

# 慈姑、荸荠和菱角淀粉共混物的凝胶特性研究

赵力超, 曹素芳, 刘欣, 曹庸

(华南农业大学食品学院, 广东广州 510642)

**摘要:** 慈姑、荸荠和菱角均为南方特色水生根茎类作物, 具有独特的加工特性, 其混粉制品拥有新的凝胶特点和营养价值。本试验采用混料设计, 建立了凝胶质构指标与混合淀粉各组分的回归模型, 并采用差示扫描量热法测定混粉糊化过程中的热特性, 在二者基础上探讨各组分间的交互作用。结果表明, 混粉既表现出慈姑淀粉的拮抗效应, 也表现出菱角淀粉的增效效应, 这两种作用相互制约, 最终在各凝胶质构特征参数上表现出占优势的一种。DSC 图中吸热峰的叠加, 表明混合淀粉发生了共糊化。慈姑、荸荠淀粉的存在, 明显抑制了菱角淀粉的回生, 菱角淀粉颗粒相对可利用的水分少, 膨胀受限, 仅能部分膨胀, 贮藏过程中的脱水收缩作用减弱。模型的建立对于优化各淀粉组分比例而获得所需的凝胶特性具有指导意义, 该研究可为南方特色淀粉资源的有效利用提供参考。

**关键词:** 淀粉; 食品加工; 凝胶特性; 差示扫描量热法; 交互作用

文章编号: 1673-9078(2014)2-17-22

## Gel Characteristics of Starch Blends from *Sagittaria sagittifolia*, *Eleocharis dulcis* and *Trapa natans*

ZHAO Li-chao, CAO Su-fang, LIU Xin, CAO Yong

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

**Abstract:** *Sagittaria sagittifolia*, *Eleocharis dulcis* and *Trapa natans* are chief aquatic rhizomatous crops in southern China. Their proper combination can create novel food products with new texture and nutritional values. In the paper, mixture design approach was used to investigate the effects of the composition of these three starches on the textural properties of gels, and to characterize the gelatinization process of different starch blends ratio by using differential scanning calorimetry (DSC). The results showed that the mixture starches presented antagonistic effect for *Sagittaria sagittifolia* starch and synergistic effect for *Trapa natans* starch. These two actions interacted and finally displayed the antagonistic effect on hardness, cohesiveness, elasticity, consistency and chewiness, but not on adhesiveness. The DSC results indicated that components of the mixture dependently gelatinized, as evidenced by the two endothermic peaks corresponding to the individual components. The starches of *Sagittaria sagittifolia* and *Eleocharis dulcis* inhibited the recovery of *Trapa natans* starch, which led to less swelling of the starch granules. The research can provide a reference for efficient use of special starches from southern China.

**Key words:** starch; food processing; gelation properties; differential scanning calorimetry; interactions

淀粉是一类重要的天然大分子化合物, 也是多数食品的主要组成成分之一。不同植物来源的淀粉具有不同的加工特性<sup>[1]</sup>, 但在实际应用中, 天然淀粉往往具有搅拌稳定性差、易受 pH 和热处理影响、淀粉糊透明度低、凝胶脱水收缩等缺点, 严重影响了其应用范围。为使淀粉产品更具有消费者满意的品质, 除使用添加剂外, 化学、物理、酶法对淀粉进行改性的方法也被广泛采用。但这些方法往往使得产品成本较之前提高了 5~6 倍<sup>[2]</sup>, 而且消费者对“绿色”产品的呼声也越来越高。所以, 通过选择不同的淀粉混合, 以

收稿日期: 2013-07-23

作者简介: 赵力超 (1979-), 男, 博士, 副教授, 主要从事功能食品的高新加工技术

通讯作者: 曹庸 (1966-), 男, 博士, 教授, 主要从事天然活性物的研究

较低成本获得可控的功能特性的思路备受青睐。

在食品工业中, 已有不同植物来源的淀粉共混研究的报道<sup>[2-6]</sup>。共混淀粉在粘度上会表现出增效效应, 并且会出现一些不同于原来淀粉的热凝胶特性和热糊化稳定性<sup>[5]</sup>。但对于混粉这样的复杂体系, 目前仍没有统一的理论解释其性质变化的原因。

目前, 有关混粉应用的研究仅限于谷类淀粉。而根茎类淀粉往往在食品中会表现出更加独特的加工特性, 如: 与谷物淀粉相比, 由于组成成分和分子结构的不同, 荸荠淀粉制成的糕具有更好的弹性<sup>[7]</sup>。慈姑、荸荠、菱角是南方特色水生根茎类作物, 作为淀粉新资源, 具有巨大的开发潜力。三种植物中淀粉含量丰富, 且具有不同的加工特性。前期研究表明, 慈姑淀粉应用相对广泛, 因为其糊化温度低, 凝胶粘度高, 但缺点在

于其较差的黏聚性<sup>[8]</sup>；菱角淀粉凝胶热稳定性好、耐剪切，但透明度低、易于老化、脱水收缩严重，不适合用于需低温贮藏的食品加工过程<sup>[9]</sup>；荸荠淀粉凝胶具有极好的冻融稳定性，且保水性强、耐咀嚼，但因硬度较大，使得部分产品较脆、弹性差<sup>[10]</sup>。因此，单一品种天然淀粉的加工特性均有不足，只能开发特定种类的产品，但如果能够按一定比例混合则有可能研制出具有独特品质和营养的新型食品。

因此，本文采用混料设计方法，对不同比例慈姑、荸荠、菱角混合淀粉的凝胶特性、热特性进行研究，探讨三者之间的交互作用，以期拓展这三种天然淀粉的应用提供一定理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料

慈姑淀粉、荸荠淀粉、菱角淀粉，纯度均为98%，直链淀粉含量分别为30.5%、31.8%、28.7%，其中可溶性直链淀粉含量为7.5%、11.8%、13.4%，支链淀粉含量分别为7.7%、12.8%、14.2%，广州市洋塘食品有限公司。

### 1.2 主要仪器设备

Diamond型差示扫描量热仪，美国Perkin-Elmer公司；TA500型质构仪，英国Lloyd公司。

### 1.3 设计及方法

#### 1.3.1 淀粉混料方案

表1 混料设计试验表

Table 1 Level and code of variables for starch blends design

编码	A(×100%)	B(×100%)	C(×100%)
1	0	0.7	0.3
2	1	0	0
3	0	1	0
4	0.7	0	0.3
5	0	0.4	0.6
6	0.5	0.5	0
7	0.4	0	0.6
8	0.35	0.35	0.3
9	0.2	0.2	0.6

注：A=慈姑，B=荸荠，C=菱角。

采用Design-Expert软件(Statsoft 7.1.3)中的混料设计方案。混料设计的因子表示为混合物中的三种淀粉，他们所占百分比的总和等于100%。混料设计因子的水平，对应于各组分在混合物中所占的比例。预

实验结果表明，菱角淀粉比例超过60%的时候，混粉凝胶脱水严重，4℃条件下放置24h后，析水量达到24.47%。因此，在预实验的基础上，根据约束混料设计原则<sup>[11]</sup>，设定各因子的质量比例分别为： $0 \leq \text{慈姑淀粉} \leq 1$ ， $0 \leq \text{荸荠淀粉} \leq 1$ ， $0 \leq \text{菱角淀粉} \leq 0.6$ 。试验设计如表1所示。

#### 1.3.2 凝胶特性

按表1将三种淀粉按比例进行混料，配制成8% (m/m)的淀粉乳，于95℃水浴中加热搅拌20min，趁热将淀粉糊倒入铝盒中，冷却至室温加盖密封，置于4℃冰箱中，贮存24h后用TA500型质构仪测定凝胶质构。选用TPA(Texture Profile Analysis)模式，12mm的柱状探头，压缩速度为1mm/s，压缩量为60%。记录凝胶强度、黏聚性、弹性、粘附性、胶稠度和咀嚼性数据。试验平行三次。

凝胶的失水率用淀粉凝胶渗出的水量占糊重的百分比来计算。将淀粉凝胶置于4℃冰箱中贮藏1、2、3、5、7d后测定凝胶渗水量。

#### 1.3.3 热特性

采用差示扫描量热仪测混合淀粉的热特性。用杜邦液体样品坩埚准确称取干燥后的样品3.0mg，加蒸馏水配制成30% (m/m)的淀粉乳，密封后放置平衡，另取空坩埚作为参比。分析条件：淀粉乳浓度30%，升温速率10℃/min，温度范围从30~120℃。从DSC热分析图可知混合淀粉的胶凝温度、胶凝度、初始温度( $T_i$ )、最大峰值温度( $T_p$ )、最终温度( $T_f$ )和凝胶化热焓( $\Delta H$ )值。

#### 1.3.4 数据分析

采用Scheffé特殊三次多项式模型(special cubic)进行回归拟合：

$$Y = \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_{12} AB + \beta_{13} AC + \beta_{23} BC + \beta_{123} ABC \quad (1)$$

其中，Y为响应值， $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\beta_{12}$ 、 $\beta_{13}$ 、 $\beta_{23}$ 和 $\beta_{123}$ 为回归系数，A、B、C分别代表混合淀粉中慈姑、荸荠、菱角淀粉的比例水平。当 $\beta$ 为正值时，表明具有协同增效作用，为负值时则表明具有拮抗作用。

利用13.0版SPSS对实验数据进行方差分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 混粉凝胶质构分析

表2列出了用慈姑、荸荠、菱角混合淀粉制备凝胶放置24h后的凝胶质构测定结果。利用Design-Expert 7.1.3软件对混合淀粉凝胶质构的实验值进行特殊三次多项式(1)回归拟合，分别建立硬度、黏聚性、弹性、

黏附性、胶稠度、咀嚼性的回归模型,各回归模型的回归系数如表2所示,方差分析见表3。

表2 4℃贮存24h后混粉凝胶质构特征参数

Table 2 Mean values of starch gels textural parameters corresponding to the first day of storage at 4℃

编码	硬度/N	黏聚性	弹性	粘附性/(N·mm)	胶稠度	咀嚼性
1	1.35±0.02	0.43±0.01	1.47±0.01	0.21±0.06	0.58±0.02	0.85±0.03
2	0.82±0.02	0.36±0.01	1.09±0.08	0.32±0.04	0.30±0.02	0.35±0.01
3	1.31±0.03	0.39±0.01	1.05±0.05	0.35±0.08	0.51±0.02	0.75±0.03
4	1.02±0.04	0.36±0.03	1.58±0.09	0.29±0.02	0.39±0.08	0.59±0.09
5	1.44±0.01	0.46±0.02	2.47±0.09	0.18±0.03	0.67±0.03	1.09±0.05
6	1.01±0.00	0.36±0.01	0.90±0.01	0.31±0.03	0.36±0.01	0.41±0.03
7	1.16±0.07	0.36±0.01	2.34±0.07	0.16±0.02	0.42±0.02	0.65±0.02
8	1.12±0.01	0.37±0.01	1.80±0.04	0.30±0.09	0.41±0.02	0.58±0.01
9	1.26±0.04	0.40±0.01	1.71±0.00	0.21±0.01	0.51±0.01	0.73±0.04

表3 凝胶质构回归模型的回归系数及方差分析

Table 3 Mathematical modeling of textural properties: regression coefficients and analysis of variance(ANOVA)

凝胶特性	线性项			非线性项				模型显著性(P)	变异系数CV/%	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
	β <sub>1</sub>	β <sub>2</sub>	β <sub>3</sub>	β <sub>12</sub>	β <sub>13</sub>	β <sub>23</sub>	β <sub>123</sub>				
Y <sub>1</sub>	0.83	1.31	1.37	-0.24*	0.14	0.33	-1.84*	<0.0001	2.38	0.9905	0.9848
Y <sub>2</sub>	0.36	0.38	0.43	-0.05*	-0.15**	0.20**	-0.58**	<0.0001	1.39	0.9862	0.9779
Y <sub>3</sub>	1.09	1.02	2.93	-0.42	0.22	0.59	-0.44	0.0001	14.48	0.9049	0.8478
Y <sub>4</sub>	0.03	0.04	0.02	-0.01	-0.01	-0.01	0.18**	<0.0001	7.13	0.9494	0.9190
Y <sub>5</sub>	0.03	0.05	0.06	-0.02*	-0.02	0.04*	-0.16**	<0.0001	4.11	0.9866	0.9786
Y <sub>6</sub>	0.35	0.73	0.90	-0.49*	-0.02	0.85	-2.95	<0.0001	8.44	0.9706	0.9529

注: \*表示显著(P<0.05); \*\*表示极显著(P<0.01); 线性混合部分均达到极显著水平。Y=β<sub>1</sub>A + β<sub>2</sub>B+β<sub>3</sub>C+β<sub>12</sub>X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>+β<sub>13</sub>X<sub>1</sub>X<sub>3</sub>+β<sub>23</sub>X<sub>2</sub>X<sub>3</sub>+β<sub>123</sub>X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>X<sub>3</sub>, 其中 Y<sub>1</sub>=硬度; Y<sub>2</sub>=黏聚性; Y<sub>3</sub>=弹性; Y<sub>4</sub>=粘附性; Y<sub>5</sub>=胶稠度; Y<sub>6</sub>=咀嚼性; A= 慈姑, B=荸荠, C=菱角; CV=coefficient of variation; R<sup>2</sup>=coefficient of determination。

表4 凝胶质构预测值的验证结果

Table 4 Verification of mathematical modeling of textural properties

凝胶特性	0.175:0.375:0.45			0.4:0.3:0.3		
	预测值	实验值	残差	预测值	实验值	残差
Y <sub>1</sub>	1.25	1.26	0.0094	1.09	1.09	0.0075
Y <sub>2</sub>	0.40	0.41	0.0021	0.36	0.36	-0.0006
Y <sub>3</sub>	1.96	1.60	-0.3649	1.63	1.78	0.1545
Y <sub>4</sub>	0.03	0.03	-0.0007	0.03	0.03	-0.0009
Y <sub>5</sub>	0.05	0.05	0.0003	0.04	0.04	0.0006
Y <sub>6</sub>	0.76	0.73	-0.0331	0.54	0.55	0.0133

注: Y<sub>1</sub>=硬度; Y<sub>2</sub>=黏聚性; Y<sub>3</sub>=弹性; Y<sub>4</sub>=粘附性; Y<sub>5</sub>=胶稠度; Y<sub>6</sub>=咀嚼性。

从表3可知,6个凝胶质构特征参数的回归模型均达到极显著水平,校正后的判定系数达到0.8478~0.9848,说明回归模型能较好地拟合各凝胶质构特征参数与混合淀粉组分。但从变异系数来看,硬度、黏聚性、粘附性、胶稠度、咀嚼性的回归模型变异系数较低,表明该模型可反映出这五种特性的变化趋势,并

用于预测实际值。但弹性的变异系数稍大,达到14.48%,表明弹性特征的预测值与实测值之间存在的偏差较大,用于预测的准确度较低。选取两个不同比例的淀粉混合物进行凝胶质构回归模型验证试验,其结果列于表4。从残差中可看出,除弹性外,其它质构特征参数的预测值与实验值非常接近,这与表3得到的结论相一致。

三种淀粉混合比例对凝胶质构参数的影响如图1所示。从图1a可看出,慈姑淀粉对混粉凝胶的硬度影响最大,随着慈姑淀粉含量的增加,硬度呈明显下降趋势。当慈姑淀粉含量为0,且菱角淀粉含量较高时,硬度出现极大值,表明菱角淀粉的存在对硬度的提高有促进作用。表3也显示,慈姑淀粉与荸荠淀粉的交互作用,以及三种淀粉之间的交互作用对凝胶硬度有显著的拮抗效应。由图2b及表3可知,黏聚性的极大值出现在三角形区的菱角淀粉-荸荠淀粉边上,二者的交互作用,对黏聚性有极显著的协同效应。而慈姑淀粉的存在,不管是两两交互还是三者交互,都会显著降低黏聚性。从图2c可看出,弹性的极小值出现在三

角形区的慈姑淀粉-荸荠淀粉边上,并朝着菱角淀粉的顶点方向线性递增,在菱角淀粉边上出现极大值。表3也表明,慈姑淀粉、荸荠淀粉的交互作用降低了凝胶的弹性,菱角淀粉的存在提高了凝胶的弹性,但各淀粉之间的交互作用并不显著。由图1d可以看出,黏附性的极大值出现在三角形区荸荠淀粉的顶点上,极小值出现在菱角淀粉的顶点上,表明菱角淀粉是促使黏附性降低的主要因素。表3显示,慈姑、荸荠、菱角淀粉两两之间的交互作用表现出拮抗效应,但作用不显著,而三者之间的交互作用表现出极显著的协同效应。从图2e、图f及表3可知,胶稠度、咀嚼性的等值线图相似,混粉各组分间的交互作用相同。除了菱角淀粉、荸荠淀粉的交互作用表现为协同效应外,其它淀粉之间的交互作用均表现为拮抗效应。这种相似性表明了特征参数胶稠度、咀嚼性之中,可以仅选择胶稠度作为评价淀粉凝胶性能的重要指标。胶稠度、咀嚼性是通过硬度、黏聚性计算出来的。相较之下,胶稠度、咀嚼性的等值线图更类似于硬度的,说明硬度是胶稠度、咀嚼性的最主要影响因素。

糊化过程中,可溶性直链淀粉从淀粉颗粒中逸出,分散于支链淀粉颗粒(或团块)的周围,显著地影响着淀粉的凝胶特性,此外,淀粉颗粒与直链淀粉连续相之间的相互作用也会有较大影响。当荸荠、慈姑和菱角三种淀粉混合时,其相互作用既有拮抗效应也有增效效应,但最终在各凝胶质构特征参数上表现出占优势的一种作用。表3中,慈姑、荸荠淀粉的交互作用均表现为拮抗效应,这主要由慈姑淀粉的可溶性直链淀粉含量低而引起的。二者共混后,从淀粉颗粒中脱离出来的可溶性直链淀粉相对少,进而导致形成的三维网络结构强度也相对弱,因此对凝胶质构有负的作用。还有研究表明,凝胶特性与支链淀粉分支的长短有关,支链淀粉的短/长支链之比小,则凝胶强度低<sup>[12,13]</sup>。慈姑淀粉的不溶性直链淀粉含量高,相应地其支链淀粉中长支链较多,短/长支链之比小,故对混合淀粉凝胶的硬度等有降低作用。相反,菱角淀粉的可溶性直链淀粉含量高,与慈姑、荸荠淀粉共混后,能在一定程度上强化直链淀粉溶液连续相,对凝胶质构有正面作用。同时,填充在直链淀粉网络结构中的部分膨胀的菱角淀粉颗粒结构较为刚硬、弹性大,进而引起凝胶的硬度、弹性显著增加。而对于其他质构特征参数,慈姑、菱角淀粉的交互作用则表现为拮抗效应,以黏聚性的拮抗效应达到极显著水平。说明慈姑淀粉的拮抗作用对混合体系的影响更大。三者之间的交互作用在硬度、黏聚性、弹性、胶稠度、咀嚼性上均表现为拮抗效应,这也主要与慈姑淀粉的存在有

关。三者的交互作用在黏附性上表现为增效效应,可以这样解释:由凝胶质构的相关性分析可知,黏聚性大,则黏附性小。在黏聚性上呈极显著的降低作用,在黏附性上即表现为增效作用。

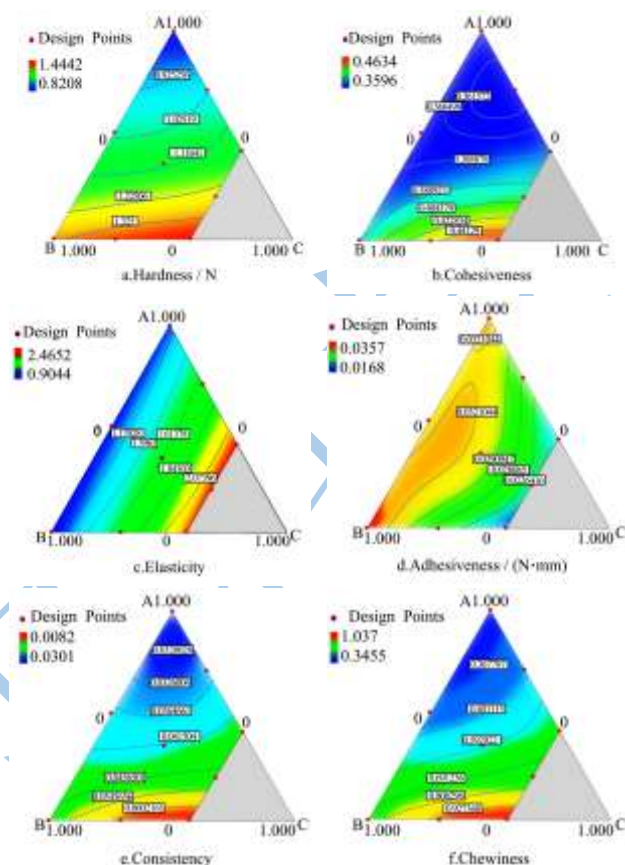


图1 混合淀粉各组分变化对凝胶质构的影响

Fig.1 Effects of ratios of starch blends on textural properties of gels

## 2.2 热特性

不同比例的慈姑、荸荠、菱角混合淀粉的 DSC 曲线特征参数见表5。

由表5可以看出,当混合淀粉中含有菱角淀粉(30~60%)时,其DSC曲线均存在两个分离的吸热峰,具有两阶段糊化行为。第一个峰值温度与糊化温度较低的慈姑淀粉或荸荠淀粉的热相变有关,第二个峰则主要反映具有较高糊化温度的菱角淀粉的糊化。其中,0.2:0.2:0.6混合淀粉的第一个峰不明显,ΔH<sub>1</sub>较低,可视为肩峰。随着慈姑、荸荠淀粉含量的增加,肩峰消失,表现出明显的两个峰。

由吸热峰峰形与ΔH<sub>1</sub>可发现,慈姑、荸荠淀粉混合(0.5:0.5)后的DSC曲线其吸热峰发生了叠加,趋向成为一个峰形较宽的吸热峰,仅出现一个峰值温度。此外,从0.2:0.2:0.6与0.35:0.35:0.3混合淀粉的DSC曲线的第一个吸热峰中,也可以比较明显地观察到慈

姑、荸荠淀粉的吸热峰发生了叠加。吸热峰的叠加，表明慈姑、荸荠淀粉发生了共糊化，从而交互作用增强。Eliasson 及 Zaidul 等人分别在对小麦面粉-马铃薯

淀粉混粉<sup>[6]</sup>，马铃薯-大麦混合淀粉<sup>[14]</sup>进行 DSC 分析时也得到类似的结果。

表 5 慈姑、荸荠、菱角及混合淀粉 DSC 曲线特征参数

Table 5 DSC measurements for *Sagittaria sagittifolia*, *Eleocharis dulcis* and *Trapa natans* starches and their blends

编码	$T_0/^\circ\text{C}$	$T_{p1}/^\circ\text{C}$	$T_{p2}/^\circ\text{C}$	$T_f/^\circ\text{C}$	$\Delta H_1/(\text{J/g})$	$\Delta H/(\text{J/g})$	估算 $\Delta H/(\text{J/g})$
1	59.05	65.96	-	68.63	-	18.37	-
2	67.26	73.12	-	74.45	-	13.45	-
3	82.20	86.00	-	87.26	-	8.68	-
4	66.81	72.02	86.87	88.25	7.18	9.78	12.02
5	59.25	65.88	86.83	88.45	6.08	8.87	15.46
6	66.67	72.77	85.97	87.70	4.29	9.50	10.59
7	60.21	73.28	-	73.41	0.47	4.85	15.91
8	59.36	66.04	85.91	86.80	4.47	12.37	12.56
9	61.14	72.44	87.41	89.17	4.54	6.45	13.74
1	60.57	72.44	85.90	87.15	1.73	4.75	11.57

注：A=慈姑，B=荸荠，C=菱角； $T_0$ ，起始温度； $T_{p1}$ ，第一个峰值温度； $T_{p2}$ ，第二个峰值温度； $T_f$ ，终止温度； $\Delta H_1$ ，第一个峰的热焓值； $\Delta H$ ，总糊化热焓值；Estimated  $\Delta H$ ，混合淀粉中各组分相应比例热焓的总和。

当混合淀粉中慈姑、荸荠淀粉含量较高（70%）时，较之菱角淀粉的峰值温度， $T_{p2}$  稍有上升，尤其以 0.35:0.35:0.3 比例的上升幅度最大，达到 1.41  $^\circ\text{C}$ ，这说明了慈姑、荸荠淀粉在混合糊化体系中对菱角淀粉也有影响。推测慈姑、荸荠淀粉具有较低的糊化温度，二者淀粉颗粒首先捕获水分子，得以充分糊化，而菱角淀粉颗粒相对可利用的水分就少，仅能部分膨胀。因此，当 3 种淀粉共混，且慈姑、荸荠淀粉含量较高时，对整个糊化体系的影响最显著。

Liu 认为，混合淀粉的糊化热焓为各组分相应比例的热焓的总和<sup>[15]</sup>。据此对比实测的总糊化热焓值与估算值，发现并无此规律。实测值较估算值小，且当慈姑、荸荠淀粉共混时，实测值与估算值的差距更为显著。分析其原因，可能是因为吸热峰发生了叠加，其热相变并非是独立，互不相关的。这也从另一个方面说明了在混合淀粉的糊化过程中，各组分淀粉之间存在交互作用。

### 2.3 混合淀粉凝胶贮藏过程中的脱水情况分析

析

失水率反映了淀粉凝胶回生后的脱水收缩程度。将混合淀粉凝胶贮藏于 4  $^\circ\text{C}$  条件下，定期测定其失水率，结果见表 6。

菱角淀粉凝胶脱水严重，预实验中 1 d 后失水率达到 24.47%。从表 6 中可看出，混合淀粉中慈姑、荸荠淀粉比例越高，凝胶的失水率随之降低，0.7:0:0.3

及 0.0:7:0.3 混合淀粉凝胶的失水率在 7 d 后才分别为 6.98%、8.04%。因此，慈姑、荸荠淀粉的存在，明显抑制了菱角淀粉的回生，脱水收缩作用减弱。分析原因，慈姑、荸荠淀粉对菱角淀粉回生的抑制主要是通过阻碍其直链淀粉的有序化进程而实现的，这一作用发生在较短的时间内。

表 6 混粉凝胶贮藏过程中的失水率

Table 6 Water loss rate of starch blends in the process of storage

淀粉比例	失水率/%				
	1 d	2 d	3 d	5 d	7 d
0:0.7:0.3	0	0.37	3.97	6.63	8.04
0.7:0:0.3	0	0.66	2.15	4.81	6.98
0:0.4:0.6	4.11	9.25	13.08	16.10	16.84
0.5:0.5:0	0	0	0	0.17	3.04
0.4:0:0.6	3.10	8.02	12.72	15.44	16.18
0.35:0.35:0.3	0	1.99	5.70	9.16	11.39
0.2:0.2:0.6	4.06	9.05	12.65	14.97	16.02

注：A=慈姑，B=荸荠 h，C=菱角。

### 3 结论

将慈姑、荸荠、菱角淀粉混合，可获得具有不同特性的淀粉凝胶。凝胶质构回归模型的分析表明，慈姑、荸荠淀粉的交互作用表现为拮抗效应；慈姑、菱角淀粉的交互作用对硬度、弹性表现为增效效应，对黏聚性、黏附性、胶稠度、咀嚼性表现为拮抗效应；荸荠、菱角淀粉的交互作用对黏附性表现为拮抗效应，

对其它质构特征参数则表现为增效效应;慈姑、荸荠、菱角淀粉三者之间的交互作用除对黏附性表现为增效效应外,其它的均表现为拮抗效应。受可溶性直链淀粉含量高低的影响,3种淀粉共混,既有慈姑淀粉的拮抗效应,也有菱角淀粉的增效效应,这两种作用相互影响、制约,最终在各凝胶质构特征参数上表现出占优势的一种作用。在混合体系中,慈姑、荸荠、菱角淀粉的糊化并非各自独立,而是相互作用。慈姑、荸荠淀粉的糊化温度相接近,相容性好,发生了共糊化现象。慈姑、荸荠淀粉的存在,明显抑制了菱角淀粉的回生,贮藏过程中的脱水收缩作用减弱。

### 参考文献

- [1] Biliaderis C G. The structure and interactions of starch with food constituents [J]. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 1991, 69(1): 60-78
- [2] Bello-Perez L A, Meza-Leon K, Contreras-Ramos S, et al. Functional properties of com, banana and potato starch blends [J]. *Acta Cient Venez*, 2001, 52(1): 62-67
- [3] 吕吉鸿,贺子福,唐洁.玉米种皮膳食纤维对谷朊粉和小麦淀粉混合体系形成面团影响[J].*粮食与油脂*, 2012, 88(4): 12-15  
Lv Jihong, He Zifu, Tang Jie. Effect of com bran dietary fiber on dough of wheat gluten and wheat starch [J]. *Journal of Cereals & Oils*, 2012, 88(4): 12-15
- [4] Obanni M, Bemiller J N. Properties of some starch blends [J]. *Cereal Chemistry*, 1997, 74(4): 431-436
- [5] Corke H, Zhu F. Gelatinization, pasting and gelling properties of sweetpotato and wheat starch blends [J]. *Cereal Chemistry*, 2011, 88(3): 302-309
- [6] Ortega-Ojeda F E, Eliasson A C. Gelatinisation and retrogradation behaviour of some starch mixtures [J]. *Starch-Starke*, 2001, 53(10): 520-529
- [7] 游曼洁,赵力超,张茜,等.荸荠淀粉糊黏度特性研究[J].*食品科学*, 2009, 30(9): 99-102  
You Man jie, Zhao Li chao, Zhang Qian, et al. Study on Viscosity Properties of Starch Paste of Chinese Water Chestnut [J]. *Food Science*, 2009, 30(9): 99-102
- [8] 杜征,赵力超,肖苏尧,等.慈姑淀粉的理化特性及其比较研究[J].*食品科技*, 2010, 35(9): 70-75  
Du Zheng, Zhao Li chao, Xiao Su yao, et al. Physicochemical properties and comparative study of arrowhead starch [J]. *Food science and technology*, 2010, 35(9): 70-75
- [9] Chiang P Y, Wang C C R, Li P H, et al. Physicochemical properties of water caltrop (*Trapataiwanensis* Nakai) starch during growth period [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2008, 71(2): 310-315
- [10] Xie B, Wang L, Yin Z, et al. A study on freeze-thaw characteristics and microstructure of Chinese water chestnut starch gels [J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 8(2): 186-192
- [11] Larntz K. Experiments with mixtures-designs, models, and the analysis of mixture data-cornellja [J]. *Journal of the American Statistical Association*, 1984, 79: 232
- [12] Mua J P, Jackson D S. Retrogradation and gel textural attributes of corn starch amylose and amylopectin fractions [J]. *Cereal Science*, 1998, 27(2): 159-166
- [13] Lin Y P, Aboubacar A, Zehr B E, et al. Corn dry-milled grit and flour fractions exhibit differences in amylopectin fine structure and gel texture [J]. *Cereal Chemistry*, 2002, 79(3): 354-358
- [14] Zaidul I S M, Yamauchi H, Matsuura-Endo C, et al. Thermal analysis of mixtures of wheat flour and potato starches [J]. *Food Hydrocolloids*, 2008, 22(4): 499-504
- [15] Liu H, Lelievre J. A differential scanning calorimetry study of melting transitions in aqueous suspensions containing blends of wheat and rice starch [J]. *Carbohydrate Polymers*, 1992, 17(2): 145-149