

施氮量对黑小麦物质运转与蛋白质含量的影响

米东明¹ 周佐艳¹ 张晓妍¹ 范振杰¹ 孙培杰¹
黄潇² 任爱霞¹ 孙敏¹ 任永康¹

(¹山西农业大学农学院, 030801, 山西晋中; ²山西省分析科学研究院, 030006, 山西太原)

摘要 为揭示不同黑小麦品种物质运转差异,明确最佳施氮量,于2019–2020年在山西晋中地区开展大田试验,研究0、180、240、300 kg/hm² 4个施氮量对冬黑1号和紫麦8555植株物质运转与籽粒蛋白质含量的影响。结果表明,冬黑1号在施氮240 kg/hm²和紫麦8555施氮180 kg/hm²时显著增加成熟期干物质质量、花后干物质积累量及其对籽粒贡献率、花后氮素积累量及其对籽粒贡献率,提高氮素吸收利用能力。与其他施氮量相比,冬黑1号在施氮240 kg/hm²时显著提高了穗数和千粒重,增产12%~56%,产量达7691.76 kg/hm²;紫麦8555施氮180 kg/hm²时显著提高了千粒重,增产12%~50%,产量达7283.90 kg/hm²。冬黑1号施氮240 kg/hm²时显著提高了球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白含量,提高清蛋白含量,提高籽粒蛋白质含量4.0%~18.4%;紫麦8555施氮180 kg/hm²时显著提高了清蛋白、球蛋白和醇溶蛋白含量,提高谷蛋白含量,提高籽粒蛋白质含量3.3%~8.9%。本试验条件下冬黑1号施氮240 kg/hm²、紫麦8555施氮180 kg/hm²可实现产量与籽粒蛋白质含量的同步提升。

关键词 黑小麦; 施氮量; 干物质运转; 氮素运转; 蛋白质含量

黑小麦是特用型的优质谷物资源,籽粒颜色为黑或紫色,因其含有天然黑色素以及多种维生素和矿物质,受到广大消费者青睐。目前,黑小麦种植面积约402万hm²,但收获产量仅1247万t。如何实现黑小麦产量、品质同步提升,合理施用氮肥是首要措施。董飞等^[1]研究表明,施氮量180 kg/hm²可促进黑小麦有效穗数增加,显著提高产量11.1%~36.4%和籽粒氮素吸收量11.1%~42.9%。Jaśkiewicz^[2]研究表明,增加施氮量可提高黑小麦营养器官干物质积累量,促进营养器官干物质向籽粒转移,有利于产量提升。Barati等^[3]研究表明,增加施氮量可显著提高黑小麦开花期、成熟期干物质积累量,提高产量8%~28%。Estrada-Campuzano等^[4]研究表明,随着施氮量增加(0~200 kg/hm²),黑小麦干物质积累量和产量不断增加,产量达8620 kg/hm²。Kong等^[5]在黄土高原的研究表明,随着施氮量的增加(0~240 kg/hm²),黑小麦产量呈先增后减趋势,其中以施氮量216 kg/hm²时产量最高,达8045.32 kg/hm²。黄鑫等^[6]在黄淮海地区的研究表明,与施氮量

90 kg/hm²相比,施氮量240 kg/hm²显著提高了黑小麦穗数、穗粒数及千粒重,提高产量了20%。

籽粒中的氮素主要以蛋白质形式存在,氮对籽粒蛋白质含量具有明显的调节作用,花后氮素积累是决定小麦和黑小麦籽粒蛋白质含量的关键因素,适宜的施氮量可促进花后氮素向籽粒转运。Zhang等^[7]研究表明,与其他施氮处理相比,施氮量225 kg/hm²可显著提高小麦花后氮素对籽粒贡献率20.6%~23.1%,提高籽粒蛋白质含量0.5%~6.3%,且籽粒蛋白质含量与花后氮素积累量及其对籽粒贡献率呈显著正相关。Zhang等^[8]研究表明,适宜的施氮量可提升小麦花后籽粒中谷氨酰胺合成酶活性,加强花后氮素转运,从而提高清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白及谷蛋白含量,提高籽粒蛋白质含量32.8%。Barati等^[9]研究表明,施氮量150 kg/hm²可显著提高黑小麦产量1.2%~82.9%,增加花后氮素积累量,促进氮素向籽粒转运,提高籽粒氮素吸收量和氮素收获指数。Yusuf等^[10]研究表明,黑小麦籽粒蛋白质含量随施氮量(0~120 kg/hm²)增加而增加,施氮量120 kg/hm²可

作者简介:米东明,主要从事作物栽培研究, E-mail: mdm000301@163.com

任永康为通信作者,主要从事小麦遗传育种、小麦栽培技术及示范推广等研究, E-mail: rykpp@163.com

基金项目:国家小麦产业技术体系专项(CARS-03-01-24);国家自然科学基金面上项目(32272216);山西省基础研究计划项目(20210302123410);山西省科技创新团队(201605D131041);山西省重点实验室(201705D111007);山西省“1331工程”重点创新团队(SXYBKY201733)

收稿日期:2024-02-03;修回日期:2024-04-23;网络出版日期:2024-07-24

提高籽粒蛋白质含量 3.1%~9.3%。Oral^[11]研究表明,黑小麦产量及籽粒蛋白质含量随施氮量(0~160 kg/hm²)增加呈先增后减趋势,施氮量 120 kg/hm²可优化黑小麦品质形成,提高籽粒蛋白质含量 2%~18%。董飞等^[1]研究表明,黑小麦籽粒蛋白质含量随施氮量(0~219 kg/hm²)增加而提高,施氮量 219 kg/hm²时籽粒蛋白质含量可提高 1.2%~4.3%。吕冰等^[12]研究表明,施氮量超出一定范围对黑小麦籽粒蛋白质含量影响不明显,甚至产生负效应,籽粒蛋白质含量随施氮量(120~300 kg/hm²)增加呈先增后减趋势,以施氮量 240 kg/hm²最高。

总之,前人研究施氮量对小麦籽粒蛋白质形成较多,但对黑小麦的研究主要集中在影响产量和籽粒蛋白质含量上,而对物质转运机理少见报道。因此,本研究通过分析施氮量对 2 个黑小麦品种干物质运转、氮素运转与蛋白质含量的影响,揭示不同黑小麦品种产量和蛋白质形成的物质运转差异,明确不同黑小麦品种适宜的施氮量,为黑小麦优质高产提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2019–2020 年在山西省晋中市太谷区申奉村试验基地(112°53'E, 37°42'N)进行,该地区位于黄土高原,属暖温带大陆性季风气候,为干旱半干旱地区,海拔 791 m,年均日照时数 2500~2600 h,年均气温 10.4℃。2019 年 9 月 22 日测定 0~20 cm 土层土壤养分含量为有机质 12.89 g/kg、碱解氮 42.78 mg/kg、速效磷 17.66 mg/kg、速效钾 208.00 mg/kg。

1.2 供试材料与试验设计

采用二因素裂区设计,主区为品种,选用冬黑 1 号(DH1)和紫麦 8555(ZM8555)2 个品种,冬黑 1 号籽粒为紫黑色,早熟,生育期 250 d,分蘖力较强,成穗率较高,具有稳产、抗病及适应性强的特点,品种类型为半冬性品种^[13]。紫麦 8555 籽粒为紫色,生育期 235 d,分蘖力较强,具有抗旱、抗寒和抗病的特点,品种类型为冬性品种^[14];副区为施氮量,设 0(N0)、180(N180)、240(N240)和 300 kg/hm²(N300)4 个水平,共 8 个处理,重复 3 次,小区面积 8 m²(4 m×2 m),

设 0.5 m 宽隔离区。2019 年 9 月 28 日播种,基施磷肥(P₂O₅)150 kg/hm²、钾肥(K₂O)90 kg/hm²,旋耕整地后人工条播,行距 20 cm,基本苗为 350 万株/hm²,拔节期追施氮肥,基追比为 6:4,分别于 2020 年 4 月 20 日、4 月 23 日进行除草及杀虫,2020 年 6 月 18 日收获。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 株高 于黑小麦各生育时期分别选取生长均匀且具有代表性植株 20 株,测定株高。

1.3.2 植株干物质积累量及含氮率 于黑小麦越冬期、拔节期、开花期和成熟期取样 20 株,剪掉根部,洗净。越冬期取整株、拔节期和孕穗期分为叶片、茎秆+茎鞘 2 个部分,开花期分为叶片、茎秆+茎鞘、穗 3 个部分,成熟期分为叶片、茎秆+茎鞘、颖壳+穗轴和籽粒 4 个部分,将材料装入牛皮纸袋,做标记。置于 105℃烘箱中杀青 30 min 后,75℃烘干至恒重,记录干物质质量。采用凯氏定氮法^[15]测定植株各器官含氮率。

1.3.3 产量及其构成因素 于黑小麦成熟期,剪取 0.667 m²的麦穗调查穗数,置于网袋中,自然晾干后脱粒称重,小区内其余小麦全部收获,按照 13%含水率计算实际产量,同时调查穗粒数和千粒重。

1.3.4 籽粒蛋白质组分含量 采用连续提取法提取成熟期籽粒中清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白。采用凯氏定氮法^[15]测定含氮率,含氮率乘以系数 5.7 为籽粒蛋白质含量。

1.4 指标计算方法

按薛丽华等^[16]和高春华等^[17]方法计算植株干物质积累量。花前干物质转运量(TDM)=开花期地上总干物质积累量-成熟期地上总干物质积累量;花前干物质转运效率(DTE,%)=花前干物质转运量/开花期地上总干物质积累量×100;花前干物质转运量对籽粒的贡献率(CPAG_{pre},%)=花前干物质转运量/成熟期籽粒干物质积累量×100;花后干物质积累量(DMA)=成熟期地上总干物质积累量-开花期地上总干物质转运量;花后干物质积累量对籽粒的贡献率(CPAG_{post},%)=花后干物质积累量/籽粒干物质积累量×100。

按 Przuili 等^[18]的方法计算氮素积累量,植株氮素积累量=含氮率×植株干物质积累量;花前氮素转运量(NTA)=开花期营养器官氮素积累量-

成熟期营养器官氮素积累量（不包括籽粒）；花前氮素转运量对籽粒贡献率（ NCR_{pre} , %）=花前氮素转运量/籽粒氮素积累量 $\times 100$ ；花后氮素积累量（ NAA ）=成熟期籽粒氮素积累量-花前氮素转运量；花后氮素积累量对籽粒的贡献率（ NCR_{post} , %）=花后氮素积累量/籽粒氮素积累量 $\times 100$ 。

氮素利用指标计算：氮素利用效率（ NUE ）=籽粒产量/成熟期单位土地面积地上部氮素积累总量^[19]；氮素吸收效率（ $NUPE$ ）=成熟期单位土地面积地上部氮素积累总量/供氮量；氮肥农学利用效率（ NAE ）=作物因施肥所增加的籽粒产量/氮肥施用量；氮肥偏生产力（ $NPFP$ ）=籽粒产量/氮肥施用量^[19]；氮素收获指数（ NHI ）=籽粒氮素积累量/地上部氮素积累量。

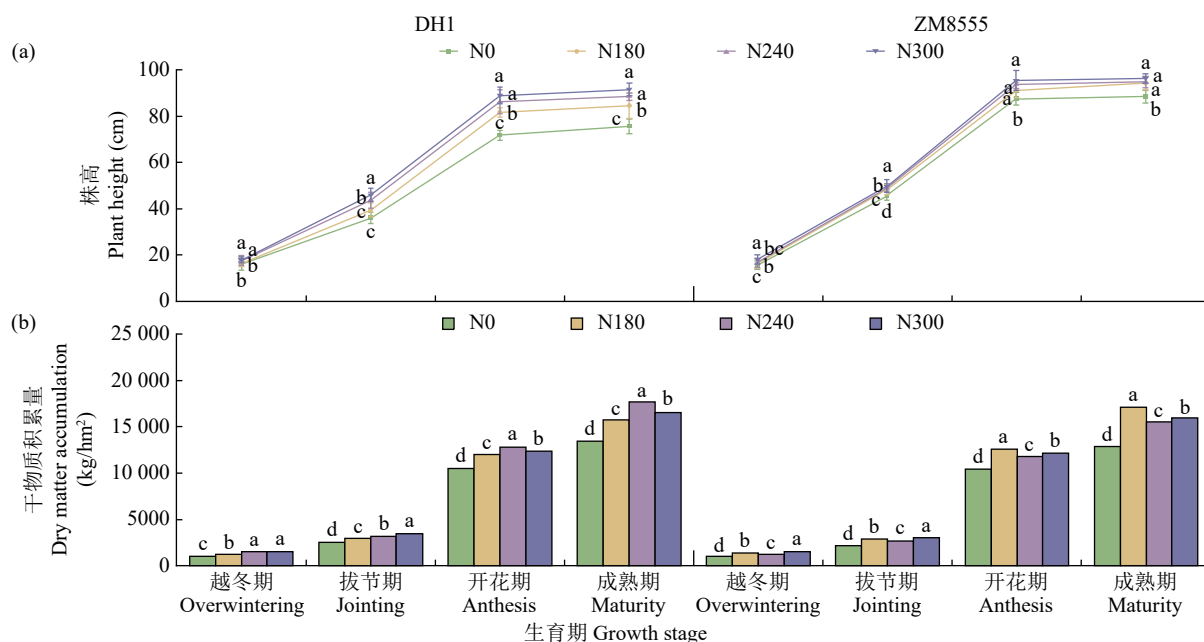
1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2021 处理数据，分别用 Origin 2021 和 SPSS 26.0 软件进行作图和统计分析，用 LSD 法检验差异显著性，显著性水平设定为 $P=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 施氮量对株高及干物质积累和运转的影响

2.1.1 对株高及各生育期干物质积累的影响 由图 1 可知，增加施氮量增加了冬黑 1 号和紫麦 8555 各生育时期的株高，开花期、成熟期冬黑 1 号 N240 和 N300 处理间差异不显著，紫麦 8555 在 N180、N240 和 N300 处理间差异不显著。紫麦 8555 拔节期、开花期和成熟期株高明显高于冬黑 1 号。



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$).

图 1 施氮量对黑小麦株高及各生育时期干物质积累量的影响

Fig.1 Effects of nitrogen application rates on plant height and dry matter accumulation in black wheat at different growth stages

由图 1 可知，与其他施氮处理相比，施氮量 240 kg/hm² 可显著提高冬黑 1 号开花期、成熟期干物质质量，分别达 12 805.76 和 17 692.93 kg/hm²；施氮量 180 kg/hm² 可显著提高紫麦 8555 开花期、成熟期干物质质量，分别达 12 581.1 和 17 148.43 kg/hm²。冬黑 1 号越冬、拔节和成熟期干物质质量高于紫麦 8555。可见，冬黑 1 号施氮 240 kg/hm²、紫麦 8555 施氮 180 kg/hm² 有利于开花期、成熟期干物质积累。

2.1.2 对干物质花前转运与花后积累的影响 由表 1 可知，与其他施氮处理相比，N240 处理降低冬黑

1 号花前干物质对籽粒贡献率，显著提高花后干物质积累量及花后干物质对籽粒贡献率，达 63.54%；N180 处理降低紫麦 8555 花前干物质转运量及其对籽粒贡献率，显著提高花后干物质积累量及花后干物质对籽粒贡献率，达 62.70%。冬黑 1 号平均花后干物质积累量及其对籽粒贡献率高于紫麦 8555。可见，2 个黑小麦品种籽粒产量多来源于花后干物质积累及其对籽粒贡献率，冬黑 1 号施氮 240 kg/hm²、紫麦 8555 施氮 180 kg/hm² 有利于花后干物质积累以及干物质对籽粒贡献率的提高。

表 1 施氮量对黑小麦花前干物质转运与花后干物质积累的影响
Table 1 Effects of nitrogen application rates on dry matter transfer before anthesis and dry matter accumulation after flowering in black wheat

品种 Variety	处理 Treatment	花前干物质 Dry matter before flowering			花后干物质 Dry matter after flowering	
		转运量 Transfer amount (kg/hm ²)	转运效率 Transfer efficiency (%)	对籽粒贡献率 Contribution rate to grain (%)	积累量 Accumulation amount (kg/hm ²)	对籽粒贡献率 Contribution rate to grain (%)
DH1	N0	2356.38d	21.43a	49.90a	2466.47d	50.10c
	N180	2533.65c	21.11a	40.22b	3765.05c	59.78b
	N240	2804.59a	21.90a	36.46c	4887.17a	63.54a
	N300	2708.23b	21.83a	39.35b	4174.75b	60.65b
ZM8555	N0	2399.95d	22.99ab	49.53a	2445.61d	50.47c
	N180	2716.57c	21.59b	37.30c	4567.33a	62.70a
	N240	2796.36b	23.72a	42.86b	3728.71c	57.14b
	N300	2844.33a	23.34a	42.82b	3798.73b	57.18b

不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。下同。
Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

2.2 施氮量对植株氮素运转的影响

由表 2 可知，与其他施氮处理相比，N240 处理显著提高冬黑 1 号花后氮素积累量，提高花后氮素对籽粒贡献率，达 63.32%，降低花前氮素对籽粒贡献率；N180 处理显著提高紫麦 8555 花后氮素积累量及花后氮素对籽粒贡献率，达 70.51%，降低

花前氮素转运量及其对籽粒贡献率。紫麦 8555 花后氮素积累量及其对籽粒贡献率高于冬黑 1 号。可见，2 个黑小麦品种籽粒蛋白质含量受花后氮素积累量及其对籽粒贡献率影响更大，冬黑 1 号施氮量 240 kg/hm² 和紫麦 8555 施氮量 180 kg/hm² 有利于提高花后氮素积累量，促进花后氮素向籽粒转运。

表 2 施氮量对黑小麦氮素运转的影响
Table 2 Effect of nitrogen application rate on nitrogen translocation in black wheat

品种 Variety	处理 Treatment	花前氮素 NTA		花后氮素 NAA	
		积累量 Accumulation amount (kg/hm ²)	对籽粒贡献率 Contribution rate to grain (%)	积累量 Accumulation amount (kg/hm ²)	对籽粒贡献率 Contribution rate to grain (%)
DH1	N0	50.61c	45.69a	60.14d	54.31c
	N180	63.07b	39.12b	98.14c	60.88b
	N240	75.13a	36.68c	129.72a	63.32a
	N300	63.95b	36.89c	109.41b	63.11a
ZM8555	N0	69.49c	57.50a	51.35d	42.50d
	N180	58.34d	29.49d	139.48a	70.51a
	N240	52.68b	31.09c	116.76b	68.91b
	N300	65.64b	37.61b	108.91c	62.39c

2.3 施氮量对黑小麦产量及其构成因素的影响

由表 3 可知，随着施氮量增加，冬黑 1 号和紫

麦 8555 产量均呈先增后减趋势，冬黑 1 号在施氮量 240 kg/hm² 时达到最高，紫麦 8555 在施氮量

表 3 施氮量对黑小麦产量及其构成因素的影响
Table 3 Effects of nitrogen application rates on yield and its components of black wheat

品种 Variety	处理 Treatment	穗数 Spike number (×10 ⁴ /hm ²)	穗粒数 Grains per spike	千粒重 1000-grain weight (g)	产量 Yield (kg/hm ²)
DH1	N0	396.83d	33.95a	30.94c	4922.85d
	N180	458.94b	34.80a	34.19b	6298.70c
	N240	507.38a	33.83a	36.69a	7691.76a
	N300	445.51c	35.01a	35.04ab	6882.98b
ZM8555	N0	395.26d	33.01c	27.51c	4845.56d
	N180	456.04c	34.41b	34.82a	7283.90a
	N240	496.58a	33.83bc	33.71b	6525.07c
	N300	472.31b	35.99a	33.62b	6643.06b

180 kg/hm² 时最高。与其他施氮处理相比, N240 处理可显著增加冬黑 1 号穗数及千粒重, 降低穗粒数, 显著提高产量, 达 7691.76 kg/hm²; N180 处理可增加紫麦 8555 千粒重, 降低穗数和穗粒数, 显著提高产量, 达 7283.90 kg/hm²。冬黑 1 号平均产量高于紫麦 8555。可见, 冬黑 1 号施氮量 240 kg/hm² 和紫麦 8555 施氮量 180 kg/hm² 有利于增加千粒重, 实现产量提升。

2.4 施氮量对黑小麦氮素吸收利用的影响

由表 4 可知, 与其他施氮量处理相比, N240

处理显著提高冬黑 1 号氮素吸收效率和氮肥利用效率, 分别达 3.4%~36.7%、45.7%~73.9%; N180 处理显著提高紫麦 8555 的氮素吸收效率、氮肥农学利用效率和氮肥偏生产力, 增幅分别达 61.5%~74.2%、93.6~126.2%和 48.8%~82.8%。冬黑 1 号平均氮素利用效率、氮肥农学利用效率和氮肥偏生产力高于紫麦 8555, 且 2 个黑小麦品种平均氮素收获指数相同。可见, 冬黑 1 号施氮量 240 kg/hm² 和紫麦 8555 施氮量 180 kg/hm² 更利于提高氮素吸收利用能力。

表 4 施氮量对黑小麦氮素吸收利用的影响

Table 4 Effects of nitrogen application rates on nitrogen absorption and utilization of black wheat

品种 Variety	处理 Treatment	氮素利用效率 NUE (kg/kg)	氮素吸收效率 NUPE (kg/kg)	氮肥农学利用效率 NAE (kg/kg)	氮肥偏生产力 NPFP (kg/kg)	氮素收获指数 NHI
DH1	N0	—	—	—	—	—
	N180	29.73a	1.19a	8.20b	34.99a	0.76a
	N240	26.10b	1.23a	11.95a	32.05b	0.70ab
	N300	25.41c	0.90b	6.87c	22.94c	0.64b
ZM8555	N0	—	—	—	—	—
	N180	26.07b	1.55a	13.55a	40.47a	0.71b
	N240	28.42a	0.96b	7.00b	27.19b	0.74a
	N300	24.84c	0.89c	5.99c	22.14c	0.65c

2.5 施氮量对黑小麦籽粒蛋白质及其组分含量的影响

由表 5 可知, 与其他施氮处理相比, N240 处理显著提高冬黑 1 号球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白含量, 提高清蛋白含量不显著, 提高籽粒蛋白质含量 4.0%~18.4%; N180 处理显著提高紫麦 8555 清蛋

白、球蛋白和醇溶蛋白含量, 谷蛋白含量提高不显著, 提高籽粒蛋白质含量 3.3%~8.9%。除 N240 外, 同处理相比, 紫麦 8555 醇溶蛋白、谷蛋白和籽粒蛋白质含量高于冬黑 1 号。可见, 冬黑 1 号施氮量 240 kg/hm² 和紫麦 8555 施氮量 180 kg/hm² 有利于提高籽粒蛋白质及其组分含量。

表 5 施氮量对黑小麦籽粒蛋白质及其组分含量的影响

Table 5 Effects of nitrogen application rate on protein and its components contents of black wheat grain %

品种 Variety	处理 Treatment	清蛋白 Albumin	球蛋白 Globulin	醇溶蛋白 Gliadin	谷蛋白 Glutelin	蛋白质含量 Protein content
DH1	N0	1.41b	1.29c	5.68c	3.38c	12.82b
	N180	2.37a	1.54b	5.87b	3.93b	14.59ab
	N240	2.47a	1.70a	6.21a	4.06a	15.18a
	N300	2.44a	1.55b	5.91b	3.90b	14.36ab
ZM8555	N0	1.14d	1.12c	6.20c	4.38b	14.22b
	N180	1.99a	1.42a	6.53a	4.76a	15.48a
	N240	1.82c	1.24bc	6.36b	4.70a	14.80ab
	N300	1.91b	1.27b	6.36b	4.71a	14.98a

3 讨论

氮肥直接影响植株物质的生产与运转, 增加施氮量有利于增加植株干物质^[20], 提高花前氮素转运量, 促进花后氮素向籽粒转运^[21], 但是过量施氮会导致环境污染和作物贪青晚熟等问题^[22]。

Robin 等^[23]研究表明, 黑小麦干物质积累量随着生育时期推进呈递增趋势, 施氮量 140 kg/hm² 较不施氮成熟期干物质积累量显著增加 10 100 kg/hm², 达 18 700 kg/hm²。Barati 等^[9]研究氮肥对黑小麦产量和氮转运的影响表明, 与其他施氮处理相比, 施氮 150 kg/hm² 可提高花后氮素积累量, 促进花后氮素

向籽粒转运, 增加千粒重, 提高产量 3.2%~39.7%。本研究结果表明, 紫麦 8555 施氮肥 180 kg/hm² 显著增加花后干物质、氮素积累量及其对籽粒贡献率, 实现产量提升, 但紫麦 8555 施氮量超过 180 kg/hm² 时显著降低了花后干物质、氮素积累量及其对籽粒贡献率和产量, 降低千粒重; 冬黑 1 号施氮量 240 kg/hm² 促进小麦生长, 使花后干物质和花后氮素转运能力加强, 有利于产量形成, 但施氮量超过 240 kg/hm² 时显著降低了冬黑 1 号花后干物质积累量及其对籽粒贡献率、花后氮素积累量和产量, 降低穗粒数和千粒重。本研究与前人^[9,23]研究黑小麦植株物质转运最佳施氮量有所差异, 这可能是受地理位置、气候和环境等因素影响。本研究结果还表明, 施氮过少导致黑小麦干物质积累量和氮素积累量不足, 施氮过多使花后干物质、氮素积累量对籽粒贡献率降低, 不利于植株物质转运, 这与前人^[9,23]研究结果一致。

Katarzyna 等^[24]研究表明, 与其他施氮量处理相比, 施氮量 120 kg/hm² 黑小麦籽粒蛋白质含量可得到提高。Cimrin 等^[25]和 Mut 等^[26]研究表明, 增加施氮量对黑小麦生长具有一定的积极作用, 施氮量在 160~180 kg/hm² 时可提高黑小麦籽粒蛋白质含量。本研究结果表明, 施氮范围在 0~300 kg/hm² 时, 随着施氮量增加黑小麦籽粒蛋白质及其组分含量呈先增后减趋势, 冬黑 1 号以施氮量 240 kg/hm² 达到最大, 但施氮超过 240 kg/hm² 后显著降低了球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白含量, 降低清蛋白含量和蛋白质含量; 紫麦 8555 以施氮量 180 kg/hm² 达到最大, 但施氮超过 180 kg/hm² 后显著降低了清蛋白、球蛋白和醇溶蛋白含量, 降低谷蛋白和蛋白质含量。冬黑 1 号施氮量 240 kg/hm²、紫麦 8555 施氮量 180 kg/hm² 提高了花后氮素积累量, 促进花后氮素向籽粒转运, 从而提升籽粒蛋白质含量, 这与 Noor 等^[27]研究结果相似。因此, 合理施用氮肥可增加花后干物质和氮素积累, 提高产量和籽粒蛋白质含量。

4 结论

在本试验条件下, 冬黑 1 号施氮量 240 kg/hm² 和紫麦 8555 施氮量 180 kg/hm² 更利于开花期和成熟期干物质积累、花后干物质和氮素积累, 促进花后干物质、氮素向籽粒转运, 提高了氮素吸收利用

能力, 实现产量较优的同时蛋白质含量同步提高。

参考文献

- [1] 董飞, 闫秋艳, 张敏敏, 等. 追氮量对不同粒色小麦籽粒产量、品质及硒吸收的影响. 中国农业大学学报, 2022, 27(8): 13-23.
- [2] Jaśkiewicz B. Effect of tillage system and nitrogen fertilization on the yield of selected spring triticale varieties. Polish Journal of Agronomy, 2021, 46: 9-13.
- [3] Barati V, Bijanzadeh E, Emam Y, et al. Nitrogen nutrition effects on triticale photosynthesis and assimilate translocation under late-season water stress conditions. Journal of Plant Nutrition, 2022, 45(3): 439-456.
- [4] Estrada-Campuzano G, Slafer G A, Miralles D J. Differences in yield, biomass and their components between triticale and wheat grown under contrasting water and nitrogen environments. Field Crops Research, 2012, 128: 167-179.
- [5] Kong W, Huo R, Lu Y, et al. Nitrogen application can optimize form of selenium in soil in selenium-rich areas to affect selenium absorption and accumulation in triticale. Plants, 2023, 12(24): 4160.
- [6] 黄鑫, 李耀光, 孙婉, 等. 不同粒色小麦籽粒铁锌含量和生物有效性及其对氮磷肥的响应. 作物学报, 2018, 44(10): 1506-1516.
- [7] Zhang G X, Liu S J, Dong Y J, et al. A nitrogen fertilizer strategy for simultaneously increasing wheat grain yield and protein content: mixed application of controlled-release urea and normal urea. Field Crops Research, 2022, 277: 108405.
- [8] Zhang M W, Ma D Y, Ma G, et al. Responses of glutamine synthetase activity and gene expression to nitrogen levels in winter wheat cultivars with different grain protein content. Journal of Cereal Science, 2017, 74: 187-193.
- [9] Barati V, Bijanzadeh E, Zinati Z. Nitrogen source and deficit irrigation influence on yield and nitrogen translocation of triticale in an arid mediterranean agroecosystem. Journal of Agricultural Science and Technology, 2020, 22(5): 1295-1311.
- [10] Yusuf N B, Fagam A S, Auwalu B, et al. Effect of irrigation schedules, nitrogen rates and weeding regimes on harvest index, water use efficiency and protein content of triticale (*Triticale tritico-secale* Wittmack). ATBU Journal of Science, Technology and Education, 2023, 11(3): 175-185.
- [11] Oral E. Effect of nitrogen fertilization levels on grain yield and yield components in triticale based on AMMI and GGE biplot analysis. Applied Ecology & Environmental Research, 2018, 16(4): 4865-4878.
- [12] 吕冰, 范仲卿, 常旭虹, 等. 施氮量对 2 个粒色小麦产量及加工品质的影响. 核农学报, 2017, 31(6): 1192-1199.
- [13] 裴自友, 温辉芹, 张立生, 等. 富硒黑粒小麦品种冬黑 1 号的研究. 种子, 2013, 32(7): 74-76.
- [14] 张文云, 王敏, 马小飞. 彩色旱地小麦新品种紫麦 8555 的特征特性及栽培技术. 农业科技通讯, 2021(8): 267-269.
- [15] Bremner P M, Rawson H M. The weights of individual grains of the wheat ear in relation to their growth potential, the supply of assimilate and interaction between grains. Functional Plant Biology, 1978, 5(1): 61-72.
- [16] 薛丽华, 胡锐, 赛力汗, 等. 滴灌量对冬小麦耗水特性和干物质积累分配的影响. 麦类作物学报, 2013, 33(1): 78-83.
- [17] 高春华, 于振文, 石玉, 等. 测墒补灌条件下高产小麦品种水分利用特性及干物质积累和分配. 作物学报, 2013, 39(12): 2211-2219.

- [18] Przuli N, Momcilovic V. Dry matter and nitrogen accumulation and use in spring barley. *Plant, Soil and Environment*, 2003, 49: 36-47.
- [19] Guo Z J, Zhang Y L, Zhao J Y, et al. Nitrogen use by winter wheat and changes in soil nitrate nitrogen levels with supplemental irrigation based on measurement of moisture content in various soil layers. *Field Crops Research*, 2014, 164: 117-125.
- [20] Spyridon D K, Sideris F, Christos A D. Biomass and nitrogen accumulation and translocation in spelt (*Triticum spelta*) grown in a mediterranean area. *Field Crops Research*, 2012, 127: 1-8.
- [21] Wang H D, Wu L F, Cheng M H, et al. Coupling effects of water and fertilizer on yield, water and fertilizer use efficiency of drip-fertigated cotton in northern Xinjiang, China. *Field Crops Research*, 2018, 219: 169-179.
- [22] Wang H Y, Zhang Y T, Chen A Q, et al. An optimal regional nitrogen application threshold for wheat in the North China Plain considering yield and environmental effects. *Field Crops Research*, 2017, 207: 52-61.
- [23] Graham R D, Graham P E, Geytenbeek B C, et al. Responses of triticale, wheat, rye and barley to nitrogen fertilizer. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 1983, 28: 78-79.
- [24] Katarzyna W, Arkadiusz S, Małgorzata W, et al. Effect of nitrogen fertilization method on the yield and quality of milewo variety spring triticale grain. *Polish Journal of Natural Sciences*, 2015, 30(2): 173-184.
- [25] Cimrin K, Bozkurt M, Sekeroglu N. Effect of nitrogen fertilization on protein yield and nutrient uptake in some triticale genotypes. *Journal of Agronomy*, 2004, 3(4): 268-272.
- [26] Mut Z, Sezer I, Gulumser A H. Effect of different sowing rates and nitrogen levels on grain yield, yield components and some quality traits of triticale. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2005, 4(5): 533-539.
- [27] Noor H, Wang Q, Islam M A, et al. Effects of sowing methods and nitrogen rates on photosynthetic characteristics, yield and quality of winter wheat. *Photosynthetica*, 2021, 59(2): 277-285.

Effects of Nitrogen Application Rate on Matter Transfer and Protein Content in Black Wheat

Mi Dongming¹, Zhou Zuoyan¹, Zhang Xiaoyan¹, Fan Zhenjie¹, Sun Peijie¹,
Huang Xiao², Ren Aixia¹, Sun Min¹, Ren Yongkang¹

(¹College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, Shanxi, China;

²Shanxi Academy of Analytical Sciences, Taiyuan 030006, Shanxi, China)

Abstract An experiment was carried out in Jinzhong, Shanxi in 2019-2020 to determine the ideal nitrogen application rate and to demonstrate the differences in the matter transfer of several black wheat varieties. The study examined the effects of four nitrogen application rates (0, 180, 240, and 300 kg/ha) on the plant matter transfer and grain protein contents of Donghei 1 (DH1) and Zimai 8555 (ZM8555). The results indicated that applying 240 kg/ha of nitrogen to DH1 and 180 kg/ha of nitrogen to ZM8555 significantly increased the dry matter amount at maturity, post-flowering dry matter accumulation, and its contribution to grain, post-flowering nitrogen accumulation and its contribution to grain, and enhanced the ability of nitrogen absorption and utilization. Compared to other nitrogen applications, the application of 240 kg/ha of nitrogen to DH1 resulted in a significant increase in the number of spikes and 1000-grain weight, as well as a yield increase of 12%-56%, reaching up to 7691.76 kg/ha. Similarly, applying 180 kg/ha of nitrogen to ZM8555 led to a significant increase in 1000-grain weight and a yield increase of 12%-50%, reaching up to 7283.90 kg/ha. Application of 240 kg/ha of nitrogen to DH1 resulted in a significant increase in globulin, gliadin, and glutelin contents. It also led to an increase in albumin content and protein content by 4.0%-18.4%. Similarly, applying 180 kg/ha of nitrogen to ZM8555 significantly increased the contents of albumin, globulin, and gliadin proteins, it also increased glutelin content, protein content was increased by 3.3%-8.9%. In the experiment, applying 240 kg/ha of nitrogen to DH1 and 180 kg/ha of nitrogen to ZM8555 resulted in a simultaneous improvement in both yield and grain protein contents.

Key words Black wheat; Nitrogen application rate; Dry matter transfer; Nitrogen translocation; Protein content