

# 超高压辅助制备乙酰化淀粉的特性研究

孟爽, 杨绮云, 晏祖根

(哈尔滨商业大学轻工学院, 黑龙江哈尔滨 150028)

**摘要:** 乙酰化淀粉是一种重要的改性淀粉, 广泛应用于食品及非食品加工等领域。本文以玉米淀粉为原料, 乙酸酐为乙酰化试剂, 利用超高压处理技术, 在压力为 300~400 MPa 条件下, 保压 10~20 min 以制备乙酰化淀粉。利用传统方法 (30 °C, 0.1 MPa, 60 min) 制备的乙酰化淀粉作为对照样品, 探讨超高压技术对乙酰化淀粉的取代度、热特性、溶解性、膨润力、凝沉性和糊的透明度等理化特性的影响, 并利用红外光谱对乙酰化淀粉的结构进行了表征。研究表明超高压方法可缩短反应时间, 提高乙酰化淀粉取代度, 压力为 400 MPa, 保压 20 min 时取代度为 0.0461, 与传统方法相比, 取代度提高约 30%, 超高压处理时间越长取代度越高。超高压方法工艺简单, 反应时间短, 节约能源, 制备的乙酰化淀粉具有更好的抗凝沉性。

**关键词:** 乙酰化; 淀粉; 超高压; 乙酸酐; 特性

文章编号: 1673-9078(2013)12-2975-2979

## Characteristics of Acetylated Starch Prepared with Ultra High Pressure

MENG Shuang, YANG Qi-yun, YAN Zu-gen

(School of Light Industry, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

**Abstract:** Acetylated starch as one of the most important modified starches is widely applied in food and non-food processing fields. The impact of ultra high pressure (UHP) on the physicochemical properties of the modified acetylated starch was investigated. Corn starch was substituted with acetic anhydride at pressure range of 300 to 400 MPa for 10 to 20 min. Conventionally prepared acetylated starch (30 °C, 0.1 MP, 60 min) was conducted as control. Characteristics of acetylated corn starches in terms of degree of substitution, thermal properties, solubility, swelling power, retrogradation, paste clarity and so on were assessed, and the structure of acetylated starch was characterized by FT-IR. Compared with the conventional method, the UHP processing was favorable for shortening reaction time and increasing the degree of substitution. The degree of substitution reached to the maximum value of 0.0461 at 400 MPa for 20 min, and acetylated starches by using UHP had lower retrogradation.

**Key words:** acetylation; starch; ultra high pressure; acetic anhydride; characteristic

乙酰化淀粉又称为醋酸酯淀粉, 是淀粉分子上的羟基与乙酸或乙酸衍生物反应得到的一种淀粉衍生物, 是一种重要的改性淀粉<sup>[1]</sup>。淀粉分子中引入乙酰基后会改变淀粉结构, 因此乙酰化淀粉与原淀粉相比其具备很多优良特性, 如良好的透明度和抗老化性, 凝沉性减弱, 成膜性好, 对酸、碱、热的稳定性高, 冻融稳定性好, 溶解性和膨润性好等特点, 广泛应用于食品、造纸、纺织等工业领域<sup>[2-3]</sup>。乙酰化淀粉的制备方法很多, 除传统制备方法外, 近些年又出现了微波法、机械活化法等。传统制备方法及机械活化法的反应温度一般为 30~80 °C, 制备时间为 1~6 h, 反应温度高、时间长, 能耗大<sup>[2-4]</sup>; 微波法制备乙酰化淀粉,

收稿日期: 2013-07-04

基金项目: 黑龙江省“十一五”攻关项目 (GA06B401-4); 哈尔滨商业大学青年教师自然科学基金资助项目 (HCUL2013001)

作者简介: 孟爽 (1979-), 女, 博士, 讲师, 主要从事超高压食品加工技术研究

由于淀粉内层升温速度高于表层, 导致淀粉内部因温度过高而糊化, 反应不均一, 故不适合工业化的批量生产<sup>[5]</sup>。现有方法制备的乙酰化淀粉与原淀粉相比, 虽然具备了很多优良特性, 但随着技术的发展, 对乙酰化淀粉的抗老化性、热稳定性和溶解性等性质有了更高的要求, 这就需要对乙酰化淀粉的制备方法及工艺进行研究, 使其具备更加优良的理化特性, 拓宽乙酰化淀粉的应用。

近年来超高压技术作为高新技术手段被广泛用于淀粉改性。淀粉悬浊液在超高压条件下可实现其物理改性, 高压使淀粉发生糊化作用, 结晶结构、糊的流变性等性质均发生变化<sup>[6-7]</sup>。超高压也可辅助淀粉进行化学改性, 如应用超高压技术制备羟丙基淀粉和交联淀粉<sup>[8]</sup>。在超高压条件下进行淀粉化学改性时, 淀粉的物理改性会同时发生, 这种物理和化学的双变性会使产品具有更加优良的性能, 例如粘性提高, 冻融稳定性得到进一步改善等。将超高压技术应用于乙酰化

淀粉的制备,可使淀粉在高压条件下发生物理变化的同时与乙酰基结合形成乙酰化淀粉。本文研究以超高压技术制备乙酰化淀粉的理化特性,并与传统方法制备的乙酰化淀粉相比较,探讨超高压方法对乙酰化淀粉理化性质的影响规律,以提高乙酰化淀粉的品质,期望为乙酰化淀粉在食品及非食品工业中的应用开辟新的途径。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

玉米淀粉,食品级,长春黄龙食品工业有限公司;乙酸酐、氢氧化钠、盐酸均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

HPPL3 超高压处理设备,天津华泰森森有限公司;FW80-1 万能粉碎机,天津能斯特公司;TLXJ-IIIC 低速台式大容量多管离心机,上海安亭科学仪器厂;差示扫描量热仪 DSC6,美国 PE 公司。红外光谱仪 Perkin-Elmer Spectrum One B 型,波谱扫描范围为 4000~400  $\text{cm}^{-1}$ ,美国 PE 公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 乙酰化淀粉的制备

传统方法:准确称取玉米淀粉 40 g(干基)于 160 mL 蒸馏水中配制 20%的淀粉乳( $m/m$ ),用 1.0 mol/L NaOH 将 pH 值调整为 8.0~8.5,然后逐滴添加 4 g 乙酸酐,同时加入 1.0 mol/L NaOH 使 pH 值始终保持为 8.0~8.5。混合物在 30  $^{\circ}\text{C}$  水浴中搅拌 60 min,反应结束,应用 1.0 mol/L HCl 调整 pH 值为 5.0~5.5,离心(3000 r/min, 15 min),用蒸馏水冲洗 3 次后,45  $^{\circ}\text{C}$  干燥 24 h<sup>[9]</sup>。

超高压方法:将根据传统方法配制的 pH 为 8.0~8.5 的乙酸酐、淀粉和蒸馏水混合物迅速装入聚乙烯袋中排出空气密封,放入超高压设备中加压处理,升压速度 10 MPa/s,利用高压容器外层的恒温水浴装置,使高压容器内的温度保持为 20 $\pm$ 2  $^{\circ}\text{C}$ ,保压一定时间后卸压,卸压速度 30 MPa/s,反应结束后,应用 1.0 mol/L HCl 调整 pH 值为 5.0~5.5,离心(3000 r/min, 15 min),用蒸馏水冲洗 3 次,45  $^{\circ}\text{C}$  干燥 24 h。

#### 1.3.2 取代度测定

准确称取 5 g(干基)样品于 250 mL 碘量瓶中,加 50 mL 蒸馏水,2 滴酚酞,用 0.1 mol/L NaOH 调至粉红色不消失,用 25 mL 移液管吸取 25 mL 0.5 mol/L NaOH 标准溶液加入碘量瓶中,盖上瓶塞,在 40  $^{\circ}\text{C}$  水

浴中震荡 0.5 h,用少量蒸馏水冲洗瓶塞及内壁,用 0.25 mol/L HCl 标准溶液滴定至粉红色消失<sup>[3,9]</sup>。准确称 5 g 原淀粉(干基)进行空白试验,测定步骤同上。

$$Acetyl = \frac{(V_2 - V_1) \times C \times 0.043}{m} \times 100\% \quad (1)$$

$$DS = \frac{162 \times Acetyl}{4300 - 42 \times Acetyl} \quad (2)$$

注:Acetyl 为乙酰化淀粉每个乙酰基葡萄糖单元中含有的乙酰基质量分数,%;  $V_2$  为空白样消耗盐酸体积, mL;  $V_1$  为样品消耗盐酸体积, mL; C 为盐酸溶液的物质的量浓度, mol/L; m 为样品质量, g; DS 为乙酰化淀粉取代度; 162 为淀粉葡萄糖单元分子量; 4300 为乙酰基分子量 43 $\times$ 100; 42 为乙酰基分子量减去氢原子分子量。

#### 1.3.3 热特性

采用差示扫描量热仪(DSC)测定,称取 4.0 mg(db) 样品于铝制坩埚中,加入比例为 1:2( $m/V$ )的去离子水,压盖密封后室温条件下隔夜平衡<sup>[2]</sup>。空坩埚为参比,扫描温度范围为 20~140  $^{\circ}\text{C}$ ,扫描速率为 10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

#### 1.3.4 乙酰化淀粉的红外结构表征

将 105  $^{\circ}\text{C}$  干燥 2 h 的样品按 1%的比例与 KBr 混合、研磨,压片后置于红外光谱仪上测试。扫描波数范围为 4000~400  $\text{cm}^{-1}$ ,分辨率为 4  $\text{cm}^{-1}$ ,以空气为空白<sup>[10]</sup>。

#### 1.3.5 膨润力及溶解性的测定

0.5 g(db) 样品置于 50 mL 离心管中,加入 20 mL 蒸馏水,分别在 50  $^{\circ}\text{C}$ 、60  $^{\circ}\text{C}$ 、70  $^{\circ}\text{C}$ 、80  $^{\circ}\text{C}$  和 90  $^{\circ}\text{C}$  水浴中搅拌 30 min 后离心 15 min(3000 r/min),上清液倒入干燥皿,105  $^{\circ}\text{C}$  烘干至恒重,称重离心残留物。

$$S = \frac{W_r}{W} \times 100\% \quad (3)$$

$$SP = \frac{W_t}{W - W_r} \quad (4)$$

注: S 为溶解度,%; SP 为膨润力, g/g;  $W_t$  为沉淀物质量, g;  $W_r$  为上清液干质量, g; W 为样品质量(db), g。

#### 1.3.6 透光率的测定

1% 淀粉悬浮液于沸水浴内不停搅拌 30 min,迅速冷却悬浮液至室温后,置于 4  $^{\circ}\text{C}$  冰箱内,以蒸馏水作为空白,应用分光光度计测定 640 nm 处透光率。

## 1.4 数据分析

采用 SPSS 软件进行数据统计分析,所有数据重复 3 次。

## 2 结果与讨论

## 2.1 取代度

在应用超高压技术进行淀粉改性时，随着压力的增高，淀粉的性质会发生一定的变化，压力在 300~400 MPa 时仅有个别淀粉颗粒发生糊化，当压力达到 500 MPa 以上会使部分玉米淀粉糊化，压力达到 700 MPa 可使淀粉全部糊化<sup>[7]</sup>。高于 300 MPa 的处理压力制备的乙酰化淀粉取代度较高，且高压反应时间对取代度的影响较大<sup>[11]</sup>。因此在应用超高压技术制备乙酰化淀粉时，选取的处理压力为 300~400 MPa，处理时间为 10~20 min。

表 1 反应参数及乙酰化淀粉取代度

Table 1 Reaction parameters and degree of substitution (DS) values for acetylated corn starch

样品	时间 /min	温度 /°C	压力 /MPa	乙酰基含量/%	取代度
对照样(RC)	60	30	0.1	0.81±0.00 <sup>a</sup>	0.031±0.000 <sup>a</sup>
UHP1	10	20	300	1.02±0.01 <sup>ab</sup>	0.039±0.001 <sup>ab</sup>
UHP2	20	20	300	1.10±0.07 <sup>b</sup>	0.042±0.003 <sup>b</sup>
UHP3	10	20	400	1.12±0.17 <sup>b</sup>	0.042±0.006 <sup>b</sup>
UHP4	20	20	400	1.21±0.08 <sup>b</sup>	0.046±0.003 <sup>b</sup>

注：不同的字母表示有显著性差异 (P<0.05)。

应用传统方法和超高压技术制备的乙酰化淀粉的实验条件、乙酰基含量和取代度分别如表 1 所示。传统方法制备的乙酰化淀粉的取代度为 0.031，已报道乙酰化淀粉的取代度范围一般为 0.03~0.3<sup>[5,10,12]</sup>，此结果接近下限值，这主要是由于实验中应用的底物浓度较低，乙酸酐添加量为淀粉质量的 0.1 倍，而文献中乙酸酐添加量为淀粉质量的 0.1~1 倍；此外，反应温度和反应时间等条件不同也会对取代度产生影响。从试验数据可以得出在相同的底物浓度条件下，尽管超高压方法的反应时间较短，反应温度较低，但其取代度要高于应用传统方法制备的乙酰化淀粉对照样。随着压力的增高及高压反应时间的延长，取代度逐渐增高，在 400 MPa，处理时间为 20 min 时达到最大 0.046，此时乙酰基含量为 1.21%。随着压力的增高，淀粉与水结合，导致颗粒膨胀和结晶区变形，易于乙酸酐由淀粉颗粒外部向内部缓慢渗透，增大了乙酸酐与淀粉颗粒的接触率。随着高压处理时间的增加，延长了反应时间，取代度显著增大。食品工业中使用的乙酰化，取代度为 0~3，乙酰基含量小于 2.5%<sup>[13]</sup>。本实验中，取代度及乙酰基含量均较低，影响这一结果的主要因素乙酸酐添加量较少，因此当需要更高的取代度及乙酰基含量产品时，可以通过提高乙酸酐添加量获得。

## 2.2 乙酰化淀粉的红外结构表征

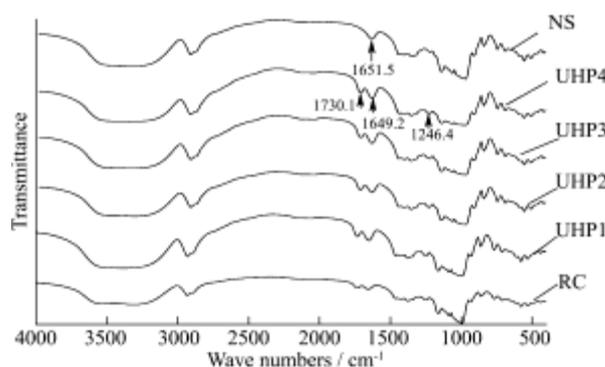


图 1 玉米原淀粉与乙酰化淀粉红外光谱图

Fig.1 FT-IR spectra of native corn starch and acetylated corn starch

FT-IR 光谱分析可以用来检测淀粉分子上乙酰基的结合情况。玉米原淀粉与乙酰化玉米淀粉的傅里叶红外光谱图如图 1 所示。将传统方法和超高压方法制备的乙酰化淀粉与原淀粉 (NS) 的红外光谱相比较发现，乙酰化淀粉在 1730 cm<sup>-1</sup> 附近有明显的 C=O 键型的振动吸收峰，说明有羰基存在；在 1246 cm<sup>-1</sup> 处也出现 C-O 键型的伸缩振动的吸收峰<sup>[10,12,14]</sup>。表明玉米淀粉与乙酸酐发生了乙酰化反应，在淀粉分子上引入了乙酰基。超高压方法制备的乙酰化淀粉与传统方法制备的乙酰化淀粉的红外光谱没有出现显著差异，两种乙酰化淀粉的制备方法除在淀粉分子上引入了乙酰基外，均未改变淀粉分子整体的化学结构。但与传统制备方法相比，超高压方法制备的乙酰化淀粉，由于取代度的增加，C=O 键型与 C-O 键型的振动吸收峰略有增大。

## 2.3 乙酰化淀粉的热特性

表 2 原淀粉和乙酰化淀粉的热特性

Table 2 Thermal properties of native and acetylated corn starch

样品	To/°C	Tp/°C	Tc/°C	ΔH/(J/g)
原淀粉 (NS)	64.39±0.10 <sup>d</sup>	70.23±0.11 <sup>d</sup>	76.52±0.11 <sup>d</sup>	12.17±0.27 <sup>d</sup>
对照样 (RC)	60.46±0.59 <sup>bc</sup>	66.80±0.01 <sup>b</sup>	73.41±0.37 <sup>ab</sup>	11.64±0.83 <sup>cd</sup>
UHP1	60.71±0.31 <sup>c</sup>	67.71±0.27 <sup>c</sup>	74.73±0.37 <sup>c</sup>	9.82±0.78 <sup>bc</sup>
UHP2	59.42±0.65 <sup>ab</sup>	67.01±0.12 <sup>b</sup>	73.25±0.54 <sup>ab</sup>	9.34±0.31 <sup>ab</sup>
UHP3	59.95±0.25 <sup>c</sup>	67.25±0.23 <sup>b</sup>	73.62±0.20 <sup>b</sup>	9.22±0.84 <sup>a</sup>
UHP4	58.61±0.41 <sup>a</sup>	66.21±0.08 <sup>a</sup>	72.71±0.31 <sup>a</sup>	9.05±0.10 <sup>a</sup>

注：不同的字母表示有显著性差异 (P<0.05)。

应用差示扫描量热仪(DSC)分析乙酰化淀粉的热

力学特性。淀粉热特性表示淀粉在适量水条件下加热糊化的难易程度,热特性参数包括糊化起始温度( $T_0$ )、糊化峰值( $T_p$ )、终点温度( $T_c$ )和糊化焓变( $\Delta H$ )。淀粉热性质如表 2 所示。两种方法制备的乙酰化淀粉的糊化温度和热焓值均低于原淀粉,这一结果与现有报道一致<sup>[13-14]</sup>。由于在淀粉分子上引入的乙酰基会削弱淀粉颗粒氢键的作用,推动淀粉颗粒的水合作用<sup>[17]</sup>。因此淀粉糊化所需要能量减少,使得糊化温度和热焓值均降低。

超高压处理会引起淀粉糊化温度和热焓值降低<sup>[6-7,11]</sup>,但是根据检测结果发现,超高压方法制备的乙酰化淀粉的糊化峰值温度为 67 °C 左右,略高于传统方法制备的乙酰化淀粉的 66.8 °C,糊化温度显示升高趋势。尽管 300~400 MPa 超高压的处理,会导致淀粉糊的糊化温度降低,但是超高压方法改变了乙酰化试剂与淀粉分子间接触的几率与反应模式,促进酯化反应的进行,提高的产品的取代度。根据文献报道,乙酰化淀粉的取代度越高,热稳定性越好<sup>[2]</sup>。因此压力升高,导致产品取代度升高,是超高压方法制备乙酰化淀粉的热稳定性提高的主要原因。

#### 2.4 膨润力及溶解性

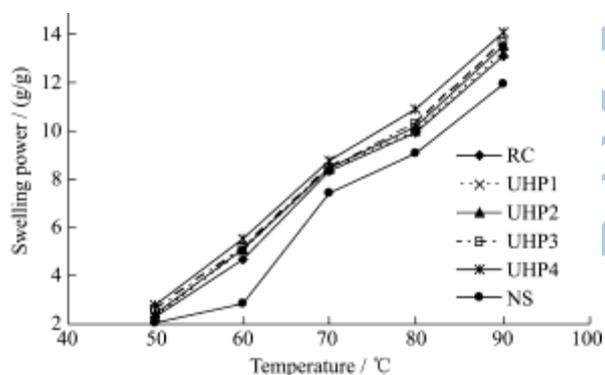


图 2 玉米淀粉和乙酰化淀粉膨润力

Fig.2 Swelling power (SP) of native and acetylated corn starches

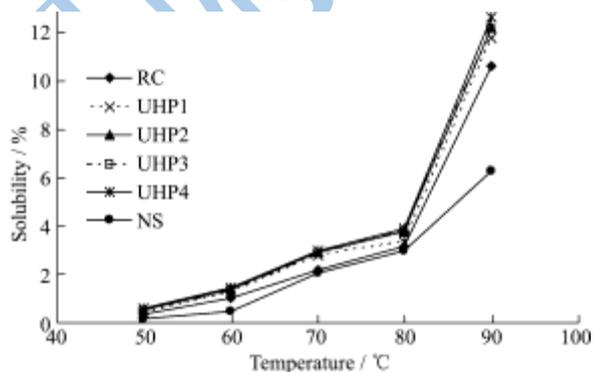


图 3 玉米淀粉和乙酰化淀粉溶解性

Fig.3 Solubility (S) of native and acetylated corn starches

原淀粉 (NS)、传统方法制备的乙酰化淀粉对照样 (RC) 及超高压方法制备的乙酰化淀粉 (UHP) 的膨润力和溶解性如图 2 和图 3 所示。与原淀粉相比,两种方法制备的乙酰化淀粉的溶解性和膨润力均有不同程度的提高。亲水的乙酰基被引入淀粉分子后阻碍了乙酰化淀粉分子间的交联,同时由于乙酰化淀粉颗粒的水合作用及颗粒的膨胀更有利于乙酰化淀粉分子在颗粒内部的迁移,从而使溶解性提高<sup>[11]</sup>。与传统方法制备的对照样比较可知,超高压方法制备的乙酰化淀粉的膨润力和溶解性要高,且随着压力的升高,样品的膨润力和溶解性均有提高,说明乙酰基的取代度 DS 对膨润力和溶解性均有影响,会随着 DS 升高而增大,同时高压作用也会促进淀粉的膨润力和溶解性的提高。

#### 2.5 糊的透明度

表 3 玉米原淀粉与乙酰化淀粉的糊的透明度

Table 3 Paste clarity of native and acetylated corn starches

样品	透光率/% (0 h)	透光率/% (24 h)
原淀粉(NS)	14.8±2.6 <sup>a</sup>	92.5±0.9 <sup>a</sup>
对照样(RS)	39.8±1.7 <sup>b</sup>	82.6±1.1 <sup>b</sup>
UHP1	39.1±3.2 <sup>b</sup>	81.0±0.6 <sup>bc</sup>
UHP2	33.8±2.6 <sup>b</sup>	80.1±1.2 <sup>bc</sup>
UHP3	34.9±0.2 <sup>b</sup>	80.5±0.5 <sup>bc</sup>
UHP4	32.1±3.5 <sup>b</sup>	79.1±0.3 <sup>c</sup>

注:不同的字母表示有显著性差异 (P<0.05)。

玉米淀粉及乙酰化淀粉的透明度如表 3 所示,对于刚制备出的淀粉糊,无论是传统方法还是超高压方法制备的乙酰化淀粉,其透光率均要高于原淀粉,是由于乙酰化反应使淀粉性质发生一定程度的改变。引入的乙酰基是亲水基团,会在一定程度上阻碍淀粉分子间发生缩合作用,因此糊的透明度提高<sup>[1]</sup>。但试验发现超高压方法制备的乙酰化淀粉的透明度要低于传统方法制备的乙酰化淀粉,可能与超高压作用使淀粉分子的结构发生一定变化有关。

淀粉糊在刚配置时,乙酰化淀粉透光率高于原淀粉。将样品在 4 °C 条件下静置 24 h,由于淀粉糊发生了凝沉,导致原淀粉和乙酰化淀粉的透光率逐渐升高,但乙酰化淀粉的透光率低于原淀粉。表明与原淀粉相比,乙酰化淀粉具有更强的抗凝沉性。通过乙酰基的引入,改变了淀粉的性质。原淀粉糊化温度高,更容易发生凝沉现象,增加了光的投射,导致透光率较高。乙酰化淀粉糊静置 24 h,透光率升高幅度小于原淀粉,约为 80% 小于原淀粉的 92.5%。首先,乙酰基

与葡萄糖单元上的羟基形成分子内氢键,阻碍直链淀粉分子间氢键的生成;其次,乙酰基将淀粉分子隔离,阻碍淀粉分子的聚集,二者共同作用使乙酰化淀粉的抗凝沉性增强。应用超高压方法制备的乙酰化淀粉的透光率增大幅度要小于传统方法制备的乙酰化淀粉,这也说明高压处理能够在一定程度上减缓淀粉的凝沉。

### 3 结论

3.1 本试验通过将超高压技术与淀粉化学改性相结合制备乙酰化淀粉,研究利用这种新工艺制备的乙酰化淀粉的特性。

3.2 与传统方法相比较,应用超高压技术制备乙酰化淀粉反应时间由 60 min 缩短为 10~20 min,反应温度由 30 °C 降低为 20 °C,能够提高乙酰基的取代度,与对照样相对比 400 MPa、高压处理 20 min 时取代度提高约 30%,超高压处理时间越长取代度越高。因此该方法工艺简单,操作方便,反应效率较高,节约能源。

3.3 应用红外光谱仪 (FT-IR)、差示扫描量热仪 (DSC) 分别对乙酰化淀粉的结构、热稳定性等进行测试和表征,并对乙酰化淀粉的溶解性、透明度等理化特性进行研究,与传统方法相比,超高压方法制备的乙酰化淀粉具有更好的抗凝沉性,提高了乙酰化淀粉的抗老化能力,且溶解性提高。超高压方法制备的乙酰化淀粉显示出比传统方法制备的乙酰化淀粉更优良的加工性能,这不仅满足了食品加工领域对乙酰化淀粉的抗老化性和稳定性的更高要求,而且能拓宽其在其它非食品工业中应用,进一步证实了超高压方法制备醋酸酯淀粉的可行性。

### 参考文献

- [1] 钱大钧,杨光.醋酸酯淀粉制备及性质研究[J].中国粮油学报,2007,22(2):49-52  
Qian Dajun, Yang Guang. Acetic Ethylene Ester Starch: Preparation and Property Study [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2007, 22(2): 49-52
- [2] 陈渊,黄祖强,谢祖芳,等.机械活化醋酸酯淀粉的制备及其生物降解塑料膜性能[J].农业工程学报,2011,27(5): 298-304  
Chen Yuan, Huang Zuqiang, Xie Zufang, et al. Preparation of Mechanical Activated Starch Acetate and Performance Research of the Biodegradable Plastic Films [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(5): 298-304
- [3] Xu Y, Miladinov V, Hanna M A. Synthesis and Characterization of Starch Acetates with High Substitution [J].

- Cereal Chemistry, 2004, 81(6): 735-740
- [4] Liu H, Ramsden L, Corke, H. Physical Properties and Enzymatic Digestibility of Acetylated Waxy and Normal Maize Starch [J]. Carbohydrate Polymers, 1997, 34(4): 283-289
- [5] 魏彦杰.采用环境友好工艺制备两种醋酸酯淀粉及其性能比较研究[D].重庆:西南大学,2010  
Wei Yanjie. Using Environment-friendly Technology Produce Two Kinds of Acetate Starch and Study on Comparison of Its Properties [D]. Chongqing: Southwest University, 2010
- [6] Knorr D, Heinz V, Buckow R. High Pressure Application for Food Biopolymers [J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2006, 1764(3): 619-631
- [7] Jasim Ahmed, Sunil K Varshney, Hosahalli S Ramaswamy. Effect of High Pressure Treatment on Thermal and Rheological Properties of Lentil Flour Slurry [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42: 1538-1544
- [8] Kim HS, Choi HS, Kim BY, et al. Ultra high pressure (UHP)-assisted Hydroxypropylation of Corn Starch [J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 83(2): 755-761
- [9] Wang Y J, Wang L. Characterization of Acetylated Waxy Maize Starches Prepared under Catalysis by Different Alkali and Alkaline-earth Hydroxides [J]. Starch, 2002, 54(1): 25-30
- [10] 朱军峰,张光华,李俊国.高取代度玉米醋酸酯淀粉的制备与表征[J].应用化学,2006,23(9):1010-1013  
Zhu Junfeng, Zhang Guanghua, Li Junguo. Preparation and Characterization of Corn Starch Acetates with High Degrees of Substitution [J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2006, 23(9): 1010-1013
- [11] Kim HS, Choi HS, Kim BY, et al. Characterization of Acetylated Corn Starch Prepared under Ultrahigh Pressure (UHP) [J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2010, 58(6):3573-3579
- [12] Sodhi N S, Singh N. Characteristics of Acetylated Starches Prepared Using Starches Separated from Different Rice Cultivars [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 70(1): 117-127
- [13] Saartraat S, Puttanlek C, Rungsardthong V, et al. Paste and Gel Properties of Low-substituted Acetylated Canna Starches [J]. Carbohydrate Polymers, 2005, 61(2): 211-221
- [14] Zieba T, Szumny A, Kapelko M. Properties of Retrograded and Acetylated Starch Preparations: Part 1. Structure, Susceptibility to Amylase, and Pasting Characteristics [J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(5):1314-1320

现代食品科技