

改良剂延缓糯米淀粉制品 老化特性的研究

张玉荣,高佳敏,周显青,邓峰,刘敬婉

(河南工业大学 粮油食品学院,粮食储藏与安全教育部工程研究中心,
粮食储运国家工程实验室,河南 郑州 450001)

摘要:为了探讨复配改良剂对糯米淀粉老化特性的影响,以低温储存后凝胶硬度的变化为评价指标,通过单因素实验,研究改良剂对糯米淀粉老化的抑制效果;采用响应面法确定复配改良剂的最佳添加量。结果表明,复配改良剂的最佳添加量为:黄原胶 0.53%、单甘脂 0.43%、 β -淀粉酶 0.18%。延缓糯米淀粉老化效果的改良剂顺序为 β -淀粉酶>黄原胶>单甘脂。对糯米淀粉凝胶进行 TPA、FT-IR 和 DSC 分析,结果表明,添加复配改良剂的凝胶硬度、红外吸光度比值、热焓 ΔH 均显著低于空白样品。说明复配改良剂能有效控制水分迁移,抑制直链淀粉双螺旋结构形成和分子交联聚合,缩短直链淀粉及支链淀粉直线分支长度,降低支链淀粉晶种源浓度,阻碍其重结晶,有效延缓糯米淀粉凝胶的老化。

关键词:糯米淀粉;改良剂;老化;特性

中图分类号:TS 231 文献标识码:A 文章编号:1007-7561(2015)05-0001-06

Study on delaying the aging properties of glutinous rice starch products by additives

ZHANG Yu-rong, GAO jia-min, ZHOU Xian-qing, DENG feng, LIU jing-wan

(College of Food Science and Technology, Grain Storage and Security Engineering Research
Center of Ministry of Education, National Engineering Laboratory of Grain Storage and Logistics,
Henan University of Technology, Zhengzhou Henan 450001)

Abstract: The inhibitory effect of compound modifiers on aging property of glutinous rice starch was researched by single factor experiment with the hardness of glutinous rice starch gel after being stored at low temperature as evaluation index. The amount of compound modifiers was optimized by response surface methodology. The results showed that the optimal formula of compound modifiers was as follows: xanthan gum 0.53%, monoglyceride 0.43%, β -amylase 0.18%. The order of the effect of modifiers to delay the aging properties of glutinous rice starch products was as follows: β -amylase > xanthan gum > monoglyceride. TPA, DSC, FT-IR were carried out for the study of anti-aging of glutinous starch gel. The results revealed that the hardness index, infrared absorbance ratio and enthalpy of compound modifiers were notably lower than the control group, which indicated that the compound modifiers could control moisture migration, and inhibit the formation of the double helix structure of amylose and molecular cross-linking polymerization, shorten the length of amylose and the length of the straight branches of amylopectin, reduce the crystal seed concentration of amylopectin to hinder amylopectin recrystallization. The compound modifiers could inhibit the aging of glutinous rice starch.

Key words: glutinous rice starch; additives; aging; property

糯米在我国有着悠久的种植和使用历史,以糯米为原料可开发和生产出许多人们喜爱的糯性食

品,如年糕、汤圆、麻球等。然而糯米制品在生产、运输、储存和销售等过程中都会涉及到淀粉的胶凝和老化,而淀粉老化将导致糯米制品变硬,难以咀嚼,口感变差,不易消化吸收^[1]。因此延缓糯米淀粉的老化回生是延长糯米食品货架期的重要手段之一。

收稿日期:2014-12-22

作者简介:张玉荣,1967年出生,女,教授。

通讯作者:周显青,1964年出生,男,教授。

淀粉老化的影响因素有很多,Iturriag 等^[2]用 DSC 测定不同直链淀粉含量的大米淀粉糊化后老化程度随时间变化的趋势,结果表明米粉糊化后的老化速率与直链淀粉含量成正比。Zhou 等^[3]研究认为变温储藏的淀粉凝胶比恒温储藏的淀粉凝胶有更低的热焓变,变温储藏可有效控制淀粉的老化。袁博等^[4]研究表明食品添加剂(β -环状糊精、硬脂酰乳酸钙、黄原胶和 β -淀粉酶)在不同储藏温度下(-18、4、25 和 37 °C)都能够有效抑制糯性粉团的老化回生。丁文平等^[5]研究表明引起储藏后期凝胶硬度增加的主要原因为支链淀粉的重结晶。本实验通过研究不同种类改良剂对糯米淀粉凝胶老化的影响,以期为糯米食品深加工提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料和试剂

糯米粉:大连五农糯米粉厂提供;黄原胶和瓜尔豆胶:河南奥尼斯特食品有限公司;单甘脂和蔗糖酯:郑州天顺食品添加剂有限公司; β -淀粉酶:北京奥博星生物科技有限公司。

1.2 仪器设备

JWXL 型物性测试仪(TPA):北京东孚久恒仪器有限公司;新飞 BCD-241 型冰箱:河南新飞电器有限公司;Prestige-21 型傅立叶红外光谱仪(FT-IR):日本岛津;Pyris1 型差示扫描量热仪(DSC):美国 PE 公司;SDHJ08K-200 苏泊尔电磁炉:浙江苏泊尔股份有限公司。

1.3 原料淀粉的制备

将糯米粉按照 5:1 的液料比加入浓度 0.34% 的 NaOH 溶液,用磁力搅拌器搅拌 5 min 后离心(3000 r/min, 15 min),去除上清液。再用 NaOH 溶液将沉淀制成悬浆后离心(上述步骤重复 3 次),弃去上清液,沉淀水洗多次至上清液的 pH 值为 6.5~6.6,将得到的粗淀粉转移到玻璃皿中,在 40 °C 温度下干燥 24 h,研磨并过筛(100 目),置于密封袋中 4 °C 低温储藏备用^[6]。

1.4 试验方法

1.4.1 传统加热糊化制备糯米淀粉凝胶

取 20 g 糯米淀粉(干基)与蒸馏水按 1:4 混匀,沸水浴中搅拌成糊后放置在蒸锅内蒸煮 30 min,至淀粉完全糊化,取出糊化好的样品在室温下自然冷却,置于 4 °C 冰箱储藏备用。

1.4.2 糯米淀粉凝胶硬度的测定

凝胶样品的制备同 1.4.1,置于 4 °C 冰箱储藏

14 d 后,用于 TPA 测定,测定前需将凝胶样品恢复至室温,用刀片切去上表面后切制成 $d=30$ mm, $h=14$ mm 的圆柱体。

TPA 测定模式参考 AACCC74-09 测试方法。采用 P/36R 型探头。测定条件:测前速率 1.00 mm/s;测试速率 2.00 mm/s;测后速率 2.00 mm/s;压缩程度为 30%;两次压缩之间停留时间为 2 s;压缩次数 2 次并重复测定 3 次,测得质构特征曲线,用配套软件收集和处理数据,得到表征质构状况的评价参数有硬度、胶着性、粘聚性、弹性和恢复性。

1.4.3 改良剂对糯米淀粉凝胶老化影响

1.4.3.1 乳化剂的单因素试验 选择常用的单甘脂和蔗糖酯两种乳化剂作为研究对象,其添加水平分别为 0、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%。采用传统加热方法糊化(同 1.4.1 操作),取出样品后在室温下自然冷却,置于 4 °C 冰箱储藏 14 d,按 1.4.2 中方法测定糯米淀粉凝胶硬度。

1.4.3.2 食用胶的单因素试验 选择瓜尔豆胶和黄原胶作为研究对象,其添加水平分别为 0、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%。样品糊化、冷却、形成凝胶、老化和测定操作同上。

1.4.3.3 酶制剂的单因素试验 选择 β -淀粉酶为研究对象,其添加水平分别为 0.05%、0.1%、0.15%、0.2%。样品糊化操作同上,糊化后样品冷却至 45 °C,加入 β -淀粉酶,恒温水浴 30 min,100 °C 灭酶,冷却、形成凝胶、老化和测定操作同上。

1.4.4 FT-IR 的分析

原糯米淀粉凝胶和加入复配改良剂的糯米淀粉凝胶(凝胶制备同 1.4.1)在低温 4 °C 下储藏 3、5、14 d。取出进行冷冻干燥,粉碎过 100 目筛,进行 FT-IR 测定分析。取样品约 0.5~2 mg,在红外灯下放入玛瑙研钵研磨细,加入 100~200 mg 经过磨细干燥的 KBr 粉末,混合研磨均匀,接着把混合物灌注到压膜内,在压力机中边抽气边加压,做成一定直径及厚度近似透明的薄圆片,然后将此薄片放入傅立叶变换红外光谱仪光束中进行全波段的扫描,扫描范围为 4000^{-1} ~ 400 cm^{-1} ,分辨率为 4 cm^{-1} ,最后得到糯米的红外光谱图,数据处理采用 Omnic8.0 软件分析。

1.4.5 热力学特性分析

糯米淀粉凝胶制备、储藏、冷冻干燥和粉碎操作同上,进行热力学特性分析。取样品量 10~15 mg 放入 DSC 坩埚中,按 1:1 比例加入蒸馏水,同时用一个空坩埚作为参照。以 10 °C/min 的升温速率从 20 °C 升温至 120 °C。通过 DSC 配套的数据处理

软件分析样品热力学参数。

1.5 数据处理与方法

采用 Excele 软件进行数据处理, Design - expert 软件进行响应面分析优化。

2 结果与分析

2.1 乳化剂对糯米淀粉凝胶老化特性的影响

乳化剂主要是作为淀粉类食品的抗老化剂和保鲜剂,具有两亲结构,通过与淀粉分子形成复合物来抑制其老化,还可通过影响水分分布间接地延缓其老化。不同添加量的单甘脂和蔗糖酯对糯米淀粉凝胶老化的影响见图1。

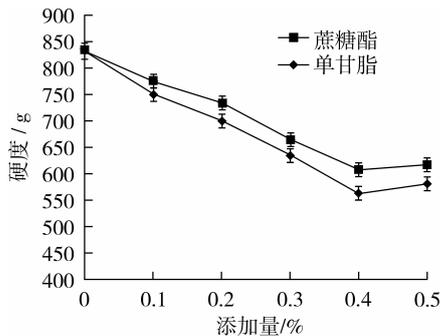


图1 单甘脂和蔗糖酯对糯米淀粉凝胶硬度的影响

由图1可知,在相同的存储条件下,随着乳化剂添加量的增加,糯米淀粉凝胶硬度显著降低,这是由于乳化剂与淀粉分子相互作用形成稳定的螺旋复合物,抑制了淀粉颗粒的膨胀,影响糯米淀粉的老化。当添加量超过0.4%之后,糯米淀粉凝胶硬度有一定程度的增加。在相同的添加量条件下,单甘脂抑制糯米淀粉凝胶的效果最佳。这是由于单甘脂是一种非离子型的表面活性剂,它既有亲水基团又有亲油基团,可与直链淀粉的螺旋环嵌合而抑制其老化^[7]。因此,食用乳化剂定为单甘脂。

2.2 食用胶对糯米淀粉凝胶老化特性的影响

不同添加量的瓜尔豆胶和黄原胶对糯米淀粉凝胶老化的影响结果见图2。由图2可知,在相同的存储条件下,随着瓜尔豆胶和黄原胶添加量的增加,凝胶硬度逐渐降低,这是因为食用胶有较高的持水能力和良好的成膜性,可以有效控制水分迁移^[8]。但当食用胶添加量超过0.5%之后,凝胶硬度有一定程度的增加,但是都要优于空白对照组,可能是过量的胶体吸水后形成的凝胶体系使糯米淀粉凝胶结构过于致密,从而硬度增大^[9]。两者相比较,黄原胶抗老化效果更优,这是由于黄原胶与淀粉分子和水分子之间形成大量的富集微区进而对支链淀粉分子的结晶交联体系产生抑制,从而延缓淀粉分子的结晶,降低其老化速率^[10]。因此实验选定为黄原胶作为食用胶添加剂。

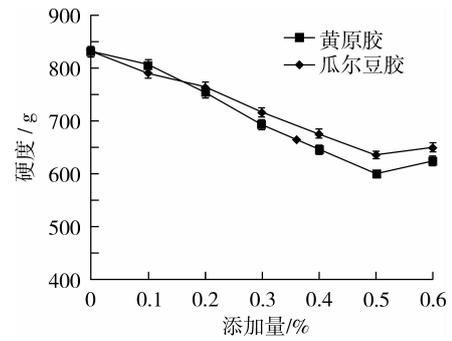


图2 瓜尔豆胶和黄原胶对糯米淀粉凝胶硬度的影响

2.3 β-淀粉酶对糯米淀粉凝胶老化特性的影响

由图3可知,在相同的存储条件下,随着β-淀粉酶添加量的增加,样品硬度逐渐降低。与空白样品相比,β-淀粉酶可以显著的改善糯米淀粉凝胶的硬度。当淀粉分子量过大或者过小时淀粉凝胶的性质都比较稳定,淀粉酶通过降低直链淀粉及支链淀粉分支的长度,改变淀粉分子的网络结构,降低淀粉的重结晶趋势,减少淀粉粒之间的交联,抑制淀粉的老化速率^[11]。因此选择β-淀粉酶作为抑制糯米淀粉老化的淀粉酶类物质是可行的。

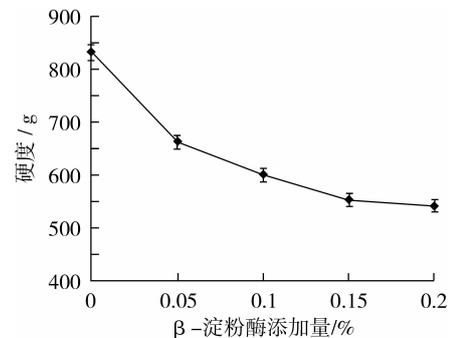


图3 β-淀粉酶对糯米淀粉凝胶硬度的影响

2.4 糯米淀粉凝胶改良剂的优化中心组合试验

2.4.1 响应面分析因素与水平

根据单因素实验结果,使用 Design - Expert 分析软件以黄原胶、单甘脂和β-淀粉酶三种改良剂为实验因素设计响应面实验,水平取值见表1。

表1 因素设计与水平

x_i	X_1	X_2	X_3
水平	单甘脂/%	β-淀粉酶/%	黄原胶/%
-1	0.3	0.10	0.4
0	0.4	0.15	0.5
1	0.5	0.2	0.6

2.4.2 响应面试验设计与结果分析

根据 Box - Behnken 中心组合设计原理,设计了3因素3水平的响应面分析试验,试验采用硬度作为响应值。运用响应面设计法对复配改良剂进行优化,试验设计与实验结果见表2。

表2 试验设计及实验结果

序号	X_1	X_2	X_3	硬度/g
1	0	0	0	462.35
2	0	-1	-1	581.92
3	-1	0	-1	576.82
4	0	0	0	462.60
5	0	0	0	456.31
6	1	0	-1	531.88
7	0	0	0	464.87
8	0	-1	1	523.25
9	-1	-1	0	556.00
10	-1	0	1	508.71
11	0	0	0	457.96
12	0	1	-1	512.81
13	1	1	0	461.17
14	-1	1	0	510.82
15	1	0	1	487.45
16	1	-1	0	532.80
17	0	1	1	466.42

采用 Design - Expert 对数据进行分析,得到 X_1 、 X_2 和 X_3 3 因素的二次多项回归模型为:

$$Y = 460.82 - 17.38X_1 - 30.34X_2 - 27.2X_3 - 6.61X_1X_2 + 5.92X_1X_3 + 3.07X_2X_3 + 29.75X_1^2 + 24.63X_2^2 + 35.65X_3^2$$

2.4.3 模型的方差分析

对二次多项回归方程进行显著性验证和方差分析,回归方程的方差分析见表3。

表3 回归方程方差分析

	平方和	自由度	均方	F	$P > F$	显著性
模型	29 011.64	9	3 223.52	307.53	<0.000 1	**
X_1	2 416.86	1	2 416.86	230.58	<0.000 1	**
X_2	7 365.95	1	7 365.95	702.74	<0.000 1	**
X_3	5 918.72	1	5 918.72	564.67	<0.000 1	**
X_1X_2	174.9	1	174.9	16.69	0.004 7	**
X_1X_3	140.19	1	140.19	13.37	0.008 1	**
X_2X_3	37.70	1	37.7	3.6	0.099 7	
X_1^2	3 725.89	1	3 725.89	355.46	<0.000 1	**
X_2^2	2 554.73	1	2 554.73	243.73	<0.000 1	**
X_3^2	5 351.18	1	5 351.18	510.52	<0.000 1	**
残差	73.37	7	10.48			
失拟	22.94	3	7.65	0.61	0.644 9	
纯误差	50.43	4	12.61			
总和	29 085.01	16				

注: ** 表示因素或模型有极显著影响 ($P < 0.01$); * 表示因素或模型有显著影响 ($P < 0.05$); $R^2 = 0.997 5$; $R_{adj}^2 = 0.994 2$ 。

由表3 回归方程的方差分析可知,回归方程的相关系数 (R^2) 为 0.997 5,表明回归方程差异越显著,拟合度越好;同时模型的 $P < 0.000 1$,表明该模型方程高度显著,说明该方程与实际情况拟合很好,能正确反映黄原胶、单甘脂和 β -淀粉酶之间对糯

米淀粉凝胶硬度的影响关系;模型一次项 X_1 、 X_2 、 X_3 、二次项 X_1^2 、 X_2^2 和 X_3^2 高度显著,交互项 X_1X_2 和 X_1X_3 高度显著。表明各因素对响应值的影响不是简单的线性关系,模型失拟项 $P = 0.644 9 > 0.05$,表明相对于纯误差,失拟项是不显著的,而不显著的失拟项也表明该方程的模型是合适的,可用回归方程来预测实际的试验结果。说明回归方程给复配改良剂的优化提供了一个很好的模型。

2.4.4 响应面分析及复配改良剂的优化

在回归模型方差分析的基础上,利用软件对试验数据进行响应面优化分析,得到所拟合响应面曲线图和等高线图,考察各个因素对糯米淀粉凝胶老化的抑制效果,如图4 所示。

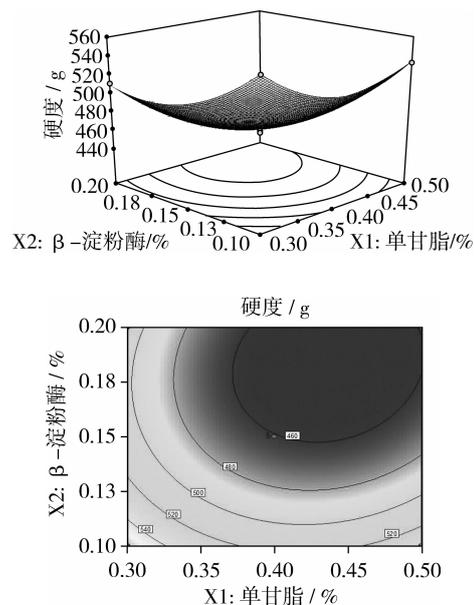


图4 β -淀粉酶和单甘脂对糯米淀粉凝胶硬度影响的曲面图及等高线
注:黄原胶为0.5%

由图4 可知,随着单甘脂添加量的逐渐增加, β -淀粉酶增量引起的糯米淀粉凝胶硬度值显著下降,说明 β -淀粉酶和单甘脂对糯米淀粉凝胶老化的抑制有显著的交互影响。从等高线可以看出,沿着 β -淀粉酶方向的等高线密度变化较大,说明 β -淀粉酶对糯米淀粉的老化的抑制作用比单甘脂更显著。

由图5 可知,随着单甘脂添加量的逐渐增加,黄原胶增量引起凝胶硬度显著降低,但当黄原胶量增加到0.5%左右时出现拐点,这是由于黄原胶对糯米淀粉凝胶抑制作用达到了饱和,与单因素分析结果基本一致。从等高线可以看出,沿着黄原胶酶方向的等高线密度变化较大,说明黄原胶对糯米淀粉的老化的抑制作用比单甘脂明显。

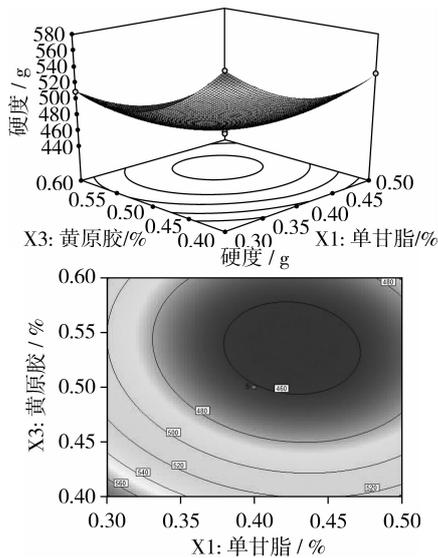


图5 单甘脂和黄原胶对糯米淀粉凝胶硬度影响的曲面图及等高线
注： β -淀粉酶为0.15%

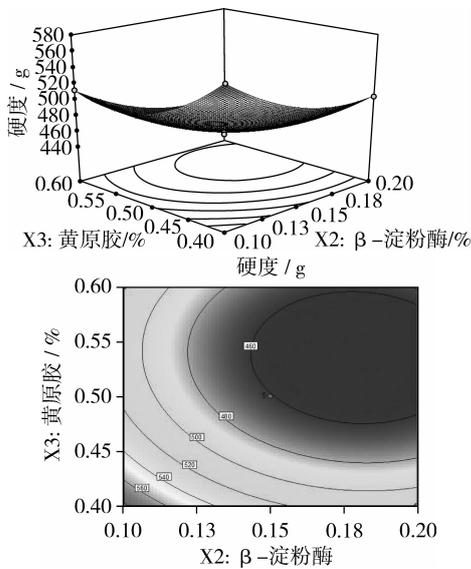


图6 β -淀粉酶和黄原胶对糯米淀粉凝胶硬度影响的曲面图及等高线
注：单甘脂为0.4%

由图6可知， β -淀粉酶添加量从0.1%增加到0.2%左右时，黄原胶添加量增加引起的硬度值下降不显著，说明 β -淀粉酶和黄原胶对糯米淀粉凝胶的抑制作用没有显著的交互作用，这与方差分析结果基本一致。从等高线可以看出，沿着 β -淀粉酶方向的等高线密度变化较大，说明 β -淀粉酶对糯米淀粉的老化的抑制作用比黄原胶更显著。

2.4.5 条件优化及验证

通过软件 Design - Expert 求解方程，计算得到的最佳条件为：黄原胶0.53%、单甘脂0.43%和 β -淀粉酶0.18%。在此条件下，糯米淀粉凝胶硬度值理论上应当为443.79 g。为验证试验结果的可靠性，进行3次平行试验，得到的糯米淀粉凝胶硬度平

均值为451.64 g，与理论预测值吻合较好。

2.5 复配改良剂对抑制糯米淀粉老化的影响

2.5.1 添加复配改良剂的糯米淀粉凝胶质构分析

淀粉的老化过程可分为短期老化(几个或十几个小时)和长期老化(天)2个阶段，短期老化主要是由直链淀粉的有序聚合和结晶所引起。长期老化主要是由支链淀粉外侧短链的重结晶所引起。支链淀粉的长期老化是导致糯米食品品质劣变的主要因素^[12]。糯米淀粉凝胶质构参数随时间的变化结果见图7。

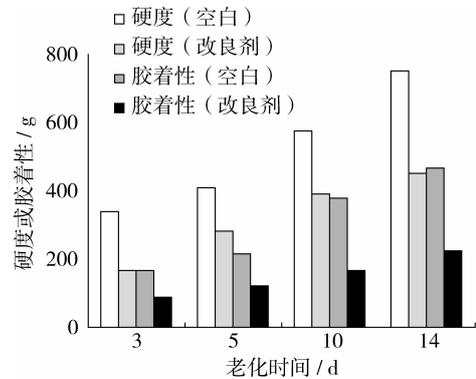


图7 糯米淀粉凝胶储藏过程中质构参数变化

由图7可知，随着储藏时间的延长，空白样品及添加复配改良剂的样品硬度和胶着性均呈增长趋势。这是由于随着贮存时间的延长，糯米淀粉凝胶中水分含量逐渐减小，粉粒之间的吸水结构坍塌，加速了淀粉与蛋白质、淀粉与淀粉之间的缔合，促进了糯米淀粉凝胶的硬化。但比较而言，添加复配改良剂样品的硬度显著降低。说明复配改良剂能够有效控制水分的迁移，与支链淀粉形成复杂的络合物，抑制其双螺旋结构的形成和分子的交联聚合，减少氢键的形成，从而阻碍支链淀粉的重结晶，有效抑制淀粉的老化。

2.5.2 添加复配改良剂的糯米淀粉凝胶的红外光谱分析

近年来，研究者将近红外吸收光谱应用于分析淀粉的老化和结晶研究中，取得了一定的研究成果。Van Soest等^[13]报道淀粉在 $1\ 047\ \text{cm}^{-1}$ 和 $1\ 022\ \text{cm}^{-1}$ 处的红外吸光度比值可用来表征确定淀粉的B-型结晶大小，表明淀粉无定形态的降低或是有序结构的增加。红外($1\ 047\ \text{cm}^{-1}/1\ 022\ \text{cm}^{-1}$)处的吸光度比值越大，说明老化的程度越高^[14]，反之亦然。

由图8可知，随着储藏时间的延长，空白样品及添加复配改良剂的样品在红外($1\ 047\ \text{cm}^{-1}/1\ 022\ \text{cm}^{-1}$)处吸光度的比值均呈增加趋势。说明淀粉颗粒中无定形分子迅速减少，有序分子逐渐增多，即淀粉的结晶度在增加，由此证明随着储藏时间的延长，糯米淀粉凝胶老化程度不断增加。但比较而言，添加改良剂的样品红外($1\ 047\ \text{cm}^{-1}/1\ 022\ \text{cm}^{-1}$)处吸

光度比值显著低于空白样品,由此证明复配改良剂能有效延缓糯米淀粉凝胶的老化,这是由于复配改良剂阻碍了结晶区淀粉的双螺旋结构,减小了结晶区域支链淀粉成核结晶,降低了支链淀粉的结晶度,从而延缓了糯米淀粉凝胶的老化。

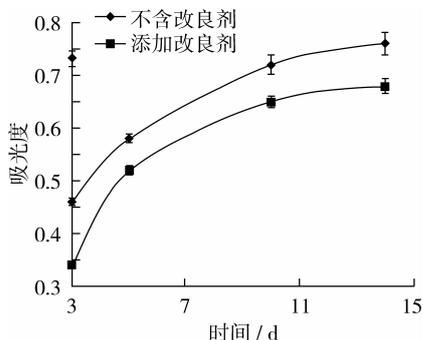


图8 糯米淀粉凝胶储藏过程中红外吸收光度比值变化

2.5.3 添加复配改良剂的糯米淀粉凝胶的热力学特性分析

差示扫描量热法(DSC)是评价淀粉老化的经典方法之一。DSC能够测定晶体在熔融时的热量变化。在淀粉老化过程中,总是伴随着热量的变化,其热焓值与晶体的含量成正比。因此,可以用DSC分析糯米淀粉凝胶老化过程的热力学特性。糯米淀粉凝胶在低温(4℃)储藏3 d、5 d、14 d的热力学特性见表4。

表4 样品DSC数据

样品	时间/d	T ₀ /℃	T _c /℃	T _p /℃	结晶焓/J/g
不含改良剂样品	3	46.75	54.14	60.42	0.54
	5	46.43	53.16	61.63	1.27
	14	46.32	52.43	60.54	3.23
添加改良剂样品	3	50.24	57.59	62.35	0.35
	5d	51.62	56.83	63.74	0.87
	14	50.81	56.21	63.32	1.56

注:T₀为起始熔融温度;T_c为峰值熔融温度;T_p为终止熔融温度。

由表4可知,随着储藏时间的延长,糯米支链淀粉的重结晶融化时所需热焓 ΔH 逐渐增加,空白样品的热焓 ΔH 从0.54 J/g增加到3.23 J/g,添加改良剂的样品热焓 ΔH 从0.35 J/g增加到1.56 J/g,表明支链淀粉重结晶含量上升,糯米淀粉凝胶的老化程度增加。但相比于空白样品,加入改良剂的糯米淀粉凝胶的融化焓值显著下降,糊化时需要吸收的热量减少,淀粉悬浮液的峰值温度升高,这是由于改良剂与淀粉分子形成较复杂的络合物,缩短了支链淀粉直线分支的长度,造成无定形区增多,结晶区减少,使得融化焓值降低。此外,复配改良剂与支链淀粉形成双螺旋结构,降低了支链淀粉重结晶晶源浓度,减少了晶核的形成,从而使得融化焓值降

低,延缓糯米淀粉凝胶老化。

3 结论

延缓糯米淀粉老化效果的改良剂顺序为 β -淀粉酶>黄原胶>单甘脂。响应面优化得到的改良剂最优配方为:黄原胶0.53%、单甘脂0.43%、 β -淀粉酶0.18%。

实验结果表明复配改良剂能显著降低糯米淀粉凝胶硬度、胶着性、红外(1 047 cm⁻¹/1 022 cm⁻¹)处吸光度比值、融化焓值和峰值温度,从而有效延缓糯米淀粉凝胶的老化,使糯米淀粉凝胶质构品质得到改善。

参考文献:

- [1]郎凯红,周显青,张玉荣.大米凝胶特性的研究现状与展望[J].粮食与饲料工业,2012,4:1-5.
- [2]Iturriaga L B, De Mishima B L, Anon M C. A study of the retrogradation process in five argentine rice starches [J]. LWT Food Science and Technology, 2010, 43(4): 670-674.
- [3]Xing Zhou, Byung- Kee Baik, Ren Wang, et al. Retrogradation of waxy and normal corn starch gels by temperature cycling [J]. Journal of Cereal Science, 2010, 51(1): 57-65.
- [4]袁博,黄卫宁,邹奇波.添加剂及储藏温度对糯性粉团抗老化的研究[J].食品与发酵工业,2010,36(2): 49-54.
- [5]丁文平,王月慧,丁霄森.大米淀粉胶凝和回生机理的研究[J].粮食与饲料工业,2003(3): 11-21.
- [6]周显青,邓峰,张玉荣.糯米淀粉的碱法分离工艺优化及其特性分析[J].粮油食品科技,2014,3(22): 1-14.
- [7]Lovedeep Kaur, Jaspreet Singh, Narpinder Singh. Effect of glycerol monostearate on the physico-chemical, thermal, rheological and noodle making properties of corn and potato starches [J]. Food Hydrocolloids, 2005, 19: 839-849.
- [8]钱平.小麦粉品质对馒头老化的影响及馒头抗老化研究[D].北京:中国农业大学,2005.
- [9]Skara NKica, Novotni Dubravca, Cukelj Nilcolina et al. Combined effects of inulin, pectin and guar-gum on the quality and stability of partially baked frozen bread [J]. Food Hydrocolloids, 2013, 30(1): 428-436.
- [10]Takahiro, Funami, Yohei Kataoka, Toshio Omoto et al. Effects of non-ionic polysaccharides on the gelatinization and retrogradation behavior of wheat starch [J]. Food Hydrocolloids, 2005, 19(1): 1-13.
- [11]Yao Y, Zhang J, Ding X. Partial β -Amylolysis Retards Starch Retrogradation in Rice Products [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(14): 4066-4071.
- [12]牛猛,王莉,杨冰,等.大米淀粉的老化特性研究进展[J].中国粮油学报,2011,26(11): 124-128.
- [13]Van Soest J. J., G. Tournois H, Wit. D. D. Short-range structure in (partially) crystalline potato starch determined with attenuated total reflectance Fourier-transform IR spectroscopy [J]. Carbohydrate Research, 1995, 279: 201-214.
- [14]Morales A. F, Estrada M J, Escobedo R M. Determination of the structural changes by FT-IR, Raman, and CP/MAS 13C NMR spectroscopy on retrograded starch of maize tortillas [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87: 61-68.