

NaCl 浓度对蔗糖酯-黄原胶乳浊液稳定性的影响

谷月, 刘道林, 赵强忠*

(华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640)

摘要: 研究 NaCl 浓度对蔗糖酯-黄原胶溶液的水力学直径 D_H 、 ζ -电势和界面张力及乳浊液的粒径 $d_{4,3}$ 、 ζ -电势、粘度和稳定性的影响。在此基础上, 探讨蔗糖酯-黄原胶相互作用与乳浊液稳定性之间的联系。结果表明: 随着 NaCl 浓度增加, 由于静电屏蔽作用, 蔗糖酯-黄原胶溶液的 D_H 值、 ζ -电势和界面张力均增大, 导致乳浊液 ζ -电势和 $d_{4,3}$ 也逐渐增大。NaCl 浓度达到 0.1mol/L 时, 由于蔗糖酯-黄原胶疏水作用增强, 形成蔗糖酯-黄原胶复合物, 提高液滴的空间位阻作用, 使得复合乳浊液稳定性高于蔗糖酯乳浊液稳定性。

关键词: NaCl, 蔗糖酯, 黄原胶, 相互作用, 乳浊液

Influence of NaCl concentration on the stability of sucrose ester-xanthan gum emulsion

GU Yue, LIU Dao-lin, ZHAO Qiang-zhong*

(College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The effects of NaCl concentration on the D_H , ζ -potential and interfacial tension of sucrose ester (SE)-xanthan gum (XG) solution and the droplet size, ζ -potential, viscosity and creaming index of emulsion were studied. The relation between SE-XG interaction and emulsion stability was also investigated. The result showed that the D_H , ζ -potential and interfacial tension of SE-XG solution increased with the increase of NaCl concentration because of the electrostatic screening effect which lead to the enlargement of the $d_{4,3}$ and ζ -potential. When the NaCl concentration climbed to 0.1mol/L, the enhancement of hydrophobic interaction facilitated the formation of SE-XG and the increase of the steric hindrance among droplets, so the stability of SE-XG emulsion was better than that of SE emulsion.

Key words: NaCl; sucrose ester; xanthan gum; interaction; emulsion

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)05-0113-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2015.05.015

乳浊液是一种多相体系, 其液滴之间的相互作用对乳浊液的货架期、质构特性及风味性质有着重要的影响。液滴之间的相互作用主要受到组成成分(油用量、乳化剂和稳定剂等)、体系的性质(pH 和离子强度)和加工条件(温度、压力)等影响^[1]。余权等人^[2]的研究发现: Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 HPO_4^{2-} 等离子对乳浊液的粒径及稳定性有较大的影响, 且不同盐离子对乳浊液稳定性的影响效果不一样。

乳化剂和多糖通常共存于乳浊液中, 它们之间会存在不相容使得乳化剂更快的吸附到界面上或形成乳化剂-多糖复合物等, 从而影响乳浊液的稳定性^[3-4]。Krstonošić 等^[5]在吐温乳浊液中添加 0.2wt% 的黄原胶后, 乳浊液能形成较稳定的凝胶网络结构。

而 Hemar 等^[6]在蛋白质乳浊液中添加一定量的黄原胶后, 脂肪球之间发生排斥作用, 导致乳浊液絮凝失稳。研究表明, 添加盐离子能改变多糖-乳化剂之间的相互作用情况及复合溶液的流变特性, 从而影响乳浊液的稳定性^[7-8]。Klinkesorn 等^[7]研究了 NaCl 浓度对低酸金枪鱼油包水乳浊液的物理化学性质的影响, 乳浊液的平均粒径随着 NaCl 浓度的升高而增大。国外对牛乳蛋白和黄原胶之间的相互作用及其对乳浊液的稳定性的影响有大量文献报道, 但关于黄原胶与非离子型乳化剂蔗糖酯的相互作用及盐离子对其乳浊液稳定性的影响却未见报道。

本文主要研究 NaCl 浓度对蔗糖酯-黄原胶乳浊液稳定性的影响, 通过测定蔗糖酯-黄原胶复合溶液

收稿日期: 2014-05-19

作者简介: 谷月(1991-), 女, 研究生, 研究方向: 食品生物技术。

* 通讯作者: 赵强忠(1976-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品生物技术与食品乳浊体系。

基金项目: 中央高校基本科研基金(2013ZZ0076)。

水力学直径、 ζ -电势、界面张力及乳浊液的粒径、 ζ -电势、粘度与乳析分层等指标,确定 NaCl 浓度对蔗糖酯-黄原胶之间的相互作用及乳浊液物化特性的影响,为其在乳浊液中的影响提供理论和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

蔗糖酯 S1170(食品级) 购自三菱化工株式会社;黄原胶(食品级) 购自法国罗地亚公司;金龙鱼食用玉米油(食品级) 购自益海嘉里(广州)粮油有限公司;叠氮钠(A.R) 购自上海天齐生物科技有限公司;Na₂HPO₄·12H₂O(A.R)、NaH₂PO₄·2H₂O(A.R)

均购自广东化学厂有限公司;NaCl(A.R) 汕头市西陇化工厂;硅镁型吸附剂 Florisil(A.R) 购自 Sigma-Aldrich 公司。

OCA20 视频光学接触角测量仪 德国 Dataphysics 公司;APV-1000 高压均质机 丹麦 APV 公司;Matersizer 2000 粒度分布仪、Nanoseries ZS 电位测定仪 英国 Malvern Instruments Ltd;Mars III 哈克旋转流变仪 德国 Thermo-Scientific 公司;CX31 光学显微镜 奥林巴斯中国有限公司;RW20 高速搅拌机、高速分散均质机 德国 IKA 公司;EL204 精密电子天平 梅特勒-托利多仪器有限公司(上海)。

1.2 实验方法

1.2.1 蔗糖酯-黄原胶复合溶液的制备 准确称取一定质量的蔗糖酯分散在 5mmol/L PBS 缓冲液(pH7)中,600r/min 于 60℃ 搅拌 0.5h,确保其充分溶解;准确称取一定质量的黄原胶分散溶于 5mmol/L PBS 缓冲液,室温下 600r/min 搅拌 1.5h 以上,确保其充分水化。制备出蔗糖酯和黄原胶浓度分别为 2% 和 1% 的贮备液。将蔗糖酯和黄原胶以一定比例混合,将样品于室温下搅拌 1h 以上,确保混合均匀,通过向溶液中添加 NaCl 控制溶液的离子强度。最终制备出:含不同离子强度(0~0.3mol/L)、1% 蔗糖酯和 0.15% 黄原胶的复合溶液。

1.2.2 乳浊液的制备 将蔗糖酯、黄原胶和玉米油按一定比例混合,通过向溶液中添加 2mol/L NaCl 控制溶液的离子强度,均质前将混合液经高速分散均质机在 10000r/min 转速下剪切 1min,得到预乳化的乳浊液,然后在常温下于 20MPa 高压均质一次。最终制备出:蔗糖酯浓度为 1%,黄原胶浓度为 0.15%,油用量 20%,NaCl 浓度为 0~0.3mol/L 的乳浊液。

1.2.3 界面特性的测定

1.2.3.1 玉米油的纯化 本实验所用的油相为食用玉米油。因为玉米油自身含有一定量表面活性成分,为减少其对实验结果的干扰,使用前先对其分离纯化。玉米油的纯化方法:将 Florisil 吸附剂加入到食用玉米油中,对样品进行充分搅拌,确保吸附剂与表面活性成分的充分接触,静置并离心(10000r/min, 10min)。离心后加入少量新的 Florisil 吸附剂,重复上述过程,直到油相(纯化后的玉米油)对纯水的界面张力在 30min 内保持在(29±0.5)mN·m⁻¹,分离纯化过程完成。经处理后的玉米油在 4℃ 条件下避光保存。

1.2.3.2 界面张力的测定 通过使用全自动 OCA20 接触角测量仪测定界面张力^[9]。其测量原理:利用仪器在视野内形成液滴,仪器自带的卤光灯源照射液滴后,因为光的直射作用在系统软件上描图成像。带图像轮廓处理器的高速视频摄像系统周期性的采集液滴外形图像,仪器本身的自带软件对采集到的图像进行分析和计算,通过如下公式计算出界面张力 σ :

$$\sigma = \frac{\Delta\rho \cdot g}{C} \quad \text{式(1)}$$

$$\frac{1}{x} \cdot \frac{d}{dx}(x \cdot \sin\theta) = \frac{2}{b} - C \cdot z \quad \text{式(2)}$$

式中, $\Delta\rho$ 为所测量的样品溶液和油相的密度差; g 为重力加速度; C 为毛细管常数; b 为液滴顶点 P 的曲率半径; x 和 z 分别为液滴外形轮廓平面图上任意点的纵坐标和横坐标; θ 为任意一点的弦切角。

测定样品前,事先测定蒸馏水的界面压力,对比蒸馏水的标准值以确保仪器没有受到其他样品的污染。新配制的蔗糖酯或蛋白-蔗糖酯复合溶液吸入注射器中,然后由电动注射控制单元推入毛细管而针尖上形成 12 μ L 的液滴(液滴能在针尖上保持 45min 不掉下来)。所有实验在室温下进行,每个样品测定时间为 45min。测定前,样品用相同盐浓度的缓冲液 20 倍。

1.2.4 粒度的测定

1.2.4.1 溶液水力学直径的测定 采用 Nanoseries ZS 电势测定仪测定蔗糖酯-黄原胶复合溶液的水力学直径 $D_h^{[10]}$ 。测定前,将蔗糖酯或蔗糖酯-黄原胶复合溶液用相同盐浓度的缓冲液按 1:5 体积稀释,充分震荡混合均匀。

1.2.4.2 乳浊液粒度($d_{4,3}$)的测定 采用 Malvern MasterSizer 2000 激光粒度分布仪测定乳浊液液滴的粒径大小及粒度分布情况^[10]。样品用蒸馏水按 1:1000 稀释。参数设置:分析模式:通用;进样器名:Hydro 2000MU(A);颗粒折射率:1.414;颗粒吸收率:0.001;分散剂名:水;分散剂折射率:1.330;泵的转速:2200r/min。通过如下公式计算出体积平均直径($d_{4,3}$, μ m):

$$d_{4,3} = \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3} \quad \text{式(3)}$$

式中; d_i 为乳浊液液滴的直径, n_i 是指乳浊液液滴直径 d_i 脂肪球的数量。

1.2.5 溶液与乳浊液液滴 ζ -电势的测定 采用 Nanoseries ZS 电势测定仪测定溶液及乳浊液液滴的 ζ -电势^[10]。测定前,将溶液用相同盐浓度的缓冲液按 1:5 体积稀释,乳浊液用相同盐浓度的缓冲液按 1:100 体积稀释,充分震荡混合均匀。测定温度 25℃,每个样品重复测量 3 次取平均值。

1.2.6 乳浊液流变特性的测定 实验采用哈克 MARS III 型流变仪测定乳浊液的剪切流变特性^[11],所用转子为 C60/1° Til,板间距设定为 0.052mm。剪切流变测定条件为:剪切速率为 0.1~150s⁻¹,持续时间 180s,测定温度 25℃。每个样品重复测定 3 次,结果取平均值。

1.2.7 乳浊液储存稳定性的测定 取 10mL 乳浊液样品置于乳析管中,添加 0.02wt% 叠氮钠抑制微生物的生长。将乳析管静置于室温环境下,定期对样品进行观察,记录乳浊液分层后样品底部的高度。乳浊液的稳定性用分层指数(Creaming Index)表征。

$$\text{分层指数}(\%) = (H_s/H_T) \times 100 \quad \text{式(4)}$$

式中: H_s 为油析和水析的高度; H_T 为样品的总高度。

2 结果与讨论

2.1 NaCl 浓度对蔗糖酯、黄原胶和蔗糖酯-黄原胶复合物溶液水力学直径的影响

蔗糖酯、黄原胶和蔗糖酯-黄原胶复合物溶液水力学直径 D_H 随 NaCl 浓度的变化如图 1 所示。NaCl 浓度对黄原胶溶液的水力学直径 D_H 基本没有影响,这与黄原胶本身具有较强的耐盐性有关^[12]。随着 NaCl 浓度的增大,蔗糖酯溶液和蔗糖酯-黄原胶复合溶液的 D_H 值分别由 232nm 和 1594.1nm 增大到 5915.7nm 和 12190nm。这是因为加入盐离子屏蔽了两种聚电解质的表面电荷,即发生静电屏蔽作用,导致分子之间相互聚集,分子的 D_H 值增大^[13]。

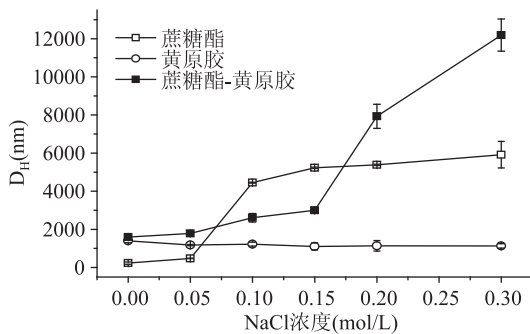


图1 NaCl 浓度对蔗糖酯和蔗糖酯-黄原胶复合溶液水力学直径 D_H 的影响

Fig.1 Effect of NaCl concentration on the D_H of SE and SE-XG solutions

NaCl 较低时(0~0.05mol/L),蔗糖酯-黄原胶复合溶液的 D_H 值大于两种纯溶液的 D_H 值。NaCl 浓度为 0.1~0.15mol/L 时,复合溶液的 D_H 值处于蔗糖酯和黄原胶纯溶液 D_H 之间。NaCl 浓度高于 0.15mol/L 时,复合溶液的 D_H 值高于两种纯溶液的 D_H 值。这可能的原因是:当 NaCl 浓度较低时,蔗糖酯与黄原胶发生疏水相互作用,形成了蔗糖酯-黄原胶复合物,能有效提高蔗糖酯的耐盐性。当盐浓度过高时,静电屏蔽作用较强,蔗糖酯-黄原胶复合物的静电作用不足以阻止分子间聚集,导致复合物的 D_H 值增大^[7]。

2.2 NaCl 浓度对蔗糖酯、黄原胶和蔗糖酯-黄原胶复合物溶液 ζ -电势的影响

蔗糖酯、黄原胶和蔗糖酯-黄原胶复合物溶液 ζ -电势随 NaCl 浓度的变化如图 2 所示。纯蔗糖酯溶液的电势为 -46.9mV,这是由于蔗糖酯中存在一定量的阴离子物质如脂肪酸,致使蔗糖酯溶液带有一定的负电荷。由图可知,随着 NaCl 浓度增加,所有样品 ζ -电势均呈现逐渐增大的趋势,即负电荷减少。这是因为盐离子的加入产生了静电屏蔽作用,使得

带相反电荷的盐离子在带电粒子表面不断积累,粒子自身所带的电荷被屏蔽^[7]。相同 NaCl 浓度条件下,复合溶液 ζ -电势处于蔗糖酯溶液和黄原胶溶液 ζ -电势之间。这是由于蔗糖酯与黄原胶之间发生疏水相互作用,形成了蔗糖酯-黄原胶复合物导致的。当 NaCl 浓度达到 0.30mol/L 时,蔗糖酯溶液及复合溶液均有略微的降低,这是因为粒子聚集在一起,使得粒子的负电荷增多, ζ -电势降低。

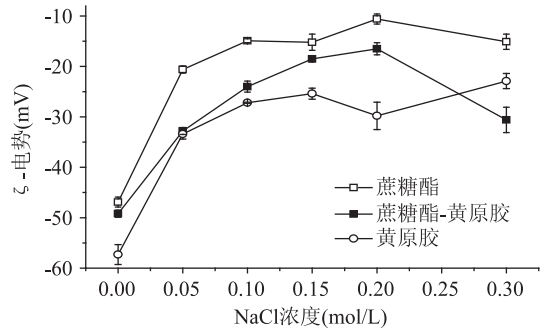


图2 NaCl 浓度对蔗糖酯和蔗糖酯-黄原胶复合溶液 ζ -电势的影响
Fig.2 Effect of NaCl concentration on the ζ -potential of SE and SE-XG solutions

2.3 NaCl 浓度对蔗糖酯和蔗糖酯-黄原胶复合溶液的界面张力影响

图 3 表示 NaCl 浓度对蔗糖酯和蔗糖酯-黄原胶溶液界面特性的影响。由图 3 可知,随着 NaCl 浓度增加,蔗糖酯和蔗糖酯-黄原胶溶液的界面张力均呈现逐渐增大的趋势。这是因为:在盐离子作用下,由于静电屏蔽作用,导致分子之间的静电相互作用降低,蔗糖酯与黄原胶疏水相互作用增强,减小暴露在水中的蔗糖酯疏水基团,且大分子复合物的形成降低了分子的扩散速率,提高体系粘度及阻碍分子的吸附,从而降低了蔗糖酯的界面活性^[14-15];另一方面,蔗糖酯之间相互聚集,减小暴露在水中的蔗糖酯疏水基团。但当 NaCl 浓度达到 0.30mol/L 时,界面张力反而降低,这可能是由于分子聚集导致的,与溶液 ζ -电势的结论相吻合。

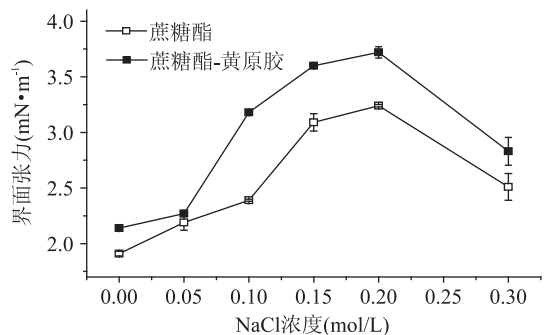


图3 NaCl 浓度对蔗糖酯和蔗糖酯-黄原胶复合溶液界面特性的影响
Fig.3 Effect of NaCl concentration on the interfacial tension of SE and SE-XG solutions

2.4 NaCl 浓度对乳浊液 ζ -电势的影响

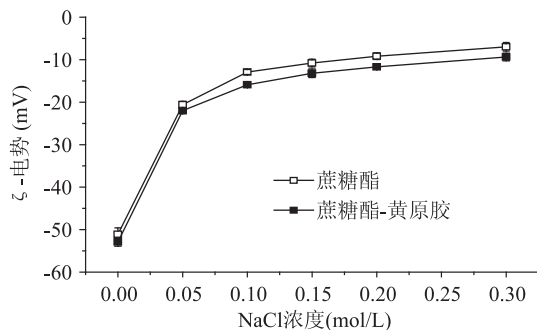
ζ -电势是表征带电物质表面的电荷分布情况,

表1 NaCl浓度对乳浊液剪切流变特性的影响

Table 1 Effect of NaCl concentration on the rheological properties of the emulsion

NaCl 浓度 (mol/L)	蔗糖酯乳浊液			蔗糖酯-黄原胶乳浊液		
	$K(\text{Pa}\cdot\text{s}^n)$	n	R^2	$K(\text{Pa}\cdot\text{s}^n)$	n	R^2
0	0.064 ± 0.002	0.529 ± 0.009	0.978	0.623 ± 0.071	0.402 ± 0.008	0.998
0.05	0.065 ± 0.001	0.437 ± 0.007	0.955	1.119 ± 0.121	0.342 ± 0.017	0.994
0.10	0.099 ± 0.006	0.563 ± 0.003	0.993	0.873 ± 0.034	0.357 ± 0.024	0.995
0.15	0.149 ± 0.012	0.387 ± 0.021	0.975	0.397 ± 0.031	0.449 ± 0.018	0.999
0.20	0.201 ± 0.008	0.413 ± 0.009	0.994	0.535 ± 0.057	0.412 ± 0.009	0.995
0.30	0.179 ± 0.015	0.402 ± 0.011	0.997	0.635 ± 0.031	0.369 ± 0.016	0.992

同时也能从侧面反映出带电粒子之间的相互作用^[16]。因而通过测定乳浊液的表面电荷密度分布情况,能够了解蔗糖酯与黄原胶之间在油水界面上的相互作用。研究表明,对于电荷稳定的乳浊液,一般 ζ -电势的绝对值越大,体系越稳定。NaCl浓度对乳浊液 ζ -电势的影响如图4所示。从图中可以看出,随着NaCl浓度增加,乳浊液 ζ -电势逐渐增大。这是因为盐离子加入引起的静电屏蔽作用或带相反电荷的离子聚集在液滴表面^[17],表现即为乳浊液滴的电势绝对值下降。

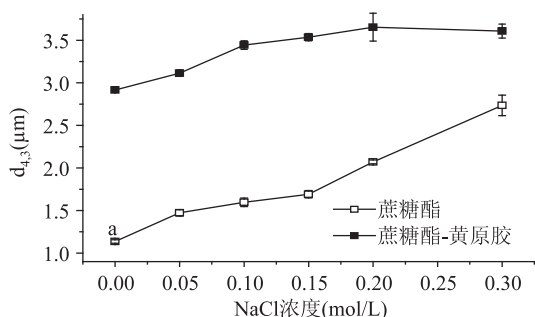
图4 NaCl浓度对乳浊液的 ζ -电势的影响Fig.4 Effect of NaCl concentration on ζ -potential of the emulsion

当NaCl浓度低于0.05mol/L时,黄原胶的加入对乳浊液的 ζ -电势没有明显的影响,这表明蔗糖酯与黄原胶之间的相互作用较弱,黄原胶未吸附到油水界面;当NaCl浓度高于0.05mol/L时,加入黄原胶后,乳浊液的 ζ -电势低于未加入黄原胶的乳浊液。这是因为在盐离子的作用下,蔗糖酯与黄原胶形成了复合物,吸附在油水界面,增加了液滴的负电荷。

2.5 NaCl浓度对乳浊液粒径的影响

图5显示了不同NaCl浓度对乳浊液粒径的影响。由图可知,随着NaCl浓度增加,蔗糖酯乳浊液和蔗糖酯-黄原胶乳浊液的粒径 $d_{4,3}$ 分别由1.14 μm 和2.92 μm 增大至2.74 μm 和3.61 μm 。这是因为盐离子的静电屏蔽作用,增大了体系的界面张力,且降低液滴间的静电排斥作用,体系发生絮凝,液滴的粒径增大。当NaCl浓度达到0.15mol/L时,继续增大NaCl浓度对蔗糖酯-黄原胶乳浊液的粒径没有产生显著影响。但对于蔗糖酯乳浊液,随着NaCl浓度增加,液滴的粒径增大。这可能的原因是:盐离子作用下,蔗糖酯与黄原胶疏水相互作用增强,形成的蔗糖

酯-黄原胶复合物吸附至油水界面上,形成多层的界面膜,增大液滴之间的空间位阻作用,提高了乳浊液的稳定性^[18]。相同NaCl浓度条件下,加入黄原胶后,乳浊液的粒径增大,这是因为加入黄原胶引起的排斥絮凝,导致油滴的粒径增大。

图5 NaCl浓度对乳浊液的 $d_{4,3}$ 的影响Fig.5 Effect of NaCl concentration on $d_{4,3}$ of the emulsion

2.6 NaCl浓度对乳浊液流变特性的影响

使用幂律模型对剪切流变曲线进行拟合。曲线拟合之后的稠度系数(K)和流变指数(n)随NaCl浓度的变化如表1所示。稠度系数 K 值反映了乳浊液的黏度升高, K 值越大,乳浊液的黏度越高;流变指数 n 值反映流体类型, n 值越小,剪切稀化越明显。由表可知,本实验组的样品 n 值均小于1,表明所有样品具有假塑型流体的特性。由表可知,未加入黄原胶时,随着NaCl浓度增加,乳浊液的 K 值逐渐增大。这与乳浊液粒径变化趋势相一致。对于蔗糖酯-黄原胶乳浊液,加入0.05mol/L NaCl时,由于液滴的粒径增大,体系的 K 值由0.623 $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ 提高到1.119 $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ 。进一步增加NaCl浓度,复合乳浊液的 K 值呈现先减小后增大的趋势。当NaCl浓度为0.15mol/L时,体系的 K 值达到最小值:0.397 $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ 。这是因为:NaCl浓度为0.05~0.15mol/L时, Na^+ 与黄原胶带负电的侧链相结合,使得黄原胶分子链变得平滑、具有弹性,分子间斥力减少,体系的粘度下降^[19];当NaCl浓度超过0.15mol/L时,乳浊液的 K 值增大。这是由于乳浊液的电势较低,液滴之间的静电排斥作用降低,液滴的粒径增大较为明显,从而导致体系的粘度升高。

2.7 NaCl浓度对乳浊液稳定性的影响

不同NaCl浓度条件下,乳浊液稳定性随时间的变化如表2所示。由表可知,未加入黄原胶时,乳浊液的乳析分层指数随NaCl浓度增加而增大,表明稳

表2 NaCl 浓度对乳浊液分层指数的影响

Table 2 Effect of NaCl concentration on the creaming index of emulsion

乳浊液	NaCl 浓度 (mol/L)	储存时间(d)				
		1	2	3	5	12
蔗糖酯乳浊液	0	0.00	0.00	0.00	0.00	3.03 ± 0.41
	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	5.56 ± 0.71
	0.10	0.00	20.63 ± 1.26	25.40 ± 1.41	30.16 ± 1.64	42.86 ± 1.64
	0.15	0.00	27.61 ± 1.11	40.30 ± 1.44	44.78 ± 1.62	54.48 ± 1.69
	0.20	42.42 ± 1.56	50.00 ± 1.56	52.86 ± 1.64	55.71 ± 1.64	57.14 ± 1.64
	0.30	41.18 ± 1.32	50.00 ± 1.32	53.03 ± 1.45	54.55 ± 1.45	58.33 ± 1.45
蔗糖酯- 黄原胶乳浊液	0	13.24 ± 0.87	41.18 ± 1.36	42.65 ± 1.43	45.59 ± 1.43	51.47 ± 1.43
	0.05	0.00	0.00	13.33 ± 0.67	16.67 ± 1.41	33.33 ± 1.41
	0.10	0.00	10.22 ± 0.67	23.53 ± 1.03	26.47 ± 1.36	36.50 ± 1.36
	0.15	0.00	7.41 ± 0.56	14.81 ± 1.07	17.78 ± 1.41	31.11 ± 1.41
	0.20	1.45 ± 0.48	15.94 ± 1.24	30.43 ± 1.41	34.78 ± 1.65	43.48 ± 1.65
	0.30	1.54 ± 0.65	10.00 ± 1.12	20.00 ± 1.44	24.62 ± 1.44	33.85 ± 1.44

定性逐渐减小。这是由于油滴之间静电排斥作用降低导致的。同蛋白质乳浊液相比,非离子型小分子乳化剂稳定的乳浊液主要是靠液滴之间的静电排斥作用稳定的,空间位阻作用较小。因此,当液滴之间的静电排斥作用较低时,液滴容易絮凝,导致乳浊液失稳。加入黄原胶后,NaCl 的加入能降低蔗糖酯-黄原胶乳浊液的乳析分层指数,即乳浊液的稳定性有所提高。且 NaCl 浓度较高时,蔗糖酯-黄原胶乳浊液的稳定性高于蔗糖酯乳浊液的稳定性。这可能的原因是:盐离子作用下,蔗糖酯与黄原胶发生了疏水相互作用,形成了蔗糖酯-黄原胶复合物吸附到油水界面,增强了液滴之间的空间位阻作用,从而提高了乳浊液的稳定性。

3 结论

本文主要研究 NaCl 浓度对蔗糖酯-黄原胶相互作用的影响,并进一步探讨蔗糖酯-黄原胶相互作用对乳浊液流变特性和稳定性的影响。结果表明:由于静电屏蔽作用随着 NaCl 浓度增加而增强,使得蔗糖酯-黄原胶疏水相互作用增强,且蔗糖酯-黄原胶溶液的 D_H 值、 ζ -电势和界面张力均增大。随着 NaCl 浓度增加,蔗糖酯乳浊液液滴的粒径和 ζ -电势增大,蔗糖酯乳浊液的稳定性逐渐降低。盐离子作用下,蔗糖酯与黄原胶发生疏水相互作用,形成了蔗糖酯-黄原胶复合物吸附到油水界面,增强液滴之间的空间位阻作用,因而加入黄原胶能提高蔗糖酯乳浊液的稳定性。然而,由于盐离子的静电屏蔽作用,随着 NaCl 浓度增加,蔗糖酯-黄原胶乳浊液的稳定性降低。

参考文献

[1] McClements D J. Food emulsions: principles, practices, and techniques [M]. Boca Raton: CRC Press, 1999: 2-18.
 [2] 余权, 赵强忠, 赵谋明. 电解质对酪蛋白酸性乳浊液稳定性的影响 [J]. 现代食品科技, 2010, 26(9): 967-971.
 [3] Bais D, Trevisan A, Lapsin R, et al. Rheological characterization of polysaccharide-surfactant matrices for cosmetic O/W emulsions [J]. Journal of Colloid and Interface Science,

2005, 290(2): 546-556.

[4] Pepić I, J Filipović-Grčić, I Jalšeniak. Bulk properties of nonionic surfactant and chitosan mixtures [J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2009, 336(1-3), 135-141.
 [5] Krstonošić V, Ljubica D, Peter D, et al. effects of xanthan gum on physicochemical properties and stability of corn oil-in-water emulsions stability by polyoxyethylene (20) sorbitan monooleate [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(8): 2212-18.
 [6] Hemar Y, Tamehana M, Munro P A, et al. Influence of xanthan gum on the formation and stability of sodium caseinate oil-in-water emulsions [J]. Food Hydrocolloids, 2001, 15(4-6): 513-519.
 [7] Klinkesorn U, Namatsila Y. Influence of chitosan and NaCl on physicochemical properties of low-acid tuna oil-in-water emulsions stabilized by non-ionic surfactant [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(5): 1374-1380.
 [8] Lindman B, Anders C, Gerdes S, et al. Polysaccharide-Surfactant Systems: Interactions, Phase Diagrams, and Novel Gels [A]. Dickinson E, Walstra P. Food Colloids and Polymers: Stability and Mechanical Properties [M]. 2005: 113-125.
 [9] Liu L Y, Zhao Q Z, Liu T X, et al. Dynamic surface pressure and dilatational viscoelasticity of sodium caseinate/xanthan gum mixtures at the oil-water interface [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 921-927.
 [10] Long Z, Zhao Q Z, Liu T X, et al. Influence of xanthan gum on physical characteristics of sodium caseinate solutions and emulsions [J]. Food Hydrocolloids, 2013, 32(1): 123-129.
 [11] Liu L Y, Zhao Q Z, Liu T X, et al. Sodium caseinate/xanthan gum interactions in aqueous solution: Effect on protein adsorption at the oil-water interface [J]. Food Hydrocolloids, 2012, 27(2): 339-346.
 [12] 赵谋明, 叶林, 李少霞等. 黄原胶与其它食品胶协同增效作用及其耐盐稳定性的研究 [J]. 食品与发酵工业, 1999, 25(2): 10-14.

(下转第 122 页)

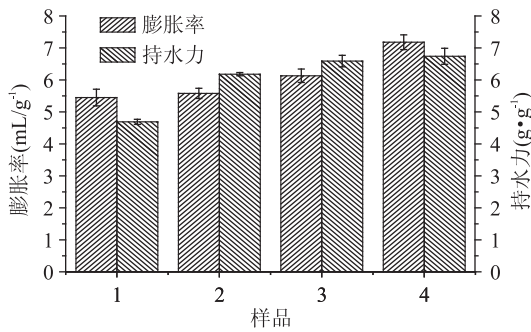


图4 不同处理方式下马铃薯渣的膨胀率、持水力

Fig.4 The swelling and water retention ability of potato pulp with different treating

注:1-麸皮;2-原浆;3-单酶处理薯渣;
4-双酶处理薯渣,图5同。

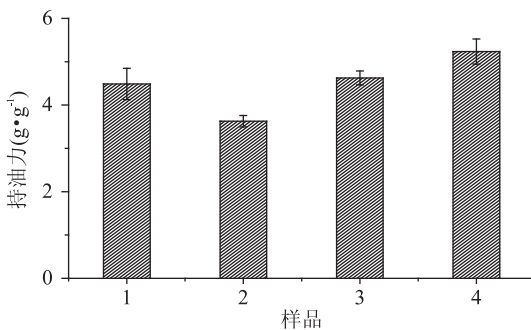


图5 不同处理马铃薯渣的持油力

Fig.5 The oil retention rate of potato pulp with different treating

3 结论

马铃薯渣经过酶法处理后,可溶性膳食纤维含量显著增加,其中经过耐高温 α -淀粉酶与纤维素酶双酶处理的薯渣中可溶性膳食纤维含量最多。从SEM扫描电镜图中可以看出,原本薯渣结构较为致密,淀粉与纤维紧紧啮合在一起,经过酶处理的马铃薯渣出现空洞,原本致密的结构变得松散。经过酶处理后,马铃薯渣的阳离子交换能力、 α -淀粉酶活力抑制力及持油力明显提高,且双酶组最好,与市面上的麸皮相比也更优。此外,经过酶法处理后,薯渣中残余的淀粉更易消化。综上所述,马铃薯渣经过酶处理后有更好的功能性质,可以为肠道提供了一个有助于消化吸收的环境,更加有利于作为饲料添加组分。

(上接第117页)

[13] 刘丽娅.酪蛋白酸钠-多糖界面相互作用对乳状液稳定性的影响[D].广州:华南理工大学,2011.

[14] Liu L Y, Zhao Q Z, Liu T X, et al. Dynamic surface pressure and dilatational viscoelasticity of sodium caseinate/xanthan gum mixtures at the oil-water interface[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5):921-927.

[15] Perez A A, Carrara C R, Sánchez C C, et al. Interfacial dynamic properties of whey protein concentrate/polysaccharide mixtures at neutral pH[J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(5):1253-1262.

[16] McClements D J. Food Emulsions: Principles, Practice, and Techniques[M]. Boca Raton: CRC Press, 2005:57-59.

参考文献

[1] 刘玮,李兰红,孙丽华.马铃薯渣综合利用研究[J].粮油食品科技,2010,18(4):17-19.

[2] Pirmohammadi R, Rouzbahan Y, Rezayazdi K, et al. Chemical composition, digestibility and in situ degradability of dried and ensiled apple pomace and maize silage [J]. Small ruminant research, 2006, 66(1):150-155.

[3] Saito K, Noda T, Tsuda S, et al. Effect of the dates of extraction on the quality of potato pulp [J]. Bioresource technology, 2006, 97(18):2470-2473.

[4] 王拓一,张杰,吴耘红,等.马铃薯渣的综合利用研究[J].农产品加工,2008,7(142):104-105.

[5] Okine A, Hanada M, Aibibula Y, et al. Ensiling of potato pulp with or without bacterial inoculants and its effect on fermentation quality, nutrient composition and nutritive value [J]. Animal feed science and technology, 2005, 121(3):329-343.

[6] 陈菊红.湿法超微粉碎对马铃薯渣的改性及其功能特性和应用研究[D].无锡:江南大学,2008.

[7] Gan C Y, Latiff A A. Antioxidant < i > Parkia speciosa < /i > pod powder as potential functional flour in food application: Physicochemical properties ' characterization [J] . Food Hydrocolloids, 2011, 25(5):1174-1180.

[8] 缪铭,江波,张涛.淀粉的慢消化性能与酶水解速率研究[J].食品与发酵工业,2008,34(8):25-27.

[9] Lærke H N, Meyer A S, Kaack K V, et al. Soluble fiber extracted from potato pulp is highly fermentable but has no effect on risk markers of diabetes and cardiovascular disease in Goto-Kakizaki rats[J]. Nutrition research, 2007, 27(3):152-160.

[10] 李想,程建军,江连洲.豆渣水溶性膳食纤维的研究现状与展望[J].食品工业科技,2008,29(4):305-307.

[11] 刘芳,曾悦,刘波,等.加工方法对红小豆碳水化合物消化速度的影响[J].食品与发酵工业,2005,31(10):89-92.

[12] Chau C F, Cheung P C K. Effects of the physico-chemical properties of three legume fibers on cholesterol absorption in hamsters [J]. Nutrition Research, 1999, 19(2):257-265.

[13] 郑健仙.功能性膳食纤维[M].北京:化学工业出版社,2005.

[14] 李伦,张晖,王兴国,等.超微粉碎对脱脂米糠膳食纤维理化特性及组成成分的影响[J].中国油脂,2009,34(2):56-58.

[17] Dickinson E. Mixed biopolymers at interfaces Competitive adsorption and multilayer structures [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(8):1966-1983.

[18] Bouyer E, Mekhloufi G, Rosilio V, et al. Proteins, polysaccharides, and their complexes used as stabilizers for emulsions: Alternatives to synthetic surfactants in the pharmaceutical field [J]. International Journal of Pharmaceutics, 2012, 436(1-2):359-378.

[19] Lecourtier J, Chauveteau G, Muilert G. Salt - induced extension and dissociation of a native double - stranded xanthan [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 1986, 8(5):306-310.