

Effects of different nitrogen fertilizer operation modes on winter wheat yield and nitrogen fertilizer utilization efficiency

Junfeng Zhao

People's Government of Liutun Town Puyang County Henan Province, Puyang, Henan, 457100, China

Abstract

Nitrogen is a critical nutrient for winter wheat growth and yield formation. Scientific nitrogen application is crucial for improving fertilizer efficiency and ensuring stable and increased production. Current practices still face challenges such as single application methods, irrational timing of nitrogen supply, and high loss rates, leading to low nitrogen uptake efficiency and increased environmental burden. This study compared the traditional basal application model with a phased nitrogen supply approach combining basal application and top-dressing during the green-up and heading stages. The analysis revealed that phased nitrogen supply aligns nitrogen supply with crop demand, improves population structure and photosynthetic performance, promotes the formation of spike number, grain number, and thousand-grain weight, enhances yield and nitrogen productivity, increases nitrogen utilization efficiency by 10%–23%, and reduces nitrogen loss risks. This demonstrates comprehensive benefits of “stable yield, improved efficiency, and emission reduction,” making it valuable for establishing a green and efficient winter wheat production system.

Keywords

winter wheat; nitrogen fertilizer management; yield formation; nitrogen fertilizer utilization efficiency; stage-wise nitrogen application

不同氮肥运筹模式对冬小麦产量及氮肥利用效率的影响

赵俊锋

河南省濮阳县柳屯镇人民政府，中国·河南 濮阳 457100

摘 要

氮素是冬小麦生长与产量形成的关键养分，科学施氮对提高肥料利用效率和保障稳产增产具有重要意义。目前生产中仍存在施氮方式单一、供应时序不合理及损失率高等问题，导致吸氮效率偏低并加重环境负担。本研究对比了基施为主的传统施肥模式与基施、返青期及孕穗期追施相结合的分期供氮模式，分析其对群体生长、产量构成与氮肥利用效率的影响。结果表明，分期供氮能使氮素供应与作物需求相匹配，改善群体结构与光合表现，促进穗数、粒数和千粒重形成，提高产量与氮肥偏生产力，同时可提高氮肥利用率10%~23%，并降低氮素损失风险，体现“稳产、提效、减排”综合效益，对构建冬小麦绿色高效生产体系具有推广价值。

关键词

冬小麦；氮肥运筹；产量形成；氮肥利用效率；分期施氮

1 引言

冬小麦是中国主要口粮作物，氮素是影响其生长发育和产量形成的关键营养元素，但常规施氮方式存在效率低、损失大等问题。长期依赖单次基施或基施与拔节期一次追肥的模式，导致氮素供应在时间上与作物实际需求不同步：苗期供氮偏多、返青至孕穗阶段供氮不足，既造成氮素挥发、淋洗等损失增加，也影响光合产物积累和灌浆过程，最终制约产量与品质。为解决这一矛盾，提出基施、返青期和孕穗期分期供氮的运筹策略，使氮素供应与需求相匹配，能够改

善群体结构、延缓叶片衰老、提升籽粒灌浆效率，从而提高产量和氮肥利用效率。但当前针对不同施氮模式下群体生长动态、氮素吸收分配和利用机制等方面的研究仍不够系统，对其经济与生态效益的综合评价亦有待完善。因此，比较不同氮肥运筹模式对冬小麦生长发育和氮素利用效率的影响，对于构建绿色高效种植体系具有重要意义。

2 氮肥运筹模式对冬小麦群体生长的影响

2.1 分蘖动态变化特征

氮素供应直接影响冬小麦分蘖成穗率。在基施为主的施肥模式下，前期氮素供应充足，早期分蘖数量增加，但成穗率偏低；而分期供氮模式通过返青期追施促进有效分蘖保留，使群体结构更协调，穗数保持稳定。田间测定结果显示，

【作者简介】赵俊锋（1979–），男，中国河南濮阳人，本科，农艺师，从事农学研究。

分期施氮处理分蘖死亡率较传统处理降低 7% ~ 14%。

2.2 叶面积指数与光合效能

叶片是光合产物的主要来源，氮素水平直接影响叶绿素合成与叶片生理功能。分期供氮模式通过在孕穗期补充氮素，有助于维持旗叶叶绿素含量和酶活性，使冬小麦在灌浆关键时期保持较高的光合速率和叶面积指数。测定结果显示，与传统施肥处理相比，分期施氮处理的 SPAD 值和净光合速率在孕穗期后分别提高 12% ~ 19%，表明其能够延缓叶片衰老过程，提高同化物供应能力。这种光合效能优势使灌浆期碳水化合物积累更充分，有助于提升籽粒充实程度和千粒重，最终促进产量形成。

2.3 根系活力提升

根系活力是作物吸收水分与养分效率的重要表征，其对氮素供应节律较为敏感。分期施氮模式能够在植株生长后期持续提供氮源，促进根系向深层土壤延伸，提高根际吸附能力。根系脱氢酶活性测定结果表明，分期供氮处理根系代谢水平高于传统处理，说明其根系生理活性更强。同时，分期供氮提高了根冠比，使植株具备更稳固的水肥供应结构和较好的抗逆能力。根系活力的增强不仅提升了氮素吸收与利用效率，也为植株上部生长和籽粒灌浆提供了稳固支撑，是实现稳产与高效施氮的重要生理基础 [1]。

3 氮肥运筹模式对产量形成的影响

3.1 穗数与粒数构成

冬小麦产量形成依赖于群体结构和个体发育的协调，而穗数和每穗粒数是决定产量水平的关键构成因素。氮素供应状况直接影响分蘖发生、有效穗形成及花器分化质量。传统施肥模式由于氮肥集中在基施阶段，前期氮素供应充足但后期不足，易造成早期分蘖数量偏多而成穗率降低，导致群体结构不稳定。分期供氮模式能够在返青阶段为有效分蘖提供适宜氮源支持，减少无效分蘖消耗；在孕穗期追施可促进小花分化及粒位形成，使单穗粒数提高。田间实测数据显示，采用基施 50% + 返青期 25% + 孕穗期 25% 的分期施氮处理，有效穗数较传统施肥提高 5% ~ 11%，每穗粒数提高 3% ~ 8%。这表明分期施氮更有利于确保穗数与粒数之间的动态平衡，使群体结构更加合理稳定，从而为产量形成提供稳固基础。通过供氮节律匹配作物生理节律，可实现群体与个体协同增效，显著提升产量形成潜力。

3.2 千粒重及籽粒灌浆过程

千粒重是冬小麦产量差异的重要体现指标，其大小取决于籽粒灌浆速率和灌浆持续时间。灌浆过程需要持续的光合产物供应，而功能叶衰老的快慢直接影响籽粒灌浆效率。分期施氮模式中，孕穗期追施能够维持叶片较高的叶绿素含量与光合能力，延缓“早衰”现象，使光合产物向籽粒运输更加稳定。研究表明，分期施氮可提高旗叶净光合速率 8% ~ 15%，延长灌浆持续期 3 ~ 6 天，使谷粒充实程度

明显增强。试验数据显示，采用分期供氮处理的千粒重较传统施肥提高 1.8 ~ 3.6 克，增幅明显。这一结果说明，分期供氮不仅改善了养分供应节律，也优化了碳水化合物分配格局，使籽粒灌浆阶段能够获得更多碳源输入，从而形成更加饱满的籽粒 [2]。

3.3 产量差异统计分析

田间多点试验统计分析表明，分期供氮处理冬小麦产量比传统施肥提高 8% ~ 18%，且产量变化稳定、年际差异小，说明其不仅在高产条件下有效，在不同生态年景中亦具适应性。从氮肥偏生产力和产量贡献分解来看，分期施氮在提高单位氮肥产出效率方面表现突出，使单位氮肥带来的产量增益显著提升。此外，分期供氮能够改善群体光合效率和源库关系，使产量构成更加均衡，避免“穗数虽多但灌浆不足”或“粒重虽大但穗数偏少”等现象。统计结果进一步验证，科学施氮模式对冬小麦稳产增产具有直接贡献，其增产机理来自于生育进程中氮素供应与生理需求的精准匹配。因此，分期施氮可作为冬小麦高产与氮肥高效协调管理的关键技术模式进行推广。

4 氮肥运筹模式对氮素吸收与利用效率的影响

4.1 氮素吸收量与积累规律

冬小麦在不同生育时期对氮素的吸收量存在明显差异，通常表现为苗期需求较低、返青—拔节期快速上升、孕穗—灌浆期达到吸收高峰，而在成熟期吸氮速率下降。传统以基施为主的施肥模式多导致苗期土壤无机氮含量过高，而后期供氮不足，作物需要依靠根系再吸收能力或动员营养器官储氮以满足籽粒形成的需求，从而影响籽粒灌浆质量和最终产量。分期施氮模式通过返青期追施促进群体结构稳定，孕穗期追施延缓叶片衰老，使氮素吸收峰值与籽粒形成高峰期更为同步，有利于提高光合产物向籽粒的分配效率。田间氮素积累动态监测表明，分期施氮处理在拔节至灌浆期的氮素积累量明显高于传统模式，且籽粒吸氮量占植株总氮的比例更高。这说明合理运筹氮肥不仅改善了氮素吸收过程的时相分布，还通过调控氮素供应节律实现了作物养分需求与供给的精准匹配。

4.2 氮素分配比例

分期供氮模式能够促进氮素由茎叶等营养器官向穗部、籽粒进行有效转运，从而提高籽粒蛋白含量和产量构成要素。研究表明，孕穗期追施氮肥能够延缓功能叶衰老，保持较高叶绿素含量与光合效率，促进更多光合产物及氮素向籽粒运输，使籽粒灌浆速度加快、灌浆时间延长，进而提高千粒重。此外，在分期施氮模式下，籽粒氮含量上升，籽粒蛋白质积累增加，有利于提升粮食品质。生理特征测定结果也显示，该模式中植株后期根系活性与茎秆储备动员能力较强，表明氮素在体内的再转运效率提高。因此，分期供氮不仅提高了氮素吸收总量，更通过优化体内氮素分配，使氮素

更有效地参与产量和品质的形成,体现出较高的群体代谢协调性和营养利用效率[3]。

4.3 氮肥利用效率评价

传统施肥模式因供氮集中、释放不均、吸收匹配性差,导致氮素损失显著,如挥发、淋洗与反硝化带来的氮素排放,不仅增加肥料浪费,也加剧环境负担。分期施氮模式则通过调控氮素释放节律,使施入氮素转化为植株可吸收形态的比例提高,从而减少损失。长期监测数据显示,与传统施肥相比,分期施氮可使氮肥利用率提高10%~23%,氮肥偏生产力提高8%~18%,氮收获指数显著改善,说明单位氮肥投入在产量形成中的贡献更高。同时,分期施氮降低了农田氮素过剩风险,有助于减少 N_2O 排放和地下水硝态氮累积,实现农业生产“增产提效、减肥减排”的双重目标。因此,分期施氮模式在保障产量的同时提高了资源利用效率,具有明显的可持续性优势[4]。

5 提高氮肥利用效率的运筹策略

5.1 优化施肥时序与比例

实践表明,小麦越冬前根系生长缓慢,对氮素需求相对较低,而返青至孕穗期则是营养生长与生殖生长并进、对氮需求最为旺盛的阶段。因此,通过将总施氮量按生育进程分配为基施、返青期追施和孕穗期追施,可构建“前促、中稳、后补”的梯度供氮结构,使氮素供应与作物吸收节律相匹配。基施主要改善土壤肥力基础,促进苗期生长;返青期追施可保证有效分蘖的形成,增强群体合理结构;孕穗期追施则有助于延缓旗叶衰老、提高光合效率,促进籽粒灌浆与干物质积累,从而提升千粒重和最终产量。在实际生产中,建议保持基施氮在总施氮量的50%左右,返青与孕穗期分别占25%左右,并结合天气状况、土壤墒情和生长势进行动态微调,以实现稳产与提效兼顾的施氮管理模式。

5.2 结合土壤监测开展精准施氮

在实际管理过程中,可将土壤有效氮含量测试、叶面SPAD值测定、氮素营养指数(NNI)诊断等方法结合使用,对作物氮素状态进行实时监测,从而实现施氮量与施氮时期的科学调控。SPAD测定可快速反映叶绿素水平,NNI可量化植株氮营养相对充足程度,而土壤快速检测技术则能够为返青与孕穗期追肥提供依据。通过土壤与植株双向监测,可在氮素供给不足时及时补施,在土壤氮供应充足或生育后期不再需要额外氮素时减少施用量,从而避免氮肥浪费和损失。该策略不仅提高氮素利用效率,还可减少氮素流失造成

的地下水硝酸盐累积、空气氨挥发及温室气体排放,兼具农业效益与生态效益。构建“监测—诊断—调控”一体化精准施氮体系,是未来小麦氮肥管理的发展趋势[5]。

5.3 推广节肥增效与减排技术

在保障产量前提下实现氮肥减量增效,需要从氮素形态调控、释放节律调控和微生物生态调控多方面入手。缓释氮肥通过调整氮素溶出速度,使氮素在整个生育期呈持续供应状态,可显著降低施氮峰值造成的损失风险;脲酶抑制剂和硝化抑制剂可有效延缓尿素水解与硝化进程,减少氨挥发与硝酸盐淋洗,提升氮素利用效率;生物有机肥和微生物菌剂可改善土壤微生态环境,增强根际固氮和氮素转化能力,使土壤氮素循环更加平衡。此外,秸秆还田、覆盖作物栽培、保护性耕作等耕作制度优化措施,也能够提升土壤有机质含量与保氮能力,从系统层面降低氮素损耗。通过多措施协同,可实现减肥不减产、增效并减排的目标。构建“化肥—有机肥—生物肥”协同施用模式,是未来冬小麦绿色生产体系的重要方向。

6 结语

不同氮肥运筹模式对冬小麦群体生长、产量形成与氮素利用效率具有显著影响。研究表明,将基施与返青期及孕穗期追施相结合的分期供氮模式,可更有效地协调氮素时序供应与作物吸收需求,促进群体结构优化、光合能力提升与籽粒灌浆完善,显著提高产量与肥料利用效率。该模式符合绿色、高效、可持续农业发展方向,具有较强的推广应用价值。未来研究还需进一步结合区域土壤差异、品种特性与气候环境,形成更加精细化、区域化与智能化的施氮技术体系,为粮食安全与农业生态保护提供支持。

参考文献

- [1] 张志文.氮肥运筹和种植密度对匀播冬小麦生长及氮素利用率的影响[D].塔里木大学,2024.
- [2] 张永强,齐晓晓,张璐,等.氮肥运筹对滴灌冬小麦叶片光合特性及产量的影响[J].作物杂志,2020,(01):141-145.
- [3] 周海燕,吴德敏,李彦,等.秸秆还田条件下不同氮肥运筹对冬小麦产量、农艺性状及氮素利用效率的影响[J].山东农业科学,2011,(05):55-59.
- [4] 宋一凡.不同施氮量下增施有机肥对砂姜黑土土壤团聚体性能及冬小麦产量形成的影响[D].河南农业大学,2024.
- [5] 马迎辉,王玲敏,黄玉芳,等.氮肥运筹对冬小麦干物质累积、产量及氮素吸收利用的影响[J].华北农学报,2013,28(01):187-192.