

施氮处理对不同筋型小麦产量和品质的影响

郭丹丹^{1,2} 刘哲文^{1,2} 常旭虹¹ 王德梅¹ 陶志强¹
王艳杰¹ 杨玉双¹ 赵广才¹ 石书兵²

(¹中国农业科学院作物科学研究所/农业农村部作物生理生态重点实验室, 100081, 北京; ²新疆农业大学农学院, 830052, 新疆乌鲁木齐)

摘要 为探究施氮处理对不同筋型小麦的植株性状、籽粒产量和品质的影响, 采用盆栽试验, 选用强筋小麦品种中麦 578 (A1) 和中麦 5051 (A2)、弱筋小麦品种扬麦 15 (A3) 和扬麦 24 (A4) 为供试品种, 在施氮量相同的条件下进行底施 (B1) 和追施 (B2) 处理。结果表明: 在其他栽培措施相同条件下, 强筋小麦穗长、总小穗数、千粒重和籽粒产量均优于弱筋小麦, 其中 A1 籽粒产量分别比 A2、A3 和 A4 高 0.44%、49.81% 和 15.27%; 施氮处理中 B2 的株高、穗长、穗粒数、总小穗数和籽粒产量均高于 B1; 不同处理组合中, 强筋小麦品种 A1B2 的植株和产量性状优于其他处理; 强筋小麦品种的籽粒蛋白质含量和蛋白质产量均高于弱筋小麦品种, 且具有极显著差异 ($P < 0.01$)。本试验中强筋小麦品种中麦 5051 在氮肥追施处理中可以兼顾籽粒产量、蛋白质含量和蛋白质产量。

关键词 小麦; 氮肥; 品种; 产量; 品质

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



随着经济快速发展和生活质量的提高, 人们对小麦的营养和品质有了更高的需求。小麦是主要粮食作物, 在全国各地均有种植。合理的化肥施用不仅可以促进作物增产, 还可以保障我国粮食生产安全。施用氮肥通常有播前底施和生长期追施两种方式。赵广才等^[1]、常旭虹等^[2]和王德梅等^[3]研究表明, 小麦的营养品质不仅受基因控制, 还受生态环境的影响。王月福等^[4]研究认为, 在肥力较高的土壤中, 氮肥追施的利用率大于基施。很多研究^[5-7]表明, 增施氮肥或其他肥料均对小麦产量和品质有显著影响; 杨帆等^[8]研究认为, 基施“一炮轰”现象比例逐年上升, 严重影响小麦的优质高产。贺明荣等^[9]研究表明, 相同施氮量下, 拔节期一次全量追施处理的籽粒蛋白质品质优于分次 (50% 底肥, 50% 追肥) 施用的处理; 石玉等^[10]研究认为, 小麦植株对氮素的吸收、同化和转运直接影响籽粒的产量和蛋白质含量; 赵广才等^[11]研究认为, 籽粒蛋白质含量随追施氮肥比例的增加而增加; 张定一

等^[12]研究表明, 施氮可以使成穗数、穗粒数和结实小穗数增加, 千粒重降低, 产量提高, 其中以成穗数对产量的贡献最大。

由于历史原因, 我国强筋小麦和弱筋小麦发展较慢, 市场缺口较大。关于施氮处理对不同筋型小麦的产量性状和品质的影响已有报道, 但结果不尽相同。本试验选用 2 个强筋小麦品种和 2 个弱筋小麦品种为材料, 研究不同施氮处理对不同品质类型小麦产量及品质的影响, 为不同品质类型小麦优质高产栽培的氮肥运筹技术提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2019–2020 年度在中国农业科学院作物科学研究所温室内 (北京) 进行。试验土壤为潮土 (由中国农业科学院提供), 土壤养分含量: 有机质 8.719g/kg、全氮 0.969g/kg、碱解氮 121.56mg/kg、速效磷 10.46mg/kg、速效钾 151g/kg, pH 值为 7.8。

作者简介: 郭丹丹, 研究方向为小麦优质高产栽培, E-mail: 2529986483@qq.com; 刘哲文为共同第一作者, 研究方向为小麦优质高产栽培, E-mail: liuzhewen333@163.com

赵广才为通信作者, 研究方向为小麦优质高产栽培理论与技术, E-mail: zhaoguangcai@caas.cn; 石书兵为共同通信作者, 研究方向为小麦优质高产栽培, E-mail: shubshi@sina.com

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0300407); 小麦产业技术体系 (CARS-03)

收稿日期: 2020-08-06; 修回日期: 2020-11-05; 网络出版日期: 2020-11-16

供试品种为中麦 578、中麦 5051、扬麦 15 和扬麦 24。

1.2 试验设计

试验采用二因素裂区设计，主区为供试品种（A 因素），其中强筋品种为中麦 578（A1）和中麦 5051（A2），弱筋品种为扬麦 15（A3）和扬麦 24（A4）。副区为施氮处理（B 因素），分别为底施（B1）和追施（B2）。于 2019 年 10 月 24 日在温室大棚中将潮土搅拌均匀后装盆播种，土壤净重 3kg/盆。盆内直径 22cm，高 18cm，每盆种 15 株，留苗 8 株，共 8 个处理，3 次重复，共 24 盆。各处理施氮量相同，底肥在播种时施入，追肥在小麦拔节期施入，每盆均为 1g 氮素（使用肥料为含氮 46% 的尿素）。成熟收获后取样待测，生育期间及时观察土壤墒情，补水充足。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 植株性状及产量 在收获期，每盆收取 8 株完整小麦植株进行室内考种，测定株高、穗长、穗粒数、总小穗数、千粒重和籽粒产量。

1.3.2 蛋白质含量和产量 首先利用电子天平称取 0.1g 籽粒粉于消化管中（放入时将消化管倾斜 45°，避免籽粒粉因黏着在消化管壁上导致消煮不充分，

数据不准确），随后加入催化剂 2.0g、浓硫酸 6mL。利用消煮炉（丹麦 FOSS 公司）在 420℃下消煮 1h，待其冷却 1h 后，利用 FOSS 公司 Kjeltec 2003 全自动凯氏定氮仪测定含氮量。籽粒的蛋白质含量 = 籽粒全氮含量×5.7。蛋白质产量（g/盆）= 蛋白质含量（%）× 籽粒产量。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 进行数据处理和制图；采用 DPS 16.50 统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种间植株性状和籽粒产量的差异

由表 1 可知，不同品种小麦的生育期、株高、小穗数、穗粒数和千粒重不尽相同。2 个强筋品种间相比，A1 与 A2 的株高、穗长、总小穗数具有极显著差异，但穗粒数、千粒重和籽粒产量差异不显著；2 个弱筋品种相比，A4 的籽粒产量、株高、穗长和总小穗数显著或极显著高于 A3，但穗粒数和千粒重未达到显著差异水平。A1 和 A2 的总小穗数、千粒重和籽粒产量均高于 A3 和 A4，A1 的穗粒数、千粒重和籽粒产量最高，A3 最低。不同品种的小麦籽粒产量表现为 A1>A2>A4>A3，即强

表 1 不同品种的植株及产量性状比较
Table 1 Comparison of plant and yield traits of different varieties

品种 Variety	株高 Plant height (cm)	穗长 Ear length (cm)	穗粒数 Grains per spike	总小穗数 Total spikelets	千粒重 1000-grain weight (g)	籽粒产量 (g/盆) Grain yield (g/pot)
A1	39.60aA	5.80bB	15.05aA	15.20bA	34.63aA	4.00aA
A2	30.60bB	7.54aA	14.20abA	16.55aA	34.28aAB	3.83aA
A3	31.27bB	4.13cC	11.53bA	12.73cB	28.88bB	2.67bB
A4	38.18aA	6.05bB	14.23abA	14.83bA	30.33bAB	3.47aAB

注：同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著；同列不同大写字母表示在 0.01 水平差异极显著。下同
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. Different capital letters in the same column indicate extremely significant difference at 0.01 level. The same below

筋小麦的籽粒产量高于弱筋小麦，且 A1 产量最高。

2.2 不同施肥处理对植株和产量性状的影响

不同施氮处理对小麦籽粒产量和植株性状有重要影响。由表 2 可知，小麦的植株性状与籽粒产量

均表现为 B2（追施）>B1（底施），穗长、穗粒数、总小穗数和籽粒产量无显著差异，但株高和千粒重差异显著。在本试验中，与底施处理相比，追施氮肥处理可改善小麦植株性状，提高籽粒产量。

表 2 不同施肥处理对植株和产量性状的比较
Table 2 Comparison of different fertilization treatments on plant and yield traits

处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	穗长 Ear length (cm)	穗粒数 Grains per spike	总小穗数 Total spikelets	千粒重 1000-grain weight (g)	籽粒产量 (g/盆) Grain yield (g/pot)
B1	33.06bA	5.66aA	13.52aA	14.59aA	30.59bA	3.33aA
B2	36.77aA	6.10aA	13.99aA	15.06aA	33.48aA	3.66aA

2.3 不同处理组合对植株性状和籽粒产量的影响

由表 3 可知，不同处理组合中植株性状及籽粒产量均有显著差异。其中 A1B2 的株高最高，显著高于除 A4B2 以外的其他处理；穗长以 A2B2 最长，显著长于其他处理；穗粒数以 A1B2 最多，但仅与 A3B2 差异显著；总小穗数以 A2B2 最多，显著多于 A3B1 和 A3B2；千粒重以 A2B2 最多，显著

高于除 A1B1 和 A1B2 之外的其他处理；籽粒产量以 A1B2 最高，显著高于 A3B1 和 A3B2。综上所述，在不同品种中均以有 B2（拔节期追氮）处理组合的植株和千粒重较高，表明在供试品种中有追氮的处理组合对提高植株高度和千粒重有促进作用；有 B2 的处理组合的籽粒产量除 A3B2 外均相应高于有 B1 的组合，但均未达到显著差异水平。

表 3 不同处理组合对植株和产量性状的比较
Table 3 Comparison of different treatment combinations on plant and yield traits

处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	穗长 Ear length (cm)	穗粒数 Grains per spike	总小穗数 Total spikelets	千粒重 1000-grain weight (g)	籽粒产量 (g/盆) Grain yield (g/pot)
A1B1	34.63bcAB	5.43cdBC	14.37abA	14.97abABC	33.33abcAB	3.87aAB
A1B2	44.57aA	6.17bcB	15.73aA	15.43aAB	35.93abAB	4.13aA
A2B1	30.43cB	6.78bAB	14.33abA	16.23aA	31.26bcAB	3.57abAB
A2B2	30.77cB	8.30aA	14.07abA	16.87aA	37.30aA	4.10aA
A3B1	31.60cB	5.43cdBC	11.73abA	12.33cC	28.43cB	2.67bB
A3B2	30.93cB	4.27deC	11.33bA	13.13bcBC	29.33cAB	2.67bB
A4B1	35.57bcAB	6.43bcB	13.63abA	14.83abABC	29.33cAB	3.20abAB
A4B2	40.80abAB	5.67bcBC	14.83abA	14.83abABC	31.33bcAB	3.73aAB

2.4 不同品种间籽粒蛋白质含量和产量的差异

小麦蛋白质含量的多少决定了小麦面粉的质量和用途，蛋白质产量是由籽粒蛋白质含量和籽粒产量 2 个因素决定的。由表 4 可见，强筋品种与弱筋品种的蛋白质含量和产量具有极显著差异，且强筋品种的蛋白质含量和蛋白质产量均极显著高于弱筋品种；不同品种蛋白质含量表现为 A2>A1>A3>A4，蛋白质产量为 A1>A2>A4>A3。不同筋型小麦品种中，A1 蛋白质产量最高、A2 蛋白质含量最高，但二者之间均未达到显著差异水平；A3 的蛋白质含量极显著高于 A4，而 A4 的蛋白质产量高于 A3，但差异不显著。

表 4 不同品种的籽粒蛋白质含量和产量的比较
Table 4 Comparison of grain protein content and yield of different varieties

处理 Treatment	蛋白质含量 Protein content (%)	蛋白质产量 (g/盆) Protein yield (g/pot)
A1	16.70aA	0.67aA
A2	17.02aA	0.66aA
A3	15.00bB	0.40bB
A4	13.15cC	0.46bB

2.5 不同施氮处理对蛋白质含量和产量的影响

由表 5 可知，在不同的施肥处理中，B2（追施）的籽粒蛋白质含量和蛋白质产量均高于 B1（底施），分别增加了 2.49% 和 11.76%，但均未达到显

著差异水平。

表 5 不同施肥处理的蛋白质含量和产量的比较
Table 5 Comparison of protein content and protein yield of different fertilization treatments

处理 Treatment	蛋白质含量 Protein content (%)	蛋白质产量 (g/盆) Protein yield (g/pot)
B1	15.28aA	0.51aA
B2	15.66aA	0.57aA

2.6 不同处理组合对蛋白质含量和产量的影响

由表 6 可知，不同处理组合的籽粒蛋白质含量及其产量存在差异。同种筋型的小麦品种间无显著差异，但不同筋型的小麦品种间蛋白质含量具有显著差异，蛋白质产量具有极显著差异；不同小麦品种中 A2B2 的蛋白质含量和蛋白质产量最高，A4B1 的蛋白质含量最低，A3B1 和 A3B2 的蛋白质产量最低。相同品种中，有 B2 的处理组合的蛋白质含量（A1B2 除外）和蛋白质产量（A3B2）均较高，但同一品种不同施氮处理间未达到显著差异水平。有强筋品种参加的处理组合，其蛋白质含量和蛋白质产量均极显著或显著高于弱筋小麦品种参加的处理组合，其中以 A2B2 的蛋白质含量和蛋白质产量最高，A4B1 的蛋白质含量最低，A3B1 和 A3B2 的蛋白质产量最低。结果表明，不同处理组合中强筋品种中麦 5051 在追施条件下是兼顾产量和品质的最佳选择。

表 6 不同处理组合对蛋白质含量和产量的影响
Table 6 Comparison of protein content and protein yield of different treatment combinations

处理 Treatment	蛋白质含量 Protein content (%)	蛋白质产量 (g/盆) Protein yield (g/pot)
A1B1	16.76aAB	0.65aAB
A1B2	16.64aAB	0.68aAB
A2B1	16.54aAB	0.59abABC
A2B2	17.49aA	0.72aA
A3B1	14.94bBC	0.40cD
A3B2	15.06bBC	0.40cD
A4B1	12.85cD	0.41cCD
A4B2	13.44cCD	0.50bcBCD

3 讨论

3.1 不同品种对小麦籽粒产量和品质的影响

朱新开^[13]研究表明,相同施氮量条件下各专用小麦的优质高产群体籽粒产量表现为强筋小麦>中筋小麦>弱筋小麦,故优质高产群体氮肥农学效率表现为强筋小麦高于中筋和弱筋小麦,中筋小麦略高于弱筋小麦。马瑞琦^[14]研究得出,开花期不同品种干物质积累量均呈增加趋势,强筋小麦的干物质积累总量高于中筋小麦及弱筋小麦。本研究选用强筋品种中麦 578 和中麦 5051、弱筋品种扬麦 15 和扬麦 24 作为供试品种,在其他栽培管理条件相同时,中麦 578 和中麦 5051 的千粒重和籽粒产量均高于扬麦 15 和扬麦 24,并且强筋品种中的中麦 578 产量最高,这符合前人提出的强筋小麦产量高于弱筋小麦的一般规律。籽粒蛋白质含量与产量结果表明,强筋小麦的籽粒蛋白质含量和产量均高于弱筋小麦,强筋品种中麦 5051 蛋白质含量高于中麦 578,蛋白质产量则表现为中麦 578 高于中麦 5051。朱新开^[13]提出,籽粒产量(主要是淀粉)和籽粒蛋白质含量之间存在着能量和养分的竞争,正常情况下二者呈负相关关系,即在植株吸氮量一定条件下,强筋小麦要求较高的籽粒蛋白质含量,相应籽粒产量可能会受到影响,而弱筋小麦要求较高的籽粒产量,相应籽粒蛋白质含量可能会受到影响。

3.2 不同施氮处理对小麦籽粒产量和品质的影响

张绍林等^[15]和金绍龄等^[16]研究认为,与播种前施用基肥相比,冬小麦生长期间施氮肥的利用效率较高;在小麦拔节期追施的尿素,其氮素损失率明显低于作基肥和三叶期追肥的处理。本试验研究 4 个小麦品种在施氮量相同条件下底施和追施对小

麦产量和品质的影响,表明追施处理的小麦籽粒产量、蛋白质含量和蛋白质产量均大于底施,分别增加了 9.91%、2.49% 和 11.76%,这与前人提出的开花后氮素的同化量及对籽粒的贡献率随追施氮比例的增加而提高^[15-16]相一致。

3.3 不同处理组合对小麦籽粒产量和品质的影响

张志力等^[17]研究表明,氮肥追施时期对小麦籽粒蛋白质产量的影响是由籽粒产量和蛋白质含量共同决定的,但与籽粒产量的相关程度略高于与蛋白质含量的相关程度,在各追施时期中,拔节期一次追肥时蛋白质产量最高。氮肥深追可以使产量和蛋白质含量同步增加,从而提高蛋白质产量,播期也会影响蛋白质产量,适期播种(9 月 23 日左右)蛋白质产量最高。蛋白质含量同灌浆期、乳熟期植株全氮含量呈显著正相关。本试验对不同筋型的小麦品种进行施氮处理,在其他栽培管理条件相同时,A1B2 组合小麦籽粒产量高于 A2B2,A4B2 的小麦产量较高,但 A1B2>A4B2。因此在不同筋型小麦中强筋品种中麦 578 在追施氮肥条件下更有利于获得较高的籽粒产量;小麦品质方面,强筋品种的蛋白质含量及产量高于弱筋品种,并且 A2B2 的小麦蛋白质含量及产量最高;不同施氮处理的蛋白质含量表现为在 A1 条件下,B1>B2,而在 A2、A3 和 A4 条件下,B2>B1;蛋白质产量表现为在 A1、A2 和 A4 条件下,B2>B1,而在 A3 条件下,B1=B2。朱新开^[13]研究认为,不同类型专用小麦均表现为在同一施氮量条件下,随中后期施氮比例的增加,籽粒产量和蛋白质含量呈上升趋势,本试验结果与其一致。

本研究针对潮土地区施氮处理对不同筋型小麦产量和品质的影响进行了研究,对通过选择合适的品种和施氮方式,提高小麦营养品质和籽粒产量具有一定参考意义。

4 结论

强筋品种的穗粒数、总小穗数、千粒重、籽粒产量、蛋白质含量和蛋白质产量均高于弱筋品种,中麦 578 的籽粒产量最高;在施氮量相同的前提下,不同的施氮处理中拔节期追施氮肥的小麦植株、产量性状和籽粒品质均优于底施处理;不同组合处理中,强筋小麦品种追施氮肥更有利于增加小麦产量及籽粒蛋白质含量,合理追施氮肥可以促进小麦生长发育,提高产量。

参考文献

- [1]赵广才,常旭虹,刘利华,等. 施氮量对不同强筋小麦产量和加工品质的影响. 作物学报,2006,32(5):723-727.
- [2]常旭虹,赵广才,王德梅,等. 生态环境与施氮量协同对小麦籽粒微量元素含量的影响. 植物营养与肥料学报,2014,20(4):885-895.
- [3]王德梅,赵广才,常旭虹,等. 土壤相对含水量对冬小麦氮素积累、蛋白质组成和加工品质的影响. 麦类作物学报,2014,34(9):1245-1252.
- [4]王月福,姜东,于振文,等. 高低土壤肥力下小麦基施和追施氮肥的利用效率和增产效应. 作物学报,2003,29(4):491-495.
- [5]朱英杰,刘富启,张燕,等. 不同土壤条件下氮肥处理对小麦产量及品质的影响. 作物杂志,2020(3):184-190.
- [6]张艳华,常旭虹,王德梅,等. 不同土壤条件下追施锌肥对小麦产量及品质的影响. 作物杂志,2019(5):109-113.
- [7]王丽娜,常旭虹,王德梅,等. 不同土壤条件下追施硼肥对小麦产量和品质的影响. 作物杂志,2019(6):94-98.
- [8]杨帆,孟远夺,姜义,等. 2013年我国种植业化肥施用状况分析. 植物营养与肥料学报,2015,21(1):217-225.
- [9]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. 作物学报,2005,31(8):1047-1051.
- [10]石玉,于振文,王东,等. 施氮量和底追比例对小麦氮素吸收转运及产量的影响. 作物学报,2006,32(12):1860-1866.
- [11]赵广才,何中虎,田奇卓,等. 应用¹⁵N研究施氮比例对小麦氮素利用的效应. 作物学报,2004,30(2):159-162.
- [12]张定一,党建友,王姣爱,等. 施氮量对不同品质类型小麦产量、品质和旗叶光合作用的调节效应. 植物营养与肥料学报,2007,13(4):535-542.
- [13]朱新开. 不同类型专用小麦氮素吸收利用特性与调控. 扬州:扬州大学,2006.
- [14]马瑞琦. 追氮量对不同筋型小麦产量、品质及生理指标的影响. 晋中:山西农业大学,2019.
- [15]张绍林,朱兆良,徐银华,等. 关于太湖地区稻麦上氮肥的适宜用量. 土壤,1988,20(1):5-9.
- [16]金绍龄,兰晓泉,常向东,等. 春小麦施氮时期的研究. 土壤肥料,1985(6):25-29.
- [17]张志力,田效瑞. 栽培因子与冬小麦籽粒蛋白质产量的关系. 干旱地区农业研究,1994(4):22-25.

Effects of Nitrogen Application on Yield and Quality of Wheat with Different Gluten Types

Guo Dandan^{1,2}, Liu Zhewen^{1,2}, Chang Xuhong¹, Wang Demei¹, Tao Zhiqiang¹,
Wang Yanjie¹, Yang Yushuang¹, Zhao Guangcai¹, Shi Shubing²

(¹Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop Physiology and Ecology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081, China;

²School of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China)

Abstract In order to explore the effects of nitrogen application on plant characteristics, grain yield and quality of wheat with different gluten types. Pot experiment was carried out, strong gluten wheat Zhongmai 578 (A1) and Zhongmai 5051 (A2), weak gluten wheat Yangmai 15 (A3) and Yangmai 24 (A4) were selected as test varieties. Under the same nitrogen application rate, basal application (B1) and topdressing (B2) treatments were carried out. The results showed that the ear length, total spikelets, 1000-grain weight and grain yield of strong gluten wheat were better than those of weak gluten wheat under the same cultivation measures. The yield of A1 were 0.44%, 49.81% and 15.27% higher than that of A2, A3 and A4, respectively; plant height, ear length, grain number per spike, total spikelet number and grain yield of B2 were higher than those of B1 in nitrogen application treatment among the different treatments, the plant and yield traits of strong gluten variety A1B2 were better than other treatments; the protein content and protein yield of strong gluten varieties were higher than those of weak gluten varieties, and the difference was extremely significant ($P < 0.01$). In this experiment, strong gluten variety A2 was the best to achieve high benefit by giving consideration to grain yield, protein content and protein yield in B2 treatment.

Key words Wheat; Nitrogen fertilizer; Variety; Yield; Quality