



简析不同生产工艺对氮肥增效剂稳定性的影响

李冬雪

中盐安徽红四方股份有限公司 合肥 230000

摘 要: 本文简述了 3 种常见肥料生产工艺（挤压造粒、高塔造粒和转鼓造粒）对氮肥增效剂（脲酶抑制剂和硝化抑制剂）稳定性的影响。通过分析不同工艺的物理特性（如颗粒摩擦系数、粒度分布、结构紧实度）和添加方式（内添加与外包裹），提出了相应优化策略，如调整添加位点、控制温度和处理方式，以增强氮肥增效剂的稳定性和作用效果，对提高肥料利用率、减少环境污染具有重要意义。

关键词: 生产工艺；肥料；氮肥增效剂；稳定性

中图分类号: S143.1⁺6 **文章编号:** 1671-9212(2025)06-0118-03

文献标识码: A **DOI:** 10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2025.06.017

不同肥料生产工艺在温度、湿度、反应环境等方面的差异明显，直接决定了肥料的物理性状和化学性质。然而，在追求高效养分供应的同时，如何提高养分利用率、减少因淋溶和挥发造成的损失及其带来的环境压力，已成为肥料行业面临的重大挑战。氮肥增效剂（包括脲酶抑制剂和硝化抑制剂）能够有效调控氮素在土壤中的转化过程，从而提高氮肥利用率^[1]。在肥料生产过程中，增效剂的稳定性不仅取决于其自身特性，更受到生产工艺类型、添加时机以及最终肥料产品特性的影响。本文梳理了高塔造粒、转鼓造粒、挤压造粒工艺等常见肥料生产工艺的特点，探讨了不同工艺条件及其相关的添加方式、肥料特性对脲酶抑制剂与硝化抑制剂稳定性的影响，以期研发和生产高效、环境友好性的稳定性肥料提供参考。

1 复合肥料常见生产工艺简介

目前，我国复合肥料生产工艺按照造粒过程中的物料状态和成粒原理等大致可分为：料浆法工艺，如氨化造粒工艺、喷浆造粒工艺、转鼓造粒工艺；团粒法工艺，如圆盘造粒工艺、转鼓造

粒工艺、熔融造粒工艺、氨酸造粒工艺；熔体法工艺，如高塔造粒工艺、低塔造粒工艺、油冷造粒工艺、水冷造粒工艺；混合法工艺，如掺混工艺、挤压工艺等^[2]。其中，以高塔造粒工艺、团粒法转鼓造粒工艺和挤压造粒工艺应用范围较广。

1.1 高塔造粒工艺

高塔造粒工艺通过斗式提升机将计量后的各类生产原材料，输送至造粒塔顶，其中磷肥与钾肥进入一级、二级混合槽，与尿素材料熔融后形成的熔融液均匀混合，形成熔体料浆。料浆经专用喷头甩出冷却后形成固体颗粒，可在造粒塔底部收集。颗粒经再次冷却、筛分和包膜防结块处理。冷却尾气中含少量粉尘杂质，需经干法除尘后排放，避免造成空气污染。

1.2 转鼓造粒工艺

转鼓造粒工艺以氮、钾、磷等肥料为主要原料，经精准称重与辅料共同破碎并混合均匀后送入造粒机，形成稳定的造粒床层。然后按比例加入稀硫酸、蒸汽、水与氨气等物质，在机械挤压作用下发生化学反应，逐渐凝聚成紧密的颗粒。颗粒经干燥、冷却、筛分、再破碎、再造粒处理，以确保充分满足稳定性肥料的生产要求。

[收稿日期] 2025-09-11

[作者简介] 李冬雪，女，1985 年生，工程师，研究方向为化学工程，E-mail: 13739278348@163.com。



1.3 挤压造粒工艺

挤压造粒工艺首先将固态生产原材料破碎, 然后根据生产需求, 合理设计肥料配方, 按配方比例计量并混合均匀, 经自动给料机调节含水量后送入对辊挤压造粒机挤压造粒。造粒后需仔细筛分颗粒, 质量不合格的物料重新返工破碎、挤压造粒; 合格颗粒可进一步抛圆处理。最后利用包膜设备, 将颗粒防结块处理与密实包装, 得到成品肥料。

2 不同生产工艺对氮肥增效剂稳定性的影响

2.1 对脲酶抑制剂的影响

为了提高脲酶抑制剂类型氮肥增效剂的稳定性, 可采用适宜的生产工艺, 以增强其活性和稳定性。例如, 在高塔造粒工艺中, 尿素等原料在高温下熔融, 并与适量脲酶抑制剂充分混合。熔融物料在造粒后迅速冷却固化, 能将抑制剂均匀包裹并固定于肥料颗粒内部, 可有效减少抑制剂与外部环境水分、金属离子等不利因素的接触, 从而增强其剂型稳定性和储存期内的活性, 生产出超控释尿素、稳定性氮肥等产品。高塔造粒工艺有助于抑制剂在肥料中更均匀地分布并保持活性, 确保抑制剂能有效作用于脲酶的多个结合位点, 阻止靶标底物与脲酶结合, 实现更全面的抑制效果。

采用稳定性肥料生产工艺不仅可以提高脲酶抑制剂的作用效果, 也有助于提升氮肥利用率与生态效益。生产出的肥料可提高氮肥利用率, 减少氮挥发损失, 稳定的剂型也使得产品在长期储存过程中, 有效成分几乎无明显降解, 具有良好的环境效益。

此外, 不同生产工艺也会影响脲酶抑制剂的产品特性。例如, 在生产 N-正丁基硫代磷酸三胺 (NBPT) 时, 其产品结构中的氨基可与脲酶活性部位的巯基结合, 并在巯基和正丁基的协同作用下, 抑制脲酶对尿素的分解。而对于正丙基硫代磷酸三胺 (NPPT) 类型抑制剂, 则可通过调控工艺条件 (如热解、水解或酸解等), 并精确控制各类添加剂用量, 在提高产品稳定性的同时, 增强其与复合肥及其他抑制剂的相容性。

2.2 对硝化抑制剂的影响

不同生产工艺会对含硝化抑制剂类氮肥增效剂的稳定性产生不同影响。以硝化抑制剂 2-氯-6-三氯甲基吡啶 (CP) 为例, 在肥料生产工艺中, 可将其与硝态氮、铵态氮等原料按合适比例混合, 造粒形成复合肥料。此外, CP 也可作为单独的制剂, 在施肥时与常规肥料配合施用。通过合理的生产工艺, 可以保证 CP 在肥料中稳定存在, 从而使最终产品具备环境适应性强、施用方式灵活等优点, 进而提高氮素利用率。此外, 在制定工艺时, 还需综合考虑 CP 硝化抑制作用效果的多种影响因素。例如, 针对高温会降低 CP 有效性的问题, 工艺上可采用耐高温的包膜材料来延缓其分解。

与 CP 的单一抑制不同, 另一种思路是采用协同抑制工艺, 同时添加双氰胺 (DCD, 硝化抑制剂) 和 NBPT (脲酶抑制剂) 的双效抑制工艺, 可生产硫酸铵钙型、硫酸铵型、尿素型肥料, 或生产含氯型与硫型稳定性复合肥。此类肥料能有效抑制肥料的水解与硝化作用, 提高其稳定性。该工艺的关键在于解决不同抑制剂之间的相容性问题, 并通过特定顺序添加和混合技术, 避免它们与肥料中的磷等营养元素发生不良反应, 从而更好地维持肥料活性。

3 不同生产工艺添加方式对氮肥增效剂稳定性的影响

肥料生产过程中, 生产工艺可采用不同添加方式添加添加剂, 分析添加方式变化后的生产工艺对氮肥增效剂稳定性的影响。

在高塔造粒工艺中, 可选用内添加或外包裹等方式, 进行硝化抑制剂 3, 4-二甲基吡啶磷酸盐 (DMPP) 和 NBPT 的添加。采用内添加方式时, 在二级混合槽中添加原材料能有效缩短 NBPT 处于高温环境的时间, 减少其损失, 从而增强稳定性。而采用外包裹方式时, 在包膜油与包膜粉之间添加原材料, 有助于避免 NBPT 大量损失。

在转鼓造粒工艺中, 内添加方式下, 添加 DMPP 液体制剂稳定性更强, 也可在原料即将成粒时添加, 减少 DMPP 损失; 外包裹方式下, 同样可



在包膜油与包膜粉之间添加,以提高产品的稳定性。

挤压造粒工艺中,内添加方式 DMPP 的损失率低于 NBPT,且两种抑制剂均表现为固体形态的损失率低于液体形态。外包裹添加时,无论是 DMPP 还是 NBPT,将其添加在包膜油与包膜粉之间均可有效减少损失。同时,使用液体制剂的效果优于固体原药。因此,为减少损失,建议优先选择液体制剂并将其添加在包膜油与包膜粉之间。

此外,在利用高塔造粒或挤压造粒生产工艺时,还可采用溶剂挥发法在复合肥料表面形成互穿网络微囊阻隔体系,有效将 NBPT 包覆成微囊并与肥料表面进行空间隔离,使 NBPT 具有一定的缓释作用,解决了 NBPT 易受复合肥 pH、磷酸根离子、硫酸根离子和氯离子等影响造成的有效期较短、稳定性差的问题^[3]。

4 不同生产工艺肥料特性对氮肥增效剂稳定性的影响

氮肥增效剂(如脲酶抑制剂和硝化抑制剂)是提高氮肥利用率的关键添加剂,其应用效果深受所依附肥料载体的物理与结构特性的深刻影响,而物理特性和结构特性又与肥料生产工艺(如高塔造粒、挤压造粒和转鼓造粒工艺)密切相关。

在物理特性方面,可重点考察颗粒的摩擦系数与粒度分布。3 种生产工艺中,高塔造粒工艺肥料颗粒表面静摩擦系数最小,为 0.15;转鼓造粒工艺颗粒摩擦系数为 0.68;挤压造粒工艺颗粒摩擦系数最大,达 0.95^[4]。为提高氮肥增效剂的稳定性,可优先选择摩擦系数较大的挤压造粒工艺。此外,以直径介于 2 ~ 4 mm 的肥料颗粒为样本进行粒度分析表明,高塔专利工艺在该区间的肥料颗粒粒度分布占比为 90%,转鼓造粒工艺的肥料颗粒粒度分布占比为 98%,挤压造粒工艺肥料颗粒粒度分布占比为 95%^[4]。综合来看,转鼓工艺的颗粒粒度分布更加均匀,有助于提高氮肥增效剂的稳定性。

在结构特性方面,可对 3 种工艺制备的肥料颗粒的单粒内部结构及表面结构进行对比。从内部结构看,高塔造粒工艺肥料颗粒通常致密、坚硬,表

面光滑;转鼓造粒工艺肥料颗粒通常呈不规则球形,内部结构不如高塔肥料致密,具有一定的孔隙率和较低的强度;挤压造粒工艺肥料颗粒密度高、硬度大,但内部存在一定的微孔隙。因此,为增强稳定性,建议选用高塔造粒工艺。从表面结构看,高塔造粒工艺肥料颗粒表面平整光滑,可优先选用;转鼓造粒工艺肥料颗粒表面不光滑、颗粒强度低;挤压造粒工艺肥料颗粒表面结构较为粗糙、为不规则圆形,需谨慎选用。另外,挤压造粒工艺肥料颗粒表面孔隙较多,结构疏松且形状不规则;高塔造粒工艺肥料颗粒表面存在微孔、具有一定光泽;转鼓造粒工艺肥料颗粒粒级分布更加均匀^[5]。因此,高塔和转鼓工艺在结构特性方面更具优势。

未来,开发高效氮肥增效产品,根据目标增效剂的特性,反向定制或筛选最适配的生产工艺与肥料型号,真正实现氮肥的高效与绿色利用。

5 结论

不同生产工艺的应用效果直接影响脲酶抑制剂、硝化抑制剂等氮肥增效剂的稳定性和作用质量。为此,应重点围绕高塔造粒、转鼓造粒、挤压造粒等常用的肥料生产工艺,采取科学合理的措施,系统分析生产工艺类型、添加方式及肥料特性等因素对不同氮肥增效剂稳定性的影响,从而确保氮肥增效剂的安全、稳定使用。

参考文献

- [1] 周佳丰. 新型增效氮肥的创制及其应用效果研究 [J]. 吉林农业大学硕士学位论文, 2023.
- [2] 郑秀兴. 复合肥料生产工艺的创新发展 [J]. 磷肥与复肥, 2021, 36 (11): 1 ~ 6.
- [3] 吉林农业大学. 一种含有增效剂的复合肥料及其制备方法: ZL202410759915.4[P]. 2024-09-17.
- [4] 马丽. 稳定性肥料不同生产工艺对氮肥增效剂稳定性的影响 [J]. 西南大学硕士学位论文, 2024.
- [5] 郑秀兴. 复混肥料(复合肥料)质量提升探讨 [J]. 磷肥与复肥, 2018, 33 (9): 1 ~ 5.