

# 栓皮栎橡子淀粉的加工特性研究

杨雪果, 雷虹, 常飞, 蒋鹏飞, 黄慧娜, 张国云, 段旭昌

(西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨陵 712100)

**摘要:** 本文以市售马铃薯、红薯、绿豆、玉米淀粉为对照, 采用电子显微镜、粘度分析仪、质构仪研究了秦巴山区栓皮栎橡子淀粉的颗粒形貌、直支链淀粉含量、糊化特性、冻融稳定性、凝胶特性。结果表明: 栓皮栎橡子淀粉颗粒呈肾形、三角形、卵圆形、球形等, 平均粒径 9.4  $\mu\text{m}$ , 均小于对照淀粉颗粒; 栓皮栎橡子淀粉糊化温度 71.23  $^{\circ}\text{C}$ , 糊化粘度值大于玉米而小于马铃薯、绿豆和红薯淀粉, 热糊稳定性优于红薯、绿豆、马铃薯而劣于玉米淀粉, 回生速度快于马铃薯、玉米、红薯而慢于绿豆淀粉, 冻融稳定性优于马铃薯淀粉而劣于绿豆、玉米、红薯淀粉; 在同浓度下, 栓皮栎橡子淀粉凝胶的硬度、胶着性、咀嚼性小于绿豆淀粉而大于玉米、马铃薯、红薯淀粉, 其凝胶弹性大于马铃薯淀粉凝胶, 而与玉米和绿豆淀粉凝胶相当, 小于红薯淀粉凝胶, 粘聚性和恢复性均大于对照淀粉凝胶, 宜作为面条、粉条、粉皮、凉粉和等凝胶类食品的辅助品质改良材料以及作为稳定剂应用于糖果和烘焙工业当中, 不宜用于冷冻食品。

**关键词:** 栓皮栎; 橡子淀粉; 淀粉颗粒; 糊化特性; 凝胶特性

文章编号: 1673-9078(2015)11-250-256

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.11.038

## Processing Properties of Starch from *Quercus variabilis* Bl. Acorn

YANG Xue-guo, LEI Hong, CHANG Fei, JIANG Peng-fei, HUANG Hui-na, ZHANG Guo-yun, DUAN Xu-chang

(College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** Commercially available potato starch, sweet potato starch, mung bean starch, and corn starch were used as controls to investigate the granule morphology, amylose and amylopectin content, gelatinization property, freeze-thaw stability, and gel texture of the starch obtained from *Quercus variabilis* Bl. acorn grown in the Qinba mountain area. These properties were investigated by scanning electron microscopy (SEM), Rapid Visco Analyzer (RVA), and texture profile analysis (TPA). The results showed that the granules of *Quercus variabilis* Bl. acorn starches were kidney-, triangular-, oval-, and sphere-shaped, respectively, with an average particle size of 9.4  $\mu\text{m}$ , which is smaller than that of the control starches. The gelatinization temperature of the acorn starch was 71.23  $^{\circ}\text{C}$  and the viscosity of gelatinized acorn starch was higher than that of corn starch and lower than that of potato, mung bean, or sweet potato starches. The hot-paste stability of acorn starch was higher than that of sweet potato, mung bean, or potato starches, and lower than that of corn starch. The retrogradation rate of acorn starch paste was higher than that of potato, corn, and sweet potato starches, and lower than that of mung bean starch. The freeze-thaw stability of acorn starch paste was higher than that of potato starch and lower than that of mung bean, corn, or sweet potato starches. At the same starch concentration, the hardness, gumminess, and chewiness of the acorn starch gel were lower than those of mung bean starch and higher than those of corn, potato, and sweet potato starches. The springiness of the acorn starch gel was higher than that of potato starch, lower than that of sweet potato starch, and the same as that of corn and mung bean starches. The cohesiveness and resilience of acorn starch gel were higher than those of control starches. Therefore, the starch from *Quercus variabilis* Bl. acorn is suitable to be used as auxiliary material for quality improvement in starch-based gel foods including noodles, vermicelli, glass noodles, and jelly, and as a stabilizer in sugar and baking industry. This starch, however, is not suitable for frozen foods.

**Key words:** *Quercus variabilis* Bl.; acorn starch; starch granules; gelatinization property; gel property

橡子泛指除大量栽培种板栗之外具有一定开发利用价值的壳斗科植物的果实<sup>[1]</sup>, 在全球范围内有 8

收稿日期: 2014-12-30

基金项目: 国家林业局林业公益性行业科研专项 (200704009)

作者简介: 杨雪果 (1989-), 女, 硕士, 主要从事野生植物资源利用研究。

通讯作者: 段旭昌 (1965-), 男, 博士, 副教授, 主要从事食品加工新技术

及天然产物研究

属 900 余种, 我国橡子资源丰富, 据统计, 我国大约有橡树林 1.33 $\times 10^7$ ~1.67 $\times 10^7$   $\text{hm}^2$ , 橡子的年产量估计在 60~70 亿 kg。橡子营养丰富, 橡仁含淀粉 50%~70%、单宁 0.26%~17.74%、蛋白质 1.17%~8.72%、油脂 1.04%~6.86%, 此外还含有多种氨基酸和丰富矿物质<sup>[2]</sup>。橡子具有降血糖、调节血脂、清除重金属、调理脾胃、排毒、减肥、延缓人体衰老等多种保健功能。

秦巴山区是我国橡子的主产区,而栓皮栎(*Quercus variabilis* BL.)橡子是秦巴山区的主要橡子来源,资源丰富。

对于橡子的应用主要集中在淀粉上,橡子作为地方特色饮食的一部分,人们把橡子做成面包蛋糕制品来消费,曾占到意大利和西班牙穷人消费食物的25%。此外,橡子可以用来酿酒、制作豆腐、橡子酱、橡子羹等。在工业方面,利用橡子淀粉代替粮食淀粉作为纺织、印染和造纸工业的上浆剂和制造工业乙醇等,缓解粮食紧缺局面。

据前人研究结果,橡子淀粉粒径大小、直支链淀粉含量、糊化性质、流变学性质和热力学性质因品种和产地不同而不同<sup>[3-6]</sup>。目前人们对栓皮栎橡子淀粉的结构、糊化特性、凝胶特性和加工应用研究报道较少。本文秦巴山区主产的栓皮栎橡子为原料制备栓皮栎橡子淀粉,采用扫描电子显微镜、快速粘度分析仪、TPA(Texture Profile Analysis)食品质构分析仪,以玉米、红薯、马铃薯、绿豆淀粉为对照,研究了栓皮栎橡子淀粉的颗粒形貌、直支链淀粉含量、热糊化及凝胶特性,以期能为秦巴山区栓皮栎橡子淀粉的开发应用提供一定理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

栓皮栎橡子:采自陕西商洛市山阳县苍龙山森林公园,经西北农林科技大学吴振海、杨荣慧两位植物分类教授确认鉴定。

玉米、红薯、马铃薯、绿豆淀粉均为市售淀粉,购于当地超市。

马铃薯直、支链淀粉标准品,购自Sigma公司。

### 1.2 仪器与设备

快速粘度分析仪器, Perten(瑞典波通)公司; SEM6360LV扫描电镜,日本电子株式会社; S-4800场发射扫描电子显微镜,日本电子株式会社; TA-XT plus型食品品质质构仪,英国Stable Micro System公司; DGG-9140A型电热恒温鼓风干燥箱,北京科伟永鑫试验仪器设备厂; HC-3018高速离心机,安徽中科中佳科学仪器有限公司; TDL-5-A型低速台式大容量离心机,上海安亭科学仪器厂; 索式提取装置。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 栓皮栎橡子淀粉的制备

##### 1.3.1.1 栓皮栎橡子淀粉制备工艺流程

栓皮栎橡子→干燥→脱壳→果仁→破碎脱单宁→水洗→烘干→粉碎→石油醚脱脂→二次脱单宁→水洗过滤→淀粉乳→离心分离→淀粉乳干燥(40℃)→橡子淀粉

##### 1.3.1.2 栓皮栎橡子淀粉制备操作要点

将采摘的栓皮栎橡子在阳光下晾晒2~3d,再经50℃烘干3~4h,橡子壳自动开裂,将已烘干的栓皮栎橡子脱壳,果仁破碎成四瓣,用0.25%(m/V)氢氧化钠溶液浸泡24h脱单宁后用蒸馏水洗至中性,50℃烘干,用超微粉碎机将烘干的橡子仁粉碎过100目筛;称取100g橡子仁粉,以石油醚为提取溶剂,索氏提取2h去除脂肪,将去除脂肪的橡子粉于0.1%的碱水中浸泡再次脱除单宁,每隔12h换碱水1次,直到浸至碱水无色为止充分脱去单宁,最后用清水漂洗至中性,用100目筛网过滤,4000r/min离心10min,水洗二次,取下层淀粉在40℃恒温鼓风干燥箱中干燥至恒重,将烘干后的淀粉再次进行研磨过100目筛保存备用。

##### 1.3.2 淀粉颗粒形貌及粒径测定

用双面胶粘取少量淀粉样品,固定在样品台上,做好标记,喷金处理。用JSM-6360LV型扫描电子显微镜观察并拍摄各淀粉颗粒放大1500倍的形貌,用S-4800场发射扫描电子显微镜观察并拍摄各淀粉颗粒放大5000倍的颗粒表面细微形貌。比较栓皮栎橡子淀粉与对照淀粉的颗粒形貌,采用smile view 2.03图像分析软件测定各淀粉的粒径大小。

##### 1.3.3 直链淀粉和支链淀粉含量测定

参考Martinez和Jacques<sup>[7]</sup>的比色方法,以马铃薯直、支链淀粉作标准,测定栓皮栎橡子、玉米、红薯、马铃薯、绿豆淀粉中直链淀粉和支链淀粉含量。

##### 1.3.4 淀粉糊化特性测定方法

准确称取1g淀粉,放入铝盒中,加入9mL去离子水,震荡均匀,制备成质量分数为10%的淀粉乳,放入快速粘度分析仪中测定各淀粉的糊化黏度曲线。测定过程参数控制为:从50℃开始计时,以10℃/min的速度程序升温至100℃,并保温3min,再以10℃/min的速度冷却到50℃,并保温2min。

##### 1.3.5 淀粉糊冻融稳定性测定

参考杜双奎等<sup>[8]</sup>淀粉糊冻融稳定性的测定方法,计算析水率,同时做两组平行试验。

$$\text{析水率} = \frac{\text{淀粉糊质量} - \text{沉淀物质量}}{\text{淀粉糊质量}} \times 100\%$$

##### 1.3.6 淀粉凝胶特性测定方法

将橡子、红薯、玉米、绿豆、马铃薯等五种淀粉采用50℃烘干至恒重后,分别制成8%、10%、12%、14%、16%五个梯度的不同浓度的淀粉乳,将制备好的淀粉乳样品分别于95℃温度下缓慢搅拌30min,

使之充分糊化,冷却至室温,置于4℃冰箱中静置24 h使其形成凝胶,采用TPA食品质构分析仪用穿刺法测定各淀粉凝胶质构曲线,测定条件:采用P/5圆柱探头,用2次下压的TPA穿刺模式测定,测前、测试、测后速度均设定为1 mm/s,触发类型为自动,触发力为5 g,整个测定过程经历35 s,每个样品测试三次,取平均值。

#### 1.4 数据处理

数据统计分析采用Excel和Minitab16分析软件进行处理。

## 2 结果与讨论

### 2.1 栓皮栎橡子淀粉颗粒形貌及粒径测定结果分析

栓皮栎橡子淀粉与红薯、绿豆、玉米、马铃薯淀粉颗粒形貌测定结果见图1,由图1可以看出,橡子淀粉颗粒有肾形、卵圆形、球形、鹅卵石形等多种形状,淀粉颗粒大小差异明显,大部分颗粒较小,少量颗粒较大,颗粒表面较光滑,有脱皮和裂痕现象,表层层析纹络清晰。而红薯淀粉颗粒均为球形晶体,表面有破损痕迹,颗粒形状均匀,小颗粒较少。绿豆淀粉颗粒呈肾形,颗粒形状均匀,大小较为均一,表面光滑有少量起皮破损现象。玉米淀粉颗粒为不规则晶体状,表面有凹坑,细微表面显示有丰富的针孔,层析清晰。马铃薯淀粉颗粒大部分为不规则晶体状,晶体表面有凹坑,少量颗粒为卵圆形,细微结果显示马铃薯淀粉颗粒表面也具有丰富的小针孔。通过对各淀粉颗粒形貌比较,发现不同来源的淀粉颗粒形貌差异较大。栓皮栎橡子淀粉与红薯、绿豆、玉米、马铃薯淀粉颗粒粒径测定结果见表1。由表1可知栓皮栎橡子淀粉颗粒粒径在2.07~20.28 μm之间,平均粒径为9.4 μm,粒径在1.0~4.9 μm间颗粒占30.38%,在5.0~9.9 μm间占39.21%,在10.0~14.9 μm间占25.25%,在15.0~19.9 μm间占3.84%,在20.0~25 μm间占1.32%,94.84%的颗粒粒径在1.0~14.9 μm之间。而红薯淀粉颗粒粒径在2.76~18.91 μm之间,平均粒径为14.61 μm,没有大于19 μm的颗粒。绿豆淀粉颗粒粒径4.50~23.91 μm之间,平均粒径为17.54 μm,98.42%的颗粒粒径在5.9~25 μm之间。马铃薯淀粉颗粒粒径在4.58~25.19 μm之间,平均粒径13.47 μm,大部分颗粒粒径位于5.0~20 μm之间。玉米淀粉颗粒粒径在5.55~18.44 μm之间,平均粒径10.11 μm,大部分颗粒

粒径也位于5.0~20 μm之间。通过平均颗粒粒径比较,这几种淀粉颗粒平均粒径的大小排序依次为栓皮栎橡子淀粉颗粒<玉米淀粉颗粒<马铃薯淀粉颗粒<红薯淀粉颗粒<绿豆淀粉颗粒,栓皮栎橡子淀粉的颗粒最小。

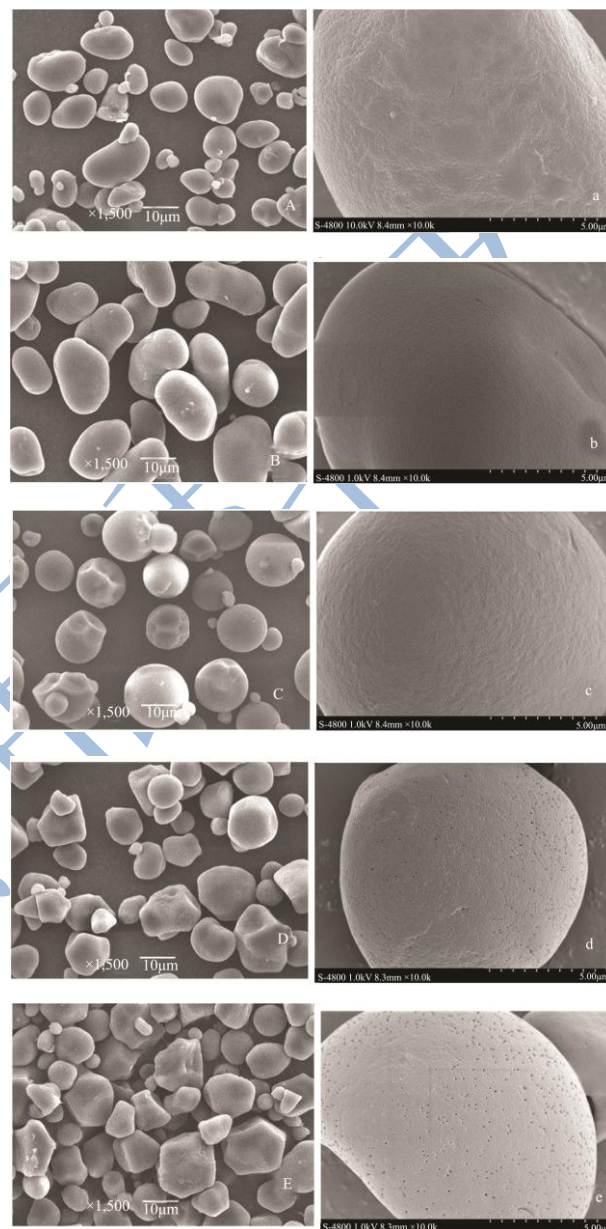


图1 淀粉颗粒形貌图

Fig.1 Morphology of starch granules

注: A: 橡子淀粉; a: 橡子淀粉 B: 绿豆淀粉; b: 绿豆淀粉; C: 红薯淀粉; c: 红薯淀粉; D: 玉米淀粉; d: 玉米淀粉; E: 马铃薯淀粉; e: 马铃薯淀粉。

试验测定的秦巴山区栓皮栎橡子淀粉颗粒粒径范围与Cho等<sup>[9]</sup>报道的橡子淀粉颗粒粒径范围(5~20 μm)基本接近,比David G<sup>[4]</sup>等报道的沼生栎橡子(*Quercus palustris* Muench)淀粉颗粒粒径范围(3-17 μm)和程荷芳<sup>[3]</sup>报道的橡子(产自河南)淀粉颗粒粒径范围(3.57~13.6 μm)要大。经以上分析可知栓皮栎橡

子淀粉颗粒比对照淀粉颗粒要小, 形状多, 粒径范围分布宽。由于淀粉颗粒形貌和粒径大小及粒径分布范围对其加工特性有着重要影响<sup>[10]</sup>, 所以栓皮栎淀粉与

玉米、红薯、马铃薯、绿豆淀粉相比会表现出特殊的热加工性能。

表 1 淀粉颗粒粒径大小

Table 1 Particle size of starches

| 淀粉种类    | 颗粒形态     | 粒径范围/ $\mu\text{m}$ | 粒径范围所占比率/%            |                       |                         |                         |                       | 平均直径(长直径)/ $\mu\text{m}$ |
|---------|----------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|
|         |          |                     | 1.0~4.9 $\mu\text{m}$ | 5.0~9.9 $\mu\text{m}$ | 10.0~14.9 $\mu\text{m}$ | 15.0~19.9 $\mu\text{m}$ | 20.0~25 $\mu\text{m}$ |                          |
| 栓皮栎橡子淀粉 | 椭圆、肾形、球形 | 2.07~20.28          | 30.38                 | 39.21                 | 25.25                   | 3.84                    | 1.32                  | 9.40                     |
| 红薯淀粉    | 球形、半球形   | 2.76~18.91          | 19.59                 | 24.03                 | 42.21                   | 14.17                   | 0.00                  | 14.61                    |
| 绿豆淀粉    | 肾形、卵圆形   | 4.50~23.91          | 1.58                  | 12.91                 | 37.12                   | 11.31                   | 37.08                 | 17.54                    |
| 马铃薯淀粉   | 多面体形、卵形  | 4.58~25.19          | 2.62                  | 30.81                 | 52.48                   | 12.90                   | 1.19                  | 13.47                    |
| 玉米淀粉    | 球形或多角形   | 5.55~18.44          | 9.14                  | 40.03                 | 34.38                   | 15.51                   | 0.94                  | 10.11                    |

## 2.2 栓皮栎橡子淀粉直支链淀粉含量测定结果分析

直链淀粉难溶于水, 溶液不稳定, 凝沉性较强, 具有成膜性、脂肪模拟、凝胶性等功能; 支链淀粉易溶于水, 溶液温度, 凝沉性弱, 具有抗老化、改善冻融稳定性、增稠作用、高胀性与吸水性等功能。淀粉中直支链淀粉含量不同, 其表现的加工特性亦不同。

栓皮栎橡子淀粉与红薯、绿豆、玉米、马铃薯淀粉的直支链淀粉含量测定结果见表 2, 由表 2 可知, 栓皮栎橡子淀粉中含直链淀粉 24.20%, 支链淀粉 63.93%, 支链淀粉含量远高于直链淀粉。栓皮栎淀粉中的直链淀粉含量小于绿豆淀粉而大于红薯、马铃薯、玉米淀粉; 支链淀粉含量小于马铃薯淀粉而大于绿豆淀粉, 与红薯淀粉和玉米淀粉相当。栓皮栎橡子淀粉直支链含量与对照淀粉有差异, 因此, 具有特殊的加工性能。

表 2 淀粉中直支链淀粉含量/%

Table 2 Amylose and amylopectin content in starch

| 淀粉种类 | 橡子               | 红薯               | 绿豆               | 马铃薯              | 玉米               |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 直链淀粉 | 24.20 $\pm$ 0.50 | 18.87 $\pm$ 0.71 | 45.63 $\pm$ 0.59 | 11.61 $\pm$ 0.43 | 22.81 $\pm$ 0.31 |
| 支链淀粉 | 63.93 $\pm$ 0.29 | 65.57 $\pm$ 0.81 | 43.95 $\pm$ 1.29 | 77.69 $\pm$ 0.86 | 61.41 $\pm$ 0.42 |

## 2.3 栓皮栎橡子淀粉糊化特性试验结果分析

栓皮栎橡子淀粉与红薯、绿豆、玉米、马铃薯淀粉的糊化特性曲线测定结果见图 2 和表 3。通过图 2 和表 2 可知栓皮栎橡子淀粉的起始糊化温度是 71.23  $^{\circ}\text{C}$ , 均大于玉米、红薯、马铃薯和绿豆淀粉; 糊化峰值粘度小于马铃薯、绿豆、红薯淀粉, 而大于玉米淀粉, 谷值粘度小于马铃薯、绿豆淀粉而大于玉米、红薯淀粉, 糊化最终粘度小于绿豆、马铃薯淀粉而大于红薯、玉米淀粉; 糊化粘度衰减值小于红薯、绿豆、马铃薯淀粉而大于玉米淀粉, 糊化回生值小于绿豆淀粉而大于马铃薯、玉米、红薯淀粉。

糊化的本质是水分子进入淀粉粒中, 使淀粉分子之间的氢键断裂, 破坏淀粉分子之间的缔合状态, 一般颗粒大的淀粉结构松散易于糊化<sup>[12]</sup>; 此外糊化温度与直链淀粉含量也有关系, 直链淀粉将支链淀粉包围与其缠绕穿过支链淀粉形成的结晶区与无定形区, 将支链淀粉束缚, 对淀粉颗粒的膨胀和糊化具有抑制作用, 使糊化困难, 因此直链淀粉含量多的淀粉一般不易糊化<sup>[13]</sup>。橡子淀粉颗粒最小, 直链淀粉含量仅小于绿豆淀粉, 所以糊化温度较高。虽然绿豆淀粉中直链淀粉含量很高, 但其糊化温度较低, 这可能是因为绿豆淀粉的颗粒较大且均匀性抵消了直链淀粉对糊化温度的影响。

淀粉糊化黏度曲线描述了淀粉的热加工性能, 与淀粉的来源、颗粒形貌、粒径、相对分子量、直支链淀粉含量、比例、蛋白质和脂质含量等因素相关<sup>[11]</sup>。栓皮栎橡子淀粉比红薯、马铃薯、绿豆、玉米淀粉难以糊化的主要原因与其颗粒偏小、型态分布多样、粒径分布宽泛和直支链淀粉含量、比例有一定的关系。

栓皮栎橡子淀粉糊化的峰值粘度低于马铃薯、红薯淀粉而高于玉米淀粉, 主要是因为其所含的支链淀粉低于马铃薯、红薯淀粉而高于玉米淀粉所致。虽然栓皮栎橡子淀粉的支链淀粉高于绿豆淀粉, 但其颗粒平均粒径远小于绿豆淀粉, 并且粒径分布范围比绿豆淀粉宽泛, 在糊化过程中淀粉颗粒膨胀程度较小而导

致峰值粘度较低<sup>[14]</sup>。栓皮栎橡子淀粉糊的衰减值大于玉米淀粉而小于红薯、绿豆、马铃薯淀粉,说明栓皮栎橡子淀粉在糊化过程中淀粉颗粒的崩解速度比玉米淀粉快,而比红薯、绿豆、马铃薯淀粉慢,说明栓皮栎橡子淀粉热糊稳定性优于红薯、绿豆、马铃薯淀粉而劣于玉米淀粉;回生值反映了淀粉糊冷却过程的稳定性和老化速度,回生值越大,淀粉糊冷却的稳定性越差,老化速度越快,凝胶的硬度越大,同时淀粉糊的冷却稳定性及老化速度与其直支链淀粉的含量、比例相关,直链淀粉含量越高,淀粉糊的冷却稳定性越差,老化速度越快<sup>[15]</sup>。栓皮栎橡子淀粉的回生值仅小于绿豆而远大于马铃薯、红薯和玉米淀粉,说明栓皮栎橡子淀粉糊的冷却稳定性优于绿豆淀粉而劣于马铃薯、红薯、玉米淀粉,老化速度比绿豆淀粉慢而比马

铃薯、红薯、玉米淀粉快,冷却后形成的凝胶硬度小于绿豆淀粉而大于马铃薯、红薯、玉米淀粉。

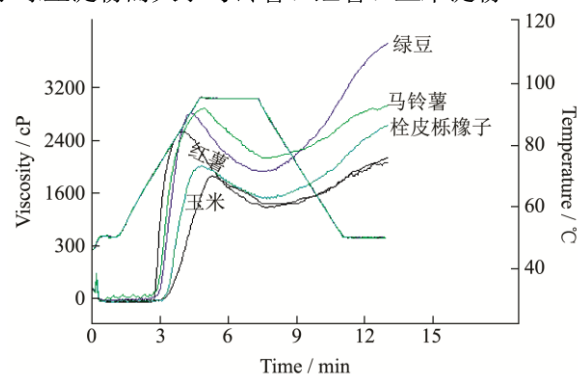


图2 淀粉的RVA 粘度曲线图

Fig.2 RVA viscosity curve of the starches

表3 淀粉RVA参数

Table 3 RVA parameters of the starches

| 淀粉种类  | 起始糊化温度/°C                | 峰值黏度/cp                    | 谷值黏度/cp                    | 衰减值/cp                     | 最终黏度/cp                    | 回生值/cp                     |
|-------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 橡子淀粉  | 71.23±0.37 <sup>a</sup>  | 2082.00±42.00 <sup>d</sup> | 1537.00±55.00 <sup>c</sup> | 512.00±25.00 <sup>d</sup>  | 2645.00±9.00 <sup>c</sup>  | 1108.00±60.00 <sup>b</sup> |
| 玉米淀粉  | 70.95±0.57 <sup>a</sup>  | 1825.00±29.00 <sup>e</sup> | 1418.00±25.00 <sup>d</sup> | 408.00±15.00 <sup>e</sup>  | 2156.00±38.00 <sup>d</sup> | 738.00±37.00 <sup>c</sup>  |
| 绿豆淀粉  | 60.21±5.78 <sup>b</sup>  | 2815.00±22.00 <sup>b</sup> | 1917.00±23.00 <sup>b</sup> | 898.00±32.00 <sup>b</sup>  | 3862.00±46.00 <sup>a</sup> | 1945.00±63.00 <sup>a</sup> |
| 马铃薯淀粉 | 60.53±0.55 <sup>b</sup>  | 2887.00±2.00 <sup>a</sup>  | 2166.00±59.00 <sup>a</sup> | 722.00±61.00 <sup>c</sup>  | 2941.00±21.00 <sup>b</sup> | 775.00±59.00 <sup>c</sup>  |
| 红薯淀粉  | 65.13±0.47 <sup>ab</sup> | 2541.00±15.00 <sup>c</sup> | 1368.00±14.00 <sup>d</sup> | 1158.00±20.00 <sup>a</sup> | 2085.00±24.00 <sup>d</sup> | 717.00±21.00 <sup>c</sup>  |

注: 平均值±标准差, 同列数据后不同字母代表差异显著 (P<0.05)。

## 2.4 淀粉糊冻融稳定性测定结果分析

栓皮栎橡子淀粉与玉米、绿豆、马铃薯、红薯淀粉的冻融稳定性测定结果见表4所示。淀粉的冻融稳定性描述了淀粉凝胶冻融过程的保水能力大小和淀粉糊的析水收缩大小,以析水率表示,析水率越高,说明淀粉糊的持水能力越差,越容易析水收缩,淀粉的冻融稳定性越差,对冷冻食品的品质影响越大,淀粉的冻融稳定和淀粉的分子结构有很大的关系。由表4

可知,栓皮栎橡子淀粉凝胶的冻融析水率大于红薯、玉米、绿豆淀粉而小于马铃薯淀粉,说明栓皮栎橡子淀粉凝胶的持水能力优于马铃薯淀粉而劣于红薯、玉米、绿豆淀粉,这些淀粉的持水能力大小依次为绿豆淀粉>玉米淀粉>红薯淀粉>橡子淀粉>马铃薯淀粉。淀粉糊凝胶的冻融析水率越大,持水能力和冻融稳定性越差,越不适宜于冷冻食品中使用,因为这不利于冷冻食品的保水能力,并且影响食品的口感和品质。据此分析栓皮栎橡子淀粉不宜用于冷冻食物。

表4 淀粉糊冻融稳定性

Table 4 Freeze-thaw stability of the starch pastes

| 淀粉种类  | 橡子淀粉       | 绿豆淀粉       | 马铃薯淀粉     | 玉米淀粉       | 红薯淀粉       |
|-------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| 析水率/% | 57.38±0.59 | 34.72±0.63 | 67.5±0.75 | 46.91±0.87 | 55.37±1.07 |

## 2.5 栓皮栎橡子淀粉凝胶特性试验结果分析

栓皮栎橡子淀粉与玉米、绿豆、马铃薯、红薯淀粉凝胶特性测定结果见表5。由表5可知随着淀粉浓度的增加,淀粉凝胶的硬度、胶着性、咀嚼性随之增大,而弹性、粘聚性和回复性与淀粉浓度无关而与淀粉品种相关。不同品种间淀粉凝胶的硬度、胶着性、咀嚼性、弹性、粘聚性和回复性差异显著 (P<0.05)。

在相同浓度下,栓皮栎橡子淀粉凝胶的硬度、胶着性、咀嚼性远大于玉米、马铃薯、红薯淀粉而小于绿豆淀粉;弹性大于马铃薯淀粉,而与玉米和绿豆淀粉相当,小于红薯淀粉;粘聚性大于红薯、玉米、马铃薯、绿豆淀粉;恢复性大于红薯、绿豆、玉米、马铃薯淀粉。说明在淀粉浓度相同的情况下,栓皮栎橡子淀粉形凝胶具有硬度大,弹性好,咀嚼优良,粘性好,恢复性好的优点。

表5 淀粉凝胶特性测定结果

Table 5 Textural properties of the starch gels

| TPA 参数 | 淀粉种类 | 8%                       | 10%                       | 12%                       | 14%                       | 16%                       |
|--------|------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 硬度/g   | 椰子   | 159.67±3.80 <sup>a</sup> | 178.81±7.71 <sup>b</sup>  | 234.12±21.30 <sup>b</sup> | 350.52±5.68 <sup>b</sup>  | 529.95±26.67 <sup>b</sup> |
|        | 马铃薯  | 52.87±2.88 <sup>b</sup>  | 75.92±2.19 <sup>c</sup>   | 102.48±2.66 <sup>d</sup>  | 122.97±3.92 <sup>d</sup>  | 180.13±11.18 <sup>d</sup> |
|        | 红薯   | 20.61±1.80 <sup>c</sup>  | 26.04±1.71 <sup>d</sup>   | 34.28±0.90 <sup>e</sup>   | 37.83±0.60 <sup>e</sup>   | 50.38±0.36 <sup>e</sup>   |
|        | 玉米   | 56.60±1.20 <sup>b</sup>  | 84.86±1.40 <sup>c</sup>   | 136.20±3.54 <sup>c</sup>  | 200.38±3.28 <sup>c</sup>  | 277.44±0.28 <sup>c</sup>  |
|        | 绿豆   | 180.01±5.70 <sup>a</sup> | 286.91±16.57 <sup>a</sup> | 494.27±8.24 <sup>a</sup>  | 635.36±9.38 <sup>a</sup>  | 710.87±14.50 <sup>a</sup> |
| 弹性     | 椰子   | 0.97±0.03 <sup>ab</sup>  | 1.01±0.051 <sup>b</sup>   | 1.00±0.07 <sup>ab</sup>   | 0.94±0.03 <sup>ab</sup>   | 0.99±0.055 <sup>c</sup>   |
|        | 马铃薯  | 0.93±0.01 <sup>ab</sup>  | 0.88±0.01 <sup>b</sup>    | 0.91±0.06 <sup>b</sup>    | 0.89±0.01 <sup>b</sup>    | 0.88±0.00 <sup>d</sup>    |
|        | 红薯   | 1.09±0.15 <sup>a</sup>   | 1.02±0.01 <sup>a</sup>    | 1.12±0.03 <sup>a</sup>    | 1.00±0.01 <sup>a</sup>    | 1.18±0.01 <sup>a</sup>    |
|        | 玉米   | 0.92±0.06 <sup>b</sup>   | 0.96±0.04 <sup>b</sup>    | 0.98±0.01 <sup>ab</sup>   | 0.97±0.02 <sup>ab</sup>   | 0.99±0.001 <sup>c</sup>   |
|        | 绿豆   | 0.99±0.01 <sup>b</sup>   | 1.08±0.09 <sup>a</sup>    | 0.98±0.01 <sup>ab</sup>   | 1.00±0.06 <sup>a</sup>    | 1.10±0.01 <sup>b</sup>    |
| 粘聚性    | 椰子   | 0.80±0.01 <sup>a</sup>   | 0.88±0.01 <sup>a</sup>    | 0.85±0.01 <sup>a</sup>    | 0.85±0.01 <sup>a</sup>    | 0.75±0.03 <sup>a</sup>    |
|        | 马铃薯  | 0.50±0.01 <sup>cd</sup>  | 0.50±0.01 <sup>c</sup>    | 0.55±0.026 <sup>c</sup>   | 0.58±0.01 <sup>c</sup>    | 0.60±0.01 <sup>b</sup>    |
|        | 红薯   | 0.65±0.01 <sup>b</sup>   | 0.73±0.01 <sup>b</sup>    | 0.75±0.01 <sup>b</sup>    | 0.79±0.02 <sup>b</sup>    | 0.79±0.01 <sup>a</sup>    |
|        | 玉米   | 0.54±0.02 <sup>c</sup>   | 0.55±0.03 <sup>c</sup>    | 0.55±0.02 <sup>c</sup>    | 0.56±0.03 <sup>cd</sup>   | 0.56±0.01 <sup>bc</sup>   |
|        | 绿豆   | 0.49±0.01 <sup>d</sup>   | 0.50±0.04 <sup>c</sup>    | 0.49±0.02 <sup>d</sup>    | 0.52±0.03 <sup>d</sup>    | 0.51±0.01 <sup>c</sup>    |
| 胶着性/g  | 椰子   | 127.63±1.34 <sup>a</sup> | 158.6±6.98 <sup>a</sup>   | 199.17±21.07 <sup>b</sup> | 298.51±4.90 <sup>b</sup>  | 401.41±2.29 <sup>a</sup>  |
|        | 马铃薯  | 26.86±1.22 <sup>c</sup>  | 38.50±1.04 <sup>b</sup>   | 57.06±1.45 <sup>cd</sup>  | 71.97±1.70 <sup>d</sup>   | 109.34±6.01 <sup>d</sup>  |
|        | 红薯   | 13.49±0.87 <sup>d</sup>  | 19.34±1.41 <sup>b</sup>   | 25.93±0.84 <sup>d</sup>   | 30.20±0.37 <sup>e</sup>   | 37.90±0.36 <sup>e</sup>   |
|        | 玉米   | 30.74±1.68 <sup>c</sup>  | 47.40±1.74 <sup>b</sup>   | 75.30±1.66 <sup>c</sup>   | 113.73±5.69 <sup>c</sup>  | 157.21±4.46 <sup>c</sup>  |
|        | 绿豆   | 130.15±6.49 <sup>b</sup> | 144.37±27.44 <sup>a</sup> | 244.39±24.76 <sup>a</sup> | 335.14±21.03 <sup>a</sup> | 373.61±10.42 <sup>a</sup> |
| 咀嚼性/g  | 椰子   | 123.72±3.11 <sup>a</sup> | 161.52±14.20 <sup>a</sup> | 198.98±25.54 <sup>a</sup> | 282.96±9.76 <sup>b</sup>  | 398.76±22.90 <sup>a</sup> |
|        | 马铃薯  | 25.00±0.99 <sup>cd</sup> | 34.19±1.19 <sup>c</sup>   | 52.47±4.7 <sup>bc</sup>   | 64.33±0.89 <sup>d</sup>   | 96.31±5.07 <sup>d</sup>   |
|        | 红薯   | 14.73±1.10 <sup>d</sup>  | 24.03±1.93 <sup>c</sup>   | 25.03±5.89 <sup>c</sup>   | 35.72±0.43 <sup>d</sup>   | 37.99±0.23 <sup>e</sup>   |
|        | 玉米   | 28.34±3.17 <sup>c</sup>  | 45.47±2.73 <sup>c</sup>   | 74.46±1.15 <sup>b</sup>   | 111.38±8.06 <sup>c</sup>  | 156.79±4.40 <sup>c</sup>  |
|        | 绿豆   | 134.70±6.24 <sup>b</sup> | 155.79±52.05 <sup>a</sup> | 260.39±25.18 <sup>a</sup> | 365.15±27.36 <sup>a</sup> | 370.30±8.70 <sup>b</sup>  |
| 恢复性    | 椰子   | 0.52±0.03 <sup>a</sup>   | 0.53±0.01 <sup>a</sup>    | 0.57±0.02 <sup>a</sup>    | 0.60±0.01 <sup>a</sup>    | 0.65±0.04 <sup>a</sup>    |
|        | 马铃薯  | 0.12±0.01 <sup>d</sup>   | 0.18±0.01 <sup>c</sup>    | 0.21±0.02 <sup>b</sup>    | 0.15±0.01 <sup>d</sup>    | 0.17±0.01 <sup>c</sup>    |
|        | 红薯   | 0.41±0.01 <sup>b</sup>   | 0.49±0.01 <sup>b</sup>    | 0.50±0.01 <sup>a</sup>    | 0.478±0.06 <sup>b</sup>   | 0.49±0.01 <sup>b</sup>    |
|        | 玉米   | 0.193±0.01 <sup>c</sup>  | 0.19±0.00 <sup>c</sup>    | 0.25±0.02 <sup>b</sup>    | 0.26±0.01 <sup>c</sup>    | 0.18±0.01 <sup>c</sup>    |
|        | 绿豆   | 0.21±0.02 <sup>c</sup>   | 0.22±0.01 <sup>bc</sup>   | 0.233±0.08 <sup>b</sup>   | 0.266±0.01 <sup>c</sup>   | 0.26±0.01 <sup>c</sup>    |

注: 平均值±标准差, 同列数据后不同字母代表差异显著 (P<0.05)。

淀粉的硬度、胶着性、咀嚼性与淀粉的浓度及淀粉中直链淀粉含量相关, 随着淀粉浓度的增加, 单位体积凝胶内淀粉的分子数目增多, 分子间氢键结合几率增大, 形成的网络结构更加致密导致凝胶硬度增加, 胶着性、咀嚼性也随之增加; 淀粉中直链淀粉含量越高, 凝胶形成的氢键越多, 凝胶的硬度也越大, 而且凝胶硬度大小与回生值正相关<sup>[15~16]</sup>。由于栓皮栎椰子淀粉的直链淀粉和回生值小于绿豆而大于红薯、马铃薯、

玉米淀粉, 所以在同浓度下栓皮栎淀粉凝胶的硬度小于绿豆淀粉而大于红薯、马铃薯、玉米淀粉。淀粉凝胶的弹性、粘聚性和恢复性主要与淀粉本身特性和糊化后的空间结构特性相关, 而与淀粉乳浓度关系不大, 这是因为随着淀粉乳浓度的增加会使单位体积内凝胶分散相中的结晶体密度增加和形成更多的有效氢键交联而使凝胶硬度增加, 抵消了因为淀粉浓度增加产生的凝胶弹性; 淀粉凝胶的胶着性描述了淀粉凝胶的黏

性,是硬度与粘聚性的乘积,咀嚼性描述了淀粉凝胶的口感特性,是胶着性和弹性的乘积,所以淀粉浓度和淀粉特性均对凝胶的胶着性与咀嚼性有影响。由于栓皮栎淀粉的颗粒较小,糊化后形成的晶体网络相对密集,导致其弹性、咀嚼、粘性大,恢复性较大。栓皮栎橡子淀粉凝胶表现的特殊性能证明其更适用于作为淀粉凝胶类食品如面条、粉条、粉皮、凉粉的原料或者品质改良材料以及作为稳定剂应用于糖果及烘焙工业上。

### 3 结论

3.1 栓皮栎橡子淀粉颗粒呈肾形、三角形、卵圆形、球形等形状,颗粒大小差异明显,大部分颗粒较小,颗粒表面光滑,部分颗粒有脱皮和裂痕现象,平均粒径 9.40  $\mu\text{m}$ ,其平均粒径小于玉米、马铃薯、红薯、绿豆淀粉。

3.2 栓皮栎橡子淀粉中直链淀粉含量 24.20%,支链淀粉含量 63.93%,高于红薯、马铃薯、玉米淀粉而小于绿豆淀粉。

3.3 栓皮栎橡子淀粉起始糊化温度 71.23  $^{\circ}\text{C}$ ,高于红薯、马铃薯、绿豆、玉米淀粉,不易糊化,糊化粘度低,热稳定性高,易老化,易回生,冻融稳定性差。

3.4 在相同淀粉浓度下,栓皮栎橡子淀粉凝胶的硬度、胶着性、咀嚼性、粘聚性和恢复性较好。

3.5 栓皮栎橡子适用于作为淀粉凝胶类食品如面条、粉条、粉皮、凉粉的原料或者品质改良材料以及作为稳定剂应用于糖果及烘焙工业上,而不宜用于冷冻食品。

### 参考文献

- [1] 胡芳名,李建安,李若婷.湖南省主要橡子资源综合开发利用的研究[J].中南林学院学报,2000,20(4):41-45  
HU Fang-ming, LI Jian-an, LI Ruo-ting .Oak plant resources in hunan with reference to its integrated utilization [J]. Journal of Central South forestry University, 2000, 20(4): 41-45
- [2] 敖特根,杨秋林,米拉,等.蒙古栎橡子营养成分的研究[J].内蒙古农牧学院学报,1998,19:72-76  
AO Te-gen, Yang Qiu-lin, Mi la, et al. Studies on nutrient contents in acorn of quercusmongolia fisch [J]. Journal of Inner Mongolia Institute of Agriculture & Animal Husbandry, 1998, 19: 72-76
- [3] 程荷芳,卫民,蒋剑春,等.橡子与玉米、木薯的淀粉成分物理性质比较[J].林产化学与工业,2009,1:183-186  
CHENG He-fang, WEI Min, JIANG Jian-chun, et al. Comparison on physical properties of acorn starch with corn starch and cassava starch [J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2009, 1: 183-186
- [4] David G S, Jay I J, George E I. Physicochemical properties of Pin Oak (*Quercus palustris* Muenchh.) acorn starch [J].Die Stärke = Starch. 2006 ,58:553-560
- [5] Won-Woo Kim, Byoungseung Yoo. Rheological behaviour of acorn starch dispersions: effects of concentration and temperature [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2009, 44: 503-509
- [6] 王航,黄立新,高群玉,等.橡子淀粉性质的研究[J].食品与发酵工业,2002,07:1-5  
WANG Hang, HUANG Li-xin, GAO Qun-yu, et al. Studies on the properties of acorn starch [J]. Food and Fermentation Industries, 2002, 07: 1-5
- [7] Martinez C, Jacques L P. Determination of amylose in cereal and non-cereal starches by a colorimetric assay collaborative study [J]. Starch/Stärke, 1996, 48: 81-85
- [8] 杜双奎,于修焯,杨雯雯,等.扁豆淀粉理化特性分析[J].农业机械学报,2007,38(9):82-86  
DU Shuang-kui, YU Xiu-zhu, YANG Wen-wen, et al. Physical and Chemical Properties of Haricot Starch [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(9): 82-86
- [9] Cho S A, Kim S K. Particle size distribution, pasting pattern and texture of gel of acorn, mungbean, and buckwheat starches [J]. Kor. J. Food Sci. Technol. 2000, 32: 1291-1297
- [10] Campbell M R, Li J , Berke. T G, et. al. Variation of starch granule size in tropical maize germ plasm [J]. Cereal Chem., 1996,73( 5): 536- 538
- [11] Mar á de los Á C V , Elsa G C, Isela R M, et al. Physicochemical, morphological, and pasting properties of nixtamalized flours from quality protein maize and its particle distribution [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 53(1): 81-87
- [12] 于天峰,夏平.马铃薯淀粉特性及其利用研究[J].中国农学通报,2005,21(1):55-58  
YU Tian-feng, XIA Ping. Characteristic and use of the potato starch [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(1): 55-58
- [13] Singh N, Singh S, Isono N, et al. Diversity in amylopectin structure, thermal and pasting properties of starches from wheat varieties lines [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2009, 45( 3) : 298-304.
- [14] Jaroslav B, Les C, Pasting and swelling properties of wheat

- flour and starch in relation to amylose content [J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 71(3): 380-387
- [15] Noosuk P, Hill S E, Pradipasena P, et al. Structure- viscosity relationships for that rice starches [J]. Starch, 2003, 55(8): 337-344
- [16] 吕振磊,李国强,陈海华.马铃薯淀粉糊化及凝胶特性研究 [J].食品与机械,2010,26(3):22-27
- LU Zhen-lei, LI Guo-qiang, CHEN Hai-hua. Gelationization and gel properties of potato starch [J]. Food and Machinery, 2010, 26(3): 22-27

现代食品科技