养分，为土壤微生物提供和补充生长繁殖所需的营养元素，培养和优化土壤微生物群落，是提升土壤生物活性、改善土壤微生物群落结构的关键措施，在种植过程中，有机肥的施用量一般控制在每亩 2000~3000 kg，有机质含量不低于 45%，全氮含量不低于 2.0%，全磷含量不低于 1.5%，全钾含量不低于 1.0%，技术人员应优先选用茶园枯枝落叶、茶籽饼经堆肥腐熟的本土有机肥，牛羊粪、秸秆等复配堆肥腐熟，堆肥腐熟过程 c/n 比控制在 25:1~30:1，堆肥温度达 55~60° c，持续 7~10 d，杀灭病原菌和虫卵，分层施肥，表层施肥量为 30%，深层 (20~30 cm) 施肥量为 70%，使得土壤上层和下层的土壤微生物能够均匀分布 [7]。经过上述措施后，土壤有机质含量可提高 0.5~0.8 个百分点，土壤中的脲酶、蔗糖酶和磷酸酶活性分别提高 42%、38% 和 45%，为土壤微生物提供充足的养分，使土壤中有益微生物的总丰度提高 50%~65%，芽孢杆菌属等优势有益菌的丰度提高 60%~70%，微生物社群的生态功能恢复到 50% 以上，减少连作菌群减少的问题。同时可以与生物炭按照有机肥施用比例的多 ~ 少 ~ 多混合施用，所述生物炭的颗粒大小为 0.5~2 mm，可以提高土壤的保水保肥能力，通过延长有机肥中养分的释放周期 2~3 个月，可以进一步改善微生物生存环境，基于此，可以通过配施微生物肥料来达到肥力和菌群双提高的目的，有机肥和复合微生物菌剂以合适的配比配施，从而形成有机物料加功能菌群协同作用模式，微生物肥料可以对芽孢杆菌、假单胞菌、解磷解钾菌和固氮菌这些功能有益的菌株进行定向补充，提高土壤的抑菌，促生和激活养分的能力，并与有机肥相辅相成。施入土壤后能进一步提高微生物多样性、增强土壤自净和养分循环能力、减少土传病害的发生、不断保持土壤微生态平衡。这一举措不仅巩固了有机肥改土作用，还长效地支持了茶树的健康成长，达到了土壤地力和微生物群落协同改善的目的 [8] 如图二所示。

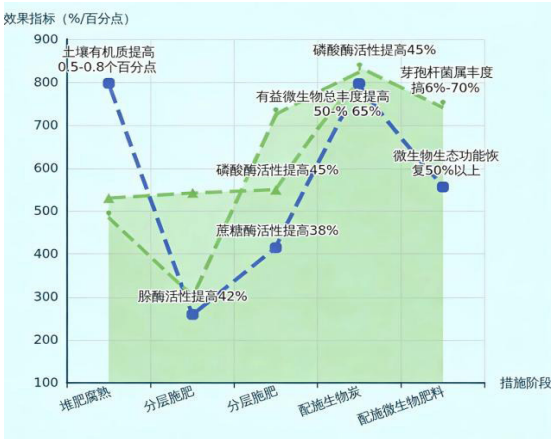


图 2 施肥变化情况

5 结语

研究阐明了茶园土壤细菌和真菌群落结构在不同连作年限下的变化特点，并确认长期连作可造成土壤微生物群落多样性下降和结构失衡，有益菌丰度降低和有害菌的大量繁殖是造成高茶园连作障碍的主要微生态原因之一。土壤理化性质劣化和化感物质累积共同推动微生物群落逆向演替。今后的研究可以进一步着眼于有益微生物筛选和定殖机制研究，并结合土壤改良和栽培模式优化，建立以微生物群落调节为核心的茶园连作障碍防治综合体系。该研究为茶园连作障碍微生态机制的深入解析打下基础，同时为促进茶产业的绿色和可持续发展，提供一种微生态调控的科学思路。

参考文献

[1] 宋久伟,蔡宇涵等.改良剂对镉铜污染土壤中微生物群落及氮循环功能的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2025,51(06):96-102.

[2] 朱利霞,陈雅琴等.木霉菌对土壤团聚体有机碳矿化的影响[J].云南农业大学学报(自然科学),2025,40(06):168-178.

[3] 田维强,冉海燕等.3种不同种植模式对土壤理化性质和微生物群落结构的影响[J].广东农业科学,2025,52(12):115-128.

[4] 周艳,黄卫红,方小毅,纪占华,朱德煌,张秋芳.有机管理种植模式驱动茶园土壤微生物群落重建与生态功能优化[J].亚热带资源与环境学报,2025,20(04):25-36.

[5] 赵晨,高士孔,赵杰,郝小军,高军军,呼天明,付娟娟.生物炭与氮肥配施对混播草地土壤微生物群落的影响[J].中国草地学报,2025,47(12):57-67.

[6] 李小兰.通江县山地茶园基于生态理念栽培管理技术[J].贵茶,2025(06):19-21.

[7] 特色果树茶叶种植与高值利用江西省重点实验室[J].蚕桑茶叶通讯,2025(06):41.

[8] 胡亮亮.经济作物种植中有机肥替代化肥的成本效益分析[J].世界热带农业信息,2025(12):24-26.