

共轭亚油酸对玉米淀粉理化性质的影响

王慧云¹, 王文敬¹, 陈海华¹, 王雨生^{1,2}

(1. 青岛农业大学食品科学与工程学院, 山东青岛 266109) (2. 青岛农业大学学报编辑部, 山东青岛 266109)

摘要: 采用快速黏度分析仪、差示扫描量热仪和动态流变仪研究了共轭亚油酸对3种不同直链淀粉含量的玉米淀粉糊化性质、热学性质和流变学性质的影响。研究表明, 添加相同量的共轭亚油酸使普通玉米淀粉的峰值黏度等黏度值增加, 对高直链玉米淀粉和蜡质玉米淀粉的糊化性质影响不显著。添加共轭亚油酸使普通玉米淀粉糊化焓值增加, 添加量为1%时其糊化焓值增加幅度最大。添加2%的共轭亚油酸使高直链玉米淀粉和蜡质玉米淀粉糊化焓值降低, 其中蜡质玉米淀粉糊化焓值降低尤为明显, 下降了17%。添加2%的共轭亚油酸, 可抑制高直链玉米淀粉的短期老化和长期老化, 老化率分别由0.45、0.63降低到0.31、0.55。添加共轭亚油酸增加3种玉米淀粉的表观黏度和稠度系数, 增加普通玉米淀粉和高直链玉米淀粉的贮能模量和损耗模量, 降低其 $\tan\delta$ 值, 促进其形成弹性凝胶。

关键词: 共轭亚油酸; 玉米淀粉; 糊化性质; 热学性质; 流变性质

文章编号: 1673-9078(2014)8-94-99

Effect of Conjugated Linoleic Acid on Physical Properties of Corn Starch

WANG Hui-yun¹, WANG Wen-jing¹, CHEN Hai-hua¹, WANG Yu-sheng^{1,2}

(1. College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China) (2. Editorial Department of Journal of Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: Effect of conjugated linoleic acid on the pasting properties, thermal properties and rheological properties of corn starches with different amylose content were studied by Rapid Viscosity Analyser, Differential Scanning Calorimetry and Dynamic Rheometer. The results showed that with the equal addition of conjugated linoleic acid, the peak viscosity and some other viscosity value of common corn starch was increased. Gelatinization enthalpy of common starch was enhanced and reached the highest with addition of 1% conjugated linoleic acid. With 2% conjugated linoleic acid, gelatinization enthalpy of high-amylose corn starch and waxy corn starch was decreased. Further more, the gelatinization enthalpy of waxy corn starch was decreased significantly. In addition, short-term and long-term retrogradation of high-amylose corn starch was significantly inhibited and the aging rate was decreased from 0.45, 0.63 to 0.31, 0.55 respectively. With the addition of conjugated linoleic acid, apparent viscosity and consistency coefficient of three corn starches were increased. Storage modulus and loss modulus of common corn and high-amylose corn starch were increased, while $\tan\delta$ was decreased for the addition of conjugated linoleic acid. Therefore, common corn and high-amylose corn starch could form elastic gels.

Key words: conjugated linoleic acid; common corn starch; pasting properties; thermal properties; rheological properties

共轭亚油酸 (Conjugated Linoleic Acid, CLA), 是亚油酸的同分异构体, 属于一种功能性食品成分, 对预防脑血栓、脑溢血、高血压、动脉粥样硬化和冠心病有重要作用^[1]。共轭亚油酸的突出功能使其成为国内外学者的研究热点, 近年来共轭亚油酸作为添加剂在食品中的应用也引起了研究者的广泛关注。

普通玉米淀粉来源广泛、成本低廉, 是常用的增

稠剂、胶凝剂。高直链淀粉具有特殊的分子结构和较好的成膜性, 常被用于食品的质地改善等。蜡质玉米淀粉中支链淀粉含量高达95%以上, 具有较高的黏度和透明度, 广泛应用于焙烤食品、膨化食品等。玉米淀粉作为常用的食品添加剂广泛应用于在食品中, 可能与食品中其他成分发生相互作用, 从而引起食品品质的改变。

脂类物质是食品中另一重要成分, 其与淀粉之间的相互作用对淀粉基食品的品质有重要影响。研究表明, 脂质与直链淀粉复合会影响淀粉颗粒的吸水润胀, 从而影响淀粉的糊化、流变、老化等特性^[2]。Zhou等^[3]研究表明, 添加硬脂酸显著降低大米淀粉的峰值黏度、老化焓, 而添加亚油酸对大米淀粉的理化性质影

收稿日期: 2014-03-08

基金项目: 山东省高等学校优秀中青年骨干教师国际合作培养项目 (SD-20130875); 2012年度国家级大学生创新创业训练计划项目 (SRTP-201210435010)

作者简介: 王慧云(1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品化学

通信作者: 陈海华(1973-), 女, 博士, 教授, 研究方向为食品化学

响较小。Deffenbaugh 等^[4]研究表明,蔗糖酯使玉米淀粉的峰值黏度、末值黏度增加。Singh 等^[5]研究表明,添加豆蔻酸和硬脂酸使玉米淀粉凝胶的贮能模量降低。以上研究表明,添加脂肪酸对淀粉性质的影响显著。从目前的研究来看,关于共轭亚油酸对不同直链淀粉含量的玉米淀粉理化性质的影响,尚未见报道。

因此,本文以不同直链淀粉含量的玉米淀粉为原料,采用快速黏度分析法、差示扫描量热法及动态流变仪法系统地探讨了不同添加量的共轭亚油酸对玉米淀粉理化性质的影响,同时研究了相同添加量下共轭亚油酸对不同直链淀粉含量的玉米淀粉理化性质的影响。研究结果不仅可以为淀粉基食品的生产提供理论依据,而且拓宽了脂肪酸和淀粉的应用范围。

1 材料与方法

1.1 试验材料

普通玉米淀粉(CCS,直链淀粉含量 35.30%):山东东都食品有限公司;高直链玉米淀粉(HACS,直链淀粉含量 59.8%):上海国民淀粉化学有限公司;蜡质玉米淀粉(WCS,直链淀粉含量 0%):山东华农食品有限公司;共轭亚油酸(CLA,纯度 80.3%):青岛澳海生物有限公司;其余试剂均为分析纯。

1.2 试验设备

RVA Starchmaster 快速黏度分析仪:澳大利亚 New-port 公司;DSC1 型差示扫描量热仪:瑞士梅特勒-托利多公司;MCR102 型动态流变仪:奥地利安东帕公司;752 型紫外可见分光光度计:上海光谱仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 CLA 对玉米淀粉糊化特性的影响

称取质量分数为 1%、2%、3% (以淀粉干基计)的 CLA 分散于 25 mL 蒸馏水中,再称取 2.5 g 玉米淀粉(干基重)分散于水-CLA 中,搅拌 15 min,得到 CLA 与玉米淀粉(CLA-CS)的混合物。参照参考文献^[6],采用快速黏度分析仪测其糊化性质,记录淀粉在糊化过程中的糊化温度(T)、峰值黏度(PV)、末值黏度(FV)、衰减值(BD)和回生值(SB)。

1.3.2 CLA 对淀粉热学性质的影响

称取一定质量的玉米淀粉和 CLA,配制成淀粉质量分数为 35%,CLA 质量分数为 1%、2%、3% (以淀粉干基计)的 CLA-CCS 复合体系,称取 30 mg 复合体系于 40 μ L 铝坩埚中,压盖后于常温平衡 1 h,待

测。测试条件:扫描温度范围为 40~100 $^{\circ}$ C,扫描速率为 10 $^{\circ}$ C/min。记录差示扫描量热仪吸热曲线上的糊化起始温度(T_o)、糊化峰值温度(T_p)、糊化终止温度(T_c)和糊化焓值(ΔH_g) 4 个特征参数。

将糊化后的铝坩埚样品置于 4 $^{\circ}$ C 下分别贮存 3 d、20 d,采用 DSC 进行扫描。测试条件:扫描温度范围为 25~85 $^{\circ}$ C,扫描速率为 10 $^{\circ}$ C/min。记录差示扫描量热仪吸热曲线上的老化焓值(ΔH_r),并计算老化率,计算公式如下:

$$R = H_r / H_g$$

1.3.3 CLA 对玉米淀粉流变学性质的研究

称取一定质量的玉米淀粉和 CLA,配制成淀粉质量分数为 4.5%,CLA 质量分数为 1%、2%、3% (以淀粉干基计)的 CLA-CS 复合物,沸水浴糊化 10 min,冷却至室温,待测。

静态流变性质测试:取适量样品于样品台,平行板直径 5 cm,设置间隙 1 mm,测试温度 25 $^{\circ}$ C,平衡 5 min 后,测定剪切速率 0.01 s^{-1} ~300 s^{-1} 内样品表观黏度(η)的变化。采用 Herschel-Bulkley 模型对数据点进行回归拟合,相关系数 R^2 表示方程拟合精度。

Herschel-Bulkley 方程如下:

$$\sigma = \sigma_0 + K\dot{\gamma}^n$$

注: σ 代表剪切应力,Pa; σ_0 代表屈服应力,Pa;K 代表稠度系数,Pa $\cdot s^n$; $\dot{\gamma}$ 为剪切速率, s^{-1} ;n 代表流体指数。

动态流变性质:取适量样品于样品台,平行板直径 5 cm,设置间隙 1 mm,固定应变 0.5%,平衡 5 min 后,测定振荡频率 0.1 Hz~10 Hz 内样品贮能模量(G')、损耗模量(G'')和损耗角正切值($\tan\delta$)的变化。

1.4 数据分析

采用 SPSS 17.0 统计分析软件对数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 CLA 对玉米淀粉糊化性质的影响

由表 1 可以看出,随着 CLA 添加量的增加,CCS 的糊化温度基本不变。这可能是由于在达到糊化温度之前,直链淀粉溶出较少,与 CLA 相互作用较弱,从而糊化温度变化不明显。Ravi^[8]等研究表明,单甘酯、硬脂酰乳酸钠、双乙酰酒石酸酯对小麦粉的糊化温度无明显影响,与本文研究结果一致。由表 1 还可以看出,相同的添加量下,CLA 可使 HACS 的糊化温度升高,WCS 的糊化温度基本不变。出现差异的原因可能是由于 3 种玉米淀粉中的直链淀粉含量不同。

HACS 中直链淀粉含量高, 易发生疏水相互作用而形成螺旋空腔, 将 CLA 包埋形成复合物^[7], 加大了糊化难度, 因此糊化温度升高。

表 1 CLA 对玉米淀粉糊化性质的影响

Table 1 Effect of CLA on the pasting properties of corn starch

	CLA 添加量/%	T/°C	PV/RVU	FV/RVU	BD/RVU	SB/RVU
CCS	0	77.70±0.60 ^c	145.71±1.50 ^c	145.92±2.20 ^b	26.88±2.50 ^c	27.08±3.00 ^b
	1	77.80±0.80 ^c	155.58±1.00 ^b	157.92±2.20 ^a	34.79±0.50 ^b	37.12±1.70 ^a
	2	77.70±0.10 ^c	157.45±1.30 ^b	160.58±1.80 ^a	35.88±1.00 ^b	39.00±1.50 ^a
	3	78.00±0.90 ^c	157.29±1.10 ^b	158.88±3.20 ^a	33.58±1.00 ^b	35.17±1.00 ^a
HACS	0	89.30±0.10 ^b	131.29±0.00 ^d	113.00±0.50 ^c	27.46±0.00 ^c	9.17±0.50 ^d
	2	90.50±0.20 ^a	133.38±1.30 ^d	111.92±1.10 ^c	27.83±0.40 ^c	7.00±0.20 ^e
WCS	0	72.80±0.00 ^d	242.58±4.00 ^a	114.79±1.90 ^c	140.83±0.80 ^a	13.04±1.20 ^e
	2	72.90±0.40 ^d	244.45±0.00 ^a	115.75±1.80 ^c	141.21±1.00 ^a	12.50±0.80 ^e

注: 不同的小写字母表示同一列之间存在显著性差异, 相同的小写字母表示同一列之间无显著性差异, $p < 0.05$, 下同。

与 CCS 相比, 添加 CLA 使 CCS 的峰值黏度增加, 而随 CLA 添加量的变化不大。Gelders 等^[9]研究表明, 添加二十二烷酸可使小麦淀粉和玉米淀粉的峰值黏度升高; Nierle 等^[10]研究表明, 添加油酸使小麦淀粉的峰值黏度增加, 与本文研究结果一致。然而也有不少学者报道, 添加脂肪酸可抑制淀粉颗粒的润胀, 降低其峰值黏度。如 Azizi 等^[11]报道的添加单甘脂、硬脂酰乳酸钠可降低小麦淀粉的峰值黏度; Zhou 等^[3]研究表明, 添加硬脂酸降低大米淀粉的峰值黏度。这可能是由于样品的制备方法不同而引起的差异。本文研究是将 CLA 与 CS 进行简单的物理混合再测定其性质, 而以上学者则将脂肪酸用有机溶剂溶解或加热等方式处理后与淀粉混合。

与 CCS 相比, 添加 CLA 使 CCS 的末值黏度增加。这可能是由于 CLA 与 CCS 的结合使得膨胀的淀粉颗粒不容易被搅拌破裂, 抗剪切的能力增强^[12]。本文结果与前人研究结果一致。Tang^[13]等研究表明, 脂肪酸的加入可使小麦淀粉的末值黏度增加; Zhou 等^[3]研究表明, 添加硬脂酸和亚油酸可增加小麦淀粉的末值黏度。

与 CCS 相比, 添加 CLA 使 CCS 的衰减值增加, 降低了其热稳定性。Ravi^[8]等研究表明, 添加单甘酯可增加小麦粉的衰减值, 这与本文研究结果一致。Zhou 等^[3]的研究指出, 尽管硬脂酸、亚油酸均使大米淀粉衰减降低, 但与硬脂酸相比, 添加亚油酸的大米淀粉热稳定性较差, 这说明脂肪酸的不饱和程度对脂肪酸-淀粉复合体系的热稳定性有不利影响。因此, 本文研究中 CLA 使 CCS 热稳定性降低可能与 CLA 中共轭双键的不稳定性有关。

与 CCS 相比, 添加 CLA 使 CCS 的回生值增加。

这可能是 CLA 促使 CCS 形成凝胶, 导致体系回生值增加。Zhou^[3]等研究表明, 添加亚油酸可使大米淀粉回生值显著升高。Gelders 等^[9]研究表明, 添加二十二烷酸可使小麦淀粉和玉米淀粉的回生值升高。这与本文研究结果一致。

由表 1 可以看出, 相同添加量的 CLA 对 HACS 和 WCS 的峰值黏度、末值黏度等黏度特性无明显影响。这可能是由于 HACS 中的直链淀粉与 CLA 形成了复合物, 与水分子之间的相互作用较弱, 从而其黏度变化不大。就 WCS 而言, 一方面可能是 CLA 与 WCS 中支链淀粉的结合能力较弱, 二者的结合所引起的黏度变化不易被 RVA 检测到; 另一方面可能是由于 CLA 与支链淀粉无相互作用。

2.2 CLA 对玉米淀粉热学性质的影响

由表 2 可以看出, 随着 CLA 添加量的增加, CCS 的糊化起始温度基本不变。这与 RVA 测试的 CCS 糊化温度基本不变的结果是一致的。添加相同量的 CLA, HACS 和 WCS 的糊化起始温度均保持不变。Zhou 等^[3]的研究表明, 添加硬脂酸和油酸对大米淀粉的糊化起始温度无显著影响, 这与本文的研究结果一致。

随着 CLA 添加量的增加, CCS 的糊化峰值温度略有增加, 当添加量为 3% 时, 体系的糊化峰值温度高于对照。添加相同量的 CLA、HACS 和 WCS 的糊化峰值温度基本不变。Zhou 等^[3]的研究表明, 添加硬脂酸和油酸对大米淀粉的糊化峰值温度无显著影响, 这与本文的研究结果一致。

随着 CLA 添加量的增加, CCS 的糊化终止温度先升高后降低, 但整体来说, 与不添加 CLA 的原定

粉无显著差异。添加相同量的 CLA、HACS 和 WCS 的糊化终止温度降低。这表明添加 CLA, HACS 和 WCS 的糊化进程缩短。Zhou 等^[3]报道指出, 添加硬

脂酸降低大米淀粉的糊化终止温度, 与此研究结果一致。

表 2 CLA 对玉米淀粉糊化性质的影响

Table 2 Effect of CLA on the gelatinization properties of corn starch

CLA 添加量/%	糊化性质				老化性质		
	T _g /°C	T _p /°C	T _f /°C	ΔH _g /(J/g)	R ₃	R ₂₀	
CCS	0	68.35±1.49 ^a	71.73±0.02 ^{bc}	78.08±0.41 ^{cd}	12.95±0.00 ^e	0.24±0.00 ^{cd}	0.76±0.05 ^a
	1	67.16±0.03 ^{ab}	71.54±0.12 ^c	77.56±0.09 ^{de}	14.20±0.01 ^b	0.26±0.05 ^c	0.56±0.03 ^{de}
	2	67.52±0.02 ^a	71.89±0.01 ^b	78.43±0.40 ^c	13.36±0.02 ^d	0.31±0.02 ^b	0.64±0.01 ^{cd}
	3	67.93±0.03 ^a	72.18±0.01 ^a	78.38±0.05 ^c	11.88±0.04 ^f	0.49±0.01 ^a	0.63±0.03 ^{cd}
HACS	0	65.82±0.09 ^c	70.68±0.11 ^d	77.46±0.17 ^e	11.22±0.78 ^g	0.45±0.01 ^a	0.63±0.00 ^{cd}
	2	65.83±0.16 ^c	70.55±0.12 ^d	76.68±0.28 ^f	10.00±0.04 ^h	0.31±0.01 ^b	0.55±0.02 ^e
WCS	0	65.65±0.26 ^c	71.52±0.14 ^c	80.70±0.18 ^a	16.56±0.14 ^a	0.19±0.00 ^d	0.67±0.03 ^{bc}
	2	66.01±0.08 ^c	71.53±0.07 ^c	79.50±0.15 ^b	13.74±0.17 ^c	0.24±0.02 ^{cd}	0.75±0.03 ^a

随着 CLA 添加量的增加, CCS 的糊化焓值先增加后降低。焓值增加可能是因为 CLA 覆盖在 CCS 表面形成阻水膜, CCS 要克服 CLA 的阻水作用才能发生糊化, 从而需要消耗更多热量。焓值降低可能是由于过量的 CLA 在高温下发生氧化, 释放出的热量抵消了一部分淀粉糊化吸收的热量。与未添加 CLA 的原淀粉相比, 添加 2% 的 CLA, HACS 和 WCS 的糊化焓值明显降低, 这可能是由于 CLA 与直链淀粉及部分支链淀粉都发生了相互作用, 形成复合物释放热量, 使得 HACS 和 WCS 的糊化焓值降低。由此可以推断, RVA 测试中, CLA 对 WCS 黏度无影响是由于二者结合引起黏度的变化较微弱, 不易被 RVA 检测到, 而二者结合所发生的热量变化却可以被 DSC 检测到, 表现为糊化焓值的降低。本文研究结果与前人研究结果一致。Huang 等^[14]研究表明, 单甘脂使 WCS 的糊化焓值降低。冯晖等^[15]研究表明, 硬脂酸可降低糯米淀粉的糊化焓值。

随着 CLA 添加量的增加, CCS 的 R₃ 逐渐增加。表明 CLA 促进了 CCS 的短期老化, 这与 RVA 测试中

CLA 使 CCS 回生值增加的结果是一致的。添加 2% 的 CLA, WCS 的 R₃ 略微增加, HACS 的 R₃ 明显降低。这可能是由于 HACS 中大量的直链淀粉与 CLA 相互作用, 抑制了 HACS 中直链淀粉的络合, 从而防止其老化。

添加 CLA, CCS 和 HACS 的 R₂₀ 明显降低, 表明添加 CLA 可有效抑制 CCS 和 HACS 的长期老化, 但当 CLA 添加量超过 2% 时, R₂₀ 升高, 但仍明显低于对照。冯晖等^[15]研究表明, 硬脂酸和油酸均可抑制糯米淀粉糊存放 18 天的老化。Germani 等^[16]研究表明,

脂类物质可有效抑制玉米淀粉的老化。与本文研究结果一致。长期老化是支链淀粉的重结晶引起的。随着放置时间的延长, CLA 与 CCS 的支链淀粉充分作用, 抑制了其结晶。对于 WCS 而言, 2% 的 CLA 不足以与支链淀粉充分作用以抑制其老化。随着放置时间延长, 支链淀粉也会发生重结晶, 从而使 WCS 的 R₂₀ 增加。

2.3 CLA 对玉米淀粉流变学性质的影响

2.3.1 CLA 对玉米淀粉静态流变性质的影响

由表 3 可以看出, 随着剪切速率的增加, CLA-CS 复合体系的表观黏度降低, 表现出剪切变稀的性质。随着 CLA 添加量的增加, CCS 的表观黏度增加, 这与 RVA 测试的 CLA 使 CCS 的峰值黏度、末值黏度等黏度增加的特性是一致的。添加相同量的 CLA, HACS 与 WCS 的表观黏度均增加。Stylianou 等^[18]研究表明, 添加豆蔻酸增加玉米淀粉的表观黏度, 与本文研究结果一致。

由表 3 可知, 依据 Herschel-Bulkley 模型的拟合结果, 相关系数 R² 均在 0.99 以上, 说明 CLA-CS 复合体系的流动特性符合 Herschel-Bulkley 模型。表 3 中 CLA-CS 复合体系的屈服应力大于 0, 流动指数远小于 1, 表现出典型的屈服-假塑性流体。

由表 3 可以看出, 随着 CLA 添加量的增加, CCS 的屈服应力增加, 说明使 CCS 发生流动所需的作用力增加。添加相同量的 CLA, WCS 的屈服应力增加, HACS 的屈服应力降低, 且均显著低于 CLA-CCS 复合体系的屈服应力。这说明, CLA-HACS 体系流动性较强。这与 RVA 测试的 CLA-HACS 的回生值最低的结果是一致的。

表 3 CLA-CS 复合体系 Herschel-Bulkley 方程拟合参数

Table 3 Herschel-Bulkley parameters for CLA-CS complexes

	CLA 添加量/%	η /(Pa·s)		Herschel-Bulkley 方程拟合参数			
		$r=0.1s^{-1}$	$r=100s^{-1}$	σ_0 /Pa	K /(Pa·s)	n	R^2
CCS	0	48.4±1.20 ^d	0.27±0.01 ^c	5.21±0.15 ^d	1.60±0.21 ^d	0.53±0.02 ^c	0.998
	1	60.0±1.24 ^c	0.26±0.00 ^c	5.74±0.84 ^e	1.97±0.22 ^{cd}	0.49±0.04 ^{de}	0.992
	2	71.1±0.95 ^b	0.31±0.02 ^b	6.35±0.28 ^b	2.17±0.22 ^c	0.50±0.00 ^{cde}	0.998
	3	82.0±2.00 ^a	0.28±0.01 ^{bc}	7.87±0.03 ^a	1.71±0.23 ^d	0.51±0.02 ^{cd}	0.998
HACS	0	24.3±0.99 ^e	0.20±0.03 ^d	4.07±0.38 ^e	1.69±0.14 ^d	0.47±0.01 ^e	0.999
	2	31.0±1.03 ^f	0.21±0.01 ^b	0.17±0.20 ^g	5.40±0.15 ^a	0.27±0.02 ^f	0.993
WCS	0	18.7±0.87 ^h	0.48±0.10 ^a	2.42±0.37 ^f	2.33±0.17 ^c	0.68±0.00 ^d	0.999
	2	45.6±2.01 ^e	0.51±0.04 ^a	3.56±0.08 ^e	2.78±0.26 ^b	0.62±0.00 ^b	0.999

随着 CLA 添加量的增加, CCS 的稠度系数先增加后降低, 但始终高于对照。这与 RVA 测试的 CLA 使 CCS 的峰值黏度、末值黏度等黏度增加的结果是一致的。添加相同量的 CLA, 3 种淀粉的稠度系数均增加, 且 HACS 的稠度系数最高。Stylianios 等^[17]研究表明, 添加棕榈酸和硬脂酸可增加豌豆淀粉的稠度系数, 与本文研究结果一致。

CCS 和 WCS 的流动指数基本不随 CLA 添加量的变化而变化, 但 HACS 的流动指数降低。表明添加 2% 的 CLA, HACS 的剪切变稀性增强。Stylianios 等^[18]研究表明, 添加豆蔻酸降低玉米淀粉的流动指数, 与本文研究结果一致。有研究指出, 直链淀粉含量越高, 体系流动指数越低^[19], 这与本文研究结果也是一致的。

2.3.2 CLA 对玉米淀粉动态黏弹性的影响

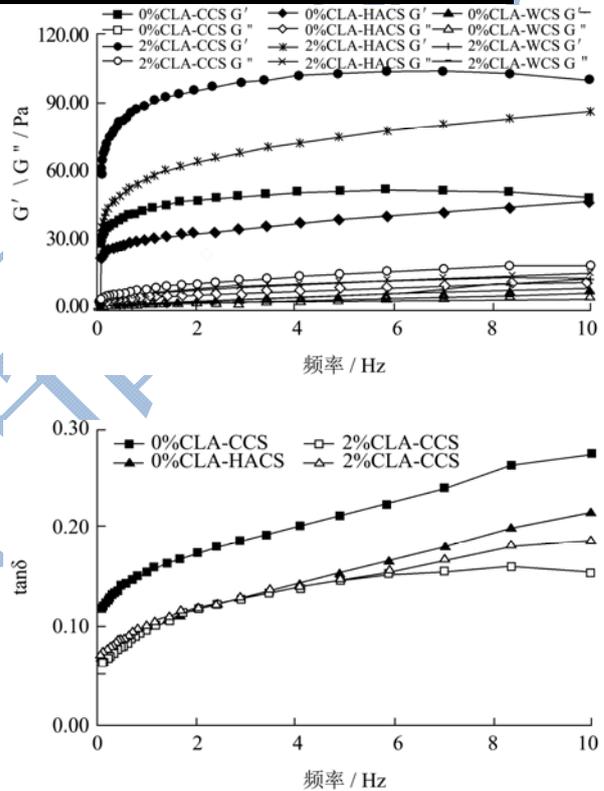
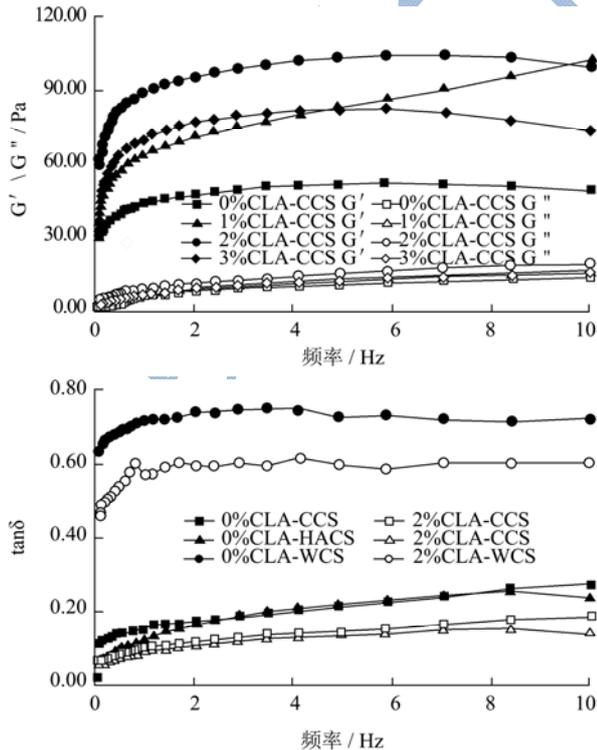


图 1 CLA 对玉米淀粉动态黏弹性的影响

Fig.1 Effect of CLA on the viscoelasticity of corn starches

贮能模量 (G') 代表黏弹性体中的弹性成分, 损耗模量 (G'') 代表黏弹性体中的黏性成分。损耗角的正切值 $\tan\delta$ (G''/G') 反映体系的黏弹性大小, $\tan\delta$ 值越大说明体系黏性比例越大, 流动性越强。由图 1 可以看出, CLA-CCS 和 CLA-HACS 体系的 G' 远远大于 G'' , 均随着振荡频率的增加而逐渐增加, $\tan\delta$ 值远小于 1, 表现出了典型的凝胶动态流变学图谱。

由图 1 可知, 与对照相比, 添加 CLA 使 CCS 的 G' 和 G'' 增加, $\tan\delta$ 降低。这说明添加 CLA, CCS 的弹性成分增加, 有利于形成弹性凝胶。这与 RVA 测试的 CLA 使 CCS 的回生值增加的结果是一致的。添加 2% 的 CLA, WCS 和 HACS 的 G' 和 G'' 均增加, $\tan\delta$

均降低。CLA-HACS 的 G' 和 G'' 相差较大, 可形成弹性凝胶。CLA-WCS 的 G' 和 G'' 接近, $\tan\delta$ 小于 1, 说明 CLA-WCS 能形成一种弱凝胶。Eliasson 等^[20]的研究表明, 饱和脂肪酸单甘油酯使玉米淀粉的 G' 增加, 这与本文的研究结果一致。Kim 等^[21]研究表明, 添加单甘脂使 WCS 的 $\tan\delta$ 降低, 与本文研究结果一致。

3 结论

3.1 CLA 影响 3 种玉米淀粉的糊化性质、热学性质和流变学性质。研究结果表明, CLA 与玉米淀粉间存在相互作用。

3.2 CLA 增加 CCS 的稠度, 表现为峰值黏度、末值黏度、表观黏度和稠度系数的增加。CLA 可有效抑制 CCS 的长期老化。

3.3 CLA 加大 HACS 的糊化难度, 使其糊化温度升高。CLA 降低 HACS 的糊化焓值, 表明 CLA 与直链淀粉间可形成复合物。CLA 有效抑制 HACS 短期老化和长期老化。

3.4 CLA 使 WCS 的糊化焓值降低。CLA-WCS 的 G' 与 G'' 接近, $\tan\delta$ 小于 1, 可形成一种弱凝胶。

参考文献

- [1] Crumb D J. Conjugated linoleic acid (CLA): an overview [J]. Applied Research in Natural Products, 2011, 4(3): 12-18
- [2] Dekker M, Kaur K, Singh N. Amylose-lipid complex formation during cooking of rice flour [J]. Food Chemistry, 2000, 71: 511-517
- [3] Zhou Z K, Robards K, Helliwell S. Effect of the addition of fatty acids on rice starch properties [J]. Food Research International, 2007, 40: 209-214
- [4] Singh J, Singh N, Saxena S K. Effect of fatty acids on the rheological properties of corn and potato starch [J]. Journal of Food Engineering, 2002, 52: 9-16
- [5] Lynn B D, Walker C E, et al. Use of the rapid visco-analyzer to measure starch pasting properties, part ii: effects of emulsifiers and sugar-emulsifier interactions [J]. Starch/Stärke, 1990, 42: 89-95
- [6] 冷云, 赵阳, 陈海华, 等. 两种糖对食品胶-马铃薯淀粉物理特性的影响[J]. 食品与机械, 2012, 24(2): 1-9
LENG Yun, ZHAO Yang, CHEN Hai-hua, et al. Effect of sugar on physical properties of food hydrocolloid-potato starch complex [J]. Food Machinery, 2012, 24(2): 1-9
- [7] Krog N. Influence of food emulsifiers on pasting temperature and viscosity of various starches [J]. Die Stärke, 1973, 25(1): 22-27
- [8] Ravi R, Sai M R, Haridas R P. Use of rapid visco analyser (RVA) for measuring the pasting characteristics of wheat flour as influenced by additives [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1999, 79: 1571-1576
- [9] Greta G G, Hans G, Jan A. Delcour. Amylose-lipid complexes as controlled lipid release agents during starch gelatinization and pasting [J]. Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54: 1493-1499
- [10] Nierle W, El Baya A W. Lipids and rheological properties of starch, part i: the effect of fatty acids, monoglycerides and monoglyceride ethers on pasting temperature and viscosity of wheat starch [J]. Starch/Stärke, 1990, 42: 268-270
- [11] Azizi M H, Rao G V. Effect of surfactant in pasting characteristics of various starches [J]. Food Hydrocolloids, 2005, 19: 739-743
- [12] 谢新华. 稻米淀粉物性研究[D]. 西北农林科技大学, 2007
XIE Xin-hua. Physical properties of rice starch [D]. Northwest Agriculture and Forestry University, 2007
- [13] Mary C T, Les C. Analysis of complexes between lipids and wheat starch [J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 67: 80-85
- [14] Huang J J, White P J. Waxy corn starch: monoglyceride interaction in a model system [J]. Cereal Chemistry, 70(1): 42-47
- [15] 冯晖, 卢邦贵, 李镁娟. 脂肪酸对糯米淀粉热特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(9): 4061-4064
FENG Hui, LU Bang-gui, LI Mei-juan, et al. Effect of fatty acids on thermal properties of waxy rice starch [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2013, 41(9): 4061-4064
- [16] Germani R, Ciacco C F, Rodriguez-Amaya D B. Effect of sugars, lipids and type of starch on the mode and kinetics of retrogradation of concentrated corn starch gels [J]. Starch/Stärke, 1983, 35(11): 377-381
- [17] Stylianos N R, Nikolaos G. Effect of fatty acids on the rheological behaviour of pea starch dispersions during heating [J]. Food Hydrocolloids, 2007, 21: 1188-1200
- [18] Stylianos N R, Nikolaos G. Effect of fatty acids on the rheological behaviour of maize starch dispersions during heating [J]. Food Hydrocolloids, 2006, 65: 81-92
- [19] Xie F W, Yu L, Su B. Rheological properties of starches with different amylose/amylopectin ratios [J]. Cereal Science, 2009, 49: 371-377
- [20] Eliasson A C, Finstad H, Ljunger G. A study of starch-lipid interactions for some native and modified maize starches [J]. Starch/Stärke, 1988, 40: 95-100

- [21] Kim H R, Eliasson A C, Larsson K. Dynamic rheological studies on an interaction between lipid and various native and hydroxypropyl potato starches [J]. Carbohydrate Polymers, 1992, 19: 211-218

现代食品科技