

糯小麦胚乳发育过程中淀粉粒形态变化及 A、B型淀粉粒的显微观察

鲁平 陈俊 吴媛媛 周健 郑文寅 张文明 姚大年*
(安徽农业大学 农学院/农业部黄淮南部小麦生物学与遗传育种重点实验室/
安徽省粮食作物协同创新中心,合肥 230036)

摘要 利用扫描电子显微镜对小麦胚乳发育过程中淀粉粒的形态和成熟胚乳中的A、B型淀粉粒进行观察。电子显微镜扫描结果显示,花后5~10 d,糯小麦胚乳中可见到一些体积较小的A型淀粉粒,10~15 d以A型淀粉粒数量增多和体积增大为主;B型淀粉粒在花后15 d已经形成,但此时B型淀粉粒的数量少;花后20 d—成熟前B型淀粉粒的数量和体积逐渐增长。糯小麦成熟籽粒胚乳中淀粉粒的直径分布为0.96~34.92 μm 。与普通小麦相比,糯小麦A型淀粉粒的形状较扁平;表面没有普通小麦光滑;B型淀粉粒的形状比普通小麦更无规则,且更容易发生聚集现象。另外,发现在A型淀粉粒上有许多孔洞;在5 000倍数下观察,发现这些孔洞结构从A型淀粉粒表面一直延伸到其内部。

关键词 糯小麦;淀粉;淀粉粒;扫描电子显微镜;显微观察

中图分类号 S 512

文章编号 1007-4333(2015)04-0029-07

文献标志码 A

Microscopic study of morphological changes of A and B type starch grains during the development of endosperm in waxy wheat

LU Ping, CHEN Jun, WU Yuan-yuan, ZHOU Jian,
ZHENG Wen-yin, ZHANG Wen-ming, YAO Da-nian*

(College of Agronomy/Key Laboratory of Wheat Biology and Genetic Breeding in Huang-huai Southern Areas of Ministry of Agriculture/Collaborative Innovation Center on Crops of Anhui Province, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract Scanning electron microscope(SEM) was used to investigate the morphologic changes of starch granule in developing endosperm and to observe A and B-type starch granules in mature wheat endosperm. SEM results showed that many small A-type starch were visible in waxy wheat endosperm,during 5-10 days after flowering,followed by an increase on starch granule size during 10-15 days,B-type starch granules were formed 15 days after pollination,but only a few B-type starch granules were detected at this point;The number and size of B-type starch granule increased gradually from the 20th day after pollination to maturity. The diameter of starch granules in mature grain endosperm of waxy wheat ranged from 0.96 μm to 34.92 μm . Compared with the common wheat,A-type starch granules of the waxy wheat were flatter and the surface of A-type starch granules was less smooth. The shapes of B-type starch granules were more irregular than that of common wheat and the granules were more often aggregated. Further studies showed that there were many holes on A-type starch granules,under 5 000 fold magnification,and the holes were extended from surface to its interior.

Key words waxy wheat; starch; starch granules; scanning electron microscopy (SEM); microscopic examination

收稿日期:2014-10-29

基金项目:国家自然科学基金(31371615);安徽省高等学校省级自然科学基金项目(KJ2012Z105)

第一作者:鲁平,硕士研究生,E-mail:286793025@qq.com

通讯作者:姚大年,教授,博士,主要从事小麦遗传育种研究,E-mail:dnyao@163.com

小麦是我国的重要粮食作物之一,其产量和品质直接影响人类食物供应程度和营养水平。近年来,对小麦品质尤其是淀粉品质的研究越来越受到人们的重视^[1]。淀粉是小麦籽粒胚乳中的重要组成部分,约占干重的65%~70%。淀粉以淀粉粒的形式存在于小麦籽粒胚乳中,淀粉粒是在质体中形成,是籽粒的主要贮藏物质。淀粉粒形态、体积和结构是小麦淀粉品质的重要决定因素。小麦籽粒中淀粉粒的数量、体积和淀粉组成因品种类型而异^[2]。在成熟的小麦胚乳中,已经发现2种类型的淀粉粒:直径10~35 μm 、呈椭球形状的A型淀粉粒和直径小于10 μm 、球形或无规则形状的B型淀粉粒。A型淀粉粒的数量约占总淀粉粒数量的3%,却占胚乳总淀粉粒重量的70%;B型淀粉粒的数量约占97%,重量只有总淀粉粒重量的30%^[3]。Raeker等^[4]研究表明,与A型淀粉粒相比较,B型淀粉粒体积小,表面积相对较大,从而可以结合更多的蛋白质、脂类和水分;B型淀粉粒越多,面团吸水率越高,从而影响面团的揉混性和食品的烘焙特性。淀粉由直链淀粉和支链淀粉2种淀粉分子组成。糯小麦中直链淀粉含量接近于零、显著低于普通非糯性小麦的20%左右,这就导致糯小麦的淀粉特性与普通小麦存在差异。前人^[5-8]关于普通小麦胚乳形成和发育过程中淀粉粒的动态变化和成熟籽粒中A、B型淀粉粒的粒度分布方面的研究表明,对糯小麦的研究多集中于糯小麦淀粉的吸水力、膨胀特性、糊化特性及糯小麦与普通非糯小麦配麦后的面粉品质特性等方面,而关于糯小麦A、B型淀粉粒方面的研究,以及其胚乳形成和发育过程中淀粉粒的动态变化报道甚少,不同研究者的研究结果也不尽一致^[9-10]。利用扫描电子显微镜技术观察糯小麦胚乳淀粉粒的发育和A、B型淀粉粒方面的研究国内尚未见报道。本研究拟选用2个糯小麦品种和1个普通小麦品种,研究糯小麦籽粒胚乳发育过程中淀粉粒形态,以及A、B型淀粉粒的粒度与普通小麦的差异,进一步了解糯小麦的淀粉品质,旨在为更好地利用糯小麦资源提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

以2012—2013年在安徽农业大学试验农场种植的糯小麦F9品系“安农4621”、“安农4501”(系谱最后在附录)和开花期一致的普通非糯小麦品种扬

麦13(对照)为材料。试验按照随机区组设计,4次重复,小区面积约10 m^2 ,按常规栽培方法管理。于开花期在4个重复中选择开花、生长一致的主茎挂牌,花后5、10、15、20、25、30和35 d每次从挂牌的主茎中随机选取5个穗,放入-80 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存,用于扫描电子显微镜下淀粉粒的观察。另外收获的成熟种子用于A、B型淀粉粒的显微观察。

1.2 淀粉粒的提取

1.2.1 总淀粉粒的提取

参考文献^[11-13]的方法提取总淀粉。取5.0 g发育中的小麦籽粒,用研钵研磨成匀浆,用4层纱布过滤,固体部分继续研磨过滤,重复3次。再将滤液分别过100、200目筛,此时滤液产物基本为淀粉和蛋白质;将滤液在3 500 g离心力下离心5 min,获得沉淀。沉淀用8%的氯化铯(CsCl)溶液悬浮,3 500 g离心5 min,再次获得沉淀。沉淀悬浮、离心,反复几次,直到没有双缩脲反应,再用Wash buffer [62.5 mmol/L tris-(hydroxymethyl) amino-methane-HCl, pH 6.8; 10 mmol/L disodium thylene-diaminetetraacetate; 4% SDS]清洗2次,沉淀,用水清洗2次,最后用丙酮清洗2次,获得淀粉,然后风干,过100目筛,-80 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏备用。

1.2.2 A、B型淀粉粒的分离纯化

参考文献^[11-13]的方法分离纯化A、B型淀粉粒。称取之前提取的总淀粉粒5 g,用双纯水悬浮并定容至50 mL;10 g离心10 min,轻轻吸取上清液在孔径为10 μm 的镍筛里抽滤,滤液主要为B型淀粉粒;将滤网上残留淀粉粒用双纯水转移到离心管中,定容50 mL,混匀后再10 g离心,上清液再在10 μm 的镍筛里抽滤(重复以上次数越多,A、B型淀粉粒分离纯度越高),收集滤液平均分装在50 mL离心管,3 500 g离心10 min,风干可得到纯度较高的B型淀粉粒,上述10 g离心获得的沉淀风干可得到纯度较高的A型淀粉粒,将获得的A、B型淀粉粒,放入-80 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱储藏备用。本研究对A、B型淀粉粒直径的分界点采用银永安等^[14]的标准。

1.3 直链淀粉含量的测定

直链淀粉的含量用MEGAZYME直链淀粉试剂盒测定,试验原理和方法参照MEGAZYME直链淀粉试剂盒说明书。

1.4 扫描电子显微镜观察小麦淀粉颗粒

采用日本HITACHI公司的S-4000N型扫描电子显微镜进行显微扫描。用棉棒将各个样品粉状

尽可能均匀地撒在导电胶上,将多余的样品粉末吹走,再将样品台上喷金镀膜,然后放置于电镜下观察。分别在 500、1 000、2 000 和 5 000 等不同的放大倍数下,从不同的角度观察和拍照^[15]。

1.5 淀粉颗粒大小的统计分析

从淀粉粒的扫描电子显微镜照片中随机选取 5 个区域,每个区域计 100 个淀粉粒,测量其尺寸大小,按扫描电子显微镜上的放大倍率比例尺,换算成实际长度。利用统计分析软件计算出淀粉粒直径范围^[16]。

2 结果与分析

2.1 直链淀粉含量测定结果及直链、支链淀粉含量比

由表 1 可以看到糯小麦 F9 品系安农 4621、安农 4501 直链淀粉含量分别为 0.56%、1.95%,普通小麦扬麦 13(对照)的直链淀粉含量在 27.49%,两者之间直链淀粉含量存在明显差异。直链与支链淀粉含量比例在品种(系)间差异极显著,2 个糯小麦品系分别为 0.01、0.02,而扬麦 13 为 0.38。

表 1 糯小麦和普通小麦直链淀粉含量及直链、支链淀粉含量比

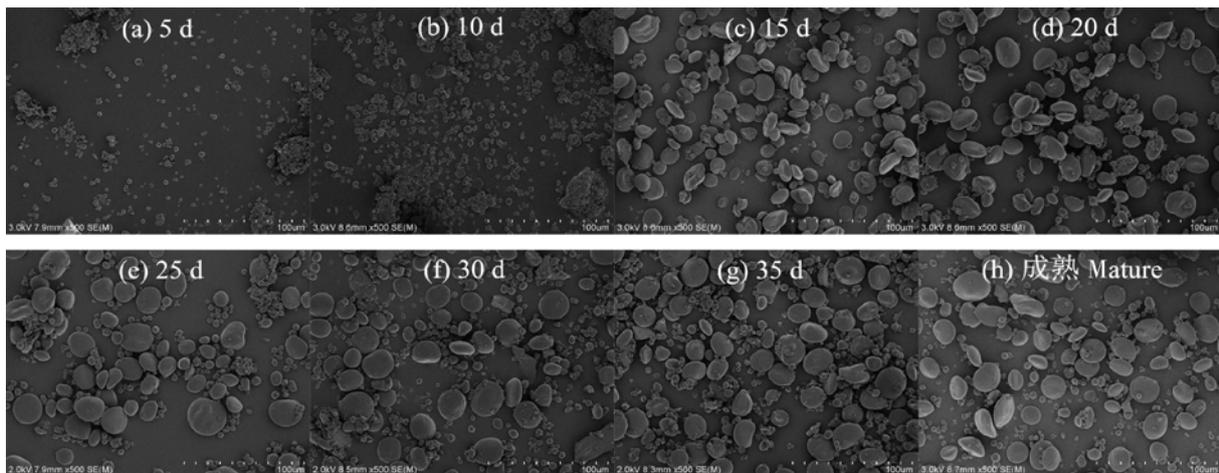
Table 1 Amylase content and amylose/amylopectin content of waxy wheat and common wheat

品种(系) Varieties (lines)	直链淀粉含量/% Amylase content			直链/支链含量 Amylase/amylopectin content
	I	II	均值 Average	
安农 4621 Annong 4621	0.51	0.61	0.56±0.07	0.01 B
安农 4501 Annong 4501	1.93	1.96	1.95±0.03	0.02 B
扬麦 13(对照) Yangmai 13(CK)	27.30	27.67	27.49±0.26	0.38 A

2.2 小麦胚乳发育过程中淀粉粒的形态变化

从图 1 和 2 可见,糯小麦胚乳中,花后 5 d 已经有一些 A 型淀粉粒产生,直径 1.76~5.24 μm;10 d 时 A 型淀粉粒的数量增多,体积没有明显增大;15 d 时 A 型淀粉粒的体积明显增大,直径 5.24~22 μm,此时 B 型淀粉粒开始形成;20 d 时早期形成

的 A 型淀粉粒体积仍然增大,直径 10~30.8 μm,B 型淀粉粒数目明显增多,体积也在增大;从 20 d 之后一直到成熟,B 型淀粉粒的数量和大小一直在增加。糯小麦胚乳发育中淀粉粒的形态变化与普通小麦(对照)趋势基本一致(图 1、2 和 3)。



500 倍放大。图 2、3、4 同。×500。The same as figure 2,3 and 4.
 图 1 糯小麦品系安农 4621 胚乳发育过程中淀粉粒的扫描电子显微镜图片
 Fig. 1 Scanning electron microscope figure of starch granules in developing endosperm of the waxy wheat line Annong 4621

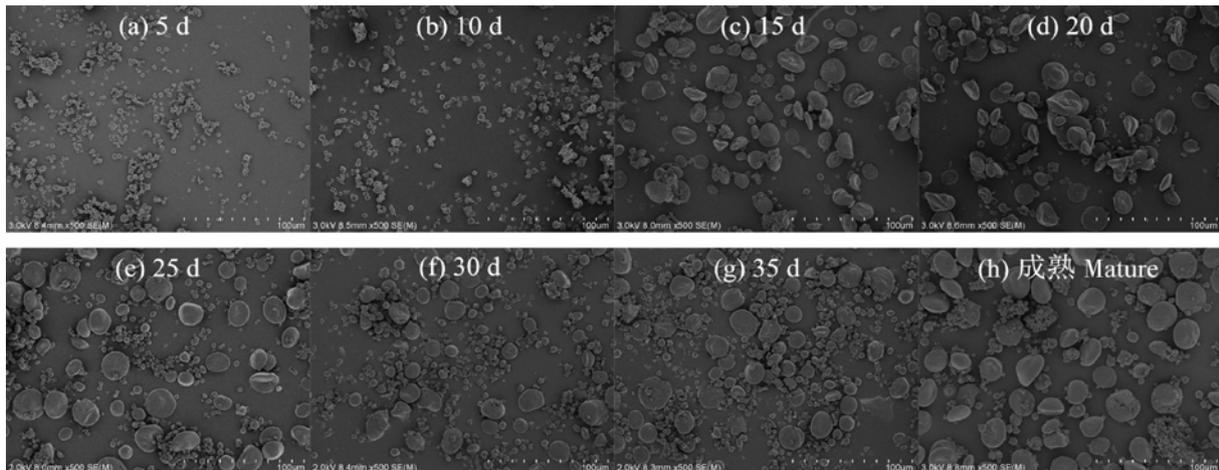


图2 糯小麦品系安农4501胚乳发育过程中淀粉粒的扫描电子显微镜图片

Fig. 2 Scanning electron microscope figure of starch granules in developing endosperm of the waxy wheat line Annon 4501

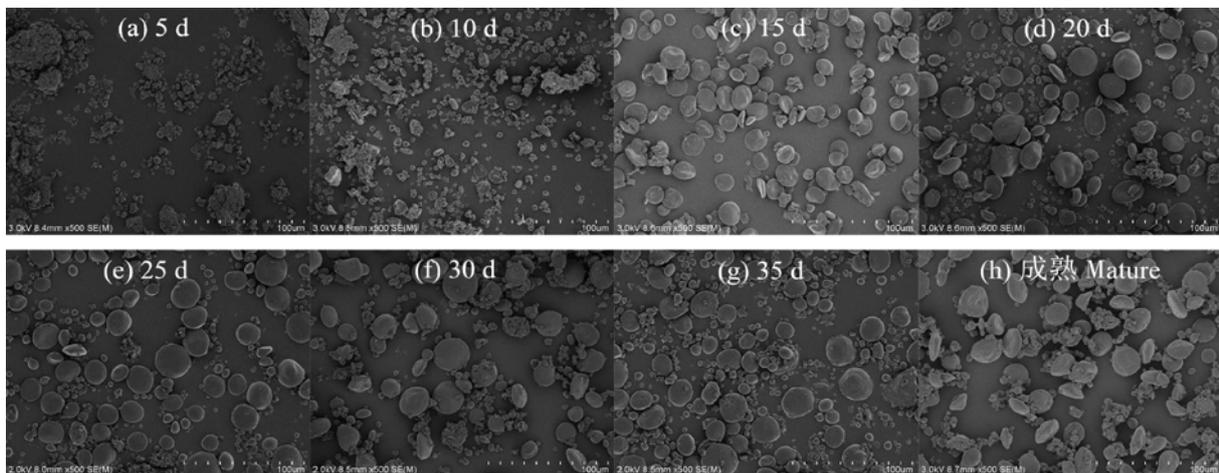


图3 小麦品种扬麦13胚乳发育过程中淀粉粒的扫描电子显微镜图片

Fig. 3 Scanning electron microscope figure of starch granules in developing endosperm of common wheat varieties Yangmai 13

2.3 胚乳中A、B型淀粉粒的显微观察

2.3.1 A型淀粉粒的显微观察

由图4可见,糯小麦安农4621、安农4501和普通小麦扬麦13的A型淀粉粒主要为球形、椭球形和扁球形。糯小麦安农4621、安农4501的A型淀粉粒主要为球形和扁球形,普通小麦扬麦13的A型淀粉粒主要为球形和椭球形;糯小麦A型淀粉粒的表面比前者更加光滑,其中分散着较多小淀粉粒。

对A型淀粉粒的大小进行分析,发现糯小麦安农4621、安农4501和普通小麦扬麦13的A型淀粉粒的直径主要分布都是在 $10.45\sim 32.3\ \mu\text{m}$,二者的

A型淀粉粒分布在不同直径范围内的比例稍有差异:糯小麦大于 $20\ \mu\text{m}$ 的淀粉粒所占的比例较大,达到44%,小于 $15\ \mu\text{m}$ 的淀粉粒所占的比例为15%;普通小麦的A型淀粉粒直径大于 $20\ \mu\text{m}$ 的为34%,小于 $15\ \mu\text{m}$ 的为26%。

2.3.2 B型淀粉粒的显微观察

对糯小麦安农4621、安农4501和普通小麦扬麦13的B型淀粉粒的电镜照片进行分析(图5),发现B型淀粉粒主要为球形和多边形。糯小麦安农4621、安农4501的B型淀粉粒与普通小麦扬麦13的相比显得更加无规则。糯小麦安农4621、安农4501的B型淀粉粒更多聚集在一起成为块状。

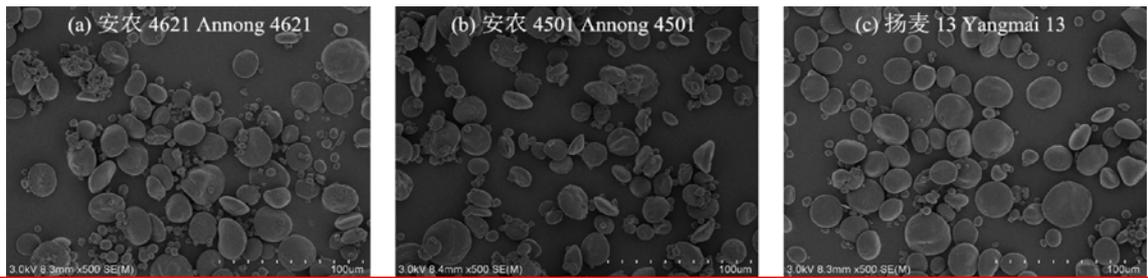
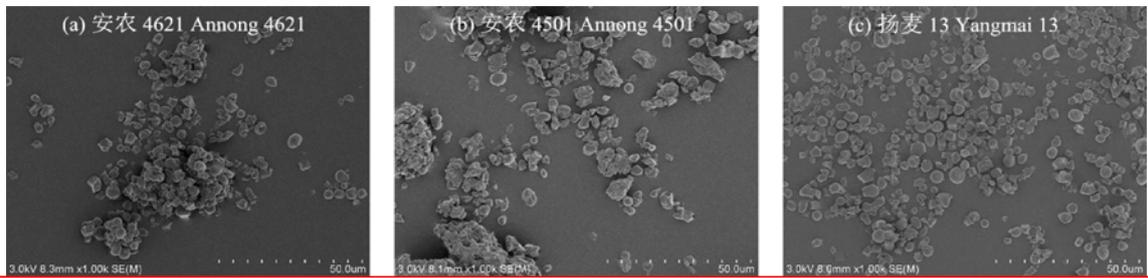


图 4 糯小麦安农 4621、安农 4501 和普通小麦扬麦 13 淀粉中 A 型淀粉粒的扫描电镜图片

Fig. 4 Scanning electron microscope figure of A-type starch granule in the waxy wheat lines Anong 4621、Anong4501 and common wheat varieties Yangmai 13



1 000 倍放大。×1 000.

图 5 糯小麦安农 4621、安农 4501 和普通小麦扬麦 13 淀粉中 B 型淀粉粒的扫描电镜图片

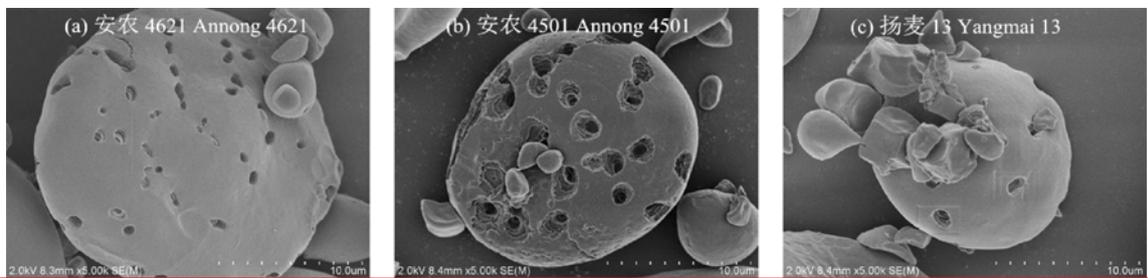
Fig. 5 Scanning electron microscope figure of B-type starch granule in the waxy wheat lines anong 4621、anong 4501 and common wheat varieties Yangmai 13

对 B 型淀粉粒的大小进行分析,发现糯小麦安农 4621、安农 4501 和普通小麦扬麦 13 的 B 型淀粉粒的直径主要在 0.96~6.11 μm ;在不同直径范围内糯小麦安农 4621、安农 4501 和普通小麦扬麦 13 的 B 型淀粉粒分布的比例稍有差异,糯小麦的 B 型淀粉粒的直径较普通小麦扬麦 13 的稍小;糯小麦的 B 型淀粉粒中,直径为 2.35~2.82 μm 数目最多,占其总数的 46%;普通小麦的 B 型淀粉粒在直径

2.82~3.76 μm 数目最多,占其总数的 47%。

2.4 糯小麦 A 型淀粉粒中孔洞及通道特性

在 5 000 倍数下,可以明显观察到普通扬麦 13 表面有空洞存在(图 6),与普通小麦扬麦 13 相比,糯小麦安农 4621、安农 4501 的 A 型淀粉粒的表面也存在一些孔洞,这些孔洞呈层状结构,比普通非糯性扬麦 13 多而深,从 A 型淀粉粒的表面一直延伸到内部。



5 000 倍放大。×5 000.

图 6 在 5 000 倍数下 A 型淀粉粒中孔洞和通道

Fig. 6 Holes and channel of A-type starch granule in 5 000 multiples

3 讨论

前人利用激光粒度分析仪技术对普通小麦淀粉粒发育过程的研究结果表明:在普通小麦中,A型淀粉粒在花后4 d开始形成,花后7 d就已经出现不同直径的淀粉粒,最大的直径达到20 μm ;花后10 d,淀粉粒的直径最大达到30 μm ;在花后14 d时,B型淀粉粒开始形成,在成熟期之前B型淀粉粒的数量和大小一直在增长;在花后17~19 d,胚乳中A型淀粉粒不再产生,只以体积增大为主;在花后21 d产生一种新的淀粉粒群体,即C型淀粉粒^[17-20]。本研究利用扫描电子显微镜技术对糯小麦淀粉粒发育特点进行观察研究,结果表明:在糯小麦中,花后5 d已经形成了直径大小不同的淀粉粒;花后10 d,胚乳中淀粉粒的数量增多,直径没有明显增大,这个与前人对普通小麦的研究结果存在一定差异。花后15 d,胚乳中A型淀粉粒的体积绝大部分明显增大,这时只有少量B型淀粉粒产生。由此,本研究认为糯小麦胚乳中A型淀粉粒在花后5~10 d以淀粉粒数量的增加为主,体积也逐渐增大;10~15 d数量和体积都有增加,并以淀粉粒体积增大为主;B型淀粉粒在花后15 d已经形成,但此时B型淀粉粒的数量较少;花后20 d以至成熟前B型淀粉粒的数量和体积均在逐渐增长。

对于小麦淀粉粒度分布也存在一些争议,银永安等^[14]认为小麦籽粒胚乳淀粉粒应该以10 μm 为A、B型淀粉粒界限,>10 μm 的淀粉粒为A型淀粉粒,<10 μm 的淀粉粒为B型淀粉粒。Bechtel等^[21]发现在花后24~35 d,淀粉粒的数量百分比呈三峰分布,认为A、B、C型淀粉粒的分界点应该是5和16 μm ,<5 μm 的淀粉粒为C型淀粉粒,5~16 μm 之间的淀粉粒为B型淀粉粒,>16 μm 的淀粉粒为A型淀粉粒;Raeker等^[4]认为3种淀粉粒之间的界限应该是2.8和9.9 μm ;戴忠民等^[22]利用激光粒度分析仪测定,认为2.0和9.8 μm 是分界点。本研究通过用扫描电子显微镜观察,糯小麦籽粒胚乳中A型淀粉粒的直径>16 μm 的数目占86%;B型淀粉粒的直径<5 μm 的数目占92%。与前人研究的普通小麦存在一定的差异。由于扫描电子显微镜的局限性,无法得出明确的分界点(本研究采用银永安等^[14]的标准)。前人研究认为小麦籽粒胚乳中A型淀粉粒的直径最大能达到50 μm ;蔡瑞国等^[10]研究认为,糯小麦成熟籽粒胚乳中淀粉粒的

粒度分布为1~43.7 μm 。本研究发现糯小麦成熟籽粒胚乳中淀粉粒的粒度分布为0.96~34.92 μm 。这个结果的差异可能是因为品种不同或测量技术以及软件计算方法不同所导致的。

关于糯小麦淀粉粒的微观结构研究很少,朱帆等^[23]研究普通小麦淀粉粒的微观结构发现,小麦淀粉颗粒一般呈双模型结构,A型淀粉粒中有明显的赤道槽,B型淀粉粒有团聚现象。Hyun-Seok等^[24]研究发现,在普通小麦的A型淀粉粒表面也有孔洞存在,认为这些孔洞是一种通道,孔洞中充满了蛋白质和一些酶。本研究选用直链淀粉含量为0.56%、1.95%的糯小麦F9品系安农4621、安农4501为研究对象,对其淀粉颗粒在扫描电子显微镜下观察,并以直链淀粉含量为27.67%的扬麦13为对照,发现糯小麦淀粉颗粒也呈现A、B型2种结构模型。糯小麦A型淀粉粒的形状更加扁平,更加有立体感;表面没有普通小麦光滑。糯小麦B型淀粉粒的形状比普通小麦更加无规则,而且更容易发生聚集现象。另外,发现在A型淀粉粒上有许多孔洞,在不同的倍数下观察,发现这些孔洞结构从A型淀粉粒表面一直延伸到淀粉粒内部。

国内外关于普通小麦的淀粉粒形成和粒度分布研究较多,而关于糯小麦的淀粉粒形成和粒度分布则相对较少,且结论也存在一定差异。本研究是从糯小麦籽粒胚乳发育过程中淀粉粒的形态变化和成熟糯小麦籽粒胚乳中A、B型淀粉粒显微观察这2方面着手,利用扫描电子显微镜技术进行观察分析,并且以普通非糯性小麦扬麦13为对照进行比较,发现糯小麦胚乳中A型淀粉粒在花后5~10 d以淀粉粒数量的增加为主,体积也逐渐增大;10~15 d数量和体积都有增加,并以淀粉粒体积增大为主;B型淀粉粒在花后15 d已经形成,但此时B型淀粉粒的数量较少;花后20 d以至成熟前B型淀粉粒的数量和体积均在逐渐增长。糯小麦成熟籽粒胚乳中淀粉粒的粒度分布为0.96~34.92 μm 。糯小麦淀粉颗粒也呈现A、B型2种结构模型。糯小麦A型淀粉粒的形状更加扁平,更加有立体感;表面没有普通小麦光滑。糯小麦B型淀粉粒的形状比普通小麦更加无规则,而且更容易发生聚集现象。另外,发现在A型淀粉粒上有许多孔洞,在不同的倍数下观察,发现这些孔洞结构从A型淀粉粒表面一直延伸到淀粉粒内部。期望能够为进一步研究糯小麦的淀粉粒特性提供一定的理论依据。

参 考 文 献

- [1] 张传辉,姜东,戴廷波,等. 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[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(6): 130-133
- [2] Malouf R B, Hosney R C. Wheat hardness I A method to measure endosperm tensile strength using tablets made from wheat flour[J]. Cereal Chem, 1992, 69(3): 164-168
- [3] 银永安,李卫华,齐军仓,等. 小麦胚乳 A、B 型淀粉粒发育特征及黏度特性[J]. 作物研究, 2012, 26(4): 337-342
- [4] Raeker M Ö, Gaines C S, Finney P L, et al. Granule size distribution and chemical composition of starches from soft wheat cultivars[J]. Cereal Chem, 1998, 75(5): 721-728
- [5] Bechtel D, Zayas I, Dempster R, et al. Size-distribution of starch granules isolated from hard red winter and soft red winter wheat[J]. Cereal Chem, 1993, 70(4): 238-240
- [6] Briarty L G, Hughes C E, Evers A D. The developing endosperm of wheat—a stereological analysis [J]. Ann Bot, 1979, 44(6): 641-658
- [7] Zeng J, Li G L, Gao H Y, et al. Comparison of A and B starch granules from three wheat varieties [J]. Molecules, 2011, 16(12), 10570-10591
- [8] Li W H, Shan Y L, Xiao X L, et al. Physicochemical properties of A- and B-starch granules isolated from hard red and soft red winter wheat[J]. J Agric Food Chem, 2013, 61(26), 6477-6484
- [9] Zhang H X, Zhang W, Xu C Z, et al. Morphological features and physicochemical properties of waxy wheat starch[J]. Int J Biol Macromol, 2013, 62: 304-309
- [10] 蔡瑞国,张敏,朱桓,等. 糯小麦籽粒淀粉粒粒度分布特征[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(2): 254-258
- [11] 银永安,齐军仓,王自布,等. 小麦胚乳 A、B 型淀粉粒分离纯化方法研究[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(2): 271-275
- [12] 韦存虚,张翔宇,张军,等. 不同类型小麦品种大、小淀粉粒的分离和特性[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(2): 255-260
- [13] Peng M, Gao M, Abdel Aal, et al. Separation and characterization of A- and B- type starch granules in wheat endosperm[J]. Cereal Chem, 1999, 76(3): 375-379
- [14] 银永安,齐军仓,李卫华,等. 小麦胚乳 A、B 型淀粉粒粒度分布与晶体特性相关研究[J]. 作物杂志, 2012 (6): 42-47
- [15] 戴忠民,尹燕桦,王振林,等. 鲁麦 21 和济南 17 胚乳发育过程中淀粉粒的动态变化[J]. 中国农业科学, 2009, 42(3): 816-823
- [16] 马小乐,孟亚雄,李葆春,等. 春小麦淀粉粒的分布及其品质的相关性[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(6): 1162-1167
- [17] Hyun-Seok Kim, Kerry C, Huber. Physicochemical properties and amylopectin fine structures of A- and B-type granules of waxy and normal soft wheat starch[J]. J Cell Sci, 2010, 51(3): 256-264
- [18] Hayfa Salman, Jaroslav Blazek, Amparo Lopez-Rubio, et al. Structure-function relationships in A and B granules from wheat starches of similar amylose content [J]. Carbohydr Polym, 2009, 75(3): 420-427
- [19] 李文阳,尹燕桦,时侠清,等. 小麦籽粒 A、B 型淀粉粒构成与糊化特征比较[J]. 华北农学报, 2011, 26(1): 136-139
- [20] Šubarić D, Babić J, LaLić A, et al. Isolation and characterization of starch from different barley and oat varieties[J]. Czech J Food Sci, 2011, 29(4): 354-360
- [21] Bechtel D B, Zayas I, Kaleikau L, et al. Size-distribution of wheat starch granules during endosperm development [J]. Cereal Chemistry, 1990, 67(1): 59- 63
- [22] 戴忠民,王振林,张敏,等. 不同品质类型小麦籽粒淀粉粒度的分布特征[J]. 作物学报, 2008, 34(3): 465-470
- [23] 朱帆,徐广文,姚历,等. 小麦淀粉颗粒的微观结构研究[J]. 食品科学, 2008, 29(5): 93-96
- [24] Hyun-Seok Kim, Kerry C, Huber. Channels within soft wheat starch A- and B-type granules[J]. J Cereal Sci, 2008, 48 (1): 159-172

附录: 糯小麦 F₉ 品系 4621 的系谱

责任编辑: 袁文业