

# SPI/甘油水溶液流变性的研究

孔洁静, 叶晓文, 叶君, 熊捷

(华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640)

**摘要:** 采用流变仪初步研究了甘油对大豆分离蛋白(SPI)静态流变性能的影响及其溶液性质, 讨论了添加甘油后, SPI水溶液剪切粘度随浓度和温度的变化, 并与没添加甘油的SPI水溶液对比。结果表明: SPI/甘油水溶液体系呈现剪切变稀性, 甘油不仅降低了体系的粘度和减弱其剪切变稀性, 同时还提高了体系的抗热性能。

**关键词:** 大豆分离蛋白; 静态流变性能; 粘度

**文章篇号:** 1673-9078(2012)1-30-32

## The Influence of Glycerin on Static Rheological Properties of SPI Solution

KONG Jie-jing, YE Xiao-wen, YE Jun, XIONG Jian

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

**Abstract:** The influence of glycerin on static rheological properties and the rheological behaviors of SPI solutions were investigated. The change of shear viscosity of SPI with concentration and temperature after adding glycerin was discussed, specially comparing with SPI control solution. The results have indicated that SPI/glycerin solutions presented a typical behavior of pseudoplastic fluid, and glycerin not only reduced the viscosity and weakened pseudoplastic behavior of SPI but also improve its thermal stability.

**Key words:** SPI; static rheological property; viscosity

大豆分离蛋白(SPI)是一种以大豆豆粕为原料、经碱溶酸沉法提取的高营养物质。具有优良的成膜性、阻氧和阻油特性等优点, SPI在可食性薄膜的开发备受关注, 尤其是取材容易、营养价值高、无毒无害、对环境污染小、易生物降解、机械性能相对较好、透明度高、外观及口感均较理想, 因而大豆蛋白膜用于食品工业具有很大的潜力<sup>[1-6]</sup>。

通过对大分子流变特性研究, 可以了解组分、内部结构以及分子形态, 能为产品配方、加工工艺、设备选型和质量检测等提供方便和依据<sup>[3]</sup>, 所以SPI水溶液的静态流变学特性研究, 对寻找最佳成膜条件、改善蛋白膜性能有重要意义。

甘油作为添加剂广泛用于SPI成膜中<sup>[2-7]</sup>, 所以本文研究2.0%甘油对不同浓度的SPI水溶液在不同温度下的影响, 为开发性能更好的SPI膜提供一些依据。

### 1 实验部分

#### 1.1 原材料

大豆分离蛋白粉(SPI)(蛋白质含量90.5%): 山

收稿日期: 2011-08-27

基金项目: 973科技计划项目(2010CB732201); 国家自然科学基金(51043011)及广东省创新项目

作者简介: 孔洁静(1988-), 女, 本科生

通讯作者: 熊捷, 博士, 教授

东万得福科技公司; 甘油、氢氧化钠(均为分析纯), 广州化学试剂厂。

#### 1.2 仪器与设备

流变仪: AR550型旋转流变仪, 美国TA公司。

40 mm 不锈钢锥板, 锥度: 1:59:17。

#### 1.3 实验方法

##### 1.3.1 SPI水溶液配制

按照文献<sup>[2]</sup>的方法, 配制浓度为: 1.0%、2.0%、4.0%、5.0%、6.0%、8.0%的SPI水溶液两份, 其中一份添加甘油至其浓度为2.0%, 各个试样均调节pH到9~10, 搅拌30 min, 80℃水浴下加热30~40 min后, 静置到室温。

##### 1.3.2 性能测试

本实验采用静态流变模式, 无振动, 水溶液由旋转流变仪的Peltier温度控制板直接加热或冷却到设定温度。实验类型: 连续斜坡, 测试剪切速率范围为2~2000, 对数模式。采样: 每数量级点数为15。

### 2 结果与讨论

#### 2.1 SPI/甘油水溶液静态流变学曲线

图1所示为35℃下浓度为2.0%甘油对6.0%的SPI水溶液的流变曲线的影响。由图1可以看出: 35℃时, 随着剪切速率的增加, 6.0%SPI/2.0%甘油水溶液与6.0%SPI水溶液的剪切粘度均降低, 且水溶液的剪

切粘度降低幅度均随剪切速率的增大而降低,呈现典型假塑性流体剪切稀释特征, SPI 大分子在剪切流场中受剪切力的作用, 分子链在顺应剪切力的方向上舒展, 导致 SPI 分子链的网络结构在一定程度受到破坏, SPI 分子缠结而形成的网络结点的破坏速率大于其生成速率, 体系中网络结点的浓度降低, 分子间相互作用减小, 粘度下降, 表现出很强的剪切稀释性, 当剪切速率达到一定程度后, SPI 的网络结构完全来不及重建, SPI 分子链沿着剪切力的作用方向上取向一致, 溶液粘度下降变小; 添加 2.0% 甘油后, 其溶液的粘度变小, 流变曲线现为在无甘油添加曲线的下方, 且有图看出在低剪切速率时其粘度不稳定。

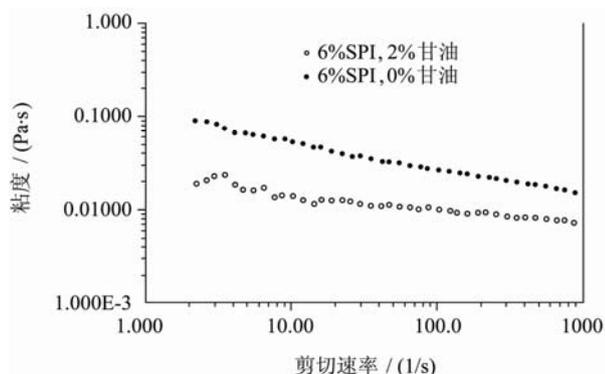


图1 SPI 水溶液流变曲线 (35°C)

Fig.1 Static rheological curve of SPI aqueous solution at 35°C

根据文献<sup>[9]</sup>中的幂率方程  $\tau_w = k\dot{\gamma}^n$ , 可求出式中的非牛顿性指数  $n$  和粘稠系数  $K$  ( $K = \lg k$ ), 未添加甘油的 SPI 水溶液的  $n$  和  $K$  以及添加 2.0% 的甘油体系的  $n'$  和  $K'$  分别为:  $n = 0.8346 < 1$ ,  $K = 0.02463$  和  $n' = 0.7230 < 1$ ,  $K' = 0.1088$ 。

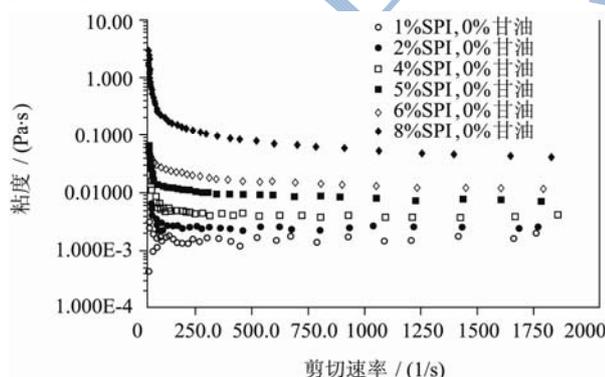


图2 不同浓度 SPI 水溶液的流变曲线 (30°C)

Fig.2 Static rheological curves of SPI aqueous solution with different concentration at 30°C

粘稠系数  $K$  值反应体系内部结构的强弱, 不含甘油的 SPI 水溶液中 SPI 分子链间的相互作用力较大, 宏观表现为同一剪切速率下, 其剪切粘度较大。甘油是含有羟基的小分子, 可以进入蛋白质分子之间减弱其分子间的作用力, 能提高该体系的流动性, 降低其

剪切粘度, 提高其韧性和延展性。

## 2.2 SPI 水溶液的流变曲线

图 2 显示了 30 °C 时, 不同浓度的 SPI 水溶液的剪切粘度随溶液浓度的变化曲线。由图 2 可以看到, 在 30 °C, 同一剪切速率下, SPI 水溶液的粘度随其浓度的增大而增大。当 SPI 浓度小于以及等于 4.0% 时, SPI 水溶液流变曲线表现为接近牛顿流体, 而 SPI 浓度大于 4.0% 时, 表现为剪切变稀。根据此图所计算的  $K$  和  $n$  值结果见表 1。

表 1 30°C 时甘油对 SPI 水溶液的  $K$ 、 $n$  值的影响

Table 1 Effect of glycerol on  $K$  and  $n$  values of SPI aqueous solution at 30°C

SPI 浓度/%	1.0	2.0	4.0	5.0	6.0	8.0
$K$ (Pa·s)	1.54E-3	3.15E-3	5.77E-3	0.03	0.08	1.91
$n$	1.003	1.001	0.94	0.83	0.74	0.49

由表 1 可知  $n$  值随着 SPI 水溶液浓度的升高而减小, 当 SPI 浓度大于等于 4.0% 时,  $n$  值小于 1, 此时流体属于假塑性流体, 表现出剪切稀释性, 由于  $n$  越小非牛顿性越强, 即表观黏度随剪切速率增大而降低越多, 流变性越强, 可见在本实验 SPI 浓度范围内, SPI 的非牛顿性随着 SPI 浓度的升高而增强。

$K$  值随着 SPI 水溶液浓度的升高而增大, 说明 SPI 分子链间的相互作用力逐渐增大, 宏观表现为体系粘度逐渐增大, 水溶液流动能力减弱。

## 2.3 甘油/SPI 水溶液流变曲线

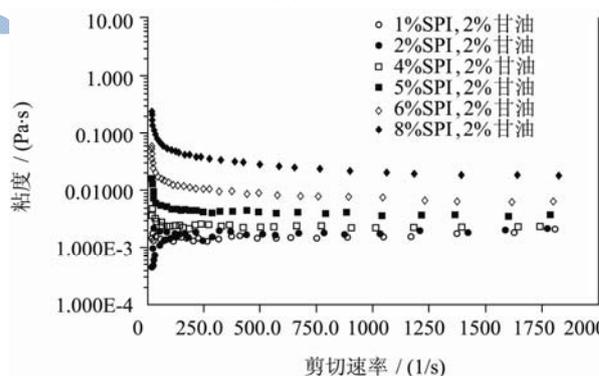


图3 甘油对 PI 水溶液流变的影响 (30°C)

Fig.3 Effect of glycerol content on rheological behaviors of SPI aqueous solution at 30°C

图 3 显示了 30 °C 下, 2.0% 甘油存在时, SPI 水溶液在不同剪切速率下, 其水溶液的剪切粘度随溶液浓度的变化曲线。对比图 2, 可看出添加甘油后, SPI 水溶液的剪切粘度降低了, 浓度为 5.0%~8.0% 的粘度降低更明显; 添加 2.0% 甘油后 1.0% 和 2.0% 的 SPI 水溶液表现为胀流体, 4.0% 的 SPI 水溶液接近牛顿流体; 大于和等于 5.0% 的 SPI/甘油水溶液为剪切变稀。根据该图所计算的  $K'$  和  $n'$  值见表 2。由表 2 可看出, 添

加 2% 甘油后, SPI 水溶液的 n 值明显增加了, 说明甘油减弱了流体的剪切变稀性。

表 2 30℃ 时甘油对 SPI 水溶液的 K、n 值的影响

Table 2 Effect of 2% glycerol on K and n values of SPI

aqueous solution at 30℃							
SPI 浓度/%	1.0	2.0	4.0	5.0	6.0	8.0	
2% 甘油	K' (Pa·s)	1.51E-3	1.66E-3	2.53E-3	8.92E-3	0.05	0.30
	n'	1.04	1.03	1.01	0.90	0.75	0.65

2.4 温度对 SPI 水溶液流变性能的影响

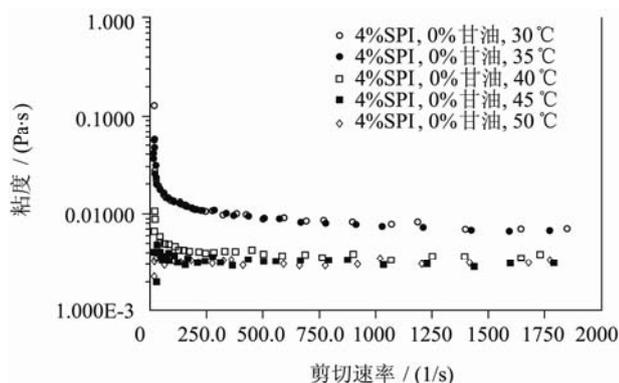


图 4 温度对 4.0% SPI 水溶液流变性的影响

Fig.4 Effect of temperature on the rheological behaviors of 4% SPI aqueous solution

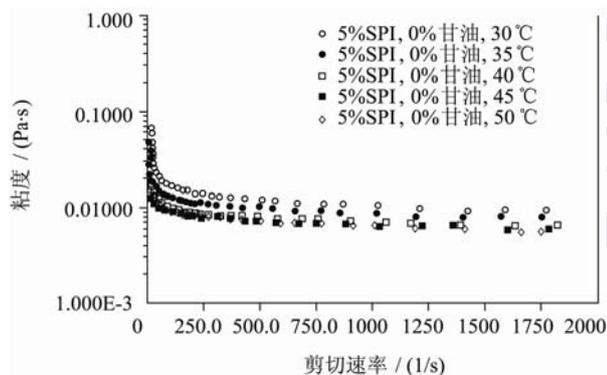


图 5 温度对 5.0% SPI 水溶液静态流动影响

Fig.5 Effect of temperature on the rheological behaviors of 5% SPI aqueous solution

本试验考察了不同温度下、不同浓度的 SPI 水溶液的流变性能, 其流变曲线见图 4~6。图 4~5 显示随着温度的升高, SPI 水溶液的粘度均减小, 但图 4 所示温度对 SPI 水溶液粘度的影响要比图 5 所示的溶液大, 图 4 中 30℃ 和 35℃ 时 SPI 水溶液粘度明显大于 35℃ 以上的, 但图 5 中显示的这种差别变小了。而图 6 所示在 30℃~50℃ 间, SPI 的流变性能曲线几乎重合, 说明在此浓度下, 温度对 SPI 水溶液的静态流变曲线的影响不大。在本实验范围内, SPI 水溶液的浓度越高, 温度对其流变性能影响越小。

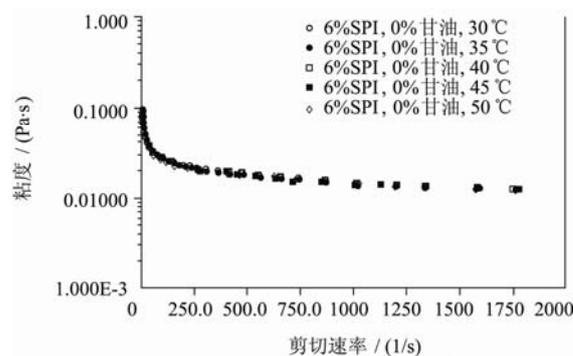


图 6 温度对 6.0% SPI 水溶液静态流动影响

Fig.6 Effect of temperature on the rheological behaviors of 6% SPI aqueous solution

2.5 温度对 SPI/甘油水溶液的流变性能影响

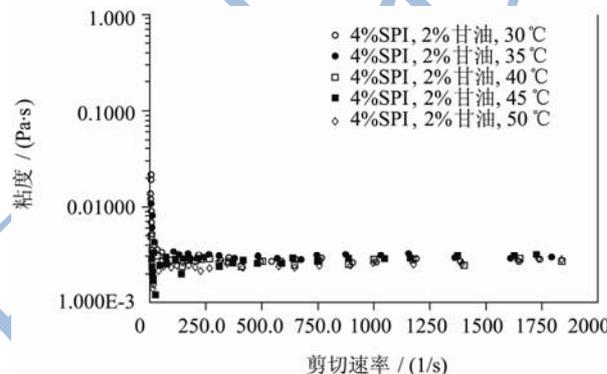


图 7 温度对 SPI/甘油水溶液静态流动影响

Fig.7 Effect of temperature on the rheological behaviors of SPI-glycerol aqueous solution

图 7 为 2.0% 甘油在不同温度下对 4.0% SPI/水溶液的流变曲线的影响。由图 7 可以知道, 添加甘油后, 温度对 4.0% SPI 水溶液流变性能影响不大, 对比图 4 可知, 2.0% 甘油提高了 SPI 水溶液的抗热性热稳定性能。

3 结论

在本实验条件下, 考察 2.0% 甘油对 1~8% SPI 水溶液的流变性质的影响, 结果表明: 2.0% 甘油不改变 SPI 的流变性质, 但能降低 SPI 水溶液的剪切粘度, 增强其流动性; 在剪切速率达到一定时, 甘油/SPI 水溶液体系的粘度受剪切速率的影响不大; 2.0% 甘油能提高 SPI 水溶液对热的稳定性。

参考文献

[1] 罗丽娟,熊捷.大豆分离蛋白膜最佳成膜条件研究[J].现代食品科技,2007,23(12):33-36  
 [2] 莫文敏,曾庆孝.可食性大豆蛋白膜的性能及应用前景[J].粮油食品科技,2001,3(9):12-13  
 [3] 王威娜,熊捷,叶君.阳离子对 SPI 膜性能的影响[J].现代食

- 品科技,2008,24(12):1199-1201
- [4] 张民,秦培军,刘丁玉.大豆分离蛋白膜研究[J].粮食与油脂,2010,12:20-22
- [5] 叶君,熊捷,宋臻善.可食性大豆分离蛋白/改性纤维素共混膜的性能[J].高分子材料科学与工程 2010,26(11):130-132
- [6] 宋臻善,叶君,熊捷.可食性 SPI/HPC 膜的性能[J].现代食品科技,2006,25(5):481-483
- [7] 郑文杰,叶君,何婉芬,等.羟乙基纤维素水溶液的流变性能的研究[J].造纸科学与技术,2007,1:40-42
- [8] 陈复生,侯红江,程小丽,等.复合增塑剂对大豆分离蛋白可生物降解材料性能影响的研究[J].粮油加工,2010,3:94-98

现代食品科技