

乳化剂抑制鲜湿面货架期内品质老化机理研究

Study on the Mechanism of Emulsifier Inhibiting the Quality Retrogradation of Fresh Wet Noodle during the Shelf Life

李立华 周文化 邓航 肖玥惠子 刘如如

LI Li-hua ZHOU Wen-hua DENG Hang XIAO Yue-hui-zi LIU Ru-ru

(中南林业科技大学, 湖南长沙 410004)

(Central South Forestry University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410004, China)

摘要:研究探析乳化剂抑制鲜湿面货架期内品质老化的机理,利用差示扫描量热仪(DSC)分析了硬脂酰乳酸钠(SSL)添加组, β -环糊精(β -CD)添加组鲜湿面以及经脱蛋白或脱脂处理后的鲜湿面的热力学变化。结果表明:未处理组的鲜湿面,在 4 °C 储藏 14 d 后,第一个支链淀粉峰 SSL 和 β -CD 添加组的老化焓 ΔH 都低于 CK 组 ($P < 0.05$);第二个复合物峰 SSL 和 β -CD 添加组的重结晶融化温度 T_p 和老化焓 ΔH 都高于 CK 组 ($P < 0.05$);鲜湿面经脱蛋白处理组,在 4 °C 储藏 14 d 后,相比未处理组支链淀粉老化焓稍有增大但无显著差异;第二个复合物峰的重结晶融化顶点温度显著升高,老化焓也稍有增大,但变化也不显著;经脱脂组鲜湿面储藏 14 d 后,相比未处理组支链淀粉热力学特征无显著差异;第二个复合峰重结晶融化顶点温度和老化焓都显著升高 ($P < 0.05$)。两种乳化剂均能干扰直链淀粉与脂类的结合,形成直链淀粉-乳化剂-脂质络合物,抑制鲜湿面货架期内品质老化。

关键词:鲜湿面;硬脂酰乳酸钠; β -环糊精;老化;差示扫描量热仪

Abstract: This study investigated the mechanism of the emulsifier against fresh wet noodle retrogradation during the shelf life. By using differential scanning calorimetry (DSC), analyzed thermodynamic change of fresh wet noodle which were added two different emulsifiers, stearoyl lactylate (SSL) and β -cyclodextrin (β -CD), deproteinized or degreased. The results showed that the amylopectin

基金项目:湖南省食品科学与工程类专业大学生创新训练中心建设项目(编号:湘教通[2014]272号);湖南省普通高校学科带头人培养对象资助项目(编号:湘教办通[2014]209号);首批湖南省高等学校“2011 协同创新中心”粮油深加工与品质控制湖南省协同创新中心建设项目(编号:湘教通[2013]448号)

作者简介:李立华,女,中南林业科技大学在读硕士研究生。

通信作者:周文化(1969-),男,中南林业科技大学教授,博士。

E-mail:zhouwenhua@126.com

收稿日期:2017-02-19

retrogradation enthalpy of fresh wet noodle which were added SSL and β -CD were less than that in the CK group ($P < 0.05$) after stored at 4 °C for 14 day; The recrystallization melting temperature T_p and the retrogradation enthalpy ΔH of the second complex peak in the SSL and β -CD added groups were higher than that CK group ($P < 0.05$); The amylopectin retrogradation enthalpy of fresh wet noodle which was deproteinized was more than that in the untreated group after stored at 4 °C for 14 day, but no significant difference; The recrystallization melting temperature and the retrogradation enthalpy of the second complex peak in the fresh wet noodle which was deproteinized was more than that in the untreated group, but no significant difference in the retrogradation enthalpy; There were no significant difference in the amylopectin thermodynamic feature of fresh wet noodle which was degreased and noodle was untreated after stored at 4 °C for 14 day; The recrystallization melting temperature and the retrogradation enthalpy of the second complex peak in the fresh wet noodle which was deproteinized was significantly more than that in the untreated group ($P < 0.05$); Two emulsifiers interfere the combination of amylose and lipid, they and amylose and lipid form a new complex to against the retrogradation of fresh wet noodle during the shelf life.

Keywords: fresh wet noodle; sodium stearoyl lactylate; β -cyclodextrin; retrogradation; DSC

鲜湿面在货架期内很容易发生老化,老化会使面条变硬,失去光泽^[1],导致鲜湿面的食用品质显著下降^[2],货架期缩短。鲜湿面品质的老化涉及许多因素,但货架期内糊化淀粉的老化是一个非常重要的因素^[3]。老化是糊化了的淀粉冷却后,直链淀粉与支链淀粉再聚集,形成更有序的分子结构^[4]。目前抑制老化的方法有很多,如控制贮藏温度^[5],添加乳化剂、多糖、乳酸^[6]和生物酶^[7]以及迅速干燥脱水处理等^[8],其中乳化剂是一种常用的抗老化剂,能与淀粉分子链相互作用,使淀粉结晶程度降低,从而抑制淀粉老化^[9]。李

清筱^[10]利用 Avrami 恒温动力学模型研究 β -CD 抑制面包老化,表明添加 β -CD 在一定程度上改变了淀粉老化晶体成核模式,间接证实了淀粉- β -CD 复合物形成的可能性。张慧慧等^[11]研究得出单甘酯添加量越大,油条的硬度越低,货架期相对延长。肖东等^[12]通过质构仪和感官试验研究出添加 0.2% 的 SSL 时,鲜湿面硬度值最低。Elisabeth Roca 等^[13]研究出在谷物中添加脂肪可以延长复合食品的保质期。但是中国对于乳化剂/鲜湿面体系的研究报道很少,且没有对乳化剂/鲜湿面体系老化过程中形成的复合物进行 DSC 扫描的研究。本研究拟利用差示扫描量热法(DSC)评价两种乳化剂:SSL 及 β -CD 对鲜湿面淀粉糊化及老化的影响。将 CK 组和分别添加了一定量的 SSL、 β -CD 的鲜湿面组在 4 °C 下储藏,再进行 DSC 扫描分析,并对面粉分别脱蛋白、脱脂处理,两种不同的面粉分别制作成鲜湿面,如上同样的方法进行 DSC 分析,3 次所得的所有结果进行对照分析,推测新的物相组成,探寻乳化剂抑制鲜湿面老化的原理,以期为乳化剂用于鲜湿面加工提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

制面用面粉:蛋白质含量 12.38%,脂肪含量 2.32%,长沙凯雪粮油食品有限公司;

β -环糊精(β -CD):纯度 99%,无锡市百端多化工有限公司;

硬脂酰乳酸钠(SSL):纯度 99%,无锡市百端多化工有限公司;

NaOH:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

石油醚:分析纯,沸程 30~60 °C,国药集团化学试剂有限公司;

自封袋:聚乙烯(PE)树脂,厚度 0.12 mm,河源市华丰塑料有限公司。

1.2 主要仪器与设备

差示扫描量热仪:Q2000 型,美国 TA 仪器公司;

索氏提取系统:Foss SCINOST310 型,杭州嘉维创新科技有限公司;

大容量低速离心机:L530 型,长沙维尔康湘鹰离心机有限公司;

电热鼓风干燥箱:101 型,北京市永光明医疗仪器有限公司;

多功能电磁炉:C21-SK210 型,广东美的生活电器制造有限公司;

小型电动压面机:DHH-180A 型,永康市海鸥电器有限公司;

电热恒温培养箱:DH-360AB(303-1AB)型,北京中兴伟业仪器有限公司;

电子天平:JE602 型,上海浦春计量仪器有限公司。

1.3 方 法

1.3.1 鲜湿面制作 称取 100 g 面粉,配置盐水和面液(2 g 盐,31 g 水),将其缓慢、均匀加到面粉中,和面约 5 min,使面

粉吸水均匀。再于 30~35 °C 恒温培养箱中熟化 30 min。取出立即用压面机压片,压延 6 次,使得面片均匀,表面光滑,面片厚度 1 mm,最后切成宽为 3 mm 的面条。然后在沸水中蒸煮 3 min,立刻捞出用冷水淋洗 1 min,再将面条沥干水,逐根挑出,装入 8 号自封袋,4 °C 密封保存。按照方法 1.3.5 进行 DSC 分析。

1.3.2 添加乳化剂的鲜湿面制作 称取 100 g 面粉,配置盐水和面液(2 g 盐,31 g 水),将 0.2%(相对于面粉质量)配比的 SSL 及 0.10% 的 β -CD 分别加入和面液中,缓慢、均匀加入面粉中,同 1.3.1 所述进行和面,熟化,压面,切面,蒸煮水洗,沥干水后逐根挑出装入 8 号自封袋,4 °C 密封保存。按照方法 1.3.5 进行 DSC 分析。

1.3.3 脱蛋白鲜湿面制作 为了排除蛋白质对试验的干扰,对试验用面粉分别进行脱蛋白处理,脱脂处理。3 组鲜湿面进行对比分析,从而更好地探析 DSC 扫描 100 °C 以上形成的新物相。

用大量的 2% NaOH 溶液浸泡面粉,3 000 r/min 离心 10 min,倒去上清液,再加入 2% NaOH 溶液浸泡,离心,重复 3 次,最后用水洗 3 次,使 pH 值为中性。在干燥箱中 40 °C 干燥。按照 1.3.1 和 1.3.2 所述分别制作脱蛋白的 CK 组、SSL 组和 β -CD 组鲜湿面。

1.3.4 脱脂鲜湿面制作 每次称取 10 g 面粉,用适量石油醚在索氏提取系统中提取,取出于 40 °C 干燥箱中干燥,得脱脂面粉。按照 1.3.1 和 1.3.2 所述分别制作脱脂的 CK 组、SSL 组和 β -CD 组鲜湿面。

1.3.5 鲜湿面热力学特性测定 用专用的镊子取适量待测的鲜湿面样品(<10 mg)放进 DSC 坩埚中,压平,使之均匀地平铺于坩埚中,压盖密封,4 °C 储藏 2 周,于 25 °C 下进行 DSC 测定。设定升温程序:扫描温度范围为 30~140 °C,升温速率均为 10 °C/min。测定时以空坩埚作为参照,载气为氮气,流速 50 mL/min。每组样品重复测试 2 次,取平均值。测得重结晶融化起始温度(T_0)、重结晶融化顶点温度(T_P)、重结晶融化终止温度(T_c)、糊化焓(ΔH_0)、老化焓(ΔH)。

1.3.6 统计分析 试验数据利用 17.0 版 SPSS 单因素方差分析(ANOVA)进行处理。

2 结果与分析

2.1 两种乳化剂对鲜湿面糊化特性的影响

鲜湿面糊化实质是在蒸煮过程中淀粉受热吸水膨胀,分子间和分子内氢键断裂,淀粉分子扩散。在此过程中有序的晶体向无序的非晶体转化,并且伴随有能量的变化,其在 DSC 分析图谱上表现为吸热峰。由图 1 可知,鲜湿面在加热过程中,随着温度的升高,淀粉逐渐到达糊化初始温度,其中 CK 组和添加乳化剂的鲜湿面组在 60 °C 左右都出现了一个相变峰,即支链淀粉解体峰,淀粉发生糊化;温度继续升高到 90 °C 以上,又开始出现一个相变峰,这是一个复合物峰,且添加乳化剂的鲜湿面峰顶点温度比 CK 组稍微高一些,说明乳化剂和淀粉之间形成的这种新的物相很稳定,需要更高的温度才能解体;同时,图谱曲线上 SSL 和 β -CD 添加组的热

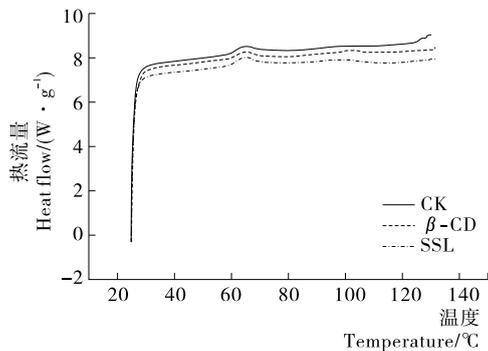


图 1 未处理 CK 组和乳化剂添加组糊化 DSC 曲线
Figure 1 Gelatinized DSC curves of untreated CK and emulsifier added groups

焓值也都比 CK 组要高一些。

未处理、脱蛋白、脱脂的面粉制成的鲜湿面在 DSC 扫描中所得的糊化相变温度和糊化焓值见表 1。由表 1 可知,不同处理的鲜湿面都出现了两个糊化峰。峰 I 范围为 50~75 °C,峰 II 范围为 80~110 °C。表 1 中未处理组峰 I:CK 组的 T_p 在 64.40 °C 左右,而添加了 SSL 和 β -CD 的鲜湿面 T_p 均有不同程度的降低($P < 0.05$),可能是乳化剂促使支链淀粉的螺旋结构失稳,结晶区糊化温度要求随之降低^[14],这与 Anil Gunaratne 等^[14]采用 DSC 研究 β -CD 和羟丙基 β -环糊精对谷物、块茎、根提取的淀粉的影响结果类似;而比较其 ΔH_0 ,可知添加了 SSL 和 β -CD 的 ΔH_0 都大于 CK 组($P < 0.05$),可能是部分直链淀粉与乳化剂结合成复合物,使得淀粉在膨胀、糊化时吸收更多的热量^[15]。未处理组峰 II:乳化剂添加组的 T_p 大于 CK 组($P < 0.05$),说明乳化剂和直链淀粉之间形成了很稳定的复合物,需要吸收更多的热量,这与 Anil Gunaratne 等^[14]得出结果存在差异,原因可能是 Anil Gunaratne 用的是天然淀粉,残留的脂质太少,而本人用的是小麦粉制成的鲜湿面体系,仍有脂质存在。

表 1 中脱蛋白处理的 CK、添加 SSL 和 β -CD 的鲜湿面,各自与未处理的这 3 组对应地做比较(脱蛋白 CK 组与未处理 CK 组比较,SSL、 β -CD 添加组同理进行比较)。峰 I:

相对于未处理的面,脱蛋白处理的 T_0 显著降低($P < 0.05$),并且降低了 7.39~10.12 °C; ΔH_0 也有显著降低($P < 0.05$),降低了 0.96~1.16 J/g,可能是蛋白质争夺淀粉糊化所需的可利用水分,脱蛋白之后不再竞争可利用水分,使得淀粉更容易糊化^[16];也可能是小麦粉中的面筋蛋白在糊化过程中形成网络结构,淀粉颗粒被面筋网络包住,阻碍了淀粉颗粒吸水糊化,所以当小麦粉中蛋白质含量很小时淀粉更容易发生糊化^[17]。峰 II: T_p 和 ΔH_0 稍有增大,但总体上没有显著差异。

表 1 中脱脂处理的 CK、添加 SSL 和 β -CD 的鲜湿面,各自与未处理的这 3 组对应地做比较。峰 I:糊化温度变化总体上无显著差异, ΔH_0 稍有增大。峰 II: ΔH_0 显著升高($P < 0.05$),增大了 0.89~1.14 J/g,可能是淀粉糊化时直链淀粉-脂复合物的形成过程会放热,使糊化热熔降低,而脱脂后无法形成这种复合物,所以糊化过程所需要的热能会高于未脱脂处理的^[18]。综上所述,添加了 SSL 和 β -CD 的鲜湿面淀粉的糊化焓值 ΔH_0 均显著高于 CK 组,并且脱蛋白和脱脂都对鲜湿面淀粉的糊化特性有显著影响。

2.2 两种乳化剂对鲜湿面老化特性的影响

鲜湿面在货架期内淀粉有重结晶过程,相邻的淀粉分子会发生重排结合成晶体。表 2、3 为鲜湿面在 4 °C 下储藏不同天数的老化温度和老化焓值。由表 2、3 可知,9 组面都有两个 DSC 吸热峰,既有两种结晶融化。峰 I 的老化温度大致为 50~60 °C,峰 II 老化温度大致为 90~120 °C,这与丁文平等^[19]研究大米淀粉老化特性的结果类似。将表 2 与上述表 1 对比可知,热焓比糊化时的热焓要小很多,解体温度也提前了,可能老化并不完全是糊化的逆过程,即重结晶形成的结构和原来淀粉的结构是不同的,老化的淀粉由于形成的结晶结构脆弱,所以比原淀粉的糊化焓和糊化温度均低^[20]。

未处理组:从表 2 中可以看出随着储藏时间的延长, ΔH 逐渐增加;且储藏 14 d 后,添加 SSL 的鲜湿面支链淀粉的 ΔH 从 2.32 J/g 降低到了 1.76 J/g ($P < 0.05$),添加 β -CD

表 1 不同处理的鲜湿面糊化温度和热焓值[†]

Table 1 The gelatinization temperature and enthalpy of fresh noodles were treated differently

处理	峰 I				峰 II			
	$T_0/^\circ\text{C}$	$T_p/^\circ\text{C}$	$T_c/^\circ\text{C}$	$\Delta H_0/(\text{J} \cdot \text{g}^{-1})$	$T_0/^\circ\text{C}$	$T_p/^\circ\text{C}$	$T_c/^\circ\text{C}$	$\Delta H_0/(\text{J} \cdot \text{g}^{-1})$
未处理								
CK	61.17 ± 0.03 ^a	64.40 ± 0.31 ^a	72.13 ± 0.03 ^a	3.40 ± 0.03 ^b	88.20 ± 0.07 ^a	94.70 ± 0.21 ^c	102.70 ± 0.33 ^c	0.93 ± 0.03 ^c
SSL	56.86 ± 0.14 ^c	62.09 ± 0.17 ^b	71.50 ± 0.31 ^a	3.69 ± 0.06 ^a	88.03 ± 0.03 ^{ab}	97.29 ± 0.10 ^a	105.84 ± 0.17 ^c	1.13 ± 0.16 ^c
β -CD	59.13 ± 0.71 ^b	61.36 ± 0.25 ^b	70.71 ± 0.29 ^{ab}	3.82 ± 0.04 ^a	87.48 ± 0.08 ^d	97.50 ± 0.33 ^a	107.40 ± 0.35 ^b	1.36 ± 0.14 ^b
脱蛋白								
CK	53.78 ± 0.27 ^d	61.42 ± 0.41 ^b	67.95 ± 0.06 ^d	2.24 ± 0.16 ^d	86.42 ± 0.04 ^c	96.63 ± 0.03 ^b	104.43 ± 0.30 ^d	1.15 ± 0.17 ^{bc}
SSL	48.60 ± 0.21 ^e	56.30 ± 0.23 ^d	67.31 ± 0.27 ^d	2.62 ± 0.01 ^c	87.86 ± 0.04 ^c	98.38 ± 0.51 ^a	108.07 ± 0.30 ^b	1.36 ± 0.18 ^b
β -CD	49.01 ± 0.72 ^e	60.11 ± 0.55 ^{bc}	66.13 ± 0.04 ^e	2.86 ± 0.04 ^c	88.30 ± 0.07 ^a	97.71 ± 0.30 ^a	107.52 ± 0.30 ^b	1.89 ± 0.11 ^{ab}
脱脂								
CK	59.73 ± 0.31 ^b	64.07 ± 0.03 ^a	69.87 ± 0.31 ^b	3.64 ± 0.03 ^a	88.10 ± 0.10 ^a	97.98 ± 0.34 ^a	106.34 ± 0.29 ^{bc}	1.82 ± 0.08 ^b
SSL	54.34 ± 0.27 ^d	63.22 ± 0.30 ^a	69.13 ± 0.07 ^{bc}	3.86 ± 0.04 ^a	87.53 ± 0.01 ^d	98.13 ± 0.17 ^a	109.88 ± 0.08 ^a	2.27 ± 0.23 ^a
β -CD	58.99 ± 0.03 ^b	62.45 ± 0.35 ^{ab}	71.60 ± 0.33 ^a	3.90 ± 0.11 ^a	85.94 ± 0.04 ^f	97.33 ± 0.44 ^a	109.84 ± 0.11 ^a	2.36 ± 0.06 ^a

† 相同字母表示同列无显著差异;不同小写字母表示同列存在显著差异, $P < 0.05$ 。

的鲜湿面支链淀粉的 ΔH 从2.32 J/g降低到了1.73 J/g ($P<0.05$),这与 Xu Jin 等^[21]利用 DSC 研究弹性糊精(SD)对糊化淀粉老化的影响结果类似,可能是乳化剂与直链淀粉形成的复合物改进了淀粉颗粒周围的性质并减慢支链淀粉再结晶速率^[22],延缓老化,可以表明乳化剂对鲜湿面淀粉长期老化具有显著的抑制作用。比较表3中储藏14 d的鲜湿面峰II的解体温度和 ΔH ,可以看出 SSL 和 β -CD 添加组相比 CK 组的解体温度和 ΔH 都有所增加($P<0.05$),分别使 CK 组 ΔH 从1.42 J/g增大到1.93 J/g和1.92 J/g,这与 Y. Q. Tian 等^[23]利用 DSC 研究 β -CD 对储藏的面包老化特性影响结果一致,说明 SSL 和 β -CD 增加了新型络合物的焓解离;CK 组和乳化剂添加剂组它们所形成的直链淀粉-脂质复合物可能不一样,CK 组形成的是直链淀粉-脂质复合物,而加了乳化剂之后其会和脂质相互竞争与直链淀粉作用,而形成新的复合物^[24];也可以看出 SSL 和 β -CD 对鲜湿面的抑制作用效果不同,可能是它们自身的结构特征不同^[25]。有研究^[26]表明在直链淀粉分子内氢键作用下发生链卷曲,形成 α -螺旋状结构,这种 α -螺旋状结构内部形成一个疏水腔,具

有疏水作用。SSL 和 β -CD 的疏水基团能进入 α -螺旋结构,并与淀粉以疏水方式结合,形成一种稳定的络合物,这种稳定的晶体强制直链淀粉处于不规则状态,从而抑制直链淀粉粒之间再结晶发生老化。

脱蛋白组:将表2中脱蛋白的3组面各自对应未处理的3组面可知,储藏14 d,峰I支链淀粉的 ΔH 稍有增大;表3中,对比未处理组,脱蛋白组峰II的 T_p 要高些;但储藏14 d的 ΔH 基本没有变化。原因可能是蛋白质与淀粉以复合形式存在^[27],脱蛋白后淀粉-蛋白之间的结合减弱,淀粉更容易重结晶,使得重结晶融化更难。

脱脂组:将表2中脱脂的3组面各自对应未处理的3组面可知,储藏14 d,峰I支链淀粉的 ΔH 基本没有变化。表3中,对比未处理与脱蛋白组,脱脂鲜湿面峰II的 T_p 和 ΔH 都增大($P<0.05$)。原因可能是脱脂后,直链淀粉-脂质复合物的形成减少,直链淀粉重结晶更多,融化需要的焓值变大(脱脂后形成的直链淀粉-脂质复合物大多是直链淀粉-乳化剂复合物)。

将表2中各处理对比可知:未处理组、脱蛋白组、脱脂组

表2 鲜湿面在4℃下储藏不同天数的老化温度和老化焓值(峰I)[†]

Table 2 Theretrogradation temperature and enthalpy of fresh noodles untreated were stored at 4℃ for different days(peak I)

处理	1 d		7 d		14 d		
	$T_p/^\circ\text{C}$	$\Delta H/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$	$T_p/^\circ\text{C}$	$\Delta H/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$	$T_p/^\circ\text{C}$	$\Delta H/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$	
未处理	CK	54.26±0.16 ^a	0.42±0.03 ^b	55.93±0.44 ^a	2.01±0.16 ^a	55.94±0.11 ^a	2.32±0.14 ^a
	SSL	53.84±0.20 ^{ab}	0.40±0.04 ^b	55.03±0.16 ^a	1.67±0.07 ^a	55.29±0.16 ^b	1.76±0.14 ^b
	β -CD	54.31±0.08 ^a	0.36±0.01 ^b	55.66±0.28 ^a	1.61±0.08 ^a	56.31±0.16 ^a	1.73±0.08 ^b
脱蛋白	CK	54.67±0.71 ^a	0.84±0.03 ^a	55.17±0.23 ^a	2.01±0.06 ^a	54.18±0.08 ^c	2.52±0.17 ^a
	SSL	53.85±0.34 ^b	0.83±0.03 ^a	53.19±0.11 ^b	1.61±0.16 ^a	55.57±0.10 ^b	1.98±0.06 ^b
	β -CD	54.22±0.14 ^a	0.77±0.01 ^a	52.21±0.28 ^c	1.56±0.06 ^a	53.95±0.14 ^c	1.88±0.14 ^b
脱脂	CK	54.84±0.31 ^a	1.03±0.14 ^a	55.17±0.24 ^a	2.07±0.08 ^a	54.18±0.08 ^c	2.31±0.16 ^a
	SSL	54.85±0.21 ^a	0.84±0.01 ^a	53.19±0.23 ^b	1.65±0.14 ^a	55.57±0.16 ^b	1.93±0.04 ^b
	β -CD	53.22±0.29 ^b	0.77±0.01 ^a	52.21±0.06 ^c	1.58±0.31 ^a	53.95±0.17 ^c	1.86±0.07 ^b

† 相同字母表示同列无显著差异;不同小写字母表示同列存在显著差异, $P<0.05$ 。

表3 鲜湿面在4℃下储藏不同天数的老化温度和老化焓值(峰II)[†]

Table 3 Theretrogradation temperature and enthalpy of fresh noodles untreated were stored at 4℃ for different days(peak II)

处理	1 d		7 d		14 d		
	$T_p/^\circ\text{C}$	$\Delta H/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$	$T_p/^\circ\text{C}$	$\Delta H/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$	$T_p/^\circ\text{C}$	$\Delta H/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$	
未处理	CK	96.28±0.17 ^e	0.52±0.03 ^c	95.60±0.28 ^f	1.27±0.06 ^c	95.97±0.14 ^b	1.42±0.03 ^c
	SSL	99.24±0.08 ^d	0.63±0.03 ^c	103.12±0.28 ^d	1.75±0.14 ^a	104.14±0.25 ^e	1.93±0.04 ^b
	β -CD	100.57±0.44 ^c	0.57±0.08 ^c	106.93±0.30 ^b	1.72±0.01 ^a	106.87±0.23 ^d	1.92±0.08 ^b
脱蛋白	CK	100.36±0.14 ^c	0.86±0.08 ^b	100.89±0.10 ^e	1.28±0.08 ^c	100.40±0.21 ^e	1.51±0.03 ^c
	SSL	100.69±0.23 ^c	1.04±0.17 ^a	105.22±0.30 ^c	1.76±0.08 ^a	106.83±0.04 ^d	1.96±0.06 ^b
	β -CD	101.94±0.06 ^b	0.91±0.03 ^b	108.04±0.27 ^b	1.81±0.10 ^a	108.05±0.21 ^c	1.94±0.06 ^b
脱脂	CK	100.74±0.17 ^c	0.93±0.03 ^a	102.89±0.14 ^d	1.61±0.07 ^b	102.40±0.37 ^f	1.97±0.06 ^b
	SSL	100.69±0.18 ^c	1.16±0.07 ^a	105.22±0.28 ^c	2.11±0.16 ^a	109.83±0.21 ^b	2.53±0.04 ^a
	β -CD	105.94±0.30 ^a	1.03±0.10 ^a	111.04±0.04 ^a	1.95±0.04 ^a	111.25±0.07 ^a	2.46±0.08 ^a

† 相同字母表示同列无显著差异;不同小写字母表示同列存在显著差异, $P<0.05$ 。

的鲜湿面储藏 14 d 支链淀粉 ΔH 无显著差异;而表 3 中各处理对比可知,脱脂组峰 II 和其他两组有显著差异($P < 0.05$);并且未处理 CK 组和添加剂组之间存在显著差异,由此可知未处理的鲜湿面体系的峰 II 是在 β -CD 掺入小麦淀粉的情况下形成了直链淀粉-乳化剂-脂质复合物峰,并且 β -CD 破坏了直链淀粉-脂质复合物的形成(田耀奇等^[28]用 DSC 分析出短期回生中 β -CD 与支链淀粉结晶缓慢,很少形成复合物峰;并且支链淀粉直链状螺旋结构少,与乳化剂形成复合物能力较小;用 DSC 很难检测到支链淀粉-脂质复合物^[29],因此本研究不深入探讨支链淀粉和脂质的作用);说明乳化剂抑制鲜湿面抗老化就是作用于直链淀粉重结晶过程,与直链淀粉形成了直链淀粉-脂质-乳化剂复合物,阻止直链淀粉之间的重结晶。

3 结论

通过本研究得出 DSC 扫描 30~140 °C 出现了两个相变峰,峰 I 由支链淀粉引起,峰 II 由直链淀粉-乳化剂-脂质复合物引起。乳化剂能够降低鲜湿面支链淀粉的老化焓,使得鲜湿面的长期老化得到抑制;乳化剂组和 CK 组的复合物老化焓有显著差异,并且脱蛋白后复合物老化焓无显著差异,而脱脂后复合物老化焓显著升高,说明乳化剂与直链淀粉形成了直链淀粉-乳化剂-脂质复合物,破坏了直链淀粉-脂质复合物的形成,阻碍了直链淀粉结晶,从而抑制鲜湿面货架期内品质老化。相对于肖东等^[30]的研究,本研究经过脱蛋白脱脂处理的对比,并进行 100 °C 以上扫描,进行了更深层次的研究,得出了直链淀粉-乳化剂-脂质复合物抑制鲜湿面老化的新结论,同时也证实了田耀奇^[31]的研究结论。但是本研究没有出现直链淀粉的相变峰,后续应该进行更高温度的扫描,或者结合其他现代高新技术来解决这个问题。

参考文献

- [1] 汪霞丽,沈娜,李亦蔚,等.方便湿米粉的加工工艺及抗老化研究[J].食品与机械,2012,28(4):197-198.
- [2] 汪霞丽,许宙,卜汉萍,等.物性修饰抗方便湿米粉老化的研究[J].食品与机械,2013,29(6):15-16.
- [3] ZHOU Yi-bin, WANG Dong-feng, ZHANG Li, et al. Effect of polysaccharides on gelatinization and Retrogradation of wheat starch[J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22: 505-512.
- [4] CHEN Long, REN Fei, ZHANG Zi-pei, et al. Effect of pullulan on the short-term and long-term retrogradation of rice starch[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 115: 415-421.
- [5] 沙坤,张泽俊,刘海杰,等.贮存温度对馒头硬化和淀粉回生的影响研究[J].食品科技,2009,34(2):146-148.
- [6] 王娟,孙彩玉,杜弘坤,等.乳酸改性工艺对糯米粉抗老化特性的影响[J].食品与机械,2010,26(1):26-30.
- [7] 谢定,刘永乐,单阳,等.保鲜方便米粉抗老化研究[J].食品与机械,2006,22(2):8-10.
- [8] 吴恭勤.主食方便食品之淀粉老化问题[J].食品科学,1984(9):42-43.
- [9] 石振兴,熊捷,叶君. FT-IR 研究 CMC、MCC 对小麦淀粉的抗回生规律[J].现代食品科技,2014,30(3):33-37.
- [10] 李清筱. β -环糊精抑制面包老化及其机制初步分析[J].食品与发酵工业,2009,35(3):124-126.
- [11] 张慧慧,周杨,郑建仙.复合改良剂对油条抗老化的影响[J].食品与机械,2013,29(6):22-25.
- [12] 肖东,周文化,邓航,等.3种食品添加剂对鲜湿面抗老化作用研究[J].食品与机械,2015,31(6):142-145.
- [13] ELISABETH Roca, VALE rie Guillard, STEPHANE Guilber, et al. Moisture migration in a cereal composite food at high water activity: Effects of initial porosity and fat content[J]. Journal of Cereal Science, 2006, 43: 144-151.
- [14] ANIL Gunaratne, HAROLD Corke. Influence of unmodified and modified cycloheptaamylose (β -cyclodextrin) on transition parameters of amylose-lipid complex and functional properties of starch[J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 68: 226-234.
- [15] 梁丽松,林顺顺,张柏林,等.脱脂、脱蛋白处理对板栗粉膨胀势的影响[J].中国农业科学,2012,45(18):3 820-3 831.
- [16] 彭凯,吴薇,龙蕾,等.非淀粉成分对淀粉糊化特性的影响[J].粮食与饲料工业,2015(5):41-43.
- [17] 姜小琴,李小军,冯素伟,等.蛋白质和淀粉对面团流变学特性和淀粉糊化特性的影响[J].食品科学,2014,35(1):44-48.
- [18] 赵九永,陆启玉,姜薇莉,等.脱脂对小麦粉理化特性的影响[J].中国粮油学报,2010,25(11):14-17.
- [19] 丁文平,檀亦兵,丁霄霖.水分含量对大米淀粉糊化和回生的影响[J].粮食与饲料工业,2003(8):44-47.
- [20] 周虹先.盐对淀粉糊化及老化特性的影响[D].武汉:华中农业大学,2014:6-7.
- [21] XU Jin, FAN Xue-rong, NING Ya-wei, et al. Effect of spring dextrin on retrogradation of wheat and corn starch gels[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 33: 361-367.
- [22] 李雨露.莲子淀粉老化及脂质抗老化机理的研究[D].南昌:南昌大学,2015:56-60.
- [23] TIAN Y Q, LI Y, JIN Z Y, et al. β -Cyclodextrin (β -CD): A new approach in bread staling[J]. Thermochemica Acta, 2009, 489: 22-26.
- [24] GUNARATNE A, CORKE H. Influence of unmodified and modified cycloheptaamylose (β -cyclodextrin) on transition parameters of amylose-lipid complex and functional properties of starch[J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 68: 226-234.
- [25] 陈晨.影响面包老化因素及抗老化途径[J].粮食与油脂,2007(12):17-18.
- [26] 姜培彦.淀粉-脂质复合物形成及其在食品中作用[J].粮食与油脂,2007(6):7-9.
- [27] 肖满凤,徐晓辉,李宏升,等.大米蛋白对大米淀粉糊化特性及鲜湿米粉品质影响的研究[J].食品科技,2016,41(4):168-170.
- [28] 田耀旗,徐学明,金征宇,等. β -环糊精抑制淀粉回生初探[J].食品科学,2008,29(6):49-51.
- [29] 姜培彦,马晓军.脂质与淀粉相互作用及其对淀粉性质影响[J].粮食与油脂,2007(11):7-9.
- [30] 肖东,周文化,邓航,等.鲜湿面抗老化剂复配工艺优化及老化动力学[J].农业工程学报,2015,31(23):265-266.
- [31] 田耀旗.淀粉回生及其控制研究[D].无锡:江南大学,2011:56-61.