

文章编号:1673-1689(2006)02-0079-04

## 乳清蛋白的流变性质

李玉美, 卢蓉蓉\*, 许时婴

(江南大学 食品科学与安全教育部重点实验室, 江苏 无锡 214036)

**摘要:** 主要研究了乳清蛋白溶液在升温过程中储能模量  $G'$  与损耗模量  $G''$  的变化及其形成凝胶的温度。乳清浓缩蛋白(WPC-80)形成凝胶的临界质量分数为 8%。质量分数为 20% 的 WPI-90、WPC-80 乳清蛋白的胶凝温度分别为 76.9, 77.6 °C, 相同质量分数的 WPC-34 不能形成凝胶。质量分数为 20% 的 WPC-80 添加质量分数 0~1.5% 无水氯化钙后, 胶凝温度从 77.6 °C 下降到 71.0 °C。

**关键词:** 乳清蛋白; 胶凝温度; 临界质量分数

中图分类号: Q 51

文献标识码: A

## Study on the Rheological Properties of Whey Protein

LI Yu-mei, LU Rong-rong\*, XU Shi-ying

(The Key Laboratory of Food Science and Safety, Ministry of Education, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China)

**Abstract:** The changes in both storage and loss modulus, as well as the gel-forming during temperature increase were studied. The critical gel-forming concentration of WPC-80 was 8%. The gel-forming temperature of 20% WPI-90 and WPC-80 were 76.9 °C and 77.6 °C, respectively, while 20% WPC-34 could not form gels. The gel-forming temperature of 20% WPC-80 solution with 0~1.5%  $\text{CaCl}_2$  decreased from 77.6 °C to 71.0 °C.

**Key words:** whey protein; gel-forming temperature; critical concentration

乳清蛋白是由于酪生产过程中所产生的副产品乳清经过特殊工艺分离浓缩而得到的一类物质。它们不仅容易消化,而且有很高的代谢效率,因此具有很高的生物利用价值。乳清蛋白中含有质量分数 19% 的  $\alpha$ -乳白蛋白, 48% 的  $\beta$ -乳球蛋白, 5% 的血清白蛋白, 8% 的免疫球蛋白和 20% 的蛋白胨<sup>[1-3]</sup>, 还有少量的乳铁蛋白和乳过氧化物酶。

乳清浓缩蛋白(WPC)是乳清经超滤、双重过滤和浓缩等一系列步骤,将乳糖脱去加工而成的,蛋白质质量分数为 34%~80%。WPC 有良好的溶解性、吸水性、成胶性、搅打性等功能<sup>[2,4]</sup>,在焙烤食品、肉制品、冷冻食品、营养型饮料中得到广泛的应用。WPC 的成胶性能用于调整食品的质地如硬

度、粘结性和弹性。因此 WPC 在肉类、水产品和蛋糕等食品加工中有重要作用。

近几年来,已有大量的研究集中在乳清蛋白产品的成分、功能性质和加工条件对产品功能物性的影响等方面<sup>[5]</sup>。作者主要研究乳清蛋白溶液在升温过程中储能模量  $G'$  与损耗模量  $G''$  的变化情况和胶凝温度的大小。

### 1 材料与amp;方法

#### 1.1 实验材料

乳清浓缩蛋白 WPC-80(蛋白质质量分数为 80%):恒天然有限公司产品;乳清分离蛋白 WPI-90(蛋白质质量分数为 90%):泛亚乳品有限公司产

收稿日期:2004-05-24; 修回日期:2005-10-11.

作者简介:李玉美(1980-),女,山东曹县人,食品工程与科学硕士研究生;\*通讯作者。

品;乳清浓缩蛋白 WPC-34(蛋白质质量分数为34%);上海裕信贸易有限公司产品无水氯化钙;上海泗联化工厂产品;氢氧化钠;分析纯。

## 1.2 主要仪器

AR1000 流变仪;TA Instruments 公司产品。

## 1.3 实验方法

**1.3.1 线性粘弹区的测定** 在常温下配制质量分数10%的 WPC-80 溶液。固定频率为1 Hz 进行应力扫描,确定其线性粘弹区。

**1.3.2 凝胶性能的测定方法** 采用 AR 1000 型流变仪的平行板测定体系的粘弹性和胶凝温度。在线性粘弹区,对其施加一个小振幅正弦振荡的应力,固定频率为1 Hz,测定样品的  $G'$ 、 $G''$  和胶凝温度。

测定流变物性时采用的夹具及参数设定如下:

夹具:40 mm 平行板(使用油封);平板间隙:1 mm;加样量:0.6 mL;振荡扫描程序:升温扫描,20~100 °C,4 °C/min;振荡扫描参数:角频率:1.0 r/s;应力:1.0 Pa

**1.3.3 WPC-80 形成凝胶的临界质量分数** 在常温下配制质量分数为5%,7%,8%,10%的 WPC-80 溶液,搅拌使蛋白质充分溶解,溶液的 pH 为7.0,测定其流变性质。

**1.3.4 蛋白质质量分数对乳清蛋白流变性质的影响** 在常温下配制质量分数20%的 WPI-90、WPC-80、WPC-34 3种不同的乳清蛋白溶液,搅拌使蛋白质充分溶解,溶液的 pH 为7.0,测定其流变性质。

**1.3.5  $\text{Ca}^{2+}$  质量分数对 WPC-80 流变性质的影响** 在常温下配制质量分数20% WPC-80 溶液搅拌使蛋白质充分溶解,溶液的 pH 为7.0。添加无水氯化钙,使其质量分数分别为0,0.3%,0.6%,1.0%,1.5%,测定其流变性质。

## 2 结果与讨论

### 2.1 线性粘弹区的测定

从图1可以看出,当应力值大于1.0 Pa时,复合模量  $G^*$  ( $G^{*2} = G'^2 + G''^2$ ) 的值恒定,说明乳清蛋白溶液的线性粘弹区范围是应力大于1.0 Pa。在线性粘弹区内选择应力值为1.0 Pa。

### 2.2 WPC-80 形成凝胶的临界质量分数

采用 AR1000 流变仪在1.0 Pa 的线性粘弹区内测定体系的  $G'$ 、 $G''$ ,当两者相交时说明可以形成凝胶,两者没有交点说明不能够形成凝胶<sup>[6]</sup>。

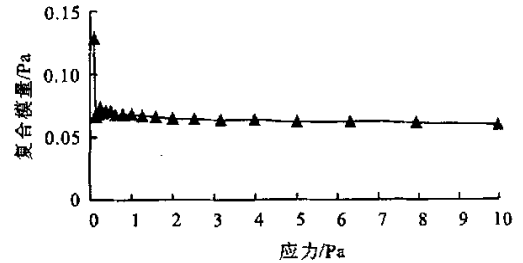


图1 应力扫描

Fig. 1 Stress scanning

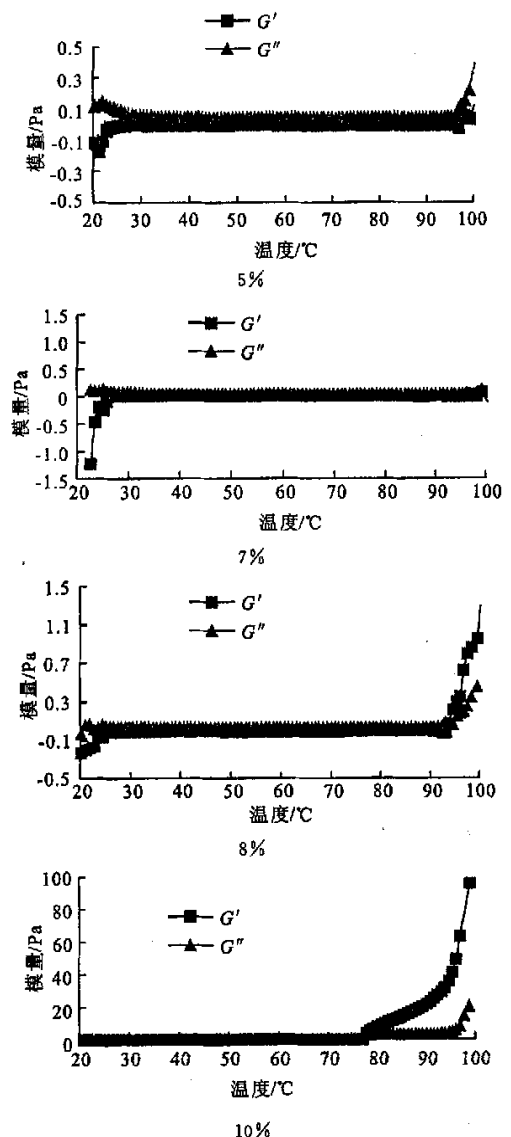


图2 不同质量分数的 WPC-80 溶液的流变曲线

Fig. 2 Rheological curves of WPC-80 with different concentrations

图2为不同质量分数的 WPC-80 溶液的流变曲线交点对应的温度就是凝胶温度,也称胶凝点。

当 WPC-80 的质量分数小于 8% 时,即 WPC-80 的质量分数为 5% 和 7% 时(图 2(a)和图 2(b)),  $G''$  始终大于  $G'$ , 即粘性大于弹性,说明质量分数为 5% 和 7% 时不能形成凝胶。而当 WPC-80 的质量分数为 8% 和 10% 时(图 2(c)和图 2(d)),  $G'$  与  $G''$  有交点,说明在此浓度下能够形成凝胶。这说明了在此实验条件下 WPC-80 形成凝胶的临界质量分数为 8%, 这与许多研究报道相符合<sup>[2]</sup>。从图 2(d) 可以看出,在形成凝胶之前,体系的  $G'$ 、 $G''$  非常小,形成凝胶后,  $G'$ 、 $G''$  迅速增长。并且凝胶是在升温过程中形成的,说明乳清蛋白形成的是热致凝胶。随着 WPC-80 质量分数的增大,易于凝胶的形成。

因此,为了得到较好的凝胶,WPC-80 的质量分数要高于 8%。质量分数越大,胶凝温度就会越低,并且凝胶的  $G'$  与  $G''$  值也会越大。

### 2.3 蛋白质质量分数对乳清蛋白流变性质的影响

蛋白质质量分数不同的 3 种乳清蛋白溶液的流变曲线见图 3。

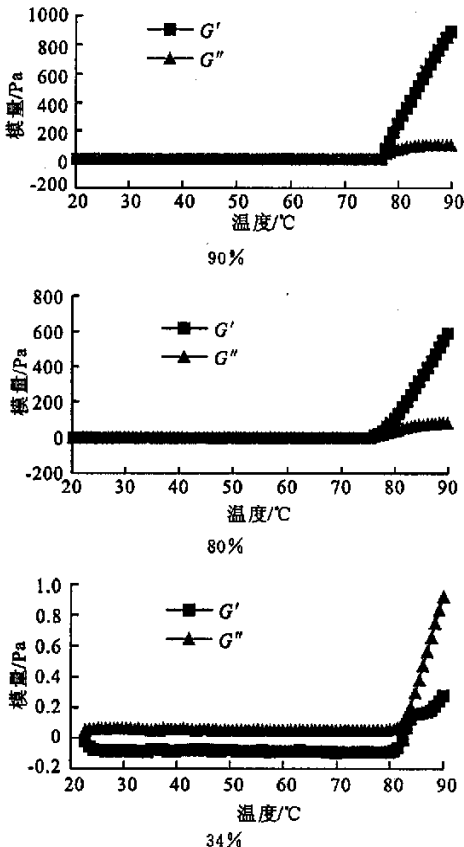


图 3 蛋白质质量分数对乳清蛋白的粘弹性影响  
Fig. 3 Effect of protein content on viscoelasticity of whey protein content

从图 3 可以看出,WPI-90 和 WPC-80 的  $G'$  与  $G''$  形成凝胶的温度分别为 76.9 °C、77.6 °C。这说

明在实验范围内只有蛋白质达到一定浓度后才能形成凝胶,蛋白质质量分数较低的 WPC-34 溶液则不能形成凝胶<sup>[7]</sup>。

由不同蛋白质质量分数的乳清蛋白形成凝胶的  $G'$  和  $G''$  如图 4,5 所示。随着加热时间的延长,凝胶的  $G'$  和  $G''$  均有所增加,但到一定程度后变化平稳。由图可以看出,WPI-90 的  $G'$ 、 $G''$  高于 WPC-80 的  $G'$ 、 $G''$ ,WPC-80 的  $G'$ 、 $G''$  高于 WPC-34 的  $G'$ 、 $G''$ 。这说明了乳清浓缩蛋白形成凝胶的主要成分是乳清蛋白<sup>[8]</sup>,且随着蛋白质质量分数的增加利于凝胶的形成。从这些图中可以明显看出,形成凝胶后,体系的粘性和弹性均上升很快,说明乳清蛋白体系是典型的粘弹性流体。

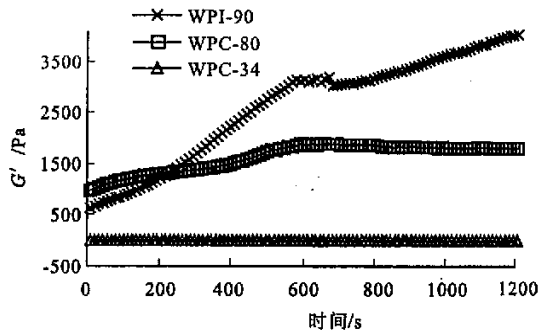


图 4 蛋白质质量分数对储能模量的影响

Fig. 4 Effect of protein content on  $G'$

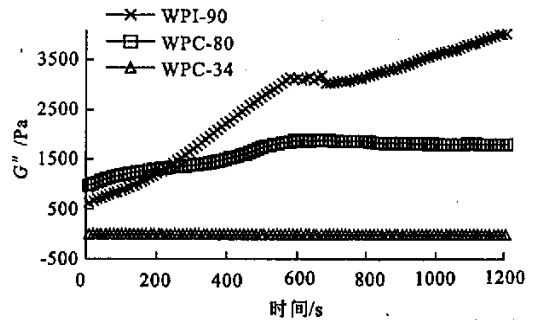
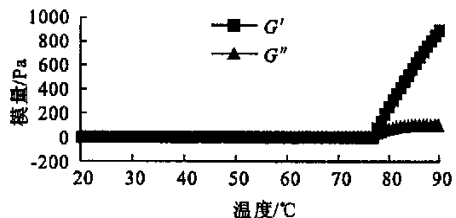


图 5 蛋白质质量分数对损耗模量的影响

Fig. 5 Effect of protein content on  $G''$

### 2.4 CaCl<sub>2</sub> 质量分数对 WPC-80 流变性质的影响

配制 CaCl<sub>2</sub> 质量分数不同的 WPC-80 溶液。使用 AR1000 流变仪在线性粘弹区内测定体系的  $G'$ 、 $G''$  和胶凝温度的变化情况。其测定结果如图 6。



(a) 空白

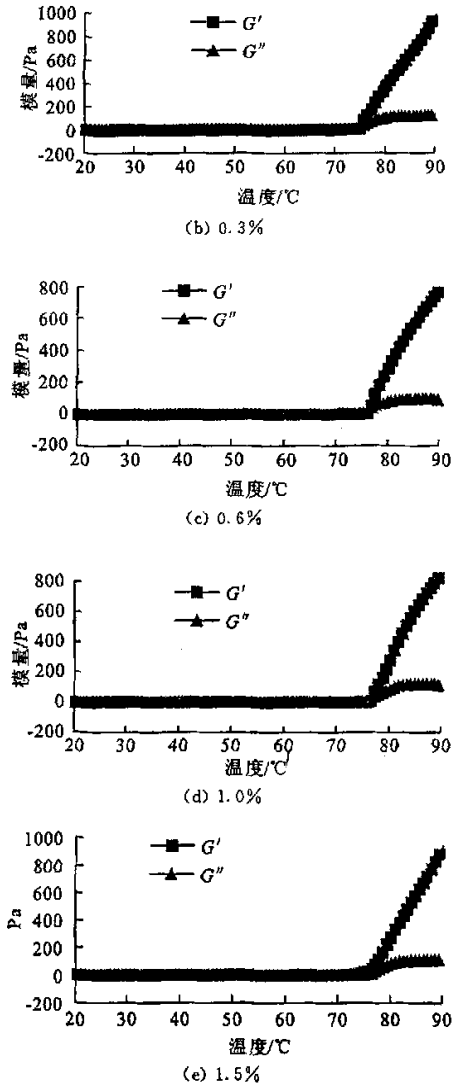


图6  $\text{CaCl}_2$  质量分数对 WPC-80 粘弹性的影响

Fig. 6 Effect of  $\text{CaCl}_2$  concentration on viscoelasticity of

WPC-80

### 参考文献:

- [1] 韩雪, 孙冰. 乳清蛋白的功能特性及应用[J]. 中国乳品工业, 2003, 31(3): 28-30.
- [2] 燕红, 张兰威, 朱永军. 牛乳清蛋白的性质及其在食品工业上的应用[J]. 乳品科学与技术, 2002, 1: 14-17.
- [3] 袁正红, 周金松. 乳清制品在冰淇淋中的功能及应用[J]. 食品科学, 1997, 18(12): 22-24.
- [4] Lowe Lesliel L, Allen Foegeding E, Daubert Christopher R. Rheological properties of fine-stranded whey protein isolate gels [J]. *Food Hydrocolloids*, 2003, 17: 515-522.
- [5] 曾庆孝, P A Munro. 乳清蛋白质浓缩物的流变学性质[J]. 食品与发酵工业, 1989, 5: 6-13.
- [6] Doucet D, Gauthier S F, Foegeding E A. Rheological characterization of a gel formed during extensive enzymatic hydrolysis [J]. *Journal of Food science*, 2001, 66(5): 711-715.
- [7] Mleko S. Effect of protein concentration on whey protein gels obtained by a two-stage heating process [J]. *Eur Food Res Technol*, 1999, 209: 389-392.
- [8] Renard D, Robert P, Faucheron S, et al. Rheological properties of mixed gels made of microparticulated whey proteins and - lactoglobulin [J]. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 1999, 12: 113-121.
- [9] Parichat Hongsprabhas, Shai Barbut.  $\text{Ca}^{2+}$ -induced cold gelation of whey protein isolate: effect of two-stage gelation [J]. *Food Research International*, 1998, 30(7): 523-527.

万方数据

表1  $\text{CaCl}_2$  质量分数对 WPC-80 胶凝温度的影响

Tab. 1 Effect of  $\text{CaCl}_2$  concentration on the gel-forming temperature of WPC-80

$\text{CaCl}_2$ 质量分数/%	胶凝温度/°C
空白	77.6
0.3	75.7
0.6	74.5
1.0	73.8
1.5	71.0

从表1可以看出,添加无水氯化钙后,体系的胶凝温度有所降低。添加无水氯化钙的质量分数从0~1.5%变化时,体系的胶凝温度从77.6℃下降到71.0℃。从这些数据可以看出,添加无水氯化钙的量增加时,胶凝温度随之降低,这是因为介质的离子强度升高,减弱了蛋白质的静电相互作用,说明钙离子有助于蛋白质凝胶的形成。在高于蛋白质的等电点时,蛋白质带负电,可以结合带正电荷的金属离子钙形成蛋白质盐。有研究报道,钙离子可在带负电的蛋白质基因间架桥促进胶体网络结构的形成。高浓度的钙离子可以加快蛋白质分子的聚集,胶凝温度显著降低<sup>[9]</sup>。

### 3 结论

- 1) WPC-80 形成凝胶的临界质量分数为8%。
- 2) 质量分数为20%的 WPI-90、WPC-80 的胶凝温度分别为76.9℃、77.6℃,而质量分数为20%的 WPC-34 不能形成凝胶。
- 3) 质量分数为20%的 WPC-80 添加无水氯化钙,在其质量分数从0~1.5%变化时,胶凝温度从77.6℃下降到71.0℃。

(责任编辑:杨萌)