

网络出版时间:2025-10-15

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1359.s.20251014.1021.002

不同控释肥基施对小麦氮素积累及产量的影响

宋佳敏¹, 文章荣¹, 何佳伟¹, 蒋伟勤¹, 文廷刚¹, 李其胜¹,
车阳¹, 顾大路¹, 杜小凤¹, 杨威², 徐永刚², 徐建明²

(1. 江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所, 江苏淮安 223001; 2. 淮阴师范学院, 江苏淮安 223300)

摘要:为明确不同控释肥一次性基施对稻茬小麦的影响,以淮麦139为材料,设置植物油包膜控释掺混肥(A, N 26%)、聚胺脂包膜控释掺混肥(B, N 32%)、聚胺脂包膜氮肥(C, N 43%)和水基树脂包膜氮肥(D, N 43%)4种控释肥处理,以尿素为对照(CK, 施肥比例为基肥:分蘖肥:拔节肥:孕穗肥=5:1:2:2),另设不施氮肥处理(N0)计算氮效率,研究不同处理间稻茬小麦干物质生产、氮素积累、产量及经济效益的差异。结果表明,与CK相比,A和B处理显著降低了小麦拔节到开花期、开花到成熟期氮素积累量及氮素利用效率;A处理的小麦穗数、穗粒数、千粒重与B处理的穗粒数、千粒重均显著降低,二者产量均显著下降;C处理在小麦各主要生育阶段的氮素积累量、光合能力、氮素利用效率、成熟期干物质积累量、千粒重、产量及净效益均显著增加,2021—2022和2022—2023年产量分别增加了3.89%和5.35%,2022—2023年度小麦净效益增加了3.27%。D处理的氮素积累特征和产量与CK无显著差异。综合来看,一次性基施聚胺脂包膜氮肥可有效保障小麦中后期养分供给,协调产量形成,实现产量与经济效益的双提升。

关键词:小麦;控释肥;氮素积累;产量;经济效益

中图分类号:S512.1;S311

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2025)11-1555-08

Effect of One-time Basal Application of Different Controlled-Release Fertilizers on Nitrogen Accumulation and Yield of Wheat

SONG Jiamin¹, WEN Zhangrong¹, HE Jiawei¹, JIANG Weiqin¹, WEN Tinggang¹, LI Qisheng¹,
CHE yang, GU Dalu¹, DU Xiaofeng¹, YANG Wei², XU Yonggang², XU Jianming²

(1. Huaiyin Institute of Agricultural Sciences in Xuhuai Area of Jiangsu, Huai'an, Jiangsu 223001, China;

2. Huaiyin Normal University, Huai'an, Jiangsu 223300, China)

Abstract: To clarify the effects of one-time basal application of different types of controlled-release fertilizers on rice-stubble wheat, a field experiment was conducted using the wheat cultivar Huaimai 139. Four types of controlled-release fertilizer treatments were applied: vegetable oil-coated controlled-release compound fertilizer (A, N 26%), polyurethane-coated controlled-release compound fertilizer (B, N 32%), polyurethane-coated controlled-release nitrogen fertilizer (C, N 43%), and water-based resin-coated nitrogen fertilizer (D, N 43%). A treatment with split application of urea was used as control (CK, nitrogen applied at a basal to tillering to jointing to booting ratio of 5:1:2:2), and a non-nitrogen treatment (N0) was set up to calculate the nitrogen efficiency. The dry matter production, nitrogen accumulation, yield and economic benefits of rice-stubble wheat under different treatments were analyzed. The results showed that, compared with CK, A and B treatments significantly reduced nitrogen accumulation from jointing to heading and from heading to maturity, as well as nitrogen use efficiency. In A and B treatments, the number of spikes, grains per spike, and thousand-ker-

收稿日期:2024-08-14

修回日期:2024-11-12

基金项目:国家现代农业产业技术体系专项(CARS-03)

第一作者 E-mail:962193633@qq.com(宋佳敏)

通讯作者 E-mail:15061234456@163.com(杜小凤)

nel weight were significantly decreased, leading to lower yield. C treatment significantly increased nitrogen accumulation at all key growth stages, enhanced photosynthetic capacity, nitrogen use efficiency, dry matter accumulation at maturity, thousand-kernel weight, yield, and net economic benefits. Yields in 2021–2022 and 2022–2023 increased by 3.89% and 5.35%, respectively, and the net benefit in 2022–2023 increased by 3.27%. D treatment showed no significant difference compared with CK in nitrogen accumulation patterns or yield, indicating stable performance. In conclusion, one-time basal application of polyurethane-coated nitrogen fertilizer can effectively meet nitrogen demand during mid-to-late growth stages, optimize yield formation, and improve both yield and economic efficiency.

Keywords: Wheat; Controlled-release fertilizer; Nitrogen accumulation; Yield; Economic benefits

稻茬小麦是江淮地区主要的农作物之一,播种面积仅次于水稻,其产量高低影响粮食安全和小麦产业的发展^[1]。施肥是提高小麦产量的关键措施,氮素在施入土壤后经硝化作用转化为硝态氮,但过量施用后形成的硝态氮无法完全被植株吸收利用,极易淋溶流失,污染地下及周边水源^[2-3];同时氮素经反硝化作用形成的NO₂挥发到大气中,加剧温室效应^[4]。据统计,中国小麦氮肥利用率仅为30.9%^[5]。因此,如何实现小麦对氮素高效吸收利用、节本增收是农业生产中亟待解决的问题。

缓/控释肥作为新型肥料,能够控制养分延缓释放,使得养分在土壤中的释放时间和释放量与作物吸收规律一致,可有效提高作物产量、品质以及肥料利用效率^[6-7]。缓/控释肥主要包括缓/控释氮肥、缓/控释磷钾肥、缓/控释复合肥等,现有研究多针对于包膜氮肥。研究发现,与常规施肥相比,不同缓/控释肥配施处理小麦产值可提高4.24%~9.70%,经济收益增加5.50%~13.25%^[8]。与常规施用普通尿素相比,一次性基施包膜控释尿素可提高小麦生育后期土壤中无机氮水平,其土壤氮素依存率降幅达11.0~17.3%,从而显著提高小麦籽粒产量和品质^[9-11]。邓先亮等^[12]研究指出,在相同施氮量条件下,一次性基施树脂包衣尿素的小麦产量为与传统高产施肥产量相当,一次性基施含腐植酸的控释掺混肥的产量比对照提高2.21%。然而一次性基施不同类型控释肥的效益在稻茬小麦中尚鲜有研究。本研究以小麦品种淮麦139为对象,通过比较不同类型控释肥一次性基施对小麦产量、氮肥利用及经济效益的影响,以期简化施肥条件下小麦高产高效生产提供理论依据和技术支撑。

1 材料与amp;方法

1.1 试验地点和材料

试验于淮南市农科院试验基地进行(119°04'

E, 33°48'N)。试验地前茬作物为水稻,土壤类型为沙壤土,肥力中等且较均匀。0~20 cm 土层土壤全氮含量 1.6 g · kg⁻¹,有效磷含量 17.6 mg · kg⁻¹,速效钾含量 182 mg · kg⁻¹,有机质含量 32.5 g · kg⁻¹,土壤 pH 值为 5.98。在施肥后每隔 10 d 进行土壤温度和含水量动态监测(图 1)。供试小麦品种为淮麦 139,由江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所选育。

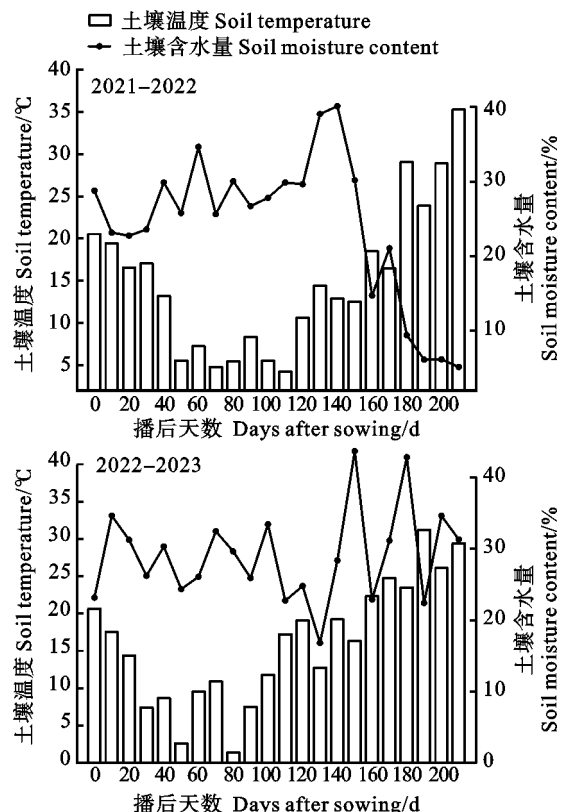


图 1 试验地土壤温湿度动态变化
Fig. 1 Dynamics changes of soil temperature and moisture at the experimental site

1.2 试验设计

试验设置 4 种不同控释肥一次性基施处理,分别为植物油包膜控释掺混肥(A, N:P₂O₅:K₂O=26%:10%:12%,山东省农科院提供)、聚胺脂包

膜控释掺混肥(B, N:P₂O₅:K₂O = 32%:12%:6%, 山东茂施生态肥料有限公司提供)、聚胺脂包膜氮肥(C, N 43%, 山东茂施生态肥料有限公司提供)、水基树脂包膜氮肥(D, N 43%, 山东省农科院提供)。以速效氮肥分次施用(氮素施肥比例为基肥:分蘖肥:拔节肥:孕穗肥=5:1:2:2)为对照(CK),另设不施氮肥处理(N0),除 N0 处理外各处理纯氮、磷肥(P₂O₅)和钾肥(K₂O)施用量一致,分别为 270、135 和 135 kg·hm⁻²,控释肥处理中 P、K 用量不足的,使用过磷酸钙(P₂O₅ 12%)及氯化钾(K₂O 60%)补足,各处理施肥用量详见表 1。试验采用随机区组设计,小区面积 30 m²,重复 3 次。小麦分别于 2021 年 10 月 31 日和 2022 年 11 月 1 日播种,人工条播,行距 20 cm,播种量 225 kg·hm⁻²。整个生育期不进行灌水,于 2022 年 6 月 4 日和 2023 年 6 月 7 日收获,其他管理措施同当地高产田。

1.3 测定项目和方 法

1.3.1 产量及其构成因素测定

于小麦成熟期每小区随机选取生长一致的 1 m 双行调查单位面积穗数;取代表性样株 30 株测定穗粒数及千粒重,计算理论产量。另外每小区收获 2 m² 长势均匀小麦脱粒测产。

1.3.2 叶片 SPAD 值、叶面积指数(LAI)测定

于小麦返青期、拔节期和开花期选取长势一致的植株 20 株,采用 SPAD-502 便携式叶绿素仪测定旗叶 SPAD 值;采用长宽法测定叶面积,计算小麦叶面积指数(LAI)。

1.3.3 干物质量与含氮量的测定

于小麦返青期、拔节期、开花期和成熟期在各

小区取长势一致的植株 30 株,将绿色叶片、茎鞘(含死叶)、穗分别取样,于 105 °C 下杀青 30 min,80 °C 下烘干至恒重后称重,计算干物质量。采用 H₂SO₄-H₂O 消煮,凯氏定氮法测定植株全氮含量,相关计算公式如下:

氮素积累量=氮素含量×干物质量;

氮素利用效率=(施肥区植株氮素积累量-未施氮区植株氮素积累量)/总施氮量×100%。

1.3.4 经济效益计算

产值=籽粒产量×小麦单价;

净效益=产值-肥料成本-追肥人工投入-其他成本投入。

小麦 2023 上半年淮安各地平均市场价格为 2 600 元·t⁻¹,尿素、过磷酸钙、氯化钾价格分别为 2 300、900 和 3 200 元·t⁻¹,植物油包膜控释掺混肥、聚胺脂包膜控释掺混肥、聚胺脂包膜尿素和水基树脂包膜氮肥的价格分别为 3 100、3 600、3 800 和 3 250 元·t⁻¹。其他成本投入(种子、农药、机械、人工等),共计 4 569 元·hm⁻²。

1.4 数据分析

采用 Excel 2021 软件整理数据,用 SPSS 20.0 和 Origin 2022 分析数据并作图。两年试验的产量在年度间差异不显著,因而本研究除产量及其构成外其他均以 2022—2023 年度数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同控释肥一次性基施对小麦产量及其构成因素的影响

由表 2 可知,等量施肥条件下,与 CK 相比,2021—2022 和 2022—2023 年度 C 处理的小麦产量

表 1 不同处理肥料施用量

Table 1 Fertilizer application rates under different treatments

处理 Treatment	基肥 Basal fertilizer/(kg·hm ⁻²)				追肥(尿素) Topdressing(urea)/(kg·hm ⁻²)		
	控释肥 Controlled release fertilizer	尿素 Urea	过磷酸钙 Calcium superphosphate	氯化钾 Potassium chloride	分蘖肥 Tillering	拔节肥 Jointing	孕穗肥 Booting
A	1 038.5	—	259.6	17.3	—	—	—
B	843.8	—	281.2	140.6	—	—	—
C	627.9	—	1 125.0	225.0	—	—	—
D	627.9	—	1 125.0	225.0	—	—	—
N0	—	—	1 125.0	225.0	—	—	—
CK	—	293.5	1 125.0	225.0	58.7	117.4	117.4

尿素含 N 量 46%,过磷酸钙含 P₂O₅ 12%,氯化钾含 K₂O 60%。

Urea contains 46% N, superphosphate contains 12% P₂O₅, and potassium chloride contains 60% K₂O.

表 2 不同处理下小麦的产量及其构成

Table 2 Yield and its components of wheat under different treatments

年度 Year	处理 Treatment	穗数 Spike number/ ($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	穗粒数 Kernels per spike	千粒重 1 000-grain weight/g	实际产量 Actual yeild/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
2021—2022	A	542.94c	39.40d	41.95c	7 660.27d
	B	561.61b	40.60c	42.17c	8 216.88c
	C	562.95b	43.18a	43.97a	9 034.85a
	D	576.29a	42.10b	42.85b	8 749.93b
	N0	397.53d	28.60e	40.74d	3 922.41e
	CK	554.94b	42.97ab	43.09b	8 696.51b
2022—2023	A	526.27c	37.04d	41.61c	6 855.50d
	B	549.04ab	39.58c	41.74c	7 674.00c
	C	550.51ab	41.98a	43.74a	8 546.25a
	D	555.06a	41.19b	42.73b	8 189.50b
	N0	388.20d	27.00e	40.46d	3 559.00e
	CK	541.26b	41.58ab	42.72b	8 112.00b

同列数据后不同小写字母表示同一年度下不同处理间差异显著($P < 0.05$)。下表同。

Different normal letters after the values within the same columns indicate significant differences among treatments in the same years ($P < 0.05$). The same in tables 3—5.

分别显著提高 3.89% 和 5.35%；A 和 B 处理产量均显著减少，A 处理分别下降 11.92% 和 15.49%，B 处理分别下降 5.52% 和 5.40%；D 处理产量与 CK 差异不显著。在产量构成因素方面，A 处理的小麦穗数、穗粒数和千粒重和 B 处理的穗粒数与千粒重均显著低于 CK；D 处理穗数显著高于 CK，而穗粒数和千粒重差异不显著；C 处理的穗数和穗粒数在 2021—2022 年度分别增加了 1.44% 和 1.71%，在 2022—2023 年度分别增加了 0.49% 和 0.96%，差异不显著，而千粒重在 2021—2022 和 2022—2023 年度分别显著增加 2.0% 和 2.4%。这表明一次性基施控释氮肥 D 可以基本实现稳产，而 C 能保持稳定的穗数和穗粒数，通过提高千粒重，从而增加产量。

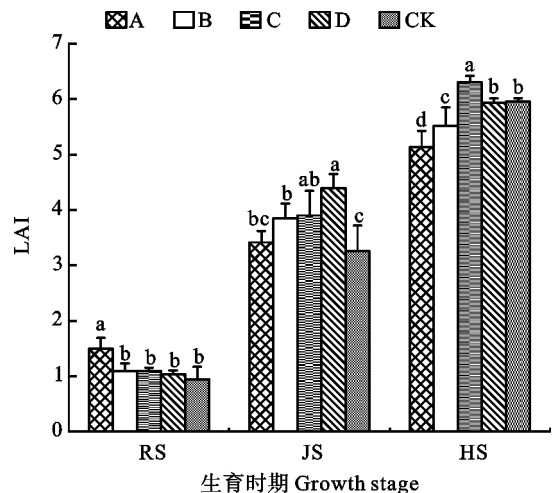
2.2 不同控释肥一次性基施对小麦叶面积指数(LAI)的影响

由图 2 可知，在返青期时，A 处理的 LAI 显著高于 CK，而 B、C 和 D 处理与 CK 差异均不显著；在拔节期，B、C、D 处理的 LAI 均显著高于 CK，增幅为 4.90%~35.04%，其中 D 处理最高；在开花期，C 处理 LAI 显著高于 CK，增幅为 5.7%，D 处理与 CK 差异不显著，A、B 处理显著低于 CK。

2.3 不同控释肥一次性基施对小麦 SPAD 的影响

由图 3 可知，与 CK 相比，小麦返青期各控释肥处理的 SPAD 值增加了 3.2%~8.4%，其中

A、B、D 处理与 CK 差异显著；拔节期各控释肥处理 SPAD 值均显著增加，增幅为 8.7%~14.8%；在开花期，C 处理 SPAD 值升高，A 处理 SPAD 值降低，差异不显著。这说明 C 处理可以有效提高小麦各生育期的光合能力。



RS: 返青期; JS: 拔节期; HS: 开花期。图柱上不同小写字母代表同一时期不同处理间在 0.05 水平下差异显著。图 3 同。

RS: Regreening stage; JS: Jointing stage; HS: Heading stage. Different normal letters above the columns indicate significant differences among treatments at the same stages at 0.05 level. The same in figure 3.

图 2 不同处理下小麦叶面积指数(LAI)

Fig. 2 Leaf area index(LAI) of wheat under different treatments

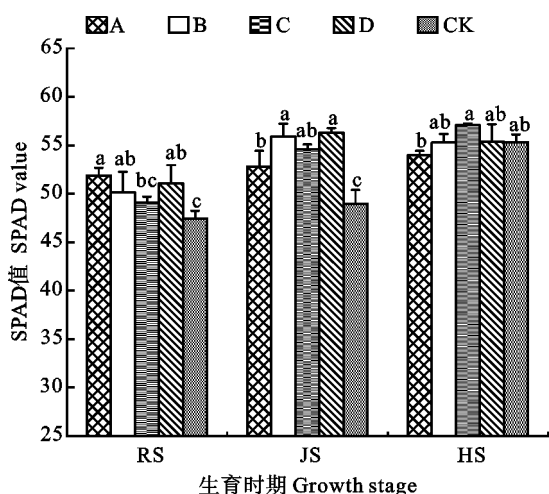


图 3 不同处理下小麦 SPAD 值

Fig. 3 SPAD value of wheat under different treatments

2.4 不同控释肥一次性基施对小麦干物质阶段积累量及积累比例的影响

由表 3 可知,与 CK 相比,从播种期到返青期,控释肥处理的小麦干物质积累量显著增加,其中 A 处理的物质积累量和比例均最高,干物质积累量增幅为 25.81%;返青期至拔节期,C 和 D 处理的干物质积累量与 CK 差异不显著,B 处理干物质积累量和比例显著增加,干物质积累量增幅为 3.70%;在拔节至开花期,C 处理的干物质积累量显著增加了 1.92%,A、B 处理显著降低,D 处理与 CK 差异不显著;在开花至成熟期,C 和 D 处理干物质积累分别提高了 0.35% 和 0.17%,差异均不显著。C 处理小麦成熟期干物质积累量显著高于 CK,这表明 C 处理可促进小麦干物质的积累。

表 3 不同处理下小麦干物质积累量与积累比例

Table 3 Dry matter accumulation and its distribution in wheat under different treatments

处理 Treatment	SS—RS		RS—JS		JS—HS		HS—MS		成熟期干物质积累量 Dry matter accumulation of MS/ (t · hm ⁻²)
	干物质积累量 Dry matter accumulation/ (t · hm ⁻²)	比例 Proportion /%	干物质积累量 Dry matter accumulation/ (t · hm ⁻²)	比例 Proportion /%	干物质积累量 Dry matter accumulation/ (t · hm ⁻²)	比例 Proportion /%	干物质积累量 Dry matter accumulation/ (t · hm ⁻²)	比例 Proportion /%	
A	1.17a	7.52a	2.51d	16.14b	6.99d	44.9bc	4.90c	31.44c	15.58d
B	1.06b	6.31b	2.80a	16.71a	7.49c	44.76c	5.39b	32.22b	16.73c
C	1.05b	6.02c	2.67c	15.33d	7.97a	45.74a	5.74a	32.91ab	17.43a
D	1.08b	6.24bc	2.73b	15.83c	7.72b	44.72c	5.73a	33.21a	17.25b
CK	0.93c	5.43d	2.70bc	15.75c	7.82b	45.54ab	5.72a	33.28a	17.17b

SS:播种期;RS:返青期;JS:拔节期;HS:开花期;MS:成熟期。表 4 同。

SS: Sowing stage; RS: Regreening stage; JS: Jointing stage; HS: Heading stage; MS: Maturity stage. The same in table 4.

2.5 不同控释肥一次性基施对小麦氮素积累量、积累比例及氮素利用效率的影响

由表 4 可知,与 CK 相比,从播种到返青期,控释肥处理小麦氮素积累量显著增加,其中 A 处理的氮素积累量和比例最高,氮素积累量增幅为 33.22%;在返青至拔节期,A 处理的氮素积累量显著降低,B、C 和 D 处理与 CK 差异不显著;在拔节至开花期,C 处理的氮素积累量显著增加了 7.3%,其余处理均显著降低;开花至成熟期,C 和 D 处理的氮素积累量分别提高了 4.87% 和 2.22%,差异均不显著,A 和 B 处理均显著降低。在等量施肥条件下,与 CK 相比,A 和 B 处理的氮素利用效率分别降低了 27.47% 和 8.58%,C 和 D 处理氮素利用率分别提高了 9.33% 和 2.87%。这说明,C 处理可显著促进小麦氮素积累,提升氮素利用效率。

2.6 不同控释肥一次性基施对小麦经济效益的影响

由表 5 可知,在等量施肥的情况下,与 CK 相比,A 和 B 处理的产值和净效益均显著下降,净效益降幅分别为 26.29% 和 11.47%;D 处理的产值显著高于 CK,但最终净效益较 CK 降低了 1.21%,差异不显著;C 处理的产值和净效益显著增加,净效益增幅为 3.27%。

3 讨论

3.1 不同控释肥一次性基施对小麦氮素积累的影响

缓/控释肥通过延缓养分释放,促进植株对养分的吸收利用,从而提高作物氮素利用效率^[10,12-13]。王茂莹等^[14]研究表明,树脂包膜与脲酶抑制剂结合型控释尿素可使小麦氮素生产效率较常规尿素提高 11.06%~38.66%。吴小宾等^[15]

表 4 不同处理下小麦氮素积累量、积累比例及氮素利用效率

Table 4 Nitrogen accumulation, accumulation proportion, and nitrogen use efficiency in wheat under different treatments

处理 Treatment	SS—RS		RS—JS		JS—HS		HS—MS		成熟期氮素 积累量 Nitrogen accumulation of MS/ (kg · hm ⁻²)	氮素 利用效率 Nitrogen use efficiency /%
	氮素积累量 Nitrogen accumulation/ (kg · hm ⁻²)	比例 Proportion /%	氮素积累量 Nitrogen accumulation/ (kg · hm ⁻²)	比例 Proportion /%	氮素积累量 Nitrogen accumulation/ (kg · hm ⁻²)	比例 Proportion /%	氮素积累量 Nitrogen accumulation/ (kg · hm ⁻²)	比例 Proportion /%		
A	46.00a	26.93a	42.77c	25.05c	63.32e	44.9bc	18.70b	10.95b	170.79e	29.07e
B	40.17b	20.93b	55.68ab	29.00a	77.72d	44.76c	18.39b	9.58c	191.96d	36.64d
C	39.51b	18.64c	52.39b	24.71c	91.27a	45.74a	28.87a	13.61a	212.03a	43.82a
D	39.82b	19.44c	56.40a	27.53b	80.44c	44.72c	28.14a	13.74a	204.80b	41.23b
CK	34.53c	17.13d	54.46ab	27.02b	85.06b	45.54ab	27.53a	13.65a	201.59c	40.08c

表 5 不同处理下小麦经济效益

Table 5 Economic benefits of wheat under different treatments

处理 Treatment	肥料成本 Fertilizer cost/ (yuan · hm ⁻²)	追肥人工成本 Labor cost for topdressing/ (yuan · hm ⁻²)	其它成本 Other cost/ (yuan · hm ⁻²)	产值 Gross output value/ (yuan · hm ⁻²)	净效益 Net benefit/ (yuan · hm ⁻²)
A	3 869.34	0	4 569	17 824.30e	9 385.96d
B	4 109.98	0	4 569	19 952.40d	11 273.42c
C	4 501.33	0	4 569	22 220.25a	13 149.92a
D	4 143.69	0	4 569	21 292.70b	12 580.01b
CK	3 428.41	360	4 569	21 091.20c	12 733.79b

认为,一次性基施水性树脂包膜肥(N 43%)和聚氨脂包膜(N 44.5%)肥可显著提高小麦氮肥表观回收率和氮素吸收量。但不同类型缓/控肥养分释放规律不同^[16-17],因此氮素供应在时间和空间上与作物养分吸收规律的匹配程度存在差异。华一帆等^[18]研究表明,腐植酸控释掺混氮肥、树脂包膜氮肥与常规尿素按 7:3 掺混一次性施用使小麦花后氮素吸收量及产量均降低。马泉等^[19]报道,一次性基施氮含量 45%的树脂包膜缓释肥的氮肥表观利用率与 CK 相当。本研究中,聚胺脂包膜氮肥(43%)(C)与水基树脂包膜氮肥(D)均可以基本满足小麦全生育期对氮素的需求,其中 C 处理在播种到返青、拔节到开花阶段的氮素积累量均显著高于 CK,其他时期与 CK 差异不显著;而 D 处理拔节到开花阶段氮素积累量显著低于 CK,说明处理 C 的氮素供应与淮麦 139 的养分吸收匹配度更高。植物油包膜控释掺混肥(A)在播种到返青期过多释放养分,此后养分供应严重不足,聚胺脂包膜控释掺混肥(B)在拔节后出现养分供应明显不足的现象,因此成熟期的氮素积累量和氮素利用效率显著低于 CK。上述差异可能是由于包膜厚度不同,导致养分释放周期和速率不同引起。本研究条件下,聚胺脂包膜氮肥养分供应与淮麦 139 需肥时期同步,可以有效提

高小麦氮素利用效率。

3.2 不同控释肥一次性基施对小麦光合能力及干物质积累的影响

干物质是作物产量形成的重要基础,小麦灌浆期籽粒干物质主要来源于两个方面^[20-21]:一方面是花前营养器官中储藏同化物的转运,当花后同化物积累不足时,植株可以调动这部分同化物来维持籽粒正常灌浆,构建穗器官;另一方面是花后营养器官光合产物,这些物质被暂时储藏或直接运输到籽粒,是小麦籽粒形成的主要来源。本研究发现,各处理小麦花前的 LAI 和 SPAD 值均高于对照,而在小麦生育中后期仅有聚胺脂包膜氮肥和水基树脂包膜氮肥处理的 LAI 和 SPAD 高于 CK,说明聚胺脂包膜氮肥和水基树脂包膜氮肥可以维持小麦中后期较高的光合能力,促进小麦灌浆及籽粒形成,进而实现增产,这与前人^[22-24]研究结果一致。

3.3 不同控释肥一次性基施对小麦产量及经济效益的影响

控释肥对作物产量及经济效益的影响差异显著。刘仲阳等^[25]比较一次性基施水基树脂包膜氮肥、环氧树脂包膜氮肥、聚氨脂包膜氮肥等不同控释氮肥对小麦产量及氮素利用的影响,认为各控释肥均可以维持小麦稳产,其中环氧树脂包膜

氮肥节肥效果最优。陈立等^[26]通过设置 7 种缓释肥一次性基施新配方,发现配方 5 可显著提高小麦产量及净效益。在本研究中,A 和 B 处理小麦生育后期氮素供应不足,导致穗粒数和千粒重显著下降,使得产量和净效益显著低于 CK。而 C 处理的氮素释放和小麦吸收的匹配度最高,故而穗数、穗粒数和千粒重协同增加,使得产量和效益较显著提高。D 处理在开花前和开花后具有较高氮素积累量,产量基本稳定,但因肥料成本较高,净效益略低于 CK。这与咸云宇等^[27]研究中树脂包膜缓释氮肥一次性基施处理产量显著低于常规施肥处理的结果不一致,这可能是由于试验地肥力水平及气候条件不同导致,因此控释肥的施用应充分考虑区域适应性。

4 结论

在江苏淮安稻茬小麦种植条件下,施用聚胺脂包膜肥料(N 43%)和水基树脂包膜肥料可以满足小麦中后期对氮素的需求,可增强小麦中后期光合能力,显著增加氮素积累量、氮肥吸收利用率和干物质积累量,促进籽粒形成,实现小麦增产,提高经济效益,可作为小麦控释肥一次性基施优选施用模式。

参考文献:

- [1]文廷刚,贾艳艳,顾大路,等. 氮水运筹对苏北平原稻茬麦干物质积累、产量和氮肥利用的影响[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(3):321.
WEN T G, JIA Y Y, GU D L, *et al.* Effect of nitrogen and water management on dry matter accumulation, yield and nitrogen utilization of wheat following rice in northern Jiangsu Plain [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2023, 43(3):321.
- [2]PEREIRAE I, DA CRUZ C C T, SOLOMON A, *et al.* Novel slow-release nanocomposite nitrogen fertilizers: The impact of polymers on nanocomposite properties and function [J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2015, 54(14): 3717.
- [3]VEJAN P, KHADIRAN T, ABDULLAH R, *et al.* Controlled release fertilizer: A review on developments, applications and potential in agriculture [J]. *Journal of Controlled Release*, 2021, 339:321.
- [4]MAO X Y, SUN K J, WANG D H, *et al.* Controlled-release fertilizer (CRF): A green fertilizer for controlling non-point contamination in agriculture [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2005, 17(2):181.
- [5]闫湘,金继运,梁鸣早. 我国主要粮食作物化肥增产效应与肥料利用效率[J]. 土壤, 2017, 49(6):1067.
YAN X, JIN J Y, LIANG M Z. Fertilizer use efficiencies and yield-increasing rates of grain crops in China [J]. *Soils*, 2017, 49(6):1067.
- [6]隋常玲,张民. 不同控释肥对土壤无机硫组分的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(6):158.
SUI C L, ZHANG M. Effects of different controlled-release fertilizers on the content of inorganic sulfur in brown soil [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(6):158.
- [7]LAWRENCIA D, WONG S K, LOW D Y S, *et al.* Controlled release fertilizers: A review on coating materials and mechanism of release [J]. *Plants*, 2021, 10(2):238.
- [8]王义凡,任宁,董向阳,等. 控释尿素与普通尿素配施对小麦产量、氮素吸收及经济效益的影响[J]. 作物杂志, 2023(5): 117.
WANG Y F, REN N, DONG X Y, *et al.* Effects of controlled-release and ordinary urea on wheat yield, nitrogen absorption and economic benefit [J]. *Crops*, 2023(5):117.
- [9]方袁江,田苗,曹永宏,等. 一次性侧深施缓释肥对冬小麦生长和土壤细菌群落结构的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2024, 42(3):288.
FANG Y J, TIAN M, CAO Y H, *et al.* Effects of one-time side deep application of slow-release fertilizer on winter wheat growth and soil bacterial community structure [J]. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2024, 42(3):288.
- [10]马富亮,宋付朋,高杨,等. 硫膜和树脂膜控释尿素对小麦产量、品质及氮素利用率的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(1):67.
MA F L, SONG F P, GAO Y, *et al.* Effects of sulfur-and polymer-coated controlled release urea fertilizers on wheat yield and quality and fertilizer nitrogen use efficiency [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(1):67.
- [11]李敏,郭熙盛,叶舒娅,等. 树脂膜控释尿素及普通尿素配施对强筋小麦产量、品质和氮肥利用率的影响[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(2):339.
LI M, GUO X S, YE S Y, *et al.* Effects of combined application of polymer-coated controlled release urea and common urea on yield, quality and fertilizer nitrogen use efficiency of strong gluten wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2013, 33(2):339.
- [12]邓先亮,屠晓,李军,等. 缓控释肥一次性基施对小麦产量及其形成的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(3):87.
DENG X L, TU X, LI J, *et al.* Effect of complete basal application of slow and controlled release fertilizer on wheat yield and its formation [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2019(3):87.
- [13]刘秋蒙,刘静文,张满,等. 缓控释肥料对水稻产量、品质及土壤微生物多样性的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(9): 136.
LIU Q M, LIU J W, ZHANG M, *et al.* Impacts of slow and controlled release fertilizers on yield, quality and soil microbial diversity of rice [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2024, 52(9):136.
- [14]王茂莹,漆增连,代兴龙,等. 不同缓/控释尿素对小麦生长及

- 氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(4): 643.
- WANG M Y, QI Z L, DAI X L, *et al.* Effects of different slow/controlled release urea on wheat growth and nitrogen utilization [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2021, 27(4): 643.
- [15] 吴小宾, 谭德水, 林海涛, 等. 冬小麦一次性施肥氮肥产品筛选与产量效应[J]. 中国农业科学, 2018, 51(20): 3863.
- WU X B, TAN D S, LIN H T, *et al.* Yield effect and nitrogen fertilizer screening of one-off application of controlled release fertilizer for winter wheat [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(20): 3863.
- [16] 赵聪, 申亚珍, 杜昌文, 等. 改性聚丙烯酸酯包膜控释肥料的控释性能研究[J]. 土壤学报, 2017, 54(3): 767.
- ZHAO C, SHEN Y Z, DU C W, *et al.* Study on the controlled release performance of modified polyacrylate coated controlled release fertilizers [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2017, 54(3): 767.
- [17] 刘永红, 郑文涛, 张晋天, 等. 缓/控释肥研究进展及其应用[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(4): 167.
- LIU Y H, ZHENG W T, ZHANG J T, *et al.* Progress and its application of slow/controlled release fertilizers in agricultural production [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2023, 42(4): 167.
- [18] 华一帆, 秦际远, 王洁, 等. 播种方式与缓控释氮肥一次性基施对冬小麦干物质积累转运和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(12): 2185.
- HUA Y F, QIN J Y, WANG J, *et al.* Effects of sowing pattern and one-time application of controlled-release fertilizer on dry matter accumulation, remobilization, and yield of winter wheat [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2022, 28(12): 2185.
- [19] 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.
- MA Q, TANG Z Y, WANG M Y, *et al.* Effect of resin coated slow release fertilizer combined with urea on yield, nitrogen use efficiency and economic benefits of winter wheat following rice [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2019, 39(10): 1202.
- [20] ERCOLI L, LULLI L, MARIOTTI M, *et al.* Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability [J]. *European Journal of Agronomy*, 2008, 28(2): 138.
- [21] ARDUINI I, MASONI A, ERCOLI L, *et al.* Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate [J]. *European Journal of Agronomy*, 2006, 25(4): 309.
- [22] GRANT C A, WU R, SELLES F, *et al.* Crop yield and nitrogen concentration with controlled release urea and split applications of nitrogen as compared to non-coated urea applied at seeding [J]. *Field Crops Research*, 2012, 127: 170.
- [23] 党建友, 杨峰, 屈会选, 等. 复合包裹控释肥对小麦生长发育及土壤养分的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1365.
- DANG J Y, YANG F, QU H X, *et al.* Effect of combined coated control-released fertilizer on winter wheat growth and soil available nutrient [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(6): 1365.
- [24] 王新民, 侯彦林, 介晓磊, 等. 冬小麦施用控释氮肥增产效应研究初报[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 98.
- WANG X M, HOU Y L, JIE X L, *et al.* Effect of applying controlled release nitrogen fertilizer on yield enhancement of winter wheat [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(2): 98.
- [25] 刘仲阳, 崔秀敏, 史桂芳, 等. 不同类型控释氮肥对冬小麦群体结构、产量和氮效率的影响[J]. 山东农业科学, 2022, 54(5): 104.
- LIU Z Y, CUI X M, SHI G F, *et al.* Effects of different types of controlled-release N fertilizers on population structure, yield and nitrogen efficiency of winter wheat [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2022, 54(5): 104.
- [26] 陈立, 钱晨诚, 徐东忆, 等. 不同释放期缓释尿素配合一次基施对稻茬冬小麦产量及氮肥利用率的影响[J]. 麦类作物学报, 2022, 42(10): 1231.
- CHEN L, QIAN C C, XU D Y, *et al.* Effect of slow-released urea in different release periods combined with one basal application on yield and nitrogen use efficiency of winter wheat following rice [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2022, 42(10): 1231.
- [27] 咸云宇, 王维领, 赵凌天, 等. 缓释氮肥配施尿素对迟播小麦产量形成及氮素利用的影响[J]. 麦类作物学报, 2022, 42(9): 1117.
- XIAN Y Y, WANG W L, ZHAO L T, *et al.* Effect of slow release nitrogen fertilizer combined with urea on yield formation and nitrogen utilization of late sowing wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2022, 42(9): 1117.