

不同供水条件对小麦强、弱势籽粒中 淀粉粒度分布的影响

戴忠民^{1,2}, 尹燕枰², 郑世英¹, 蔡瑞国³, 顾 锋², 闫素辉², 李文阳², 王振林^{2,*}

(1. 德州学院生物系, 山东德州 253023; 2. 山东农业大学农学院作物生物学国家重点实验室/

农业部小麦栽培生理与遗传改良重点开放实验室, 山东泰安 271018; 3. 河北科技师范学院, 河北昌黎 066600)

摘要:以 3 个淀粉含量不同的冬小麦品种山农 12、鲁麦 21 和济南 17 为材料, 设灌溉和旱作 2 种栽培处理, 对不同水分条件下小麦强、弱势籽粒中淀粉粒的体积、数目和表面积分布特征进行了研究。结果表明, 小麦强、弱势籽粒均含有 A ($>9.8 \mu\text{m}$)、B ($2.0 \sim 9.8 \mu\text{m}$)、C ($<2.0 \mu\text{m}$) 3 种类型的淀粉粒, 但不同类型淀粉粒的分布状况存在明显差异。在强势籽粒中, 淀粉粒的体积和表面积分布均表现为三峰分布, 而弱势籽粒中淀粉粒的体积和表面积分布则表现为双峰分布。与弱势粒相比较, 强势粒中 C 型淀粉粒 ($<2.0 \mu\text{m}$) 的体积百分比为 7.25% ~ 9.31%, 表面积百分比为 34.88% ~ 41.51%, 而弱势粒的体积和表面积百分比分别为 5.33% ~ 6.40% 和 26.31% ~ 33.54%。强、弱势籽粒中 $<0.6 \mu\text{m}$ 和 $0.6 \sim 2.0 \mu\text{m}$ 范围内的淀粉粒数目存在明显差异, 强势粒为 1.86% ~ 6.13% 和 83.77% ~ 87.77%, 而弱势粒为 25.72% ~ 37.42% 和 52.77% ~ 58.48%。与灌溉栽培相比较, 旱作栽培条件下籽粒中 B、C 型淀粉粒体积和表面积百分比显著增加, 而 A 型淀粉粒体积和表面积显著减少; 弱势粒中 $<0.6 \mu\text{m}$ 的淀粉粒数目显著增加, 强势籽粒中淀粉粒的数目无显著变化。与弱势粒相比较, 强势粒中的蛋白质含量较高, C 型淀粉粒的体积和表面积所占比例较大, 而强势粒中的淀粉含量较低, 且 A、B 型淀粉粒比例也较小。与灌溉栽培相比较, 旱作栽培条件下强、弱势籽粒中 B、C 型淀粉粒体积和表面积百分比增加, 蛋白质含量也显著增加, 淀粉含量降低。表明水分亏缺能提高籽粒中 B、C 型淀粉粒体积和表面积百分比及蛋白质含量。

关键词:小麦; 淀粉; 粒度; 强势粒; 弱势粒

文章编号: 1000-0933(2009)12-6534-10 中图分类号: S512 文献标识码: A

Effect of water regime on starch granule size distribution in superior and inferior grains of wheat

DAI Zhong-Min^{1,2}, YIN Yan-Ping², ZHENG Shi-Ying¹, CAI Rui-Guo³, GU Feng², YAN Su-Hui², LI Wen-Yang², WANG Zhen-Lin^{2,*}

1 Department of Biology, Dezhou College, Dezhou 253023, China

2 National Key Laboratory of Crop Biology, Agronomy College of Shandong Agricultural University / Key Laboratory of Wheat Cultivation Physiology and Genetic Improvement, Ministry of Agriculture, Tai'an 271018, China

3 Hebei Normal University of Science and Technology, Changli 066600, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(12): 6534 ~ 6543.

Abstract: The present study was carried out to investigate the starch granule size distribution in grains of wheat. This information will help to elucidate the characterization of starch granule in the superior and inferior gains in winter wheat. The volume%, surface area% and number% distribution of starch granules were investigated in three winter wheat cultivars (Shannong12, Lumai21 and Jinan17), differing in starch content, in Tai'an experimental location in Shandong Province during the 2004 — 2006 growing season. The results showed that both superior and inferior grains contained three types of

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30571099); 国家重点基础研究发展计划 973 资助项目(2009CB118602); 山东省自然科学基金资助项目(Y2008D40, Y2005D13); 德州学院科研基金资助项目(07rc009); 山东省教育厅科技计划资助项目(J08LF52)

收稿日期: 2008-08-10; 修订日期: 2009-03-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zlwang@sdaa.edu.cn

starch granules; smaller C-type granules with diameters $<2.0\ \mu\text{m}$, medium B-type granules with diameters $2.0\text{--}9.8\ \mu\text{m}$ and large A-type granules with diameters $>9.8\ \mu\text{m}$ at maturity. Both volume% distribution and surface area% distribution of starch granules in superior grains showed the typical three populations, and those in inferior grains exhibited the two peak curve. The volume% and surface area% of starch granules with the ranges of $<2.0\ \mu\text{m}$ in superior grains were 7.25%—9.31% and 34.88%—41.51%, respectively, and those in inferior grains were 5.33%—6.40% and 26.31%—33.54%. Significant differences were seen among the superior and inferior grains for number% of starch granules with the ranges of $<0.6\ \mu\text{m}$ and $0.6\text{--}2.0\ \mu\text{m}$. The number% in inferior grains was 25.72%—37.42% and 52.77%—58.48%, and that in superior grains was 1.86%—6.13% and 83.77%—87.77%, respectively. Compared with irrigation, the volume% and surface area% of B, C-type starch granules were significantly increased, and those of A-type were evidently decreased. The number% of starch granules with the ranges of $<0.6\ \mu\text{m}$ in inferior grains under rainfed condition was significantly increased, and that in superior grains had no evident difference. The volume percentage and surface area percentage of C granules and protein content in superior grains were higher than that in inferior grains, but those of A, B granules in superior grains were lower than that in inferior grains. Compared with irrigated condition, rainfed condition can increase the volume percentage and surface area percentage of B, C granules and protein content in superior and inferior grains.

Key Words: wheat (*Triticum aestivum* L.); starch; granule size; superior grains; inferior grain

淀粉在小麦籽粒胚乳中以淀粉颗粒的形式存在,淀粉粒形态、体积、结构是小麦淀粉品质的重要决定因素。不同类型小麦籽粒中的淀粉粒,其数量、体积和淀粉组成是不同的^[1,2]。关于小麦胚乳中淀粉粒的粒径分布、化学组成和功能特性已进行了许多研究。一般认为,成熟期小麦胚乳主要含有 A、B 两种类型的淀粉粒^[3-6]:直径 $10\sim35\ \mu\text{m}$ 、呈透镜状的 A 型淀粉粒和直径小于 $10\ \mu\text{m}$ 、呈球形或多边形的 B 型淀粉粒。小麦 A、B 型淀粉粒的发育、化学组成和功能特性都存在着差异。A 型淀粉粒于花后 4~5d 在淀粉体中形成,而 B 型淀粉粒开始于花后 12~14d 的 A 型淀粉体的基质中,在籽粒发育的后期释放到细胞质中。A 型淀粉粒占小麦胚乳总淀粉粒数量的 3%,但却占胚乳淀粉重量的 70% 以上;B 型淀粉粒占总淀粉粒数量的 90% 以上,但只占成熟小麦胚乳总重的 25%~30%^[7,8]。B 型淀粉粒体积小,表面积相对增加,从而可以结合更多的蛋白质、直链淀粉、脂类和水,B 型淀粉粒增多,面团吸水率提高,而 A 型淀粉粒作用相反,因此淀粉粒大小分布的改变对面团流变学特性有重大影响^[9]。研究表明,不同粒径大小的淀粉粒比例对淀粉的糊化与回生特性有显著影响,进而影响了小麦面粉的加工品质^[10]。小麦籽粒中淀粉粒的粒级分布属数量性状,既与基因型密切相关,同时还受生态环境的影响。灌浆早期高温降低小淀粉粒比例而提高了大淀粉粒比例。温差对淀粉粒的分布亦有影响^[11,12]。关于小麦籽粒中淀粉粒的粒度分布已有较多的研究,但关于小麦强、弱势籽粒中淀粉粒的粒度分布特征及与水分的关系,迄今了解尚少。为此,本研究以 3 个淀粉含量不同的小麦品种为试验材料,在灌溉和旱作 2 种栽培条件下研究了其强、弱势籽粒中淀粉粒的分布特征及与水分的关系,以为小麦加工品质的改善提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

以淀粉含量不同的 3 个小麦品种山农 12(SN12, 淀粉含量 64.2%)、济南 17(JN17, 淀粉含量 62.5%)和鲁麦 21(LM21, 淀粉含量 67.8%)为试验材料,于 2004~2006 年在山东农业大学泰安试验农场进行。2004~2005 年选用小麦品种山农 12 为试验材料,试验点 0~20cm 耕层土壤速效氮、速效磷、速效钾含量分别为 71.5 、 $12.5\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $80.5\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。2005~2006 年选用济南 17 和鲁麦 21 为材料,试验点 0~20cm 土壤速效氮、速效磷、速效钾含量分别为 81.7 、 $17.4\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $92.1\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。播种前按 $\text{N}\ 11.2\ \text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5\ 12\ \text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $\text{K}_2\text{O}\ 11.2\ \text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 作基肥,在小麦拔节期追施 $\text{N}\ 11.2\ \text{g}\cdot\text{m}^{-2}$,试验设 2 种栽培条件,其一为灌溉栽培,即小麦全生育期灌水包括越冬水、拔节水和灌浆水;每次灌水量为 $750\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$;其二是旱作栽培,即小麦全生育

期不浇水。其余田间管理措施同一般高产麦田。试验小区面积 9 m², 随机区组排列, 重复 3 次。各小区基本苗 180 株·m⁻²。成熟期供试品种的籽粒产量性状见表 1, 小麦生育期内平均气温和降雨量状况见图 1, 籽粒形成与灌浆成熟期间土壤水分状况见图 2。

表 1 成熟期供试品种的籽粒产量性状
Table 1 Grain yield characters of tested cultivars at maturity

年份 Year	品种 Varieties	处理 Treatment	穗数 Spike number (spike m ⁻²)	穗粒数 Grain number (grain spike ⁻¹)	粒重 Kernel weight (mg grain ⁻¹)	结实率 Seed-setting Rate(%)	穗长 Spike length (cm)
2005 ~ 2006	JN17	灌溉 Irrigated	731.0 a	30.2 c	39.3 b	67.4 ab	8.2 bc
		旱作 Rainfed	637.0 b	27.9 d	43.7 a	63.2 c	8.6 b
	LM21	灌溉 Irrigated	527.0 c	41.6 a	39.5 b	68.5 a	7.8 c
		旱作 Rainfed	495.0 d	36.9 b	44.1 a	67.1 ab	9.6 a
2004 ~ 2005	SN12	灌溉 Irrigated	518.0 a	37.5 a	42.7 b	68.1 a	10.3 a
		旱作 Rainfed	457.0 b	37.3 a	44.9 a	67.3 a	10.7 a

不同字母表示差异达到 0.05 显著水平 Means followed by a different letter within columns are significantly different at 0.05 probability level

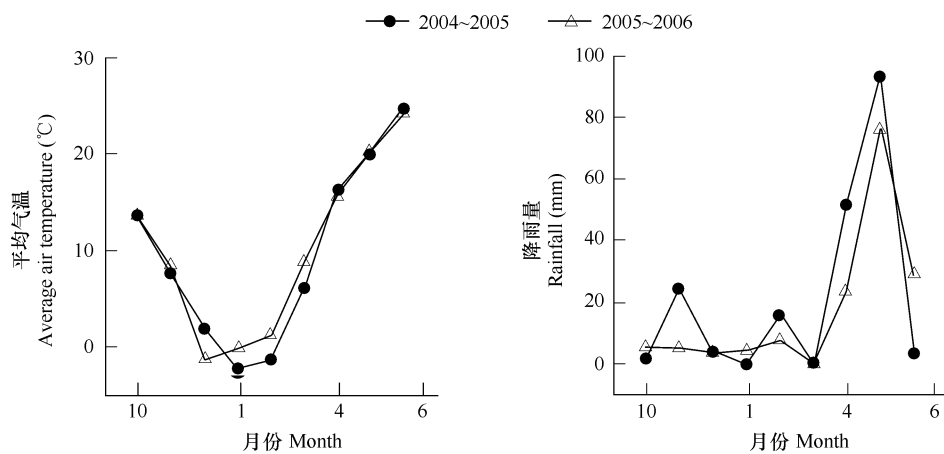


图 1 小麦生长期间的平均气温和降雨量状况
Fig. 1 The average air temperature and rainfall during wheat growth

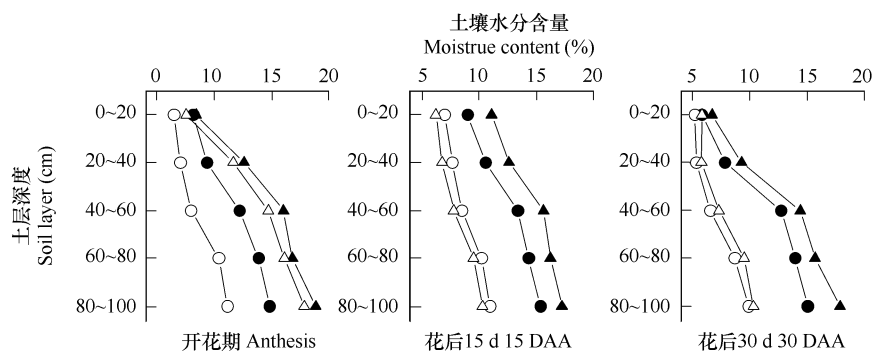


图 2 花后土壤水分状况
Fig. 2 The soil moisture after anthesis

于开花期选择开花、生长一致的主茎挂牌, 成熟期取样, 用于蛋白质、淀粉含量及淀粉粒径的测定。强、弱勢粒的划分参照 Jiang^[13] 的方法。济南 17 中部小穗有 3 个籽粒, 其中 1、2 位籽粒为强势粒, 第 3 位籽粒为弱勢粒, 山农 12 和鲁麦 21 中部小穗有 4 个籽粒, 其中 1、2 位籽粒为强势粒, 第 4 位籽粒为弱勢粒。

1.2 淀粉粒提取及测定

参照 Peng^[14] 和 Malouf^[15] 的方法。取 5.0 g 小麦籽粒在 0.5 mol L⁻¹ NaCl 溶液 40 ml 中浸泡 16 h,在研钵中研磨、匀浆,再用 74 μm 筛布过滤,固体部分继续研磨过滤,重复 3 次。淀粉匀浆在 3500 × g 下离心 5 min,去上清液,加入 2 mol L⁻¹ NaCl 5ml,旋涡混合,匀浆在 3500 × g 下再离心,去上清液,然后分别加入 2% SDS 和蒸馏水清洗,匀浆后再离心,重复 4 次,再用丙酮清洗 1 次,然后风干,贮存于 -20℃ 下。

淀粉粒分析用贝克曼库尔特公司的 LS 13320 激光衍射粒度分析仪测定。取 50 mg 淀粉放入离心管中,加 5 ml 蒸馏水悬浮,旋涡混匀后置于 4℃ 1 h,每 10 min 振荡 1 次,然后转移至激光衍射粒度分析仪的分散盒中,测量其分布状况。

1.3 淀粉及蛋白质含量测定

参照何照范^[16] 的方法。

2 结果与分析

2.1 小麦强、弱势籽粒中淀粉粒的体积分布

2 种栽培条件下,小麦强、弱势籽粒的体积分布均存在明显区别(表 2,图 3 ~ 图 5)。强势籽粒呈 3 峰分布,峰值分别出现在 1.5 ~ 1.8,5.1 ~ 6.8μm 和 20.7 ~ 27.4μm,其中 <2μm 的淀粉粒为 C 型淀粉粒,2.0 ~ 9.8μm 的

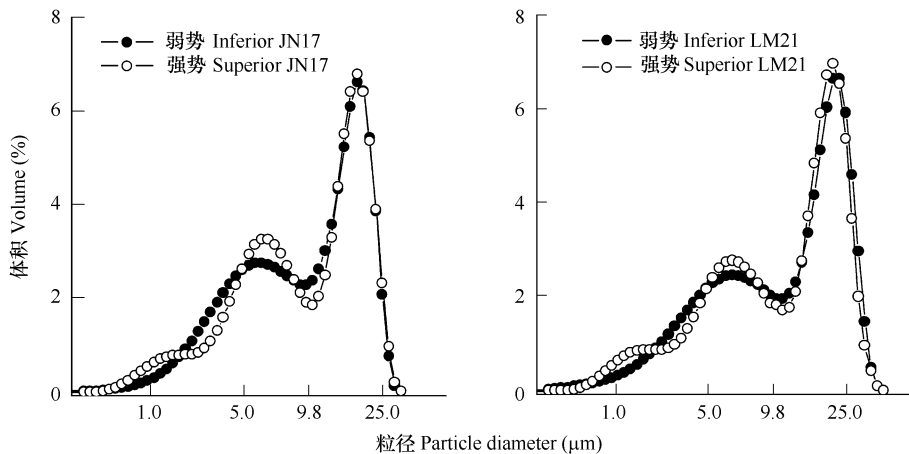


图3 灌溉栽培条件下小麦强势粒和弱势粒中淀粉粒的体积分布(2005~2006年)
Fig. 3 Volume distribution of wheat starch granules in superior and inferior grains under irrigated condition (2005—2006)

表2 小麦淀粉粒的体积分布
Table 2 Volume distribution of wheat starch granule (%)

年份 Year	处理 Treatment	品种 Varieties	淀粉粒直径 Diameter of starch granule (μm)		
			<2.0	2.0~9.8	>9.8
2005~2006	旱作 Rainfed	JN17 强势 Superior	8.01 a	39.98 ab	52.01 f
		JN17 弱势 Inferior	6.02 c	40.44 a	53.54 e
		LM21 强势	7.63 ab	35.20 e	57.17 c
		LM21 弱势	6.35 c	36.22 d	57.43 c
	灌溉 Irrigated	JN17 强势	7.25 b	38.70 c	54.05 e
		JN17 弱势	5.60 d	39.34 b	55.06 d
		LM21 强势	7.26 b	33.51 fg	59.23 b
		LM21 弱势	5.33 d	34.08 f	60.59 a
2004~2005	旱作	SN12 强势	9.31 a	36.33 ab	54.36 d
	Rainfed	SN12 弱势	6.40 c	37.18 a	56.42 c
	灌溉	SN12 强势	8.30 b	30.92 cd	60.78 b
	Irrigated	SN12 弱势	5.53 d	31.63 c	62.84 a

不同字母表示差异达到 0.05 显著水平 Means followed by a different letter within columns are significantly different at 0.05 probability level

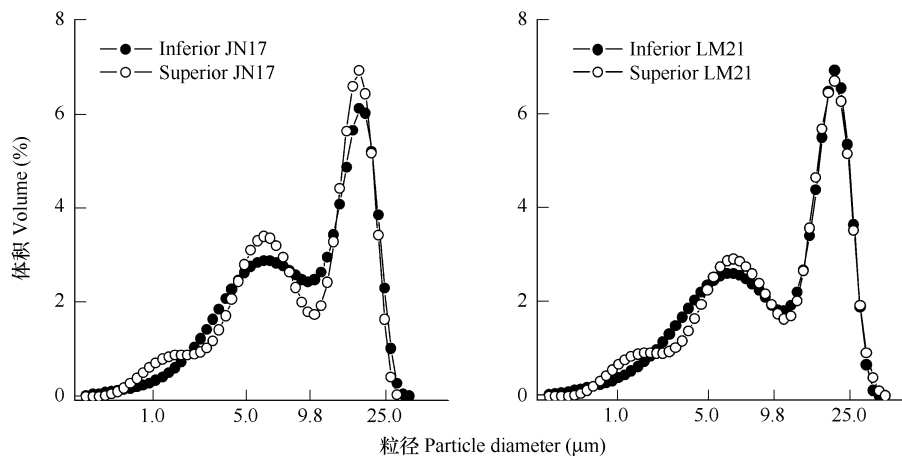


图4 旱作栽培条件下小麦强势粒和弱势粒中淀粉粒的体积分布 (2005 ~ 2006 年)

Fig. 4 Volume distribution of wheat starch granules in superior and inferior grains under rainfed condition (2005 – 2006)

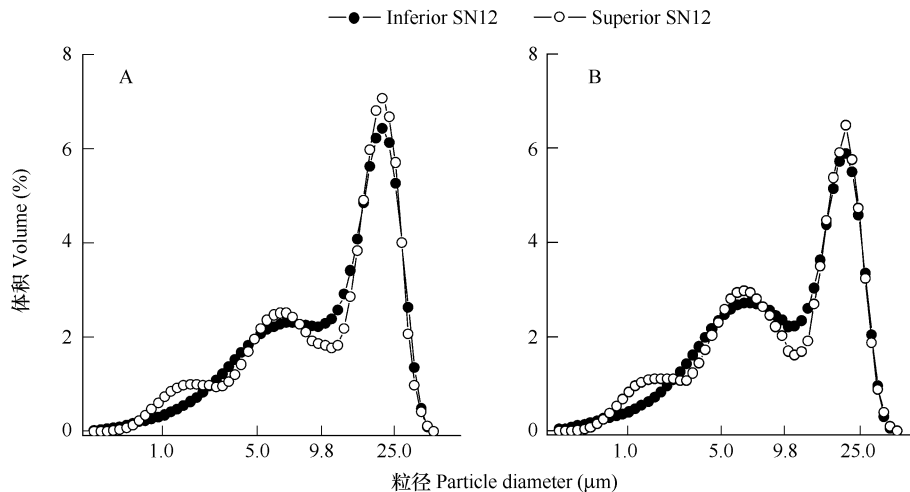


图5 灌溉(A)和旱作(B)栽培条件下小麦强势粒和弱势粒中淀粉粒的体积分布 (2004 ~ 2005 年)

Fig. 5 Volume distribution of wheat starch granules in superior and inferior grains under irrigated (A) and rainfed (B) condition (2004 – 2005)

淀粉粒为B型淀粉粒, $>9.8\mu\text{m}$ 的淀粉粒为A型淀粉粒;而弱势籽粒呈双峰分布,峰值分别出现在 $4.7 \sim 6.2$ 和 $20.7 \sim 30.1\mu\text{m}$ 。不同栽培条件下,强势粒中 $<2\mu\text{m}$ 的淀粉粒体积百分比为 $7.25\% \sim 9.31\%$,均显著高于弱势粒 ($5.33\% \sim 6.40\%$)。而弱势粒中 $2 \sim 9.8\mu\text{m}$ 和 $>9.8\mu\text{m}$ 的淀粉粒体积百分比则明显高于强势粒。表明强势粒中C型淀粉粒体积所占比例较大,而弱势粒则具有较高的A、B型淀粉粒体积百分比。

与灌溉栽培相比较,旱作栽培条件下3个品种强、弱势籽粒 $<2\mu\text{m}$ 和 $2.0 \sim 9.8\mu\text{m}$ 的淀粉粒体积百分比显著增加,而 $>9.8\mu\text{m}$ 的淀粉粒体积百分比显著减少,表明旱作栽培有利于提高小麦籽粒中B、C型淀粉粒的体积百分比。

2.2 小麦强、弱势籽粒中淀粉粒的数目分布

由表3可以看出, $<2.0\mu\text{m}$ 的淀粉粒数目百分比范围为 $84.35\% \sim 91.53\%$, B型淀粉粒为 $8.35\% \sim 15.57\%$,而A型淀粉粒仅占淀粉粒总数的 $0.10\% \sim 0.23\%$,表明小麦籽粒中的淀粉粒主要为C型淀粉粒。2种栽培条件下,3个小麦品种强、弱势籽粒中A、B型淀粉粒的数目差别不明显,但C型淀粉粒数目百分比存在明显差异,强势籽粒中 $<0.6\mu\text{m}$ 的淀粉粒数目所占比例较小,为 $1.86\% \sim 6.13\%$,弱势粒中其比例较大,为 $25.72\% \sim 37.42\%$,而强势粒在 $0.6 \sim 2.0\mu\text{m}$ 范围内的淀粉粒数目较多,为 $83.77\% \sim 87.77\%$,弱势粒仅为

52.77% ~ 58.48%,表明弱势粒比强势粒含有更多的小淀粉粒。

与灌溉栽培方式相比较,旱作栽培能引起弱势粒中淀粉粒数目百分比的显著变化。旱作栽培条件下,弱势粒中 <0.6 μm 的淀粉粒数目百分比显著增加,SN12、JN17 和 LM21 3 个品种分别增加了 8.41%、9.00% 和 39.97%,但 0.6 ~ 2.0 μm 、2.0 ~ 9.8 μm 和 >9.8 μm 的淀粉粒数目百分比显著减少,分别减少了 2.51% ~ 9.76%、3.36% ~ 30.19% 和 25.00% ~ 33.55%。表明弱势粒中的淀粉粒数目易受环境胁迫的影响,水分亏缺导致其 A、B 型淀粉粒和部分 C 型淀粉粒数目百分比显著减少。

表 3 小麦淀粉粒的数目分布

Table 3 Number distribution of wheat starch granule (%)

年份 Year	处理 Treatment	品种 Varieties	淀粉粒直径 Diameter of starch granule (μm)			
			<0.6	0.6 ~ 2.0	2.0 ~ 9.8	>9.8
2005 ~ 2006	旱作 Rainfed	JN17 强势 Superior	5.68 e	84.39 b	9.8 d	0.15 b
		JN17 弱势 Inferior	36.21 b	52.77 e	10.87 b	0.16 b
		LM21 强势	1.86 f	87.77 a	10.21 c	0.16 b
		LM21 弱势	37.41 a	53.58 e	8.88 e	0.12 c
	灌溉 Irrigated	JN17 强势	6.13 e	83.77 b	9.95 d	0.17 b
		JN17 弱势	25.87 d	58.48 c	15.57 a	0.23 a
		LM21 强势	1.86 f	87.76 a	10.21 c	0.17 b
		LM21 弱势	34.32 c	54.96 d	10.64 b	0.16 b
2004 ~ 2005	旱作	SN12 强势	4.08 c	86.83 ab	8.97 a	0.10 b
	Rainfed	SN12 弱势	36.62 a	54.91 d	8.35 ab	0.10 b
	灌溉	SN12 强势	3.84 d	87.33 a	8.68 ab	0.10 b
	Irrigated	SN12 弱势	33.78 b	57.42 c	8.64 ab	0.16 a

不同字母表示差异达到 0.05 显著水平 Means followed by a different letter within columns are significantly different at 0.05 probability level

2.3 小麦强、弱势籽粒淀粉粒的表面积分布

同体积分布类似,强势粒中淀粉粒的表面积呈 3 峰分布,弱势粒则表现为双峰分布(图 6 ~ 8),不同栽培条件下,强势粒中 <2 μm 的淀粉粒表面积百分比为 34.88% ~ 41.51%,均显著高于其在弱势粒中的百分比含量(26.31% ~ 33.54%)。而 2.0 ~ 9.8 μm 和 >9.8 μm 的淀粉粒表面积分别占总表面积的 41.47% ~ 48.5% 和 14.44% ~ 17.67%,明显低于弱势粒中 2 种淀粉粒的表面积百分比(47.37% ~ 55.48% 和 16.56% ~ 20.50%)。表明强势粒中 C 型淀粉粒表面积所占比例较大,而弱势粒则具有较高的 A、B 型淀粉粒表面积百分比(表 4)。

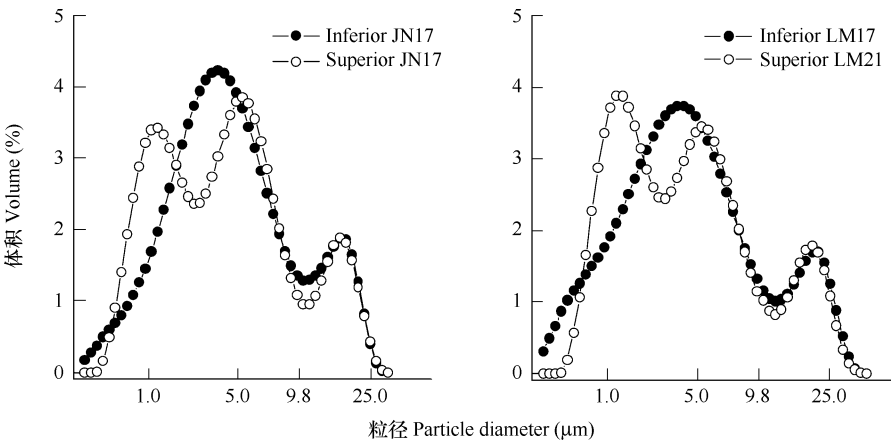


图 6 灌溉栽培条件下小麦强势粒和弱势粒中淀粉粒的表面积分布(2005 ~ 2006 年)

Fig. 6 Surface area distribution of wheat starch granules in superior and inferior grains under irrigated condition (2005 - 2006)

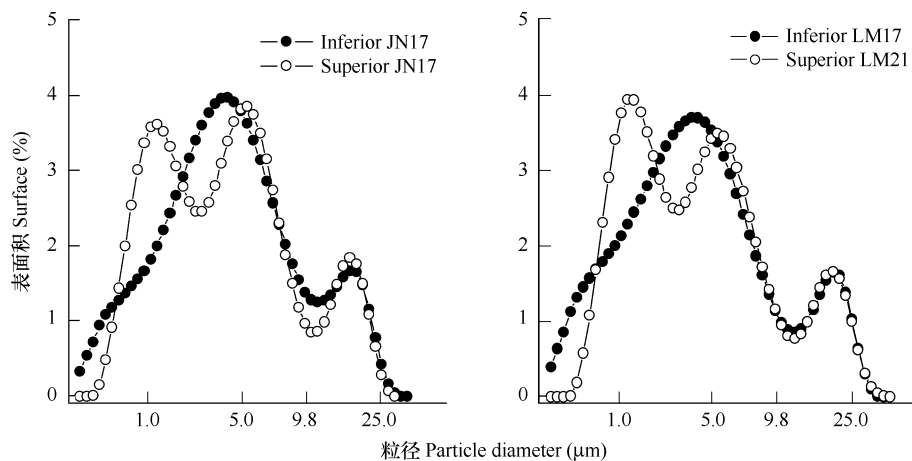


图7 旱作栽培条件下小麦强势粒和弱势粒中淀粉粒的表面积分布 (2005 ~ 2006 年)

Fig. 7 Surface area distribution of wheat starch granules in superior and inferior grains under rainfed condition (2005 – 2006)

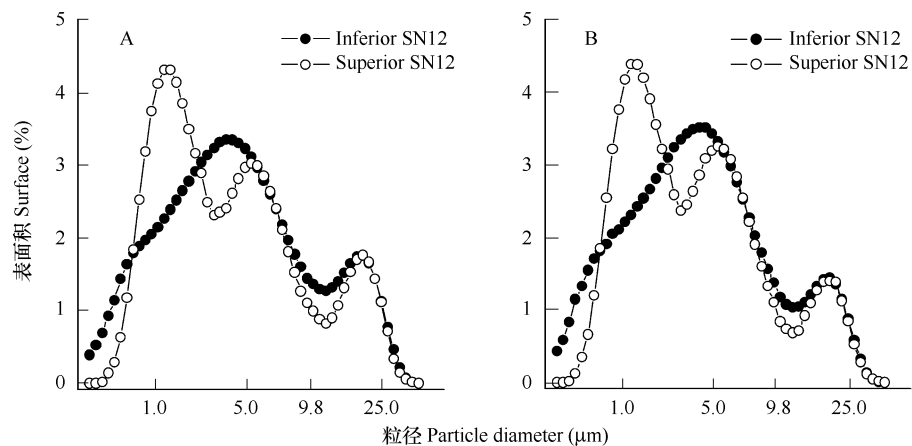


图8 灌溉 (A) 和旱作 (B) 栽培条件下小麦强势粒和弱势粒中淀粉粒的表面积分布 (2004 ~ 2005 年)

Fig. 8 Surface area distribution of wheat starch granules in superior and inferior grains under irrigated (A) and rainfed (B) condition (2004 – 2005)

表4 小麦淀粉粒的表面积分布

Table 4 Surface area distribution of wheat starch granule (%)

年份 Year	处理 Treatment	品种 Varieties	淀粉粒直径 Diameter of starch granule (μm)		
			<2.0	2.0 ~ 9.8	>9.8
2005 ~ 2006	旱作 Rainfed	JN17 强势	36.46 b	48.22 e	15.32 e
		JN17 弱势	29.39 e	53.63 b	16.98 c
		LM21 强势	37.21 a	46.27 f	16.52 d
		LM21 弱势	33.19 d	50.25 d	16.56 d
	灌溉 Irrigated	JN17 强势	34.88 c	48.5 e	16.62 cd
		JN17 弱势	26.31 f	55.48 a	18.21 ab
		LM21 强势	36.7 ab	45.63 f	17.67 b
		LM21 弱势	29.66 e	51.48 c	18.86 a
2004 ~ 2005	旱作	SN12 强势	41.51 a	44.05 c	14.44 d
	Rainfed	SN12 弱势	33.54 c	49.74 a	16.72 bc
	灌溉	SN12 强势	40.95 ab	41.47 d	17.58 b
	Irrigated	SN12 弱势	32.13 d	47.37 b	20.50 a

不同字母表示差异达到 0.05 显著水平 Means followed by a different letter within columns are significantly different at 0.05 probability level

不同灌溉方式对小麦淀粉粒的表面积分布有不同的影响,旱作栽培条件下 3 个品种强、弱势籽粒 $< 2.0\mu\text{m}$ 的淀粉粒表面积百分比显著增加,而 $> 9.8\mu\text{m}$ 的淀粉粒表面积显著减少,表明旱作栽培能显著提高小麦籽粒中 C 型淀粉粒的表面积百分比,而降低 A 型淀粉粒的表面积百分比。

2.4 小麦强、弱势籽粒蛋白质和淀粉含量的变化

2 种栽培条件下,小麦强、弱势籽粒的蛋白质和淀粉含量均存在明显区别(表 5)。3 个品种的强势粒蛋白质含量均高于弱势粒,而除灌溉栽培条件下鲁麦 21 外,弱势粒中的淀粉含量则高于强势粒。表明强势粒一般具有较高的蛋白质含量和较低的淀粉含量,而弱势粒则相反。

与灌溉栽培相比较,旱作栽培条件下 3 个品种强、弱势籽粒中的蛋白质含量均显著增加,而淀粉含量则减少,表明旱作栽培有利于提高小麦籽粒中的蛋白质含量,而灌溉栽培则有利于淀粉含量的增加。

表 5 小麦籽粒蛋白质和淀粉含量的变化
Table 5 Changes of protein and starch content in wheat grains

年份 Year	处理 Treatment	品种 Varieties	直链淀粉含量 Amylose content(%)	淀粉含量 Starch content(%)	蛋白质含量 Protein content(%)
2005 ~ 2006	旱作 Rainfed	JN17 强势	16.13 c	60.01 e	15.67 a
		JN17 弱势	17.51 b	62.68 d	14.36 b
		LM21 强势	17.41 b	66.99 ab	13.12 c
		LM21 弱势	16.28 c	67.73 ab	12.43 cd
	灌溉 Irrigated	JN17 强势	17.51 b	62.54 d	13.12 c
		JN17 弱势	16.39 c	64.57 c	11.24 de
		LM21 强势	18.43 a	68.90 a	12.06 d
		LM21 弱势	17.64 b	67.60 ab	10.78 e
2004 ~ 2005	旱作	SN12 强势	18.15 ab	61.26 cd	16.02 a
	Rainfed	SN12 弱势	17.36 b	63.01 c	14.28 b
	灌溉	SN12 强势	18.62 a	65.66 ab	13.84 bc
	Irrigated	SN12 弱势	17.63 b	66.82 a	12.95 c

不同字母表示差异达到 0.05 显著水平 Means followed by a different letter within columns are significantly different at 0.05 probability level

3 讨论

一般认为,小麦淀粉的粒径分布呈双峰曲线^[4],在成熟期,小麦含有两种类型的淀粉粒:大的 A 型淀粉粒($> 10\mu\text{m}$)和小的 B 型淀粉粒($< 10\mu\text{m}$)。然而,Bechtel 利用定量图像分析结合暗视野显微镜得到了淀粉粒径的三峰分布^[17]。在三峰分布中,除了 A、B 型淀粉粒外,C 型淀粉粒也得到了辨别。成熟期 C 型淀粉粒的直径小于 $5\mu\text{m}$,分别占总淀粉粒数目和重量的 45.7% 和 3.4%。Raeker 也报道了在小麦胚乳中有类似的三峰粒径分布,但 A、B、C 型淀粉粒的分界点是 $2.8\mu\text{m}$ 和 $9.9\mu\text{m}$ ^[7]。在本研究中,成熟期小麦强、弱势籽粒的淀粉粒径存在显著差异,强势粒中淀粉粒的体积和表面积分布呈三峰分布,A、B、C 型淀粉粒的分界点是 $2.0\mu\text{m}$ 和 $9.8\mu\text{m}$;而弱势粒淀粉的粒径分布则表现为双峰分布。其原因可能是小麦强、弱势籽粒在胚乳细胞发育^[18],内源激素水平^[19]以及淀粉合成相关酶活性^[20,21]等方面有显著不同。在小麦胚乳中,A、B、C 型淀粉粒的发育顺序存在区别,A 型淀粉粒始于花后 4 ~ 5d,B 型淀粉粒开始于花后 12 ~ 14d 的 A 型淀粉体中,而 C 型淀粉粒则于花后 21d 开始合成^[17],由于强势粒中的各种激素水平和淀粉合成相关酶活性均高于弱势粒,有利于光合产物的运输及其在籽粒内的转化和积累,因而具有更强的淀粉合成能力,从而可能使小淀粉粒(C 型淀粉粒)得到充分的发育和生长,最终表现为三峰分布。在本研究中,与弱势粒相比较,强势粒中 C 型淀粉粒所占体积和表面积百分比比较高,其中 $0.6 \sim 2\mu\text{m}$ 范围的淀粉粒数目较多,而 $< 0.6\mu\text{m}$ 的淀粉粒数目百分比较低,其原因可能是由于强势粒中 C 型淀粉粒的合成能力较强造成的。

关于水分匮乏对小麦淀粉粒发育和品质特性的影响已进行了许多研究。水分胁迫条件下,A、B、C 型淀粉粒的粒度分布因品种和水分处理时期的不同而变化,直链淀粉含量、糊化温度降低,而峰值黏度和最终黏度

则提高^[22,23]。在本研究中,不同栽培条件对籽粒中淀粉粒的粒度分布有明显影响,与灌溉栽培相比较,旱作栽培条件下 2 个品种强、弱势籽粒中 B、C 型淀粉粒体积和表面积百分比显著增加,而 A 型淀粉粒体积和表面积显著减少。其原因可能与旱作栽培能明显提高籽粒灌浆速率和灌浆前期籽粒淀粉合成相关酶的活性有关^[24]。旱作栽培对强势籽粒中淀粉粒的数目分布没有明显影响,但弱势粒中 $<0.6\mu\text{m}$ 的淀粉粒数目显著增加,而其他粒径范围淀粉粒的数目明显减少,说明水分亏缺对籽粒淀粉粒数目的调控主要是通过弱势粒实现的。

前人的研究表明,在小麦和水稻强、弱势籽粒中,淀粉含量、蛋白质含量、淀粉积累量和品质等指标均存在明显差异,但研究结果并不一致^[20,25,26]。蔡一霞等对 2 个水稻品种的研究表明,与弱势粒相比较,强势粒的直链淀粉含量较高,而蛋白质含量较低;赵俊晔则认为,小麦强势粒具有较高的蛋白质含量。在本研究中,除灌溉处理品种 LM21 的强势粒具有较高的蛋白质和淀粉含量外,其他处理的品种均表现为强势粒的蛋白质含量较高,而淀粉含量较低。这可能是由于强势粒获取同化产物的竞争能力强,不但有利于淀粉在胚乳中的积累,也有利于蛋白质含量的提高,从而使其淀粉和蛋白质积累量均高于弱势粒。

小麦 A、B 型淀粉粒不仅化学组成不同,其功能特性如凝胶、退化、糊化和烘焙特性也不同,从而使 A、B 型淀粉粒在食品加工以及非食品加工方面有着不同的应用价值^[27,28]。Gaines 等^[29]的研究表明,B 型淀粉粒体积小,表面积相对大,从而可以结合更多的蛋白质、脂类和水,而 A 型淀粉粒作用正相反。结合本研究结果可以看出,强势籽粒中 C 型淀粉粒的体积和表面积百分比比较高,蛋白质含量也较高,而弱势籽粒则相反。旱作栽培能提高小麦强、弱势籽粒中 B、C 型淀粉粒体积和表面积百分比,籽粒蛋白质含量也显著增加。表明小麦强、弱势籽粒中淀粉粒的数目、体积和表面积分布存在明显的不同,小淀粉粒可以结合更多的蛋白质和脂类,而大淀粉粒则相反,使小麦强、弱势籽粒具有不同的品质特性和用途。

4 结论

在灌溉和旱作 2 种栽培条件下,小麦强、弱势籽粒中淀粉粒的数目、体积和表面积分布均存在明显差异。与弱势粒相比较,强势籽粒中 C 型淀粉粒的体积和表面积百分比比较高,蛋白质含量较高,而 A、B 型淀粉粒体积和表面积百分比比较低。与灌溉栽培相比较,旱作栽培条件下籽粒中 B、C 型淀粉粒体积和表面积百分比显著增加,蛋白质含量也显著增加,而 A 型淀粉粒体积和表面积显著减少。表明小麦强、弱势籽粒中淀粉粒的分布特征影响籽粒蛋白质和淀粉含量等指标的变化。

References:

- [1] Buleon A, Colonna P, Planchot V, Ball S. Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 1998, 23(2): 85–112.
- [2] Wang T L, Bogacheva T Y, Hedley C L. Starch: as simple as A, B, C?. *Journal of Experimental Botany*, 1998, 49(320): 481–502.
- [3] Shinde S V, Nelson J E, Huber K C. Soft wheat starch pasting behavior in relation to A- and B-type granule content and composition. *Cereal Chemistry*, 2003, 80(1): 91–98.
- [4] Stoddard F L. Survey of starch particle-size distribution in wheat and related species. *Cereal Chemistry*, 1999, 76(1): 145–149.
- [5] Park S H, Wilson J D, Chung O K, Seib P A. Size distribution and properties of wheat starch granules in relation to crumb grain score of pup-loaf bread. *Cereal Chemistry*, 2004, 81(6): 699–704.
- [6] Bertolini A C, Souza E, Nelson J E, Huber K C. Composition and reactivity of A- and B-type starch granules of normal, partial waxy, and waxy wheat. *Cereal Chemistry*, 2003, 80(5): 544–549.
- [7] Raeker M Ö, Gaines C S, Finney P L, Donelson T. Granule size distribution and chemical composition of starches from 12 soft wheat cultivars. *Cereal Chemistry*, 1998, 75(5): 721–728.
- [8] Kim W, Choi S G, Kerr W L, Johnson J W, Gaines C S. Effect of heating temperature on particle size distribution in hard and soft wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 2004, 40(1): 9–16.
- [9] Sahlström S, Brathén E, Lea P, Autio K. Influence of starch granule size distribution on bread characteristics. *Journal of Cereal Science*, 1998, 28(2): 157–164.
- [10] Chiotelli E, Meste M L. Effect of small and large wheat starch granules on thermo mechanical behavior of starch. *Cereal Chem*, 2002, 79(2): 286–293.
- [11] Zhang C H, Jiang D, Dai T B, Jing Q, Cao W X. Advances in starch granule size distribution characteristics and its relationships with

- physiochemical characteristics of starch in wheat grain. *Journal of Triticeae Crops*, 2005, 25 (6): 130—133.
- [12] Wei C X, Zhang X Y, Zhang J, Xu B, Zhou W D, Xu R G. Isolation and properties of large and small starch grains of different types of wheat cultivars. *Journal of Triticeae Crops*, 2007, 27 (2): 255—260.
- [13] Jiang D, Cao W X, Dai T B, Jing Q. Activities of key enzymes for starch synthesis in relation to growth of superior and inferior grains on wheat spike. *Plant Growth Regulation*, 2003, 41(3): 247—257.
- [14] Peng M, Gao M. Separation and characterization of A- and B- type starch granules in wheat endosperm. *Cereal Chemistry*, 1999, 76(3): 375—379.
- [15] Malouf R B, Hoseney R C. Wheat hardness. I. A method to measure endosperm tensile strength using tablets made from wheat flour. *Cereal Chemistry*, 1992, 69(2): 164—168.
- [16] He Z F. *Analysis Technique for Grain Quality of Cereals and Oils*. Beijing: China Agriculture Press, 1985. 290—294.
- [17] Bechtel D, Zayas I, Kaleikau L, Pomeranz Y. Size-distribution of wheat starch granules during endosperm development. *Cereal Chemistry*, 1990, 67(1): 59—63.
- [18] Feng C N, Guo W S, Shi J S, Peng Y X, Zhu X K. Effect of high temperature after anthesis on endosperm cell development and grain weight in wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26 (4): 398—405.
- [19] Wang R Y, Yu Z W, Pan Q M, Xu Y M. Changes of endogenous plant hormone contents during grain development in wheat. *Acta Agron Sinica*, 1999, 25 (2): 227—231.
- [20] Jiang D, Yu Z W, Li Y G. Dynamic changes of enzyme activities involving in starch synthesis in superior and inferior grains of high-yield winter wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35 (4): 378—383.
- [21] Wu C, Shao G J, Lu W Y, Ma L J, Cui X F, Cao P, Hou X Y. Genetic analysis of grain filling rate in different growth stages of superior and inferior grains in rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 39 (6): 1135—1141.
- [22] Singh S, Singh G, Singh P, Singh N. Effect of water stress at different stages of grain development on the characteristics of starch and protein of different wheat varieties. *Food Chemistry*, 2008, 108(1): 130—139.
- [23] Saint Pierre C, Peterson C J, Ross A S, Ohm J B, Verhoeven M C, Larson M, Hoefer B. Winter wheat genotypes under different levels of nitrogen and water stress: Changes in grain protein composition. *Journal of Cereal Science*, 2008, 47(3): 407—416.
- [24] Dai Z M, Wang Z L, Gao F J, Li W Y, Yan S H, Cai R G, Zhang M, Yin Y P. Characterization of starch accumulation and activities of enzymes involved in starch synthesis in grains of wheat cultivars differing in spike types field-grown in irrigation and rainfed conditions. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33 (4): 682—685.
- [25] Zhao J Y, Yu Z W. Effects of nitrogen fertilizer rate on nitrogen metabolism and protein synthesis of superior and inferior wheat kernel. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38 (8): 1547—1554.
- [26] Cai Y X, Zhu Q S, Xu W, Wang W, Yang J C, Zhang Z J, Lang Y Z. Effects of water stress on the main characters of superior and inferior grains quality and the properties of RVA profile during grain-filling stage. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30 (3): 241—247.
- [27] Tester R F, Karkalas J, Qi X. Starch-composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 2004, 39(2): 151—165.
- [28] Lindeboom N, Chang P R, Tyler R T. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size with emphasis on small granule starches: a review. *Starch*, 2004, 56(3-4): 89—99.
- [29] Gaines C S, Raeker M O, Tilley M. Associations of starch gel hardness, granule size, waxy allelic expression, thermal pasting, milling quality, and kernel texture of 12 soft wheat cultivars. *Cereal Chem*, 2000, 77(2): 163—168.

参考文献:

- [11] 张传辉, 姜东, 戴廷波, 荆奇, 曹卫星. 小麦籽粒淀粉粒粒级分布特征及其与淀粉理化特性关系研究进展. *麦类作物学报*, 2005, 25 (6): 130~133.
- [12] 韦存虚, 张翔宇, 张军, 徐斌, 周卫东, 许如根. 不同类型小麦品种大、小淀粉粒的分离和特性. *麦类作物学报*, 2007, 27 (2): 255~260.
- [16] 何照范. *粮油籽粒品质及其分析技术*. 北京: 中国农业出版社, 1985. 290~294.
- [18] 封超年, 郭文善, 施劲松, 彭永欣, 朱新开. 小麦花后高温对籽粒胚乳细胞发育及粒重的影响. *作物学报*, 2000, 26 (4): 398~405.
- [19] 王瑞英, 于振文, 潘庆民, 许玉敏. 小麦籽粒发育过程中激素含量变化. *作物学报*, 1999, 25 (2): 227~231.
- [20] 姜东, 于振文, 李永庚. 高产小麦强势和弱势籽粒淀粉合成相关酶活性的变化. *中国农业科学*, 2002, 35 (4): 378~383.
- [21] 武翠, 邵国军, 吕文彦, 马莲菊, 崔鑫福, 曹萍, 侯秀英. 不同发育时期水稻强、弱势粒灌浆速率的遗传分析. *中国农业科学*, 2007, 39 (6): 1135~1141.
- [24] 戴忠民, 王振林, 高凤菊, 李文阳, 闫素辉, 蔡瑞国, 张敏, 尹燕坪. 两种供水条件下两穗型小麦品种籽粒淀粉积累及相关酶活性的变化特征. *作物学报*, 2007, 33 (4): 682~685.
- [25] 赵俊晔, 于振文. 施氮量对小麦强势和弱势籽粒氮素代谢及蛋白质合成的影响. *中国农业科学*, 2005, 38 (8): 1547~1554.
- [26] 蔡一霞, 朱庆森, 徐伟, 王维, 杨建昌, 张祖建, 郎有忠. 结实期水分胁迫对水稻强、弱势粒主要米质性状及淀粉粘滞谱特性的影响. *作物学报*, 2004, 30 (3): 241~247.