

抗旱纳米材料对亚麻植株根系微生物群落影响的研究进展

张楚林 李铭超 李横江 郭轩竹 郭怡楠*
武昌首义学院 湖北 武汉 430064

摘要：干旱是威胁全球农作物的重要非生物胁迫，对亚麻等经济作物影响显著。抗旱纳米材料因其独特性质，在提升作物抗旱性方面潜力巨大。本文综述了该类材料对亚麻根系微生物群落影响的最新进展。研究发现，纳米材料通过改善土壤水分利用效率、增强植物吸水等机制有效提升亚麻抗旱性。然而，其对根系微生物群落的影响复杂：一方面可促进有益微生物（如固氮菌、解磷菌）生长，提升土壤肥力和养分吸收；另一方面也可能抑制部分微生物活性，威胁微生物多样性。纳米材料的吸附/毒性作用、对土壤理化性质的改变以及植物-微生物互作的调控是影响微生物群落的关键因素。因此，在利用纳米材料增强亚麻抗旱性的同时，必须审慎评估其对土壤微生态平衡的潜在影响，以保障农业的可持续发展。

关键词：抗旱纳米材料；亚麻植株；根系微生物；微生物多样性；群落结构

1 引言

干旱是威胁全球农业生产的首要非生物胁迫因素。气候变化加剧与水资源短缺导致干旱对作物产量的影响日益严峻。亚麻（*Linum usitatissimum* L.）作为重要经济作物，其纤维与种子广泛应用于纺织、食品及医药领域，但干旱胁迫显著降低其产量与品质^{[1][2]}。提升亚麻抗旱性已成为农业科研的关键课题。

近年来，纳米技术在农业抗旱领域展现出巨大潜力。抗旱纳米材料凭借小尺寸效应、表面效应等独特性质，通过改善土壤水分利用效率、增强植物吸水能力等机制提升作物抗旱性^[3]。然而，纳米材料在土壤中的应用可能扰动土壤微生物群落——这些微生物主导着有机质分解、养分循环及病害防控等维持土壤健康的核心过程。

因此，系统研究抗旱纳米材料对亚麻根系微生物群落的影响，对评估其农业应用的安全性及有效性至关重要。本文综述该类材料对微生物多样性、群落结构及功能的影响机制，旨在为纳米材料的合理应用提供科学依据，推动农业可持续发展。

2 抗旱纳米材料在农业中的应用及机制

2.1 抗旱纳米材料的种类与特性

项目：2024年武昌首义学院大学生创新创业训练计划项目——

抗旱纳米材料对亚麻植株根系微生物的影响研究

项目编号：X202412309016

负责人：张楚林

作者介绍：郭怡楠（1990-），女，湖北省武汉人，实验师，研究方向：化学实验室安全及其废弃物管理、岩土微生物及重金属处理。

抗旱纳米材料主要包括纳米颗粒、纳米复合材料和纳米结构材料等。这些材料具有独特的物理和化学性质，使其在改善土壤水分利用效率、增强植物吸水能力等方面具有显著优势。例如，纳米二氧化硅、纳米氧化铝等无机纳米颗粒能够增加土壤的保水能力，减少水分的蒸发；而纳米聚合物等有机纳米材料则能够改善土壤结构，提高土壤的通气性和保肥能力。

纳米颗粒通常具有较小的尺寸（1-100 nm），这使得它们能够轻易地渗透到土壤孔隙中，增加土壤的保水性和通气性。纳米复合材料则结合了多种材料的特性，例如将无机纳米颗粒与有机聚合物结合，可以同时提高土壤的保水能力和养分供应能力。纳米结构材料则通过特殊的结构设计，如多孔结构或层状结构，来增强其在土壤中的功能。

2.2 抗旱纳米材料的作用机制

抗旱纳米材料主要通过以下机制提高作物的抗旱性能：

1)改善土壤水分利用效率：纳米材料能够增加土壤的保水能力，减少水分的蒸发和渗漏，从而提高土壤水分的利用效率。例如，纳米二氧化硅可以通过其高比表面积吸附更多的水分，减少土壤水分的流失。

2)增强植物吸水能力：纳米材料能够改善植物根系的吸水能力，增加植物对水分的吸收和利用。这可能是由于纳米材料能够增加土壤与植物根系之间的接触面积，促进水分的渗透和扩散。一些研究表明，纳米材料可以促进根系的发育，增加根系的长度和表面积，从而提高植物的吸水能力。

3)调节植物生理生化过程：纳米材料还能够影响植物

的生理生化过程,如提高植物的抗氧化酶活性、降低细胞膜透性等,从而增强植物的抗逆性。例如,纳米材料可以通过提供微量营养元素或调节植物激素水平,来提高植物在干旱条件下的生存能力^[3]。

3 抗旱纳米材料对亚麻植株根系微生物群落的影响

3.1 对微生物多样性的影响

抗旱纳米材料的应用对亚麻植株根系微生物群落的多样性具有显著影响。研究表明,纳米材料的添加可以改变土壤微生物群落的物种丰富度、均匀度和多样性指数。一些研究发现,纳米材料的添加可以增加土壤中的细菌数量,而对真菌和放线菌的影响则因纳米材料种类和浓度的不同而有所差异。例如,纳米二氧化硅的添加可以显著提高土壤中细菌的多样性,而对真菌的影响则相对较小^[4]。

另一些研究则表明,纳米材料的添加可能导致土壤微生物多样性的降低,特别是对一些敏感微生物种群的抑制。高浓度的纳米氧化铝可能对某些有益细菌产生抑制作用,导致微生物多样性的下降。这可能是由于纳米材料的毒性作用或对土壤理化性质的改变,影响了微生物的生存环境。

3.2 对群落结构的影响

抗旱纳米材料对亚麻植株根系微生物群落的结构也产生影响。通过分析土壤微生物的群落组成和相对丰度,可以发现纳米材料的添加可以改变土壤中优势菌群和劣势菌群的分布。一些研究表明,纳米材料可以促进土壤中某些有益微生物的生长,如固氮菌、解磷菌等,这些微生物对植物的生长发育具有积极作用。纳米聚合物可以显著增加土壤中固氮菌的数量,从而提高土壤的肥力^[5]。

然而,纳米材料也可能抑制某些有害微生物的活性,如病原菌等,从而降低植物病害的发生率。如纳米银颗粒对一些植物病原菌具有显著的抑制作用,可以减少植物病害的发生。但值得注意的是,纳米材料对微生物群落结构的影响并非总是积极的,有时也可能导致一些有益微生物的减少和有害微生物的增加。因此,在应用纳米材料时,需要仔细评估其对微生物群落结构的潜在影响。

3.3 对微生物功能的影响

抗旱纳米材料对亚麻植株根系微生物群落的功能也产生影响。土壤微生物在维持土壤健康和促进植物生长中发挥着重要作用,它们参与土壤有机质的分解、养分循环和植物病害的防控等过程。纳米材料的添加可能改变这些微生物的活性和功能,从而影响土壤生态系统的

稳定性和可持续性。

纳米二氧化硅的添加可以显著提高土壤中脲酶和磷酸酶的活性,从而促进土壤中氮和磷的循环。纳米材料也可能抑制某些酶的活性,导致土壤养分的转化受阻和植物生长受限。纳米材料还可能影响土壤微生物与植物之间的相互作用,如改变根际微生物的群落结构和功能,从而影响植物的生长和发育。

4 抗旱纳米材料对亚麻植株根系微生物群落影响的作用机制

4.1 纳米材料的吸附和毒性作用

纳米材料对土壤微生物的影响可能与其吸附和毒性作用有关。纳米材料具有较大的比表面积和较高的表面能,容易吸附在土壤颗粒和微生物细胞表面。这种吸附作用可能导致微生物细胞膜的损伤和功能的改变,从而影响微生物的生长和活性。

纳米材料还可能释放有毒物质或产生自由基等活性氧物种,对微生物细胞产生毒性作用。这些毒性作用可能导致微生物数量的减少和活性的降低,从而影响土壤生态系统的稳定性和可持续性。其中纳米银颗粒可以通过释放银离子,对微生物产生强烈的毒性作用,抑制其生长和繁殖。

4.2 改变土壤理化性质

纳米材料对土壤理化性质的改变也是影响微生物群落的重要因素之一。纳米材料的添加可以改变土壤的pH值、电导率、有机质含量等理化性质,从而影响土壤微生物的生长和活性。

纳米材料还可以增加土壤的保水能力和通气性,改变土壤的微环境,从而影响微生物的生存和繁殖。例如,纳米聚合物可以通过其多孔结构增加土壤的保水能力,为微生物提供更适宜的生存环境。这些理化性质的改变可能导致土壤微生物群落的组成和结构的调整,以适应新的环境条件。

4.3 影响植物-微生物相互作用

纳米材料还可能通过影响植物-微生物相互作用来间接影响土壤微生物群落。纳米材料能够改善植物的生理生化特性,如提高植物的抗氧化酶活性、降低细胞膜透性等,从而增强植物的抗逆性。这些生理生化特性的改变可能影响植物与微生物之间的相互作用,如改变根际微生物的群落结构和功能。

纳米材料还可能影响植物根系分泌物的种类和数量,这些分泌物对土壤微生物的生长和活性具有重要作用。如纳米材料可以通过调节植物激素水平,增加根系分泌物中某些有机酸和糖类的含量,从而促进有益微生物

物的生长。因此,纳米材料对植物-微生物相互作用的影响也是导致其影响土壤微生物群落的重要因素之一。

5 具体研究案例与分析

5.1 纳米二氧化硅对亚麻根系微生物群落的影响

纳米二氧化硅作为一种常见的抗旱纳米材料,已被广泛应用于提高作物的抗旱性能。研究表明,纳米二氧化硅的添加可以显著增加亚麻根系的微生物多样性。通过对根际土壤的16S rRNA基因测序分析,发现纳米二氧化硅处理组的细菌群落丰富度和多样性指数均高于对照组。进一步分析发现,纳米二氧化硅主要促进了与氮循环、磷循环和有机质分解相关的微生物种群的生长,如固氮菌、解磷菌和纤维素分解菌等。这些微生物对亚麻的生长和发育具有重要作用,有助于提高亚麻的养分吸收能力和抗逆性^[6]。然而,高浓度纳米二氧化硅可能抑制敏感微生物,导致多样性下降,且长期施用存在潜在生态风险,需进一步评估环境安全性。

5.2 纳米聚合物对亚麻根系微生物功能的影响

纳米聚合物作为一种有机纳米材料,在改善土壤结构和提高土壤保水能力方面具有显著优势。研究表明,纳米聚合物的添加可以改变亚麻根系微生物的群落结构和功能。通过对土壤酶活性的测定和分析,发现纳米聚合物处理组的脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性均高于对照组。这些酶对土壤养分的转化和植物的生长具有关键作用,因此纳米聚合物的添加可能有助于提高亚麻对养分的吸收和利用能力^[7]。但部分实验发现,纳米聚合物可能抑制特定微生物活性,阻碍养分循环过程。此外,其在土壤中的降解行为可能对微生物群落产生长期影响,需深入探究环境行为和生态效应。

6 展望

抗旱纳米材料对亚麻根系微生物群的影响呈现多维复杂性,其效应受材料类型、浓度及施用方式调控。未

来需重点关注:利用高通量测序揭示纳米材料-微生物互作机制;通过长期田间试验明确环境迁移规律及生态风险;开发低成本高效新型纳米材料;结合农业生产优化施用参数,平衡抗旱效益与生态安全。需通过系统研究推动该技术在可持续农业中的安全应用。

结语

总之,抗旱纳米材料在农业抗旱领域展现出显著潜力,但需通过深入的机制解析、全面的安全评估和持续的技术优化等系统性研究,方能推动其在可持续农业发展中实现安全、高效的应用。

参考文献

- [1]赵鸿,蔡迪花,王鹤龄,等.干旱灾害对粮食安全的影响及其应对技术研究进展与展望[J].干旱气象,2023,41(2):187-206.
- [2]张金菊,田青,郭有燕,等.黑果枸杞根系对干旱胁迫响应的生理机制[J].甘肃农业大学学报,2023,58(4):183-191.
- [3]吴晗. Mn_3O_4 纳米颗粒提高棉花抗旱性的材料筛选与机理研究及应用[D].武汉:华中农业大学,2022.
- [4]陈芊如,龚鹏飞,杨波,戴永平,张哲,王建华,马斯琦,邹平,李义强,荆常亮.不同分子量羊栖菜多糖对烟草抗旱性和土壤微生物的影响[J].江苏农业科学,2024,52(16):10.15889/j.issn.1002-1302.2024.16.018.
- [5]刘琴,安霞,杜光辉.亚麻在修复重金属污染土壤上的运用[J].分子植物育种,2023.
- [6]Chen D, Sun W, Xiang S, et al. High-Throughput Sequencing Analysis of the Composition and Diversity of the Bacterial Community in Cinnamomum camphora Soil[J]. Microorganisms, 2022, 10(1): 72.
- [7]李佩蓉.根际细菌群落促进黄芪抵抗干旱胁迫机制探究[D].杨凌:西北农林科技大学,2023.