

张晋睿, 黄倩楠, 解晨晨, 等. 控释氮肥对小麦旗叶氮素积累动态及产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2026, 42(4): 709-717.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2026.04.007

控释氮肥对小麦旗叶氮素积累动态及产量的影响

张晋睿^{1,2}, 黄倩楠³, 解晨晨⁴, 庄宇驰⁴, 何漪², 张鹏², 张林青¹, 王化敦²

(1.淮阴工学院生命科学与食品工程学院, 江苏 淮安 223003; 2.农业农村部淮河下游种质创制重点实验室/江苏省农业科学院, 江苏 南京 210014; 3.伊犁州农业科学研究所, 新疆 伊宁 835000; 4.南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 本研究旨在探究控释氮肥对不同小麦材料氮素利用及产量相关性状的影响, 为优化小麦缓施肥策略和稳产促产提供科学依据。结果表明, 控释氮肥处理下小麦旗叶氮素水平在孕穗期至成熟期呈先升高后降低趋势, 部分材料旗叶氮素水平显著高于对照; 控释氮肥处理的旗叶氮积累量在孕穗期-花期增幅显著高于对照, 而花期-灌浆期及花期-成熟期降幅显著低于对照。与对照相比, 在控释氮肥处理下, 7份供试小麦材料中宁麦42的收获指数和氮收获指数显著提高, 宁16315产量显著降低。方差分析结果显示, 成熟期小麦旗叶全氮含量受施氮模式、品种(系)及其交互作用显著影响, 收获指数和产量主要受品种(系)调控。本研究结果揭示了控释氮肥对小麦氮素利用和产量的影响存在品种差异, 强调在控释氮肥应用优化中需综合考虑品种遗传特性及其与施肥措施的互作效应。

关键词: 控释氮肥; 小麦; 旗叶; 收获指数; 氮收获指数; 产量

中图分类号: S512.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2026)04-0709-09

Effects of controlled-release nitrogen fertilizer on nitrogen accumulation dynamics in wheat flag leaves and yield

ZHANG Jinrui^{1,2}, HUANG Qiannan³, XIE Chenchen⁴, ZHUANG Yuchi⁴, HE Yi², ZHANG Peng², ZHANG Linqing¹, WANG Huadun²

(1. School of Life Science and Food Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223003, China; 2. Key Laboratory of Germplasm Innovation in Downstream of Huaihe River (Nanjing), Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3. Yili Institute of Agricultural Sciences, Yining 835000, China; 4. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: This study aimed to explore the effects of controlled-release nitrogen fertilizer on nitrogen utilization and yield-related traits of different wheat materials, providing a scientific basis for optimizing slow-release fertilization strategies and ensuring stable and increased wheat yields. The results showed that under controlled-release nitrogen fertilizer treatment,

收稿日期: 2025-07-30

基金项目: 国家重点研发计划项目(2024YFD1201104); 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-03-57)

作者简介: 张晋睿(1999-), 男, 江苏连云港人, 硕士研究生, 研究方向为小麦氮素养分高效利用。(E-mail) 212308910534@hyit.edu.cn

通讯作者: 张林青, (E-mail) linqingzhang@hyit.edu.cn; 王化敦, (E-mail) hdwang@jaas.ac.cn

the nitrogen content in the flag leaves of wheat increased first and then decreased from the booting stage to the maturity stage, and the nitrogen content in the flag leaves of some materials was significantly higher than that in the control group. The increase of nitrogen accumulation in flag leaves from the booting stage to the flowering stage under the controlled-release nitrogen fertilizer treatment was significantly higher than that in the control group, while the decreases from the flowering stage to the filling

stage and from the flowering stage to the maturity stage were significantly lower than those in the control group. Among the seven tested wheat materials, the harvest index and nitrogen harvest index of Ningmai 42 were significantly increased, while the yield of Ning 16315 was significantly decreased. Analysis of variance showed that the total nitrogen content in wheat flag leaves at maturity was significantly affected by nitrogen application patterns, wheat variety (line), and their interaction, and the harvest index and yield were mainly regulated by the variety (line). The results of this study revealed that the effects of controlled-release nitrogen fertilizer on wheat nitrogen utilization and yield varied among varieties. Therefore, in the optimization of controlled-release nitrogen fertilizer application, it is necessary to comprehensively consider the genetic characteristics of varieties and their interaction effects with fertilization measures.

Key words: controlled-release nitrogen fertilizer; wheat; flag leaf; harvest index; nitrogen harvest index; yield

中国是全球最大的小麦消费国和生产国,小麦种植面积占中国粮食作物总种植面积的 22% 左右^[1]。随着农业生产技术的不断进步,肥料种类和施肥技术也在不断创新。缓释肥作为一种新型肥料,其利用高分子树脂作包衣材料,使肥料形成一层水分渗透性很低的树脂膜,土壤中的水分通过树脂膜进入肥料颗粒内,将养分溶出膜外,供作物吸收^[2]。缓释肥因具有能够缓慢释放养分、提高肥料利用率、减少养分流失等优点受到广泛关注。此外,缓释肥具有肥效时间长的特点,养分释放规律与作物养分需求基本一致,能够有效减少施肥成本,减少肥料损失,具有较好的经济效益^[3]。作物对土壤养分的吸收利用受其自身养分需求和土壤养分供应能力的影响,保持土壤养分供应与作物对养分需求的平衡是解决肥料利用率低和肥料浪费问题的关键^[4]。控释氮肥作为缓释肥的一种,通过控制氮素释放速率,一次性施用,促进小麦对氮素的吸收利用,增加干物质积累量并提高千粒重,实现小麦生产提质增效^[5]。

氮素在小麦生长发育进程中发挥了至关重要的作用,不仅对植株的群体数量、氮素的积累转运、籽粒灌浆过程起到重要的调节作用,还直接影响小麦产量与品质^[6-7]。研究表明,适量施用氮肥可以有效增加小麦的产量,但是过量施用氮肥会导致土壤酸化、环境污染等问题,降低氮素利用效率,进而影响小麦产量^[8-9]。有研究表明,基因型与施氮处理对冬小麦籽粒产量有着极显著的影响,二者互作的影响也达到了显著水平^[10]。小麦品种因素对产量的贡献率可达 48.66%,施氮量、追肥时期以及产量构成因素互作对产量的贡献率分别为 20.69%、18.44% 和 12.21%,表明除了品种遗传因素的决定作用外,施氮量、追肥时期及产量构成因素互作对小麦产量亦有非常重要的作用^[11]。因此,研究缓释肥对不同品种小麦的氮素吸收利用及产量的

影响,不仅有助于深入理解缓释肥的作用机制和对不同遗传背景小麦品种材料的适应性,还能小麦生产中提高肥料利用率和产量提供科学依据。本研究旨在探讨控释氮肥对小麦氮素利用和产量相关性状的影响,通过田间试验分析不同施肥处理下小麦旗叶的氮素动态变化、地上部干物质分配及产量,以期优化小麦缓释肥策略和稳产促产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2024–2025 年在江苏省农业科学院试验基地(南京市六合区竹镇镇)开展。试验地前茬作物为大豆,土质类型为黏质马肝土,0~20 cm 土层 pH 为 6.29,全氮含量 1.06 g/kg,速效氮含量 99.40 mg/kg,速效磷含量 25.65 mg/kg,速效钾含量 208.16 mg/kg,有机质含量 18.72 mg/kg。试验材料共计 7 份,包括 4 份小麦新品种和 3 份小麦新品系,试验材料具体信息见表 1。

表 1 小麦试验材料信息

Table 1 Information of wheat materials

材料名称	亲本	审定编号
宁麦 39	宁 77147/镇麦 9 号	国审麦 20230023
宁麦 42	生选 6 号/宁 09130/宁 09121	苏审麦 20230015
宁麦 43	宁麦 13/扬 158	国审麦 20243011
宁麦 46	镇 05185/扬 06-164	国审麦 20241010
宁 16315	扬麦 21/镇麦 168	-
宁 17073	扬 06-164/宁 9 大 80	-
宁 17108	镇 05185/宁麦 13	-

1.2 试验设计

试验设 2 个处理:(1) 常规施氮(尿素,纯氮含

量 46.4%) 模式, 基肥: 分蘖肥: 拔节孕穗肥施用比例分别为 5:2:3; (2) 施用控释氮肥处理, 分蘖肥 (20%) 和拔节孕穗肥 (30%) 分别使用 40 d 控释期树脂包膜尿素 (纯氮含量 44.5%) 和 120 d 控释期树脂包膜尿素 (纯氮含量 44.0%), 与基肥 (尿素, 纯氮含量 46.4%) 一次性底施, 控释氮肥由中国科学院南京土壤研究所提供。在以上 2 个处理中, 总施氮量均为 240 kg/hm², 磷肥 (P₂O₅)、钾肥 (K₂O) 用量一致, 均为 120 kg/hm², 与基肥同时底施。2024 年 11 月 1 日适期播种, 基本苗统一为 1 hm² 2.25×10⁶ 株, 使用小区播种机条播 (8 行/区), 行长 6.00 m, 行间距 0.27 m, 小区面积 12.96 m², 随机排列。重复 3 次。

1.3 测定指标与测定方法

1.3.1 旗叶氮素积累动态监测与成熟期采样 分别于孕穗期 (3 月 25 日)、花期 (4 月 13 日至 4 月 14 日)、灌浆期 (花后 21 d; 5 月 3 日至 5 月 4 日) 和成熟期 (5 月 31 日) 在每个小区随机选取 20 张旗叶作为 1 个样品。样品经 105 °C 杀青 30 min, 70 °C 烘干至恒重, 测定旗叶干重。

于成熟期在每个小区随机选择 3 段 0.2 m 长的小麦材料, 收获地上部样品, 混合后分秸秆 (茎鞘、叶片、颖壳) 和种子 2 个部位样品, 样品经 70 °C 烘干至恒重后称重。

成熟期每个小区收割 1 m² 测定产量。

1.3.2 小麦样品氮含量测定 将 1.3.1 中小麦不同部位样品粉碎, 经 H₂SO₄-H₂O₂ 消化^[12], 利用连续流动分析仪 (德国 SEAL Analytical 公司产品) 测定样品全氮含量。

1.3.3 数据计算与分析 样品氮积累量 (mg) = 样品生物量 (g) × 样品全氮含量 (mg/g)

收获指数 (%) = 籽粒生物量 (g) / [籽粒生物量 (g) + 秸秆生物量 (g)] × 100%

氮收获指数 (%) = 籽粒氮积累量 (mg) / [籽粒氮积累量 (mg) + 秸秆氮积累量 (mg)] × 100%

采用 Excel 2016 进行数据统计和绘图, 用 SPSS20.0 进行统计分析 (最小显著差异法)。

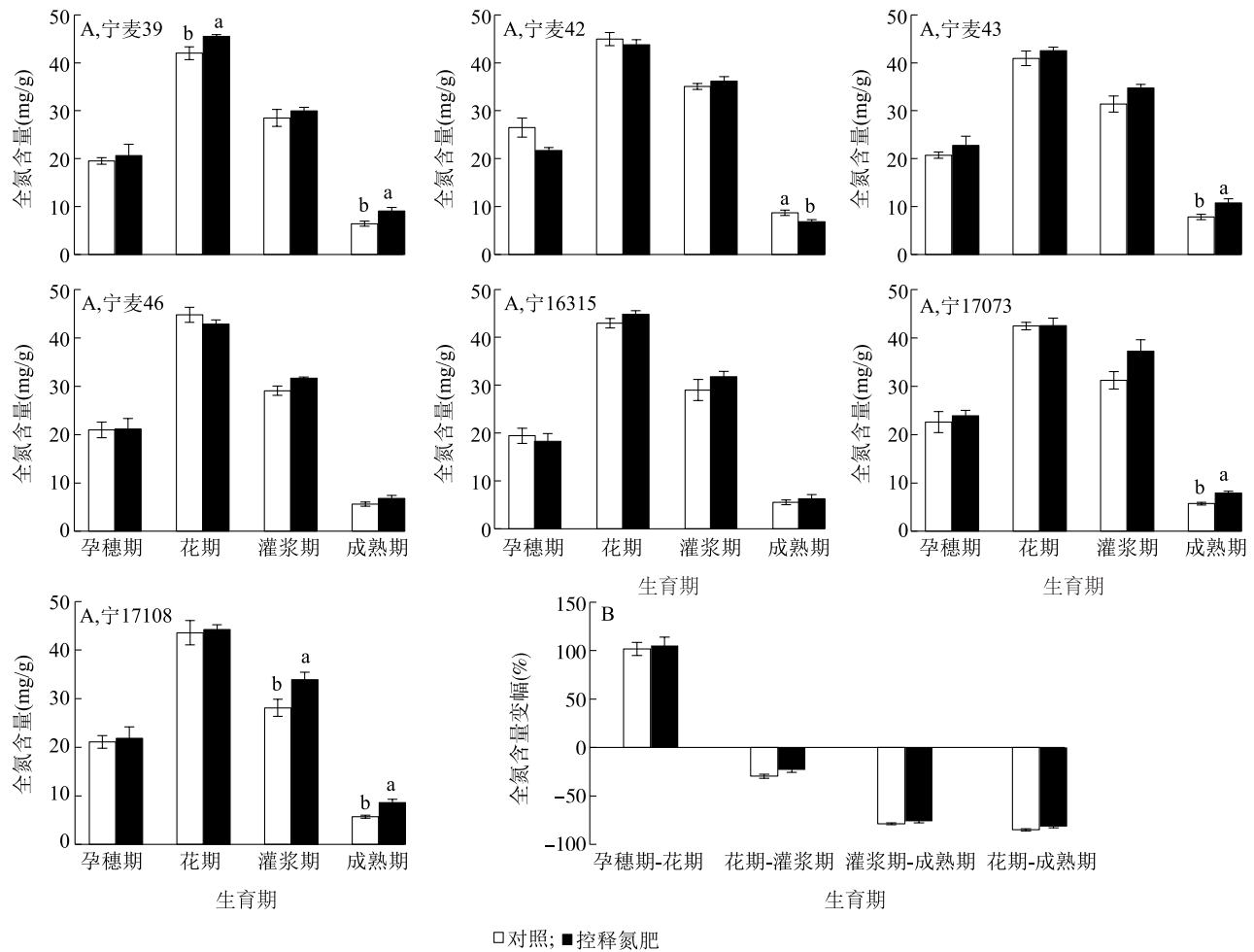
2 结果与分析

2.1 不同施氮模式下小麦旗叶氮素动态变化

小麦旗叶全氮含量在不同生长发育时期呈现明显的动态变化。如图 1 所示, 7 份小麦材料旗叶全

氮含量均呈现先升高后降低的趋势, 花期旗叶全氮含量最高, 对照和控释氮肥处理下分别为 37.62~48.76 mg/g 和 36.14~51.79 mg/g (表 2), 成熟期最低, 2 种施氮模式下分别为 4.39~9.99 mg/g 和 5.33~12.92 mg/g (表 2)。分析 2 种施氮模式对不同生育期旗叶全氮含量的影响, 发现宁麦 39 花期和成熟期控释氮肥处理旗叶全氮含量显著高于对照; 宁 17108 灌浆期 (花后 21 d) 和成熟期控释氮肥处理旗叶全氮含量显著高于对照; 宁麦 43 和宁 17073 仅成熟期控释氮肥处理旗叶全氮含量显著高于对照; 而宁麦 42 成熟期控释氮肥处理旗叶全氮含量显著低于对照; 对于其余材料及不同生育期 2 种施氮模式下的旗叶全氮含量均未见显著差异 (图 1A)。此外, 对旗叶全氮含量在不同阶段的动态变化分析结果表明, 2 种施肥模式下旗叶全氮含量在不同阶段的变化均未见显著差异, 孕穗期-花期旗叶全氮含量平均增加 103.5%, 花期-灌浆期 (花后 21 d) 旗叶全氮含量则减少 26.3%, 灌浆期 (花后 21 d)-成熟期旗叶全氮含量降低 77.3%, 花期-成熟期旗叶全氮含量平均降幅达 83.2% (图 1B)。

与全氮含量动态变化过程相似, 小麦旗叶中氮积累量亦呈现先升高后降低的趋势 (图 2)。花期旗叶氮积累量最高, 对照和控释氮肥处理下分别为 9.25~20.24 mg 和 12.09~21.50 mg, 成熟期旗叶氮积累量最低, 2 种施氮模式下分别为 0.84~3.65 mg 和 0.86~3.83 mg (表 2)。分析 2 种施氮模式对不同生育期旗叶氮积累量的影响, 发现宁 17073 和宁 17108 灌浆期 (花后 21 d) 和成熟期控释氮肥处理旗叶氮积累量均显著高于对照; 宁麦 39 和宁麦 43 仅成熟期控释氮肥处理旗叶氮积累量显著高于对照; 其余材料及不同生育期的旗叶氮积累量在 2 种施氮模式下均未见显著差异 (图 2A)。对旗叶氮积累量在不同阶段的动态变化分析结果表明, 孕穗期-花期控释氮肥处理旗叶氮积累量增幅 (95.4%) 显著高于对照 (75.6%), 而花期-灌浆期 (花后 21 d) 和花期-成熟期控释氮肥处理旗叶氮积累量降幅 (分别为 24.6% 和 84.8%) 显著低于对照 (分别为 32.6% 和 88.3%), 灌浆期 (花后 21 d)-成熟期旗叶氮积累量降幅则在 2 种施氮模式下未见显著差异, 说明花期-灌浆期 (花后 21 d) 旗叶氮积累量降幅差异是花期-成熟期控释氮肥处理旗叶氮积累量降幅显著低于对照的主要原因 (图 2B)。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图 1 小麦旗叶全氮含量动态变化

Fig.1 Dynamic changes of total nitrogen content in wheat flag leaves

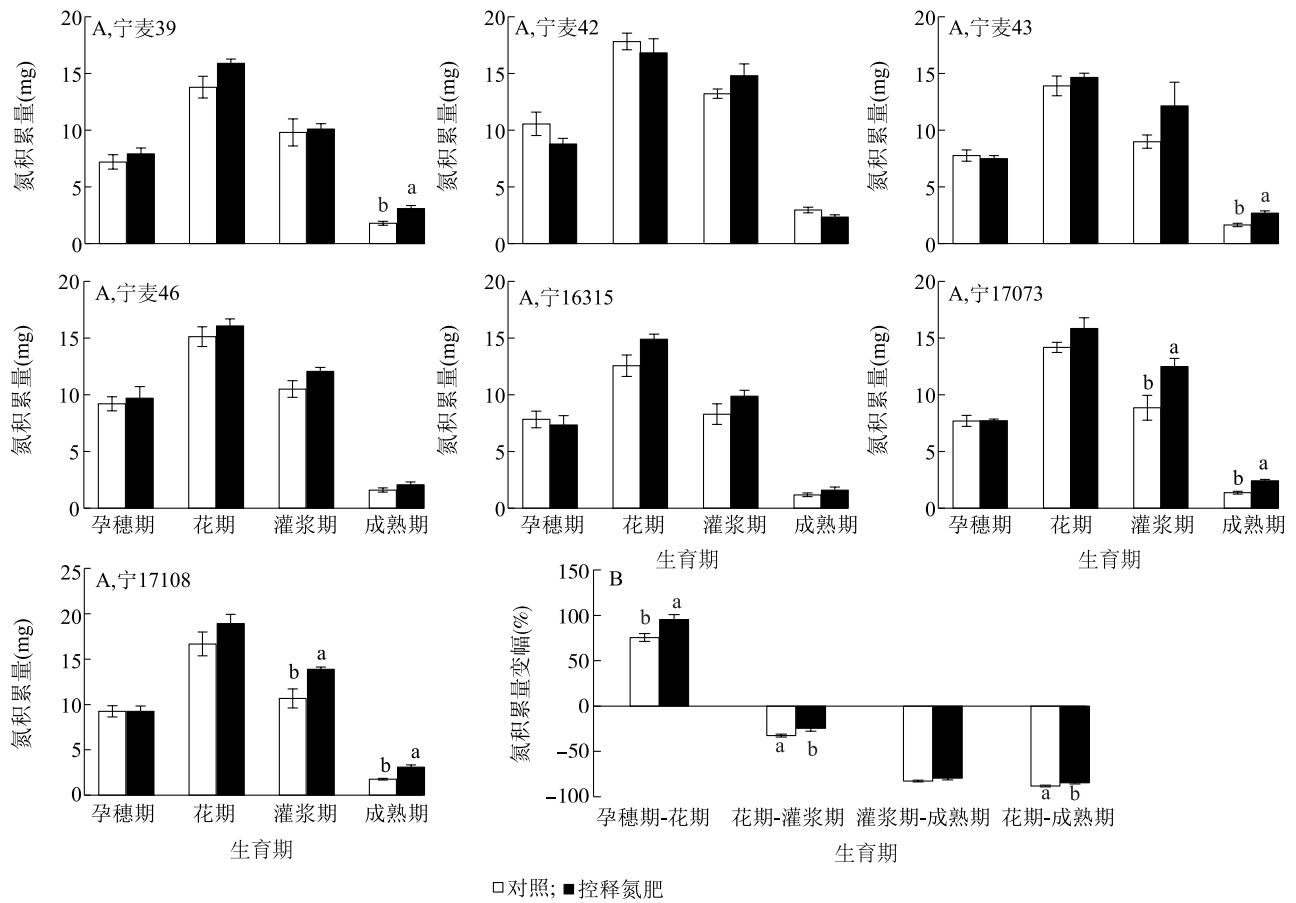
2.2 不同施氮模式下小麦地上部生物量与氮素的分配与积累

对成熟期各小麦材料收获指数的分析结果 (表 2) 表明, 在对照条件下, 小麦收获指数变化范围为 38.11%~44.04%, 平均值为 41.92%; 在控释氮肥处理下, 小麦材料收获指数变化范围为 39.21%~46.72%, 平均值为 42.62%。7 份小麦材料中, 仅宁麦 42 控释氮肥处理的收获指数 (45.71%) 显著高于对照 (43.06%), 其余材料的收获指数在 2 种施氮模式下未见显著差异 (图 3A)。进一步分析成熟期各小麦材料氮收获指数, 在对照条件下, 小麦材料氮收获指数变化范围分别为 62.06%~84.00%, 平均值为 71.99%; 在控释氮肥处理下, 小麦材料氮收获指数变化范围为 61.59%~78.46%, 平均值为 71.46% (表 2)。

在 7 份小麦材料中, 仅宁麦 42 控释氮肥处理的氮收获指数 (80.32%) 显著高于对照 (71.01%), 其余材料的氮收获指数在 2 种施氮模式下未见显著差异 (图 3B)。

2.3 不同施氮模式下小麦产量的变化

产量分析结果表明, 在对照条件下, 小麦产量变化范围为 5 542.77~7 763.88 kg/hm², 平均产量为 6 752.23 kg/hm²; 在控释氮肥处理下, 小麦材料产量变化范围为 5 582.79~7 553.78 kg/hm², 平均产量为 6 787.39 kg/hm² (表 2)。在 7 份小麦材料中, 宁 16315 和宁 17073 控释氮肥处理的产量低于对照, 其中宁 16315 控释氮肥处理的产量显著低于对照; 其余 5 份小麦材料控释氮肥处理的产量高于对照, 差异未达显著水平 (图 4)。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

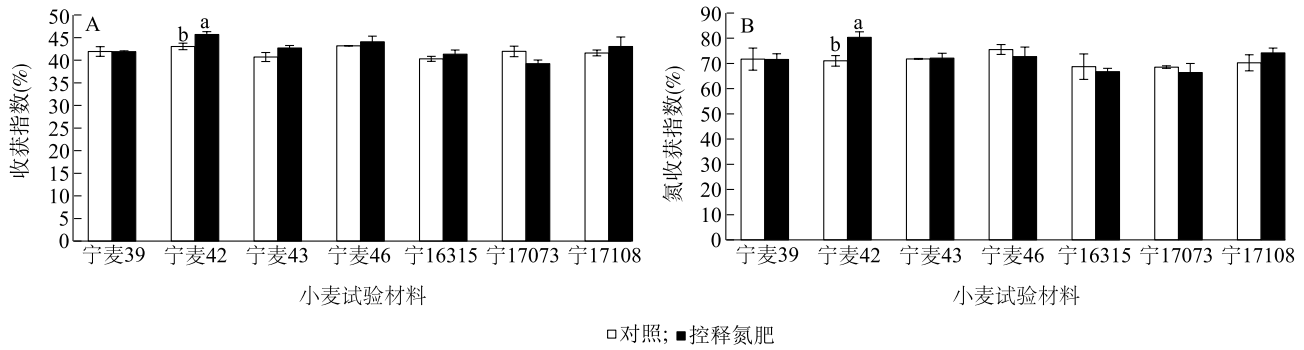
图2 小麦旗叶氮积累量的动态变化

Fig.2 Dynamic changes of nitrogen accumulation in wheat flag leaves

表2 不同施氮模式下参试小麦材料旗叶氮素积累与产量

Table 2 Flag leaf nitrogen accumulation and yield of the tested wheat materials under different nitrogen application patterns

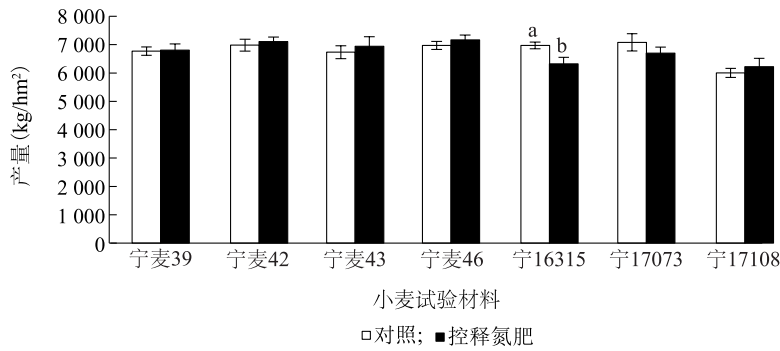
测定指标	生育期	对照		控释氮肥	
		范围	平均值	范围	平均值
全氮含量 (mg/g)	孕穗期	14.92~32.32	21.85	12.07~30.95	21.46
	花期	37.62~48.76	43.10	36.14~51.79	43.74
	灌浆期	22.96~37.57	30.34	27.33~45.83	33.65
	成熟期	4.39~9.99	6.50	5.33~12.92	8.04
氮积累量 (mg)	孕穗期	5.44~13.38	8.42	4.49~12.88	8.31
	花期	9.25~20.24	15.43	12.09~21.50	16.16
	灌浆期	5.95~14.56	10.05	6.32~17.81	11.95
	成熟期	0.84~3.65	1.76	0.86~3.83	2.47
收获指数 (%)	成熟期	38.11~44.04	41.92	39.21~46.72	42.62
氮收获指数 (%)	成熟期	62.06~84.00	71.99	61.59~78.46	71.46
产量 (kg/hm ²)	成熟期	5 542.77~7 763.88	6 752.23	5 582.79~7 553.78	6 787.39



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图 3 不同施氮模式下小麦收获指数 (A) 和氮收获指数 (B)

Fig.3 Harvest index (A) and nitrogen harvest index (B) of wheat under different nitrogen application patterns



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图 4 不同施氮模式下小麦产量

Fig.4 Wheat yield under different nitrogen application patterns

2.4 不同施氮模式下小麦旗叶氮素积累与产量相关性状的差异

由表 2 和表 3 可知,在 2 种施氮模式下,所有小麦材料在不同生长发育时期旗叶全氮含量和氮积累量平均值大小均为:花期>灌浆期(花后 21 d)>孕穗期>成熟期,而各时期旗叶全氮含量的变异系数依次为花期<灌浆期(花后 21 d)<孕穗期<成熟期,氮积累量的变异系数依次为花期<孕穗期<灌浆期(花后 21 d)<成熟期。控释氮肥处理下,收获指数、氮收获指数和产量的变异系数均低于对照,不同施氮模式下,三者的变异系数均呈现收获指数<氮收获指数<产量的趋势。

方差分析结果(表 4)表明,施氮模式对成熟期旗叶全氮含量和氮积累量有极显著影响;遗传背景[品种(系)]对成熟期旗叶全氮含量和花期旗叶氮积累量有显著影响,对灌浆期旗叶全氮含量有极显著影响;施氮模式和品种(系)的互作对孕穗期旗叶全氮含量有显著影响,对灌浆期、成熟期旗叶全氮含量以及各时期旗叶氮积累量均存在极显著影响。不

表 3 参试小麦材料各项指标变异系数

Table 3 Coefficients of variation for various indicators of tested wheat materials

测定指标	生育期	变异系数 (%)	
		对照	控释氮肥
全氮含量	孕穗期	17.68	18.72
	花期	6.74	6.64
	灌浆期	11.42	14.38
	成熟期	26.44	23.95
氮积累量	孕穗期	20.20	17.99
	花期	14.43	16.70
	灌浆期	25.84	22.91
	成熟期	31.94	38.68
收获指数	成熟期	6.01	3.70
氮收获指数	成熟期	8.32	6.54
产量	成熟期	8.88	7.78

同于施氮模式、品种(系)及其互作对旗叶全氮含量和氮积累量的影响,仅发现品种(系)对收获指数和

产量存在极显著影响,施氮模式及其与品种(系)的互作对收获指数和产量的影响未达显著水平。本研究中施氮模式、品种(系)及二者的互作对氮收获指数的影响均未达显著水平。

表4 施氮模式、品种(系)及其互作对小麦旗叶氮积累量和产量的影响

Table 4 Effects of nitrogen application mode, variety (line), and their interaction on flag leaf nitrogen accumulation and yield of wheat

测定指标	生育期	施氮模式	品种(系)	施氮模式×品种(系)
全氮含量	孕穗期	0.53	0.64	2.44 *
	花期	0.04	1.64	0.66
	灌浆期	0.15	3.34 **	5.81 **
	成熟期	16.38 **	2.78 *	10.94 **
氮积累量	孕穗期	0	1.35	4.11 **
	花期	0.14	2.53 *	6.24 **
	灌浆期	0.93	2.21	7.50 **
	成熟期	12.21 **	1.59	18.42 **
收获指数	成熟期	2.07	4.18 **	1.66
氮收获指数	成熟期	0.39	2.31	1.19
产量	成熟期	0.09	4.41 **	1.22

* 表示影响显著 ($P < 0.05$); ** 表示影响极显著 ($P < 0.01$)。

3 讨论

3.1 不同施氮模式对小麦旗叶氮素动态变化的影响

叶片是植物进行光合作用的主要器官^[13-15]。旗叶作为抽穗前的最后1张完全展开叶,位于穗下第1节位,是小麦灌浆期进行光合作用的主要功能叶,与产量形成密切相关^[16-18]。旗叶中氮素动态变化可以反映植株氮素转运与再利用效率^[19]。本研究对7份小麦材料在控释氮肥和常规施肥(对照)2种施氮模式下旗叶中氮素动态变化进行了监测,发现旗叶中全氮含量和氮积累量在孕穗期至成熟期呈现典型的先升高后降低趋势,花期达到峰值,之后逐步降低。有研究表明,旗叶叶绿素含量在灌浆前期保持相对稳定^[20]。在本研究中,花期-灌浆期(花后21 d)旗叶氮素水平降幅低于灌浆期(花后21 d)-成熟期和整个灌浆阶段(花期-成熟期),推测灌浆前期旗叶全氮含量和氮积累量亦维持在较高水平,随后显著降低。2种施氮模式下孕穗期所有小

麦材料旗叶氮素水平均无显著差异,在花期和灌浆期(花后21 d)部分材料控释氮肥处理旗叶氮素水平显著高于对照,而在成熟期大部分材料旗叶氮素水平为控释氮肥处理显著高于对照,并且孕穗期-花期控释氮肥处理的小麦旗叶氮积累量变幅显著高于对照,而在花期-灌浆期(花后21 d)和整个灌浆阶段(花期-成熟期)控释氮肥处理的小麦旗叶氮积累量降幅显著低于对照,说明与对照相比,控释氮肥处理可以维持叶片中相对较高的氮素积累,这与前人研究结果^[21-22]相似。王桂良等^[23]认为,从整个生育期来看,生育前期不同产量水平的小麦遗传背景对干物质积累量和增加量的影响不显著,但在花期和成熟期高产类型的小麦品种干物质积累量和增加量最大,说明遗传因素对小麦干物质积累和产量具有重要影响。在本研究中,旗叶中氮素水平除了受到施氮模式影响外,还受到遗传背景[品种(系)]的影响,且其受施氮模式与遗传背景互作的影响更为突出。因此,在探究施氮模式对小麦旗叶中氮素水平的影响时还需考虑试验材料的遗传背景及其与施氮模式互作等因素。

3.2 不同施氮模式对小麦生物量积累分配的影响

收获指数是衡量作物生物量分配效率的重要指标,氮收获指数则反映作物在生长过程中对氮素的吸收和转运能力,是评价氮素利用效率的重要指标^[24]。7份小麦材料中,仅宁麦42在控释氮肥处理下的收获指数显著高于对照,其余材料的收获指数在控释氮肥处理与对照间未见显著差异,说明在施氮量相同的条件下,不同施氮模式对小麦收获指数影响较小。马泉等^[25]和付江鹏等^[26]分别在小麦和高粱中的研究表明,在施氮量相同的条件下,合理的控释氮肥处理在提高小麦和高粱成熟期生物量积累的同时,籽粒生物量亦明显增加,收获指数保持稳定。赵满兴等^[27]的研究结果表明,施用氮肥显著增加了旱地不同小麦品种地上部分氮素的积累量,籽粒氮素积累量随着氮肥施用量的增加呈现先升高后降低的趋势。伍维模等^[11]的研究结果表明,8个基因型之间氮总吸收量(NTA)存在显著差异,施氮也能极显著增加 NTA ,但是基因型不同,施氮后 NTA 的增加幅度也不相同。尽管控释氮肥处理宁麦42氮收获指数显著高于对照,但方差分析结果表明遗传背景[品种(系)]对收获指数有极显著影响,对氮收获指数影响则未达显著水平,说明小麦氮收获

指数相对保守^[22,25]。郭金金等^[28]研究发现,在施氮量相同的条件下,玉米氮收获指数在控释氮肥处理与对照之间无显著差异,在不同施氮水平间仅个别施氮水平与其他施氮水平间差异显著。同时,有研究表明不同施氮模式对氮收获指数的影响可达显著水平,如韩锐锋等^[29]发现不同施氮模式引起小麦籽粒和其他部位中的氮积累分配差异显著,彭玉等^[30]报道,尿素全部作为基肥施用条件下的水稻氮收获指数显著高于缓释肥处理。在产量方面,7份小麦材料中仅有1份小麦材料(宁16315)在控释氮肥处理下的产量显著低于对照,其余6份材料的产量在2种施氮模式下未见显著差异。以往的相关研究表明,合理的控释氮肥模式由于其养分释放特征能够满足或更好地契合作物生长发育对氮素的需求规律,往往具有一定的稳产效果和增产潜力^[22,25,28-33]。但需要指出,上述报道多基于对单一品种材料研究,忽略了遗传背景差异以及遗传因素与氮肥处理互作对氮素吸收利用和作物产量的影响。魏海燕等^[34]报道控释氮肥对水稻多穗型品种9108具有增产效应,而对大穗型品种甬优2640无增产效应。伍维模等^[11]认为单位面积株数在基因型间差异不显著,但单位面积穗数、单株分蘖数、每穗粒数、千粒重、每穗粒重以及单位面积粒重在基因型间存在极显著差异,同时,施氮对单位面积株数、穗数、粒数、产量和千粒重也有显著的增加作用。本研究对7份小麦材料的方差分析结果表明,遗传背景[品种(系)]对产量的影响高于施氮模式和二者互作效应对产量的影响,并且达极显著水平,说明在施氮量相同的条件下,不同遗传背景的小麦品种产量对控释氮肥处理的响应可能存在差异。因此,未来探究和优化控释氮肥在小麦以及其他作物(如水稻、玉米等)生产中的应用时应考虑品种因素,以期获得最佳肥效和经济效益。

参考文献:

- [1] 赵广才,常旭虹,王德梅,等. 中国小麦生产发展潜力研究报告[J]. 作物杂志,2012(3):1-5.
- [2] 周洁宇,何军,李杜白,等. 不同栽培方式下缓释肥施用对水稻生长特性及产量的影响[J]. 中国稻米,2022,28(3):92-95.
- [3] 金一鸣,俞巧钢,罗丙芳,等. 不同类型缓释肥在单季稻浙梗优1578上的施用效果[J]. 浙江农业科学,2022,63(6):1204-1207.
- [4] 赵秉强,张福锁,廖宗文,等. 我国新型肥料发展战略研究[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(5):536-545.
- [5] 刘举,苏瑞光,刘娇,等. 专用缓释肥对高产冬小麦产量及养分吸收利用的影响[J]. 作物杂志,2014(4):97-100.
- [6] 叶优良,王玲敏,黄玉芳,等. 施氮对小麦干物质累积和转运的影响[J]. 麦类作物学报,2012,32(3):488-493.
- [7] 邓丽娟,焦小强. 氮管理对冬小麦产量和品质影响的整合分析[J]. 中国农业科学,2021,54(11):2355-2365.
- [8] 王德梅,于振文,张永丽,等. 不同灌水处理条件下不同小麦品种氮素积累、分配与转移的差异[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(5):1041-1048.
- [9] KRAPP A. Plant nitrogen assimilation and its regulation; a complex puzzle with missing pieces[J]. Current Opinion in Plant Biology,2015,25:115-122.
- [10] 杨延兵,高荣岐,尹燕桦,等. 氮素与品种对小麦产量和品质性状的效应[J]. 麦类作物学报,2005,25(6):78-81.
- [11] 伍维模,李世清. 施氮对不同基因型冬小麦氮素吸收及干物质分配和产量的影响[J]. 塔里木大学学报,2006,18(2):5-11.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [13] 赵亚丽,马海彬,鲁明玄,等. 不同土壤类型水肥互作对玉米光合生理特性和产量的影响[J]. 南方农业学报,2025,56(5):1603-1617.
- [14] 白雅凡,李妍,赵园园,等. 施氮量和留叶数对低烟碱烟草品种生物碱含量和烟叶质量的影响[J]. 江苏农业科学,2025,53(6):96-105.
- [15] 谢章书,谢学方,李侃,等. 不同脱叶剂对长江流域夏播短季栽培棉花脱叶催熟效果及产量和品质的影响[J]. 南方农业学报,2024,55(9):2602-2612.
- [16] SHARMA S N, SAIN R S, SHARMA R K. The genetic control of flag leaf length in normal and late sown durum wheat [J]. The Journal of Agricultural Science,2003,141(3/4):323-331.
- [17] 王义芹,杨兴洪,李滨,等. 小麦叶面积及光合速率与产量关系的研究[J]. 华北农学报,2008,23(增刊2):10-15.
- [18] 王敏,张从宇. 小麦旗叶性状与产量因素的相关与回归分析[J]. 种子,2004,23(3):17-18,21.
- [19] HIREL B, LE GOUIS J, NEY B, et al. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches[J]. Journal of Experimental Botany,2007,58(9):2369-2387.
- [20] 谭彩霞,封超年,郭文善,等. 不同品质类型小麦旗叶光合特性及其与产量的相关性研究[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2019,40(6):30-34.
- [21] 周宝元,王新兵,王志敏,等. 不同耕作方式下缓释肥对夏玉米产量及氮素利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(3):821-829.
- [22] 梁靖越,张敬昇,王昌全,等. 控释尿素对小麦籽粒产量和氮素利用率的影响[J]. 核农学报,2018,32(1):157-164.
- [23] 王桂良,叶优良,李欢欢,等. 施氮量对不同基因型小麦产量和干物质累积的影响[J]. 麦类作物学报,2010,30(1):116-122.

- [24] 李廷亮,谢英荷,洪坚平,等. 施氮量对晋南旱地冬小麦光合特性、产量及氮素利用的影响[J]. 作物学报,2013,39(4):704-711.
- [25] 马 泉,唐紫妍,王梦尧,等. 树脂包膜缓释肥与尿素配施对稻茬冬小麦产量、氮肥利用率与效益的影响[J]. 麦类作物学报,2019,39(10):1202-1210.
- [26] 付江鹏,柳发财,闫宝琴,等. 控释肥替代普通尿素对旱作高粱干物质积累分配、产量和品质的影响[J]. 作物学报,2025,51(9):2501-2513.
- [27] 赵满兴,周建斌,杨 绒,等. 不同施氮量对旱地不同品种冬小麦氮素累积、运输和分配的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(2):2143-2149.
- [28] 郭学金,张富仓,王海东,等. 不同施氮量下缓释氮肥与尿素掺混对玉米生长与氮素吸收利用的影响[J]. 中国农业科学,2017,50(20):3930-3943.
- [29] 韩锐锋,牛增锡,王鑫悦,等. 控释尿素和普通尿素混合基施对冬小麦氮素吸收利用和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2023,29(11):2042-2058.
- [30] 彭 玉,孙永健,蒋明金,等. 不同水分条件下缓/控释氮肥对水稻干物质质量和氮素吸收、运转及分配的影响[J]. 作物学报,2014,40(5):859-870.
- [31] 汪 强,李双凌,韩燕来,等. 缓释肥对冬小麦增产与提高氮肥利用率的研究[J]. 磷肥与复肥,2006,21(6):74-75.
- [32] 丁永刚,乔玉强,刘 茗,等. 缓释肥与尿素配施对小麦产量和品质的影响[J]. 江苏农业学报,2025,41(4):676-682.
- [33] 张金萍,陈照明,王 强,等. 缓释氮比例对一次性施肥单季晚稻生长和氮素利用的影响[J]. 水土保持学报,2021,35(6):207-212,221.
- [34] 魏海燕,李宏亮,程金秋,等. 缓释肥类型与运筹对不同穗型水稻产量的影响[J]. 作物学报,2017,43(5):730-740.

(责任编辑:陈海霞)