

文章编号: 1003-8701(2015)04-0108-05

# 不同玉米品种角质和粉质胚乳 淀粉粒的粒度分布特征

伊祖涛<sup>1</sup>, 张海艳<sup>1,2\*</sup>

(1. 青岛农业大学农学与植物保护学院/山东省旱作农业技术重点实验室, 山东 青岛 266109;  
2. 山东省小麦玉米周年高产高效生产协同创新中心, 山东 泰安 271018)

**摘要:**以3个玉米品种为材料,采用激光衍射粒度分析仪测定角质和粉质胚乳的淀粉粒体积、表面积和数目分布,分析其粒度分布特征及差异。结果表明,角质和粉质胚乳的淀粉粒体积均呈三峰分布,淀粉粒数目均呈单峰分布;角质胚乳淀粉粒表面积呈三峰分布,而粉质胚乳呈四峰分布。参照小麦研究中以淀粉粒体积分布曲线凹处为分界线划分淀粉粒的方法,以3.519 $\mu\text{m}$ 和7.422 $\mu\text{m}$ 为界线,将玉米胚乳淀粉粒分为小型( $\leq 3.519\mu\text{m}$ )、中型(3.519~7.422 $\mu\text{m}$ )和大型( $> 7.422\mu\text{m}$ )。角质胚乳中,中型淀粉粒所占体积比(4.46%~6.14%)、表面积比(6.71%~8.14%)和数目比(0.47%~0.56%)显著高于粉质胚乳(1.36%~5.68%、1.81%~6.63%、0.10%~0.31%),大型淀粉粒所占数目比(0.32%~0.38%)显著高于粉质胚乳(0.28%~0.31%);粉质胚乳中,小型淀粉粒所占表面积比(54.73%~57.31%)、数目比(99.39%~99.59%)显著高于角质胚乳(51.95%~53.36%、99.06%~99.21%)。在玉米实际加工利用时,可以根据需要选择不同类型的胚乳,以实现玉米胚乳的合理有效利用。

**关键词:**玉米;角质胚乳;粉质胚乳;淀粉粒粒度分布

中图分类号:S513

文献标识码:A

## Starch Granule Size Distribution of Horny and Silty Endosperm in Different Maize Varieties

YI Zu-tao<sup>1</sup>, ZHANG Hai-yan<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University /Shandong Key Laboratory of Dry Farming Technique, Qingdao 266109; 2. Cooperative Innovation Center of Efficient Production with High Annual Yield of Wheat and Corn, Taian 271018, China)

**Abstract:** Three maize varieties were used in this study. Starch granule size distribution in horny and silty endosperm was determined by laser diffraction particle size analyzer. The results indicated that horny endosperm and silty endosperm showed three peak curve in starch granule volume distribution, and single peak curve in starch granule number distribution. Starch granule surface area showed three peak curve in horny endosperm, but four peak curve in silty endosperm. According to the concave point of double peak curve, taking 3.519 $\mu\text{m}$  and 7.422 $\mu\text{m}$  as limit, starch granules were divided into three types: small ( $< 3.519\mu\text{m}$ ), middle (3.519~7.422 $\mu\text{m}$ ) and large ( $> 7.422\mu\text{m}$ ). In horny endosperm, the volume and surface area ratio of middle starch granule (4.46%~6.14%, 6.71%~8.14%) and the number ratio of middle and large starch granule (0.47%~0.56%, 0.32%~0.38%) were higher than those of silty endosperm (1.36%~5.68%, 1.81%~6.63%, 0.10%~0.31%, 0.28%~0.31%). However, in silty endosperm, the surface area and number ratio of small starch granule (54.73%~57.31%, 99.39%~99.59%) were

收稿日期: 2015-03-23

基金项目: 山东省科技发展计划(2014GNC111001); 山东省农业良种工程泰山学者种业人才团队支撑计划培养对象项目(20140701); 山东省旱地作物水分高效利用科研创新团队项目(6212n2)

作者简介: 伊祖涛(1990-),男,在读硕士,从事玉米淀粉品质研究。

通讯作者: 张海艳,女,博士,副教授, E-mail: hyzhang608@126.com

higher than those of horny endosperm (51.95% ~ 53.36%, 99.06% ~ 99.21%). In the process of actual processing and utilization of maize, different types of endosperm should be selected to meet our needs to realize the rational and efficient utilization of maize endosperm.

**Key words:** Maize (*Zea mays*); Horny endosperm; Silty endosperm; Distribution of starch granule size

胚乳是玉米子粒的重要组成部分,占子粒重量的80%~85%。玉米胚乳分为角质和粉质部分,其组织结构存在显著差异。角质胚乳细胞排列紧密,淀粉粒排列规则,呈多面体形,蛋白体数量多且填满淀粉体的间隙,质地坚实;粉质胚乳淀粉粒排列不规则,呈圆球状,淀粉体间空隙多,质地疏松<sup>[1-3]</sup>。胚乳结构决定子粒物理性状和营养品质的优劣,关系到淀粉理化和功能特性的好坏<sup>[4]</sup>。弄清角质和粉质胚乳的特性及差异,是全面有效利用玉米胚乳资源的关键。

淀粉是玉米子粒胚乳的主要成分,以大小不同淀粉粒的形式存在。淀粉粒粒度分布对淀粉的糊化、胶凝化、膨胀、晶体和热力学等理化特性有显著影响<sup>[5-9]</sup>,进而决定淀粉的食用和加工品质<sup>[10]</sup>,目前已成为评价淀粉品质的一个重要因素。前人关于玉米淀粉粒粒度分布的研究都是针对于完整子粒或胚乳,对于角质和粉质胚乳淀粉粒粒度分布的比较研究,鲜见报道。本研究以隆平206、先玉335和青农105为材料,分析其角质和粉质胚乳的淀粉粒粒度分布特征及差异,以期对玉米胚乳的合理有效利用提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料种植

供试玉米品种为隆平206、先玉335和青农105,其胚乳角质化程度存在差异,角质率分别为20.0%、60.0%和43.8%,2012年6月20日于青岛农业大学胶州试验田种植。小区面积45 m<sup>2</sup>,行距60 cm,种植密度52 500株/hm<sup>2</sup>,随机排列,重复3次,生长期统一管理。开花期选择生长发育一致的植株人工授粉。成熟期收获果穗,晒干脱粒。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 淀粉提取

参考本课题组的方法分离角质和粉质胚乳<sup>[11]</sup>。将样品加水研磨,浆液过200目筛布,4000 r/min离心10 min,沉淀转入50 mL离心管。依次用蒸馏水、2% SDS、0.2% NaOH、0.5 mol/L NaCl清洗,每次清洗震荡3~4 h,离心,直到上层澄清为止。沉淀悬浮在丙酮中1 h,吸出丙酮,自然风干

得淀粉备用。

#### 1.2.2 淀粉粒粒度分布

采用LS13320激光衍射粒度分析仪进行测试。取50 mg淀粉放入离心管,加10 mL蒸馏水悬浮,旋涡混匀后置4℃下1 h,每10 min振荡1次,摇匀,吸取2 mL转移至激光衍射粒度分析仪的分散盒中,测定淀粉粒的粒度分布状况。

### 1.3 统计分析

采用DPS 7.05统计软件对数据进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 角质和粉质胚乳的淀粉粒粒度分布特征

供试玉米品种角质和粉质胚乳淀粉粒的粒径下限都在0.375 μm处,上限介于27.39~36.24 μm,且角质胚乳的粒径上限显著大于粉质胚乳(图1)。从图1可以看出,角质和粉质胚乳淀粉粒体积均呈三峰分布,峰值出现在1.832、5.610和18.860 μm处,谷值出现在3.519 μm和7.422 μm处。角质胚乳淀粉粒的表面积呈三峰分布,峰值出现位置与体积相同;粉质胚乳淀粉粒的表面积呈四峰分布,其中在0.869 μm和1.832 μm处出现连续的双峰。角质和粉质胚乳淀粉粒数目呈单峰分布,峰值所在位置有所不同,在0.474~0.627 μm之间。根据小麦研究中以淀粉粒体积分布曲线凹处为分界线将淀粉粒分级的方法<sup>[12-14]</sup>,本文以3.519 μm和7.422 μm为界线,将玉米淀粉粒分为小型(≤3.519 μm)、中型(3.519~7.422 μm)和大型(>7.442 μm)。

### 2.2 角质和粉质胚乳淀粉粒的体积分布

从表1可以看出,大型淀粉粒所占体积最大,角质、粉质胚乳分别为83.96%~85.88%和83.93%~88.51%;其次为小型淀粉粒,角质、粉质胚乳分别为9.66%~9.91%和9.44%~10.40%;中型淀粉粒所占体积最小,角质、粉质胚乳分别为4.46%~6.14%和1.36%~5.68%。说明,大型淀粉粒对体积贡献最大,小型淀粉粒次之,中型淀粉粒贡献最小。

不同类型胚乳间比较,小型和大型淀粉粒所占比例因品种不同而存在差异。对于小型淀粉粒

所占体积比,隆平206表现为角质显著高于粉质胚乳,而先玉335和青农105则表现为角质显著低于粉质胚乳;对于大型淀粉粒所占体积比,隆平206和先玉335表现为角质显著低于粉质胚乳,青农105角质和粉质胚乳间差异未达显著水平;对

于中型淀粉粒所占体积比,供试品种均表现为角质显著高于粉质胚乳。因此,除了与胚乳类型有关外,小型、大型淀粉粒所占体积比也受品种的影响。

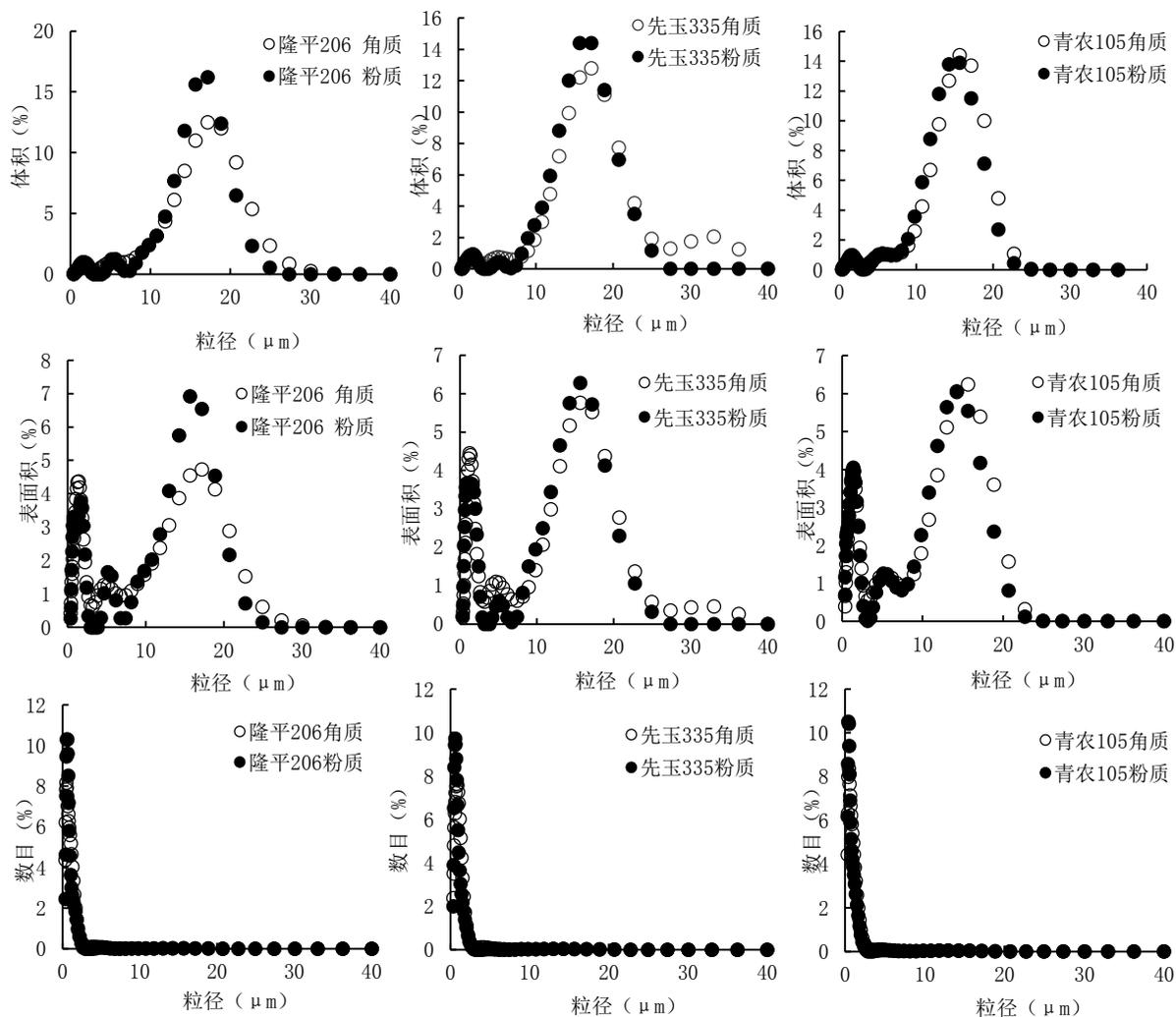


图1 玉米角质和粉质胚乳的淀粉粒粒度分布特征

表1 玉米角质和粉质胚乳的淀粉粒体积分布

品种	胚乳类型	小型淀粉粒(%)	中型淀粉粒(%)	大型淀粉粒(%)
隆平206	角质胚乳	9.69±0.06 a	5.09±0.02 a	85.22±0.08 b
	粉质胚乳	9.44±0.01 b	4.31±0.02 b	86.25±0.03 a
先玉335	角质胚乳	9.66±0.20 b	4.46±0.23 a	85.88±0.06 b
	粉质胚乳	10.14±0.13 a	1.36±0.10 b	88.51±0.26 a
青农105	角质胚乳	9.91±0.06 b	6.14±0.04 a	83.96±0.09 a
	粉质胚乳	10.40±0.02 a	5.68±0.04 b	83.93±0.06 a

注:同一品种同列不同字母表示在0.05水平上差异显著,下同

### 2.3 角质和粉质胚乳淀粉粒的表面积分布

从表2可以看出,小型淀粉粒所占表面积最大,角质、粉质胚乳分别为51.95%~53.36%和54.73%~57.31%;其次为大型淀粉粒,角质、粉质胚乳分别为39.37%~40.03%和38.26%~40.89%;

中型淀粉粒所占表面积最小,角质、粉质胚乳分别为6.71%~8.14%和1.81%~6.63%。说明,小型淀粉粒对表面积的贡献最大,大型淀粉粒次之,中型淀粉粒贡献最小。

不同类型胚乳间比较,供试品种角质胚乳的

小型淀粉所占表面积均显著低于粉质胚乳,中型淀粉粒所占表面积则显著高于粉质胚乳;对于大型淀粉粒所占表面积,隆平206和先玉335表现为粉质

显著高于角质胚乳,而青农105则恰好相反,表现为角质显著高于粉质胚乳。因此,大型淀粉粒所占表面积不仅与胚乳类型有关,与品种也密切相关。

表2 玉米角质和粉质胚乳的淀粉粒表面积分布

品种	胚乳类型	小型淀粉粒(%)	中型淀粉粒(%)	大型淀粉粒(%)
隆平206	角质胚乳	53.36±0.23 b	7.29±0.02 a	39.37±0.21 b
	粉质胚乳	54.73±0.09 a	5.58±0.01 b	39.70±0.10 a
先玉335	角质胚乳	53.27±0.40 b	6.71±0.56 a	40.03±0.16 b
	粉质胚乳	57.31±0.29 a	1.81±0.16 b	40.89±0.45 a
青农105	角质胚乳	51.95±0.21 b	8.14±0.01 a	39.92±0.21 a
	粉质胚乳	55.11±0.03 a	6.63±0.05 b	38.26±0.08 b

#### 2.4 角质和粉质胚乳淀粉粒的数目分布

从表3可以看出,小型淀粉粒所占数目最多,角质、粉质胚乳分别达99.06%~99.21%和99.39%~99.59%;中型和大型淀粉粒所占数目均较少,两者之和仍少于1%。说明,玉米角质和粉质胚乳

淀粉粒都主要由小型淀粉粒组成。

与粉质胚乳相比,供试品种角质胚乳小型淀粉粒所占比例较低,中型、大型淀粉粒所占比例较高。说明,不同类型淀粉粒所占数目与胚乳类型密切相关。

表3 玉米角质和粉质胚乳的淀粉粒数目分布

品种	胚乳类型	小型淀粉粒(%)	中型淀粉粒(%)	大型淀粉粒(%)
隆平206	角质胚乳	99.21±0.03 b	0.47±0.02 a	0.32±0.01 a
	粉质胚乳	99.45±0.01 a	0.27±0.00 b	0.28±0.01 b
先玉335	角质胚乳	99.12±0.13 b	0.53±0.11 a	0.36±0.02 a
	粉质胚乳	99.59±0.00 a	0.10±0.01 b	0.31±0.01 b
青农105	角质胚乳	99.06±0.01 b	0.56±0.01 a	0.38±0.01 a
	粉质胚乳	99.39±0.01 a	0.31±0.01 b	0.30±0.00 b

### 3 讨论

淀粉在植物体内以大小不同的淀粉粒形式存在。通过激光衍射粒度分析仪,前人发现玉米淀粉粒的体积分布表现双峰分布<sup>[9, 15-17]</sup>,且以2 $\mu\text{m}$ 和15 $\mu\text{m}$ 为界线分为小型、中型和大型淀粉粒<sup>[17]</sup>。通过显微镜观察,发现蓝色玉米淀粉粒体积分布呈双峰曲线,且以10 $\mu\text{m}$ 为界线划分为大、小淀粉粒,而白色玉米没有明显的分布特征,认为淀粉粒粒度分布可能与胚乳类型有关<sup>[18]</sup>。然而,本试验采用激光衍射粒度分析仪,发现玉米角质和粉质胚乳淀粉粒的体积分布均呈三峰曲线,谷值均出现在3.519 $\mu\text{m}$ 和7.422 $\mu\text{m}$ ,具体分布情况因胚乳类型存在差异。根据小麦上以体积分布曲线凹处为界线分级淀粉粒的方法<sup>[12-14]</sup>,本文将玉米角质和粉质胚乳淀粉粒分为小型(<3.519 $\mu\text{m}$ )、中型(3.519~7.422 $\mu\text{m}$ )和大型(>7.422 $\mu\text{m}$ )。这与前人的研究结果不同,可能与淀粉样品制备、粒径测量技术、软件计算方法、划分依据等不同有关,

也可能受基因型影响<sup>[18]</sup>;但与本课题组前期报道的玉米完整胚乳淀粉粒粒度分布的结果<sup>[19]</sup>相同。

根据组织结构差异,玉米胚乳分为角质胚乳和粉质胚乳。试验中,与粉质胚乳相比,角质胚乳的中型和大型淀粉粒数目比例高、粒径上限大,小型淀粉粒数目比例低。角质胚乳离玉米子粒糊粉层近,细胞内淀粉体发育早;粉质胚乳离糊粉层远,细胞内淀粉体发育迟,且需提供胚生长所需的养分<sup>[2]</sup>。所以,淀粉体发育早晚及物质运输距离长短可能影响淀粉粒的大小。角质胚乳的淀粉体发育早,物质运输距离短,形成的淀粉粒大;反之,粉质胚乳的物质运输距离长、淀粉体发育晚,形成的淀粉粒小。小麦上的研究表明,淀粉粒粒度分布与淀粉合成酶活性变化及其基因表达有着密切关系<sup>[20]</sup>,淀粉分支酶容易与A型淀粉粒结合,不易与B型淀粉粒结合<sup>[21]</sup>。大麦上的研究认为,shx位点突变体的SS I活性降低,A型淀粉粒粒径减小,说明SS I影响大麦淀粉粒粒径大小<sup>[22]</sup>。本试验中,小型和大型淀粉粒所占体积及大型淀粉粒所占表

面积受胚乳类型或(和)品种的影响。因此,关于玉米角质和粉质胚乳淀粉合成相关酶的活性及其与淀粉粒粒度分布的关系,还需进一步研究。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Pereira R C, Davide L C, Pedrozo C A, et al. Relationship between structural and biochemical characteristics and texture of corn grains[J]. *Genetic Molecular Research*, 2008, 7(2): 498-508 .
- [ 2 ] 王 忠, 顾蕴洁, 慧 慧, 等. 关于玉米胚乳细胞发育的研究[EB/OL]. 中国科技论文在线, 2012[2013-7-23]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201209-77> .
- [ 3 ] 夏 涛, 窦美安, 刘纪麟. 若干玉米胚乳突变体基因效应的研究[J]. *作物学报*, 1997, 23(6): 753-758 .
- [ 4 ] 杨引福, 李向拓, 谢恩魁. 不同硬度胚乳奥帕克-2( $\alpha 2$ )玉米子粒超微结构与品质性状的相关研究[J]. *中国农业科学*, 2002, 38(1): 59-63 .
- [ 5 ] Wei C, Zhang J, Chen Y, et al. Physicochemical properties and development of wheat large and small starch granules during endosperm development[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2010, 32(5): 905-916 .
- [ 6 ] 银永安, 齐军仓, 李卫华, 等. 小麦胚乳 A、B 型淀粉理化特性研究[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(11): 2372-2379 .
- [ 7 ] Ao Z H, Jane J L. Characterization and modeling of the A- and B-granule starches of wheat, triticale, and barley[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2007, 67(1): 46-55 .
- [ 8 ] Geera B P, Nelson J E, Souza E, et al. Composition and properties of A- and B-type starch granules of wild-type, partial waxy, and waxy soft wheat[J]. *Cereal Chemistry*, 2006, 83(5): 551-557 .
- [ 9 ] 陆大雷, 郭换粉, 董 策, 等. 生长季节对糯玉米淀粉粒分布和热力学特性的影响[J]. *作物学报*, 2010, 36(11): 1998-2003 .
- [ 10 ] Gagan D S, Amrinder S B, Sukhcham S, et al. Physicochemical, pasting, thermal and morphological characteristics of Indian water chestnut (*Trapa natans*) starch[J]. *Starch*, 2009, 61(1): 35-42 .
- [ 11 ] 伊祖涛, 张海艳. 玉米角质和粉质胚乳淀粉粒粒径、糊化特性及凝胶质构特性的研究[J]. *中国粮油学报*, 2014, 29(7): 27-32 .
- [ 12 ] Park S, Wilson J D, Seabourn B W. Starch granule size distribution of hard red winter and hard red spring wheat: Its effects on mixing and breadmaking quality[J]. *Journal of Cereal Science*, 2009, 49(1): 98-105 .
- [ 13 ] Stoddard F L. Survey of starch particle-size distribution in wheat and related species[J]. *Cereal Chemistry*, 1999, 76(1): 145-149 .
- [ 14 ] Chojecki A J S, Gale M D, Bayliss M W. The number and sizes of starch granules in the wheat endosperm, and their association with grain weight[J]. *Annals of Botany*, 1986, 58(6): 819-831 .
- [ 15 ] Edith A, Ana P B R, Guadalupe M, et al. Physicochemical and biochemical characterization of starch granules isolated of pigmented maize hybrids[J]. *Starch*, 2008, 60(8): 433-441 .
- [ 16 ] 陆大雷, 郭换粉, 董 策, 等. 普通、甜、糯玉米果穗不同部位子粒淀粉理化特性和颗粒分布差异[J]. *作物学报*, 2011, 37(2): 331-338 .
- [ 17 ] 张 丽, 张吉旺, 刘 鹏, 等. 不同淀粉含量玉米子粒淀粉粒度分布特性[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(8): 1596-1602 .
- [ 18 ] Rubí G U, Edith A, Ana P B R, et al. Physicochemical and enzyme characterization of small and large starch granules isolated from two maize cultivars[J]. *Cereal Chemistry*, 2010, 87(1): 50-56 .
- [ 19 ] 石德杨, 张海艳, 董树亭. 补充灌溉和施氮对玉米子粒淀粉粒粒度分布的影响[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(4): 633-643 .
- [ 20 ] Zhang C H, Jiang D, Liu F L, et al. Starch granules size distribution in superior and inferior grains of wheat is related to enzyme activities and their gene expressions during grain filling [J]. *Journal of Cereal Science*, 2010, 51(2): 226-233 .
- [ 21 ] Peng M, Gao M, Båga M, et al. Starch-branching enzymes preferentially associated with A-type starch granules in wheat endosperm[J]. *Plant Physiology*, 2000, 124(1): 265-272 .
- [ 22 ] Tyynelä J, Stitt M, Lönneborg A, et al. Metabolism of starch synthesis in developing grains of the shx shrunken mutant of barley (*Hordeum vulgare*)[J]. *Plant Physiology*, 1995, 93(1): 77-84 .
- (责任编辑:范杰英)
- 
- (上接第 71 页)
- [ 6 ] 崔昊震, 尹明浩. 鹿茸生长因子的研究现状[J]. *延边大学医学学报*, 2006, 29(1): 70-72 .
- [ 7 ] 陈凡波, 尹建元. 鹿茸、鹿心和鹿血中胰岛素样生长因子-1 的制备及含量检测[J]. *中药材*, 2014, 37(12): 2155-2158 .
- [ 8 ] 张 伟, 褚文辉. 鹿茸成骨过程及其相关调控机制研究进展[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(8): 6-11 .
- [ 9 ] 李 沐, 胡 薇. MicroRNA 介导的 IGF-1 基因沉默与端粒酶对鹿茸细胞增殖抑制的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2013 .
- [ 10 ] 苏仲毅, 尹芸生. 胰岛素样生长因子 IGF-1 促骨质疏松骨折愈合的实验研究[J]. *中国药物与临床*, 2007, 7(3): 182-185 .
- [ 11 ] 苏凤艳, 宗 颖, 温铁峰. 鹿茸生长发育及其再生调控机制的研究进展[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2013(2): 32-34 .
- [ 12 ] 江军伟, 夏立建. 胰岛素样生长因子-I 在胃癌组织中的表达及临床意义[D]. 泰安: 泰山医学院, 2014 .
- [ 13 ] 张大成, 李淑芬. 鹿茸中胰岛素样生长因子-1 的提取及纯化研究[D]. 天津: 天津大学, 2008 .
- [ 14 ] 李艳梅, 杨鸣琦. CHR、IGF-1、IGF-1R 基因在鹿茸顶端的组织定位及鹿 CHR 基因 cDNA 克隆[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008 .
- [ 15 ] 刘 振, 赵海平. 鹿茸再生及其分子调节机理研究进展[J]. *中国畜牧兽医*, 2013, 40(2): 50-53 .
- [ 16 ] 郝林琳, 张永亮. 鹿茸多肽研究及 IGF-15' 端调控序列分析[D]. 长春: 吉林大学, 2006 .
- [ 17 ] 孟星宇, 李 婷. 梅花鹿 IGF-1 的原核表达与纯化[J]. *西北农林科技大学学报*, 2012, 40(7): 7-13 .
- [ 18 ] 夏海锋, 张 显. 镍离子亲和层析介质的制备及其用于组氨酸标记蛋白质的纯化[J]. *江南大学学报*, 2010, 9(6): 685-689 .
- [ 19 ] 才 蕾, 矫丽媛. 甲胎蛋白的原核表达及复性优化[J]. *生物技术通报*, 2015, 31(1): 193-197 .
- [ 20 ] 丁庆峰, 刘贺贺. 鸭胚卵内注射 rhIGF-1 对其出壳后卵泡抑素基因表达及胸肌发育的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2011, 42(8): 1101-1106 .
- (责任编辑:范杰英)