

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.06.007

# 7 种特色根茎类淀粉的流变与凝胶特性研究

## Study of the rheological and gel properties of seven kinds of root-derived starch

邹金浩<sup>1,2</sup> 李 燕<sup>1,2</sup> 余虹露<sup>1,2</sup> 郭时印<sup>2</sup>

ZOU Jin-hao<sup>1,2</sup> LI Yan<sup>1,2</sup> YU Hong-lu<sup>1,2</sup> GUO Shi-yin<sup>2</sup>

苏小军<sup>2,3</sup> 李文佳<sup>2</sup> 李清明<sup>1,2</sup>

SU Xiao-jun<sup>2,3</sup> LI Wen-jia<sup>2</sup> LI Qing-ming<sup>1,2</sup>

(1. 生物质醇类燃料湖南省工程实验室[湖南农业大学], 湖南 长沙 410128; 2. 湖南农业大学食品科学与技术学院, 湖南 长沙 410128; 3. 湖南省植物功能成分利用协同创新中心, 湖南 长沙 410128)

(1. Hunan Engineering Laboratory for Alcohol Fuels from Biomass [Hunan Agricultural University], Changsha, Hunan 410128, China; 2. College of Food Science and Technology of Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 3. Hunan Collaborative Innovation Center for Utilization of Botanical Functional Ingredients, Changsha, Hunan 410128, China)

**摘要:**为拓宽中国南方特色根茎类淀粉的应用途径,选取了木薯淀粉为对照,对淮山淀粉和香芋淀粉等根茎类淀粉的糊化、流变和凝胶特性进行了比较研究。结果表明,不同作物间淀粉的流变与凝胶特性差异显著,而不同作物品种间差异相对较小。各淀粉均在 69.77~84.37 °C 时开始糊化,淮山淀粉和香芋淀粉的糊化温度、峰值时间均大于木薯淀粉。木薯淀粉的崩解值高于淮山淀粉和香芋淀粉。7 种根茎类淀粉的弹性模量和黏性模量均随频率增加而增加,且损耗角正切值 ( $\tan \delta$ ) < 1,表现出典型的弱凝胶动态流变学图谱。香芋淀粉和木薯淀粉的凝胶强度、硬度、胶黏性相近,且显著低于淮山淀粉。木薯淀粉凝胶的弹性、内聚性均大于淮山淀粉和香芋淀粉。

**关键词:**根茎;淀粉;糊化性质;流变学特性;凝胶特性

**Abstract:** In order to widen the application of the root-derived starches in South China, the pasting, rheology and gel characteristics of different kinds of root-derived starches from yam and taro were investigated in this study. It turned out that the rheological and gel properties of starch were significantly different, while the differences among different varieties were relatively small. The

pasting temperature of all kinds of starch ranged from 69.77 °C to 84.37 °C, but the pasting temperature and peak time of yam and taro starch was higher than that of tapioca starch. The loss of tapioca starch was higher than those of yam and taro starch. The elasticity modulus  $G'$  and viscosity modulus  $G''$  of the seven kinds of root-derived starch increased with the increase of frequency, and the loss tangent angle ( $\tan \delta$ ) was less than 1, showing a typical weak gel dynamic rheological pattern. The gel strength, hardness and gumminess of taro and tapioca starch were similar, and were lower than those of yam starch. The springiness and cohesiveness of tapioca starch gel were higher than those of yam and taro starch. The wide variability in pasting rheological and gel properties could be useful in different applications of tuber starch.

**Keywords:** root-derived starch; pasting; rheological property; gel property

根茎类作物主要包括甘薯、马铃薯、淮山、芋类等。中国南方根茎类作物资源丰富,拥有马铺淮山、江永香芋等国家地理标志产品等极具地方特色的根茎类作物资源<sup>[1]</sup>。南方根茎类作物由于产量高,效益好,种植面积连年扩大,淮山、香芋等根茎类作物主要作为蔬菜或粮菜消费,木薯则多用于加工。淀粉是根茎类作物的主要成分,是人们赖以生存的重要能量物质。不同品种淀粉的糊化和凝胶性质差异较大,淀粉的糊化性质和凝胶性质与面条<sup>[2]</sup>、粉条<sup>[3]</sup>等产品品质显著相关,其凝胶强度对淀粉类

**基金项目:**湖南省教育厅重点项目(编号:16A100);湖南省重点研发计划项目(编号:2016NK2113)

**作者简介:**邹金浩,男,湖南农业大学在读硕士研究生。

**通信作者:**李清明(1973—),男,湖南农业大学副教授,博士。

E-mail: liqmemail@163.com

**收稿日期:**2018-12-06

食品加工、成型性能和淀粉质食品的口感、速食性能影响显著<sup>[4]</sup>。

淀粉来源与作物生长环境对淀粉性质影响较大,目前对中国北方产的淮山等根茎类淀粉结构和理化性质的研究<sup>[5-7]</sup>较多,而对南方产的根茎类淀粉的研究<sup>[8-9]</sup>主要集中在木薯淀粉,许多针对根茎类淀粉性质的研究报道多以市售原料为研究对象,未考虑具体品种、产地的因素对淀粉性质的影响。赵小梅等<sup>[10]</sup>对加工型淮山淀粉的糊化和质构性质进行了研究,但针对马铺淮山等中国南方产根茎类作物的淀粉未见报道。为深入了解中国南方特色根茎类作物淀粉特性,寻找淮山等根茎类淀粉在加工上的准确定位,本试验拟以工业应用较广的木薯品种为参照,运用 RVA 仪、流变仪、质构仪对南方特色的马铺淮山、双峰淮山、桂淮 2 号、紫脚板薯、江永香芋中淀粉的糊化、流变和凝胶质构特性进行研究,预测其应用潜能,为中国南方根茎类淀粉的开发利用提供思路。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 材料

材料信息见表 1。

表 1 7 种根茎类淀粉品种及来源

Table 1 Seven varieties and sources of root crop starches

淀粉名称	缩写	品种	产地
木薯 SC9	SC9	甜木薯	海南省白沙木薯综合试验站
木薯 SC205	SC205	苦木薯	海南省白沙木薯综合试验站
江永香芋	JYT	槟榔芋	湖南江永县老石头农业科技公司
双峰淮山	SFY	日本薯蓣	湖南娄底双峰县金土地农业合作社
马铺淮山	MPY	参薯	福建云霄聚源马铺淮山专业合作社
桂淮 2 号	GY2	日本薯蓣	广西农科院经济作物研究所选育
紫脚板薯	SYPY	参薯	湖南省新邵紫玉科技有限公司

#### 1.1.2 主要仪器设备

高速多功能粉碎机:800Y 型,永康市铂欧五金制品有限公司;

快速黏度分析仪:RVA-S/N2112681 型,瑞典 perten 仪器有限公司;

旋转流变仪:Kinexus pro+ 型,英国马尔文仪器有限公司;

物性测定仪:TA.XT.plus 型,英国 Stable Micro Systems 公司;

分析天平:BS224S 型,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;

电子天平:TP-1200A 型,湘仪天平仪器设备有限公司;

数显恒温水浴锅:HH-6 型,常州澳华仪器有限公司。

### 1.2 方法

1.2.1 淀粉的提取 参照 Li 等<sup>[11]</sup>的方法用水提法提取。

1.2.2 样品的制备 准确称取 7 种根茎类淀粉,于烧杯中加入去离子水混合,配制成 0.1 g/mL 的淀粉悬浮液,搅拌均匀后在 95 °C 水浴锅中加热糊化 15 min。

1.2.3 淀粉糊化性质的测定 准确称取(3.00±0.01) g 的淀粉样品放入快速黏度计专用铝盒中,准确量取 25.0 mL 蒸馏水加入铝盒中,将搅拌器置于铝盒中上下快速搅动,使样品均匀,再置于快速黏度分析仪中。采用 GB 24853—2010《小麦、黑麦及其粉类和淀粉糊化特性测定 快速黏度仪法》标准程序 1 的温度模式,即 RVA 初始温度为 50 °C,保持 1 min,然后以 12 °C/min 升高至 95 °C,保持 2.5 min,再以 12 °C/min 降至 50 °C,保持 2 min,根据 RVA 的曲线,分别获得峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、回生值、崩解值、糊化温度和峰值时间。

1.2.4 淀粉动态流变特性的测定 取 1.2.2 中的淀粉糊,置于流变仪测定平台,采用平板—平板测量系统,平板直径为 40 mm,平板间距为 1 mm,刮去平板外多余样品,加上盖板,测试温度为 25 °C,频率变化范围为 0.1~10.0 Hz,测定样品的黏弹性。

1.2.5 淀粉凝胶强度的测定 选用凝胶强度测试探头 P/0.5 圆柱探头测定。参数设定为:选取 Compression 模式,测试速度 0.5 m/s,压缩深度 10 mm,凝胶强度值由质构仪软件直接读取。

1.2.6 淀粉凝胶质构特性的测定 将 1.2.2 中的样品装入 20 mL 注射器中冷却,在 4 °C 条件下冷藏 24 h 后形成直径为 2 cm 的圆柱形凝胶。测试前将凝胶倒出切成直径为 2 cm、高为 1 cm 的小圆柱体进行质构测定。测定条件:选取 TPA 模式,P/36R 型探头,测试前速率 2.0 mm/s,测试速率 1.0 mm/s,测试后速率 1.0 mm/s,压缩程度 40%,触发力 5 g。

1.2.7 统计分析方法 运用 Excel-2003 和 SPSS 20.0 软件对试验数据进行分析 and 图形绘制,所有数据以( $\bar{x} \pm SD$ )的形式表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 淀粉糊化特性

淀粉的糊化特性反映了淀粉的可利用性,南方不同特色根茎类淀粉的糊化特征值见表 2。

由表 2 可知,不同根茎类淀粉的糊化特性存在显著差异( $P < 0.05$ ),各淀粉在 69.77~84.37 °C 时开始糊化,

表2 不同品种根茎类淀粉的糊化特性<sup>†</sup>Table 2 Pasting characteristics of different varieties of root crops starches ( $n=3$ )

淀粉品种	糊化温度/°C	峰值时间/min	峰值黏度/cp	谷值黏度/cp	最终黏度/cp	回生值/cp	崩解值/cp
SC9	69.77±0.49 <sup>e</sup>	4.20±0.00 <sup>d</sup>	4 958.00±15.00 <sup>b</sup>	2 005.00±34.87 <sup>d</sup>	2 961.33±32.65 <sup>d</sup>	956.33±18.18 <sup>d</sup>	2 953.00±24.52 <sup>b</sup>
SC205	70.07±0.06 <sup>e</sup>	4.02±0.08 <sup>e</sup>	4 812.33±32.35 <sup>c</sup>	1 602.00±14.00 <sup>e</sup>	2 334.67±27.79 <sup>f</sup>	732.67±13.87 <sup>e</sup>	3 210.33±26.54 <sup>a</sup>
JYT	84.33±0.03 <sup>a</sup>	5.09±0.03 <sup>e</sup>	3 184.00±32.74 <sup>f</sup>	1 657.00±38.74 <sup>e</sup>	2 395.33±28.68 <sup>e</sup>	738.33±67.00 <sup>e</sup>	1 527.00±39.15 <sup>e</sup>
SFY	84.37±0.06 <sup>a</sup>	5.35±0.04 <sup>b</sup>	4 679.33±18.34 <sup>d</sup>	3 746.33±7.02 <sup>a</sup>	6 458.67±27.68 <sup>a</sup>	2 712.33±20.84 <sup>a</sup>	933.00±24.27 <sup>e</sup>
MPY	83.40±0.05 <sup>b</sup>	5.38±0.04 <sup>b</sup>	5 194.67±76.96 <sup>a</sup>	2 985.67±25.72 <sup>b</sup>	3 711.00±26.23 <sup>b</sup>	2 209.00±58.97 <sup>b</sup>	725.33±12.86 <sup>f</sup>
GY2	75.32±0.51 <sup>d</sup>	5.09±0.08 <sup>c</sup>	4 114.00±41.39 <sup>e</sup>	2 453.33±71.67 <sup>c</sup>	3 432.00±38.43 <sup>c</sup>	1 661.67±87.46 <sup>c</sup>	979.67±37.07 <sup>e</sup>
SYPY	81.77±0.06 <sup>c</sup>	5.71±0.03 <sup>a</sup>	2 405.33±27.06 <sup>e</sup>	1 247.67±24.19 <sup>f</sup>	1 335.67±16.92 <sup>e</sup>	88.00±13.00 <sup>f</sup>	1 157.67±36.23 <sup>d</sup>

† 同列字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

淮山淀粉和香芋淀粉的糊化温度、峰值时间均大于木薯淀粉,说明淮山淀粉和香芋淀粉糊化过程中消耗的能量较大,结构较稳定。糊化温度的大小受多种因素影响,香芋淀粉糊化温度高的原因可能与其淀粉颗粒较小有关,而造成淮山淀粉糊化温度高的原因可能与其直链淀粉含量、结晶类型有关,具体原因还有待进一步验证。研究<sup>[12]</sup>表明,木薯淀粉的糊化温度为65~72℃,峰值时间在4 min左右,与本研究结果一致。

由表2还可知,木薯淀粉的崩解值均大于淮山淀粉和香芋淀粉,高伦江等<sup>[4]</sup>在研究不同淀粉糊化特性时发现,木薯淀粉崩解值大于红薯、马铃薯淀粉,说明木薯淀粉在根茎类淀粉糊化过程中崩解值较高,黏度下降速度较快,可以获得柔软的食品质地,所以木薯淀粉可用来制作汤圆、芋圆等产品。

两种木薯淀粉的糊化温度差异不显著( $P>0.05$ ),SC9峰值时间较长。各淮山淀粉的糊化温度、峰值时间差异明显( $P<0.05$ ),SFY糊化温度较高,SYPY峰值时间较长。淮山淀粉和木薯淀粉品种间的峰值、谷值、最终黏度、回生值、崩解值差异显著( $P<0.05$ ),其中SC9峰值、谷值、最终黏度、回生值均比SC205高,SC205崩解值比SC9高,MPY有着较高的峰值黏度,SFY有着较高的谷值黏度、最终黏度和回生值,而SYPY在淮山淀粉中有着较高的崩解值。

MPY的峰值、谷值、最终黏度均大于木薯淀粉,淀粉结合水的能力和糊化后形成凝胶的能力比木薯淀粉强,可用于粉条加工。SFY的回生值最大,说明其淀粉糊冷却后稳定好,凝胶性高,适宜制作方便食品。

## 2.2 淀粉动态流变特性

动态流变学可用来测定不同样品的黏弹性,与食品的实际加工特性和质量控制直接相关<sup>[13]</sup>。弹性模量反映了淀粉糊变形后恢复原形状的能力,弹性模量越大,淀粉糊变形后恢复原形状的能力越强,淀粉凝胶弹性越强<sup>[14]</sup>,黏性模量反映了淀粉糊抵抗流动的能力,黏性模量越大,越不易流动<sup>[15-16]</sup>。由图1可以看出,GY2和MPY糊的弹性模量 $G'$ 较高,SFY的黏性模量 $G''$ 较高。

损耗角正切值 $\tan \delta$ 为损耗模量 $G''$ 与贮能模量 $G'$ 的比值。由图2可以看出,损耗角正切值( $\tan \delta$ )均 $<1$ ,淀粉糊弹性模量与黏性模量均随频率增加而增加,7种根茎类淀粉均表现为典型的弱凝胶动态流变学谱图。

## 2.3 淀粉凝胶质构特性分析

### 2.3.1 淀粉凝胶强度分析

淀粉凝胶强度反映了淀粉糊化形成凝胶后的稳定性,不同特色根茎类淀粉凝胶强度特征值见表3。

由表3知,不同品种根茎类淀粉凝胶强度差异明显( $P<0.05$ ),淮山淀粉(SYPY、GY2和MPY)凝胶强度、压缩功、黏度和黏附功均显著高于木薯淀粉和香芋淀粉,说

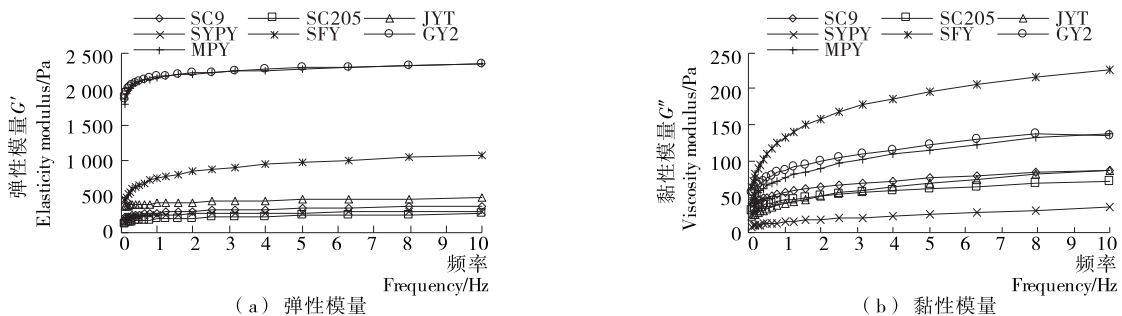


图1 不同根茎类淀粉糊弹性模量 $G'$ 及黏性模量 $G''$ 随频率变化曲线

Figure 1 Curve of elasticity modulus  $G'$  and viscosity modulus  $G''$  of different root crops starches pastes with frequency

明淮山淀粉凝胶分子间作用力大,在根茎类淀粉中有着凝胶结构较稳定的特点。

淀粉类凝胶食品一般具有一定的凝胶强度,这与淀粉的凝胶特性相关,淀粉凝胶强度对淀粉类凝胶食品的口感、稳定性,食用性有很大的影响<sup>[17-18]</sup>。从表 3 可以看出,SYPY 和 MPY 凝胶强度较大,分别为 347.65, 345.14 g,JYT 凝胶强度最小,仅为 48.59 g,所以 SYPY 和 MPY 适合制成具有一定强度的粉皮、凉粉。淀粉凝胶的黏度和黏附功直接影响到产品加工过程的黏着性,是影响加工性能的重要因素。表 3 结果显示,GY2、SYPY、MPY 凝胶的黏度和黏附功较大,说明其凝胶具有较高的黏稠性和坚实性,在加工过程中应该注意避免其黏着性过强,影响产品的成型以及设备的正常运行。

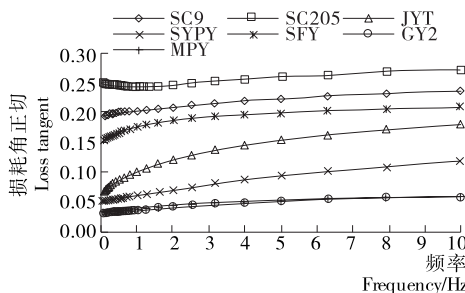


图 2 不同根茎类淀粉损耗角正切  $\tan \delta$  随频率变化曲线  
Figure 2 Variation curves of different root crop starches loss tangent angle patterns with frequency

表 3 不同根茎类淀粉凝胶特性<sup>†</sup>

Table 3 Gelation characteristics of different kinds of root crop starches ( $n=3$ ) g

淀粉品种	凝胶强度	压缩功	黏度	黏附功
SC9	88.59±3.63 <sup>de</sup>	1 166.90±46.93 <sup>cd</sup>	17.56±2.17 <sup>b</sup>	120.14±27.95 <sup>b</sup>
SC205	92.61±18.38 <sup>d</sup>	1 172.13±20.26 <sup>cd</sup>	19.36±1.21 <sup>b</sup>	124.19±6.03 <sup>b</sup>
JYT	48.59±4.60 <sup>e</sup>	687.35±33.24 <sup>d</sup>	18.75±0.40 <sup>b</sup>	154.59±25.82 <sup>b</sup>
SFY	140.27±20.55 <sup>c</sup>	1 610.50±206.32 <sup>c</sup>	8.86±1.86 <sup>c</sup>	26.61±6.09 <sup>c</sup>
MPY	345.14±51.10 <sup>a</sup>	4 892.63±988.89 <sup>a</sup>	43.59±1.93 <sup>a</sup>	306.65±87.97 <sup>a</sup>
GY2	269.68±10.40 <sup>b</sup>	3 979.71±461.15 <sup>b</sup>	41.23±1.69 <sup>a</sup>	375.27±40.77 <sup>a</sup>
SYPY	347.65±18.18 <sup>a</sup>	4 157.85±118.92 <sup>ab</sup>	42.82±1.93 <sup>a</sup>	358.55±49.30 <sup>a</sup>

† 同列字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

表 4 不同品种根茎类淀粉的凝胶质构特性<sup>†</sup>

Table 4 Gelatinous properties of different varieties of root crop starches ( $n=3$ )

淀粉品种	硬度/g	黏附性/(g·s)	弹性	内聚性	胶黏性/g	咀嚼性/g	回复性
SC9	44.02±1.33 <sup>e</sup>	/	0.973±0.038 <sup>a</sup>	0.856±0.024 <sup>a</sup>	37.66±1.57 <sup>c</sup>	36.65±1.99 <sup>c</sup>	0.559±0.003 <sup>b</sup>
SC205	42.94±1.58 <sup>e</sup>	/	0.999±0.012 <sup>a</sup>	0.838±0.008 <sup>ab</sup>	36.01±1.64 <sup>c</sup>	35.98±1.85 <sup>c</sup>	0.571±0.024 <sup>b</sup>
JYT	33.42±0.50 <sup>e</sup>	19.48±2.96 <sup>e</sup>	0.808±0.024 <sup>b</sup>	0.663±0.004 <sup>c</sup>	22.17±0.41 <sup>c</sup>	17.93±0.78 <sup>c</sup>	0.271±0.017 <sup>c</sup>
SFY	212.51±9.87 <sup>d</sup>	33.27±6.23 <sup>b</sup>	0.659±0.050 <sup>d</sup>	0.274±0.023 <sup>d</sup>	58.39±6.69 <sup>c</sup>	38.66±7.06 <sup>c</sup>	0.087±0.004 <sup>d</sup>
MPY	2 113.65±58.09 <sup>a</sup>	32.52±4.57 <sup>b</sup>	0.950±0.007 <sup>a</sup>	0.815±0.007 <sup>b</sup>	1 723.41±58.19 <sup>a</sup>	1 637.80±68.06 <sup>a</sup>	0.638±0.004 <sup>a</sup>
GY2	626.85±55.33 <sup>b</sup>	29.83±3.34 <sup>b</sup>	0.743±0.042 <sup>c</sup>	0.209±0.017 <sup>e</sup>	131.73±22.09 <sup>b</sup>	98.53±21.86 <sup>b</sup>	0.089±0.007 <sup>d</sup>
SYPY	279.85±1.64 <sup>e</sup>	72.34±9.69 <sup>a</sup>	0.577±0.020 <sup>e</sup>	0.223±0.007 <sup>e</sup>	62.32±1.79 <sup>c</sup>	35.95±1.98 <sup>c</sup>	0.069±0.004 <sup>d</sup>

† 同列字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

由表 4 知,不同品种的根茎类淀粉凝胶质构特性差异明显( $P<0.05$ )。硬度代表样品变形所需要的力,胶黏性代表将半固体样品破裂成吞咽时的稳定状态所需的能量,咀嚼性代表将固体样品咀嚼为能够吞咽状态所需的能量<sup>[19]</sup>。黏附性大小反映了淀粉的老化程度<sup>[20]</sup>,弹性和内聚性反映了淀粉凝胶内部的紧密性,回复性代表凝胶受外力后所回复原来形状的能力,黏附性代表样品表面和其他物质黏附时,剥离它们所需要的力。从表 4 可以看出,淮山淀粉凝胶硬度、胶黏性大于木薯淀粉和香芋淀

2.3.2 淀粉凝胶质构特性分析 淀粉凝胶的质构特性各指标参数见表 4。

粉,可能与各淀粉中直链淀粉含量有关<sup>[21]28-31</sup>。香芋淀粉和木薯淀粉凝胶硬度、胶黏性、咀嚼性差异不明显( $P>0.05$ )。木薯淀粉凝胶弹性、内聚性均大于淮山淀粉和香芋淀粉。香芋淀粉凝胶黏附性小于淮山淀粉,说明香芋淀粉老化程度较大。淮山淀粉(SFY、GY2、SYPY)和香芋淀粉凝胶回复性均小于木薯淀粉,说明木薯淀粉凝胶抗压能力较强,淀粉凝胶内部结合较紧密。黄峻榕等<sup>[22]</sup>研究表明,木薯淀粉凝胶硬度在 5%,10%淀粉浓度条件下为 34.5,96.6 g,且小于马铃薯、红薯淀粉,本试验

木薯淀粉凝胶硬度分别为 42.56, 42.94 g, 与其结果相近。

各淮山淀粉凝胶质构特性差异明显 ( $P < 0.05$ ), 且 MPY 硬度、弹性、内聚性、胶黏性、咀嚼性、回复性较大, SYPY 黏附性较大。两种木薯淀粉凝胶强度、弹性、胶黏性、咀嚼性、回复性无显著差异 ( $P > 0.05$ )。SC9 凝胶内聚性比 SC205 大, 且差异明显 ( $P < 0.05$ )。

从表 4 可以看出, MPY 凝胶硬度, 弹性、胶黏性, 咀嚼性、回复性最大, 可作为一种凝胶剂, 适用于凝胶糖果的制作上。SYPY 凝胶的黏附性最大, 而 JYT 的凝胶硬度, 胶黏性, 咀嚼性最小。一般而言, 直链淀粉含量越高, 分子相互间交连和缠绕的程度就越高, 凝胶硬度也就越大<sup>[23]</sup>, 推断这 7 种根茎类淀粉中 MPY 直链淀粉含量最大, JYT 直链淀粉含量最小。直链淀粉含量高的淀粉容易成膜<sup>[24-25]</sup>, 由此可以推断 MPY 有可成为可食用薄膜原料的潜力。

表 5 根茎类淀粉糊化与凝胶质构特征参数的相关性分析<sup>†</sup>

Table 5 The correlation analysis of the property parameters of root crop starches pasting and gelatinous texture characteristic

指标	糊化温度	峰值时间	峰值黏度	谷值黏度	最终黏度	回生值	崩解值
凝胶强度	0.320	0.673	-0.192	0.103	-0.109	0.110	-0.650
硬度	0.344	0.400	0.364	0.425	0.166	0.490	-0.549
黏附性	-0.051	0.919*	-0.554	-0.440	-0.441	-0.524	-0.090
弹性	-0.579	-0.779*	0.715	-0.073	-0.127	0.011	0.642
内聚性	-0.393	-0.671	0.549	-0.179	0.218	-0.122	0.632
胶黏性	0.329	0.300	0.425	0.387	0.140	0.449	-0.424
咀嚼性	0.322	0.285	0.433	0.382	0.136	0.444	-0.409
回复性	-0.432	0.619	0.666	-0.075	-0.168	-0.011	0.550

† \* 表示显著 ( $P < 0.05$ )。

### 3 结论

不同根茎类作物间淀粉的糊化与凝胶质构特性存在较大差异, 淮山淀粉有着糊化温度高, 峰值时间长, 凝胶强度、硬度大的特点, 适合粉条等食品的加工应用。木薯淀粉有着糊化温度低, 峰值时间短, 崩解值大, 凝胶弹性, 内聚性大的特点, 适合汤圆、芋圆等食品的加工应用。香芋淀粉有着糊化温度高, 凝胶强度、硬度、胶黏性、咀嚼性小的特点, 在食品加工上的应用还有待进一步讨论。不同作物品种间有一定的差异, 但差异相对较小, 根据具体品种的特点, 可进行相应的开发应用, MPY 的凝胶硬度, 弹性、胶黏性, 咀嚼性、回复性最大, 可作为一种凝胶剂, 适用于凝胶糖果的制作。SFY 的回生值最大, 适宜稳定性好, 凝胶性高的方便食品的制作。7 种根茎类淀粉糊均为假塑性流体, 且 GY2 和 MPY 弹性较大, SYPY 黏性较大。淀粉糊化的峰值时间与淀粉凝胶的黏附性和弹性显著相关 ( $P < 0.05$ ), 可以通过淀粉糊化的峰值时间来预测

### 2.4 淀粉糊化与质构特征参数的相关性分析

淀粉糊化与凝胶质构特性决定了淀粉凝胶类食品的力学味觉或流变学味觉, 二者均反映了淀粉凝胶的力学性能。从表 5 可以看出, 不同品种根茎类淀粉糊化与质构特征参数之间具有一定的相关性, 不同品种根茎类淀粉峰值时间与黏附性显著正相关 ( $P < 0.05$ ), 说明从淀粉糊化测试开始到达到峰值黏度需要的时间越长, 冷却回生后形成的淀粉凝胶的黏附性就越大, 可能与直链淀粉和支链淀粉数量的比值有关。直链淀粉含量高的淀粉糊化需要的时间相对较长, 且直链淀粉含量高, 在形成凝胶的过程中直链淀粉聚集程度就高, 加快了淀粉糊的回生速率, 同时会有更多的水从淀粉糊中析出, 从而形成硬度、黏附性、胶黏性大的凝胶<sup>[21]37-39</sup>。不同品种根茎类淀粉峰值时间与弹性显著负相关 ( $P < 0.05$ ), 说明峰值时间越长, 形成的淀粉凝胶的弹性就越小。

淀粉凝胶质构的黏附性和弹性。7 种根茎淀粉由于来源不同, 淀粉性质间的差异较大, 在实际生产中应根据其特性进行合理利用。目前淮山淀粉和香芋淀粉的工业应用较少, 需进一步模拟淀粉加工的条件, 进行特定产品的开发和应用研究, 系统研究加工性质, 挖掘其应用潜能。

### 参考文献

- [1] 张武君, 刘保财, 陈菁瑛, 等. 福建马铺山药营养成分分析与评价[J]. 热带农业科学, 2017, 37(7): 56-61.
- [2] SANDHU K S, SINGH N, KAUR M. Influence of acetic anhydride on physicochemical, morphological and thermal properties of corn and potato starch [J]. Food Chemistry, 2004, 86(4): 601-608.
- [3] 廖卢艳, 吴卫国. 不同淀粉糊化及凝胶特性与粉条品质的关系[J]. 农业工程学报, 2014, 30(15): 332-338.
- [4] 高伦江, 曾顺德, 曾志红, 等. 蕉藕淀粉与薯类淀粉特性对比研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(1): 17-20.

[5] 王丽霞, 王敬臻, 张金玲, 等. 长山山药淀粉的制备及性能[J]. 食品科学, 2017, 38(9): 156-161.

[6] 马丽苹, 焦昆鹏. 怀山药抗性淀粉理化性质及体外消化性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(11): 41-46.

[7] 李昌文, 刘延奇, 李延涛. 怀山药淀粉性质研究[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(8): 23-26.

[8] 薛慧, 闫庆祥, 蒋盛军, 等. 鲜木薯抗性淀粉的制备与性质[J]. 农业工程学报, 2013, 29(7): 284-292.

[9] 石海信, 方丽萍, 王爱荣, 等. 微波辐射下木薯淀粉结构与性质的变化[J]. 食品科学, 2015, 36(3): 68-74.

[10] 赵小梅, 李清明, 苏小军, 等. 淮山药淀粉糊化及质构特性[J]. 食品工业科技, 2017, 38(6): 110-115.

[11] LI Qian, ZHANG Li, YE Ying, et al. Effect of salts on the gelatinization process of chinese yam (*Dioscorea opposita*) starch with digital image analysis method[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 51: 468-475.

[12] MOORTHY S N. Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review [J]. Starch-Strake, 2015, 54(12): 559-592.

[13] RØNHOLT S, KIRKENS GAARD J J K, PEDERSEN T B, et al. Polymorphism, microstructure and rheology of butter: Effects of cream heat treatment[J]. Food Chemistry, 2012, 135(3): 1 730-1 739.

[14] YUVARET V, PIYADA A, MANOP S. Gelatinization and rheological properties of rice starch/xanthan mixtures: Effects of molecular weight of xanthan and different salts[J]. Food Chemistry, 2008, 111(1): 106-114.

[15] 刘敏, 赵欣, 阚建全, 等. 黄原胶对莲藕淀粉糊化性质及流变与质构特性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(6): 45-50.

[16] ROSELL C M, YOKOYAMA W, SHOEMAKER C. Rheology of different hydrocolloids-rice starch blends. effect of successive heating-cooling cycles [J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 84(1): 373-382.

[17] 赵敏. 淀粉类凝胶食品制备及特性研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2014: 2-6.

[18] 孙川惠, 武强, 张炳文. 淀粉凝胶食品—粉皮、凉粉的研究进展[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(1): 40-43.

[19] 黄峻榕, 李艳芳, 蒲华寅, 等. 质构仪在淀粉及淀粉基食品品质研究中应用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(4): 390-395.

[20] 张正茂, 阚玲. 不同来源淀粉凝胶质构特性的比较研究[J]. 食品科技, 2017(7): 216-222.

[21] 董贝贝. 八种淀粉糊化和流变特性及其与凝胶特性的关系[D]. 西安: 陕西科技大学, 2017.

[22] 黄峻榕, 董贝贝, 刘树兴, 等. 3 种薯类淀粉的流变与凝胶特性研究[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(4): 25-29.

[23] KONG Xiang-li, ZHU Ping, SUI Zhong-quan, et al. Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinization temperature combinations [J]. Food Chemistry, 2015, 172: 433-440.

[24] 龚凌霄, 郝一铭, 王静, 等. 淀粉质可食用膜性质研究[J]. 中国食品学报, 2016, 16(8): 23-29.

[25] 田莉雯, 陈复生, 宋小勇, 等. 玉米淀粉与小麦淀粉复合可食用膜工艺研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(20): 290-294.

信息窗

欧盟修订苯氧威等农药在坚果中的最大残留限量

2019 年 6 月 13 日, 欧盟官方公报消息, 欧盟委员会发布欧盟法规(EU)2019/973, 修订条例(EC)No 396/2005 附件 II 和 III 中苯氧威(fenoxycarb)、双嘧苯甲酸(bispyribac)、苯酸苄铵酰胺(denatonium benzoate)、氟咯草酮(flurochloridone)、精啞禾灵(quizalofop-P-ethyl)、啞禾糠酯(quizalofop-P-tefuryl)、啞草酯(propaquizafop)、虫酰肼(tebufenozide)在蔬菜、坚果等多种产品中的最大残留限量。修订法规于在官方公报发布起第 20 日生效, 于 2020 年 1 月 4 日起适用。部分修订限量如下:

序号	农药	产品	修订限量/(mg · kg <sup>-1</sup> )
1	双嘧苯甲酸	块根和块茎蔬菜, 结果蔬菜	0.01
2	苯酸苄铵酰胺	块根和块茎蔬菜, 结果蔬菜	0.01
3	苯氧威	杏仁, 巴西坚果, 腰果, 栗子, 榛子, 夏威夷果, 松子, 开心果	0.01
4	氟咯草酮	胡萝卜	0.08
5	虫酰肼	杏仁	0.05

(来源: <http://news.foodmate.net>)