

不同氮素水平下追氮时期对小麦淀粉粒度分布的影响*

吴培金, 闫素辉, 张从宇, 邵庆勤, 许 峰, 李文阳**

(安徽科技学院 农学院, 安徽 凤阳 233100)

摘要:【目的】分析不同追氮时期对成熟期小麦胚乳淀粉粒粒度分布的影响。【方法】以矮抗 58 和山农 22 为材料, 在 2 种氮素水平 (N_1 : 120 kg/hm², N_2 : 240 kg/hm²) 下设置 2 个追氮时期 (返青期、拔节期) 处理, 研究小麦籽粒淀粉粒粒度分布的变化。【结果】在同一氮素水平下, 两品种拔节期追氮处理籽粒淀粉含量显著低于返青期追氮处理 ($P<0.05$), 但淀粉积累量显著高于返青期 ($P<0.05$)。在 N_1 水平下, 与返青期追氮处理相比, 拔节期追氮降低了胚乳淀粉粒平均粒径, 显著提高 B 型淀粉粒体积和表面积百分比 ($P<0.05$), 降低 A 型淀粉粒体积和表面积百分比; 在 N_2 水平下, 与返青期追氮处理相比, 拔节期追氮显著提高胚乳淀粉粒平均粒径 ($P<0.05$), 提高了 A 型淀粉粒体积和表面积百分比, 降低 B 型淀粉粒体积和表面积百分比, 两品种表现一致。追氮时期与施氮水平对小麦 A、B 型淀粉粒数量分布影响不显著 ($P>0.05$)。【结论】在施纯氮 120 kg/hm² 条件下, 追氮时期推迟主要通过增加小麦籽粒 B 型淀粉粒体积百分比, 进而有利于籽粒淀粉的积累; 在施纯氮 240 kg/hm² 条件下, 追氮时期推迟主要通过增大淀粉粒个体体积, 即 A 型淀粉粒的体积百分比增加, 进而有利于籽粒淀粉的积累。

关键词: 小麦; 氮素; 追氮时期; 淀粉粒

中图分类号: S 512.103.5

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X (2018) 05-0790-07

Effects of Nitrogen Topdressing Stages on the Starch Granule Size Distribution in Wheat Grains under Different Nitrogen Rates

WU Peijin, YAN Suhui, ZHANG Congyu, SHAO Qingqin, XU Feng, LI Wenyang

(College of Agronomy, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China)

Abstract: [Purpose] The objective of this study was to investigate the effects of nitrogen topdressing on the starch granule size distribution in wheat grains. [Method] Two wheat cultivars, Aikang 58 (A58) and Shannong 22 (S22) were used in this study. A fertilizer experiment was designed with different nitrogen topdressing stages under two nitrogen rates of 120 kg/hm² and 240 kg/hm². [Result] The starch content in grain of nitrogen topdressing at the jointing stage was significantly lower than that of nitrogen topdressing at the returning green stage ($P<0.05$), but the starch accumulation in grain of nitrogen topdressing at the jointing stage was significantly higher than that of nitrogen topdressing at the returning green stage under the same nitrogen rate ($P<0.05$). Compared with the

收稿日期: 2018-01-27

修回日期: 2018-06-05

网络出版时间: 2018-09-08

*基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0300408, 2017YFD0301301); 安徽科技重大专项项目 (160307001102); 安徽自然科学基金项目 (1408085QC54)。

作者简介: 吴培金 (1992—), 男, 湖南湘西人, 在读硕士研究生, 主要从事小麦高产优质高效栽培生理生态研究。E-mail: 18098317841@163.com

**通信作者 Corresponding author: 李文阳 (1981—), 男, 山东滕州人, 博士, 教授, 主要从事作物品质生理与栽培学研究。E-mail: liwy@ahstu.edu.cn

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201801045](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201801045)

treatment of nitrogen topdressing at the returning green stage, the average particle size of starch granules at jointing stage decreased, meanwhile the volume and surface area percentage of B type starch granules increased observably at the nitrogen rate of 120 kg/hm². The average particle size of starch granules of nitrogen topdressing at jointing stage significantly increased ($P<0.05$), meanwhile the volume and surface area percentage of A type starch granules increased observably at the nitrogen rate of 240 kg/hm². There was no significant effect of nitrogen rate and nitrogen topdressing stage on the number distribution of starch granules in wheat grains ($P>0.05$). [**Conclusion**] The delay of nitrogen topdressing increased the volume percentage of B type starch granules under the low nitrogen rate, and hence benefit to the accumulation of starch in grains. The delay of nitrogen topdressing was beneficial to the accumulation of A type starch granules in grains, and hence benefit to the accumulation of starch under the suitable nitrogen rate.

Keywords: wheat; nitrogen; nitrogen topdressing stage; starch granule

淀粉是小麦籽粒中重要的碳水化合物, 含量约为 70%, 以淀粉颗粒形式存在籽粒胚乳中^[1-2]。淀粉粒的大小、形状和分布是淀粉重要的形态特征, 影响淀粉的理化特性和食品加工品质^[3-5]。根据淀粉颗粒粒径和形状, 可分为 A 型淀粉粒 (>10 μm) 和 B 型淀粉粒 (<10 μm), A 型淀粉粒重量占胚乳总淀粉粒比例较大, 但数量少, 一般呈透镜状; B 型淀粉粒重量百分比较小, 但数量占总淀粉粒的 90% 以上, 一般呈球形或不规则的多面体^[6-8]。小麦胚乳中除了 A、B 型淀粉粒外, 还存在 <2.8 μm 的 C 型淀粉粒^[9]。小麦 A 型、B 型淀粉粒的组成成分和理化特性存在显著差异, 与 B 型淀粉粒相比, A 型淀粉粒直链淀粉含量高、支链淀粉含量低^[10-11]。

淀粉粒的粒度分布和理化特性受基因型控制的同时, 也受水分、温度、土壤等栽培环境因素的影响^[12-13]。氮素对小麦产量和品质形成的影响最显著, 施用氮肥可提高小麦产量和改善其品质^[14-15]。张兴梅等^[14]研究认为: 随着施氮量的适当增加, 小麦籽粒蛋白质含量上升, 但淀粉含量下降。增施氮肥可以显著提高小麦籽粒淀粉峰值黏度^[16-17]。在施纯氮 0~240 kg/hm² 范围内, 籽粒中 B 型淀粉粒的体积百分比随氮肥的增施而升高^[5]。已有研究主要集中于施氮水平对小麦淀粉组分含量、粒度分布的影响等, 关于追氮时期对小麦淀粉粒粒度分布的研究较少, 故本研究以 2 个小麦品种为材料, 探讨在不同施氮水平条件下追氮时期对胚乳淀粉粒粒度分布特征的影响,

以期对小麦淀粉品质改良提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于 2015—2016 年在安徽科技学院种植科技园 (凤阳) 进行。以沿淮地区主栽的小麦品种矮抗 58 (简称 A58) 和山农 22 (简称 N22) 为供试材料, 生育期均约 220 d。试验设 2 个氮素水平, 即施纯氮 120 kg/hm² (N1)、240 kg/hm² (N2), 并分别设置 2 个追氮时期, 即返青期 (returning green stage, 简称 RGS, 2 月 10 日) 和拔节期 (jointing stage, 简称 JS, 3 月 10 日), 基追比为 7:3。种植密度 225 万株/hm², 小区面积为 3 m×3 m。随机区组排列, 3 个重复。播种期为 2015 年 11 月 1 日, 收获期为 2016 年 5 月 30 日。钾肥 (以 K₂O 计) 用量 120 kg/hm², 磷肥 (以 P₂O₅ 计) 用量为 75 kg/hm², 基肥一次性施入, 其他田间管理同一般高产田。小麦成熟期取麦穗置于 70 ℃ 烘箱烘至恒重, 用于淀粉粒的提取与分析。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 千粒重、淀粉含量的测定

成熟期收获考种, 数 500 粒小麦籽粒, 称重折算千粒重, 5 次重复。

淀粉含量参照何照范^[18]的方法测定。称取小麦面粉 0.1 g 于试管中, 加 0.5 mol/L KOH 10 mL, 置沸水浴中 10 min 后取出, 转移置于 50 mL 容量瓶中, 用蒸馏水定容。吸取样品液 2 mL, 加入 30 mL 蒸馏水, 以 0.1 mol/L HCl 调 pH 至 3.5 左右, 加入碘试剂 0.5 mL, 然后均定容至 50 mL,

静置 20 min, 用 TU1901 紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司) 分别在 471、553、632 和 740.3 nm 测定吸收值。

1.2.2 淀粉粒提取

参照 PENG 等^[7]的方法提取淀粉粒, 略有改动。将 3 g 小麦籽粒放于 50 mL 离心管中, 加入 30 mL 蒸馏水浸泡 24 h, 去胚, 加入蒸馏水在研钵研磨, 直到所有的淀粉颗粒被释放, 搅匀, 用 200 目筛布过滤。3 500 r/min 离心 10 min, 除去上清液, 添加 20 mL 2 mmol/L NaCl 溶液, 振荡混匀, 30°角放在摇床上振荡。6 h 后用脱脂棉擦掉离心管朝上内壁的污渍, 然后配平离心重复上述操作。同样方法用 0.2% NaOH、2% SDS 和蒸馏水清洗。最后用丙酮洗 3 次, 室温干燥, 得到纯淀粉, 于-20 ℃ 低温条件下保存。

1.2.3 淀粉粒度分析

使用 LS 13320 激光衍射粒度分析仪(Beckman Coulter, USA) 测定淀粉的粒度特征。称取 50 mg 淀粉(按 1.2.2 节的方法提取好的淀粉)放入 10 mL 离心管中, 加入 5 mL 蒸馏水振荡分散成悬浮液。

将淀粉悬浮液转移到含有双蒸水的激光衍射粒度分析仪的分散罐中, 测量其尺寸, 用仪器自带的软件统计不同粒径淀粉粒占总淀粉粒体积、数量及体积的百分率并作图。

1.2.4 数据的统计与分析

数据分析及作图用 Microsoft Excel 2007、DPS 7.05 和 LS 13320 软件完成。

2 结果与分析

2.1 追氮时期对小麦籽粒淀粉含量与积累量的影响

由表 1 可知: 在 N1 水平条件下, 拔节期追氮处理籽粒千粒重显著高于返青期追氮处理, 籽粒淀粉含量低于返青期追氮处理, 淀粉积累量显著高于返青期追氮处理。在 N2 条件下, 拔节期追氮处理籽粒千粒重高于返青期追氮处理, 籽粒淀粉含量显著低于返青期追氮处理, 而淀粉积累量显著高于返青期追氮处理, 两品种表现一致。可见, 氮肥施用中追氮时期后移能显著增加小麦籽粒粒重进而提高淀粉积累量。

表 1 追氮时期对小麦籽粒淀粉含量与积累量的影响
Tab. 1 Effect of nitrogen topdressing stages on the content and accumulation of starch in wheat grain

品种 cultivar	氮素水平 nitrogen rate	追氮时期 nitrogen topdressing stage	千粒重/g 1 000-grain weight	淀粉含量/% starch content	淀粉积累量/(mg·grain ⁻¹) starch accumulation
矮抗 58 Aikang58 (A58)	N1	RGS	42.25±1.31 d	69.71±0.12 ab	29.45±0.05 f
		JS	46.05±0.54 ab	69.59±0.07 b	32.04±0.03 a
	N2	RGS	45.07±0.61 abc	69.53±0.1 bc	31.33±0.04 b
		JS	46.29±0.42 a	69.23±0.15 d	32.05±0.07 a
山农 22 Shannong22 (S22)	N1	RGS	42.52±0.52 d	69.83±0.13 a	30.51±0.05 d
		JS	44.48±2.52 c	69.31±0.16 cd	30.92±0.07 c
	N2	RGS	43.69±0.85 cd	69.86±0.13 a	29.71±0.06 e
		JS	44.61±0.75 bc	69.59±0.19 b	30.95±0.08 c

注: RGS. 返青期; JS. 拔节期。同列不同小写字母表示 5% 水平差异显著; 下同。
Note: RGS. returning green stage; JS. jointing stage. Different lowercase letters within the same columns mean significant difference at $P=0.05$; the same as below.

2.2 追氮时期对小麦籽粒淀粉粒体积分布的影响

小麦淀粉粒体积分布呈双峰分布(图 1a), 峰值分别出现在淀粉粒径为 5.4~5.88 μm 和 21.7~23.82 μm 的范围内。<2.8 μm 淀粉粒占总体积的 8.43%~11.73%, 2.8~10 μm 的淀粉粒占总体积的 5.23%~11.37%, >10 μm 淀粉粒(A 型)占总体积的 59.99%~75.5%, 可见 A 型淀粉粒对总淀粉粒的体积分布贡献较大。

在返青期追氮, N2 条件下, B 型(<10 μm)

淀粉粒的体积百分比高于 N1 条件, 即在返青期追施氮肥, B 型淀粉粒体积百分比随施氮量适当的增加而增高。在 N1 水平下, 与返青期相比, 拔节期追氮处理<2.8 μm 和 2.8~10 μm 即 B 型淀粉粒体积百分比比较高, A 型淀粉粒体积百分比比较低; 在 N2 水平下, 拔节期追氮处理的小麦籽粒中淀粉粒平均粒径较大, A 型淀粉粒的体积百分比比较高(表 2)。可见, 在施纯氮 120 kg/hm² 条件下, 推迟追氮时期可提高 B 型淀粉粒的体积百分比; 在施纯氮 240 kg/hm² 条件下, 推迟追氮时期

可以显著促进淀粉粒个体颗粒变大, 提高 A 型淀粉粒在总淀粉粒的体积百分比。

2.3 追氮时期对小麦籽粒淀粉粒数量分布的影响
小麦淀粉粒的数量分布呈单峰分布, 其峰值

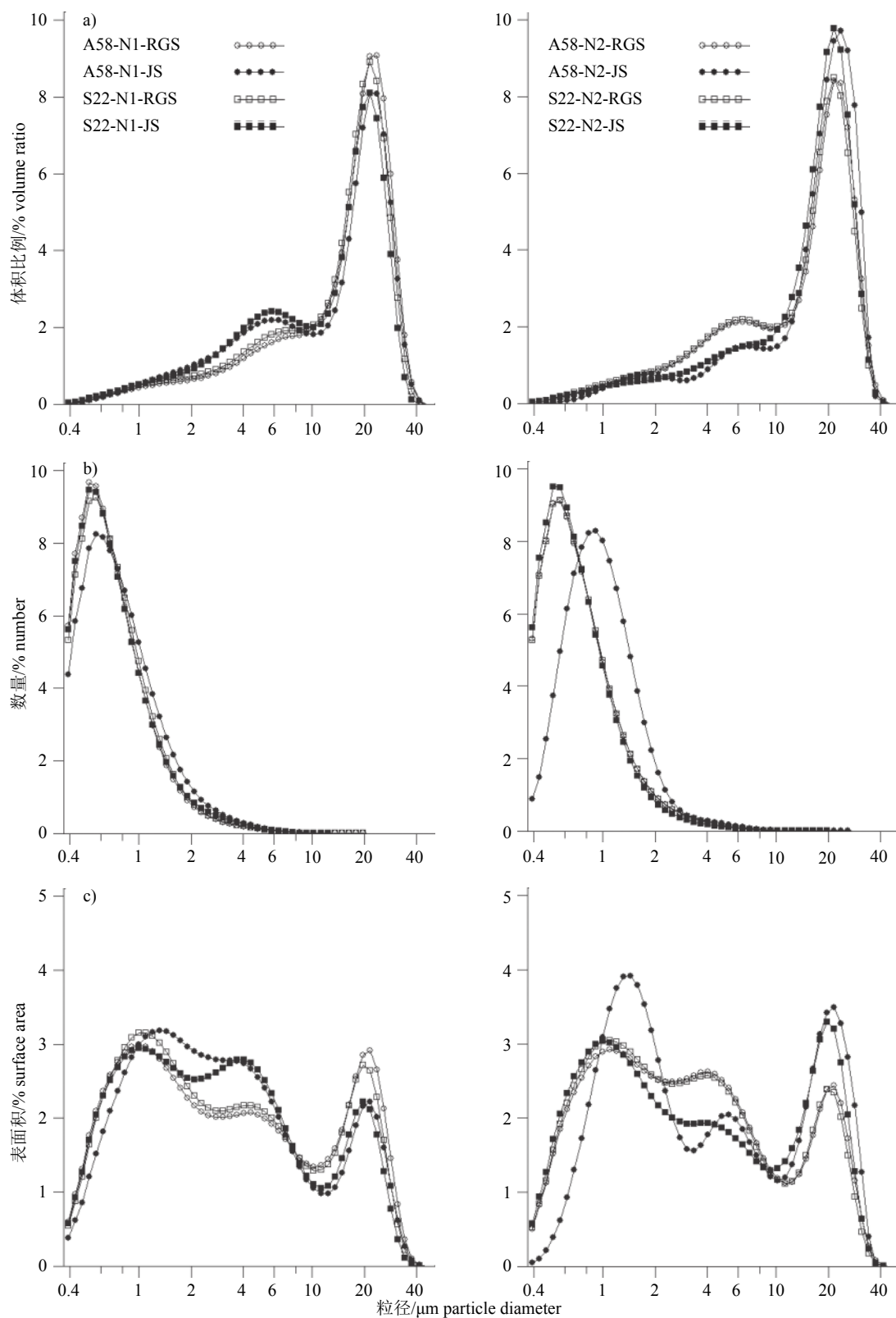


图 1 小麦胚乳淀粉粒体积、数量和表面积分布特征

Fig. 1 The volume, number and surface area distributions of starch granule in wheat grains

出现在淀粉粒粒径为 0.52~0.829 μm (图 1b)。<10 μm 淀粉粒数量百分比为 99.8%~99.9% (表 3), 说明 B 型淀粉粒是小麦胚乳中淀粉粒的主要组成成分。

品种、不同氮素水平、不同追氮时期对 A、B 型淀粉粒数量百分比影响不显著 (表 3)。在 N1

水平条件下, 与返青期追氮处理相比, 拔节期追氮处理粒径 2.8~10 μm 的淀粉粒数量百分比显著较高。可见, 在施纯氮 120 kg/hm^2 条件下, 推迟追氮时期, 有利于 B 型淀粉粒中较大颗粒的积累。

表 2 追氮时期对小麦籽粒淀粉体积分布的影响

Tab. 2 Effect of nitrogen topdressing stages on the volume distribution of starch granule in wheat grain

品种 cultivar	氮素水平 nitrogen rate	追氮时期 nitrogen topdressing stage	平均粒径/ μm average particle size	不同淀粉粒组比例/% percentage of starch granule in different sizes			
				<2.8 μm	2.8~10 μm	<10 μm	$\geq 10 \mu\text{m}$
A58	N1	RGS	16.93 $\pm$ 0.27 b	8.75 $\pm$ 0.13 e	19.19 $\pm$ 0.6 e	27.93 $\pm$ 0.72 f	71.97 $\pm$ 0.72 c
		JS	15.11 $\pm$ 0.03 d	11.73 $\pm$ 0.12 a	26.03 $\pm$ 0.12 b	37.77 $\pm$ 0.23 b	62.13 $\pm$ 0.23 g
	N2	RGS	15.55 $\pm$ 0.15 c	10.4 $\pm$ 0.1 c	24.77 $\pm$ 0.51 c	35.17 $\pm$ 0.61 d	64.73 $\pm$ 0.61 e
		JS	17.6 $\pm$ 0.14 a	8.43 $\pm$ 0.04 f	16.07 $\pm$ 0.32 g	24.5 $\pm$ 0.36 h	75.5 $\pm$ 0.36 a
S22	N1	RGS	15.45 $\pm$ 0.10 c	10.09 $\pm$ 0.12 d	22.24 $\pm$ 0.46 d	32.33 $\pm$ 0.57 e	67.64 $\pm$ 0.55 d
		JS	14.07 $\pm$ 0.07 e	11.73 $\pm$ 0.23 a	28.27 $\pm$ 0.21 a	40 $\pm$ 0.44 a	59.99 $\pm$ 0.44 h
	N2	RGS	14.89 $\pm$ 0.11 d	11 $\pm$ 0.1 b	25.5 $\pm$ 0.40 b	36.5 $\pm$ 0.46 c	63.47 $\pm$ 0.46 f
		JS	16.77 $\pm$ 0.23 b	8.57 $\pm$ 0.17 ef	17.23 $\pm$ 0.41 f	25.8 $\pm$ 0.56 g	74.18 $\pm$ 0.56 b

表 3 不同追氮时期对小麦淀粉粒数量分布的影响

Tab. 3 Effect of nitrogen topdressing stages on the number distribution of starch granules in wheat grain

品种 cultivar	氮素水平 nitrogen rate	追氮时期 nitrogen topdressing stage	不同淀粉粒组比例/% percentage of starch granule in different sizes			
			<2.8 μm	2.8~10 μm	<10 μm	$\geq 10 \mu\text{m}$
A58	N1	RGS	97.97 $\pm$ 0.06 a	1.93 $\pm$ 0.06 c	99.9 $\pm$ 0 a	0.1 $\pm$ 0 a
		JS	97.03 $\pm$ 0.06 c	2.87 $\pm$ 0.06 a	99.9 $\pm$ 0 a	0.1 $\pm$ 0 a
	N2	RGS	97.4 $\pm$ 0 b	2.5 $\pm$ 0 b	99.9 $\pm$ 0 a	0.1 $\pm$ 0 a
		JS	96.87 $\pm$ 0.06 c	2.9 $\pm$ 0 a	99.9 $\pm$ 0 a	0.1 $\pm$ 0 a
S22	N1	RGS	97.87 $\pm$ 0.06 a	2.03 $\pm$ 0.06 c	99.9 $\pm$ 0 a	0.1 $\pm$ 0 a
		JS	97.47 $\pm$ 0.06 b	2.43 $\pm$ 0.06 b	99.9 $\pm$ 0 a	0.1 $\pm$ 0 a
	N2	RGS	97.53 $\pm$ 0.06 b	2.37 $\pm$ 0.06 b	99.9 $\pm$ 6 a	0.1 $\pm$ 0 a
		JS	97.3 $\pm$ 0.36 b	2.5 $\pm$ 0.26 b	99.9 $\pm$ 0.1 a	0.1 $\pm$ 0 a

2.4 追氮时期对小麦籽粒淀粉粒表面积分布的影响

小麦淀粉粒表面积分布呈三峰分布 (图 1c)。在 N1 水平下, 推迟追氮时期可显著提高 B 型淀粉粒表面积的百分比; 在 N2 水平下, 适当的推迟追氮时期可显著提高 A 型淀粉粒表面积的百分比, 两品种表现一致 (表 4)。

3 讨论

PARKER^[6]研究表明: 小麦淀粉粒径呈双峰曲线分布, 认为胚乳含有 A、B 型淀粉粒。强筋小麦籽粒胚乳中淀粉粒体积、表面积呈三峰分布, 而弱筋小麦籽粒淀粉粒则呈双峰分布^[19]。本研究表明: 小麦籽粒淀粉粒体积呈双峰分布, 数

量呈单峰形式, 表面积呈三峰分布。

蔡瑞国等^[20]研究发现: 适量增施氮肥能显著提高小麦籽粒支链淀粉含量, 降低其直链淀粉含量。B 型淀粉粒直链淀粉含量显著低于 A 型淀粉粒, 而支链淀粉含量显著高于 A 型淀粉^[21]。本研究表明: 在返青期追氮, 小麦籽粒 B 型淀粉粒体积百分比随施氮量适当增加而增高, 这可能是施氮有利于小麦灌浆后期籽粒产生更多的小淀粉粒^[22], 进一步说明适量增施氮肥能提高小麦籽粒 B 型淀粉粒的含量。

本研究表明: 不同氮素水平下追氮时期对小麦胚乳中 A 和 B 型淀粉粒的数量分布无显著影响, 这与前人的研究结果^[5]相一致。有研究发现: 增施氮肥不利强筋小麦 B 型淀粉粒的积累, 但促

表 4 追氮时期对小麦淀粉粒表面积分布的影响

Tab. 4 Effect of nitrogen topdressing stages on the surface area distribution of starch granules in wheat grain

品种 cultivar	氮素水平 nitrogen rate	追氮时期 nitrogen topdressing stage	不同淀粉粒组比例/% percentage of starch granule in different sizes			
			<2.8 μm	2.8~10 μm	<10 μm	$\geq 10 \mu\text{m}$
A58	N1	RGS	49.17 $\pm$ 0.15 b	25.2 $\pm$ 0.35 f	74.37 $\pm$ 0.49 d	25.63 $\pm$ 0.49 c
		JS	50.9 $\pm$ 0.2 a	30.33 $\pm$ 0.06 b	81.23 $\pm$ 0.21 a	18.77 $\pm$ 0.21 f
	N2	RGS	49.5 $\pm$ 0.1 b	29.8 $\pm$ 0.2 c	79.3 $\pm$ 0.3 b	20.7 $\pm$ 0.3 e
		JS	46.83 $\pm$ 0.12 d	23.33 $\pm$ 0.32 g	70.17 $\pm$ 0.21 f	29.83 $\pm$ 0.21 a
S22	N1	RGS	50.83 $\pm$ 0.06 a	26.53 $\pm$ 0.29 e	77.37 $\pm$ 0.32 c	22.63 $\pm$ 0.32 d
		JS	51.07 $\pm$ 0.38 a	30.9 $\pm$ 0.1 a	81.97 $\pm$ 0.29 a	18.03 $\pm$ 0.29 f
	N2	RGS	50.77 $\pm$ 0.12 a	29.33 $\pm$ 0.25 d	80.1 $\pm$ 0.26 b	19.9 $\pm$ 0.26 e
		JS	47.87 $\pm$ 1.32 c	23.4 $\pm$ 0 g	71.27 $\pm$ 1.32 e	28.73 $\pm$ 1.32 b

进中筋、弱筋小麦品种的 B 型淀粉粒的增加^[23]。盛靖等^[24]认为: 推迟施氮, 小麦籽粒胚乳中直链淀粉和总淀粉含量都会下降, 但淀粉积累量和积累速率则上升。本研究表明: 在 N1 水平下, 推迟追氮可以显著提高小麦胚乳中 B 型淀粉粒体积百分比, 对 A、B 型淀粉粒的数量分布无显著影响, 而 2.8~10 μm 淀粉粒数量百分比显著升高, 可见在施纯氮 120 kg/hm² 水平, 推迟追氮时期促进较大淀粉颗粒 (2.8~10 μm) 数量的增加, 进而提高 B 型淀粉体积百分比。在 N2 水平下, 推迟追氮时期使小麦淀粉粒的平均粒径变大, A 型淀粉粒的体积百分比也增大, 由数量分布分析结果得出, 其对小麦胚乳中的 A 型淀粉粒的数量分布无显著影响, 说明在施纯氮 240 kg/hm² 水平下, 推迟追氮时期能够促进淀粉粒个体体积的变大进而提高 A 型淀粉粒的体积百分比。

4 结论

在不同氮素水平条件下, 推迟追氮通过有利于小麦籽粒粒重的增加进而提高淀粉积累量。在施纯氮 120 kg/hm² 条件下, 推迟追氮时期有利于 B 型淀粉粒中粒径较大的部分淀粉粒的积累。在施纯氮 240 kg/hm² 条件下, 推迟追氮时期有利淀粉粒个体颗粒体积的变大进而提高 A 型淀粉粒的体积百分比。

[参考文献]

- [1] 郭俊杰, 孙海波, 吴宏, 等. 小麦淀粉回生研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(2): 354. DOI: [10.13386/j.issn1002-0306.2014.02.063](https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2014.02.063).
- [2] 蔡瑞国, 尹燕桦, 赵发茂, 等. 强筋小麦胚乳淀粉粒度分布特征及其对弱光的响应[J]. 中国农业科学, 2008, 41(5): 1308. DOI: [10.3864/j.issn.0578-1752.2008.05.007](https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2008.05.007).
- [3] HUCL P, CHIBBAR R N. Variation for starch concentration in spring wheat and its repeatability relative to protein concentration[J]. Cereal Chemistry, 1996, 73(6): 756.
- [4] 范桂玲, 国际翔, 李文清. 谷物淀粉颗粒的形态特征研究[J]. 粮食储藏, 1990(4): 41.
- [5] 李文阳, 卢继承, 闫素辉, 等. 施氮水平对小麦籽粒淀粉粒分布与加工品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(2): 297.
- [6] PARKER M L. The relationship between A-type and B-type starch granules in the developing endosperm of wheat[J]. Journal of Cereal Science, 1985, 3(4): 271. DOI: [10.1016/S0733-5210\(85\)80001-1](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(85)80001-1).
- [7] PENG M S, GAO M, ABDEL-AAL E S M, et al. Separation and characterization of A-and B-type starch granules in wheat endosperm[J]. Cereal Chemistry, 1999, 76(3): 375. DOI: [10.1094/CCHEM.1999.76.3.375](https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.3.375).
- [8] WILSON J D, BECHTEL D B, TODD T C, et al. Measurement of wheat starch granule size distribution using image analysis and laser diffraction technology[J]. Cereal Chemistry, 2006, 83(3): 259. DOI: [10.1094/CC-83-0259](https://doi.org/10.1094/CC-83-0259).
- [9] RAEKER M O, GAINES C S, FINNEY P L, et al. Granule size distribution and chemical composition of starches from 12 soft wheat cultivars[J]. Cereal Chemistry, 2007, 75(5): 721. DOI: [10.1094/CCHEM.1998.75.5.721](https://doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.5.721).
- [10] ZHANG Y, GUO Q, FENG N, et al. Characterization of A-and B-type starch granules in Chinese wheat cultivars [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15(10): 2203. DOI: [10.1016/S2095-3119\(15\)61305-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61305-3).
- [11] 刘娣, 李欢欢, 聂文文, 等. 小麦淀粉大颗粒和小颗粒 (A-型颗粒和 B-型颗粒) 的分离纯化与理化性质差异综述[J]. 食品科技, 2017, 42(2): 251. DOI: [10.13684/j.cnki.spkj.2017.02.049](https://doi.org/10.13684/j.cnki.spkj.2017.02.049).
- [12] DAI Z M, YIN Y P, ZHANG M, et al. Starch granule size distribution in wheat grains under irrigated and rain-fed conditions[J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(5): 795. DOI: [10.1016/S1875-2780\(08\)60029-2](https://doi.org/10.1016/S1875-2780(08)60029-2).
- [13] HURKMAN W J, MCCUE K F, ALTENBACH S B, et al. Effect of temperature on expression of genes encod-

- ing enzymes for starch biosynthesis in developing wheat endosperm[J]. *Plant Science*, 2003, 164(5): 873. DOI: [10.1016/S0168-9452\(03\)00076-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00076-1).
- [14] 张兴梅, 何淑平, 王伟利, 等. 施氮量对强筋春小麦氮素代谢、产量和品质的影响[J]. *麦类作物学报*, 2006, 26(5): 130. DOI: [10.3969/j.issn.1009-1041.2006.05.029](https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-1041.2006.05.029).
- [15] 武际, 郭熙盛, 王允青, 等. 氮钾配施对弱筋小麦氮、钾养分吸收利用及产量和品质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(6): 1054. DOI: [10.3321/j.issn:1008-505x.2007.06.011](https://doi.org/10.3321/j.issn:1008-505x.2007.06.011).
- [16] 张敏, 赵城, 刘希伟, 等. 施氮量对糯小麦和非糯小麦籽粒淀粉组分与理化特性的影响[J]. *麦类作物学报*, 2017, 37(6): 786.
- [17] 单玉琳, 张国权, 罗勤贵, 等. 小麦淀粉的粒度分布、组分及糊化特性对氮硫肥的响应[J]. *麦类作物学报*, 2012, 32(1): 60.
- [18] 何照范. 粮油籽粒品质及其分析技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1985.
- [19] 戴忠民. 小麦强、弱勢籽粒中淀粉粒度分布特征[J]. *河南农业科学*, 2008, 37(9): 23. DOI: [10.15933/j.cnki.1004-3268.2008.09.013](https://doi.org/10.15933/j.cnki.1004-3268.2008.09.013).
- [20] 蔡瑞国, 尹燕枰, 张敏, 等. 氮素水平对藁城 8901 和山农 1391 籽粒品质的调控效应[J]. *作物学报*, 2007, 33(2): 304. DOI: [10.3321/j.issn:0496-3490.2007.02.020](https://doi.org/10.3321/j.issn:0496-3490.2007.02.020).
- [21] 李文阳, 尹燕枰, 时侠清, 等. 小麦籽粒 A、B 型淀粉粒淀粉构成与糊化特性的比较[J]. *华北农学报*, 2011, 26(1): 136.
- [22] 李文阳, 闫素辉, 王振林. 小麦胚乳 A、B 型淀粉粒的形成与生长特征及氮素调节[J]. *中国粮油学报*, 2016, 31(5): 22. DOI: [10.3969/j.issn.1003-0174.2016.05.005](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-0174.2016.05.005).
- [23] 顾锋, 蔡瑞国, 尹燕枰, 等. 优质小麦子粒淀粉组成与糊化特性对氮素水平的响应[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(1): 41.
- [24] 盛婧, 胡宏, 郭文善, 等. 施氮模式对皖麦 38 淀粉形成与产量的效应[J]. *作物学报*, 2004, 30(5): 507. DOI: [10.3321/j.issn:0496-3490.2004.05.019](https://doi.org/10.3321/j.issn:0496-3490.2004.05.019).

责任编辑: 何馨成