

# 生物有机肥对土壤微生物群落结构的调控机制及作物生长效应研究

潘恒玉<sup>1</sup> 孟梁<sup>1</sup> 赵来明<sup>1</sup> 木卡达斯·热西提<sup>1</sup> 吐尔逊那依·米吉提<sup>3</sup> 杜振宁<sup>1</sup> 刘华君<sup>2\*</sup>

1 新疆大滋然生物科技有限公司

2 新疆维吾尔自治区农业科学院作物研究所/新疆甜菜产业工程技术研究中心

3 新疆维吾尔自治区耕地质量监测保护中心

DOI:10.32629/as.v9i1.3657

**[摘要]** 土壤微生物群落作为土壤生态系统的核心组成部分,其结构与功能直接关联土壤肥力水平和作物生长状态。生物有机肥因富含功能微生物、有机质及多种养分,在改善土壤微环境、调控微生物群落结构方面展现出独特优势。本文从理论层面深入剖析生物有机肥对土壤微生物群落结构的调控机制,包括通过养分供给驱动微生物增殖、功能微生物的竞争与协同作用、改善土壤理化性质间接调控群落结构等;同时阐述该调控作用引发的作物生长效应,如促进养分吸收、增强抗逆性、提升产量与品质等。最后总结当前研究认知,并对未来理论研究方向进行展望,为生物有机肥的合理应用及土壤生态与农业可持续发展提供理论支撑。

**[关键词]** 生物有机肥; 土壤微生物群落; 调控机制; 作物生长效应

中图分类号: Q938.1+3 文献标识码: A

## Regulatory Mechanisms of Bio-Organic Fertilizers on Soil Microbial Community Structure and Their Effects on Crop Growth

Hengyu Pan<sup>1</sup> Liang Meng<sup>1</sup> Laiming Zhao<sup>1</sup> Mukadasi·Rexiti<sup>1</sup> Tuerxunnayi·Mijiti<sup>3</sup> Zhenning Du<sup>1</sup> Huajun Liu<sup>2\*</sup>

1 Xinjiang Daziran Biotechnology Co., Ltd.

2 Crop Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences

3 Xinjiang Beet Industry Engineering Technology Research Center

**[Abstract]** As a core component of the soil ecosystem, the soil microbial community structure and function are directly related to soil fertility levels and crop growth conditions. Bio-organic fertilizers, rich in functional microorganisms, organic matter, and various nutrients, demonstrate unique advantages in improving the soil microenvironment and regulating microbial community structures. This paper theoretically analyzes the regulatory mechanisms of bio-organic fertilizers on soil microbial community structure, including driving microbial proliferation through nutrient supply, competition and synergy among functional microorganisms, and indirectly regulating community structure by improving soil physicochemical properties. At the same time, it explains the crop growth effects triggered by this regulation, such as promoting nutrient absorption, enhancing stress resistance, and increasing yield and quality. Finally, it summarizes current research knowledge and looks forward to future theoretical research directions, providing theoretical support for the rational application of bio-organic fertilizers and the sustainable development of soil ecology and agriculture.

**[Key words]** bio-organic fertilizer; soil microbial community; regulatory mechanism; crop growth effects

### 前言

农业可持续发展是当前全球农业领域的核心议题,而土壤健康作为农业生产的基础,其质量优劣直接决定作物生产潜力

与生态环境效益。长期以来,化肥的过量施用虽在一定程度上提升了作物产量,但也引发了土壤退化、肥力下降、微生物多样性减少等一系列生态问题,制约了农业的长远发展。在此背景下,

生物有机肥作为一种环境友好型肥料, 凭借其兼具有机肥与微生物肥料的双重优势, 成为替代化肥、改良土壤、提升作物品质的重要途径。

土壤微生物群落是土壤生态系统物质循环和能量流动的核心驱动力, 其群落结构(包括物种组成、丰度、多样性及功能群分布)的稳定性与合理性, 直接影响土壤有机质分解、养分转化(如氮、磷、钾循环)、污染物降解等关键生态过程。生物有机肥通过向土壤中输入大量活性功能微生物(如固氮菌、解磷菌、放线菌等)和丰富的有机质, 不仅可直接补充土壤微生物资源, 还能通过多种途径调控原有微生物群落结构, 优化土壤微生态环境。而土壤微生物群落结构的优化, 又能进一步促进作物根系发育、提升养分吸收效率、增强抗逆能力, 最终实现作物生长与品质的提升。

目前, 关于生物有机肥对土壤微生物群落及作物生长影响的实证研究已积累较多成果, 但对其内在调控机制的理论梳理与系统阐释仍有待深化。基于此, 本文从理论角度出发, 系统解析生物有机肥调控土壤微生物群落结构的核心路径, 明确该调控作用与作物生长效应之间的内在关联, 以期完善生物有机肥-土壤微生物-作物互作的理论体系, 为其在农业生产中的科学应用提供更坚实的理论依据。

## 1 生物有机肥对土壤微生物群落结构的调控机制

生物有机肥对土壤微生物群落结构的调控是一个多途径、多因素协同作用的复杂过程, 核心在于通过直接输入功能微生物、提供养分资源以及改善土壤理化环境, 打破原有土壤微生物群落的平衡状态, 推动其向更有利于土壤肥力提升和作物生长的方向重构。具体调控机制可分为直接调控和间接调控两大路径。

### 1.1 直接调控机制

生物有机肥对土壤微生物群落结构的直接调控, 主要通过向土壤中输入外源功能微生物实现, 核心在于外源微生物与土壤原有微生物之间的竞争、协同及拮抗作用, 进而改变群落的物种组成与丰度。

首先, 生物有机肥中含有大量经过筛选和驯化的功能微生物, 如固氮菌(*Azotobacter*、*Rhizobium*)、解磷菌(*Bacillus megaterium*、*Aspergillus niger*)、解钾菌(*Bacillus mucilaginosus*)、放线菌(*Streptomyces*)以及有益真菌(*Arbuscular Mycorrhizal Fungi*, AMF)等。这些外源功能微生物进入土壤后, 会凭借其较强的环境适应性和繁殖能力, 迅速在土壤中定殖并大量增殖, 直接改变土壤微生物群落的物种组成和数量结构。例如, 接种AMF的生物有机肥施入土壤后, AMF会与作物根系形成共生体, 其菌丝在土壤中广泛延伸, 不仅自身成为微生物群落的优势类群之一, 还会通过菌丝网络为其他微生物提供附着位点, 间接影响其他微生物的分布。

其次, 外源功能微生物与土壤原有微生物之间存在复杂的竞争与协同作用。在资源竞争方面, 外源微生物与土壤土著微生物会竞争土壤中的碳源、氮源、磷源等营养物质, 具有竞争优势的功能微生物会逐渐占据主导地位, 而部分竞争力较弱的有害

微生物(如病原菌)的生长则会受到抑制, 从而优化微生物群落结构。在协同作用方面, 不同功能微生物之间会形成互利共生关系, 例如, 固氮菌固定的氮素可被解磷菌利用, 而解磷菌释放的磷素也能为固氮菌的生长提供保障, 两者协同作用可显著提升土壤养分转化效率, 同时促进彼此在群落中的丰度提升。此外, 部分外源微生物还能分泌抗生素、抑菌肽等物质, 对土壤中的病原菌(如*Fusarium oxysporum*、*Ralstonia solanacearum*)产生拮抗作用, 直接抑制有害微生物的生长繁殖, 减少其在群落中的比例, 提升群落的稳定性。

### 1.2 间接调控机制

生物有机肥对土壤微生物群落结构的间接调控, 主要通过改善土壤理化性质和提供营养底物实现。土壤理化性质(如pH值、有机质含量、通气性、保水性等)是影响微生物生存与繁殖的重要环境因子, 而生物有机肥中的有机质和养分可通过改变这些环境因子, 为微生物生长创造适宜条件, 进而间接调控群落结构。

一方面, 生物有机肥富含腐殖质、氨基酸、糖类等多种有机质, 这些有机质不仅是微生物生长所需的碳源和能量来源, 还能改善土壤的物理结构。例如, 腐殖质可与土壤颗粒结合形成团粒结构, 提升土壤通气性和保水性, 为好氧微生物(如大多数细菌、放线菌)的生长提供充足的氧气和水分; 同时, 团粒结构还能减少土壤侵蚀, 保护微生物免受极端环境(如干旱、高温)的胁迫, 有利于微生物群落的稳定发展。此外, 有机质的分解过程会释放出氢离子、碳酸根离子等, 可调节土壤pH值, 使其向中性方向趋近, 而中性土壤环境更适合大多数有益微生物的生长, 能显著提升微生物群落的多样性。

另一方面, 生物有机肥中含有氮、磷、钾、钙、镁等多种矿物质养分, 这些养分可直接为微生物生长提供营养支持, 促进微生物的增殖。例如, 土壤中的氨化细菌、硝化细菌等氮循环功能微生物, 需要充足的氮源才能完成生长繁殖和代谢过程, 生物有机肥释放的氮素可显著提升这类微生物的丰度, 加速土壤氮循环过程。同时, 生物有机肥中的养分还能通过影响作物生长间接调控微生物群落结构。作物生长状况的改善会增加根系分泌物的分泌量, 而根系分泌物(如糖类、蛋白质、有机酸)是土壤微生物重要的营养来源, 不同类型的根系分泌物可选择性地促进特定微生物的生长, 进而改变微生物群落的组成。

## 2 生物有机肥调控土壤微生物群落对作物生长的效应

生物有机肥通过调控土壤微生物群落结构, 优化土壤微生态环境, 进而从养分供给、抗逆能力提升、生长发育调节等多个方面对作物生长产生积极效应, 最终实现产量提升和品质改善。

### 2.1 促进养分吸收, 提升土壤肥力供给能力

优化后的土壤微生物群落可通过强化养分转化过程, 提升土壤养分的有效性, 进而促进作物对养分的吸收利用。一方面, 生物有机肥中的功能微生物(如固氮菌、解磷菌、解钾菌)在土壤中定殖后, 可通过自身代谢活动将土壤中难以被作物吸收的

惰性养分转化为有效养分。例如,固氮菌可将空气中的氮气转化为氨态氮,直接为作物提供氮素营养;解磷菌可分泌有机酸溶解土壤中的难溶性磷(如磷酸钙、磷酸铁),将其转化为可被作物吸收的速效磷;解钾菌则能分解土壤中的钾长石、云母等矿物,释放出速效钾。这些功能微生物的代谢活动,显著提升了土壤中氮、磷、钾等关键养分的供给能力,满足作物不同生长阶段的养分需求。

另一方面,微生物群落的优化可促进土壤有机质的分解与转化。土壤中的腐生微生物(如细菌、真菌)可将生物有机肥中的有机质分解为腐殖质,而腐殖质不仅能提升土壤肥力,还能与土壤中的矿物质养分结合,减少养分流失,同时促进作物根系对养分的吸附与吸收。此外,AMF与作物根系形成的共生体,其发达的菌丝网络可显著扩大根系的吸收范围,将土壤中远离根系的养分吸收并运输给作物,进一步提升作物对养分的吸收效率。大量理论研究表明,生物有机肥施用后,土壤中养分转化功能微生物的丰度显著提升,土壤速效养分含量增加,作物根系生物量、根长、根表面积均有所增大,养分吸收能力显著增强。

## 2.2 增强作物抗逆性,减轻逆境胁迫影响

生物有机肥调控下的土壤微生物群落,可通过多种途径增强作物的抗逆能力,减轻干旱、盐碱、病虫害等逆境胁迫对作物生长的影响。在抗病性提升方面,优化后的微生物群落可通过竞争营养、分泌抑菌物质、诱导作物产生系统抗性等方式抑制病原菌的侵染。例如,有益微生物(如放线菌、芽孢杆菌)可与病原菌竞争土壤中的营养物质和生存空间,降低病原菌的定殖能力;同时,这些有益微生物还能分泌抗生素、几丁质酶等物质,直接破坏病原菌的细胞壁结构,抑制其生长繁殖。此外,有益微生物还能诱导作物产生系统抗性,通过激活作物自身的防御机制(如增强细胞壁厚度、积累防御性酶类),提升作物对病原菌的抵抗能力,减少病害发生。

在抗非生物胁迫方面,微生物群落可通过改善土壤环境和调节作物生理代谢,增强作物对干旱、盐碱等逆境的适应能力。例如,在干旱条件下,土壤微生物群落可通过分解有机质释放水分,同时促进作物根系分泌脯氨酸、甜菜碱等渗透调节物质,提升作物的保水能力和抗旱性;在盐碱土壤中,微生物的代谢活动可降低土壤盐分含量,调节土壤pH值,同时促进作物根系生长,增强其对盐分胁迫的耐受性。理论上,微生物群落的稳定性越高,作物对逆境胁迫的缓冲能力越强,这也是生物有机肥提升作物抗逆性的核心机制之一。

## 2.3 调节作物生长发育,提升产量与品质

土壤微生物群落不仅能为作物生长提供养分和抗逆保障,还能通过分泌生长调节物质,直接调节作物的生长发育过程,进而提升作物产量和品质。许多有益微生物(如芽孢杆菌、假单胞

菌、AMF)在生长代谢过程中会分泌赤霉素、生长素、细胞分裂素等植物生长调节剂。这些生长调节剂可直接作用于作物的生长发育过程,例如,生长素可促进作物根系生长和细胞伸长,赤霉素可打破种子休眠、促进茎叶生长,细胞分裂素可促进细胞分裂、延缓植株衰老。

在这些生长调节剂的作用下,作物的生长发育进程更加协调,苗期可促进根系和幼苗生长,提高成苗率;生长期可促进茎叶繁茂、光合作用增强,积累更多的光合产物;生殖期可促进花芽分化、提高坐果率,减少落花落果。同时,微生物群落优化带来的养分均衡供给,可避免作物因养分失衡导致的品质下降。例如,充足的氮素可促进作物蛋白质合成,合理的磷钾供应可提升作物糖分、维生素含量,减少硝酸盐积累。理论分析表明,生物有机肥施用后,作物的株高、茎粗、叶面积指数等生长指标均有显著提升,产量可提高10%~30%,同时作物的蛋白质、糖分、维生素等品质指标也得到明显改善。

## 3 结论

生物有机肥对土壤微生物群落结构的调控是直接调控与间接调控协同作用的结果。直接调控主要通过引入外源功能微生物,借助其与土著微生物的竞争、协同及拮抗作用,改变群落物种组成与丰度;间接调控则通过改善土壤理化性质、提供营养底物,为微生物生长创造适宜环境,进而优化群落结构。而土壤微生物群落结构的优化,可通过促进养分转化与吸收、增强作物抗逆性、调节生长发育等途径,显著提升作物生长效应,实现产量与品质的双重提升。这一“生物有机肥-土壤微生物群落-作物生长”的互作体系,为土壤生态改良和农业可持续发展提供了重要理论支撑。

### [基金项目]

项目名称:耐盐碱微生物筛查培育,项目编号:2024TCYC KJYL018。

### [参考文献]

- [1]黄颖博,罗凡,龚雪蛟,等.有机肥对土壤微生物群落特征影响的研究进展[J].中国农学通报,2023,39(03):88-96.
- [2]马建华,杨波,刘畅,等.基于不同有机肥施用量下土壤真菌菌结构和功能预测[J].华北农学报,2023(06):118-126.
- [3]李瑞兰.有机肥料对土壤微生物群落结构的影响机制[J].农业开发与装备,2025(08):100-102.

### 作者简介:

潘恒玉(1979--),男,汉族,甘肃庆阳人,农艺师,研究生导师,研究方向:土壤肥料与种植栽培。

### \*通讯作者:

刘华君(1970--),男,汉族,安徽涡阳人,研究员,研究方向:甜菜高效栽培。