

# 超微全藕粉与藕淀粉颗粒结构的比较研究

张美霞, 琚争艳, 阚建全\*  
(西南大学食品科学学院, 重庆 400716)

**摘要:** 应用光学显微镜、扫描电子显微镜、偏光显微镜和 X-射线衍射仪对藕淀粉和不同粒度超微全藕粉的颗粒形态和表面结构进行了比较研究。结果表明, 藕淀粉颗粒表面光滑, 大多呈棒状, 少部分呈椭圆形或圆形, 有明显的环纹, 粒心偏于颗粒的一端, 偏光十字明显, 颗粒较大的棒状藕淀粉呈“X”形, 颗粒较小的椭圆形或圆形藕淀粉呈垂直十字形或斜十字形, 部分呈“X”形, X-衍射图谱为 B 型。全藕粉经过超微粉碎后, 大部分藕淀粉颗粒被破坏, 少数藕淀粉颗粒完整, 只能看到部分未被破坏的棒状藕淀粉颗粒的“X”形或残缺的“X”形以及部分小颗粒藕淀粉的十字, 不同粒度的超微全藕粉随着粒度的减小, 结晶区域减小, 而非结晶区域增大。  
**关键词:** 藕淀粉; 超微全藕粉; 颗粒结构; 粒度

## Comparison Analysis of Granule Structure between Lotus Starch and Super-fine Whole Lotus Powder

ZHANG Mei-xia, JU Zheng-yan, KAN Jian-quan\*  
(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400716, China)

**Abstract:** The particle morphology and the superficial structure of lotus starch and different sizes of super-fine whole lotus powder were investigated by using optical microscope, scanning electron microscope, polarizing microscope and X-ray diffractometer. The results indicated that majority of the lotus starch granules displayed a smooth surface and were club-shaped and less was in oval or round shape. Obvious rings were observed and the particle centre was located on one side. Clear cross polarization were found and the big club-shaped starch particles were in “X” shape while the smaller round ones had vertical or declining cross and some of them are in the shape of “X”. Lotus starch granules exhibited a B-type in X-ray diffraction pattern. The structure of lotus starch granules in super-fine whole-lotus powder was damaged and only a few “X” or fragmentary “X” and cross could be observed. Reductions of crystal region and increases in non-crystal region were found with the decrease in particle size.

**Key words:** lotus starch; super-fine whole lotus powder; granule structure; granularity

中图分类号: TS235.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2009)07-0083-04

莲藕(*Nelumbo nucifera Gaertn*), 简称莲, 别名莲藕、荷藕等, 是一种重要的水生经济作物, 含有淀粉、蛋白质、维生素、铁、钙、生物碱等多种对人体健康有益的物质, 具有较高的食用和药用价值<sup>[1]</sup>。目前莲藕的主要加工产品有腌制类藕片、脱水藕片、藕罐头、藕汁饮料类、果脯以及藕淀粉等。其中, 藕淀粉是商业化开发成功的一个产品, 但只利用了莲藕中的淀粉, 其他的营养成分未加以充分利用。全藕粉虽然利用了莲藕的全部, 因含大量的膳食纤维, 口感粗糙, 再加工作性能差。因此, 本实验拟通过超微处理使全藕粉达到足够小的粒度, 从而改善其品质, 扩大全藕粉在食品加工中的应用范围<sup>[2]</sup>。秦志荣、闵燕萍等对藕淀粉的颗

粒结构研究认为: 淀粉颗粒呈小圆形和椭圆形, 一端凹陷, 晶体结构为 B 型<sup>[3-4]</sup>。本实验主要研究经过超微处理后的全藕粉和藕淀粉间颗粒结构的变化, 从而为后续全藕粉与藕淀粉功能性质的比较研究提供结构上的理论依据, 并为全藕粉的商业化生产和应用提供理论基础和实验数据。

## 1 材料与材料

### 1.1 材料与材料

9217 莲藕, 采自重庆市大足莲藕生产基地。护色液: 柠檬酸 0.15%、抗坏血酸 0.15%、苹果酸 0.25%、

收稿日期: 2008-06-24

作者简介: 张美霞(1978-), 女, 讲师, 博士研究生, 研究方向为食品化学与营养学。E-mail: fenghuodianzmx@163.com

\* 通讯作者: 阚建全(1965-), 男, 教授, 研究方向为食品化学与营养学。E-mail: ganjq1965@163.com

L-半胱氨酸0.15%。

### 1.2 仪器与设备

超微粉碎设备(BFM-T6BI) 济南倍力粉技术工程有限公司; 光学显微镜(BK-DM320) 重庆奥特工程技术有限公司; 扫描电子显微镜(S-3000N)、离子溅射镀膜仪(E-1010) 日本HITACHI公司; 偏光显微镜(E600 POL) 尼康仪器(上海)有限公司; X-射线衍射仪(XD-3粉末衍射仪) 北京普析通用公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 藕淀粉样品的制备

新鲜莲藕洗净、去皮、粉碎、过滤后, 静置, 弃上清液; 下层沉淀用清水清洗, 再静置分层, 弃上清液; 如此重复3次, 然后取出沉淀于60℃烘箱中烘干, 粉碎后过100目筛, 即为实验用的藕淀粉样品。

#### 1.3.2 不同粒度超微全藕粉样品的制备

新鲜莲藕洗净、去皮、浸泡在60℃的护色液中保持15min后, 取出, 切成2~3mm的薄片, 置于热风干燥箱中干燥1h(水分含量控制在10%以下), 取出藕片, 先粗粉碎将其粒度控制在2mm以下, 再超微粉碎30min后, 依次过100、200和300目筛, 得到不同粒度的超微全藕粉样品, 分别表示为1-100, 1-200, 1-300。

#### 1.3.3 分析方法

##### 1.3.3.1 超微全藕粉与藕淀粉颗粒的光学显微镜观察

取洗净、干燥的载玻片, 滴1滴蒸馏水于载玻片上, 取少许样品置于水滴中, 轻轻搅动, 使之均匀分散后盖上盖玻片后, 放在光学显微镜下放大200倍、400倍, 观察颗粒的表面形态。

##### 1.3.3.2 超微全藕粉与藕淀粉颗粒扫描电子显微镜观察

将双面胶贴于扫描电子显微镜的载物台上, 用牙签沾取少许干燥后的样品轻轻在双面胶上涂抹均匀。用洗耳球吹去多余的样品, 然后用离子溅射镀膜仪将样品喷炭镀金, 2h后将载物台取出放入扫描电子显微镜中观察颗粒的表面结构。电子枪加速电压为15kV, 分别放大400倍、600倍。

##### 1.3.3.3 超微全藕粉与藕淀粉颗粒的偏光显微镜观察

取洗净、干燥的载玻片, 滴1滴蒸馏水于载玻片上, 取少许样品置于水滴中, 轻轻搅动, 使之均匀分散后盖上盖玻片后, 放在偏光显微镜下放大200倍观察其偏光十字。

##### 1.3.3.4 超微全藕粉与藕淀粉的X-射线衍射分析<sup>[5]</sup>

采用步进扫描法, 测定条件为: 起始角 $2\theta=5^\circ$ , 终止角 $2\theta=60^\circ$ , 步长 $0.02^\circ$ , 扫描速度 $10^\circ/\text{min}$ , 积分时间0.2s, 靶型Cu, 管压管流36kV、20mA。

## 2 结果与分析

### 2.1 超微全藕粉与藕淀粉颗粒的光学显微镜观察

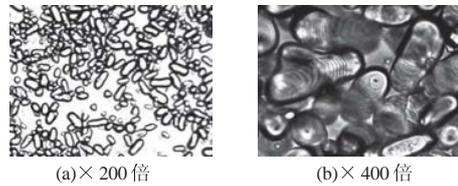


图1 藕淀粉的光学显微镜图

Fig.1 Optical micrograph of lotus starch

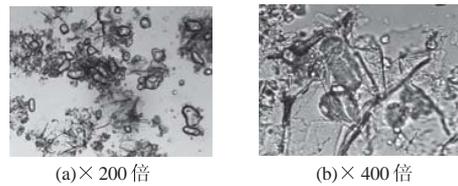


图2 全藕粉1-100的光学显微镜图

Fig.2 Optical micrograph of whole lotus powder with 1 to 100 particle size

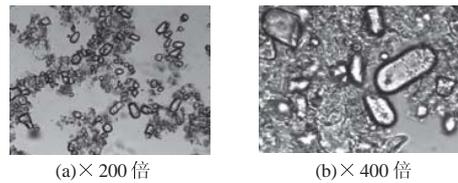


图3 全藕粉1-200的光学显微镜图

Fig.3 Optical micrograph of whole lotus powder with 1 to 200 particle size

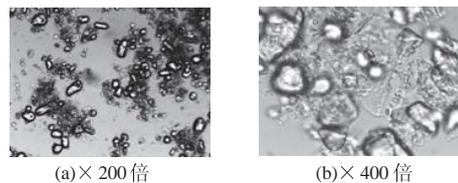
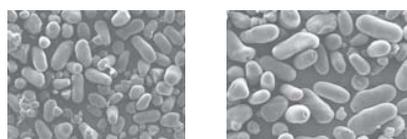


图4 全藕粉1-300的光学显微镜图

Fig.4 Optical micrograph of whole lotus powder with 1 to 300 particle size

由图1~4可知, 莲藕淀粉颗粒的大小不一, 大多为颗粒较大的棒状形, 少数为颗粒较小的圆形和椭圆形, 极少数为多角形; 具有环层结构, 有明显的环纹; 颗粒粒心偏于一端, 故为偏心环纹。全藕粉经过超微粉碎后, 可看到颗粒较大的棒状淀粉颗粒大多被破坏, 成为不规则颗粒, 但对颗粒较小的圆形和椭圆形淀粉颗粒破坏较小; 全藕粉中的膳食纤维等在显微镜下清晰可见, 在100目全藕粉中可以看到杂乱的线状纤维, 而在200目和300目的全藕粉中, 纤维也已经被粉碎成与淀粉颗粒大小相近的小颗粒。

### 2.2 超微全藕粉与藕淀粉颗粒的扫描电子显微镜观察



(a)×400倍 (b)×600倍

图5 藕淀粉的扫描电子显微镜图

Fig.5 Scanning electron micrograph of lotus starch

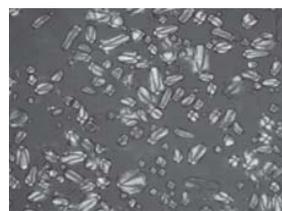
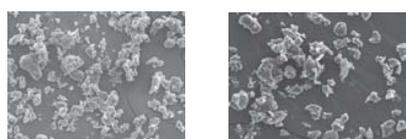


图9 藕淀粉的偏光显微镜图(×200倍)

Fig.9 Polarizing micrograph of lotus starch (×200)



(a)×400倍 (b)×600倍

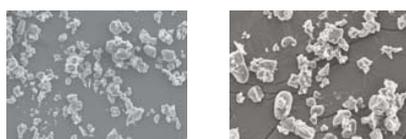
图6 全藕粉1-100的扫描电子显微镜图

Fig.6 Scanning electron micrograph of whole lotus powder with 1 to 100 particle size



图10 全藕粉1-100的偏光显微镜图(×200倍)

Fig.10 Polarizing micrograph of whole lotus powder with 1 to 100 particle size (×200)



(a)×400倍 (b)×600倍

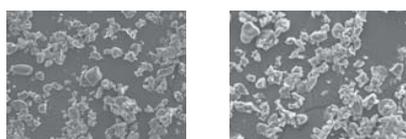
图7 全藕粉1-200的扫描电子显微镜图

Fig.7 Scanning electron micrograph of whole lotus powder with 1 to 200 particle size



图11 全藕粉1-200的偏光显微镜图(×200倍)

Fig.11 Polarizing micrograph of whole lotus powder with 1 to 200 particle size (×200)



(a)×400倍 (b)×600倍

图8 全藕粉1-300的扫描电子显微镜图

Fig.8 Scanning electron micrograph of whole lotus powder with 1 to 300 particle size



图12 全藕粉1-300的偏光显微镜图(×200倍)

Fig.12 Polarizing micrograph of whole lotus powder with 3 to 100 particle size (×200)

由图5~8可以看出,藕淀粉颗粒表面光滑,无裂纹,少量破损,大多数颗粒呈棒状,颗粒大小在40~50 $\mu\text{m}$ 左右,少部分淀粉颗粒呈椭圆形或圆形,颗粒大小在10~25 $\mu\text{m}$ 左右,极少数为不规则性状,与光学显微镜观察的结果一致。全藕粉经过超微粉碎后,藕淀粉原有的颗粒结构大多被破坏,只能观察到极少完整的淀粉颗粒,且破损的淀粉颗粒与其他的颗粒黏附在一起,形成小的粒子团。一般经过超微粉碎达到一定的细度后,容易发生结块现象。所以,过筛时,有些小颗粒由于黏附作用也会在100目的全藕粉中出现。

### 2.3 超微全藕粉与藕淀粉颗粒的偏光显微镜观察

由图9~12可知,藕淀粉颗粒的偏光十字很明显,颗粒较大的棒状淀粉,脐点位于颗粒的一端,藕淀粉颗粒的十字不规则,大部分呈“X”形,中间出现盲区;颗粒较小的椭圆形或圆形淀粉,脐点位于淀粉颗粒中央,呈垂直十字形或斜十字形,部分呈“X”形,中间出现盲区;这种“X”型偏光十字是由于藕淀粉颗粒内部存在着两种不同的结构即结晶结构和无定形结构的缘故,在结晶区的藕淀粉分子链是有序排列的,而在无定形区的藕淀粉分子链是无序排列的,这两种结构在密度和折射率上存在差异,产生各向异性现象,从而在偏振光通过淀粉颗粒时形成了偏光十字。经过超微粉碎的全藕粉,大多藕淀粉的结构被破坏,只能看到部分未被破坏的藕淀粉颗粒的偏光十字。

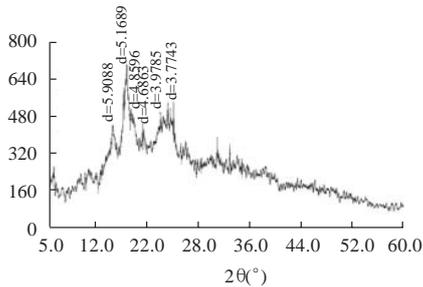


图 13 藕淀粉的 X-射线衍射图

Fig.13 X-ray diffraction pattern of lotus starch

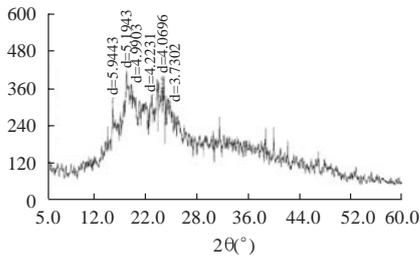


图 14 全藕粉 1-100 的 X-射线衍射图

Fig.14 X-ray diffraction pattern of whole lotus powder with 1 to 100 particle size

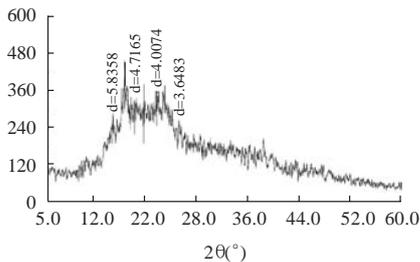


图 15 全藕粉 1-200 的 X-射线衍射图

Fig.15 X-ray diffraction pattern of whole lotus powder with 1 to 200 particle size

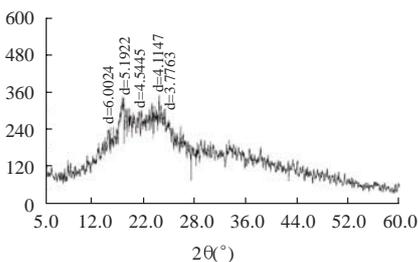


图 16 全藕粉 1-300 的 X-射线衍射图

Fig.16 X-ray diffraction pattern of whole lotus powder with 1 to 300 particle size

#### 2.4 超微全藕粉与藕淀粉颗粒的 X-射线衍射分析

根据淀粉颗粒的 X-射线衍射图谱,可将淀粉分为 A、B、C 三种类型。通常谷物淀粉呈 A 型,大多数的块茎类淀粉呈 B 型,豆类淀粉多为 C 型,而普遍认为 C 型是 A 型和 B 型的混和物。A 型淀粉在  $2\theta$  为  $15.3^\circ$ 、 $17.0^\circ$ 、 $18.0^\circ$ 、 $19.7^\circ$ 、 $22.2^\circ$ 、 $23.4^\circ$  有衍射峰, B 型淀粉在  $2\theta$  为  $5.5^\circ\sim 5.6^\circ$ 、 $15.0^\circ$ 、 $17.0^\circ$ 、 $19.7^\circ$ 、 $22.2^\circ$  和  $24.0^\circ$  有衍射峰,而 C 型淀粉在  $2\theta$  为  $5.5^\circ$ 、 $17.0^\circ$ 、 $18.0^\circ$ 、 $20.0^\circ$  和

$23.5^\circ$  有衍射峰<sup>[6]</sup>。A 型和 B 型淀粉 X-射线衍射图的差别就在于 B 型淀粉在  $5^\circ\sim 6^\circ$  有相对较强的峰出现,而 A 型淀粉在此没有强峰。从图 13 中可以看出,藕淀粉在  $2\theta$  为  $5.65^\circ$  时有一个衍射峰出现,在  $2\theta$  为  $17.0^\circ$  时有强峰出现,在  $2\theta$  为  $15.0^\circ$ 、 $19.0^\circ$ 、 $22.0^\circ$  和  $24.0^\circ$  有中等强度的衍射峰出现。因此,藕淀粉颗粒的结晶结构为 B 型。

全藕粉经过超微粉碎处理后,淀粉颗粒的天然结晶结构大部分被破坏,由图 14~16 可以看出,在  $2\theta$  为  $5.65^\circ$  处的衍射峰消失,在  $2\theta$  为  $15.0^\circ$ 、 $17.0^\circ$ 、 $19.0^\circ$ 、 $22.0^\circ$  和  $24.0^\circ$  处的衍射峰强度降低,半峰宽增宽,说明结晶颗粒被破坏。且随着超微粉碎粒度的减小,衍射峰强度越低,半峰宽越宽,结晶颗粒被破坏的程度越大。

从 X-射线衍射图谱中还可以看出,超微全藕粉与藕淀粉相比,结晶区域减小,而非结晶区域增大。杨景峰等的研究表明淀粉经非晶化后,其酶的降解性、反应活性等有所增强<sup>[7]</sup>。

### 3 结论

3.1 本实验结果表明,藕淀粉颗粒表面光滑,无裂纹,少量破损,大多数颗粒呈棒状,颗粒大小在  $40\sim 50\mu\text{m}$  左右,少部分淀粉颗粒呈椭圆形或圆形,颗粒大小在  $10\sim 25\mu\text{m}$  左右,极少数为多角形,为偏心环纹,与秦志荣等的研究结果略有不同,他们的研究结果认为淀粉颗粒呈小圆形和椭圆形,可能是由于采用不同的品种研究所致。全藕粉经过超微粉碎后,藕淀粉原有的颗粒结构大多被破坏,只能观察到极少完整的淀粉颗粒,且破损的淀粉颗粒与其他的颗粒黏附在一起,形成小的粒子团。

3.2 藕淀粉颗粒偏光十字明显,颗粒较大的棒状淀粉,脐点位于淀粉颗粒的一端,其十字不规则,大部分呈“X”形;颗粒较小的椭圆形或圆形淀粉,脐点位于淀粉颗粒中央,呈垂直十字形或斜十字形,部分呈“X”形。经过超微粉碎的全藕粉,大部分淀粉颗粒结构被破坏,只能看到部分未被破坏的藕淀粉颗粒的偏光十字。

3.3 藕淀粉颗粒的结晶结构为 B 型。超微全藕粉随着粒度的减小,衍射峰强度降低,半峰宽增加,结晶区域减小,而非结晶区域增大。

通过对藕淀粉颗粒结构以及不同粒度超微全藕粉颗粒结构的比较研究,为后续全藕粉与藕淀粉功能性质的比较研究提供结构上的理论依据,并为全藕粉的商业化生产和应用提供理论基础和实验数据。

#### 参考文献:

- [1] LEE K, CHOI Y M, NOH D O, et al. Antioxidant effect of Korean traditional lotus liquor (YunYuPju)[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2005, 40: 709-715.
- [2] 张敏, 王亮. 超微粉碎在食品加工中的研究进展[J]. 无锡轻工大学学报, 2003, 22(4): 106-110.
- [3] 秦志荣, 许荣年, 汪庆旗, 等. 藕淀粉颗粒性质的研究及藕粉产品的鉴定[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(1): 136-138.
- [4] 阎燕萍, 陈宗道, 钟耕, 等. 藕淀粉的加工性能研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 259-263.
- [5] 李浪, 周平, 杜平定. 淀粉科学与技术[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1994: 356-370.
- [6] JAYAKODY L, HOOVER L Q, WEBER E. Studies on tuber and root starches. I. Structure and physicochemical properties of innala (*Solenostemon rotundifolius*) starches grown in Sri Lanka[J]. Food Research International, 2005, 38: 615-629.
- [7] 杨景峰, 罗志刚, 罗发兴, 等. 非晶化淀粉研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2007(4): 24-26.