

不同生物刺激剂对草莓土壤真菌群落与功能的影响

林贤锐^{1*}, 孙 萍¹, 曹译文¹, 吴嘉颖¹, 陈辰斐², 沈建生^{1#}

¹金华市农业科学研究院, 浙江 金华

²金华花卉苗木产业研究院, 浙江 金华

收稿日期: 2025年3月11日; 录用日期: 2025年4月11日; 发布日期: 2025年4月17日

摘 要

本文以消毒后的草莓土壤为研究对象, 分析枯草芽孢杆菌、黄腐酸钾、聚谷氨酸等10种不同类型的生物刺激剂对草莓土壤真菌菌落及功能的影响。通过比较草莓生长初期、盛花期及盛果期三个不同发育阶段土壤属水平上真菌相对丰度、真菌菌落的变化以及土壤功能的预测, 结果表明不同生物刺激剂的施用, 可以有效降低土壤中有害菌群的丰富, 有利于土壤的恢复, 其中100 mg/L 20%聚谷氨酸这类外源生物刺激剂可以增加土壤中篮状菌属的丰度, 有助于土壤中有益菌群的增多, 有利于连作土壤的改良从而可以促进草莓的生长发育。

关键词

生物刺激剂, 土壤, 真菌

Effects of Different Biostimulants on Fungal Community and Function in Strawberry Soil

Xianrui Lin^{1*}, Ping Sun¹, Yiwen Cao¹, Jiaqi Wu¹, Chenfei Chen², Jiansheng Shen^{1#}

¹Jinhua Academy of Agricultural Sciences, Jinhua Zhejiang

²Jinhua Flower Seedling Industry Research Institute, Jinhua Zhejiang

Received: Mar. 11th, 2025; accepted: Apr. 11th, 2025; published: Apr. 17th, 2025

Abstract

In this paper, the sterilized strawberry soil was taken as the research object, and the effects of 10

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 林贤锐, 孙萍, 曹译文, 吴嘉颖, 陈辰斐, 沈建生. 不同生物刺激剂对草莓土壤真菌群落与功能的影响[J]. 农业科学, 2025, 15(4): 418-424. DOI: 10.12677/hjas.2025.154050

different types of biostimulants such as *Bacillus subtilis*, potassium fulvic acid and polyglutamic acid on the fungal colonies and functions of strawberry soil were analyzed. By comparing the relative abundance of fungi, the changes of fungal colonies and the prediction of soil function at the soil genus level in the early growth stage, flowering stage and fruit stage of strawberry, the results showed that the application of different biostimulants can effectively reduce the abundance of harmful bacteria in the soil, which is conducive to the recovery of the soil. The application of exogenous biostimulants such as 100 mg/L 20% polyglutamic acid can increase the abundance of basket-shaped bacteria in the soil, which is conducive to the increase of beneficial bacteria in the soil, which is conducive to the improvement of continuous cropping soil and can promote the growth and development of strawberry.

Keywords

Biostimulants, Soil, Fungi

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

草莓(*Fragaria × ananassa* Duch.)作为蔷薇科草莓属多年生草本植物, 在我国的种植规模与产量均已跃居世界前列[1]。然而, 受耕地资源限制及产业结构调整等因素影响, 草莓连作现象日益普遍, 由此引发的土壤养分失衡、理化性质恶化以及微生物群落结构改变等问题, 严重制约了草莓的产量与品质[2]。其中, 土壤理化性质的劣变、养分失调以及微生物群落结构的改变构成了连作障碍的核心问题[3], 这一现象已成为制约现代农业可持续发展的关键因素。

目前农户或者科技人员通过生物、化学、物理等多种方式进行草莓土壤的消毒[4]-[6], 但无论哪种消毒方式均会导致土壤中有益和有害生物均受到影响, 降低土壤微生物活性[7] [8]。低微生物活性的土壤是不稳定的生态系统, 易受其他微生物侵染。无论土壤环境的调节, 还是土壤养分转化、植物生长调节类物质的分泌以及植物的良好生长都需要平衡而稳定的土壤微生物区系的支撑[9]。因此, 消毒后的土壤微生物区系的迅速重构或恢复极其重要。

本文通过添加不同类型的外源生物刺激剂, 分析土壤中真菌群落结构及功能变化情况, 以期达到培育健康土壤的目的。

2. 材料与方法

2.1. 供试材料

试验在浙江省金华国家农科科技园区进行, 该土壤连续种植草莓 8 年, 2022 年 8 月初使用棉隆 20 kg/亩进行消毒, 并用塑料薄膜进行覆盖 35 天, 于 9 月下旬进行翻耕做畦, 于 9 月底进行草莓定植。定植成活以后, 在 10 月下旬进行试验处理。

2.2. 试验设计与方法

试验共设计 10 个处理, 不同处理用量是根据前期试验筛选的最佳浓度进行试验。分别是处理 1:200 亿 EM 菌 1000 mg/L; 处理 2:1000 亿枯草芽孢杆菌 1000 mg/L; 处理 3: 1000 亿解淀粉芽孢杆菌 1000 mg/L; 处理 4: 黄腐酸钾 1000 mg/L; 处理 5: 20%聚谷氨酸 100 mg/L; 处理 6: 壳寡糖 100 mg/L; 处理

7:100 亿嗜酸乳杆菌 400 mg/L; 处理 8: 100 亿多粘芽孢杆菌 400 mg/L; 处理 9:200 亿酵母菌 1000 mg/L; CK: 清水。以上处理每隔 7 天进行 1 次, 共处理 3 次。

处理完成后分别在草莓开花前期、盛花期、盛果期不同生育周期进行原状土和根际土壤取样。采用 5 点取样法, 采集土壤完全混匀, 采集方法参照《土壤农化分析》, 除去土壤表层未分解的凋落物层, 用已灭菌的铲去除表层 5 cm 的土壤, 再用烧灼过的铲取样 10~15 g, 装于无菌塑料封口袋内。将采集的样品标记后置于冰盒中带回实验室, 除去动植物残体、石砾等杂质, 将大块的样品捣碎, 过 2 mm 筛后, 分装至 50 mL 离心管中, 每个处理设 3 个平行样品, 立即用液氮速冻, 存放于-80℃的冰箱中。以用于提取土壤中微生物的 DNA 等后续指标测定。

DNA 提取、PCR 扩增和测序: 使用 TGuide S96 Magnetic Soil/Stool DNA kit (天根生物技术公司), 按照说明从 0.5 g 土壤样本中提取土壤总 DNA。ITS1F (5'-CTTGGTCATTTAGAGGAAGTAA-3')和 ITS2 (5'-GCTGCGTTCTTCATCGATGC-3')引物用于扩增真菌 ITS 序列。对扩增产物进行纯化、定量、均一化形成测序文库。质检后的测序文库使用 Illumina Novaseq 6000 (北京诺禾致源科技有限公司)进行测序。

2.3. 生物信息学分析

使用 FLASH v1.2.11 对测序数据进行处理, 以获得 tag。使用 UPARSE v10.0 将 tag 聚类为相同的操作分类单元(OTU), 阈值为 97%, 并过滤相对丰度小于 0.005%的 OTU。真菌 OTU 的分类注释在 QIIME2 平台使用 Unite 8.0 数据库(置信度阈值为 70%)进行。使用 UCHIME v4.2.40 舍弃将 OTU 鉴定为嵌合体的部分。依据序列物种分类学注释的结果, 统计不同处理不同时期的物种注释结果中属水平的相对丰度。并利用 Fungi + Functional + Guild (FUNGuild)预测真菌的功能。

3. 结果与分析

3.1. 不同处理对草莓不同时期真菌菌落的影响

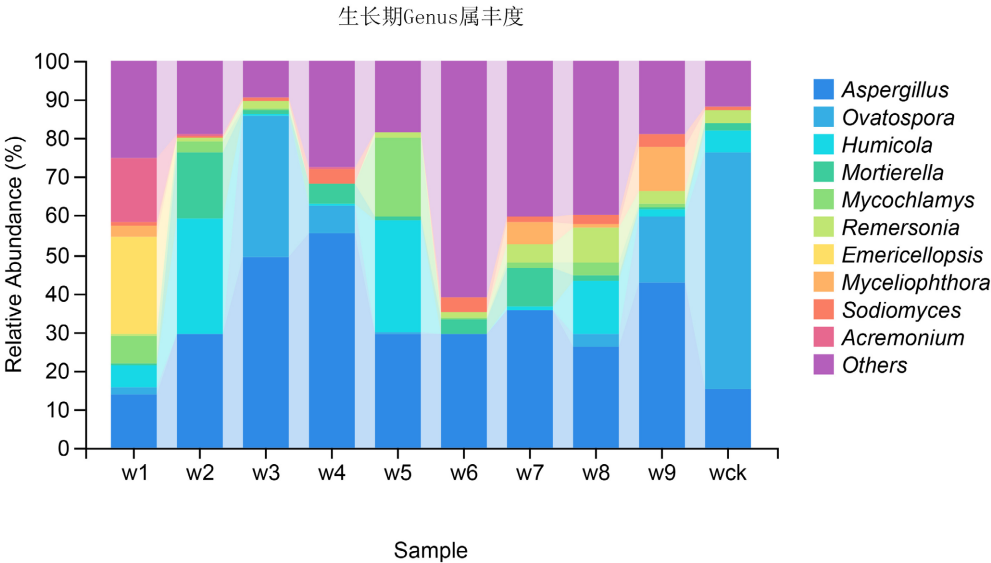


Figure 1. Effects of different treatments on the abundance of fungi in the early growth stage of strawberry
图 1. 不同处理对草莓生长前期真菌属水平丰度的影响

本研究对草莓生长前期土壤中不同真菌属水平进行分类(如图 1), 在属水平对丰度前 10 进行分类, 主要包括曲霉属、卵孢子菌、腐质霉属、被孢霉属、Mycochlamys、酵母属、翅孢壳霉属、毁丝霉属、

Sodiomyces、顶孢霉属。进一步分析发现,处理 9 和处理 4 土壤中主要的优势真菌属为曲霉属。处理 1 中与对照组清水相比,翅孢壳霉属和顶孢霉属是土壤中优势真菌菌属。卵孢子菌和被孢霉属是处理 2 土壤中的优势真菌。而处理 3 的土壤中曲霉属和卵孢子菌丰度较高。与对照组相比,处理 5 的土壤在草莓生长期土壤中大孢子菌丰度显著升高。

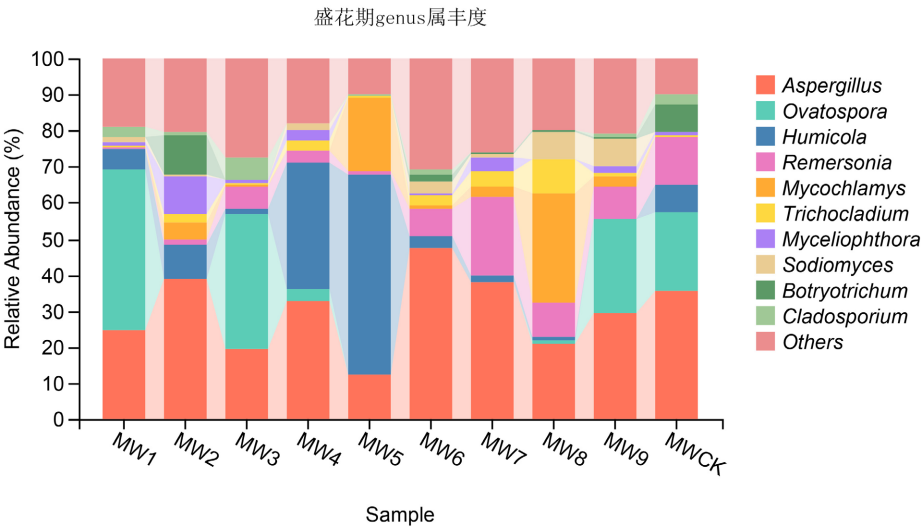


Figure 2. Effects of different treatments on the abundance of fungi at the flowering stage of strawberry
图 2. 不同处理对草莓盛花期真菌属水平丰度的影响

本研究对盛花期土壤中真菌属丰度进行分类探究(如图 2)。曲霉属、卵孢子菌、腐质霉属、酵母属、大孢子菌、短梗蠕孢属、毁丝霉属、Sodiomyces、毛匍孢霉、枝孢菌属是所有处理中优势菌门。卵孢子菌在处理 1 和处理 3 土壤中相比于对照组清水丰度显著增加,但是在处理 2、处理 5、处理 6、处理 7 和处理 8 土壤中显著减少。在处理 4 和处理 5 中腐质霉属与清水对照组相比显著增加;而处理 6 盛花期草莓土壤中曲霉属类真菌丰度显著高于其他微生物菌剂处理土壤;在处理 8 处理土壤中短梗蠕孢属在所有处理中丰度最高。

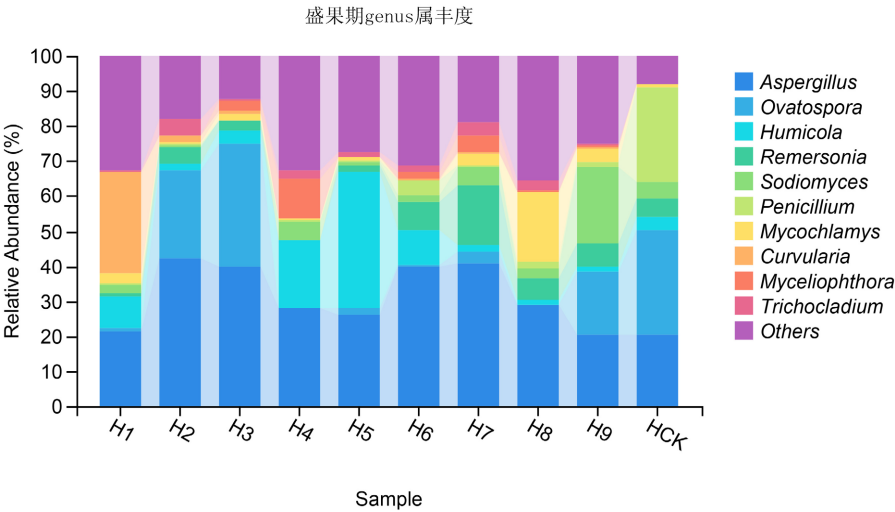


Figure 3. Effects of different treatments on the abundance of fungi in strawberry fruit stage
图 3. 不同处理对草莓盛果期真菌属水平丰度的影响

本研究进一步对草莓盛果期土壤中真菌属水平进行分析(如图 3), 研究表明与清水对照组相比, 处理 1 中弯孢属和腐质霉属丰度显著增加; 在施用清水的草莓盛果期土壤中青霉属和卵孢子菌丰度较高, 但是在其他处理中青霉属丰度较低。在处理 2 和处理 3 土壤中青霉属丰度显著增加; 毁丝霉属在处理 4 土壤中丰度增加, 而腐质霉属是处理 5 中优势菌属。处理 6、处理 7 和处理 8 土壤中曲霉属真菌丰度高于清水对照组。

3.2. 不同处理对草莓不同生育期土壤中真菌变化情况的影响

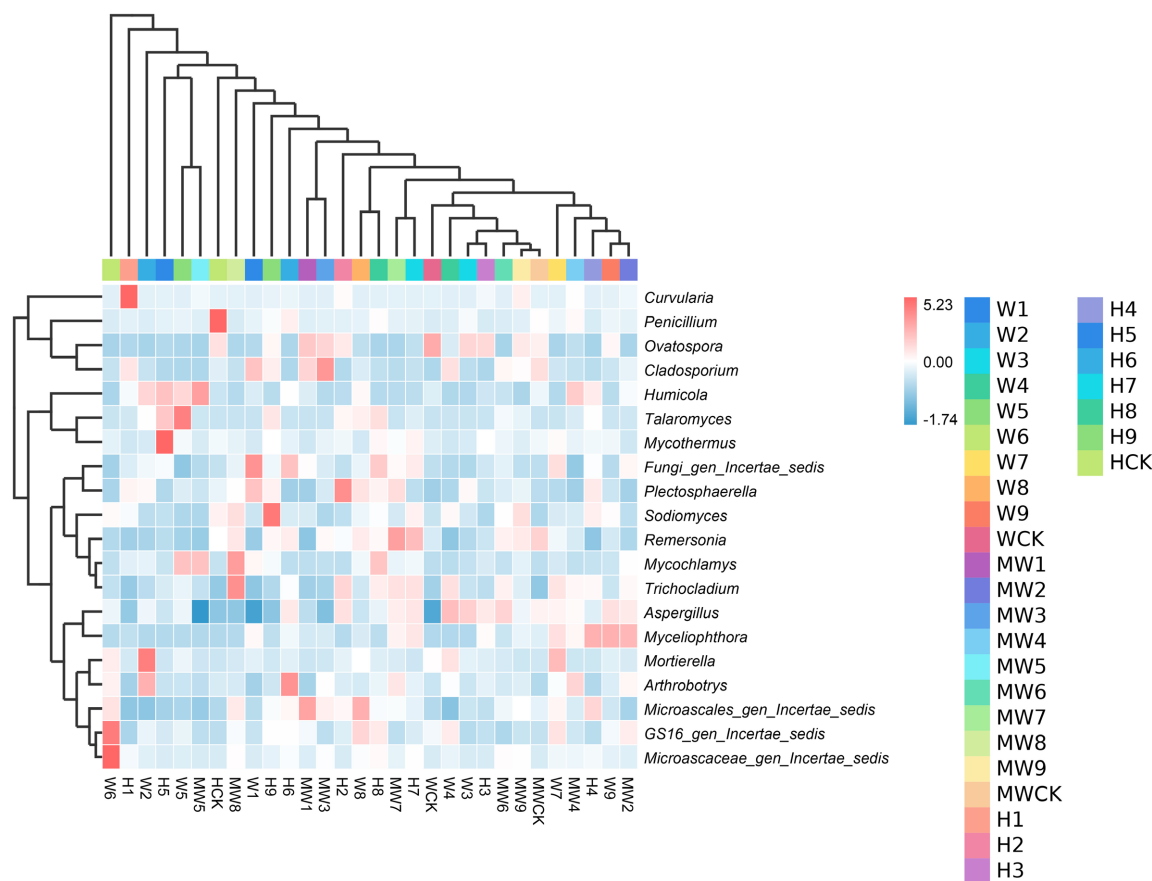


Figure 4. Effects of different treatments on the changes of fungi in soil at different growth stages of strawberry
图 4. 不同处理对草莓不同生育期土壤中真菌变化情况的影响

为了研究施用不同微生物菌剂在草莓生长期、盛花期和盛果期中土壤真菌变化情况, 取真菌物种丰度前 20 绘制相对丰度热图进行分析(如图 4), 结果表明大孢子菌和篮状菌属是草莓生长前期处理 5 微生物菌剂中的优势菌属; 被孢菌属在草莓生长前期处理 2 的土壤中显著富集; 在处理 6 草莓生长前期土壤中小囊菌科含量相对较高。在草莓盛花期和盛果期土壤中真菌菌属的丰度相较于刚施用不同微生物菌剂的草莓生长期土壤中真菌菌属丰度下降。

3.3. 不同处理对草莓不同生育期土壤功能的影响

为了解施用不同微生物菌剂对土壤功能方面产生的影响, 本研究对不同处理中土壤菌群所具备的潜在功能进行分析(如图 5)。通过对微生物潜在功能统计后, 结果显示土壤中微生物潜在功能主要集中在生物合成、降解/利用/同化、前体代谢物和能量的产生、糖蛋白途径和新陈代谢集群等方面。其中在生物合

成方面，主要集中在核苷和核苷酸的生物合成；在前体代谢和能量产生方面主要集中在电子传递和呼吸作用。

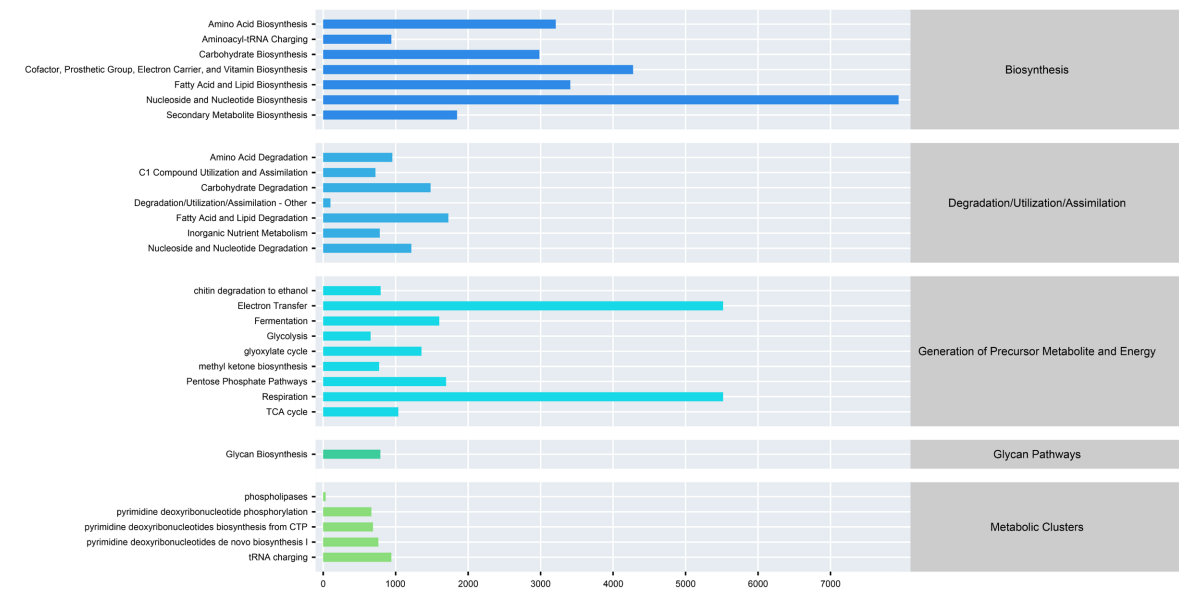


Figure 5. Effects of different treatments on soil function of strawberry at different growth stages
图 5. 不同处理对草莓不同生育期土壤功能的影响

4. 结论与讨论

通过分析种植草莓后施用 9 种不同微生物菌剂土壤中真菌丰度和潜在功能，本研究认为施用 1000 mg/L 200 亿 EM 菌和施用 1000 mg/L 1000 亿枯草芽孢杆菌后土壤中的优势真菌为卵孢子菌，可分为疫霉、霜霉和腐霉等，几乎可以为害所有种植的蔬菜，因其发病快、破坏性强、传播迅速等特点，防治难度极大，给农业生产造成严重威胁。在施用 1000 mg/L 1000 亿解淀粉芽孢杆菌土壤中青霉属丰度显著增加，青霉菌是致病菌，会导致草莓果实腐烂。短梗蠕孢属是引起褐斑病、叶枯病等病害的主要真菌，在施用 100 亿多粘芽孢杆菌盛花期草莓土壤中丰度显著增加，不适宜作为外源生物刺激剂；篮状菌属是草莓生长前期施用 100 mg/L 20%聚谷氨酸微生物菌剂中的优势菌属，经研究表明，篮状菌属能帮助植物对抗病原菌[10]，有学者从韩国完全开裂的人参种皮上分离到黄色篮状菌发现其对植物真菌病原菌如人参锈腐病菌，尖孢镰刀菌，人参立枯病菌，人参灰霉病菌等都有拮抗作用，另外，篮状菌属是能合成降解木质纤维素的酶，与化学水解木质纤维素相比，微生物处理的方法能耗更低，反应条件温和，对环境没有污染。

综上所述，不同生物刺激剂的施用，可以有效降低土壤有害菌群的丰富，有利于土壤的恢复，其中 100 mg/L 20%聚谷氨酸这类外源生物刺激剂可以增加土壤中篮状菌属的丰度，有助于土壤中有益菌群的增多，有利于连作土壤的改良从而可以促进草莓的生长发育。

基金项目

金华市科技计划项目(2021-2-013)。

参考文献

[1] 李霞. 设施草莓连作障碍的成因及防治对策[J]. 种子科技, 2016, 34(9): 100-101.
[2] 曹丹, 凤舞剑, 白耀博. 不同施肥处理对连作草莓生长及土壤生物学特性的影响[J]. 北方园艺, 2020(17): 39-44.

-
- [3] 魏全全, 苟久兰, 赵欢, 等. 黄壤区烤烟轮作与连作根系形态、产量及养分吸收的变化[J]. 西南农业学报, 2018, 31(11): 2294-2299.
 - [4] 王宁堂, 张宁, 张阿宁, 等. 食用菌栽培废料及氯化苦熏蒸对草莓连作土壤理化性质及生长的影响[J]. 陕西农业科学, 2021, 67(6): 1-5.
 - [5] 秦平伟, 陈代明, 陈瑜欣, 等. 98%棉隆微粒剂对烟草生长和青枯病发生的影响[J]. 植物医生, 2019, 32(6): 34-37.
 - [6] 甄文超, 曹克强, 丽代, 等. 利用药用植物源土壤添加物控制草莓再植病害的研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 730-735.
 - [7] Harris, J. (2009) Soil Microbial Communities and Restoration Ecology: Facilitators or Followers? *Science*, **325**, 573-574. <https://doi.org/10.1126/science.1172975>
 - [8] 甄文超, 代丽, 胡同乐, 等. 连作对草莓生长发育和根部病害发生的影响[J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(5): 68-71.
 - [9] Lambers, H., Mougel, C., Jaillard, B. and Hinsinger, P. (2009) Plant-Microbe-Soil Interactions in the Rhizosphere: An Evolutionary Perspective. *Plant and Soil*, **321**, 83-115. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0042-x>
 - [10] 安婷, 谭慧, 郭蓉, 等. 篮状菌属次级代谢产物结构及活性的研究进展[J]. 中国抗生素杂志, 2024, 49(9): 961-985.