

冷等离子体技术在种子处理与生长中的研究

吴晓愚

大连博事等离子体有限公司

DOI:10.12238/as.v8i10.3381

[摘要] 冷等离子体技术作为一种新型物理处理技术,在农业种子处理领域展现出广阔应用前景。本文围绕冷等离子体技术在种子处理与生长中的作用展开研究,阐述冷等离子体的产生原理及主要活性成分的特性,分析其对种子吸水性能、酶活性及呼吸作用等生理特性的影响机制,探究该技术调控种子萌发与后续生长的分子及代谢层面作用路径,并讨论放电功率、处理时间、气体种类等关键技术参数对处理效果的影响规律。研究表明,冷等离子体可通过改变种子表面结构与内部生理代谢状态,促进种子萌发活力提升,优化生长发育进程。该研究为冷等离子体技术在农业生产中规模化应用提供理论支撑,也为种子处理技术的创新发展提供方向。

[关键词] 冷等离子体技术; 种子处理; 种子生理特性; 生长调控; 作用机制

中图分类号: S351.1 **文献标识码:** A

Research on Cold Plasma Technology in Seed Treatment and Growth

Xiaoyu Wu

Dalian Boshi Plasma Co., Ltd

[Abstract] Cold plasma technology, as a new type of physical processing technology, has shown broad application prospects in the field of agricultural seed treatment. This article focuses on the role of cold plasma technology in seed treatment and growth, explaining the generation principle of cold plasma and the characteristics of its main active ingredients. It analyzes the impact mechanism of cold plasma on physiological characteristics such as seed water absorption, enzyme activity, and respiration, explores the molecular and metabolic pathways through which this technology regulates seed germination and subsequent growth, and discusses the impact of key technical parameters such as discharge power, treatment time, and gas type on treatment effectiveness. Research has shown that cold plasma can promote seed germination vitality and optimize growth and development processes by altering the surface structure and internal physiological metabolic status of seeds. This study provides theoretical support for the large-scale application of cold plasma technology in agricultural production, and also provides direction for the innovative development of seed treatment technology.

[Key words] cold plasma technology; Seed treatment; Seed physiological characteristics; Growth regulation; mechanism of action

引言

种子作为农业生产的基础,其质量直接决定作物生长状况与最终产量。传统种子处理技术如化学药剂处理、物理高温处理等,存在化学残留污染环境、处理效果不稳定且易损伤种子等问题,难以满足现代农业绿色、高效的发展需求。冷等离子体技术凭借低温、低损伤、无化学残留等优势,成为种子处理领域的研究热点。该技术通过产生含多种活性成分的等离子体,与种子发生物理化学作用,可改善种子萌发性能,调控生长过程。当前,关于冷等离子体技术在种子处理中的研究虽取得一定进展,但

对其作用机制的深入解析及技术参数的系统优化仍需加强。因此,开展冷等离子体技术在种子处理与生长中的研究,对推动农业技术革新、提升作物生产效益具有重要意义。

1 冷等离子体技术的基本原理

1.1 冷等离子体的产生机制

冷等离子体又称非平衡等离子体,是在常温常压或近常温常压条件下,借助外界能量输入使气体分子或原子电离形成的部分电离气体。其产生过程依赖能量激发,常见激发方式包括射频放电、介质阻挡放电、辉光放电等。在放电过程中,外界能量

(如电能)作用于气体,使气体分子获得能量后发生电离,形成由电子、离子、自由基及中性粒子组成的混合体系。与热等离子体相比,冷等离子体中电子温度远高于离子与中性粒子温度,整体体系温度维持在室温至数百摄氏度范围内,避免了高温对种子的损伤,适用于热敏性种子的处理。

1.2冷等离子体的主要活性成分

冷等离子体中包含多种具有生物活性的成分,主要包括带电粒子、自由基、激发态分子及紫外线等。这些活性成分在种子处理过程中发挥协同作用:带电粒子可通过电场作用改变种子表面的电荷分布,影响种子与周围环境的物质交换;自由基具有强氧化性,能与种子表面的有机分子发生反应,改变种子表面结构与化学组成;激发态分子在跃迁回基态时释放能量,能够激活种子内部的生理反应;紫外线则能一定程度上破坏种子表面的微生物结构,同时诱导种子内相关基因的表达。

2 冷等离子体对种子生理特性的影响

2.1对种子吸水性能的影响

种子萌发的起始阶段依赖于吸水过程,冷等离子体技术可通过改变种子表面结构,提升种子的吸水能力。在冷等离子体作用下,种子表面的蜡质层、角质层等疏水结构会被活性成分氧化分解,形成微小孔洞与裂隙,增大种子表面的比表面积。同时,等离子体处理还会改变种子表面的亲水性基团组成,增加羟基、羧基等亲水性基团的数量,降低种子与水分接触的接触角。这些结构与化学性质的变化,打破了种子表面的疏水屏障,加速水分向种子内部渗透,缩短种子吸胀时间,为种子萌发早期的物质代谢与能量供应奠定基础。此外,冷等离子体处理还能调节种子内部的渗透压平衡,避免吸水过快导致的种子胚乳损伤,保障种子萌发过程的稳定性。

2.2对种子酶活性的影响

种子内部的酶系统是调控物质代谢的关键,冷等离子体处理可通过激活或调节种子内相关酶的活性,推动种子萌发进程。种子休眠状态下,淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶等水解酶的活性较低,无法有效分解储存的营养物质。冷等离子体中的活性成分可通过信号传导作用,激活种子内酶原的活化过程,提升水解酶的活性。例如,羟基自由基可氧化酶原分子中的特定氨基酸残基,改变酶原的空间构象,使其转化为具有催化活性的酶;同时,等离子体处理还能调节酶促反应的微环境,如改变细胞内的pH值、离子浓度等,为酶活性的发挥提供适宜条件。水解酶活性的提升可加速淀粉、蛋白质、脂肪等储存物质的分解,产生葡萄糖、氨基酸等小分子营养物质,为种子胚的生长提供充足的物质来源。此外,冷等离子体还能调节种子内抗氧化酶(如超氧化物歧化酶、过氧化氢酶)的活性,降低种子萌发过程中活性氧的积累,减少氧化应激对种子细胞的损伤,提升种子的抗逆性。

2.3对种子呼吸作用的影响

呼吸作用是种子萌发过程中能量供应的核心,冷等离子体处理可通过调节种子的呼吸代谢强度,优化能量产生效率。种子吸胀后,呼吸作用逐渐增强,冷等离子体中的活性成分可作用于

种子的线粒体结构,影响呼吸链相关酶的活性与线粒体膜的通透性。一方面,激发态分子释放的能量可激活线粒体中细胞色素氧化酶、琥珀酸脱氢酶等呼吸酶的活性,加速三羧酸循环与氧化磷酸化过程,提升ATP的生成速率;另一方面,带电粒子可调节线粒体膜上的离子通道,促进线粒体与细胞质之间的物质交换,保障呼吸代谢底物的供应与产物的排出。呼吸作用的增强为种子胚根、胚芽的伸长提供充足能量,同时也为种子内核酸、蛋白质等生物大分子的合成提供能量支持,推动种子从休眠状态向萌发状态的转变。此外,冷等离子体处理还能避免呼吸作用过强导致的营养物质过度消耗,通过调控呼吸代谢的速率,维持种子萌发过程中能量供应与物质消耗的平衡。

3 冷等离子体对种子生长的调控机制

3.1信号传导途径的调控

冷等离子体可通过调控种子内的信号传导途径,实现对种子生长的精准调控。种子接收到冷等离子体的刺激信号后,会激活细胞内的信号分子,如钙离子、环磷酸腺苷等。钙离子作为第二信使,可通过钙调蛋白等结合蛋白,将信号传递至下游的效应分子,调控相关基因的表达与酶的活性。例如,钙离子浓度的升高可激活磷酸激酶的活性,通过磷酸化级联反应,启动种子萌发相关基因的转录。同时,冷等离子体中的自由基可作为信号分子,与细胞表面的受体结合,激活MAPK信号通路,该通路参与调控细胞分裂、分化及应激反应,在种子胚的生长与器官形成过程中发挥重要作用。

3.2基因表达的调控

冷等离子体处理可通过影响种子内基因的表达模式,调控种子的生长发育过程。在分子水平上,冷等离子体中的活性成分可作用于种子基因组的启动子区域,改变染色质的构象,影响RNA聚合酶与启动子的结合效率,从而调控基因的转录过程。研究表明,冷等离子体处理可显著上调种子内与细胞分裂、细胞伸长相关基因的表达,如细胞周期蛋白基因、expansin基因等。细胞周期蛋白基因的上调可加速细胞分裂进程,增加细胞数量;expansin基因的表达则能促进细胞壁的松弛,为细胞伸长提供空间,推动胚根与胚芽的生长。同时,冷等离子体还能下调种子内与休眠相关基因的表达,如脱落酸合成相关基因,减少脱落酸的生成,打破种子休眠状态。

3.3物质代谢的调控

冷等离子体可通过调节种子内的物质代谢路径,优化营养物质的分配与利用,支持种子的生长发育。在碳水化合物代谢方面,冷等离子体处理提升的淀粉酶活性可加速淀粉分解为葡萄糖,一部分葡萄糖通过糖酵解与三羧酸循环转化为能量,另一部分则通过戊糖磷酸途径生成核昔酸、NADPH等物质,为细胞分裂与生物大分子合成提供原料。在蛋白质代谢方面,蛋白酶活性的增强可促进种子内储存蛋白质的分解,产生的氨基酸不仅可用于合成种子生长所需的结构蛋白、酶蛋白,还可通过转氨基作用转化为其他含氮化合物,参与植物激素、维生素等生理活性物质的合成。在脂质代谢方面,脂肪酶的激活可将种子内的脂肪分解

为脂肪酸与甘油, 脂肪酸通过 β -氧化生成乙酰辅酶A, 进入三羧酸循环供能, 或用于合成细胞膜的磷脂成分, 保障细胞结构的完整性与功能稳定性。冷等离子体对物质代谢的调控, 实现了种子内营养物质的高效转化与利用, 为种子萌发后的幼苗生长提供持续的物质支持。

4 冷等离子体处理种子的关键技术参数

4.1 放电功率

放电功率是影响冷等离子体处理效果的核心参数之一, 直接决定等离子体中活性成分的浓度与能量水平。较低的放电功率下, 输入气体的能量不足, 气体电离程度低, 产生的活性成分浓度较低, 无法有效改变种子表面结构与内部生理状态, 处理效果不显著; 随着放电功率的升高, 气体电离程度增强, 活性成分浓度增加, 与种子的作用强度提升, 可有效激活种子的生理反应, 促进种子萌发与生长。但放电功率过高时, 会导致等离子体中高能粒子与紫外线的强度过高, 可能破坏种子表面的细胞结构, 损伤种子胚的活性, 甚至导致种子失活。因此, 需根据种子的种类、大小及耐受度, 确定适宜的放电功率范围, 在保障处理效果的同时, 避免对种子造成损伤。

4.2 处理时间

处理时间通过影响冷等离子体与种子的作用时长, 调控处理效果的深度与程度。短时间处理下, 等离子体中的活性成分仅能作用于种子表面, 改变表面的微观结构与化学组成, 对种子内部生理代谢的影响较小, 难以充分激活种子的萌发潜力; 适当延长处理时间, 活性成分可逐渐渗透至种子内部, 与细胞内的生物分子发生反应, 调节酶活性与基因表达, 推动种子生理状态的转变。但处理时间过长时, 种子长时间暴露于活性成分环境中, 会导致活性成分在种子内过度积累, 引发氧化应激反应加剧, 破坏细胞内的生物大分子结构, 如蛋白质变性、核酸损伤等, 反而抑制种子的萌发与生长。因此, 需结合放电功率与种子特性, 优化处理时间, 实现活性成分作用效果的最大化与种子损伤的最小化。

4.3 气体种类

气体种类决定冷等离子体中活性成分的组成与特性, 不同气体产生的等离子体对种子的作用机制与效果存在差异。常用的处理气体包括空气、氧气、氮气、氩气等。空气等离子体中含有氧自由基、氮自由基、臭氧等多种活性成分, 具有氧化与氮化双重作用, 可同时改变种子表面的化学组成与结构, 适用于多数种子的处理; 氧气等离子体中氧活性成分浓度高, 氧化能力强,

能快速分解种子表面的疏水层, 提升种子吸水性, 但高浓度氧自由基可能对种子造成氧化损伤; 氮气等离子体主要产生氮自由基与氨等含氮活性成分, 可向种子表面引入含氮基团, 调节种子的氮代谢, 为种子生长提供氮源前体; 氩气作为惰性气体, 其等离子体主要产生高能电子与激发态氩原子, 作用温和, 可通过物理碰撞改变种子表面结构, 避免化学损伤, 适用于敏感型种子的处理。选择适宜的气体种类需结合种子的生理特性与处理目标, 实现处理效果的精准调控。

5 结束语

本文围绕冷等离子体技术在种子处理与生长中的应用, 系统分析了该技术的基本原理、对种子生理特性的影响、生长调控机制与关键技术参数。研究表明, 冷等离子体可通过改变种子表面结构与化学组成, 激活内部酶系统, 调节呼吸代谢与基因表达, 实现对种子萌发与生长的高效调控; 放电功率、处理时间、气体种类等参数的优化是保障处理效果的关键。然而, 当前研究仍存在不足: 对不同作物种子的特异性响应机制研究不够深入, 分子水平的作用路径解析尚不完整, 技术规模化应用中的稳定性控制仍需突破。未来研究应聚焦于作物特异性参数优化, 结合多组学技术解析分子调控网络, 开发高效、稳定的冷等离子体处理设备, 推动该技术从实验室研究走向农业生产实践, 为现代农业绿色增产提供技术支撑。

[参考文献]

- [1]张丽丽,唐欣,王德成,等.冷等离子体处理对陈旧辣椒种子发芽的影响[J].耕作与栽培,2025(6).
- [2]张奇雨,吕晓桂,包锦.冷等离子体处理对盐胁迫下燕麦种子萌发及幼苗生长的影响[J].生物技术进展,2024(3).
- [3]任棚.大气压氩气冷等离子体处理对燕麦种子萌发和幼苗生长的影响[D].内蒙古农业大学,2023.
- [4]吕晓桂,王鹏,石磊,等.大气压等离子体处理对芥菜生长初期特性的影响[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2021,42(1):5.
- [5]吕晓桂,王鹏,利民,等.大气压氩气冷等离子体射流处理对芥菜种子发芽率及根长的影响[J].核聚变与等离子体物理,2019,39(2):5.

作者简介:

吴晓愚(1978--),男,汉族,辽宁大连人,本科,研究方向为农作物培育与管理。