

Study on the Mechanism of Efficient Utilization and Loss Control of Nitrogen Fertilizer in the Rotation System of Wheat and Maize

Lihua Guo Qian Sun

Department of Agriculture and Rural Affairs, Tai'an, Shandong, 271400, China

Abstract

The wheat-corn rotation system serves as a primary grain production model in northern China. However, excessive nitrogen application has led to low utilization efficiency, severe nitrogen loss, and increased non-point source pollution risks, posing significant challenges to sustainable agricultural production. Enhancing nitrogen fertilizer efficiency while ensuring crop yields remains a critical task for advancing green agriculture. Based on nitrogen absorption and migration patterns in rotation systems, this study analyzes influencing factors through soil nitrogen availability, crop nitrogen uptake characteristics, and cultivation management practices. Nitrogen loss primarily occurs via volatilization, leaching, runoff, and denitrification, exacerbating environmental pressures. By implementing precision nitrogen application, regulating nitrogen release processes, optimizing cultivation practices, and establishing a bio-soil-fertilizer synergistic control system, nitrogen utilization efficiency can be significantly improved while reducing loss risks. This research provides theoretical and technical references for green management of rotation systems.

Keywords

wheat-corn rotation; nitrogen fertilizer utilization efficiency; nitrogen loss; control mechanism; precision fertilization; green agricultural development

小麦玉米轮作体系下氮肥高效利用与损失阻控机制研究

郭丽华 孙倩

宁阳县农业农村局, 中国·山东 泰安 271400

摘要

小麦—玉米轮作体系是北方主要粮食生产模式,但过量施氮导致利用率偏低、氮素损失严重与面源污染风险上升,已成为制约高效稳产的重要问题。在保障产量的前提下提升氮肥利用率,是推动农业绿色发展的关键任务。基于轮作体系中氮素吸收与迁移规律,可从土壤供氮能力、作物吸氮特性与耕作管理措施分析影响因素。氮素损失主要经挥发、淋失、径流与反硝化等途径发生,增加环境压力。通过精准施氮、调控氮素释放过程、优化耕作措施以及构建生物—土壤—肥料协同调控体系,可显著提升氮肥利用效率并减少损失风险。文章为轮作体系的绿色管理提供理论与技术参考。

关键词

小麦—玉米轮作; 氮肥利用率; 氮素损失; 阻控机制; 精准施肥; 农业绿色发展

1 引言

小麦—玉米轮作体系是我国粮食生产的重要基础,但氮肥利用率受施肥方式、耕作制度、土壤性质与气候条件影响普遍偏低,未被吸收的氮素易通过挥发、淋失、径流和反硝化流失,导致资源浪费与环境风险并存。推动氮肥高效利用已成为实现轮作体系绿色生产的关键任务。随着精准施肥、缓控释肥、生物固氮与耕作制度优化等技术的发展,氮素供应能够更好与作物吸氮节律相匹配,为提升利用率提供

条件。基于轮作生态特征,研究氮素迁移转化规律与影响因素,并构建氮素损失阻控机制,对于形成科学、高效、可持续的氮肥管理体系具有重要意义。

2 小麦—玉米轮作体系中氮素利用的生物学基础

2.1 小麦与玉米吸氮特性的差异性规律

小麦与玉米在生育期、吸氮高峰及根系分布上具有明显差异。小麦吸氮高峰主要集中在拔节至抽穗期,根系分布较浅,依赖表层土壤矿质氮供应;玉米吸氮高峰发生在大喇叭口期至灌浆期,根系更为发达且延伸较深,能够有效吸收中下层土壤氮素。两作物生育节律的差异导致氮素管理应呈

【作者简介】郭丽华(1980—),女,中国山东济宁人,本科,助理农艺师,从事农业技术推广研究。

现动态调控特征,以满足不同作物与不同阶段的吸氮需求。了解两种作物的吸氮生理基础,有助于制定轮作条件下科学的施氮方案^[1]。

2.2 土壤氮素矿化与有效氮供应规律

轮作体系中,作物秸秆还田、土壤温湿变化与微生物活性共同影响氮素矿化过程。小麦收获后气温升高,土壤氮素矿化加速,有利于为玉米提供氮源;而玉米收获后气温下降,矿化速度减缓,易出现氮素供应不足。土壤有效氮水平受矿化与固持过程共同调控,过高的施氮强度可能造成氨挥发和硝态氮淋失。因此,轮作制度下应根据季节变化和土壤特性动态调控施氮量与施肥时期,以提高作物吸收效率。

2.3 轮作调控对氮素转化与迁移的影响

不同作物根系分泌物、秸秆还田量以及土壤耕作方式,会影响氮素的形态转化与迁移。小麦秸秆含碳量较高,易造成短期氮素固持,而玉米秸秆分解较快,有利于氮素释放。免耕或少耕措施能改善土壤团粒结构,增强土壤保肥能力,减少淋失。通过调控作物配置与耕作制度,可以实现氮素在土壤—作物系统中的优化分配^[2]。

3 氮肥利用效率影响因素分析

3.1 施氮方式与施肥时期对利用率的影响

施氮方式与施肥时期对氮肥利用效率具有关键调控作用,其影响贯穿小麦—玉米轮作体系的整个生育周期。在长期生产中,基施一次性施入氮肥虽然操作便捷,但因氮素释放与作物吸氮高峰不同步,易在早期发生氨挥发、淋失或反硝化,使有效利用率显著下降。分次施肥与追施技术能够更贴合作物生长节律,小麦在拔节前需氮量快速增加,若在此节点前完成主要施氮,可提高氮素吸收效率;玉米在大喇叭口期进入吸氮旺盛阶段,追施能够满足其高峰需求,减少无效损失。施氮方式方面,条施与深施能够增强肥料与根系的空间接触,降低表层挥发;灌溉条件下采用水肥一体化技术,使氮素随水分均匀进入根系活跃层,可改善氮素供应的一致性。此外,控释施肥技术与同步施水施肥措施能够减少氮素在土壤中的快速暴露,延长氮素有效期,增强对环境波动的适应性。在轮作体系中,根据作物生育特性、土壤条件和气候因素动态调整施氮时期与方法,可显著提高投入产出比,实现氮肥利用最大化^[3]。

3.2 土壤理化性质与微生物活性对氮素效率的影响

土壤理化性质是影响氮素供应、转化与吸收的重要生态基础,决定氮肥在轮作体系中的有效性与稳定性。壤土因具有适宜的孔隙度和持水能力,使氮素不易快速淋失或挥发,是小麦—玉米轮作中提升氮素利用效率的理想土壤类型;而砂质土壤因保水保肥能力弱,易导致硝态氮下移;黏重土壤透气性差,易引起反硝化损失,均不利于高效利用。有机质含量是衡量土壤肥力的重要指标,其提升可增强土壤对铵态氮的吸附能力,稳定氮素供应,同时为微生物提供碳

源,促进矿化与固持的动态平衡。pH值影响铵态氮的吸附与氨挥发,偏碱性条件下挥发风险增加,而过度酸化会抑制根系生长与微生物活性。微生物是氮素转化的核心动力,硝化菌、反硝化菌与固氮菌共同调控氮素在不同形态间转化。提高微生物多样性与群落稳定性可促进氮素循环,加快有机氮矿化,提高无机氮供应能力。因此,通过增施有机肥、秸秆还田、改善耕作制度等措施提升土壤健康,有助于构建更稳定的氮素供需关系,为轮作体系提供更高的氮肥利用效率。

3.3 水分管理与灌溉方式对氮素吸收的影响

氮素在土壤中的迁移、转化与吸收高度依赖水分状况,合理的水分管理是提高氮肥利用效率的重要保障。在小麦—玉米轮作体系中,降水分布不均、灌溉方式多样,使水分调控对氮素吸收具有显著影响。滴灌与微喷等精准灌溉技术能够按需供水,使根际土壤保持适宜的含水量,减少因过量灌溉导致的硝态氮淋失;与水肥一体化结合时,还能实现氮素定向输送,提高氮素在根系活跃区的有效供给。传统大水漫灌容易造成土壤饱和,使硝态氮随渗漏水进入深层,不仅浪费资源,还可能污染地下水。在干旱条件下,土壤缺水会限制根系吸收氮素,并影响微生物活性,使氮素矿化减缓。轮作体系需根据季节降水规律、土壤水分特征及作物需水需肥曲线实施精细化水分管理,通过小水勤灌、补灌调控、覆盖保墒等措施增强氮素吸收环境稳定性。通过水分与氮素的协同调控,可降低氮素损失,提高作物吸收效率,促进轮作体系高产稳产与绿色发展目标的实现。

4 小麦—玉米轮作体系中氮素损失机制分析

4.1 氨挥发与气态排放损失

氨挥发是小麦—玉米轮作体系中氮肥损失最为常见且影响显著的路径之一,其发生程度受施肥方式、温湿度条件、土壤理化性质等多因素共同影响。在生产实践中,表施尿素因与土壤接触不充分,易在高温或偏碱性条件下迅速水解并释放氨气,导致氮素无法被作物吸收而直接逸散至空气。小麦返青期气温逐渐升高,施肥后土壤表层环境适宜氨挥发,使挥发风险显著增大;玉米追肥阶段土壤含水量高,既促进尿素水解,也易在缺氧环境中加快反硝化过程,产生 N_2O 等温室气体,形成“氮肥损失—环境污染”的负向循环。在轮作体系中,氨挥发不仅造成氮肥利用效率下降,还加剧空气污染与温室效应。因此,深施、条施、覆土施肥及与灌溉同步的水肥一体化技术被证明能够显著降低氨挥发;同时,使用硝化抑制剂、提高土壤有机质含量和改善施肥时机也能有效降低气态排放。在整体管理中,应结合作物生育特性、区域气候与土壤条件制定氨挥发阻控策略,以实现氮肥资源的有效利用^[4]。

4.2 硝态氮淋失与地下水污染风险

硝态氮淋失是轮作体系中另一项关键氮素损失途径,

尤其在玉米灌溉期更为突出。硝态氮具有高度溶解性,可随渗漏水向土壤深层移动,当土壤结构疏松、有机质含量低或降雨量集中时,其淋失速度显著加快,进入地下水后易导致硝酸盐污染。轮作体系中,小麦收获后土壤温度升高,氮素矿化增强,会在玉米播种前后形成短期过量供应,若施肥增加,则易造成氮素累积并在灌溉条件下发生严重淋失。长期淋失不仅导致肥料浪费,也危害饮用水安全。在阻控方面,缓释肥料与控释技术通过减少硝态氮在短期内大量释放,可有效降低淋失强度;秸秆覆盖能改善土壤结构,增强保水固氮能力,减少深层渗漏;合理灌溉策略,如滴灌和小水勤浇,可降低土壤水分过饱和状态,从而减少硝态氮向深层迁移。通过精准施氮与结构调控相结合,可有效抑制硝态氮淋失风险,保障地下水生态环境安全。

4.3 表面径流引发的氮素流失问题

降雨集中或灌溉过量情况下,氮素容易随地表径流从耕层流失,最终进入周边水体,导致水体富营养化,严重影响生态系统稳定性。表面径流流失主要发生在降水强度大于土壤入渗能力时,氮素以铵态、硝态或有机氮形式进入河道和湖泊。在小麦—玉米轮作体系中,玉米生育期常伴随强降雨事件,而小麦返青期土壤裸露面积较大,更容易发生径流携带氮素流失。土壤压实、坡度较大或地表覆盖不足,都将提高径流风险。阻控措施方面,地膜覆盖能够减少雨滴直接冲刷土壤,降低氮素表层流失;等高耕作或带状种植可以延缓径流速度,增加水分入渗;通过建设田间拦截带、植被缓冲带等生物措施,可进一步吸收流失氮素。

5 氮肥高效利用与损失阻控策略

5.1 精准施氮技术体系构建

精准施氮技术体系旨在通过信息化与智能化手段,使氮肥施用更加符合作物需求的动态变化规律,从而提高利用效率并减少无效损失。在小麦—玉米轮作体系中,作物吸氮特征存在明显时序差异,对施氮精准度提出更高要求。传感监测技术通过土壤水分、氮素含量、气象条件等实时数据的采集,为氮肥管理提供客观依据;处方施肥则根据土壤养分状况与作物生长模型生成施肥方案,使施用量与氮素供应能力相匹配;变量施肥设备则可按地块差异实现差异化施氮,避免“一刀切”式施肥造成资源浪费。基于多源数据的精准氮素管理,可有效应对天气波动、土壤异质性和作物需氮变化,使施氮策略从经验模式转向数据驱动模式,从而提高氮肥投入产出比,支撑轮作体系绿色高效发展^[5]。

5.2 缓控释肥料与生物调控技术的应用

缓控释肥料与生物调控技术通过调节氮素释放速率或氮素转化路径,使氮肥在施用后能够更长时间维持有效性,

并减少氮素向大气、水体流失,是提升轮作体系氮肥效率的重要路径。缓释与控释肥通过物理包膜、化学反应或生物降解释放氮素,使肥效与作物吸氮节律更为同步,从而减少早期淋失或挥发。生物固氮菌能够促进土壤微生物群落多样性,提高土壤氮素自我供给能力,减少对化学氮肥的依赖;而硝化抑制剂可延缓铵态氮向硝态氮转化,降低硝态氮淋失风险,延长氮素在根际的停留时间,提高吸收效率。生物炭、土壤调理剂等材料的应用也可改善土壤结构、提升保氮能力,使氮素在土壤中保持更稳定形态。缓控释肥与生物调控手段的综合运用,有助于形成“减量、增效、环保”的氮肥管理模式,为轮作体系构建低损失、高效率的氮素循环系统提供技术支撑。

5.3 耕作制度优化与土壤健康提升

耕作制度是影响土壤结构、养分循环与氮素稳定性的关键因素。在小麦—玉米轮作体系中,通过优化耕作方式可显著改善土壤健康,为氮素高效利用提供良好环境基础。免耕和少耕措施能够减少土壤扰动,促进团粒结构形成,提高土壤保水保肥能力,并减少降雨条件下的氮素径流损失;深松措施可改善土壤通透性,缓解犁底层硬化,提高根系下扎能力,从而增强作物对深层氮素的吸收潜力。秸秆覆盖能够增加土壤有机质,提高微生物活性,促进氮素矿化与固持的动态平衡,减少施肥后氮素的快速流失。建立轮作制度中的覆盖作物体系,通过耕作制度的综合优化,土壤健康与氮素循环效率得以同时提升,为氮肥高效利用奠定生态基础,实现轮作体系的稳产增效与绿色发展目标。

6 结语

小麦—玉米轮作体系氮肥管理的关键在于提高氮利用效率与降低环境损失。通过优化施肥技术、改良土壤结构、采用生物调控手段和发展精准农业技术,可有效构建高效、稳定、低排放的氮肥管理模式。未来研究需进一步加强氮素行为机理的长期观测,强化技术集成示范,为实现农业绿色发展提供持续动力。

参考文献

- [1] 崔瑞龙. 稻麦轮作体系下水稻和小麦的氮素高效利用机制研究[D]. 扬州大学, 2024.
- [2] 韩燕来. 冬小麦夏玉米轮作高产高效施肥技术研究与应用. 河南省, 河南农业大学, 2017-12-01.
- [3] 徐明杰. 不同轮作体系作物—土壤—肥料氮素特征研究[D]. 河北农业大学, 2014.
- [4] 叶青, 曹国军, 耿玉辉. 控释氮肥在小麦玉米轮作体系中的养分高效利用研究[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(08): 124-129.
- [5] 要娟娟. 有机肥和氮肥配施对农作物产量和氮肥效率的影响[D]. 山西大学, 2012.