

氮肥后移对强筋小麦氮素积累转运及籽粒产量与品质的影响

代新俊, 夏清, 杨珍平, 高志强

(山西农业大学农学院, 山西 太谷 030801)

摘要: 为探索强筋小麦施用氮肥的合理基追比模式, 在山西中部麦区水地小麦田, 研究了氮肥基施、拔节期追施和孕穗期追施的不同比例(10:0:0, 7:3:0, 7:2:1, 6:4:0, 6:2:2, 5:5:0, 5:3:2)对强筋小麦 CA0547 氮素积累转运及籽粒产量与品质的影响。结果表明:(1)适当追氮对强筋小麦 CA0547 氮素与干物质积累转运及产量品质有显著的调节效应。(2)追氮能显著提高小麦拔节期后的含氮量, 提高花前氮素转运量和花后氮素积累量, 促进氮素向籽粒中的累积, 同时增加花前干物质转运量和花后干物质积累量, 为产量提高提供了物质基础。(3)籽粒氮素中约有 68.38%~75.18%是来自花前氮素转运, 籽粒产量中约有 55.12%~70.04%是来自花后干物质积累。追氮通过显著增加穗数和穗粒数来提高产量, 并提高氮素吸收效率和氮素生产效率。(4)追氮可提高籽粒醇溶蛋白、谷蛋白、总蛋白质和湿面筋含量, 提高面筋指数和淀粉含量, 改善谷醇比和直/支比, 进而改善籽粒品质。相关分析亦表明, 提高干物质花后积累量与花前氮素转运量可以改善小麦品质。(5)拔节期和孕穗期 2 次施氮效果不如拔节期 1 次追施。综合分析得出, 在本试验条件下, 施氮量 150 kg/hm² 时, 基肥、拔节肥、孕穗肥比例为 6:4:0 能较好的协调产量品质之间的关系。

关键词: 氮肥后移; 氮素转运; 干物质积累; 产量; 品质

中图分类号: S512.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)03-0289-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.03.043

Effects of Postponing Nitrogen Application on Accumulation and Transport of Nitrogen and Yield and Quality of Grain in Strong-gluten Wheat

DAI Xinjun, XIA Qing, YANG Zhenping, GAO Zhiqiang

(College of Agriculture, Shanxi Agriculture University, Taigu, Shanxi 030801)

Abstract: In order to explore the reasonable ratio of topdressing gluten wheat with nitrogen fertilizer, the effect of basal nitrogen application rate, dressing rate at jointing stage and booting stage (10:0:0, 7:3:0, 7:2:1, 6:4:0, 6:2:2, 5:5:0 and 5:3:2) on the N accumulate and transfer and grain yield and quality of CA0547 (strong gluten wheat) were studied in the irrigated wheat field in central of Shanxi Province. The results showed: (1) Appropriate dressing N had a significant regulatory effect on accumulation and translocation of N and dry matter, yield and quality of CA0547. (2) Dressing nitrogen could significantly increase nitrogen content after jointing stage, N transfer amount pre-anthesis and N accumulation amount post-anthesis, promote accumulation of N in grain, increase dry matter transport pre-anthesis and dry matter accumulation post-anthesis, which provided a material basis for the increase of yield. (3) About 68.38%~75.18% of N in the grains came from nitrogen translocation pre-anthesis, and 55.12%~70.04% of yield came from dry matter accumulation post-anthesis. Dressing nitrogen increased yield by increasing the number of ears and per spike, and increased N absorption and production efficiency. (4) Dressing nitrogen could improve the contents of gliadin, gluten, protein and wet-gluten, improve the gluten index and starch content, improve glutenin/gliadin ratio and straight/branch ratio, and improve grain quality. Correlation analysis also showed that increase dry matter accumulation post-anthesis and pre-anthesis nitrogen translocation amount of vegetative organs could improve quality. (5) The effect of N application at jointing and booting stage was inferior to N application at jointing stage. Comprehensive analysis showed that N amount

收稿日期: 2017-12-18

资助项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAD23B04-2); 国家公益性行业(农业)科研专项(201503120); 山西省回国留学人员重点科研资助项目(2015-重点4); 山西省科技创新团队项目(201605D131041)

第一作者: 代新俊(1993-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事旱作栽培与作物生理研究。E-mail: 18735423170@163.com

通信作者: 高志强(1964-), 男, 博士, 教授, 主要从事旱作栽培与作物生理研究。E-mail: gaozhiqiang1964@126.com

of 150 kg/hm², at nitrogen ratio of 6 : 4 : 0 (base fertilizer : jointing fertilizer : boosting fertilizer) could better coordinate the relationship between yield and quality.

Keywords: postponing nitrogen application; nitrogen transport; dry matter accumulation; yield; quality

小麦的集约化生产需要投入大量氮肥,随着农业生产的持续发展和人们对产量水平要求的不断提高,小麦的施氮量仍然在逐年增大^[1-2]。然而,运用传统施肥方式施入农田的氮肥有很大一部分流失到了生态环境中,仅有小部分氮肥被小麦吸收利用,传统施肥方式不仅使小麦的氮肥利用率较低,也造成了严重的氮素污染,制约着生态农业的发展^[3]。因此,通过改进施氮方式来提高小麦氮肥利用效率成为农业关注的焦点^[4-5]。已有研究^[6-7]表明,小麦籽粒的氮素大部分由植株开花前储存在营养器官中的氮素转化而来,小部分是植株开花后吸收的,增加小麦花前氮素积累量可以提高籽粒氮素。王晨阳等^[8]研究表明,高肥力麦田追氮过早不利于小麦群体控制,实施“氮肥后移”能够有效控制群体发展,施氮总量相同时,施氮时期不同也会影响籽粒对氮素的利用效率。氮素除了能够提高小麦产量,对小麦籽粒的品质也具有明显的调节作用^[9]。小麦籽粒品质包括营养品质和加工品质,营养品质主要指蛋白质含量,加工品质包括湿面筋含量和面筋指数等。氮素不仅与籽粒蛋白质含量有关,与各组分蛋白质含量和比例也有密切的关系^[10]。

目前,很多地区针对不同施氮量、施氮时期及施氮比例对小麦产量和品质的影响进行了许多单因子研究,在确定了当地适宜的小麦施氮总量后,氮素利用率仍较低,氮素损失仍然较为严重,减轻氮素污染依旧是农业面源污染急需解决的问题。因此,在施氮总量相同时,改变追氮次数和追氮比例对氮素损失严重的地区提高小麦氮素利用率和增产提质很有意义。本研究利用优质强筋小麦品种 CA0547,在总施氮量为 150 kg/hm² 的情况下,对追氮次数(包括拔节期 1 次追氮和拔节期与孕穗期 2 次追氮)、追氮比例与小麦植株氮素干物质积累转运及产量品质的关系进行探讨,以期对山西中部冬小麦优质高产高效栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2016 年 9 月至 2017 年 6 月在山西省晋中市太谷县山西农业大学农学院实验农场进行。试验田土壤肥力中等,土质中壤土,其 0—40 cm 耕层土壤养分含量为:有机质 12.6~13.9 g/kg,全氮 1.80~1.98 g/kg,全磷 770~320 mg/kg,速效氮 53.6 mg/kg,速效磷 9.63 mg/kg,速效钾 135 mg/kg。

1.2 试验设计

供试小麦品种为 CA0547。按照常规,播前旋耕施 NPK 配合肥,氮肥为硫酸铵(硫酸铵 N \geq 20.5%),将氮

肥(硫酸铵 N \geq 20.5%)均匀撒入小区,同时每个小区施用纯磷肥(过磷酸钙,16% P₂O₅)105 kg/hm²、纯钾肥(氯化钾,52% K₂O)75 kg/hm²。氮肥施用包括基肥和追肥 2 种方式,追肥又分为拔节期 1 次追肥和拔节期与孕穗期 2 次追肥。磷钾肥全部底施。共设 7 个处理(表 1)。每个处理播种面积 30 m²,密度 225 万株/hm²,行距 20 cm,重复 3 次。共计 21 个小区。于小麦越冬期(2016 年 12 月 20 日)和拔节期(2017 年 4 月 13 日)灌溉,每次灌溉水量均为 50 mm,常规管理。

表 1 试验设计 单位:kg/hm²

施肥比例	基施	拔节期	孕穗期	总施氮量
10 : 0 : 0	150	0	0	150
7 : 3 : 0	105	45	0	150
7 : 2 : 1	105	30	15	150
6 : 4 : 0	90	60	0	150
6 : 2 : 2	90	30	30	150
5 : 5 : 0	75	75	0	150
5 : 3 : 2	75	45	30	150

注:施肥比例为氮肥基施、拔节期追施和孕穗期追施的比例。下同。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 植株干物质质量及含氮率的测定 于小麦越冬期(2016 年 12 月 18 日)、返青期(2017 年 3 月 20 日)、拔节期(2017 年 4 月 11 日)、孕穗期(2017 年 4 月 28 日)、开花期(2017 年 5 月 8 日)和成熟期(2017 年 6 月 19 日)分别取样 20 株,样品经 105 ℃杀青 0.5 h,80 ℃下烘至恒重,称干重。然后粉碎,采用 H₂SO₄—H₂O₂—靛酚蓝比色法测定含氮率。

氮素积累量(kg/hm²) = 干物质质量(kg/hm²) × 含氮率(%)

花前氮素转运量(kg/hm²) = 开花期植株氮素积累量(kg/hm²) - 成熟期营养器官氮素积累量(kg/hm²)

花后氮素积累量(kg/hm²) = 成熟期植株氮素积累量(kg/hm²) - 开花期植株氮素积累量(kg/hm²)

花前氮素转运率(%) = 花前氮素转运量/开花期氮素积累量(kg/hm²) × 100%

花前氮素转运对籽粒氮素贡献率(%) = 花前氮素转运量/籽粒氮素积累量(kg/hm²) × 100%

花后氮素积累对籽粒氮素贡献率(%) = 花后氮素积累量/籽粒氮素积累量(kg/hm²) × 100%

花前干物质转运量(kg/hm²) = 开花期植株干物质积累量(kg/hm²) - 成熟期营养器官干物质积累量(kg/hm²)

花后干物质积累量(kg/hm²) = 成熟期植株干物质积累量(kg/hm²) - 开花期植株干物质积累量(kg/hm²)

干物质转运率(%) = 花前干物质转运量/开花期植株干物质积累量(kg/hm²) × 100%

花前转运(花后积累)干物质对籽粒贡献率(%) = 花前干物质转运量(花后干物质积累量, kg/hm²)/籽粒产量(kg/hm²) × 100%

氮素吸收效率(NUPE, kg/kg) = 植株氮素积累量(kg/hm²)/施氮量(kg/hm²)

氮素生产效率(NPE, kg/kg) = 籽粒产量(kg/hm²)/施氮量(kg/hm²)

1.3.2 产量的测定 于小麦成熟期,每个小区选取固定样段 3 个,每个样段 16 m²,调查总穗数(穗)、穗粒数(粒)、千粒重(g)、生物产量和经济产量。

1.3.3 品质指标的测定 蛋白质测定采用连续提取法进行;用双波长法测定淀粉及直、支链淀粉^[11];可溶性糖和蔗糖用蒽酮比色法测定;将籽粒晒干,采用瑞典 Perten 公司生产的 DA7200 型品质分析仪测定湿面筋含量和面筋指数。

1.4 数据处理

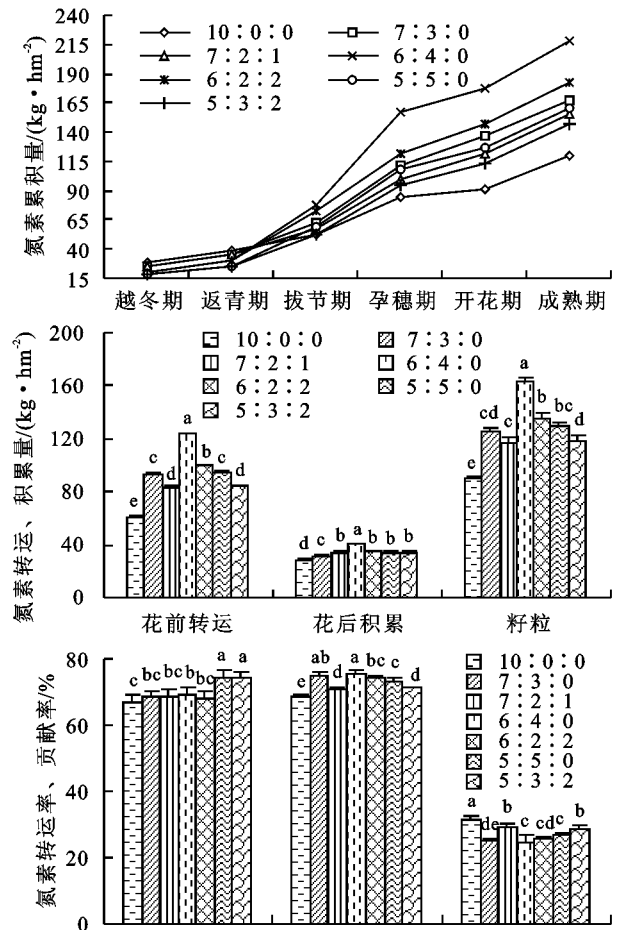
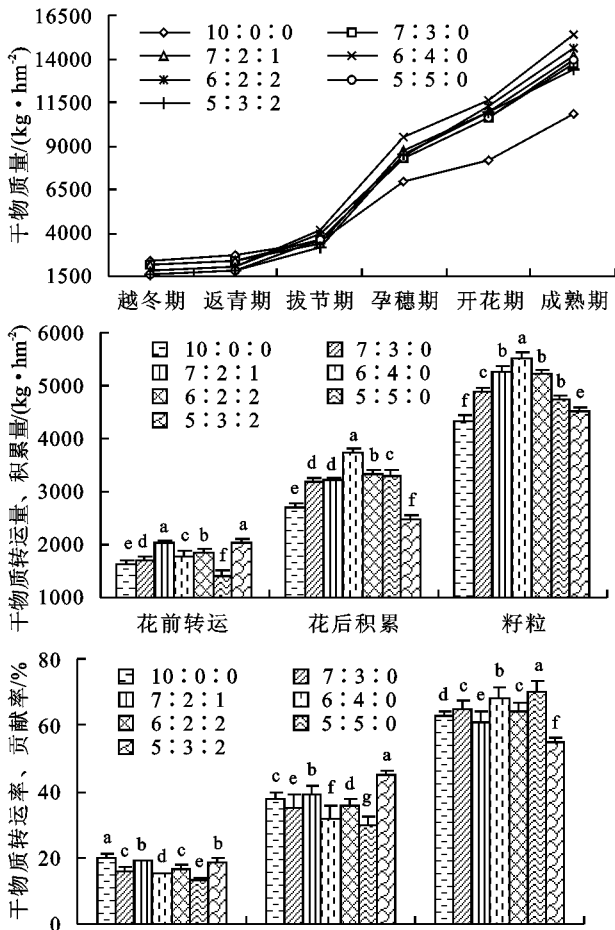
采用 Excel 2010 和 STATA 12.0 软件对数据进

行处理和分析,并用 LSD 法进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 氮肥后移对冬小麦植株氮素积累特性的影响

由图 1 可知,植株干物质随着生育时期明显增加,拔节到孕穗期增加的幅度最大,在成熟期达到最大值。追肥处理在拔节后的各时期干物质质量显著增加,以 6:4:0 处理增幅最为明显。籽粒产量中约有 55.12%~70.04%是来自花后干物质积累。1 次追肥时,随着追肥用量的增加,花前干物质转运量、花后干物质积累量和籽粒产量呈现先增后减的趋势。2 次追肥与 1 次追肥相比,花前干物质转运量明显增加。1 次追肥时,随着基肥用量降低,花前干物质转运率和花前干物质贡献率显著减少,花后积累干物质贡献率显著增加。分 2 次追肥时,与 1 次追肥相比,花前干物质转运率、转花前转运干物质贡献率均明显增加,花后干物质积累量对籽粒的贡献率显著降低(P<0.05)。



注:同一指标下的不同字母表示不同处理差异显著(P<0.05)。

图 1 氮肥后移对小麦干物质和氮素积累转运的影响

由图 1 可知,随生育进程推移,各处理冬小麦植株氮素积累量呈明显增加的趋势,增加幅度最大的时期是拔节到孕穗期,所有含追肥处理均提高了这种增加幅度,其中以 6:4:0 处理的增加幅度最大(72.58%)。拔节期前以单一基肥处理(10:0:0)的植株含氮量最高,

随基肥用量降低,植株含氮量呈明显降低的趋势。拔节期后到成熟期,随追肥用量增加,植株含氮量呈先升高后降低的趋势,且 1 次追施拔节肥明显优于分 2 次追施。籽粒氮素中约有 68.38%~75.18%是来自花前氮素转运,随着追肥用量的增加,花前氮素转运

量和花后氮素积累量呈先升高后降低的趋势,6:4:0 处理的氮素转运量和积累量显著高于其他处理。1 次追肥花前氮素转运量明显优于分 2 次追肥($P<0.05$)。花前氮素转运率随追肥用量增加而增大,花前转运氮素贡献率随追肥用量先增后减,单一基肥处理(10:0:0)花后积累氮素对籽粒氮素贡献率最大,这是由于其籽粒氮素含量最少导致的。

可见,拔节期是干物质和氮素积累的关键期,与“一炮轰”的传统施肥方式相比,适当重施拔节肥提高了花前干物质转运量和花后干物质积累量,进而提高籽粒产量。同时,重施拔节肥能明显提高拔节期后植株氮素积累量,提高花前氮素转运量和花后氮素积累量,促进氮素向籽粒的转运。可见,按 6:4:0 方式施肥时,籽粒产量和籽粒氮素积累量同时达到最高。

表 2 氮肥后移对小麦产量构成因素及氮效率的影响

施肥处理	穗数/ ($\times 10^4$ 穗 \cdot hm^{-2})	穗粒数/粒	千粒重/ g	氮素吸收效率/ ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	氮素生产效率/ ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
10:0:0	296.50 \pm 5.71c	38.50 \pm 1.63c	39.85 \pm 0.11bc	0.80 \pm 0.03e	28.95 \pm 0.52f
7:3:0	317.75 \pm 5.72b	42.00 \pm 1.71b	38.47 \pm 0.24bc	1.12 \pm 0.01c	32.66 \pm 0.36c
7:2:1	317.75 \pm 5.41b	42.50 \pm 2.52b	40.88 \pm 0.09ab	1.03 \pm 0.05cd	35.13 \pm 0.49b
6:4:0	327.75 \pm 7.06a	45.50 \pm 1.42a	38.68 \pm 0.14bc	1.46 \pm 0.02a	36.70 \pm 0.40a
6:2:2	325.75 \pm 6.68a	41.50 \pm 1.56b	40.39 \pm 0.18ab	1.22 \pm 0.01b	34.75 \pm 0.33b
5:5:0	315.50 \pm 5.83b	42.50 \pm 1.62b	36.91 \pm 0.10c	1.08 \pm 0.01c	31.50 \pm 0.45d
5:3:2	290.75 \pm 6.46c	37.50 \pm 1.38c	43.53 \pm 0.14a	0.98 \pm 0.02d	30.13 \pm 0.50e
平均值	313.11	41.43	39.81	1.10	32.83
CV/%	4.51	6.48	5.31	17.27	7.98

注:同一列不同字母表示不同处理差异显著($P<0.05$)。下同。

2.3 氮肥后移对冬小麦营养品质的影响

2.3.1 氮肥后移对冬小麦蛋白质和面筋的影响 由表 3 可知,拔节期 1 次追肥时,6:4:0 处理的蛋白质含量和湿面筋含量达到强筋小麦标准(GB/T 17892—1999),随着追肥用量增加,醇溶蛋白、谷蛋白、总蛋白、蛋白质产量、湿面筋含量和面筋指数呈先升高后降低的趋势($P<0.05$),较单一基肥处理(10:0:0)分别增加了 18.4%,26.4%,14.6%,45.5%,13.8%,10.0%。2

2.2 氮肥后移对冬小麦产量构成因素及氮效率的影响

由表 2 可知,拔节期 1 次追肥时,显著增加了穗数和穗粒数;随追肥用量增加,穗数和穗粒数呈先升高后降低的趋势,6:4:0 处理产量显著高于其他追肥处理($P<0.05$)。追肥处理的氮肥吸收效率和氮素生产效率明显高于以单一基肥处理(10:0:0)。分 2 次追肥时,与 1 次追肥相比,千粒重均有所增加,产量在 7:2:1 处理与 1 次追肥 7:3:0 处理虽有增加,却仍然明显低于 6:4:0 处理($P<0.05$)。经计算比较,氮肥吸收效率变异最大(17.27%),产量构成因素变异较大的是穗粒数(6.48%),其次是千粒重(5.31%)和穗数(4.51%)。可见,拔节期追肥能通过显著增加穗数和穗粒数来提高小麦产量,提高氮肥吸收效率,适当重施拔节肥(6:4:0)能明显提高籽粒产量和氮素吸收效率。

表 3 氮肥后移对冬小麦蛋白质和面筋的影响

施肥处理	清蛋白/ %	球蛋白/ %	醇溶 蛋白/%	谷蛋白/ %	谷醇比	蛋白质 含量/%	蛋白质产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	湿面筋 含量/%	面筋 指数
10:0:0	2.42 \pm 0.06a	1.93 \pm 0.05a	4.13 \pm 0.04e	4.39 \pm 0.04f	1.06 \pm 0.01cd	12.86 \pm 0.19e	558.50 \pm 17.92f	33.23 \pm 0.46e	75.47 \pm 0.52e
7:3:0	2.39 \pm 0.13a	1.91 \pm 0.11a	4.62 \pm 0.01c	5.08 \pm 0.02e	1.10 \pm 0.03b	13.99 \pm 0.21d	685.49 \pm 20.86c	35.56 \pm 0.15c	79.12 \pm 0.31c
7:2:1	2.40 \pm 0.03a	1.92 \pm 0.02a	4.34 \pm 0.05d	4.60 \pm 0.07e	1.06 \pm 0.03d	13.25 \pm 0.13c	698.46 \pm 14.20c	32.17 \pm 0.51f	76.73 \pm 0.38d
6:4:0	2.40 \pm 0.04a	1.92 \pm 0.03a	4.89 \pm 0.02a	5.55 \pm 0.12a	1.13 \pm 0.01a	14.75 \pm 0.17a	812.29 \pm 18.52a	37.82 \pm 0.81a	83.03 \pm 0.76a
6:2:2	2.42 \pm 0.01a	1.94 \pm 0.02a	4.78 \pm 0.06b	5.22 \pm 0.03b	1.09 \pm 0.01bc	14.36 \pm 0.11b	748.28 \pm 16.87b	36.57 \pm 0.21b	81.13 \pm 0.42b
5:5:0	2.41 \pm 0.01a	1.92 \pm 0.01a	4.55 \pm 0.01c	5.04 \pm 0.03c	1.11 \pm 0.02ab	13.91 \pm 0.14c	657.29 \pm 19.85d	35.25 \pm 0.23cd	78.50 \pm 0.46c
5:3:2	2.36 \pm 0.15a	2.03 \pm 0.06a	4.39 \pm 0.01d	4.89 \pm 0.01d	1.12 \pm 0.01ab	13.67 \pm 0.08c	617.97 \pm 23.63e	34.26 \pm 0.17d	77.02 \pm 0.57d
平均值	2.40	1.94	4.53	4.97	1.10	13.83	682.61	34.98	78.71
CV/%	0.87	2.14	5.82	7.78	2.52	4.63	12.20	5.53	3.36

2.3.2 氮肥后移对冬小麦淀粉和可溶性糖的影响 由表 4 可知出,拔节期 1 次追肥时,小麦总淀粉、直链淀粉、支链淀粉、可溶性糖和蔗糖含量呈现呈先升高后降低的趋势($P<0.05$);6:4:0 处理总淀粉、直链淀粉、支

次追肥时,醇溶蛋白、谷蛋白、湿面筋含量和面筋指数都小于 1 次追肥。经计算比较,处理间变异较大的是蛋白质产量(12.20%),其次是谷蛋白(7.78%),清蛋白几乎不受追肥影响(0.87%),其余指标变异系数为 2.14%~5.82%。可见,氮肥后移能调节蛋白质组分和面筋质量,6:4:0 处理能够明显提高蛋白质含量、湿面筋含量和面筋指数,提高面筋数量和质量,改善籽粒品质。

链淀粉较单一基肥处理(10:0:0)分别提高了 9.8%,20.78%,5.5%;2 次追肥时,总淀粉、直链淀粉、支链淀粉含量均小于 1 次追肥,可溶性糖和蔗糖含量则出现了差异。经计算比较,蔗糖受追肥变异较大(15.72%),其次

是直链淀粉(7.48%)和可溶性糖(6.41%),支链淀粉变异最小(1.80%)。可见,氮素是影响淀粉品质的活跃因

素,6:4:0施肥方式能明显提高淀粉各组分含量,提高直/支比,进而影响面粉糊化特性,改善小麦籽粒品质。

表4 氮肥后移冬小麦淀粉和可溶性糖的影响

施肥处理	总淀粉/%	直链淀粉/%	支链淀粉/%	直/支比	可溶性糖/%	蔗糖/%
10:0:0	61.40±0.17f	17.42±0.26d	43.98±0.12d	0.40±0.01d	59.49±0.49d	15.95±0.11d
7:3:0	65.24±0.16d	19.57±0.30b	45.67±0.11b	0.43±0.02b	63.47±0.37c	20.86±0.17b
7:2:1	63.14±0.07e	18.46±0.36c	44.68±0.22c	0.41±0.02c	66.57±0.46b	21.96±0.10b
6:4:0	67.47±0.12a	21.04±0.21a	46.43±0.32a	0.45±0.03a	65.53±0.64b	21.21±0.22b
6:2:2	66.07±0.06c	20.55±0.25a	45.52±0.28b	0.45±0.01a	68.84±0.35a	23.41±0.08a
5:5:0	66.59±0.14b	21.03±0.29a	45.57±0.15b	0.46±0.01a	62.59±0.33c	17.84±0.17c
5:3:2	62.99±0.12e	18.27±0.18c	44.72±0.20c	0.41±0.02cd	57.16±0.47e	15.60±0.16d
平均值	64.70	19.48	45.22	0.43	63.38	19.55
CV%	3.44	7.48	1.80	5.54	6.41	15.72

2.4 产量品质性状与氮素、干物质转运特性的关系

对冬小麦产量品质性状与氮素、干物质转运特性的相关分析表明(表5),在产量及其构成因素上:干物质花前转运量与千粒重呈显著正相关($P<0.05$),干物质花后积累量与穗数、穗粒数呈极显著正相关($P<0.01$),进一步影响了产量,与产量显著正相关。花前氮素转运量与穗数、穗粒数、产量呈显著正相关,花后氮素积累量与产量显著正相关。在品质性状方面:干物质花后积累量与球蛋白呈负相关,与蛋白质产量呈极显著正相关。花前氮素转运量与醇溶蛋白、谷蛋白、蛋白质含量、蛋白质产量、面筋指数、总淀粉、支链淀粉均呈极显著正相关,相关系数分别是0.959,0.968,0.963,0.922,0.950,0.924,0.966,与产量、湿面筋含量、直链淀粉和直/支比均呈显著正相关。花后氮素积累量与醇溶蛋白、谷蛋白、蛋白质含量、蛋白质产量、面筋指数、支链淀粉呈显著正相关。表明提高干物质花后积累量与花前氮素转运量更能提高小麦产量及改善小麦的营养品质。

表5 产量品质性状与氮素、干物质转运特性的相关系数

指标	干物质		氮素	
	花前转运量	花后积累量	花前转运量	花后积累量
穗数	-0.110	0.960**	0.760*	0.614
穗粒数	-0.200	0.975**	0.798*	0.713
千粒重	0.848*	-0.655	-0.339	-0.094
产量	0.299	0.856*	0.785*	0.792*
醇溶蛋白	-0.066	0.792*	0.959**	0.784*
谷蛋白	-0.102	0.711	0.968**	0.811*
蛋白质含量	-0.069	0.721	0.963**	0.807*
蛋白质产量	0.174	0.880**	0.922**	0.867*
湿面筋含量	-0.280	0.642	0.861*	0.649
面筋指数	-0.058	0.846*	0.950**	0.827*
总淀粉	-0.332	0.842**	0.924**	0.748
直链淀粉	-0.390	0.825*	0.872*	0.708
支链淀粉	-0.213	0.826*	0.966**	0.779*
直/支比	-0.478	0.762*	0.791*	0.614
可溶性糖	0.114	0.809*	0.540	0.464
蔗糖	0.256	0.760*	0.574	0.466

注:*和**表示5%和1%显著水平。

3 讨论

3.1 氮肥运筹对冬小麦氮素和干物质积累转运的影响

已有研究^[12]表明,增施氮肥提高了小麦植株吸氮强度,吸氮量增加,是提高产量和蛋白质含量的基础。也有研究^[13]表明,在施氮量180 kg/hm²时籽粒氮素积累量达到最高,继续增加氮肥用量时籽粒氮素积累量降低。施氮量相同时,分次施用氮肥可以提高小麦植株氮素积累量和氮素吸收效率^[14]。赵士诚等^[15]研究表明,增加氮肥基追比会导致小麦旺长且影响后期生长,氮肥基追比3:7能提高氮肥利用效率。本研究表明,在施氮总量相同时,增加拔节期追氮比例,有利于增加植株开花期、成熟期含氮量、花前氮素转运量、花后氮素积累量,促进花前氮素向籽粒的转运,提高了氮肥的吸收与利用。随着追肥时期后移。花后积累氮素对籽粒氮素的贡献率增加,这可能是因为拔节期小麦生长的关键阶段,于拔节期之后追肥能与小麦的生育阶段相吻合,这与马冬云等^[16]研究结果基本一致。本研究结果还表明,分2次追肥的效果不及拔节期1次追肥。

干物质积累是产量形成的前提,养分吸收是干物质形成的基础,氮素供应与干物质质量直接相关^[17]。追氮时期不同,施氮对干物质积累的调控效应也不同^[18]。本研究表明,在施氮总量为150 kg/hm²下,与传统“一炮轰”施肥方式相比,重施拔节期能够增加花前干物质转运量和花后干物质积累量,为高产提供了物质基础,在增产稳产的同时,增强了小麦对氮素的吸收利用,减少了氮素对农田的污染。

3.2 氮肥运筹对冬小麦产量及氮效率的影响

氮肥运筹对产量调节效应的研究很多,但是结果不太一致。卜冬宁等^[19]研究表明,追氮比例对小麦产量及其构成因素影响不显著。姜丽娜等^[20]研究表明,在豫中麦田全生育期施纯氮270 kg/hm²,在拔节期基追比例3:7追氮,可以提高穗粒数和千粒重。本研究表明,在山西晋中麦区,拔节期1次追氮通过显著增加穗数和穗粒数来提高小麦产量,提高了氮肥吸收效率,降低了氮肥在土壤中的蓄积。这与王月福

等^[21] 研究结果基本一致。同时,将拔节期追氮量分为拔节期和孕穗期两次追肥,其效果不如拔节期 1 次追肥,这是因为拔节期是小麦由营养生长向生殖生长转换的关键时期,需水需肥最多,无效分蘖逐渐消失,有效分蘖向着成穗的方向生长。将一部分氮素后移到孕穗期,无法满足小麦拔节期的氮素需求,造成无效分蘖增多,小麦群体通风透光差,光合作用降低,影响了干物质的生成和花前干物质向籽粒中的转运,与拔节期 1 次追肥相比产量有下降趋势。

3.3 氮肥运筹对冬小麦品质的影响

贺明荣等^[22] 研究表明,小麦拔节期 1 次全量追肥,对蛋白质品质改善效应更为显著。本研究表明,追氮对提高蛋白质含量和面筋含量具有明显的效果,拔节期 1 次追氮比拔节期和孕穗期 2 次追氮对醇溶蛋白、谷蛋白、蛋白质含量、湿面筋含量、面筋指数、淀粉的调节作用更为显著,从而改善了籽粒品质。相关分析还表明,提高干物质花后积累量与花前氮素转运量更能改善小麦品质。可见,通过改变追氮比例和追氮时期,能够调控冬小麦的蛋白质含量和湿面筋含量,对山西中部麦区改进施肥方式有一定的指导意义。

4 结论

拔节期追氮对强筋小麦 CA0547 的产量和品质有显著的调节作用,既可满足小麦拔节期需肥,促进植株氮素和干物质的累积,增加花前氮素和干物质向籽粒中的转运,进而通过显著增加穗数和穗粒数提高产量,提高氮素吸收效率和氮素生产效率,又可增加蛋白质含量和淀粉含量,改变谷醇比和直/支比,从而调节小麦品质。拔节期 1 次重追氮肥效果比拔节期和孕穗期分 2 次追氮肥的效果好。综合分析得出,在本试验条件下,施氮量为 150 kg/hm² 时,基肥:拔节肥:孕穗肥比例为 6:4:0 能较好的协调产量品质之间的关系。

参考文献:

[1] 霍中洋,葛鑫,张洪程,等. 施氮方式对不同专用小麦氮素吸收及氮肥利用率的影响[J]. 作物学报, 2004, 30(5):449-454.

[2] Pask A J D, Sylvester-Bradley R, Jamieson P D, et al. Quantifying how winter wheat crops accumulate and use nitrogen reserves during growth [J]. *Field Crops Research*, 2012, 126: 104-118.

[3] Sylvester-Bradley R, Kindred D R. Analysing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2009, 60(7): 1939-1951.

[4] 陈新平,周金池. 冬小麦、夏玉米不同品种(系)之间的氮营养效率的差异[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(1):80-83.

[5] Foulkes M J, Hawkesford M J, Barraclough P B, et al.

Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: Recent advances and future prospects [J]. *Field Crops Research*, 2009, 114: 329-342.

[6] 岳寿松,于振文. 不同生育时期施氮对冬小麦氮素分配及叶片代谢的影响[J]. 作物学报, 1998, 24(6):811-815.

[7] 尚兴甲,王梅芳,付宝余. 运用同位素¹⁵N 研究冬小麦不同时期追施尿素的效果及氮肥的利用率[J]. 中国土壤与肥料, 2001(6):9-11.

[8] 王晨阳,朱云集. 氮肥后移对超高产小麦产量及生理特性的影响[J]. 作物学报, 1998, 24(6):978-983.

[9] 孙辉,姚大年,李宝云,等. 普通小麦谷蛋白大聚合体的含量与烘焙品质相关关系[J]. 中国粮油学报, 1998(6): 13-16.

[10] 王月福,于振文. 施氮量对小麦籽粒蛋白质组分含量及加工品质的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(9):1071-1078.

[11] 刘襄河,郑丽璇,郑丽勉,等. 双波长法测定常用淀粉原料中直链淀粉、支链淀粉及总淀粉含量[J]. 广东农业科学, 2013, 40(18):97-100.

[12] 王月福,于振文,李尚霞,等. 土壤肥力和施氮量对小麦氮素吸收运转及籽粒产量和蛋白质含量的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11):1868-1872.

[13] 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):143-149.

[14] Demotes-Mainard S, Jeuffroy M H. Effects of nitrogen and radiation on dry matter and nitrogen accumulation in the spike of winter wheat [J]. *Field Crops Research*, 2004, 87: 221-233.

[15] 赵士诚,魏美艳,仇少君,等. 氮肥管理对秸秆还田下土壤氮素供应和冬小麦生长的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(2):20-25.

[16] 马冬云,郭天财,岳艳军,等. 不同时期追氮对冬小麦植株氮素积累及转运特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2):262-268.

[17] 胡梦芸,张正斌,徐萍,等. 亏缺灌溉下小麦水分利用效率与光合产物积累运转的相关研究[J]. 作物学报, 2007, 33(11):1711-1719.

[18] 吴光磊,郭立月,崔正勇,等. 氮肥运筹对晚播冬小麦氮素和干物质积累与转运的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(16):5128-5137.

[19] 卜冬宁,李瑞奇,张晓,等. 氮肥基追比和追氮时期对超高产冬小麦生育及产量形成的影响[J]. 河北农业大学学报, 2012, 35(4):6-12.

[20] 姜丽娜,郑冬云,王言景,等. 氮肥施用时期及基追比对豫中地区小麦叶片生理及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(1):149-153.

[21] 王月福,于振文,李尚霞,等. 氮素营养水平对小麦开花后碳素同化、运转和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2002, 22(2):55-59.

[22] 贺明荣,杨雯玉,王晓英,等. 不同氮肥运筹模式对冬小麦籽粒产量品质和氮肥利用率的影响[J]. 作物学报, 2005, 31(8):1047-1051.