

湿热处理过程中水分含量对多孔淀粉理化性质的影响

张晶¹, 刘庆庆², 陈兵¹, 刘雄¹

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715) (2. 铜仁学院生物与农林工程学院, 贵州铜仁 554300)

摘要: 本实验将多孔淀粉水分含量分别控制为 10%、15%、20%，经高温 115 °C 条件下湿热处理 1 h，研究不同水分含量湿热处理对多孔淀粉结构和性质的影响。实验表明，湿热处理对多孔淀粉的多孔结构有一定程度的破坏作用，吸附性能减弱，晶体结构未发生明显变化，但结晶度下降；另外，经湿热处理后多孔淀粉的溶解度、膨润度、透光率降低，而冻融稳定性增强，并随着湿热处理水分含量的增加呈现相应的趋势；随着湿热处理水分含量的增加，淀粉糊的起始糊化温度及热糊稳定性提高，凝沉性增强，糊化峰值粘度降低；经湿热处理后，多孔淀粉的抗性淀粉含量有一定程度的改变，在水分含量为 15% 的湿热处理条件下，抗性淀粉含量较多，为 27.67%。湿热处理对多孔淀粉相关性质产生了明显影响，并随处理水分含量的不同存在差异。

关键词: 湿热处理；多孔淀粉；水分含量

文章编号: 1673-9078(2016)8-148-155

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.8.023

Effect of Moisture Content on the Physicochemical Properties of Porous Starch during Heat-moisture Treatment

ZHANG Jing¹, LIU Qing-qing², CHEN Bing¹, LIU Xiong¹

(1.College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China) (2.College of Biological and Agricultural & Forestry Engineering, Tongren University, Tongren 554300, China)

Abstract: The moisture content of porous starch was controlled at 10%, 15%, and 20%, and heat-moisture treatment was performed at 115 °C for 1 h to study the effect of heat-moisture treatment on the structure and properties of porous starch. The results indicated that heat-moisture treatment partially destroyed the porous structure of porous starch and reduced its absorptive capacity. The crystal structure of porous starch exhibited no obvious change; however, the degree of crystallinity decreased. Additionally, following heat-moisture treatment, the solubility, swelling capacity, and light transmittance of the porous starch decreased, but the freeze-thaw stability increased and presented a corresponding trend with increases in water content. Heat-moisture treatment increased the pasting temperature, retrogradation, and hot-paste stability of porous-starch paste, whereas decrease the peak viscosity. After heat-moisture treatment, the content of resistant starch in porous starch was altered. When the moisture content was 15%, the content of resistant starch in the resultant porous starch was relatively high (27.67%). Heat-moisture treatment exhibited clear effects on the relevant properties of porous starch, with the changes depending on moisture content during treatment.

Key words: heat-moisture treatment; moisture content; porous starch

多孔淀粉又称微孔淀粉，是指用物理、机械或生物方法在低于糊化温度下水解各种生淀粉形成的一种中空的新型变性淀粉，因其良好的吸附缓释性能及低成本、高安全性的特点，多孔淀粉被广泛地应用于食品、医药卫生、化工等领域，常被用作胶囊壁材、药物缓释载体等^[1]。淀粉多孔化后颗粒结构改变，糊化温度、黏度稳定性等物理性能变差，为了改善并加强多孔淀粉的性质，目前常采用化学交联、酯化及复合改性等方法对多孔淀粉进行处理。研究显示，玉米多孔淀粉经三氯氧磷交联处理后吸油率提高，膨胀率和冻融稳定性都有不同程度的改善^[2]；经辛烯基琥珀酸酯化后多孔淀粉的透明度、乳化稳定性、粘度均提高^[3]；而马嫻等^[4]将多孔淀粉先用混合酸交联处理后再用十二烯基琥珀酸酐酯化，发现吸油率显著提高 36.2%。

收稿日期: 2015-07-28
作者简介: 张晶 (1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品化学与营养学

通讯作者: 刘雄 (1970-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 碳水化合物功能与利用、食品营养学

湿热处理 (heat-moisture treatment) 在显著改变淀

理化性质的同时,又具有安全、无污染、易操作等特点,已成为国内外变性淀粉研究的热点之一。大量研究表明,湿热处理对不同种类淀粉的颗粒形貌、结晶结构、淀粉糊性质以及淀粉抗酶解、酸解特性等均有不同程度的影响^[5]。湿热处理可以使淀粉的溶解度和膨胀度降低^[6],粘度下降^[7],增加抗性淀粉的含量,且直链淀粉含量越高,抗性淀粉增加越多^[8]。另外,湿热处理也可以改变淀粉的空间结构,晶型和结晶度,对不同晶型淀粉的微观结构及理化性质影响也不同^[9,10]。

目前湿热处理的研究对象多为天然淀粉,对经过酶解改性的多孔淀粉的结晶结构、淀粉糊化特性及抗消化性能等性质影响的研究鲜见报道。本实验考察不同水分含量的湿热处理对多孔淀粉颗粒结构、结晶类型以及淀粉糊化性质、抗消化性能等性质的影响,旨在为多孔淀粉的实际应用提供理论指导。

1 材料与方 法

1.1 材料与设备

玉米淀粉,西安国维; α -淀粉酶(≥ 10000 u/g),杰诺生物酶有限公司;糖化酶(≥ 100000 u/g)、胃蛋白酶(1:3000),北京奥博星生物技术有限公司;溴化钾(光谱纯),天津天光光学仪器有限公司;实验中用到的其他试剂或药品均为分析纯。

X'Pert PRO X-射线衍射仪,荷兰 panalytical 分析仪器公司; YX.280B 电热压力蒸汽灭菌器,上海三申医疗器械有限公司; 722-P 可见分光光度计,上海现科仪器有限公司; 3400 N 扫描电子显微镜,日本 HITACHI 公司; Spectrum 100 红外光谱仪,美国 Perkin-Elmer 公司。

1.2 多孔淀粉制备及湿热处理

称取 100 g 玉米淀粉,置于 1000 mL 的烧杯中,加入 pH 5.2 的复合酶(α -淀粉酶:糖化酶=1:2)醋酸钠缓冲液 750 mL,置于 50 °C 水浴中搅拌反应 5 h 后,用 2 mol/L NaOH 调节 pH 至 10,以便终止反应,将淀粉抽滤洗涤,纯水洗 2 次,乙醇洗 1 次,干燥后粉碎,即得多孔淀粉^[11]。

称取一定质量的多孔淀粉,分别调节水分含量至 10%、15%、20%,室温平衡 24 h 后,装入铝箔袋真空包装,放入高压灭菌锅中 115 °C 湿热处理 1 h 后自然冷却,粉碎,过 100 目筛,即得湿热处理多孔淀粉样品^[12]。

1.3 样品的性质测定

1.3.1 红外光谱分析

将烘干的 1 mg 淀粉样品于 40 mg KBr 研磨压片。用红外光谱分析淀粉的傅里叶变幻红外光谱,扫描的波数范围 500~4000 cm^{-1} ,分辨率 4 cm^{-1} 。

1.3.2 溶解度及膨润度的测定

配制 30 mL 质量百分比浓度为 3% 淀粉乳,在一定温度下搅拌加热 30 min 后于 3000 r/min 离心 10 min,倒出上清液,称量沉淀物的质量,将上清液在 130 °C 条件下干燥^[13,14],分别按照公式(1)、(2)进行计算。

$$\text{溶解度}(S)\% = A / W \times 100 \quad (1)$$

$$\text{膨润土}(P)\% = D / W(1 - S) \times 100 \quad (2)$$

式中: A 为上清液蒸干恒重后的质量/g, w 为绝干样品质量/g, D 为离心后沉淀物的质量/g, S 为溶解度。

1.3.3 吸油率的测定

精确称取 2.0 g 样品于离心管中,室温下与大豆油混合搅拌 30 min 后,9000 r/min 离心 5 min,弃去上清液,沉淀物倾斜 45°,静置 10 min,除去大豆油,按公式(3)计算吸油率。

$$\text{吸油率}(\%) = (m_2 - m_1 - m_0) / m_1 \times 100 \quad (3)$$

式中: m_2 为吸附大豆油后淀粉和离心管的重量/g, m_1 为吸附前称取的多孔淀粉质量/g, m_0 为空离心管的质量/g。

1.3.4 透明度和冻融稳定性的测定

取质量分数为 1% 淀粉乳 50 mL 置于沸水浴中加热搅拌,保温 15 min,并保持原有体积,冷却至室温后,以蒸馏水作参比,在 620 nm 波长下测定糊的透光率^[15]。

配制 6% 淀粉乳,在沸水浴中加热搅拌 30 min,冷却至室温,加水保持原有体积,取 20 g 加入已称量过的离心管中置于 -18 °C 冰箱内放置 18 h,取出室温解冻 6 h,在 4000 r/min 离心 30 min,取出上清液,称取沉淀物重量,按公式(4)计算析水率。

$$\text{析水率}(\%) = (m_2 - m_1) / m_2 \quad (4)$$

式中: m_2 为淀粉糊的质量/g, m_1 为沉淀物的质量/g。

1.3.5 沉降积和堆积密度的测定^[16]

将 2% 的淀粉溶液置于 82~85 °C 水浴中,搅拌保温 2 min,冷却至室温后取 10 mL 糊液于 4000 r/min 转速离心 2 min,量取上清液体积 V,按照公式(5)计算沉降体积。

$$\text{沉降体积}(\text{mL}) = 10 - V \quad (5)$$

向已知重量(W_0)的比重瓶内加入试样,轻敲比重瓶,不断振动压实,装至瓶口,用平整玻璃板轻轻刮

平, 称重, 重复多次至前后不超过 0.01 g, 记录准确重量 W_1 ; 同一比重瓶内加入蒸馏水为参比, 称重 W_2 , ρ 水为同样测定室温下水的密度。按公式(6)计算堆积密度。

$$\text{堆积密度} \rho(\text{g/mL}) = (w_1 - w_0) / (w_2 - w_0) \times \rho_{\text{水}}(6)$$

1.3.6 布拉班德粘度测定

利用 Brabender 粘度计测定淀粉的糊化温度: 取 10 g 淀粉, 加入 105 mL 蒸馏水中摇匀, 从 25 °C 开始以 7.5 °C/min 的升温速率加热至 95 °C, 在 95 °C 保温 15 min, 然后以同样的速率降温至 50 °C, 保温 5 min。布拉班德黏度曲线上各参数的意义分别为:

A: 起糊温度, 粘度开始上升时的温度 (°C);

B: 峰值黏度, 升温期间淀粉糊的最高粘度值 (mPa·s);

C: 升温至 95 °C 时的粘度值 (mPa·s);

D: 95 °C 保温 15 min 后的粘度值 (mPa·s);

E: 淀粉糊温度冷却至 50 °C 时的粘度值 (mPa·s);

F: 50 °C 保温 5 min 后的粘度值 (mPa·s);

BD: 崩解值, 95 °C 保温 15 min 后的粘度 D 值与最高粘度 B 值差的绝对值, 表示淀粉糊的粘度热稳定性, 该值小则粘度热稳定性高;

ED: 回生值, 95 °C 保温 5 min 后的粘度 D 值与淀粉糊温度冷却至 50 °C 时的粘度 E 值差的绝对值, 表示淀粉糊的冷稳定性, 该值越小则冷稳定性越好;

BE: 淀粉糊温度冷却至 50 °C 时的粘度 E 值与最高粘度 B 值的差, 表示淀粉糊的凝沉性。当该值为正值时, 数值越大表示凝沉性越强; 当该值为负值时, 表示凝沉性弱, 负值的绝对值越小则凝沉性越弱。

1.3.7 淀粉颗粒形貌的观察

将粉末状淀粉样品干燥后, 用导电胶粘在样品座上。把样品座置于离子溅射仪中, 在样品表面蒸镀一层 10~20 nm 厚的铂金膜后, 在不同放大倍数下进行电镜观察并拍摄照片。

1.3.8 抗性淀粉含量的测定

RS 含量的测定参考 Englyst 和 Champ 改良法^[17], 具体操作过程: 称取样品 1 g, 加入 10 mL 混合酶溶液, 混匀后 37 °C 水浴酶解 16 h; 加入 40 mL 无水乙醇灭酶。静置 30 min 后 3000 r/min 离心 15 min, 弃上清, 沉淀用 80% 乙醇洗涤后置于 100 °C 干燥。用 15 mL 水将沉淀转移至锥形瓶中, 沸水浴中加热 30 min, 冷却至室温后加入 1 倍体积的 4 mol/L·KOH 混合 30 min, 用 2 mol/L 乙酸溶液, 调节 pH 为 5.0, 再加入淀粉葡萄糖苷酶溶液 5 mL, 65 °C~70 °C 水浴 90 min。冷却后将水解液转移至 100 mL 容量瓶中, 用乙酸缓冲液定容至刻度, 过滤溶液待测。

采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定溶液中还原糖含量, 乘以 0.9 即为 RS 的含量。

1.3.9 数据分析处理

各组数据均为 3 次重复测定求平均值, 采用 SPSS Statistics 17.0 软件对结果进行统计分析, 用 Duncan 法进行显著性分析。采用 Origin 8.6 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同处理方式淀粉的红外光谱分析

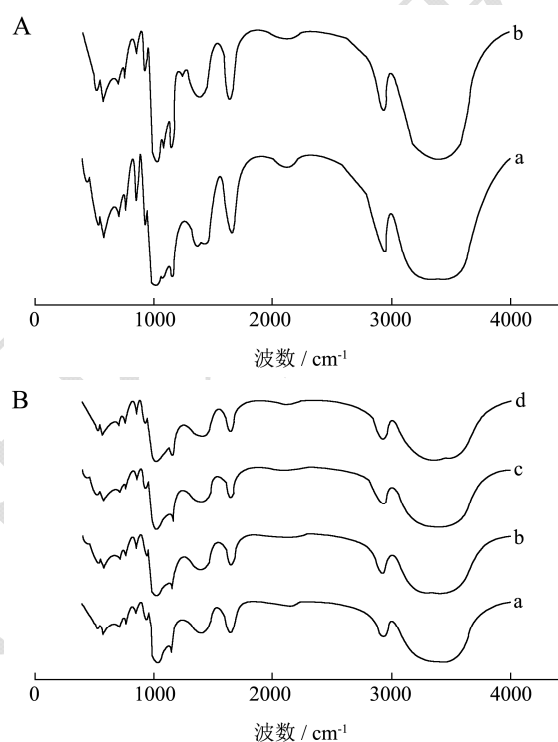


图1 淀粉红外光谱分析

Fig.1 Infrared spectra of starch

注: 图 A 中 a 代表玉米淀粉, b 代表玉米多孔淀粉。图 B 中 a 代表多孔淀粉, b、c、d 分别代表水分含量为 10%、15%、20% 湿热处理后的多孔淀粉。

由图可知, 多孔化后淀粉的特征吸收峰未发生明显变化, 酶解反应不能引起淀粉分子链结构的变化, 但多孔结构的形成使淀粉颗粒的密度下降, 特征吸收峰强度有所下降。玉米淀粉和 多孔淀粉 R(A1047/A1022) 值分别为 1.62 和 2.24, 可见, 多孔淀粉的结晶区域大于玉米淀粉^[18]。本实验条件的湿热处理也未能改变淀粉分子的链结构, 水分含量为 10%、15%、20% 时对应的 R 值分别为 1.97、1.99 和 1.92, 可见多孔淀粉经湿热处理后, 颗粒内部结晶区域减少, 水分含量在 20% 时, 淀粉的结晶区破坏最严重。

2.2 对不同处理淀粉晶型和结晶度的观察

图 2a 显示, 经、多孔后淀粉的结晶结构类型并未发生变化, 而结晶度较原淀粉提高。

经不同水分含量湿热处理后的多孔淀粉, 其 XRD 图如图 2b 所示, 对比各曲线可知, 多孔淀粉经湿热处理后, 衍射峰位置无明显变化, 结晶类型未变, 都属于“A”型多晶型物, 但衍射强度较原多孔淀粉减弱, 相对结晶度降低。这与陈佩^[19]及 Lee^[20]等研究湿热处理对相对结晶度影响结果一致。主要原因可能是湿热处理破坏了淀粉颗粒的结晶区, 双螺旋结构变化, 同时形成了更多的直链淀粉-脂质复合物^[21]。

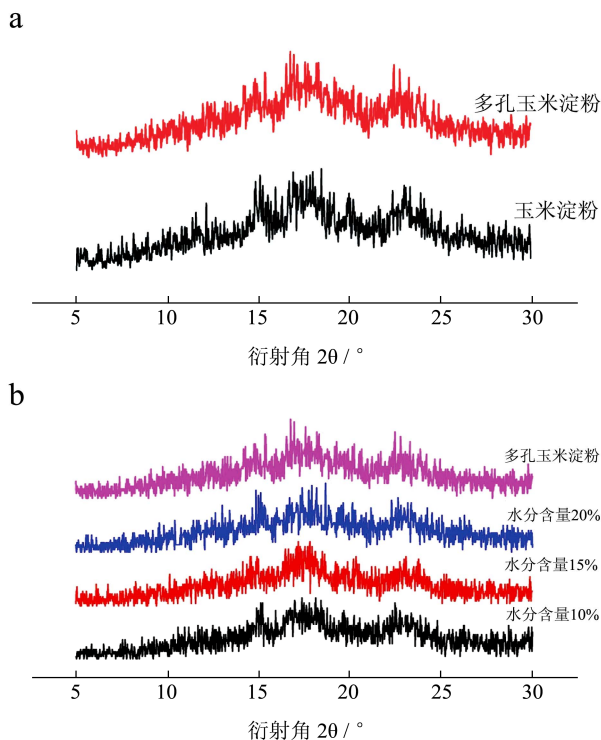


图 2 玉米淀粉(a)与多孔淀粉(b)的X射线衍射图谱

Fig.2 Wide-angle X-ray diffraction pattern of native corn starch (a) and corn porous starch (b)

2.3 湿热处理水分含量对多孔玉米淀粉溶解度及膨润度的影响

由于酶解破坏了淀粉分子内部及分子间的氢键, 结晶区和非结晶区也受到一定程度的破坏, 使得水分子更易渗入, 所以多孔玉米淀粉溶解度和膨润度均大于玉米淀粉^[22]。由图 3 可知, 淀粉的溶解度及膨润度随着温度的升高不断增大。经过湿热处理后多孔淀粉的溶解度及膨润度下降, 并在水分含量为 10%~20% 范围内, 随湿热处理水分含量的增加呈现下降趋势。湿热处理使支链淀粉降解, 产生了更多的直链淀粉, 双螺旋结构减少; 同时, 淀粉和脂类结合形成的复合物可能会抑制淀粉颗粒的膨胀; 而颗粒内部由于淀粉

链相互作用形成新结构, 双螺旋结构更加紧密, 不利于淀粉分子的溶出, 同时阻碍了淀粉中羟基与水分子的结合, 溶解度降低^[23]。

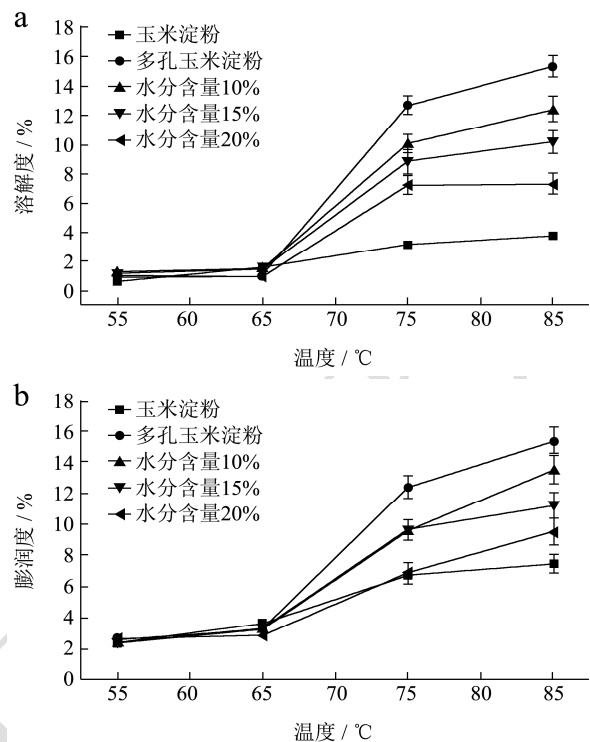


图 3 湿热处理水分含量对多孔玉米淀粉溶解度及膨润度的影响

Fig.3 Influence of moisture content during heat-moisture treatment on corn porous starch solubility and swelling degree

2.4 湿热处理水分含量对多孔玉米淀粉吸油率的影响

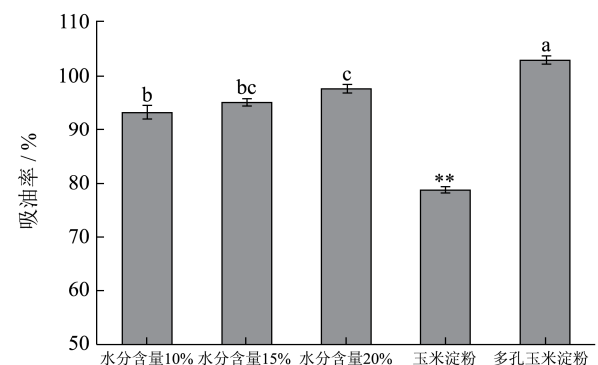


图 4 湿热处理水分含量对多孔淀粉吸油率的影响

Fig.4 Influence of the moisture content during heat-moisture treatment on starch oil-absorption rate

注: **表示玉米淀粉和淀粉间存在极显著性差异 ($p < 0.01$); 不同字母表示湿热处理组及原淀粉间存在显著性差异 ($p < 0.05$)。

由图 4 可知, 多孔化后形成的中空结构使得淀粉

吸油率极显著性增加 ($p<0.01$)。而湿热处理后, 多孔淀粉对大豆油的吸附性显著降低 ($p<0.05$), 且湿热处理水分含量对多孔淀粉吸附大豆油性能的影响具有显著性, 在 10%~20% 范围内, 多孔淀粉吸附大豆油的性能随水分含量的增加而增加, 多孔淀粉的吸油性主要依靠其孔洞结构, 湿热处理后对多孔淀粉的孔洞结构有一定的破坏作用, 吸油性降低, 随着湿热处理水分含量的升高, 吸油率有所回升, 结合扫描电镜图观察, 猜测可能是湿热处理后多孔淀粉结构破坏严重, 粉碎干燥后出现碎片化, 颗粒间空隙增多, 吸油率上升。

2.5 湿热处理水分含量对多孔淀粉糊透光率和析水率的影响

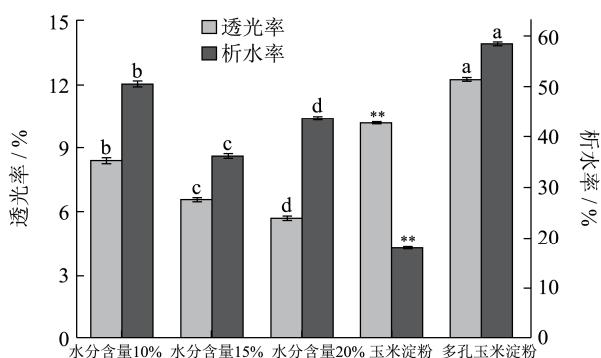


图5 湿热处理水分含量对淀粉糊透光率和析水率的影响

Fig. 5 Influence of moisture content during heat-moisture treatment on the light transmittance and drainage rate of starch paste

注: **表示玉米淀粉和多孔淀粉间存在极显著性差异 ($p<0.01$); 不同字母表示湿热处理组及原多孔淀粉间存在显著性差异 ($p<0.05$)。

淀粉糊化后, 其分子重新排列相互缔合的程度是影响淀粉糊透明度的重要因素。由图 5 可知, 多孔淀粉经酶解后分子间的作用力和紧密程度降低, 其淀粉糊的透光率较原玉米淀粉糊的透光率有极显著的升高 ($p<0.01$); 而湿热处理后, 在 10%~20% 范围内, 随着水分含量的增加多孔淀粉糊的透光率显著降低 ($p<0.05$), 这是由于湿热处理过程中, 水热相互作用破坏了支链淀粉部分糖苷键, 直链淀粉和直链淀粉-脂质复合物含量提高, 致使透明度降低^[19]。而在温度 115 °C, 处理时间为 1 h 的湿热处理可提高多孔淀粉的冻融稳定性, 并在水分含量为 10%~20% 的变化范围内, 多孔淀粉糊冻融稳定性呈现先上升后下降的趋势, 当水分含量为 15% 时稳定性最好, 这与淀粉的分子结构变化相关, 是热与水共同作用的结果。在水和热的共同作用下, 增加直链淀粉间、直链淀粉与支链淀粉

间的相互作用, 无定形区的双螺旋结晶结构部分解旋, 淀粉颗粒分子排列处于相对更加有序的状态。同时, 淀粉和脂类物质形成的复合物抑制了淀粉颗粒的溶胀, 从而提高了淀粉糊的冻融稳定性^[8]。

2.6 湿热处理水分含量对多孔淀粉沉降和堆积密度的影响

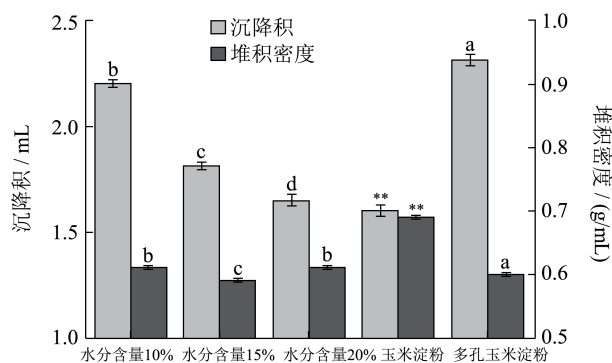


图6 湿热处理水分含量对沉降和堆积密度的影响

Fig. 6 Influence of moisture content during heat-moisture treatment on sediment volume and bulk density

注: **表示玉米淀粉和多孔淀粉间存在极显著性差异 ($p<0.01$), *表示玉米淀粉和原多孔淀粉间存在显著性差异 ($p<0.05$); 不同字母表示湿热处理组及原多孔淀粉间存在显著性差异 ($p<0.05$)。

由图 6 可知, 多孔玉米淀粉的沉降积高于原玉米淀粉, 说明在淀粉糊浓度为 2% 时, 多孔淀粉糊的冷糊稳定性显著高于玉米淀粉糊 ($p<0.01$)。经湿热处理后, 多孔淀粉糊的冷糊稳定性降低, 湿热处理温度为 115 °C, 处理时间为 1 h 条件下, 水分含量在 10%~20% 范围内, 随着湿热处理水分含量的增加, 多孔淀粉糊的冷糊稳定性显著下降 ($p<0.05$), 这可能与湿热处理后淀粉中直链淀粉聚合度增高, 溶解度降低等因素有关。

多孔淀粉堆积密度较原淀粉显著降低 ($p<0.05$)。在湿热处理温度为 115 °C, 处理时间为 1 h 条件下, 水分含量在 10%~20% 范围内, 多孔淀粉的堆积密度先下降后上升, 这与湿热处理水分含量对淀粉的多孔结构及颗粒大小组成的影响有关。

2.7 布拉班德粘度的测定

由表 1 可知, 经湿热处理后, 多孔淀粉糊的峰值粘度(B)随着湿热处理水分含量的增加而下降, 这可能是由于湿热处理破坏支链淀粉形成直链淀粉和淀粉分子质量降低造成的^[24]; (B-A)粘度差值随着湿热处理水分含量的增加而降低, 说明湿热处理水分含量越高,

多孔淀粉越难糊化，耐高温能力增强；(B~D)粘度差值随着湿热处理水分含量的增加而降低，说明湿热处理水分含量越高其淀粉糊热稳定性越好；(E~D)粘度差值随着湿热处理水分含量的增加先升高后下降；有研究使用(E~F)粘度差值来表示淀粉糊的冷糊稳定性^[25]，4组数值分别为45、27、31和25同样可以看出

随着湿热处理水分含量升高淀粉糊冷糊稳定性先升高后下降，但均小于原多孔淀粉值，冷糊稳定性提高。这与前面沉降积结果上的差异是由实验浓度差异引起的。(B~E)粘度差为负值，多孔淀粉凝沉性减弱，其绝对值随着湿热处理水分含量的增加而增加，说明随着湿热处理水分含量的增加，淀粉糊的凝沉性增强。

表1 多孔玉米淀粉布拉班德粘度仪测定参数值

Table 1 Parameter values of corn porous starch measured by Brabender viscometer

	Evaluation point	A	B	C	D	E	F	BA	BD	ED	BE
多孔玉米淀粉	Viscosity(BU)	10	651	239	172	616	571	641	479	444	35
	Temperature/°C	67.9	76.7	94.9	95	50.2	50.1				
水分含量 10%	Viscosity(BU)	11	567	300	206	642	615	556	361	436	-75
	Temperature/°C	67.4	77.9	94.8	95	50.2	50.1				
水分含量 15%	Viscosity(BU)	11	517	351	259	728	697	506	259	469	-211
	Temperature/°C	7.7	80.7	94.8	95	50.2	50.1				
水分含量 20%	Viscosity(BU)	10	468	340	259	698	673	458	209	439	-230
	Temperature/°C	70.4	83	94.8	95	50.2	50.1				

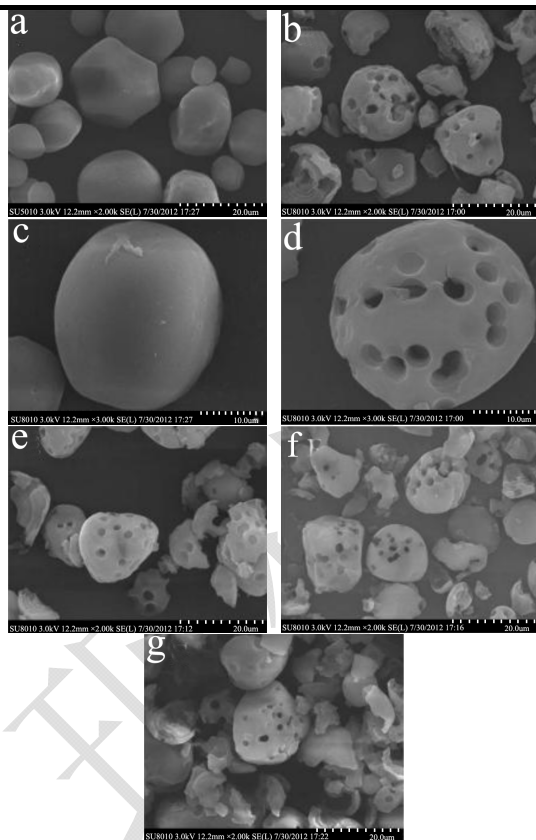


图7 玉米淀粉、多孔玉米淀粉及湿热处理多孔淀粉的扫描电镜图

Fig.7 SEM images of native corn starch, corn porous starch, and porous starch after heat-moisture treatment in the presence of different moisture content

注：图中 a、c 是玉米淀粉，b、d 代表多孔淀粉，e、f、g 分别代表湿热处理水分含量为 10%、15%和 20%多孔淀粉。

2.8 淀粉颗粒形貌的观察

由图 7 可知，经酶解后形成的多孔淀粉颗粒表面形成很大孔洞，表面积增加，由此也可推断多孔淀粉具有独特的吸附性能。而经过湿热处理后，基本保持了多孔淀粉的孔结构，但在水和热的作用下出现了部分碎片，导致孔洞结构的破坏。

2.9 湿热处理水分含量对抗性淀粉含量的影响

表2 抗性淀粉含量

Table 2 Content of resistant starch

品种	抗性淀粉含量/%	
玉米淀粉	23.25±1.5 ^a	
多孔玉米淀粉	25.70±0.88 ^{ab}	
湿热处理多孔玉米淀粉	水分含量 10%	24.99±1.34 ^{ab}
	水分含量 15%	27.67±1.38 ^b
	水分含量 20%	23.43±1.72 ^a

注：不同字母表示样本间存在显著性差异 ($p < 0.05$)。

酶解后多孔淀粉的抗性淀粉含量较原玉米淀粉升高。湿热处理对多孔淀粉抗性淀粉含量的影响在水分含量 10%~20%范围内未呈现出正相关性，水分含量在 15%条件下形成的抗性淀粉含量较多，水分含量较低和较高时都不利于直链淀粉接近形成结晶。A 型淀粉呈棒状且直链淀粉含量更高，更易形成紧密结构，同时抗性淀粉含量的增加有利于降低其消化性。

3 结论

3.1 110 °C水分含量为10%~20%湿热处理1 h后,多孔淀粉结构和糊化性质发生了不同程度的改变,结果显示,经该条件湿热处理后,多孔淀粉结晶度下降,孔洞结构受到一定破坏,随着水分含量的增加,多孔淀粉的吸附性能有所下降,但同时,淀粉的冷、热糊稳定性提高,冻融稳定性增强,温度变化对淀粉稳定性影响减弱;淀粉更难糊化,且糊化粘度降低,凝沉性减弱。这些性质对于湿热处理多孔淀粉在冷冻淀粉制品及面条等淀粉产品中的应用提供可能性。

3.2 凝沉性、冻融稳定性、粘度以及糊稳定性对淀粉加工应用和淀粉产品的品质具有重要作用。经湿热处理后的多孔淀粉在保持了较好的吸附性能基础上,其热糊稳定性、冷糊稳定性、冻融稳定性提高,湿热处理对多孔淀粉的理化性能具有一定的改善。

参考文献

- [1] Bing Zhang, Dapeng Cui, Mingzhu Liu, et al. Corn porous starch: Preparation, characterization and adsorption property [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2012, 50(1): 250-256
- [2] 徐忠,刘明丽,李丽莎.多孔淀粉的酯化交联改性及其性质研究[J].哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2006, 22(6): 51-53
XU Zhong, LIU Ming-li, LI Li-sha. Study on preparation and properties of esterified cross linked porous starch [J]. Journal of Harbin University of Commerce (Natural Sciences Edition), 2006, 22(6): 51-53
- [3] 王洁谨.糯米多孔淀粉的制备及辛烯基琥珀酸酐改性的研究[D].成都:四川农业大学,2008
WANG Jie-jin. The preparation of waxy porous starch and Octenyl succinic anhydride modified porous starch [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2008
- [4] 马媛,谷绒,徐坤.多孔淀粉复合处理改善吸油性的研究[J].食品研究与开发,2008,29(11):78-82
MA Yuan, GU Rong, XU Kun. Multiplicity-treatment proved the absorption rate of oil of porous starch [J]. Food Research and Development, 2008, 29(11): 78-82
- [5] 罗志刚,高群玉.湿热处理改性淀粉的研究进展[J].中国粮油学报,2006,21(1):47-51
LUO Zhi-gang, GAO Qun-yu. Research progress in starch modification by heat-moisture treatment [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2006, 21(1): 47-51
- [6] Olayinka O O, Adebowale K O, Olu-Owolabib B I. Effect of heat-moisture treatment on physicochemical properties of white sorghum starch [J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(2): 225-230
- [7] Adebowale K O, Lawal O S. Effect of annealing and heat-moisture conditioning on the physicochemical characteristics of Bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*) starch [J]. Food, 2002, 46(5): 311-316
- [8] 高群玉,武俊超,李素玲.湿热处理对不同直链含量的玉米淀粉性质的影响[J].华南理工大学学报(自然科学版), 2011, 39(9):1-6
GAO Qun-yu, WU Jun-chao, LI Su-ling. Effects of heat-treatment on properties of corn starches with different amylase contents [J]. Journal of South China University of Technology (Natural Sciences Edition), 2011, 39(9): 1-6
- [9] Wittawat J, Chureerat P, Vilai R, et al. Microstructural and physicochemical properties of heat-moisture treated waxy and normal starches [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 104(2): 246-258
- [10] Varatharajan V, Hoover R, Liu Q, et al. The impact of heat-moisture treatment on the molecular structure and physicochemical properties of normal and waxy potato starches [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 81(2): 466-475
- [11] Zhang B, Cui D, Liu M, et al. Corn porous starch: Preparation, characterization and adsorption property [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2012, 50(1): 250-256
- [12] 汪树生,王强,苏玉春.湿热处理对玉米淀粉性质的影响[J].食品科学,2009,30(13):77-80
WANG Shu-sheng, WANG Qiang, SU Yu-chun. Effects of heat-moisture treatment on physico-chemical properties of corn starch [J]. Food Science, 2009, 30(13): 77-80
- [13] Singh N, Singh S, Isono N, et al. Diversity in amylopectin structure, thermal and pasting properties of starches from wheat varieties/lines [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2009, 45(3): 298-304
- [14] Leach H W, Mc Cowen, L D, Schoch T J. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches [J]. Cereal Chemistry, 1959, 36(6): 534-544
- [15] Lawal O S, Ogundiran O O, Awokoya K, et al. The low-substituted propylene oxide etherified plantain (*Musaparadisical normalis*) starch: Characterization and functional parameters [J]. Carbohydrate Polymers 2008, 74(3): 717-724
- [16] 徐忠,缪铭,王鹏,等.羧甲基玉米多孔淀粉的制备及性能研究[J].食品科学,2006,26(10):116-120

- XU Zhong, MIAO Ming, WANG Peng, et al. Study on preparation and properties of carboxymethyl corn porous starch [J]. Food Science, 2006, 26(10): 116-120
- [17] 石劭,徐贵发.抗性淀粉测定方法的研究进展[J].卫生研究,2005,34(4):504-507
- SHI Mai, XU Gui-fa. Advances on the determination of resistant starch [J]. Journal of Hygiene Research, 2005, 34(4): 504-507
- [18] 李玥,钟芳,麻建国.大米淀粉糊化过程的光谱分析[J].高分子学报,2008,7:720-725
- LI Yue, ZHONG Fang, MA Jian-guo. Spectra analysis on rice starches from different varieties during pasting [J]. Acta. Polymerica Sinica, 2008, 7: 720-725
- [19] 陈佩,张晓,赵冰,等.湿热处理对糯小麦淀粉理化性质的影响[J].华南农业大学学报,2015,36(2):85-89
- CHEN Pei, ZHANG Xiao, ZHAO Bing, et al. Effect of heat-moisture treatment on the physicochemical properties of waxy wheat starch [J]. Journal of South China Agricultural University, 2015, 36(2): 85-8922
- [20] Lee C J, Kim Y, Choi S J, et al. Slowly digestible starch from heat-moisture treated waxy potato starch: Preparation, structural characteristics, and glucose response in mice [J]. Food Chemistry, 2012, 133(4): 1222-1229
- [21] Varatharajan V, Hoover R, Liu Q, et al. The impact of heat-moisture treatment on the molecular structure and physicochemical properties of normal and waxy potato starches [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 81(2): 466-475
- [22] 朱仁宏.玉米多孔淀粉制备和应用的研究[D].无锡,江南大学,2005
- ZHU Ren-hong. Study on the production and applications of maize porous starch [D]. Wuxi: Jiangnan University 2005
- [23] 高群玉,林志荣.湿热处理玉米淀粉的溶胀和水解性质初探[J].中国粮油学报,2007,22(6):27-30
- GAO Qun-yu, LIN Zhi-rong. Solubility, swelling power and hydrolysis of heat-moisture treated corn starch [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2007, 22(6): 27-30
- [24] T Takaya, C Sano, K Nishinari. Thermal studies on the gelatinisation and retrogradation of heat-moisture treated starch [J]. Carbohydrate Polymers, 2000, 41(1): 97-100
- [25] 陈福泉,刘环裕,张本山,等.醇水相湿热处理对玉米淀粉颗粒性质的影响[J].现代食品科技,2013,29(10):2388-2394
- CHEN Fu-quan, LIU Huan-yu, ZHANG Ben-shan. et al. Effects of heat-moisture treatment with water-ethanol mixtures on properties of corn starch granule [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(10): 2388-239