

超声波对木薯淀粉性质及结构的影响

赵奕玲, 廖丹葵, 张友全, 童张法

(广西大学化学化工学院, 广西 南宁 530004)

摘要: 考察了超声波对木薯淀粉理化性质及结构的影响. 结果表明, 经超声处理后淀粉表观粘度下降, 凝沉增强; 经超声处理 2 min, 淀粉糊透明度提高, 抗酶解能力降低; 延长超声时间则导致糊透明度下降和抗酶解能力增强. FT-IR 和 XRD 分析结果表明, 超声作用未破坏淀粉分子基团, 但淀粉结晶结构遭到破坏, 结晶度下降. SEM 分析显示, 淀粉团粒结构减弱, 受侵蚀的颗粒数量增多; 淀粉-碘复合物分析表明, 超声波造成淀粉大量降解, 破坏支链结构和淀粉长链, 直链淀粉含量增加. DSC 分析表明, 淀粉经超声处理后糊化焓基本不变, 糊化温度升高.

关键词: 超声波; 木薯淀粉; 性质; 结构

中图分类号: TS235.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-606X(2007)06-1138-06

1 前言

淀粉是一种多晶高聚物, 具有半结晶颗粒结构, 结晶区分子排列紧密, 水、酶及多数化学试剂不易接触到结晶区内分子^[1-3], 限制了化学反应效率和产物品质, 影响淀粉在各方面的应用^[4,5]. 因此, 探索新的降解活化方法, 改变淀粉颗粒结构、破坏结晶组织, 对提高淀粉的反应活性具有重要的研究意义. 超声波作为一种特殊的能量形式, 可以起到加速化学反应的作用. 利用超声技术加速化学反应已有许多报道, 应用几乎涉及有机化学各领域. 近年来, 超声技术也逐渐应用于淀粉领域, 与其他降解方法(辐射降解、热降解、生物降解、化学降解、微波降解和机械活化等^[6-8])相比, 具有作用时间短、降解非随机性、操作简单易控制及能耗较低等优点, 成为淀粉改性的一种新型物理方法. 迄今已有将超声波应用于淀粉加工的报道, 文献[4]研究了超声波提高玉米淀粉与环氧乙烷的反应活性; 文献[9,10]分别利用超声波促进淀粉的液化和糖化; 文献[11]综述了超声波在变性淀粉和淀粉糖生产中的应用. 但对淀粉性能和结构受超声作用的影响及其机理的研究很少.

本工作采用超声波处理木薯淀粉, 较全面地研究了超声波对淀粉表观粘度、透明度、凝沉性和抗酶性等理化特性的影响, 同时从淀粉的分子基团、结晶结构、颗粒形貌、组分含量及热特性等方面考察了超声作用对淀粉超分子结构的影响. 研究超声处理后淀粉理化特性变化, 为较好地选择超声处理淀粉的适宜条件、均衡淀粉改性产物的各项品质指标及制备不同性能满足不同实际需要的淀粉产品提供了参考依据. 研究超声波对淀粉结构、组成及热特性的影响, 对进一步了解超声对淀粉

的作用机理、淀粉性能改变及开发较高活性的淀粉改性产品具有重要的意义, 也为超声波在淀粉领域的实际应用及进一步开发利用提供了理论依据.

2 实验

2.1 材料及仪器

木薯淀粉(工业级, 广西明阳生化科技股份有限公司); 乙醇, 盐酸, 氯化钙, 碘化钾, 氯化钾, 氢氧化钾, 碘(AR, 广东西陇化工), α 淀粉酶(BR, 广东环凯微生物科技有限公司, 酶活力 2000 U/g).

JY92-II 型超声波细胞粉碎机(宁波新芝生物科技股份有限公司), NDJ-8S 型旋转粘度计(上海精密科学仪器有限公司), Nexus 470 FT-IR 型傅立叶红外拉曼光谱仪(美国尼高力公司), D/Max 2500 V 型 X 射线衍射仪(日本理学公司), JEM-1200E 型电子显微镜(日本电子), UV2501-PC 型紫外-可见分光光度计(日本岛津), 835 型自动电位滴定仪(瑞士万通公司), SDT Q600 型差示扫描量热器(美国 TA 公司).

2.2 超声波处理淀粉

10.0 g 淀粉与 40 mL 20%乙醇混合成淀粉乳, 置于功率为 300 W 的超声波下作用一定时间. 作用结束后用蒸馏水洗涤淀粉, 抽滤, 于 45 °C 下干燥, 待测试用.

2.3 淀粉理化性质测定

表观粘度测定: 质量浓度 6%的淀粉乳于 85 °C 下加热糊化并保温 20 min, 冷却至室温, 用旋转粘度计依次测定糊粘度.

透明度测定: 质量浓度 1%的淀粉乳于 85 °C 下加热糊化并保温 20 min, 冷却至室温后测定 650 nm 下的透光率, 蒸馏水为空白.

收稿日期: 2007-03-09, 修回日期: 2007-04-28

基金项目: 广西高校研究生创新基金资助项目(编号: 2006081702M20)

作者简介: 赵奕玲(1982-), 女, 广西省桂林市人, 硕士研究生, 基本有机化工专业; 童张法, 通讯联系人, Tel: 0771-3233728, E-mail: bioche@gxu.edu.cn.

凝沉性测定: 质量浓度 1% 的淀粉乳于 85 °C 下加热糊化并保温 20 min, 置于 50 mL 具塞量筒中, 摇匀后静置, 间隔时间记录上层清液体积。

抗酶性测定: 预热 30 mL 水, 加入 3 g 淀粉, 调节 pH 到 6~7, 加入 0.018 g 氯化钙和 0.015 g α 淀粉酶。升温至 92 °C, 保温 10 min, 抽率, 烘干滤渣, 称重。

2.4 结构表征

红外光谱分析(FT-IR spectrometry): 取少量样品与干燥的 KBr 粉末混合研磨后压片, 置于红外光谱仪内全波段扫描, 扫描范围 4000~400 cm^{-1} 。

X 射线衍射分析(XRD): 铜靶, 石墨单色器, 扫描范围 $2\theta=5^\circ\sim 35^\circ$ 。

扫描电镜分析(SEM): 加速电压 25 kV, 拍摄具有代表性的淀粉颗粒形貌。

淀粉-碘复合物吸收光谱分析: 取质量浓度 0.01% 的淀粉乳 8 mL, 加入 0.2 mL 碘液(0.2% 碘+2.0% 碘化钾), 混匀显色。用分光光度计从 400~900 nm 做全扫描, 以稀碘液(0.2 mL 上述碘液+8 mL 水)作空白。

电位滴定分析: 精确称取 0.1 g 淀粉, 加入 5 mL 1 mol/L 氢氧化钾, 置于冰箱过夜, 充分膨胀, 以甲基橙作指示剂, 用 0.5 mol/L 盐酸中和, 中和后加 10 mL 0.5 mol/L 碘化钾溶液, 定容至 100 mL 作试样溶液; 电极为饱和甘汞电极和铂电极。以 0.05 mol/L 氯化钾、0.05 mol/L 碘化钾和 1 mL 含 1.00 mg 碘的混合液作滴定液, 测电位变化。

差示量热分析(DSC): 将约 15~20 mg 的淀粉样品置于铝碟中, 加水, 淀粉:水 \approx 1:3(质量比), 在室温下放置 2 h 后进行分析。扫描温度范围 40~100 °C, 扫描速率 5 °C/min, 气氛为高纯氮, 流量 30 mL/min。

3 结果与讨论

3.1 超声波对木薯淀粉理化性质的影响

3.1.1 表观粘度

超声波对木薯淀粉的表观粘度有较大影响。图 1 为经不同超声时间处理的淀粉表观粘度随剪切速率的变化曲线。由图可见, 当剪切速率为 0.3 r/min 时, 木薯原淀粉的表观粘度为 115.3 Pa·s, 超声处理 3 min 后其表观粘度为 13.36 Pa·s。说明在相同剪切速率下, 超声作用时间越长, 淀粉表观粘度降低越显著, 短时间超声作用可以引起淀粉分子较大程度的降解, 剪切稀化现象随之减弱。这是由于原淀粉糊中大分子链相互缠绕, 对流动产生较大的粘性阻力; 超声波产生的机械作用、热作用和空化作用导致淀粉链断裂, 结晶结构损坏, 分子缠结点减少, 小分子数量增加, 对淀粉糊流动产生的粘性

阻力减小, 引起表观粘度下降和剪切稀化的减弱。当链断裂导致链长达到一定值, 不在超声波作用范围内时, 超声波对淀粉粘度的影响会逐渐减小。

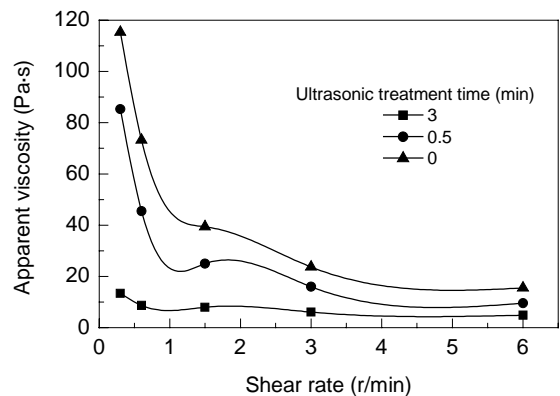


图 1 不同时间超声处理的淀粉表观粘度与剪切速率的关系
Fig.1 Relationship between apparent viscosity of starch paste and shear rate under different ultrasonic treatment times

3.1.2 透明度

经不同时间超声处理的淀粉糊透明度测定结果如图 2 所示。由图可见, 超声作用后的淀粉透明度比原淀粉有较大提高; 超声处理 2 min 时的淀粉糊透明度达到最大, 随后逐渐下降。影响透明度主要有两个因素: 膨胀颗粒的大小及直链淀粉与支链淀粉的比例。膨胀颗粒尺寸越大, 支链淀粉含量越多, 透明度越高。由于超声波能在较短时间内破坏淀粉结晶区, 颗粒表面及内部均遭到侵蚀, 淀粉溶解度增大, 淀粉与水分子间缔合增加, 分子之间缔合减少, 颗粒较易膨胀, 从而减弱光的折射和反射, 则糊透明度提高; 另一方面, 由于超声波打断支链淀粉, 支链淀粉含量降低, 超声时间延长还会造成淀粉颗粒重新团聚, 抑制颗粒膨胀, 导致透明度相对下降。因此经超声处理后淀粉的糊透明度随处理时间增加呈现先增后减的变化趋势。

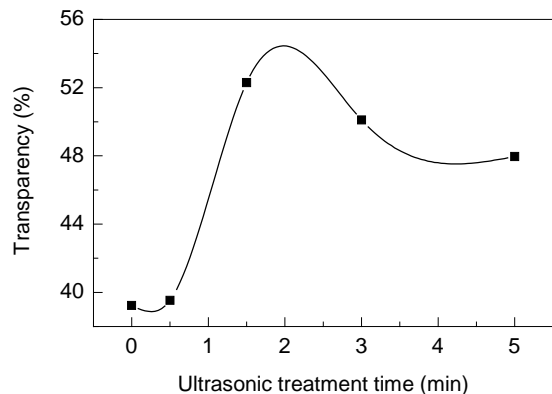


图 2 超声处理时间对淀粉糊透明度的影响
Fig.2 Effect of ultrasonic treatment time on the transparency of starch paste

3.1.3 凝沉性

图3为经不同时间超声处理的淀粉糊液静置过程中析出水分随静置时间的变化曲线。由图可见,原淀粉和处理0.5 min的淀粉凝沉较快,但析水量较少,凝沉倾向较弱;超声处理1.5, 3和5 min的淀粉凝沉较慢,经过3 d静置才明显沉降,但总析水量大,凝沉性强。凝沉是淀粉的老化过程,是直链淀粉分子和支链淀粉分子上的直链部分通过氢键互相结合,重新产生结晶的过程。淀粉凝沉强弱由直链淀粉含量与聚合度决定。由于超声作用降低了淀粉结晶度,破坏淀粉颗粒,淀粉与水分子间缔合增加,保水性增强,因此在静置初期凝沉速率较慢;另一方面,超声波降解支链淀粉,支链结构被破坏,直链淀粉比例上升,聚合度降低,淀粉分子间结合增加,结晶速率加快,因此长时间静置析水速率快,凝沉性较原淀粉的强。

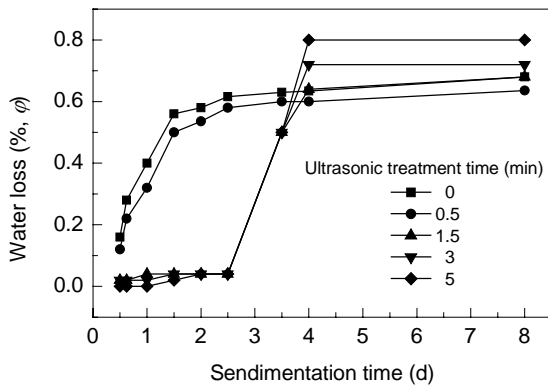


图3 经不同时间超声处理的淀粉凝沉曲线
Fig.3 Retrogradation curves of starch paste under different ultrasonic treatment times

3.1.4 抗酶性

超声作用对淀粉抗酶性的影响结果如图4所示。由图可见,短时间超声处理会降低抗酶解淀粉含量,淀粉

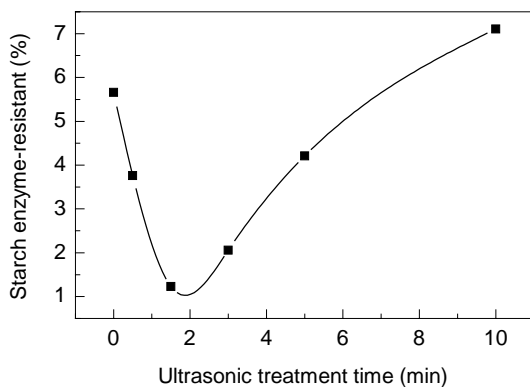


图4 超声处理时间对淀粉抗酶性的影响
Fig.4 Effect of ultrasonic treatment time on the enzyme resistance of starch paste

的抗酶解能力下降;延长超声处理时间,抗酶解淀粉含量重新上升,淀粉的抗酶解能力提高。这说明超声作用强度影响淀粉的抗酶解能力。这是由于淀粉的抗酶性主要来自淀粉结晶区的变化,酶解主要发生在颗粒的无定型区或结晶少、密度小的敏感区域。结晶区结构致密,淀粉酶在该区域的水解能力低。淀粉经超声处理,其颗粒表面及结晶结构受到破坏,结晶度下降,糊液粘度下降,淀粉酶扩散阻力下降,抗酶性降低;当淀粉经长时间超声处理,一方面,原来被破坏的结晶区分子自由度增大,重新形成新的结晶区,结构恢复致密,不利于淀粉酶的水解;另一方面,超声过程中淀粉发生降解,直链淀粉含量增加,抗酶解淀粉含量提高。

3.2 超声波对木薯淀粉结构的影响

3.2.1 红外光谱分析

图5是原淀粉和经超声处理的淀粉的红外光谱图。由图可见,超声处理后淀粉与原淀粉相比无明显差异,各特征基团的吸收峰位置、形状与原淀粉相差不大,没有新的吸收峰出现,仍具有原有官能团,说明超声波未破坏淀粉的原有基本结构,没有新的化合物产生。

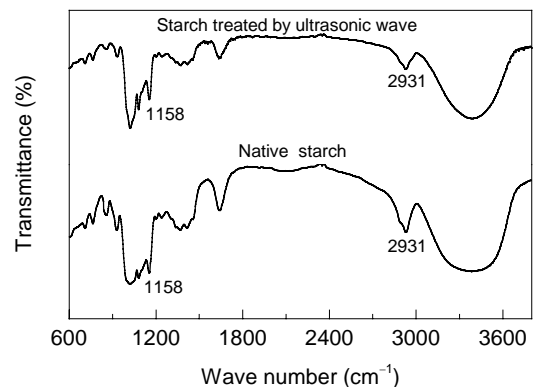


图5 淀粉红外光谱图
Fig.5 FT-IR spectra of starch samples

由于淀粉是一种多晶高聚物,结晶高聚物在红外光谱图上具有特定的结晶敏感吸收带,其强度与结晶度有关,结晶度增加,结晶区强度增大,结晶度下降,无定形区强度增大。因此利用晶带可以测定结晶聚合物的结晶度。淀粉红外结晶指数计算公式^[12]为

$$N-O'KI = \log(T_{1158}^{-1}) / \log(T_{2931}^{-1}), \quad (1)$$

式中, $N-O'KI$ 表示红外结晶指数, T_{1158} 和 T_{2931} 分别代表 1158 和 2931 cm^{-1} 的透光率。

图5中 1158 cm^{-1} 处的吸收峰代表 C—O—C 不对称伸缩振动, 2931 cm^{-1} 处的吸收峰代表 C—CH₂—C 的不对称伸缩振动, 利用这 2 个伸缩振动可以较好地表征淀

粉的结晶度变化. 按式(1)计算超声处理前后淀粉的红外结晶指数, 结果见表 1, 可见经超声处理后淀粉的红外结晶指数下降, 从未经处理时的 1.8278 下降到 1.5734, 说明超声波破坏了淀粉结晶结构, 无定形结构增加是造成部分吸收峰强度降低和淀粉反应活性改善的根本原因.

表 1 超声波对淀粉结晶指数的影响

Sample	T_{1158} (%)	T_{2931} (%)	$N-O'KI$
Native starch	25.838	47.691	1.8278
Starch treated by ultrasonic wave	36.357	52.568	1.5734

3.2.2 X 射线衍射分析

淀粉颗粒的结晶性质可以通过对比 X 射线衍射曲线中尖峰衍射特征和弥散衍射特征的比例及强度确定. 图 6 为超声处理前后淀粉的 XRD 曲线, 尖峰衍射和弥散衍射分别对应淀粉颗粒的结晶区和无定型区. 如图所示, 超声处理后淀粉仍保持原淀粉的晶型, 在 2θ 为 15° , 17° , 18° , 23° 附近出现明显的衍射峰, 与原淀粉一致. 淀粉经超声作用后, 其尖峰衍射特征强度减弱, 在 17° 处衍射峰强度下降尤为显著, 晶体的晶格有序化程度逐渐降低. 可见超声波破坏了淀粉结晶结构, 降低淀粉结晶度, 这与红外结晶指数计算结果一致. 但超声波对淀粉的损坏程度还不足以使其晶型发生改变.

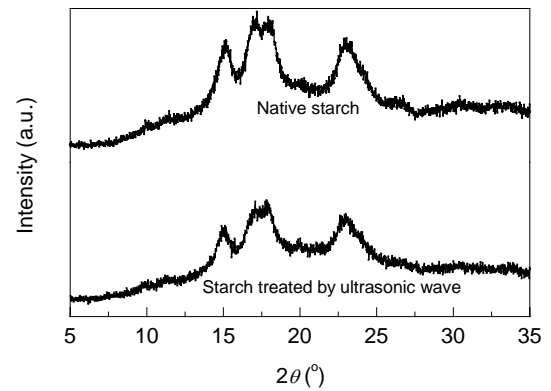
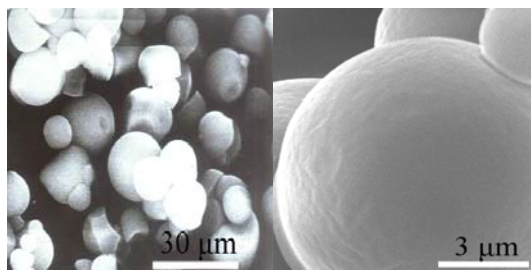


图 6 淀粉 X 射线衍射图

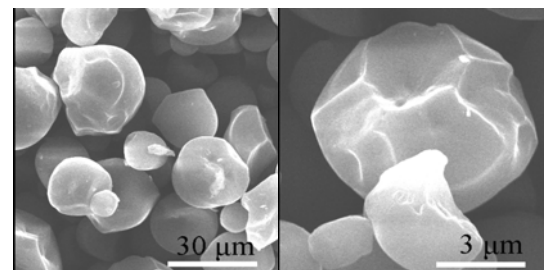
Fig.6 XRD patterns of starch samples

3.2.3 扫描电镜分析

图 7 为超声处理前后的木薯淀粉扫描电镜图. 由图可见, 木薯原淀粉团粒为圆球型, 表面平滑, 无小孔裂缝或破面. 超声处理后淀粉中受侵蚀的颗粒增多, 部分颗粒表面变粗糙, 颗粒内部受侵蚀出现凹陷甚至断裂, 一些颗粒露出内部层状结构. 淀粉颗粒结构的变化可较好地解释超声作用促进淀粉化学反应活性的提高. 原淀粉颗粒结晶区分子排列紧密, 淀粉颗粒与化学试剂的接触面积小, 超声作用破坏淀粉颗粒表面和内部, 表面积增加, 易于化学试剂的渗透, 反应活性增强.



(a) Native starch



(b) Starch treated by ultrasonic wave

图 7 淀粉电镜扫描图

Fig.7 SEM photos of starch samples

3.2.4 淀粉-碘复合物分析

图 8 为经不同时间超声处理的淀粉在 400~900 nm 下的淀粉-碘复合物的紫外-可见光吸收光谱. 根据淀粉与碘形成复合物的紫外最大吸光度值可以说明超声波对淀粉分子的降解情况. 由图可见, 与原淀粉相比, 淀粉-碘复合物的吸光度随超声处理淀粉时间的延长而逐渐增大, 表明经超声处理后淀粉组分含量发生变化. 这是由于直链淀粉与碘形成螺旋络合结构, 呈现深蓝色; 支链淀粉每个分支平均长度较短, 相应的络合碘分子的数目较少, 颜色较浅. 淀粉在超声过程中部分链发

生断裂, 支链淀粉被打断, 直链淀粉比例不断增加, 淀粉与碘的结合能力逐渐增强, 吸光度随之增大. 当超声作用使淀粉链聚合度低于一定值时, 短链淀粉遇碘不显色, 吸光度降低. 可见超声波降解了淀粉大分子链, 导致分子量降低且分布狭窄.

图 9 为经不同时间超声处理的淀粉的碘电位滴定曲线. 由图可见, 超声处理时间越长, 淀粉需要结合的碘量越多才能使电动势明显增加. 因为当将淀粉溶液用碘进行电位滴定时, 在碘与淀粉形成络合物期间电位无变化, 一旦有游离碘存在时, 电动势便增加, 可以看到

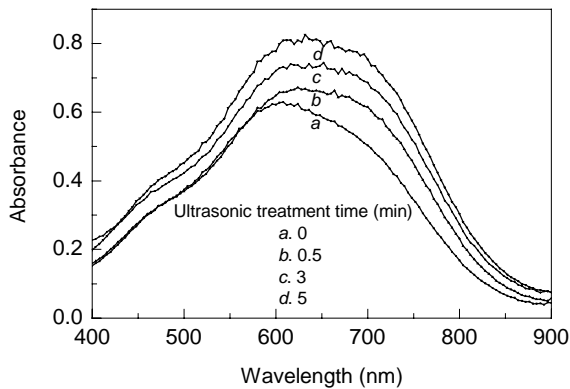


图8 经不同时间超声处理的淀粉与碘形成复合物的吸收光谱
Fig.8 The UV-Vis absorption spectra of starch-iodine compounds under different ultrasonic treatment times

电位的变化. 支链淀粉的碘亲和力非常小, 滴定时电动势立即增加, 直链淀粉的碘亲和力很强, 要有相当大的滴定量才会出现游离碘. 可见, 超声作用使得直链淀粉比例上升, 处理时间越长, 直链含量越高.

根据电位滴定曲线拐点对应的碘量计算出直链淀粉含量^[13]:

$$\text{直链淀粉含量} = D/A \times 100\%, \quad (2)$$

式中, A 为直链淀粉与碘的亲和力, 木薯淀粉为 18.6; D 为淀粉与碘的亲和力.

经不同时间超声处理的淀粉中直链淀粉含量计算结果见表 2, 说明超声时间越长, 淀粉降解程度越大, 直链淀粉比例不断增大.

表 2 经不同时间超声处理的淀粉中直链淀粉含量
Table 2 Amylase content of starch under different ultrasonic treatment times

Ultrasonic treatment time (min)	D	Amylase content (%)
0	4.1	22.04
1.5	4.38	23.55
5	5.55	29.84
10	6.43	34.57

3.2.5 差示量热分析

图 10 为原淀粉、超声处理 3 及 10 min 的木薯淀粉的差热分析曲线. 如图所示, 样品在 40~100 °C 均存在一个吸收特征峰, 是由于淀粉加热糊化发生了从多晶态向非晶态和从颗粒态到糊化态的双重物态转化引起的. 按热力学分析, 淀粉与水共热吸水膨胀, 分子间及分子内的氢键断裂, 淀粉分子扩散糊化, 有序的晶体向无序的非晶体转化, 伴随的能量变化表现为吸热峰, 此时吸热峰面积代表糊化焓 ΔH . 由图可见, 3 个样品的特征吸热峰面积相近, 糊化起始温度分别为 51.2, 55.7, 73.9 °C, 糊化最终温度分别为 70.3, 75.0, 93.6 °C, 可见糊化的起始温度和最终温度均随超声处理时间延长而不断升高.

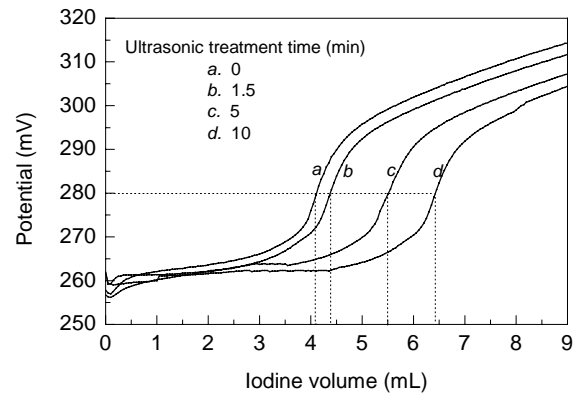


图9 经不同时间超声处理的淀粉的碘电位滴定曲线
Fig.9 Iodine titration curves of starch under different ultrasonic treatment times

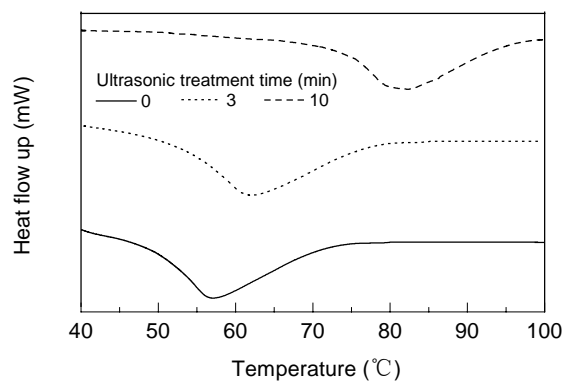


图 10 经不同时间超声处理的淀粉的差热曲线
Fig.10 DSC curves of starch under different ultrasonic treatment times

图 10 反映出 2 个特点: (1) 3 条曲线糊化起始温度和糊化最终温度之间的峰面积相近, 表明超声处理后淀粉的 ΔH 基本不变; (2) 淀粉经超声处理后, 其吸热峰向高温方向移动, 表明淀粉糊化温度升高, 超声处理 10 min 的淀粉糊化温度升高明显, 低于 85 °C 糊化不明显. 这是由于在相同的淀粉/水比例下, 影响 ΔH 的主要因素是淀粉中直链淀粉含量和结晶度^[14]. 直链淀粉含量高, ΔH 也高; 淀粉结晶度低, ΔH 低. 一方面, 从 FT-IR 和 XRD 分析结果可见超声作用降低了淀粉的结晶度, 导致 ΔH 降低; 另一方面淀粉-碘复合物分析说明超声波降解支链结构, 直链淀粉比例增加, ΔH 因此升高. 由于交互作用, 超声处理前后淀粉的 ΔH 无明显差异. 而糊化温度作为淀粉的一个重要指标, 同淀粉颗粒结晶结构、颗粒大小、直链淀粉含量等因素密切相关. 由于超声作用造成淀粉降解, 直链淀粉比例增大, 其糊化温度升高; 超声波降解大分子链使淀粉链长趋于接近, 分子链比较集中, 淀粉分子量趋于某一特定范围, 分布狭窄, 淀粉结构变得更有秩序, 是导致糊化温度升高的又一原因.

4 结论

(1) 对比超声处理前后木薯淀粉理化性能的变化发现, 经超声处理后的淀粉表观粘度迅速下降, 剪切稀化变弱, 凝沉性增强, 超声作用加速淀粉的老化; 短时间的超声作用能提高淀粉糊的透明度, 降低淀粉抗酶解能力; 较长时间的超声作用则会导致糊透明度的下降和淀粉抗酶解能力的增强。

(2) 结构表征结果显示, 超声作用没有改变淀粉原有分子基团, 但破坏了淀粉结晶结构, 结晶度下降; 淀粉颗粒表面出现凹陷和断裂, 受侵蚀的颗粒数量增多; 淀粉分子发生降解, 淀粉链断裂, 直链淀粉含量增加, 聚合度降低, 淀粉糊化温度升高。

(3) 超声作用破坏淀粉结晶结构、降低结晶度是提高其反应活性的根本原因。适宜的超声处理还能改善淀粉的部分理化特性。长时间的超声作用会导致淀粉部分特性的衰退和结构的降解。较大程度的降解对淀粉的实际应用有一定的局限。因此, 应用超声波处理淀粉能否达到改善淀粉反应活性的同时又能保证淀粉性能的良好, 取决于选择适宜的处理条件。而研究超声波对淀粉性质和结构的影响对其更好地应用于淀粉加工具有重要的理论意义, 仍需要更深入的研究和探索。

参考文献:

[1] Richard F Tester, John Karkalas, Xin Qi. Starch—Composition, Fine

Structure and Architecture [J]. *J. Cereal Sci.*, 2004, 39(2): 151–165.

[2] Daniel J Gallant, Brigitte Bouchet, Paul M Baldwin. Microscopy of Starch: Evidence of a New Level of Granule Organization [J]. *Carbohydr. Polym.*, 1997, 32(3/4): 177–191.

[3] Christopher G Oates. Towards an Understanding of Starch Granule Structure and Hydrolysis [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 1997, 8(11): 375–382.

[4] 何小维, 黄强, 罗发兴, 等. 超声处理后的玉米淀粉与环氧丙烷的反应机理 [J]. *华南理工大学报(自然科学版)*, 2005, 33(8): 91–94.

[5] Shogren R L. Modification of Maize Starch by Thermal Processing in Gglacial Acetic Acid [J]. *Carbohydr. Polym.*, 2000, 43(4): 309–315.

[6] Singh V, Ali S Z. Acid Degradation of Starch: The Effect of Acid and Starch Type [J]. *Carbohydr. Polym.*, 2000, 41(2): 191–195.

[7] Gunaratne A, Hoover R. Effect of Heat-moisture Treatment on the Structure and Physicochemical Properties of Tuber and Root Starches [J]. *Carbohydr. Polym.*, 2002, 49(4): 425–437.

[8] 黄祖强, 胡华宇, 童张法, 等. 机械活化对木薯淀粉糊透明度的影响 [J]. *过程工程学报*, 2006, 6(3): 427–430.

[9] 耿予欢, 张本山, 高大维. 超声波影响异麦芽低聚糖生产的研究 [J]. *食品工业科技*, 1999, 20(1): 14–16.

[10] 高大维, 陈满香, 梁斌, 等. 超声波催化糖化酶水解淀粉的初步研究 [J]. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 1994, 22(1): 70–74.

[11] 徐正康, 罗发兴, 罗志刚. 超声波在淀粉制品中的应用 [J]. *粮油加工与食品机械*, 2004, (12): 60–64.

[12] 雷娜. 超声波对淀粉超分子结构及反应性能的影响 [D]. 广州: 华南理工大学, 2001. 25.

[13] 张友松. 变性淀粉生产与应用手册 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999. 597–600.

[14] Pareta R, Edieisinghe M J. A Novel Method for the Preparation of Starch Films and Coatings [J]. *Carbohydr. Polym.*, 2006, 63(3): 425–431.

Effects of Ultrasonic Wave on the Properties and Structure of Cassava Starch

ZHAO Yi-ling, LIAO Dan-kui, ZHANG You-quan, TONG Zhang-fa

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004, China)

Abstract: Cassava starch was treated by ultrasonic wave. The effects of ultrasonic wave on the physicochemical properties, crystal structure, granular morphology, amylose content and thermal properties of cassava starch were investigated respectively. The results indicated that apparent viscosity and shear-thinning nature decreased, and retrogradation increased with increasing ultrasonic treatment time. Starch paste showed higher transparency and lower enzyme resistance when ultrasonic treatment time was less than 2 min. However, continuously increasing ultrasonic treatment time would lead to increasing of transparency and decreasing of enzyme resistance. FT-IR and XRD analysis suggested that ultrasonic wave would not destroy functional groups of starch, but damaged crystal structure, as a result crystallinity decreased. SEM images indicated that more and more starch granules were fractured; many dents and splits were found on the surface of starch granules after ultrasonic treatment. Starch-iodine analysis suggested that ultrasonic wave destroyed amylopectin and starch chains, amylose content increased and degree of polymerization decreased. DSC spectra suggested that gelatinization enthalpy remained the same, but gelatinization temperature rised.

Key words: ultrasonic wave; cassava starch; property; structure