

# 芒果皮粉对淀粉糊化与老化特性的影响

## Effects of mango peel powder on the gelatinization and retrogradation properties of starch

刘芳梅 王凯 罗进 赵雷 胡卓炎

LIU Fang-mei WANG Kai LUO Jin ZHAO Lei HU Zhuo-yan

(华南农业大学食品学院, 广东 广州 510642)

(College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

**摘要:**采用布拉班德黏度仪、差示扫描量热仪等测定芒果皮粉的添加对玉米淀粉和大米淀粉黏度、热特性、透光率、沉降率、凝胶硬度与色泽的影响。结果表明,随芒果皮粉添加量(0%~15%)的增加,2种淀粉的起糊温度逐渐降低,玉米淀粉糊峰值黏度在添加15%芒果皮粉时显著升高,崩解值增大;大米淀粉糊峰值黏度呈降低趋势,崩解值先降低后升高,2种淀粉回生值都显著降低。芒果皮粉的添加显著降低了2种淀粉的糊化和老化焓值及贮藏中透光率与沉降率的下降程度,减小玉米淀粉凝胶的硬度,降低了2种淀粉凝胶色泽的变化程度。说明芒果皮粉的添加影响淀粉的糊化特性,且影响趋势随淀粉品种不同而异,但能有效抑制2种淀粉的老化。

**关键词:**芒果皮粉;大米淀粉;玉米淀粉;糊化;老化

**Abstract:** Brabender viscometer and differential scanning calorimetry were used to study the effects of mango peel powder (MPP) on the pasting and thermal properties of corn and rice starch. Moreover, the changes in the transmittance, sedimentation rate, gel hardness and color of the two kinds of starch were also analyzed, and thus impacts on starch gelatinization and retrogradation were evaluated. The results showed that with the increase in the amount of added mango peel powder (0%~15%), the pasting temperature of corn and rice starches were decreased, while breakdown values were increased. Corn starch showed the highest peak viscosity with the addition of 15% mango peel powder. The peak viscosity of rice starch showed a reducing trend when more mango peel powder was added, and the breakdown value reduced and then increased. In addition, the setback value of the two starches were both reduced significantly. Enthalpy

values of gelatinization and retrogradation were reduced for both starches, and the downward extents of transmittance and sedimentation rate during storage were also reduced. The color change of both starches during storage was also reduced, and gel hardness of corn starch was decreased with the addition of mango peel powder. These results suggest that adding mango peel powder could impact the gelatinization property of starch, although the influencing trend vary with starch species. It could however effectively inhibit starch retrogradation for both corn and rice starches.

**Keywords:** mango peel powder; rice starch; corn starch; gelatinization; retrogradation

玉米和大米是中国重要的粮食作物,其籽粒中含约70%的淀粉。在中国玉米淀粉产量高、价格便宜,常作为增稠剂、凝固剂等广泛应用于食品工业<sup>[1]</sup>。而大米淀粉因具有致敏性低、口感优良等特点,在中国食用量较大<sup>[2]</sup>。淀粉基食品在贮存过程中会迅速老化,引起硬度增大、口感变差等不良后果,严重影响其货架期。目前抑制淀粉老化的方法主要是物理与化学方法。此外,近年的研究<sup>[3-4]</sup>表明添加一些天然的可食用成分如蛋白质、油脂、食用胶、多酚类物质等在提高淀粉基食品的营养价值与口感的同时,也能抑制淀粉的老化。

芒果皮占鲜果重的9%~16%,其中含有丰富的膳食纤维、果胶、多酚类物质,有一定的保健和药用价值<sup>[5-6]</sup>。但在加工过程中,芒果皮通常被作为废弃物丢弃,不仅造成资源浪费,也会对生态环境产生较大负担。近年来,有文献<sup>[7-9]</sup>报道将芒果皮和果核粉加入饼干、面包、通心粉等食品中,既能增加食品中膳食纤维和多酚的含量,作为肥胖、高血脂以及糖尿病患者功能食品的配料,又可以降低生产成本。亦有学者<sup>[10]</sup>探讨添加芒果皮粉对2种不同的大米粉老化及脂肪氧化的影响,发现芒果皮粉的添加能抑制大米粉的回生和脂肪氧化,为抑制淀粉基食品老化提供了新的思路。但前人主要研究芒果皮粉的添加对淀粉基产品的品质特性(如营养、

**基金项目:**国家荔枝龙眼产业技术体系项目(编号:CARS-33);广东省扬帆计划创新团队项目(编号:2014YT02H013)

**作者简介:**刘芳梅,女,华南农业大学在读硕士研究生。

**通信作者:**胡卓炎(1961—),男,华南农业大学教授,博士。

E-mail: zyhu@scau.edu.cn

**收稿日期:**2018-01-11

质构、感官等)的影响,关于芒果皮粉的添加对淀粉糊化及老化特性的影响规律仍缺乏基础理论研究。

本研究拟采用布拉班德黏度仪、差示扫描量热仪、质构与色泽分析等,测定芒果皮粉对淀粉的黏度、热特性、透光率和沉降率以及凝胶色泽和硬度的影响,进而分析芒果皮粉对淀粉糊化和老化特性的影响规律,以期芒果皮粉在淀粉基食品中更好的应用提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

芒果(*Mangifera indica* L.):台农1号,市售;

玉米淀粉:秦皇岛骊骅有限公司;

大米淀粉:济南金瑞食品配料有限公司。

### 1.2 仪 器 与 设 备

可见分光光度计:721型,上海佑科仪器仪表有限公司;

布拉班德黏度仪:Visco-Amylo-Graph型,德国布拉班德公司;

差示扫描量热仪:DSC8000型,美国Perkin Elmer公司;

全自动色差计:CM-3500d型,日本Minolta有限公司;

质构仪:TA500型,英国Lloyd仪器公司。

### 1.3 方 法

#### 1.3.1 芒果皮粉制备及主要成分含量测定

(1) 芒果皮粉的制备:成熟的鲜芒果洗净后去皮,将果皮用热泵干燥法于55℃干燥,测定样品水分含量为7.10%,研磨粉碎后过100目筛。

(2) 水分含量的测定:按GB/T 5009.3—2010执行。

(3) 蛋白质含量的测定:按GB/T 5009.5—2010执行。

(4) 灰分含量的测定:按GB/T 8306—87执行。

(5) 脂肪含量的测定:按GB/T 14772—2008执行。

(6) 膳食纤维含量的测定:按GB/T 5009.88—2014执行。

(7) 果胶含量的测定:按NY/T 2016—2011执行。

(8) 多酚含量的测定:采用福林酚法<sup>[11]</sup>。

1.3.2 黏度测定 参照AHMED R等<sup>[12]</sup>的方法采用布拉班德黏度仪测定淀粉糊的黏度。称取6g(干基)淀粉,分别添加淀粉干基0%,5%,10%,15%的芒果皮粉(下同),加入94g蒸馏水,震荡混匀,移入测量杯中,设定程序:从30℃升温到95℃并保温5min,再从95℃冷却至50℃并保温5min,整个过程24min。

1.3.3 热力学特性测定 参照冷雪等<sup>[13]</sup>的方法并稍作修改。称取0.5g(干基)淀粉于离心管中,加入不同量芒果皮粉,用旋涡混合仪混合均匀。称取3mg(干基)混合物于坩埚中,加入3倍质量的去离子水,密封后置于室温下平衡过夜,测定淀粉热力学特性。将上述淀粉与芒果皮粉的混合物置于离心管中,加入3倍质量的去离子水,配制成25%的淀粉悬浮液,置于95℃水浴中加热30min并充分搅拌使淀粉完全糊化(下同),冷却后置于4℃老化10d后冷冻干燥,粉碎过筛后测定老化淀粉的热力学特性。DSC测定条件:以

10℃/min的速度从30℃加热到100℃,以空坩埚作参比,氮气为载气,流速为20mL/min。

1.3.4 透光率测定 参照何财安<sup>[14]</sup>的方法并稍加改动。称取0.4g(干基)淀粉于离心管中,分别添加不同量芒果皮粉,再加入39.6g蒸馏水,震荡混匀,水浴加热糊化。静置冷却至室温后,以蒸馏水做空白,在620nm波长下测定淀粉糊的透光率。将淀粉糊放入4℃冷藏,每隔24h取出恢复至室温,测定淀粉糊的透光率。

1.3.5 沉降率测定 样品制备同1.3.4,冷却后将淀粉糊转移至带刻度的试管中,放入4℃保存,分别于8,18,28,48,96h时取出记录上清液的体积和总体积,按式(1)计算淀粉的沉降率<sup>[15]</sup>。

$$R = \frac{V}{25} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

R——沉降率,%;

V——上清液体积,mL;

25——总体积,mL。

1.3.6 凝胶的色泽与硬度测定 称量10g(干基)淀粉于锥形瓶中,分别添加不同量芒果皮粉,加入30g蒸馏水,震荡混匀,水浴加热糊化后装入模具中并封上保鲜膜置于4℃保存,分别于1,10d后将样品取出,恢复至室温<sup>[16]</sup>。

(1) 色泽测定:用色差仪测定淀粉凝胶样品的颜色值( $L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ )。按式(2)计算样品在贮存过程中的色泽变化( $\Delta E$ )。

$$\Delta E = \sqrt{(L_{10}^* - L_1^*)^2 + (a_{10}^* - a_1^*)^2 + (b_{10}^* - b_1^*)^2}, \quad (2)$$

式中:

$L^*$ ——白/黑;

$a^*$ ——红/绿;

$b^*$ ——黄/蓝;

下标数字——贮藏天数,d。

(2) 硬度测定:选择TPA测试模式,使用探头P/25,压缩比30.0%,测前速度1.0mm/s,测中速度1.0mm/s,测后速度1.0mm/s,停留时间5s,每个样品重复测试5次及以上。在贮存过程中,样品的硬度变化由相对硬度H来表示,相对硬度按式(3)计算:

$$H = \frac{H_{10}}{H_1}, \quad (3)$$

式中:

H——相对硬度;

$H_{10}$ ——贮藏10d时凝胶的硬度,N;

$H_1$ ——贮藏1d时凝胶的硬度,N。

1.3.7 数据统计与分析 利用Excel 2016和Origin 9.1对数据进行整理和绘制,采用SPSS 16.0软件进行分析,所得数据结果为3次重复试验结果的平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 芒果皮粉的主要成分

由表1可知,芒果皮粉主要成分为膳食纤维,每100g芒果皮粉含有膳食纤维44.41g,其中主要的可溶性膳食纤维

表 1 芒果皮粉主要化学成分含量

Table 1 The chemical compositions of MPP

g/100 g

水	膳食纤维	果胶	蛋白质	多酚	脂肪	灰分	还原糖
7.10±0.15	44.41±2.21	12.36±0.33	6.76±0.32	3.40±0.10	0.94±0.06	1.01±0.07	8.22±0.10

果胶为 12.36 g,此外,还含有丰富的非膳食纤维的糖类(含 8.22 g 还原糖)、蛋白质(6.76 g)和多酚类物质(3.40 g),而脂肪与灰分含量较低。因此,适当添加芒果皮粉可提高淀粉制品的营养价值。

## 2.2 芒果皮粉对玉米淀粉和大米淀粉黏度的影响

添加了芒果皮粉的 2 种淀粉的布拉班德黏度曲线见图 1,特征值见表 2。结果显示:添加芒果皮粉后 2 种淀粉的起糊温度都显著降低,当添加量为 15% 时,玉米淀粉峰值黏度显著升高,大米淀粉峰值黏度随添加量的增加逐渐降低。峰值黏度反映淀粉颗粒糊化崩解前的自由膨胀能力<sup>[17]</sup>。一方面,芒果皮粉中亲水性物质与水分子相互作用,阻碍淀粉分子的吸水膨胀,导致其峰值黏度降低;另一方面,亲水性物质吸水后导致体系黏度的升高。玉米淀粉在添加 15% 的芒果皮粉时,后者作用大于前者,最终导致峰值黏度升高,而芒果皮粉对大米淀粉吸水膨胀的阻碍作用更强,导致峰值黏度的降低。与原淀粉相比,添加芒果皮粉后玉米淀粉崩解值升

高,大米淀粉崩解值有所降低,说明芒果皮粉的添加能够加强玉米淀粉的糊化破裂,但是会减弱大米淀粉的糊化破裂。

糊化后降温过程中的终黏度和回生值常用来衡量淀粉糊短期老化程度。终黏度和回生值的升高主要由直链淀粉重新结合引起<sup>[18]</sup>。从表 2 可以看出,添加芒果皮粉可显著降低 2 种淀粉糊的回生值,添加 15% 芒果皮粉后玉米淀粉和大米淀粉糊的回生值分别下降了 32% 与 76%。这可能是芒果皮粉与直链淀粉的氢键相互作用,阻止链重新聚合,从而抑制淀粉的短期老化,芒果皮粉对 2 种淀粉黏度的影响不同可能与其直链与支链淀粉比例、链长等的不同有关。

## 2.3 芒果皮粉对玉米淀粉和大米淀粉热力学特性的影响

芒果皮粉对玉米淀粉和大米淀粉热力学特性的影响结果见表 3。由表 3 可知,添加芒果皮粉后 2 种淀粉的糊化温度无明显变化,说明添加芒果皮粉对 2 种淀粉结晶区的热稳定性无明显影响<sup>[19]</sup>。糊化焓  $\Delta H_g$  则随芒果皮粉添加量的增加呈降低趋势,可能是芒果皮粉的稀释作用,使得单位重

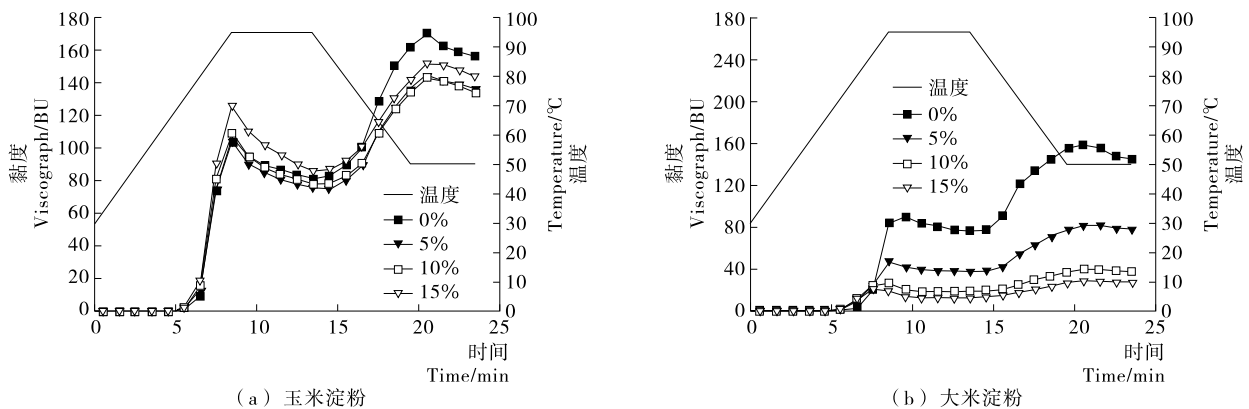


图 1 芒果皮粉添加量对玉米淀粉和大米淀粉黏度曲线的影响

Figure 1 Effect of addition amount of MPP on Brabender viscograph curves of corn starch and rice starch

表 2 芒果皮粉添加量对 2 种淀粉黏度曲线特征值的影响<sup>†</sup>

Table 2 Effect of addition amount of MPP on Brabender viscograph parameters of corn starch and rice starch

样品	起糊温度/ °C	峰值黏度/ BU	升温至 95 °C 时 的黏度值/BU	最低黏度/ BU	降温至 50 °C 时 的黏度值/BU	终黏度/ BU	崩解值/ BU	回生值/ BU
玉米淀粉	79.4±1.0 <sup>a</sup>	105.3±9.3 <sup>b</sup>	101.3±7.2 <sup>b</sup>	78.7±4.0 <sup>ab</sup>	157.7±5.8 <sup>a</sup>	148.7±5.8 <sup>a</sup>	26.7±5.5 <sup>c</sup>	79.0±1.7 <sup>a</sup>
玉米淀粉+5% MPP	77.9±0.1 <sup>b</sup>	101.7±3.5 <sup>b</sup>	100.7±3.1 <sup>b</sup>	73.3±2.5 <sup>b</sup>	131.3±5.0 <sup>b</sup>	129.7±4.5 <sup>b</sup>	28.3±1.2 <sup>bc</sup>	58.0±2.6 <sup>b</sup>
玉米淀粉+10% MPP	76.4±0.5 <sup>c</sup>	108.3±4.0 <sup>b</sup>	106.3±3.8 <sup>b</sup>	75.3±3.1 <sup>ab</sup>	130.0±5.2 <sup>b</sup>	129.7±4.0 <sup>b</sup>	33.0±2.6 <sup>b</sup>	54.7±2.5 <sup>b</sup>
玉米淀粉+15% MPP	75.2±0.5 <sup>d</sup>	120.7±5.5 <sup>a</sup>	118.7±6.0 <sup>a</sup>	81.0±5.6 <sup>a</sup>	136.0±7.0 <sup>b</sup>	136.0±7.2 <sup>b</sup>	39.7±0.6 <sup>a</sup>	54.7±2.0 <sup>b</sup>
大米淀粉	83.0±0.4 <sup>a</sup>	95.0±1.0 <sup>a</sup>	88.3±1.2 <sup>a</sup>	76.0±1.0 <sup>a</sup>	152.0±1.7 <sup>a</sup>	141.0±1.7 <sup>a</sup>	19.0±0.0 <sup>a</sup>	76.0±1.0 <sup>a</sup>
大米淀粉+5% MPP	79.8±0.5 <sup>b</sup>	49.0±0.0 <sup>b</sup>	48.3±0.6 <sup>b</sup>	38.0±0.0 <sup>b</sup>	78.0±0.0 <sup>b</sup>	78.3±0.6 <sup>b</sup>	11.0±0.0 <sup>b</sup>	40.0±0.0 <sup>b</sup>
大米淀粉+10% MPP	78.7±0.3 <sup>c</sup>	28.7±0.6 <sup>c</sup>	27.7±0.6 <sup>c</sup>	19.3±0.6 <sup>c</sup>	37.7±0.6 <sup>c</sup>	39.7±1.2 <sup>c</sup>	9.3±0.6 <sup>c</sup>	18.3±0.6 <sup>c</sup>
大米淀粉+15% MPP	77.5±0.4 <sup>d</sup>	23.3±0.6 <sup>d</sup>	18.7±0.6 <sup>d</sup>	12.0±1.0 <sup>d</sup>	25.7±1.2 <sup>d</sup>	27.0±1.0 <sup>d</sup>	11.3±0.6 <sup>b</sup>	13.7±0.6 <sup>d</sup>

<sup>†</sup> 同种淀粉同列不同小写字母表示数据间有显著差异(P<0.05)。

表3 芒果皮粉添加量对玉米淀粉和大米淀粉热力学特性的影响<sup>†</sup>

Table 3 Effect of addition amount of MPP on thermal properties of corn starch and rice starch

样品	糊化				老化			
	$T_o/^\circ\text{C}$	$T_p/^\circ\text{C}$	$T_c/^\circ\text{C}$	$\Delta H_g/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$	$T_o/^\circ\text{C}$	$T_p/^\circ\text{C}$	$T_c/^\circ\text{C}$	$\Delta H_r/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$
玉米淀粉	71.3±0.4 <sup>a</sup>	77.1±0.6 <sup>ab</sup>	84.2±0.1 <sup>ab</sup>	12.3±0.0 <sup>a</sup>	54.0±0.1 <sup>a</sup>	60.8±1.2 <sup>a</sup>	66.9±0.2 <sup>a</sup>	3.8±0.3 <sup>a</sup>
玉米淀粉+5%MPP	71.3±0.4 <sup>a</sup>	76.9±0.4 <sup>b</sup>	84.1±0.6 <sup>b</sup>	12.1±0.2 <sup>a</sup>	51.6±2.0 <sup>ab</sup>	59.4±0.8 <sup>a</sup>	66.2±2.0 <sup>ab</sup>	2.4±0.2 <sup>b</sup>
玉米淀粉+10%MPP	71.7±0.5 <sup>a</sup>	77.2±0.7 <sup>ab</sup>	84.4±0.7 <sup>ab</sup>	11.5±0.2 <sup>b</sup>	52.7±1.2 <sup>ab</sup>	58.9±1.7 <sup>a</sup>	67.2±0.7 <sup>a</sup>	1.7±0.1 <sup>bc</sup>
玉米淀粉+15%MPP	71.1±1.0 <sup>a</sup>	78.1±0.4 <sup>a</sup>	84.7±0.5 <sup>a</sup>	11.2±0.4 <sup>b</sup>	51.5±1.3 <sup>b</sup>	58.8±0.7 <sup>a</sup>	65.9±0.5 <sup>b</sup>	1.8±0.1 <sup>c</sup>
大米淀粉	72.7±0.4 <sup>a</sup>	78.4±0.9 <sup>a</sup>	83.4±0.2 <sup>ab</sup>	6.6±0.3 <sup>a</sup>	51.5±0.8 <sup>a</sup>	60.5±1.5 <sup>a</sup>	67.2±0.6 <sup>a</sup>	1.4±0.0 <sup>a</sup>
大米淀粉+5%MPP	72.9±0.7 <sup>a</sup>	78.8±0.1 <sup>a</sup>	84.3±0.5 <sup>a</sup>	6.0±0.1 <sup>b</sup>	51.7±0.2 <sup>ab</sup>	59.4±0.8 <sup>ab</sup>	65.6±0.7 <sup>b</sup>	1.2±0.1 <sup>b</sup>
大米淀粉+10%MPP	72.6±0.3 <sup>a</sup>	78.3±0.7 <sup>a</sup>	83.7±0.6 <sup>ab</sup>	5.1±0.2 <sup>c</sup>	50.9±0.3 <sup>b</sup>	59.6±0.3 <sup>ab</sup>	66.7±1.4 <sup>ab</sup>	1.1±0.1 <sup>bc</sup>
大米淀粉+15%MPP	73.2±0.2 <sup>a</sup>	78.4±0.0 <sup>a</sup>	83.1±0.0 <sup>b</sup>	4.4±0.1 <sup>d</sup>	52.0±0.6 <sup>a</sup>	57.6±0.5 <sup>b</sup>	67.9±1.0 <sup>a</sup>	0.9±0.1 <sup>c</sup>

<sup>†</sup> 同种淀粉同列不同小写字母表示数据间有显著差异(P<0.05)。

量样品中双螺旋结构的数量降低,以及亲水性物质羟基与支链淀粉的侧链相互作用使得双螺旋结构的强度减弱<sup>[20-21]</sup>。2种原淀粉贮藏后均发生一定程度的老化,但其老化焓值 $\Delta H_r$ 都有所减小,说明添加一定量的芒果皮粉(0%~10%)能减少淀粉分子链重新结合形成双螺旋结构,淀粉的老化程度得到明显抑制,但进一步增大添加量对淀粉老化抑制作用并无显著提高。

2.4 芒果皮粉对玉米淀粉和大米淀粉透光率的影响

淀粉糊在低温贮藏过程中发生老化导致密度分布发生变化,引起淀粉透光率降低。因此,测试冷藏过程中淀粉糊的透光率是一种简单表征淀粉老化的方法<sup>[22-23]</sup>。从图2可

看出,随着时间的延长,添加芒果皮粉的2种淀粉糊透光率呈下降趋势,在0~3d趋势较明显,而后逐渐减缓。在0d时,添加芒果皮粉后淀粉糊的透光率降低,这是由于芒果皮粉本身有颜色和不溶性颗粒,使得入射光的反射或折射加强。添加芒果皮粉的淀粉糊透光率随时间降低的速度小于纯淀粉糊,与0d相比,冷藏6d以后,纯玉米淀粉糊与大米淀粉糊透光率降低了4.77%和0.87%,添加15%芒果皮粉的玉米淀粉糊与大米淀粉糊透光率降低程度有所减小,分别为3.70%和0.53%,可能是芒果皮粉中多羟基化合物如酚类、糖类与淀粉分子间的相互作用,阻止由支链淀粉重新结合引起的大尺寸淀粉结晶的形成<sup>[24]</sup>。

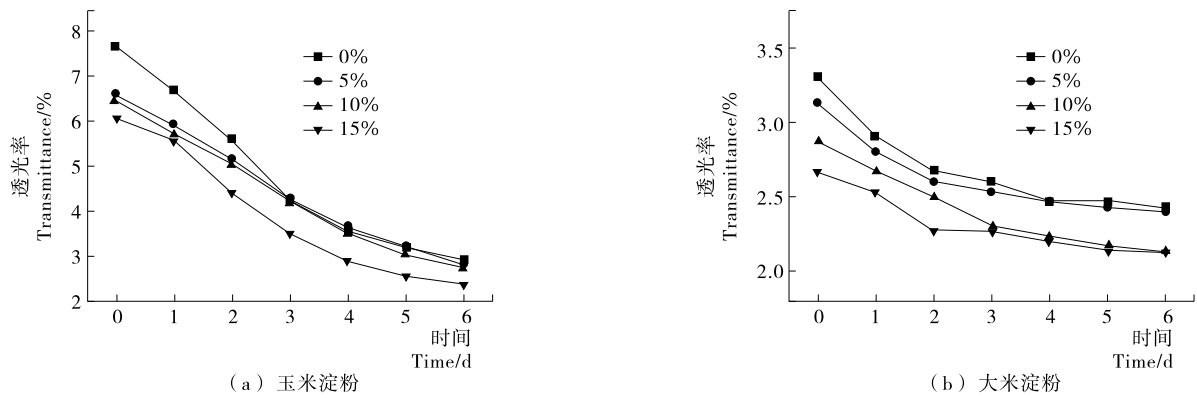


图2 芒果皮粉对玉米淀粉和大米淀粉透光率的影响  
Figure 2 Effect of MPP on the transmittance of corn starch and rice starch

2.5 芒果皮粉对玉米淀粉和大米淀粉沉降率的影响

淀粉颗粒经加热糊化后处于无定形状态,放置过程中淀粉分子发生重排而出现分层,通常以淀粉的沉降率表示其分层的程度。由图3可看出,不添加与添加芒果皮粉的2种淀粉随贮藏时间的延长,其沉降率均升高。玉米淀粉在4℃贮藏16h内,沉降率快速升高,16h后其升高速度逐渐变缓。添加与不添加芒果皮粉的大米淀粉沉降率在贮藏的前8h均大幅升高,然后缓慢升高并趋于相对稳定。添加芒果皮粉后,2种淀粉的沉降率随贮藏时间的延长呈同样的变化趋势,但沉降率较2种原淀粉大幅降低,且沉降率随芒果皮粉添加量的升高而显著降低。说明添加芒果皮粉可抑制淀粉在冷藏过程

中淀粉分子链的重排,从而大大降低淀粉的沉降率。

2.6 芒果皮粉对玉米淀粉和大米淀粉凝胶硬度与色泽的影响

芒果皮粉对玉米淀粉和大米淀粉凝胶硬度的影响结果见表4。

由表4可知,芒果皮粉的添加显著降低玉米淀粉凝胶的初始硬度与相对硬度,而大米淀粉因直链淀粉含量较低无法形成正常的凝胶<sup>[25]</sup>,硬度值无法检测。芒果皮粉的加入稀释了淀粉浓度,同时亲水物质打断淀粉分子链的聚集重排,凝胶网络结构受到破坏。类似的研究发现分子量较高的大豆可溶性膳食纤维更能影响大米淀粉的凝胶形成<sup>[26]</sup>。

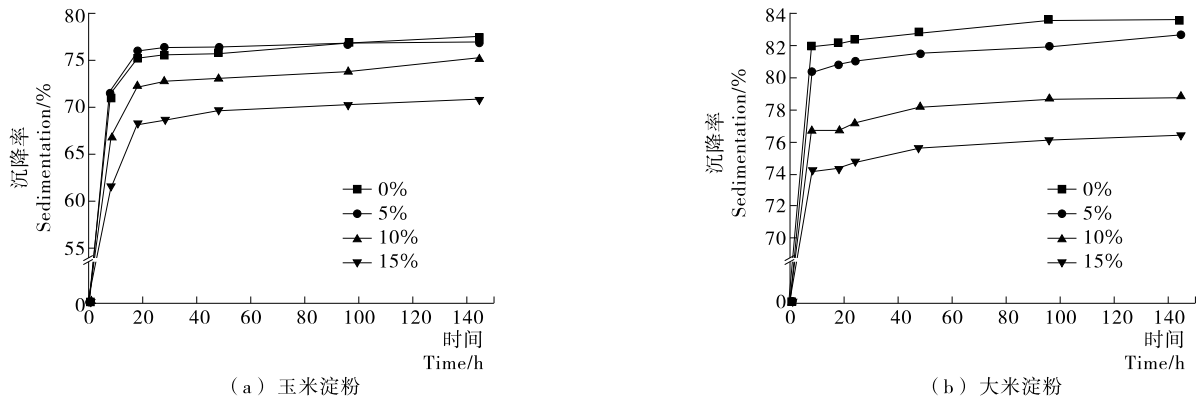


图 3 芒果皮粉添加量对玉米淀粉和大米淀粉沉降率的影响

Figure 3 Effect of addition amount of MPP on the sedimentation rate of corn starch and rice starch

表 4 芒果皮粉添加量对玉米和大米淀粉凝胶硬度的影响<sup>†</sup>

Table 4 Effect of addition amount of MPP on the gel strength of corn starch and rice starch

样品	贮藏第 1 天硬度 $H_1/N$	贮藏第 10 天硬度 $H_{10}/N$	相对硬度 $H$
玉米淀粉	$3.66 \pm 0.05^a$	$10.60 \pm 0.96^a$	$2.90 \pm 0.31^a$
玉米淀粉+5% MPP	$2.34 \pm 0.02^b$	$6.71 \pm 0.41^b$	$2.87 \pm 0.23^a$
玉米淀粉+10% MPP	$2.23 \pm 0.07^c$	$3.69 \pm 0.07^c$	$1.66 \pm 0.08^b$
玉米淀粉+15% MPP	$1.34 \pm 0.05^d$	$2.10 \pm 0.11^d$	$1.56 \pm 0.09^c$
大米淀粉	$0.43 \pm 0.01$	$0.54 \pm 0.04$	$1.26 \pm 0.03$
大米淀粉+5% MPP	—	—	—
大米淀粉+10% MPP	—	—	—
大米淀粉+15% MPP	—	—	—

<sup>†</sup> 同种淀粉同列不同小写字母表示数据间有显著差异( $P < 0.05$ ); “—”表示无法检测;  $H$  指  $H_{10}$  与  $H_1$  比值。

芒果皮粉对玉米淀粉和大米淀粉凝胶色泽的影响结果见表 5。由表 5 可知, 芒果皮粉的添加能显著降低 2 种淀粉凝胶的  $L^*$ , 增大  $a^*$  和  $b^*$ 。2 种淀粉凝胶贮藏 10 d 后, 淀粉老化失水, 样品  $L^*$  相对于第 1 天显著增加<sup>[27]</sup>, 但  $a^*$  和  $b^*$  没有明显变化。而第 10 天与第 1 天的样品颜色差值  $\Delta E$  随芒果皮粉的增加呈减小的趋势, 说明芒果皮粉的添加在一定程度上减小了淀粉凝胶色泽随时间的变化趋势。

淀粉凝胶最初硬度是由直链淀粉在冷却后迅速形成短

程有序的半结晶结构赋予的, 长期贮藏后, 支链淀粉通过氢键形成长程有序的结晶结构, 使凝胶硬度增大、色泽变化而影响其感官品质。

### 3 结论

本试验研究了不同量(0%~15%)的芒果皮粉对玉米淀粉和大米淀粉黏度、热特性、透光率、沉降率以及凝胶特性的影响, 分析了芒果皮粉对淀粉糊化和老化过程的影响规律。结果表明: 随着芒果皮粉添加量的增加, 2 种淀粉的起糊温

表 5 芒果皮粉添加量对玉米淀粉和大米淀粉凝胶色泽的影响<sup>†</sup>

Table 5 Effect of addition amount of MPP on the color of corn starch and rice starch

样品	贮藏 1 d			贮藏 10 d			$\Delta E$
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$	
玉米淀粉	$81.82 \pm 0.99^a$	$-0.27 \pm 0.09^a$	$2.62 \pm 0.22^a$	$84.41 \pm 1.18^a$	$-1.31 \pm 0.34^a$	$1.25 \pm 0.14^a$	$3.11 \pm 0.51^a$
玉米淀粉+5% MPP	$73.29 \pm 0.04^b$	$1.39 \pm 0.03^b$	$7.13 \pm 0.06^b$	$76.01 \pm 0.99^b$	$1.41 \pm 0.12^b$	$6.73 \pm 0.21^b$	$2.74 \pm 0.45^{ab}$
玉米淀粉+10% MPP	$67.62 \pm 0.26^c$	$2.41 \pm 0.10^c$	$9.46 \pm 0.08^c$	$70.20 \pm 0.38^c$	$2.63 \pm 0.04^c$	$8.74 \pm 0.56^c$	$2.69 \pm 0.23^b$
玉米淀粉+15% MPP	$64.03 \pm 0.78^d$	$3.24 \pm 0.24^d$	$10.73 \pm 0.66^d$	$62.78 \pm 0.97^d$	$3.54 \pm 0.41^d$	$9.48 \pm 0.36^d$	$1.79 \pm 0.51^c$
大米淀粉	$75.72 \pm 0.20^a$	$0.39 \pm 0.02^a$	$2.01 \pm 0.10^a$	$78.55 \pm 0.50^a$	$0.31 \pm 0.04^a$	$1.94 \pm 0.07^a$	$2.83 \pm 0.36^a$
大米淀粉+5% MPP	$67.32 \pm 0.32^b$	$3.74 \pm 0.06^b$	$9.61 \pm 0.09^b$	$69.61 \pm 1.64^b$	$3.61 \pm 0.26^b$	$9.82 \pm 0.55^b$	$2.31 \pm 0.15^b$
大米淀粉+10% MPP	$63.40 \pm 0.29^c$	$5.07 \pm 0.07^c$	$13.77 \pm 0.25^c$	$64.82 \pm 0.54^c$	$4.83 \pm 0.27^c$	$12.99 \pm 0.36^c$	$1.64 \pm 0.24^c$
大米淀粉+15% MPP	$62.59 \pm 0.34^d$	$5.98 \pm 0.05^d$	$16.46 \pm 0.25^d$	$64.13 \pm 0.75^d$	$6.43 \pm 0.07^d$	$16.51 \pm 0.53^d$	$1.60 \pm 0.33^c$

<sup>†</sup> 同种淀粉同列不同小写字母表示数据间有显著差异( $P < 0.05$ )。

度呈逐渐降低的趋势,玉米淀粉峰值黏度先降低再升高,崩解值增大;大米淀粉峰值黏度则呈降低趋势,崩解值先降低后升高,2种淀粉回生值都显著降低。说明芒果皮粉对淀粉糊化性质的影响随淀粉品种不同有一定差异,但添加芒果皮粉能显著抑制2种淀粉的短期回生。芒果皮粉的添加能够减小2种淀粉透光率与沉降率随着时间延长而下降的程度,减小玉米淀粉凝胶的硬度,阻碍大米淀粉凝胶的形成,减小凝胶硬度与色泽的变化,说明芒果皮粉的添加对2种淀粉的长期回生有明显抑制作用,但其影响程度因淀粉品种、结构存在差异。因此,在实际应用中,需要综合考虑不同淀粉基食品的质量要求、加工条件、贮运环境等因素来选择合适的添加量。至于芒果皮粉对2种淀粉糊化和老化特性的影响机理,需进一步从微观形态、分子结构等方面进行探讨。

### 参考文献

- [1] GONZÁLEZ-BERMÚDEZ C A, FRONTELA-SASETA C, LÓPEZ-NICOLÁS R, et al. Effect of adding different thickening agents on the viscosity properties and in vitro mineral availability of infant formula[J]. *Food Chemistry*, 2014, 159: 5-11.
- [2] 牛猛, 王莉, 杨冰, 等. 大米淀粉老化特性的研究进展[J]. *中国粮油学报*, 2011, 26(11): 14-128.
- [3] FU Zhen, CHEN Jun, LUO Shun-jing, et al. Effect of food additives on starch retrogradation: A review[J]. *Starch-Stärke*, 2015, 67: 69-78.
- [4] 柳艳梅, 左小博, 房升, 等. 亲水性胶体对大米淀粉流变与回生性的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(1): 47-52.
- [5] AJILA C M, BHAT S G, PRASADA RAO U J S. Valuable components of raw and ripe peels from two indian mango varieties[J]. *Food Chemistry*, 2007, 102(4): 1 006-1 011.
- [6] 梁秀媚, 胡卓炎, 赵雷, 等. 提取方法对芒果皮精油化学成分的影响[J]. *食品与机械*, 2017, 33(3): 155-159.
- [7] ASHOUSH I S, GADALLAH M G E. Utilization of mango peels and seed kernels powders as sources of phytochemicals in biscuit[J]. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 2011, 6(1): 35-42.
- [8] PATHAK D, MAJUMDAR J, RAYCHAUDHURI U, et al. Characterization of physicochemical properties in whole wheat bread after incorporation of ripe mango peel[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2016, 10(3): 554-561.
- [9] AJILA C M, AALAMI M, LEELAVATHI K, et al. Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2010, 11(1): 219-224.
- [10] SIRIAMORNUN PUN S, TANGKHAWANIT E, KAEWSEEJAN N. Reducing retrogradation and lipid oxidation of normal and glutinous rice flours by adding mango peel powder[J]. *Food Chemistry*, 2016, 201: 160-167.
- [11] 柳伟, 肖雪, 葛珊珊, 等. 12种果皮多酚含量及其抗氧化活性研究[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(14): 25-29.
- [12] AHMED R, ALI R, KHAN M S, et al. Effect of proteases & carbohydrases on dough rheology and end quality of cookie[J]. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2015, 2: 62-66.
- [13] 冷雪, 张根义. 茶多酚对两种淀粉热力学特性及糊化特性影响的研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(14): 81-84.
- [14] 何财安, 张珍, 刘航, 等. 苦荞多酚对苦荞淀粉和小麦淀粉理化性质的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(9): 66-71.
- [15] 齐国源, 马旻, 刘茜, 等. 不同添加剂对蕨根淀粉凝沉性的影响[J]. *粮食加工*, 2011, 36(1): 34-36.
- [16] 吴丽晶, 车黎明, 陈晓东. 茶多酚对甘薯淀粉的抗老化研究[J]. *食品工业科技*, 2014(21): 123-127.
- [17] SINGH N, SINGH J, KAUR L, et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources[J]. *Food Chemistry*, 2003, 81(2): 219-231.
- [18] FUNAMI T, KATAOKA Y, OMOTO T, et al. Food hydrocolloids control the gelatinization and retrogradation behavior of starch 2a: Functions of guar gums with different molecular weights on the gelatinization behavior of corn starch[J]. *Food Hydrocolloids*, 2005, 19(1): 15-24.
- [19] 徐源. 乌饭树叶提取物与大米蛋白和淀粉相互作用的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 41-42.
- [20] COOKE D, GIDLEY M J. Loss of crystalline and molecular order during starchgelatinisation; origin of the enthalpic transition[J]. *Carbohydrate Research*, 1992, 227: 103-112.
- [21] 郑铁松, 李起弘, 陶锦鸿. DSC法研究6种莲子淀粉糊化和老化特性[J]. *食品科学*, 2011, 32(7): 151-155.
- [22] 顾娟, 洪雁, 顾正彪. 荞麦淀粉理化性质的研究[J]. *食品与发酵工业*, 2008, 34(4): 36-39.
- [23] JACOBSON M R, BEMILLER J N. Method for determining the rate and extent of accelerated starchretrogradation [J]. *Cereal Chemistry*, 1998, 75(1): 22-29.
- [24] 李莎莎, 贾冬英, 李大峰, 等. 常见食品添加剂对白芷淀粉糊透明度的影响[J]. *中国酿造*, 2013, 32(1): 78-80.
- [25] KIM J, ZHANG Chen, SHIN M. Forming rice starch gels by adding retrograded and cross-linked resistant starch prepared from rice starch[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2015, 24(3): 835-841.
- [26] 王日思, 万婕, 刘成梅, 等. 不同分子量大豆可溶性膳食纤维对大米淀粉糊化及流变性质的影响[J]. *食品工业科技*, 2016(6): 124-127.
- [27] ZHU Fan, CAI Yi-zhong, SUN Mei, et al. Effect of phytochemical extracts on the pasting, thermal, and gelling properties of wheat starch[J]. *Food Chemistry*, 2009, 112: 919-923.