

二氢杨梅素对大米淀粉回生的抑制作用

钟晓瑜, 杨志伟*

(广西大学轻工与食品工程学院, 广西南宁 530004)

摘要: 淀粉是大米中的主要成分, 其回生程度直接影响大米制品的品质与货架期。该研究将属于多酚类化合物的二氢杨梅素(Dihydromyricetin, DMY) 添加到大米淀粉中, 研究不同添加量的 DMY 与大米淀粉的相互作用以及 DMY 对大米淀粉的溶解度、膨胀度、回生焓值、微观结构的影响, 以期改善大米淀粉的回生特性。结果表明, 随着二氢杨梅素的添加, 大米淀粉的溶解度从 4.49% 增加至 12.83%, 膨胀度 11.41% 降至 10.12%; 淀粉表面由原来的紧密结构变化为疏松多孔结构; 红外光谱 $1\ 047\ \text{cm}^{-1}/1\ 022\ \text{cm}^{-1}$ 的比值从 0.87 降至 0.78。较未添加的 DMY 的大米淀粉相比, 低浓度的 DMY 已经显著影响大米淀粉回生特性。当 DMY 的添加量为 5% 时, 大米淀粉的回生焓值、回生率以及相对结晶度分别下降了 68.75%、71.86%、59.07%。总体而言, 二氢杨梅素可以抑制大米淀粉的回生。因此, 在淀粉制品加工时, 可考虑添加 DMY 来调控淀粉基食品的回生现象。

关键词: 大米淀粉; 二氢杨梅素; 回生特性; 微观结构

文章编号: 1673-9078(2022)09-153-158

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.9.1362

Inhibitory Effect of Dihydromyricetin on Rice Starch Retrogradation

ZHONG Xiaoyu, YANG Zhiwei*

(College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: Starch is the main ingredient in rice, and the quality and shelf life of rice products are directly affected by its retrogradation degree. Dihydromyricetin (DMY), a polyphenolic compound, was added to rice starch to improve the retrogradation properties of rice starch. The effects of different amounts of DMY on the solubility, expansion, retrogradation enthalpy, and microstructure of rice starch were investigated, and the interaction between DMY and rice starch was analyzed. With the addition of DMY, the solubility of rice starch increased from 4.49% to 12.83%, and expansion decreased from 11.41% to 10.12%. The starch surface changed from a compact to a loose and porous structure. The FT-IR ratio of $1\ 047\ \text{cm}^{-1}/1\ 022\ \text{cm}^{-1}$ decreased from 0.87 to 0.78. Compared with rice starch without DMY, a low concentration of DMY significantly affected the retrogradation characteristics of rice starch. When the amount of DMY was 5%, the retrogradation enthalpy, retrogradation rate, and relative crystallinity of rice starch decreased by 68.75%, 71.86%, and 59.07%, respectively. In general, rice starch retrogradation was inhibited by DMY. Therefore, DMY can be used to regulate the retrogradation of starch-based foods during the processing of starch products.

Key words: rice starch; dihydromyricetin; retrogradation properties; microstructure

引文格式:

钟晓瑜, 杨志伟. 二氢杨梅素对大米淀粉回生的抑制作用[J]. 现代食品科技, 2022, 38(9): 153-158

ZHONG Xiaoyu, YANG Zhiwei. Inhibitory effect of dihydromyricetin on rice starch retrogradation [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(9): 153-158

淀粉是一种可再生降解的植物资源, 在食品加工和饲料加工等领域被普遍使用。淀粉基食品在加工运输和储藏过程中极易发生回生现象。淀粉的回生是糊

收稿日期: 2021-12-02

基金项目: 广西农业科技创新联盟“农产品精深加工产业科技先锋队”项目资助

作者简介: 钟晓瑜(1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: 310111646@qq.com

通讯作者: 杨志伟(1973-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品工程, E-mail: zhiwei_yang@sina.com

化淀粉的无序结构重新形成有序结构的过程。回生后的淀粉制品, 吸水能力下降, 水分流失, 柔韧性减弱, 强度增加^[1]。

大米是世界上主要的粮食作物之一, 淀粉是大米的主要成分。如何调控大米淀粉的回生, 从而延长大米制品的货架期, 维持其品质及营养价值, 成为大米制品加工过程中的关键。现有研究通过化学修饰和物理方法抑制淀粉的回生, 然而化学修饰存在一定的安全隐患和食品卫生问题。近年来, 人们发现可以通过多酚与淀粉之间的相互作用改善淀粉品质与营养特

性。茶叶多酚提取物可显著抑制大米、玉米、马铃薯淀粉回生^[2], 荷叶黄酮能抑制淀粉的短期回生, 提高其抗性淀粉含量^[3], 而芦丁或槲皮素促进了小麦淀粉的回生程度^[4]。万芊将添加量为 10% (占淀粉干基重的) 咖啡酸、槲皮素和表没食子基儿茶素没食子酸酯与玉米淀粉共同糊化, 使快消化淀粉比例由 73.9% 分别降低为 70.3%、69.2% 和 63.2%^[5]。

多酚普遍存在于植物界, 具有抗氧化、抗肿瘤等多种功能活性。二氢杨梅素是一种多酚类化合物, 广泛存在于于齿齿蛇葡萄的嫩茎叶中, 具有安全、无毒、低副作用的优势。其中二氢杨梅素在葡萄科植物藤茶中的含量可高达 30% 以上, 采用简单的水浸提和重结晶法提纯, 二氢杨梅素纯度可高达 90% 以上^[6]。因此, 二氢杨梅素的获得具有原料来源广泛, 提取纯化工艺简易, 成本低廉的特点。目前藤茶已被作为新资源食品使用。对于二氢杨梅素的研究局限于其抑菌、抗肿瘤、抗氧化、降血糖等多种功能活性^[7-10], 或通过脂类物质、环糊精等材料包埋 DMY 以期提高其生物利用率^[11,12]。目前并没有研究报道二氢杨梅素对淀粉回生特性的影响。因此本实验将二氢杨梅素添加到大米淀粉, 通过分析溶解度和膨胀度, 采用 X 射线衍射仪测定其结晶结构和相对结晶度, 红外光谱测定 1 047 cm⁻¹/1 022 cm⁻¹ 比值, 扫描电镜观察其表面微观结构, DSC 测定热力学性质, 快速黏度仪测定其糊化特性, 综合评价 DMY 对大米淀粉回生的抑制作用。对拓展二氢杨梅素在淀粉类食品中的应用具有参考价值。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

二氢杨梅素, 贵州苗药生物技术有限公司; 大米淀粉, 无锡金农生物科技有限公司上高分公司; KBr, 上海源叶生物科技有限公司。

1.2 主要仪器与设备

RVA-TecMaster 快速黏度测试仪, 澳大利亚 Perten 公司; HAAKE MARS 40 流变仪, 美国热电公司; 冷冻干燥机, 新芝生物科技股份有限公司; Frontier 红外光谱仪, 美国 PE 公司; Rigaku D/MAX 2500VX-射线衍射仪, 日本理学公司; FEI Quattro S 场发射扫描电子显微镜, 美国热电公司。

1.3 方法

1.3.1 DMY-大米淀粉样品溶解性和膨胀度测定

准确称取大米淀粉 150 mg 置于离心管中, 加入

10 mL 蒸馏水配置成浓度为 15 mg/mL 淀粉乳液, DMY 按淀粉干基质量比例 (0%、5%、10%、15%) 加入到各离心管中, 置于 85 °C 中糊化 30 min 并不断搅拌, 冷却 10 min, 以 5 000 r/min 离心 20 min, 将上清液转移到培养皿中, 放入 105 °C 烘箱烘干至质量恒定^[13]。按式 (1)、式 (2) 计算淀粉的水溶性指数 (WSI) 和膨胀度 (SP):

$$WSI = \frac{W_1}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

$$SP = \frac{W_s}{W_0 \times (1 - WSI)} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

W_0 ——称取淀粉的质量, mg;

W_1 ——上清液转移到培养皿烘干恒重的质量, mg;

W_s ——黏附在离心管壁的沉淀物, mg。

1.3.2 DMY-大米淀粉样品糊化特性测定

用快速黏度分析仪 (RVA) 测定大米淀粉的糊化性质。称取 1.5 g 淀粉, 加入 0、0.075、0.15、0.225 g 的 DMY 粉末, 再加入 20 mL 的蒸馏水, RVA 测定其峰值黏度、谷值黏度、终值黏度、衰减值、回生值^[14]。

1.3.3 DMY-大米淀粉样品热力学特性测定

参考 Xiao 等^[15]的方法并稍作改动测定大米淀粉老化过程中热力学特性。称取 3 mg 淀粉于铝坩埚中, 按 0%~15% (占淀粉干基重) 的比例加入 DMY, 并加入 6 μL 的蒸馏水, 在 4 °C 密封平衡 24 h。平衡后的样品在 DSC 上进行糊化, 条件是升温速率为 10 °C/min, 温度区间 30 °C~95 °C, 糊化后的样品在 4 °C 放置 7 d 后, 再一次以相同的测定条件对样品进行测定, 根据回生曲线确定回生焓值并计算样品的回生率 DR。

1.3.4 DMY-大米淀粉回生样品的制备

取淀粉 7.2 g 于各锥形瓶中, 分别加入占淀粉干基重 0%、5%、10%、15% 的 DMY 混合, 加入 60 mL 水在 95 °C 糊化 20 min。将糊化后的样品冷却至室温, 放入 4 °C 冰箱贮存 7 d, 冷冻干燥后研磨, 过 100 目筛, 备用。

1.3.5 DMY-大米淀粉样品红外光谱测定

采用傅里叶红外光谱仪对 DMY-大米淀粉回生样品进行测定^[16]。样品与 KBr 按质量比 1:150 进行混合, 充分研磨压片制样, 进行红外光谱扫描, 测量范围 4 000~400 cm⁻¹, 扫描次数 32 次, 分辨率 4 cm⁻¹。并通过所得数据计算 1 047 cm⁻¹/1 022 cm⁻¹ 的比值间接代表回生程度的大小。

1.3.6 DMY-大米淀粉样品微观结构观察

对 DMY-大米淀粉回生样品进行电镜扫描。将少量的样品粉末均匀分散在载物台的双面导电胶上, 用

洗耳球吹去多余样品,在真空条件下喷金处理后进行观察^[17]。条件:扫描电压 5 kV,电流 14.0 μ A。

1.3.7 DMY-大米淀粉样品 X-射线衍射测定

采用 X 射线衍射仪对回生 7 d 的 DMY-大米淀粉样品进行晶型扫描^[18]。条件:电压 40 kV,电流 40 mA,射角的旋转范围 4°~40°,扫描速率为 4.0°/min,步长 0.02°。

1.4 数据处理

每次实验均重复三次,实验结果均表示为平均值 \pm 标准差。采用 Origin 2018 软件进行数据处理和作图,SPSS 22.0 软件对所有数据进行数据统计分析, $p < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 DMY 对大米淀粉溶解度和膨胀度的影响

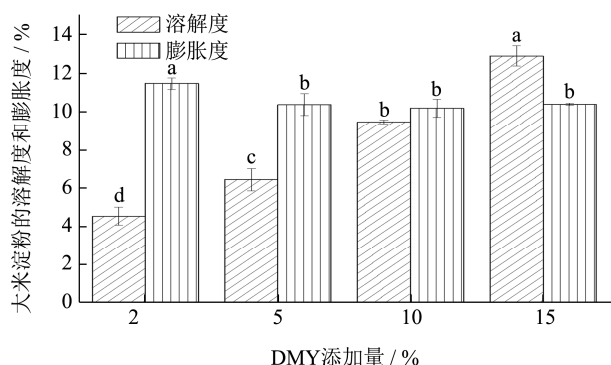


图 1 DMY 对大米淀粉溶解度和膨胀度的影响

Fig.1 Effect of DMY on solubility and expansion of rice starch

溶解度与膨胀度大小反映了淀粉分子与水分子间相互作用的强弱。如图 1 所示,随着二氢杨梅素添加

量的增加,溶解度显著升高。这与茶多酚提高大米淀粉溶解度的结果一致^[19]。这可能是因为多酚中羟基基团能够进入到淀粉分子的内部从而产生一定的空间位阻,导致直链、支链淀粉不能重新聚合,淀粉糊的溶解度增大^[20];膨胀度从 11.4%降至 10.3%,可能由于多酚中的羟基能够与水分子发生氢键相互作用,水分子运动减慢,从而抑制淀粉的吸水膨胀^[21]。

2.2 DMY 对大米淀粉糊化特性的影响

如表 1 所示,二氢杨梅素的添加,大米淀粉的整体黏度发生了显著变化。当 DMY 添加量为 5% 时,大米淀粉峰值黏度增加了 178 cp,谷值黏度增加了 160 cp,终值黏度增加了 65.67 cp,低浓度的二氢杨梅素对大米淀粉整体黏度影响最大。衰减反映淀粉糊的热稳定性,衰减越高,热糊稳定性越低;回生值是终值黏度与谷值黏度的差值,反映了淀粉短期回生程度,回生值越高,短期回生程度越强^[22]。由表 1 可知,二氢杨梅素的加入降低了大米淀粉的热糊稳定性,抑制了大米淀粉的短期回生。

在 DMY 与大米淀粉共糊化过程中,DMY 与大米淀粉分子可能发生了相互作用,从而减弱了淀粉链分子的重结晶,影响了淀粉短期回生。有研究表明,阿魏酸、没食子酸、槲皮素均降低了大米淀粉的回生值;三种多酚的添加,大米淀粉体系中的 pH 值虽然略有改变但均小于 7^[21]。Zhu 等^[23]证明多酚类物质可以改变溶液的 pH 值。不同多酚种类与淀粉共糊化时,淀粉体系的 pH 值可能发生改变,当淀粉溶液体系的 pH 值小于 7 时,会发生不可逆的酸解反应,从而抑制淀粉回生。

表 1 DMY 对大米淀粉的糊化特性结果

Table 1 Gelatinization characteristics of rice starch mixtures supplemented with DMY

样品	峰值黏度/cp	谷值黏度/cp	终值黏度/cp	回生值/cp	衰减/cp
RS	821.33 \pm 10.50 ^d	630.67 \pm 7.37 ^d	1 356.33 \pm 3.06 ^b	725.67 \pm 6.81 ^a	190.67 \pm 4.04 ^c
RS+5% DMY	999.33 \pm 10.69 ^a	790.67 \pm 8.39 ^a	1 422 \pm 14.93 ^a	631.33 \pm 12.06 ^b	208.67 \pm 2.52 ^b
RS+10% DMY	972.67 \pm 4.04 ^b	733.67 \pm 0.58 ^b	1 354.67 \pm 15.18 ^b	621.00 \pm 15.10 ^b	239.00 \pm 3.46 ^a
RS+15% DMY	934.00 \pm 2.65 ^c	692.33 \pm 2.52 ^c	1 271.33 \pm 19.01 ^c	579.00 \pm 16.52 ^c	241.67 \pm 1.15 ^a

注:结果表示为平均值 \pm 标准差(n=3),同列不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。表 2 同。

表 2 DMY 添加量对大米淀粉回生特性的影响(回生 7 d)

Table 2 Effects of DMY addition on aging characteristics of rice starch for 7 days

样品	T ₀ /°C	T _p /°C	T _c /°C	Δ Hr/(J/g)	DR/%
RS	62.53 \pm 0.08 ^a	68.82 \pm 0.21 ^a	77.84 \pm 0.05 ^a	0.32 \pm 0.02 ^a	11.23 \pm 1 ^a
RS+5%DMY	60.96 \pm 0.14 ^b	67.15 \pm 0.27 ^b	74.49 \pm 0.01 ^b	0.10 ^b	3.16 ^b
RS+10%DMY	60.84 \pm 0.12 ^{bc}	66.62 \pm 0.17 ^c	73.54 \pm 0.47 ^c	0.09 ^b	2.68 ^b
RS+15%DMY	60.73 \pm 0.09 ^{cd}	66.49 \pm 0.09 ^c	73.18 \pm 0.10 ^c	0.09 ^b	2.80 ^b

2.3 DMY 对大米淀粉回生特性的影响

回生焓值代表淀粉重结晶时晶体发生熔融所需要的能量值。由表 2 可知,当添加了 DMY 的大米淀粉的回生焓值 (ΔH_r) 和回生率 (DR) 均明显下降,说明淀粉晶体堆积的能力减弱,回生程度降低。由表 2 可知,当添加量 DMY 的大米淀粉的回生焓值 (ΔH_r) 和回生率 (DR) 均明显下降。当 DMY 添加量为 5% 时,回生率从 11.23% 下降至 3.16%。Xiao 等^[24]研究发现添加量为 5% 红茶多酚的大米淀粉老化 5 d 后回生率从 22.5% 降至 20.9%。Wu 等^[25]研究发现添加量为 5% 绿茶多酚的大米淀粉老化 10 d 后回生率从 31.48% 降至 14.68%。多酚结构中的 OH 基团与大米淀粉的 OH 基团可以通过相互作用形成氢键,阻碍了淀粉分子链间借氢键相互吸引与重排,阻止了老化的进程。

2.4 DMY 对大米淀粉红外光谱的影响

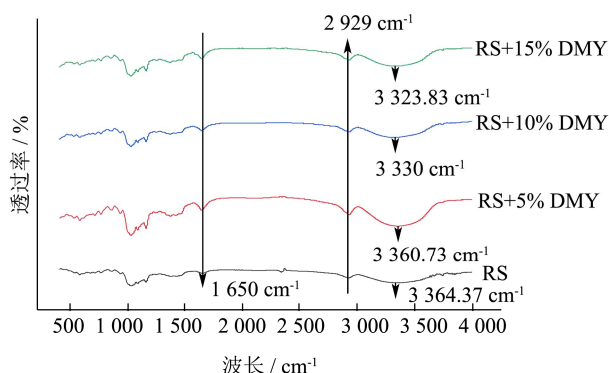


图 2 DMY 的添加量对大米淀粉傅里叶红外光谱的影响 (回生 7 d)

Fig.2 Effect of DMY addition on FT-IR of rice starch for 7 days

表 3 DMY 添加量对 1 047 cm⁻¹/1 022 cm⁻¹ 比值的影响

Table 3 Effect of DMY addition on 1 047 cm⁻¹/1 022 cm⁻¹ ratio

DMY 添加量/%	0	5	10	15
1 047/1 022 比值	0.87	0.83	0.78	0.78

淀粉和酚类化合物在食品体系中的非共价相互作用包括氢键、疏水相互作用、静电和离子相互作用^[26]。本实验考察二氢杨梅素对回生 7 d 后的大米淀粉红外光谱的影响,判断二者之间的相互作用。由图 2 可知,添加二氢杨梅素后,大米淀粉的红外光谱图没有出现新的吸收峰,说明二氢杨梅素与淀粉分子之间相互作用很可能是通过氢键相互作用^[27]。3 300 cm⁻¹ 是羟基吸收峰; 2 929 cm⁻¹ 是 -CH 伸缩振动峰, 1 650 cm⁻¹ 是羰基 C=O 的特征吸收谱峰^[28]。随着二氢杨梅素添加量的增加,回生 7 d 后的淀粉样品羟基伸缩振动峰向低波数移动,当二氢杨梅素添加量达 15% 时,羟基伸缩振动峰波数从 3 364.37 cm⁻¹ 降低至 3 323.83 cm⁻¹ 说明 DMY 和淀粉分子中的氢键作用力不断增强^[29],

然而李蟠莹^[30]发现原花青素添加到大米淀粉中,红外光谱图中的羟基伸缩振动峰波数从 3 414.83 cm⁻¹ 升高到 3 419.93 cm⁻¹, 减弱了淀粉分子间的氢键作用。

1 047 cm⁻¹/1 022 cm⁻¹ 比值可以代表淀粉短程有序结构^[31], 淀粉回生程度的大小^[30]。由表 3 可知,当二氢杨梅素添加量为 5%、10%、15% 时,大米淀粉在 1 047 cm⁻¹/1 022 cm⁻¹ 的比值为 0.83、0.78、0.78,添加量为 0% 的大米淀粉比值为 0.87。与原花青素添加到大米淀粉中 1 047 cm⁻¹/1 022 cm⁻¹ 比值的下降趋势一致^[26]。表明二氢杨梅素能够降低大米淀粉的回生程度,这与热力学特性的结果一致。

2.5 DMY 对大米淀粉 X 射线衍射的影响

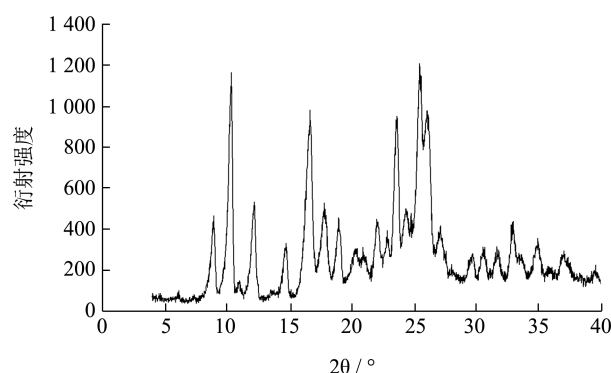


图 3 DMY 的 X-射线衍射图

Fig.3 X-ray diffraction of DMY

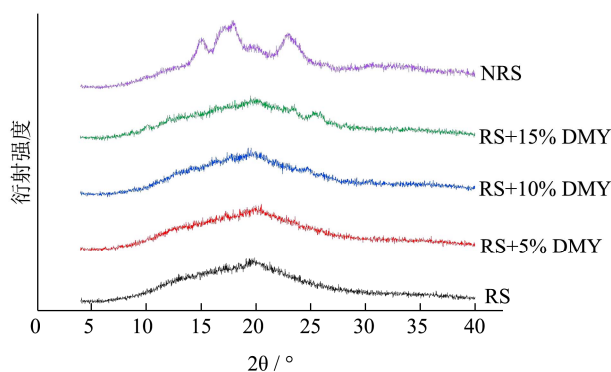


图 4 二氢杨梅素的添加量对大米淀粉的 X-射线衍射图的影响 (回生 7 d)

Fig.4 Effect of DMY addition on X-ray diffraction of rice starch for 7 days

由图 4 可知,天然大米淀粉 (NRS) 显示出现一个典型的 A 型 X 射线衍射图谱,它在 2θ 角约为 15°、18°、23° 出现一个明显的信号峰^[29]。回生的大米淀粉在 2θ 角约为 16.9°、20° 出现较为明显的信号峰, A 型结晶消失, B+V 型衍射峰形成。随着 DMY 添加量的增加,大米淀粉复合体系的 2θ 角的 16.9° 衍射峰减弱。由表 4 可知,与对照组相比,当 DMY 的添加量为 5% 时,相对结晶度显著下降了 59.07%,继续增大 DMY 添加

量, 相对结晶度下降趋势平缓。王存堂等^[20]研究发现低浓度茶叶乙醇提取物(添加量为 2.5%)的蜡质玉米

淀粉相对结晶度显著下降了 42.64%。说明多酚的添加量与淀粉相对结晶度并没有呈现浓度依赖关系。

表 4 DMY 添加量对大米淀粉相对结晶度的影响

Table 4 Effects of DMY addition on relative crystallinity of rice starch

样品	NRS	RS	RS+5% DMY	RS+10% DMY	RS+15% DMY
相对结晶度/%	30.76	10.36	4.24	3.75	4.26

2.6 DMY 对淀粉微观结构的影响

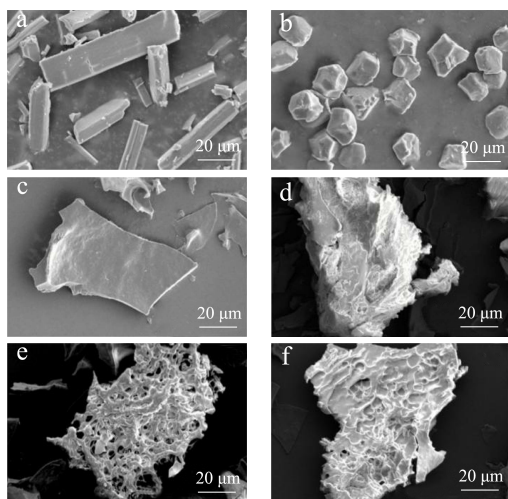


图 5 DMY 对大米淀粉微观结构的影响(回生 7 d)

Fig.5 Effect of DMY on the microstructure of rice starch for 7 days

注: a: 二氢杨梅素; b: 天然大米淀粉; c~f: 添加量为 0%、5%、10%、15% 的回生 DMY-大米淀粉; a、b 放大倍数 1 200 倍; c~f 放大倍数 5 000 倍。

如图 5a、5b 所示, 大米淀粉颗粒结构放大后, 呈现“石头块”硬块; 二氢杨梅素呈现大小不一的针状结晶。图 5c 为未添加 DMY 的大米淀粉, 其表面平滑, 连接紧密; 随着 DMY 的添加(图 5d~图 5f), 冷冻干燥后的大米淀粉表面呈现疏松多孔的结构说明 DMY 提高了淀粉持水能力。淀粉分子结合成有序状态的过程中会伴随水分的析出, 从而导致淀粉的持水能力下降。当持水能力越小, 回生程度越大^[32]。SEM 结果表明 DMY 具有抑制大米淀粉回生的能力。

3 结论

随着 DMY 添加量的增加, 大米淀粉溶解度显著上升, 膨胀度下降。此外, DMY 与大米淀粉相互作用并无新的化学键生成, 表面呈现疏松多孔结构。当 DMY 的添加量为 5% 时, 大米淀粉的回生值从 725.67 cp 降至 631.33 cp; 回生焓值从 0.32 g/J 降至 0.10 g/J; DR 从 11.23% 降至 3.16%、相对结晶度从 10.36% 降至 4.24%; $1\ 047\ \text{cm}^{-1}/1\ 022\ \text{cm}^{-1}$ 比值从 0.87 降至 0.83, 根据上述实验结果表明低浓度 DMY 可有效抑制大米淀粉的回

生。继续增大 DMY 的添加量, 抑制大米淀粉回生效果不明显。本研究为 DMY 在淀粉基食品中的应用提供理论指导, 未来可进一步探究 DMY 对大米淀粉低血糖生成指数的影响。

参考文献

- [1] 张雨, 张康逸, 张国治. 淀粉老化过程机理及淀粉抗老化剂应用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(13): 316-321
ZHANG Yu, ZHANG Kangyi, ZHANG Guozhi. Research progress on starch retrogradation process mechanism and application of starch anti-retrogradation agent [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(13): 316-321
- [2] Xiao H, Lin Q, Liu G, et al. Inhibitory effects of green tea polyphenols on the retrogradation of starches from different botanical sources [J]. Food and Bioprocess Technology, 2011, 6(8): 2177-2181
- [3] Wang M, Shen Q, Hu L, et al. Physicochemical properties, structure and *in vitro* digestibility on complex of starch with lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) leaf flavonoids [J]. Food Hydrocolloids, 2018, 81: 191-199
- [4] 任顺成, 孙晓莎, 芦丁和槲皮素对小麦淀粉理化特性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(2): 25-30
REN Shuncheng, SUN Xiaosha. Effects of rutin and quercetin on physicochemical properties of wheat starch [J]. Food Science, 2018, 39(2): 25-30
- [5] 万芊. 多酚与玉米淀粉的相互作用及其对淀粉消化和加工特性的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2018
WAN Qian. Interaction of polyphenols with corn starch and its effect on starch digestion and processing characteristics [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018
- [6] 郭巍. 藤茶二氢杨梅素提取纯化工艺及性质研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2016
GUO Wei. Study on extraction and purification technology and properties of dihydroquercetin from Rattan tea [D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2016
- [7] Jiang L, Ye W, Li Z, et al. Anticancer effects of dihydroquercetin on the proliferation, migration, apoptosis and *in vivo* tumorigenicity of human hepatocellular carcinoma Hep3B cells [J]. BMC Complementary Medicine and Therapies, 2021, 21(1): 10.1186
- [8] Teng J, Liu X, Hu X, et al. Dihydroquercetin as a functional additive to enhance antioxidant capacity and inhibit the formation of thermally induced food toxicants in a cookie

- model [J]. *Molecules*, 2018, 23(9): 2184
- [9] Shevelev A B, La Porta N, Isakova E P, et al. *In vivo* antimicrobial and wound-healing activity of resveratrol, dihydroquercetin, and dihydromyricetin against *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Candida albicans* [J]. *Pathogens*, 2020, 9(4): 296
- [10] Kou X, Chen N. Pharmacological potential of ampelopsin in Rattan tea [J]. *Food Science and Human Wellness*, 2012, 1(1): 14-18
- [11] Zhao X, Shi C, Zhou X, et al. Preparation of a nanoscale dihydromyricetin-phospholipid complex to improve the bioavailability: *in vitro* and *in vivo* evaluations [J]. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2019, 138: 104994
- [12] 童青平.三种二氢杨梅素环糊精衍生物包合物的研究:制备,表征和评价[D].重庆:重庆大学,2019
TONG Qingping. Study on inclusion complexes of three dihydromyricetin cyclodextrin derivatives: preparation, characterization and evaluation [D]. Chongqing: Chongqing University, 2019
- [13] 王宏伟,肖乃勇,马颖.超声处理时间对小麦淀粉聚集态结构及理化性能的影响[J].轻工学报,2019,34(5):10-19
WANG Hongwei, XIAO Naiyong, MA Ying. Effect of ultrasonic treatment time on starch aggregation structure and physicochemical properties of wheat [J]. *Journal of Light Industry*, 2019, 34(5): 10-19
- [14] 张成浩.原花青素对不同淀粉理化性质的影响[D].南昌:南昌大学,2020
ZHANG Chenghao. Effects of procyanidins on physicochemical properties of different starches [D]. Nanchang: Nanchang University, 2020
- [15] Xiao H, Lin Q, Liu G, et al. Inhibitory effects of green tea polyphenols on the retrogradation of starches from different botanical sources [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2013, 6(8): 2177-2181
- [16] 肖遥.几种食源多酚对淀粉特性的影响研究[D].郑州:河南工业大学,2018
XIAO Yao. Effects of several dietary polyphenols on starch properties [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2018
- [17] 孙晓莎.荞麦黄酮对小麦淀粉特性影响及其相互作用研究[D].郑州:河南工业大学,2017
SUN Xiaosha. Effects of buckwheat flavonoids on wheat starch properties and their interactions [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2017
- [18] Wang J, Jiang X, Guo Z, et al. Long-term retrogradation behavior of lotus seed starch-chlorogenic acid mixtures after microwave treatment [J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 121: 106994
- [19] 杜京京.茶多酚对大米淀粉结构及理化性质的影响[D].合肥:安徽农业大学,2020
DU Jingjing. Effects of tea polyphenols on structure and physicochemical properties of rice starch [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2020
- [20] 王存堂,高增明,姜辰昊,等.茶叶乙醇提取物对蜡质玉米淀粉回生性质的影响[J].食品科学,2021,42(6):53-60
WANG Cuntang, GAO Zengming, JIANG Chenhao, et al. Extract on retrogradation properties of waxy corn starch [J]. *Food Science*, 2021, 42(6): 53-60
- [21] 韩雪琴.大米淀粉与食源性多酚相互作用的研究[D].广州:华南理工大学,2020
HAN Xueqin. Study on interaction between rice starch and foodborne polyphenols [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020
- [22] 吴昊.反复/连续干热处理对不同晶型淀粉结构及理化特性的影响[D].咸阳:西北农林科技大学,2019
WU Hao. Effects of repeated/continuous dry heat treatment on structure and physicochemical properties of different crystalline starch [D]. Xi'an: Northwest A&F University, 2019
- [23] Zhu F. Interactions between starch and phenolic compound [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2015, 43(2): 129-143
- [24] Xiao H, Lin Q, Liu G, et al. Evaluation of black tea polyphenol extract against the retrogradation of starches from various plant sources [J]. *Molecules*, 2012, 17(7): 8147-8158
- [25] Wu Y, Niu M, Xu H. Pasting behaviors, gel rheological properties, and freeze-thaw stability of rice flour and starch modified by green tea polyphenols [J]. *LWT*, 2020, 118: 108796
- [26] Zhu F. Interactions between starch and phenolic compound [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2015, 43(2): 129-143
- [27] Gao L, Zhang C, Chen J, et al. Effects of proanthocyanidins on the pasting, rheological and retrogradation properties of potato starch [J]. *J Sci Food Agric*, 2021, 101(11): 4760-4767
- [28] Bustillos-Rodríguez J C, Tirado-Gallegos J M, Ordóñez-García M, et al. Physicochemical, thermal and rheological properties of three native corn starches [J]. *Ciencia E Tecnologia De Alimentos*, 2019, 39(1): 149-157
- [29] 裴斐,倪晓蕾,孙昕炆,等.低聚果糖对大米淀粉回生特性的影响[J].食品科学,2022,43(2):27-33
PEI Fei, NI Xiaolei, SUN Xinyang, et al. Effects of oligosaccharides on rice starch regeneration characteristics [J]. *Food Science*, 2022, 43(2): 27-33
- [30] 李蟠莹.原花青素对大米淀粉理化性质及消化性的影响[D].南昌:南昌大学,2018
LI Panying. Effects of procyanidins on physicochemical properties and digestibility of rice starch [D]. Nanchang: Nanchang University, 2018
- [31] Hu A, Li Y, Zheng J. Dual-frequency ultrasonic effect on the structure and properties of starch with different size [J]. *LWT*, 2019, 106: 254-262
- [32] 冷雪.茶多酚对改性糯玉米淀粉消化性的影响[D].无锡:江南大学,2013
LENG Xue. Effects of tea polyphenols on digestibility of modified waxy corn starch [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013