

# 沙蒿籽胶的流变学性质研究

刘敦华<sup>1,2</sup>, 谷文英<sup>1,\*</sup>

(1.江南大学食品学院, 江苏 无锡 214036; 2.宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750011)

**摘 要:** 研究了沙蒿籽胶的静态流变学特性和动态流变学特性。静态流变学表明: 沙蒿籽胶溶液是触变性流体, 其表观粘度随质量分数的增加而增加, 且随剪切速率变化的影响符合 Herschel - Bulkey 模型; 温度、pH 值等对沙蒿籽胶溶液的表观粘度影响较小; 盐的加入能改变沙蒿籽胶溶液的粘度。动态流变学特性表明: 沙蒿籽胶溶液显示弱凝胶特性。

**关键词:** 沙蒿籽胶; 静态流变; 动态流变; 表观粘度

## Rheological Properties of *Artemis sphaerocephala* Krasch Gum

LIU Dun-hua<sup>1,2</sup>, GU Wen-ying<sup>1,\*</sup>

(1.School of Food Science and Technology, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China;  
2.School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750011, China)

**Abstract :** This paper mainly studied the rheological properties of *Artemis sphaerocephala* Krasch gum. The results showed that the *Artemis sphaerocephala* Krasch gum is a kind of thixotropy. Apparent viscosity increased with the increase of concentration. The rheological properties followed the Herschel - Bulkey model. Its apparent viscosity changed a little with temperature and pH. The addition of salt, such as NaCl and GaCl<sub>2</sub>, affected apparent viscosity of *Artemis sphaerocephala* Krasch gum. *Artemis sphaerocephala* Krasch gum solutions exhibits typical “weak gel” properties by small strain oscillatory measurements.

**Key words:** *Artemis sphaerocephala* Krasch gum; static rheological; dynamic rheological; apparent viscosity

中图分类号: TS201.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2006)02-0076-05

沙蒿(*Artemis sphaerocephala* Krasch.)属菊科、蒿属, 为多年生半灌木状植物。沙蒿籽是沙蒿成熟的果实, 不规则卵状粒, 似芝麻而比芝麻小, 短径为 0.9~1.3mm, 长径 1.3~2.8mm, 千粒重 0.72~0.73g, 容重为 725~730g/L。沙蒿是我国沙漠地区的一种野生植物, 分布很广, 沙蒿籽蕴藏量十分丰富。沙蒿籽富含营养, 蛋白 20%~28%, 脂肪 20% 以上<sup>[1]</sup>。另外在沙蒿籽外表皮上还含有约 20% 的胶质(沙蒿籽胶), 其具有很强的吸水能力, 吸水后能迅速膨胀, 在水中能形成粘稠的溶液, 具有良好的持水性、粘着力和化学稳定

性。沙蒿籽胶可作为凝胶改良剂、增稠剂、乳化剂及稳定剂, 可用于食品、轻化工业中<sup>[2,3]</sup>。沙蒿籽胶自 1980 年首次被报道到现在, 以胶的提取和应用进行了研究, 而胶的一些流变特性研究的却很少<sup>[4~8]</sup>。本文主要研究了温度、pH 值、盐对沙蒿籽胶溶液流变性质的影响和动态流变研究, 为沙蒿籽胶的利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

收稿日期: 2005-03-31

\* 通讯作者

作者简介: 刘敦华(1964-), 男, 副教授, 博士研究生, 主要从事天然药食和食品科学与工程方面的研究。

[5] 史红勤, 等. AOT-磷脂反胶团体系萃取蛋白质的研究[J]. 化工学报, 1990, (6): 702-708.

[6] 陈复生, 赵俊庭, 姜源功. 利用反胶束萃取技术同时分离植物蛋白

和油脂[J]. 食品科学, 1997, 18(8): 43-46.

[7] 缪伟, 姚松年. 卵磷脂反胶束体系中  $\beta$ -1-4 葡萄糖苷酶的研究[J]. 物理化学学报, 1999, 15(10): 930-937.



沙蒿籽 宁夏绿洲草业有限公司提供的种子；瓜儿胶 上海凯惠食品添加剂公司；黄原胶 山东中轩生物制品公司；刺槐豆胶 丹尼斯克公司。

## 1.2 仪器

AR1000 流变仪 英国 TA 公司产品；LXJ-II 离心机 上海医用分析仪器厂；DTY-1SL 冷冻干燥机 北京德天佑科技发展有限公司。

## 1.3 方法

### 1.3.1 沙蒿籽胶的制备

用 20 倍的水与沙蒿籽混合浸泡 5min，在高速搅拌下，使胶与籽分离，再用分离因素为 1800r/min 的离心机分离籽与胶，得到的沙蒿籽胶溶液经冷冻升华干燥，粉碎后即成为沙蒿籽胶粉。

### 1.3.2 沙蒿籽胶溶液静态流变性质测定

分别配制质量分数为 0.1%、0.3%、0.5%、1%、1.5%、2% 的沙蒿籽胶溶液，质量分数为 1% 的瓜儿胶、黄原胶、刺槐豆胶溶液，用 AR1000 流变仪，选用直径为 60mm，1° 不锈钢锥板系统，在 25℃ 测定静态流变性质。

配制质量分数为 1% 的沙蒿籽胶溶液，用 AR1000 流变仪，选用直径为 60mm，1° 不锈钢锥板系统，分别在 0、20、40、60、80℃ 测定静态流变性质。

配制质量分数为 1% 的沙蒿籽胶溶液，分别用 HCl 和 NaOH 溶液调节 pH 值为 2~12，用 AR1000 流变仪，选用直径为 60mm，1° 不锈钢锥板系统，在 25℃ 测定静态流变性质。

分别用 NaCl 和 CaCl<sub>2</sub> 溶液配制质量分数为 1% 的沙蒿胶溶液，NaCl 和 CaCl<sub>2</sub> 的质量浓度分别为 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、1、2g/L，用 AR1000 流变仪，选用直径为 60mm，1° 不锈钢锥板系统，在 25℃ 测定静态流变性质。

### 1.3.3 沙蒿籽胶溶液动态流变性质测定

分别配制质量分数为 2% 的沙蒿籽胶、黄原胶、瓜儿胶、刺槐豆胶溶液，用 AR1000 流变仪测定动态流变性质。

#### 1.3.3.1 线性粘弹区的测定

用 AR1000 流变仪，选用直径为 60mm，1° 不锈钢锥板系统，测定复合模量  $G^*$  随振荡应力的变化。

#### 1.3.3.2 动态流变性质的测定

复合模量  $G^*$  恒定的振荡应力区为线性粘弹区，在此范围内固定一振荡应力，用 AR1000 流变仪分别测定沙蒿籽胶、黄原胶、瓜儿胶、刺槐豆胶溶液的储能模量  $G'$ 、损耗模量  $G''$  及动力学粘度  $\eta'$  随振荡频率的变化。

## 2 结果与分析

### 2.1 剪切速率对沙蒿籽胶溶液粘度的影响

剪切速率对沙蒿籽胶溶液粘度的影响见图 1，质量分数为 1% 沙蒿籽胶溶液的粘度随剪切速率的增加而降低，表现为剪切变稀，显现假塑性流体的性质。在相同的质量分数(1%)下，沙蒿籽胶溶液剪切变稀最明显，沙蒿籽胶的初始粘度高于黄原胶和刺槐豆胶，低于瓜儿豆胶，但沙蒿籽胶溶液的粘度随剪切速率的变化比其他 3 种胶溶液的变化都大，这与 4 种亲水胶体的分子大小和与水的结合力有关，分子越大，亲水力越强，流体流动阻力越大，因而粘度就高。

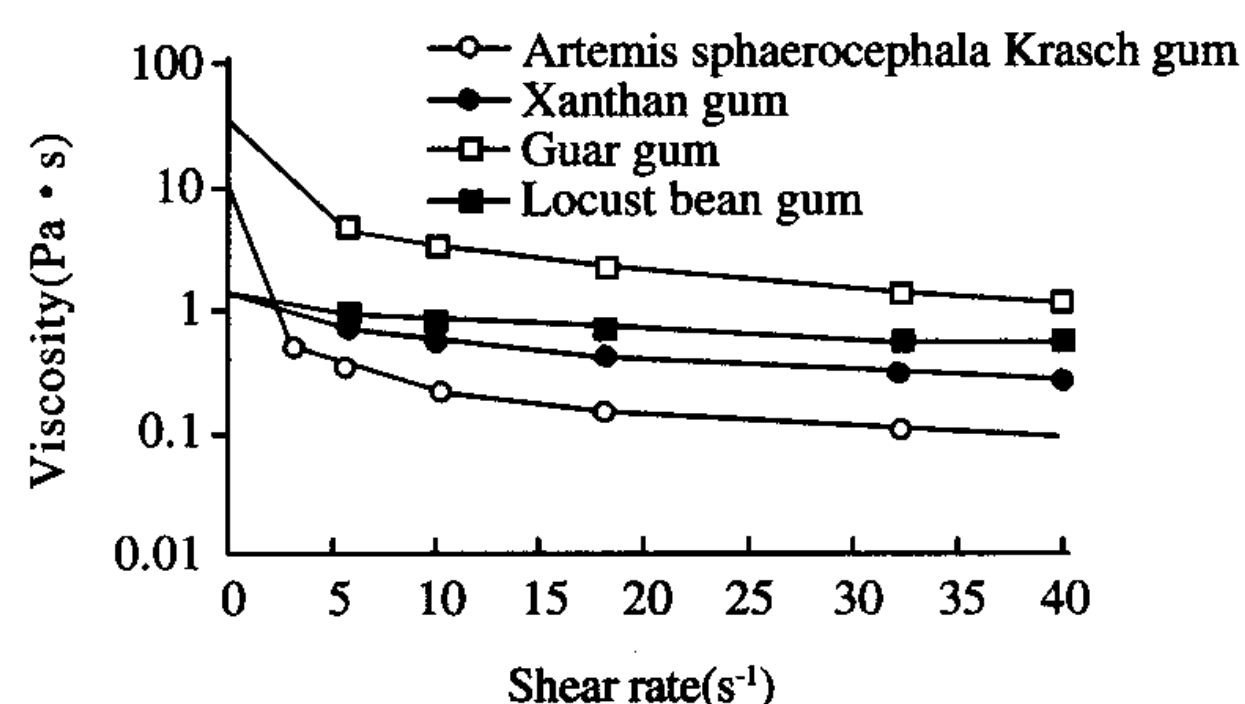


图 1 质量分数 1% 的沙蒿籽胶溶液、黄原胶溶液、瓜尔胶溶液、刺槐豆胶溶液的粘度随剪切速率的变化

Fig.1 Steady shear flow curves of *Artemis sphaerocephala* Krasch gum, xanthan gum, guar gum and locust bean gum at concentration 1%

### 2.2 质量分数对沙蒿籽胶溶液粘度的影响

沙蒿籽胶溶液的质量分数是影响沙蒿胶溶液粘度的重要因素。由图 2 可以看出，沙蒿籽胶溶液的粘度随着质量分数的增加而迅速增加。质量分数的增加使分子间的氢键力增大，流体流动阻力增加，因而在相同的剪切速率下，溶液的粘度增大。沙蒿籽胶在低浓度和低剪切速率下，也呈现较大粘度和剪切变稀，是由于沙蒿籽胶具体弱的分子间力而有稳定的高分子呈刚性的复合团聚体<sup>[1]</sup>。

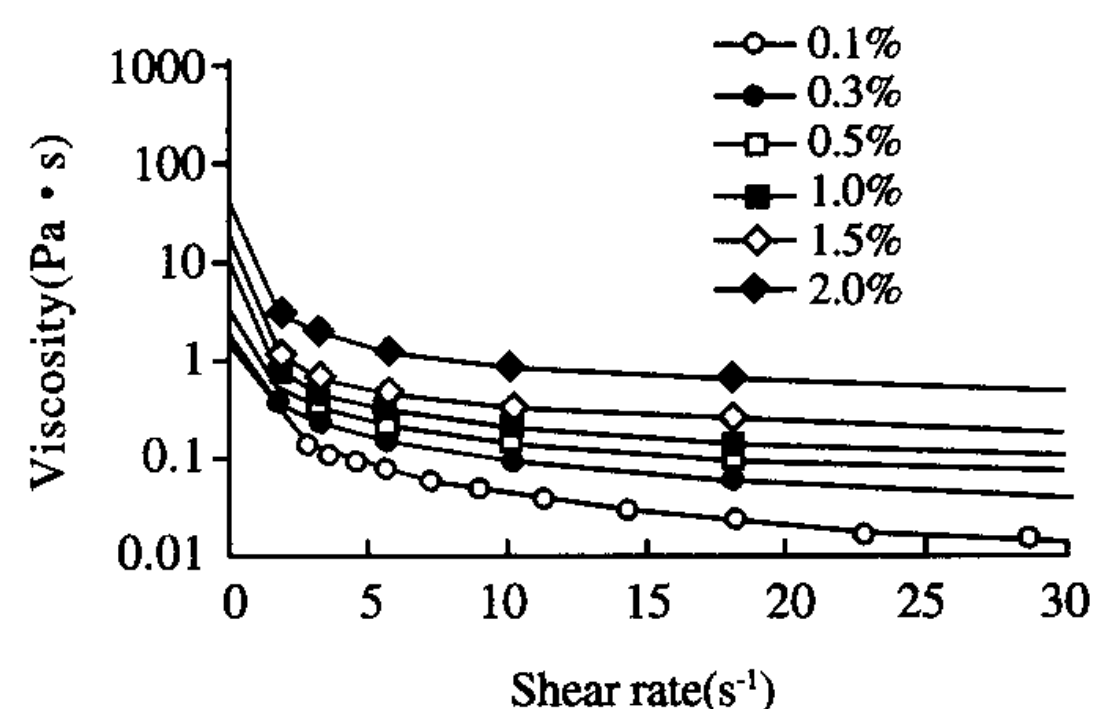


图 2 质量分数对沙蒿籽胶溶液粘度的影响

Fig.2 Effect of different concentration on apparent viscosity of *Artemis sphaerocephala* Krasch gum

沙蒿籽胶溶液的流动曲线符合 Herschel-Bulkey 模型， $\tau = \tau_y + K \dot{\gamma}^n$ 。模型中  $\tau$  为剪切应力； $\tau_y$  为屈服应



力;  $K$  为稠度系数;  $n$  为流动指数。  $\tau_y$  是非牛顿流体特性之一, 表征当流体所受剪切应力超过屈服应力时流体才能流动。牛顿流体属于小分子, 是不可能具有屈服应力的<sup>[9,10]</sup>。由于沙蒿籽胶具有屈服应力, 在沙蒿籽胶开始流动时, 需要很大的压力才能使胶流动。  $K$  和  $n$  是流体流动的特征参数,  $K$  表征流体的粘度, 越大流体越粘稠。  $n$  表示与牛顿流体偏差的程度,  $n=1$  为牛顿流体;  $n < 1$  表示剪切变稀, 即假塑性流体,  $n$  数值越小说明假塑性程度越大, 剪切稀化越明显;  $n > 1$  表示剪切变稠, 即胀塑性流体,  $n$  数值越大说明胀塑性程度越大, 剪切变稠越明显。表 1 中列出了不同质量分数沙蒿籽胶溶液的流体流动参数。而黄原胶溶液、瓜尔胶溶液、刺槐豆胶溶液的流动特性符合 power-law 模型  $\tau = K \dot{\gamma}^n$ <sup>[9,10]</sup>。

表 1 不同质量分数沙蒿籽胶溶液屈服应力、稠度系数和流动指数  
Table 1 Comparison of  $\tau_y$ ,  $K$  and  $n$  values of different concentration of *Artemis sphaerocephala* Krasch gum solution

质量分数(%)	屈服应力 $\tau_y$ (Pa)	稠度系数 $K$ (Pa · s)	流动指数 $n$
0.1	-48.96	0.193	5.409E-4
0.3	-0.172	0.204	0.196
0.5	0.6799	0.269	0.493
1	0.8544	0.415	0.5194
1.5	1.845	0.599	0.7098
2	5.353	0.636	0.7631

### 2.3 时间对沙蒿籽胶溶液剪切应力的影响

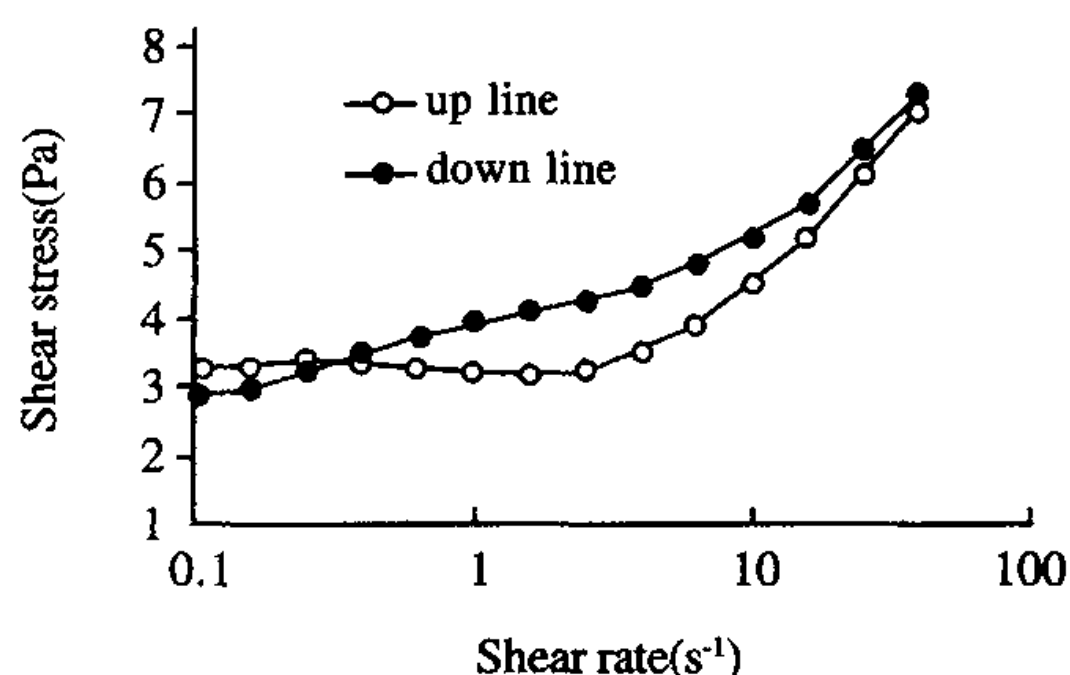


图 3 质量分数为 1% 沙蒿籽胶溶液的剪切应力与剪切速率曲线的关系  
Fig.3 Relationship of shear stress and shear rate for 1% *Artemis sphaerocephala* Krasch gum solution

沙蒿籽胶溶液具有触变性。用质量分数 1% 的沙蒿籽胶溶液, 将剪切速率在 180s 内均匀地从  $0s^{-1}$ , 提高到  $40s^{-1}$ , 然后在相同时间内从  $40s^{-1}$  降至  $0s^{-1}$ , 测定剪切速率上升和下降过程中剪切应力曲线。由图 3 可以看出, 在  $0 \sim 0.3s^{-1}$  的范围内, 沙蒿籽胶溶液表现出负触变性, 而在  $0.3 \sim 40s^{-1}$  溶液却表现出正触变性。表示质量分数 1% 的沙蒿籽胶溶液具有触变性。其原因是随着剪切应力的增加, 沙蒿籽胶分子形成的结合构造受到破坏, 因此粘性减少。但这些分子间的结合构造在停止应力作用时, 恢复需要一段时间, 逐渐形成。因此, 形成了与流动时间有关的履历曲线(滞后环)<sup>[11]</sup>。

### 2.4 温度对沙蒿籽胶溶液粘度的影响

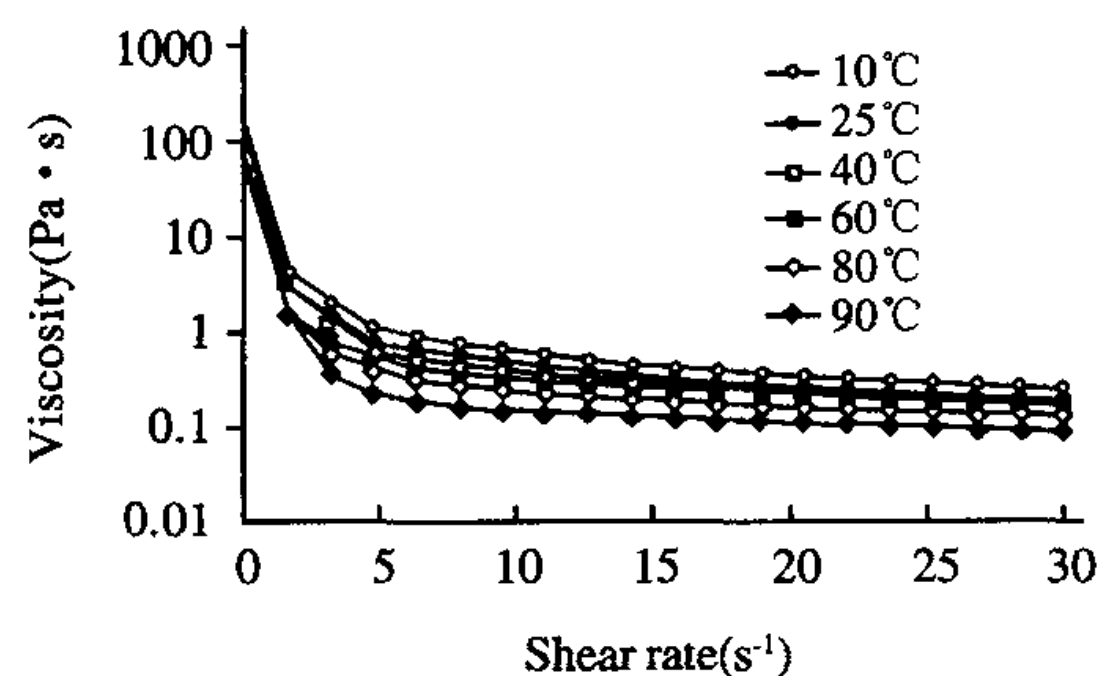


图 4 温度对质量分数 1% 沙蒿籽胶溶液粘度的影响  
Fig.4 Viscosity vs. temperature for 1% *Artemis sphaerocephala* Krasch gum solution

温度对沙蒿籽胶溶液粘度的影响不大, 这与黄原胶溶液很类似<sup>[12,13]</sup>。从图 4 可以看出, 质量分数为 1% 的沙蒿籽胶溶液随着温度的升高, 胶溶液的粘度稍有所降低, 但减低幅度不大, 说明沙蒿籽胶稳定的高分子复合团聚体随着温度的增加, 分子的布朗运动稍有增加但不显著, 分子流动阻力减少, 使粘度下降。

### 2.5 pH 对沙蒿籽胶溶液粘度的影响

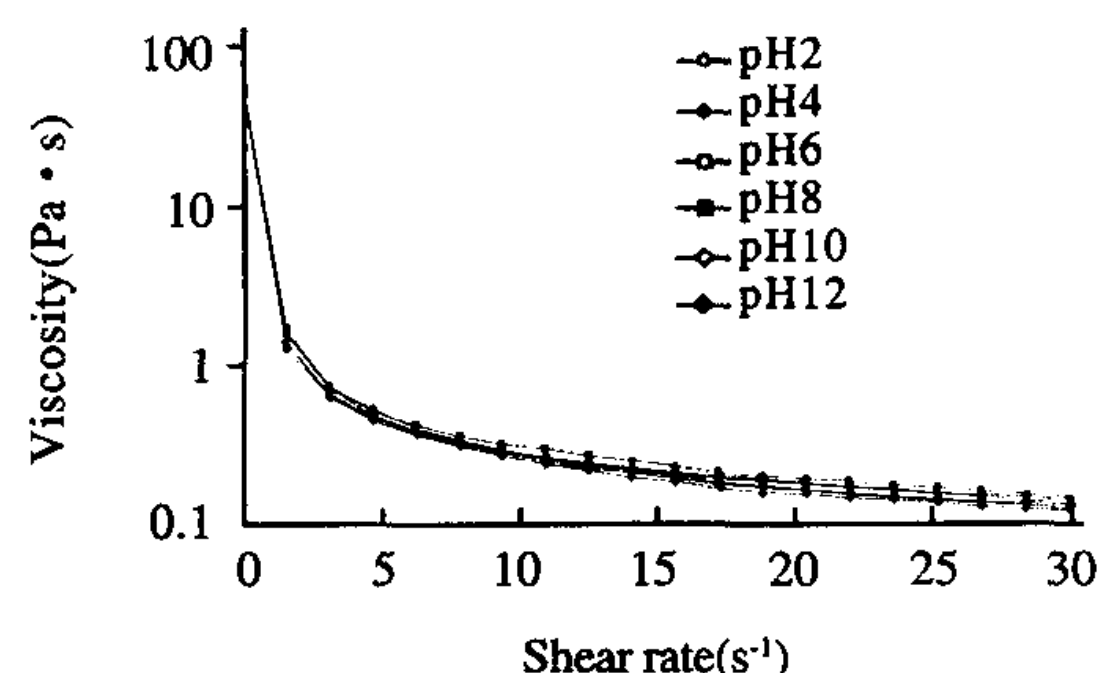


图 5 pH 值对质量分数 1% 沙蒿籽胶溶液粘度的影响  
Fig.5 Effect of pH on the viscosity of 1% *Artemis sphaerocephala* Krasch gum solution

从图 5 可以看出, 在 pH 为 2~12 的范围内, pH 值对质量分数为 1% 沙蒿籽胶溶液的粘度影响不大, 沙蒿籽胶溶液的粘度基本保持不变。这与黄原胶很类似<sup>[12,13]</sup>, pH 在 2~11 的范围内黄原胶的粘度很稳定, 是由于黄原胶分子构架上无电荷。沙蒿籽胶也可能分子构架上无电荷多糖, 由于分子间吸引排斥使分子伸展而分散在水中, 因而具有很高的粘度。当溶液的 pH 值改变时, 分子间力不会改变, 因而分子的构象不会变化, 使溶液的粘度不会改变<sup>[14]</sup>。

### 2.6 盐对沙蒿籽胶溶液粘度的影响

从图 6 可以看出, 添加不同质量浓度的 NaCl 和 CaCl<sub>2</sub> 溶液后, 沙蒿籽胶溶液的粘度下降, 但当质量浓度超过 0.3g/L 时, 溶液的粘度增加, 质量浓度为 0.4g/L 时溶液的粘度得到最大, 随后粘度下降, 当质量浓度为 0.5g/L 后, 溶液的粘度基本保持不变。从图中可以



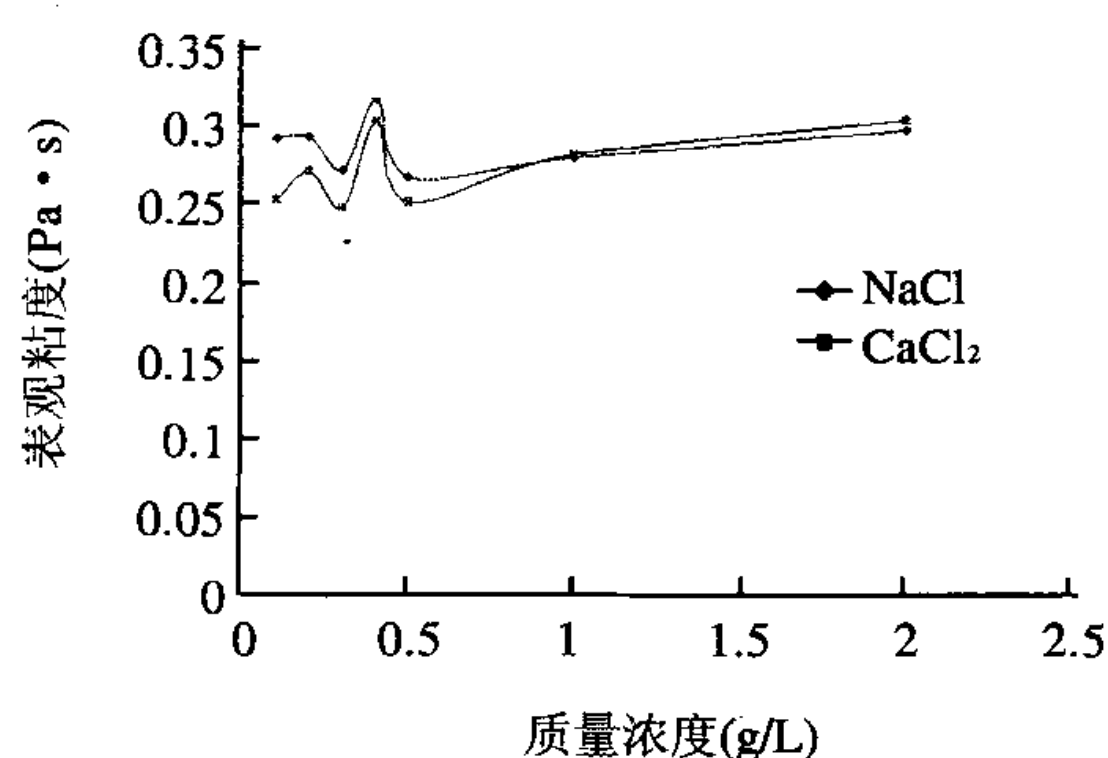


图6 不同质量浓度的盐对质量分数1%沙蒿籽胶溶液粘度的影响

Fig.6 Effect of salt on the viscosity of 1% *Artemis sphaerocephala* Krasch gum solution

看出,添加相同质量浓度的NaCl和CaCl<sub>2</sub>溶液,对沙蒿籽胶溶液粘度的影响能力基本相同。这是因为Na<sup>+</sup>和Ca<sup>2+</sup>的存在将改变带电粒子的扩散双电层,即改变了双电层的厚度,使Zeta电位改变,分子链变形,导致溶液粘度改变<sup>[13,14]</sup>。当电解质的添加量达到某一值后,再继续添加电解质的质量浓度,沙蒿籽胶溶液的粘度不再改变,这可能是因为溶液中产生的Na<sup>+</sup>和Ca<sup>2+</sup>的反离子已经达到了饱和,溶液的粘度也不会再改变了。另外,Na<sup>+</sup>改变沙蒿籽胶溶液的粘度能力与Ca<sup>2+</sup>改变其粘度的能力基本上的相同的。

## 2.7 沙蒿籽胶溶液的动态流变性质

流体的粘度和剪应力可以提供流体流动的有关信息,如流体的屈服应力以及是否具有触变性等。而食品胶基本都是粘弹性的,用静态流变只能部分描述其流变特性,只有动态流变才能将粘性和弹性充分显示出来<sup>[10]</sup>。

### 2.7.1 线性粘弹区的确定

在测定溶液的粘弹性质时,需要在线性粘弹区内进行测定<sup>[15]</sup>。线性粘弹区是指复合模量 $G^*(G^*=G'+iG'')$ 不随振荡应力或应变变化的区域。

从图7~10可以看出,沙蒿籽胶溶液、黄原胶溶液、瓜尔胶溶液、刺槐豆胶溶液在振荡应力为0.1~5Pa的范围内显示线性粘弹区,复合模量 $G^*$ 显线性关系。本试验选择1Pa的振荡应力来测定沙蒿籽胶溶液、黄原胶溶液、瓜尔胶溶液、刺槐豆胶溶液的动态流变性质。

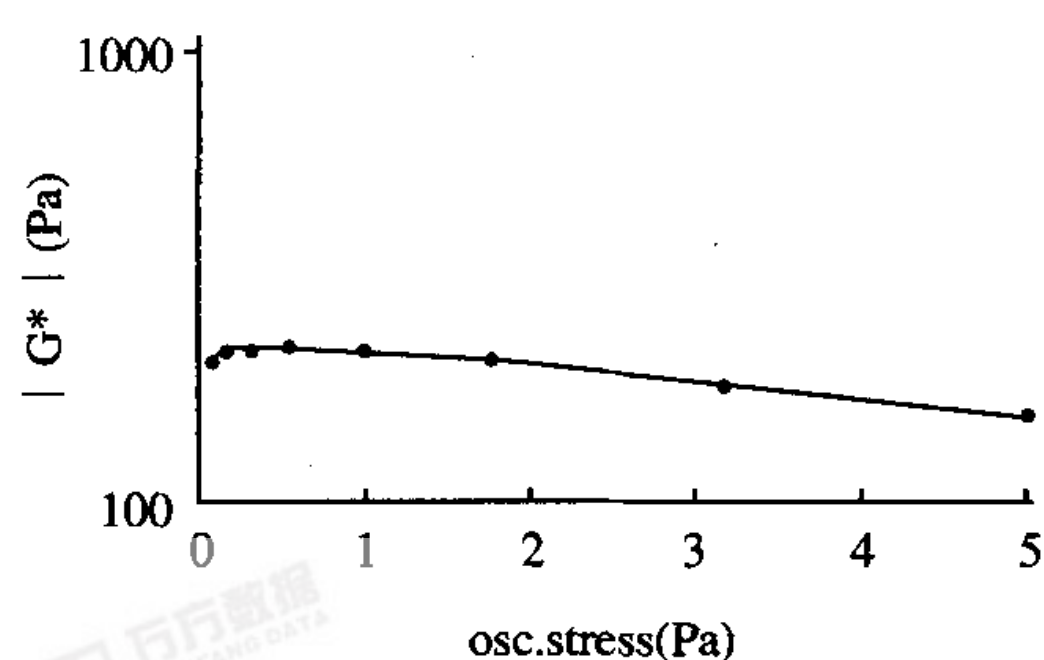


图7 沙蒿籽胶溶液的复合模量 $G^*$ 与应力的关系

Fig.7 Relationship of modulus  $G^*$  with stress of *Artemis sphaerocephala* Krasch gum

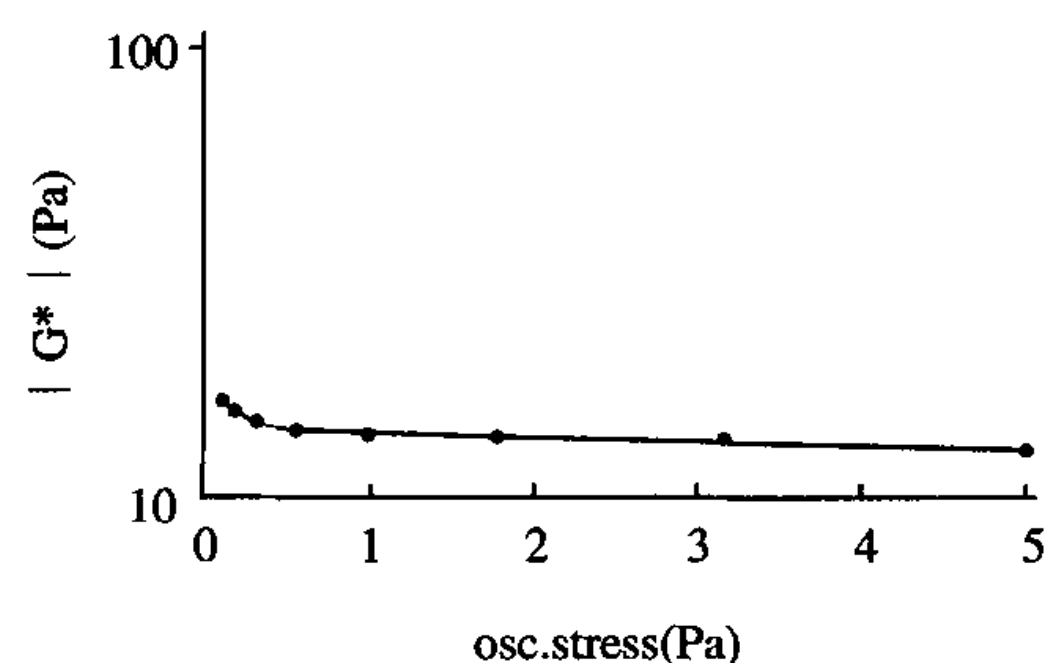


图8 黄原胶溶液的复合模量 $G^*$ 与应力的关系

Fig.8 Relationship of modulus  $G^*$  with stress of xanthan gum

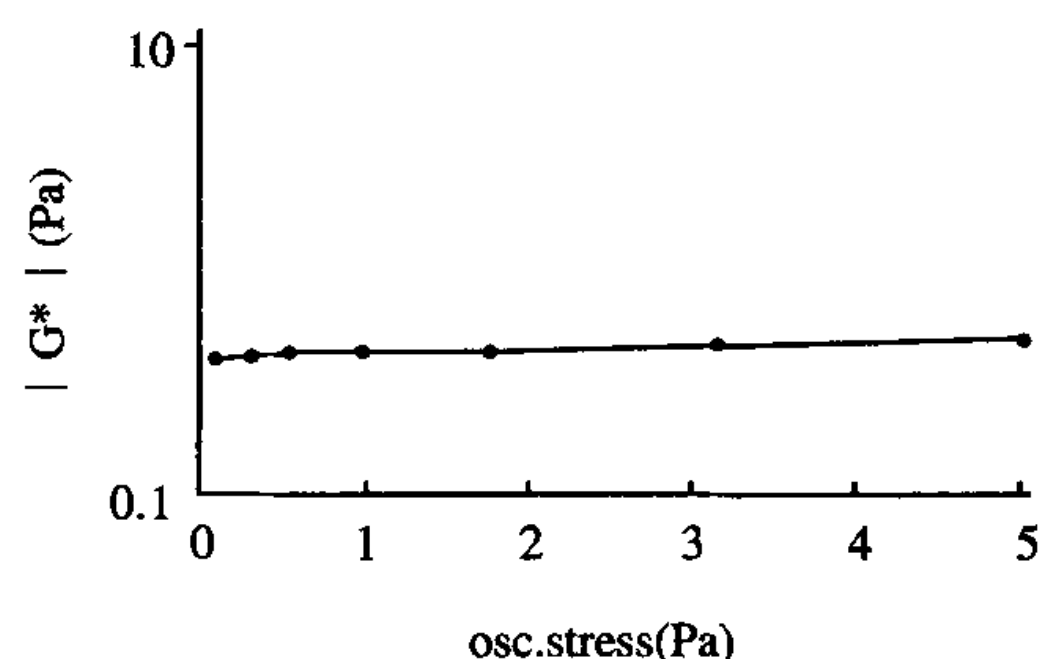


图9 瓜尔豆胶溶液的复合模量 $G^*$ 与应力的关系

Fig.9 Relationship of modulus  $G^*$  with stress of guar gum

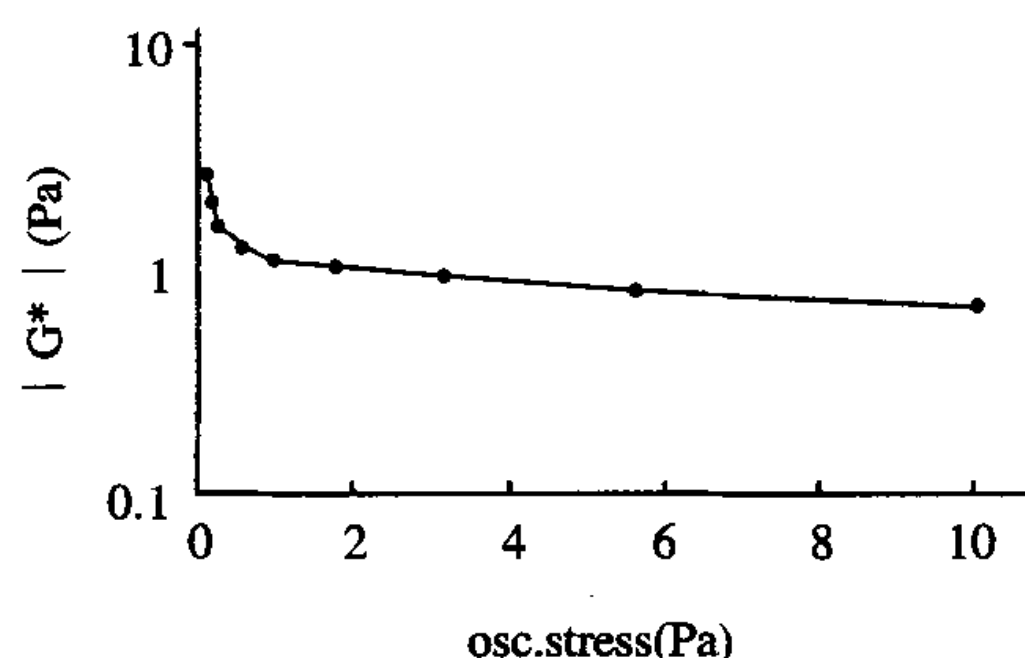


图10 刺槐豆胶溶液的复合模量 $G^*$ 与应力的关系

Fig.10 Relationship of modulus  $G^*$  with stress of locust bean gum

### 2.7.2 沙蒿籽胶溶液的动态流变性质

质量分数2%的沙蒿籽胶溶液的储能模量 $G'$ 、损耗模量 $G''$ 和动力学粘度 $\eta'$ 随振荡频率的变化见图11。从图中看出,沙蒿籽胶溶液的动力学粘度随振荡频率的增加而减少,表现为剪切变稀的特性,与静态流变性质测量的结果相符。在所采用的振荡频率下,沙蒿籽胶溶液的储能模量 $G'$ 始终大于损耗模量 $G''$ ,显示了典型的粘弹性,表现出类似固体的性质。因此质量分数2%的沙蒿籽胶溶液表现出弱凝胶的特性<sup>[16]</sup>。

质量分数2%黄原胶、瓜尔胶和刺槐豆胶溶液的储能模量 $G'$ 、损耗模量 $G''$ 和动力学粘度 $\eta'$ 随振荡频率的变化分别见图12,13,14。在所采用的振荡频率下,黄原胶溶液的储能模量 $G'$ 略大于损耗模量 $G''$ ,瓜尔胶溶液的储能模量 $G'$ 明显大于损耗模量 $G''$ ,刺槐豆胶溶液的储能模量 $G'$ 与损耗模量 $G''$ 基本相等。在质量分数相同的条件下进行比较,沙蒿胶溶液的储能模量 $G'$ 略小于瓜尔豆胶溶液的储能模量 $G'$ ,但比黄



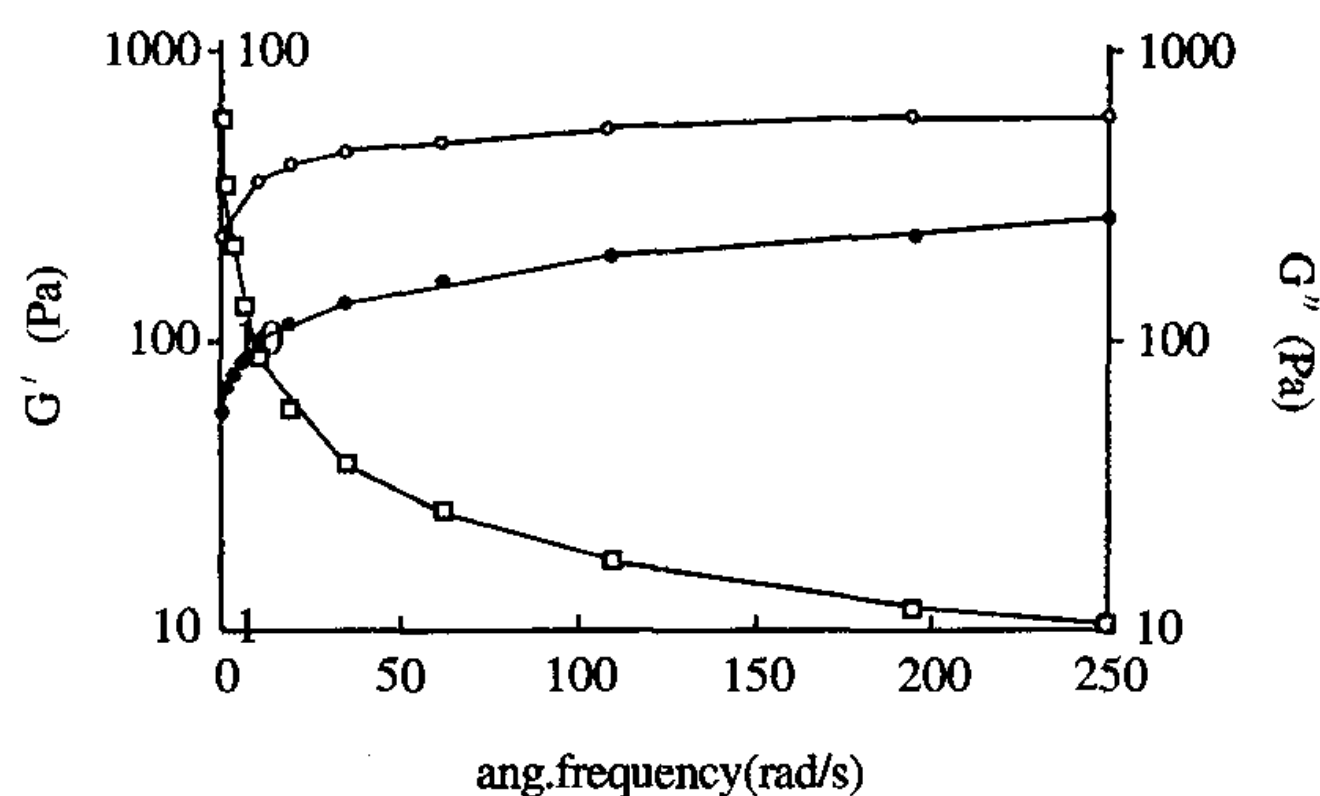
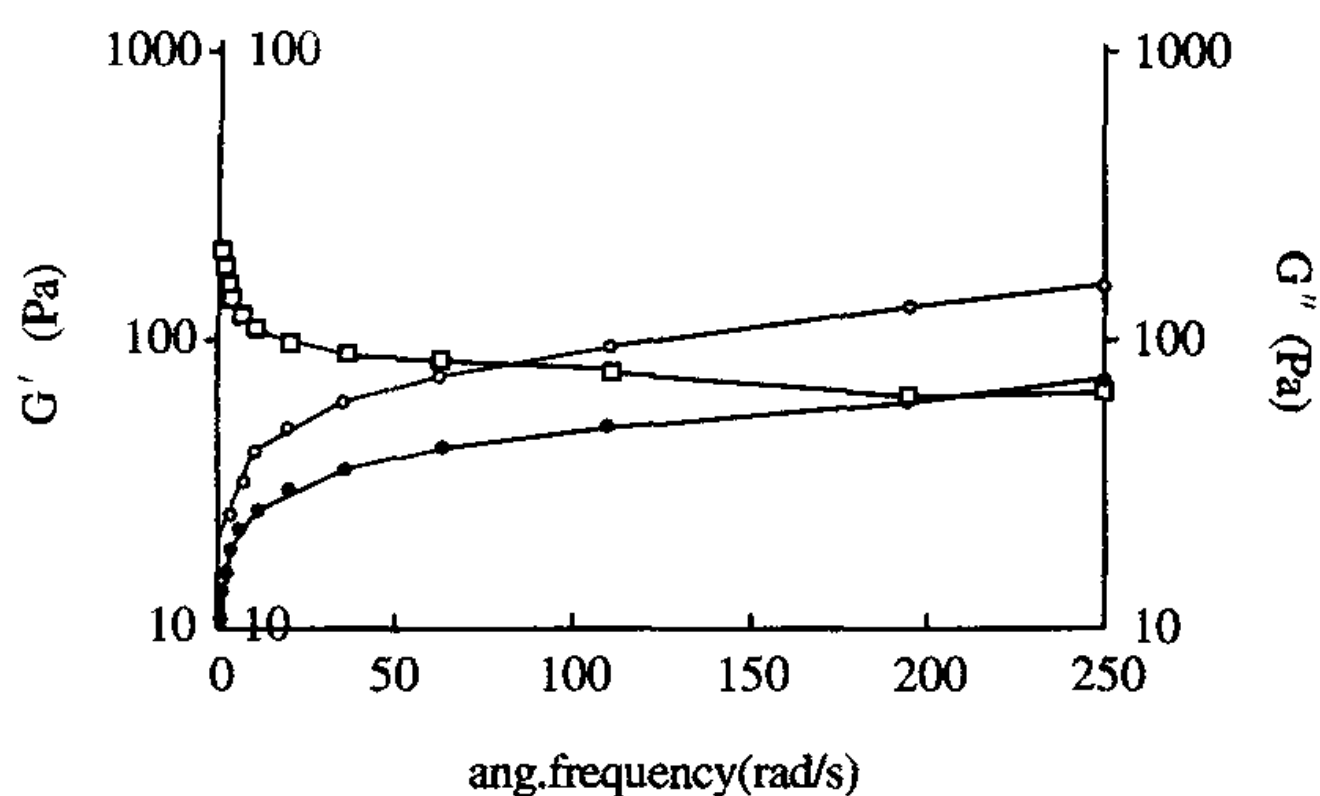
图 11 沙蒿籽胶溶液的  $G'$ 、 $G''$  和  $\eta'$  随频率的变化Fig.11 Dynamic rheological spectra of *Artemis sphaerocephala* Krasch. Gum图 12 黄原胶溶液的  $G'$ 、 $G''$  和  $\eta'$  随频率的变化

Fig.12 Dynamic rheological spectra of xanthan gum

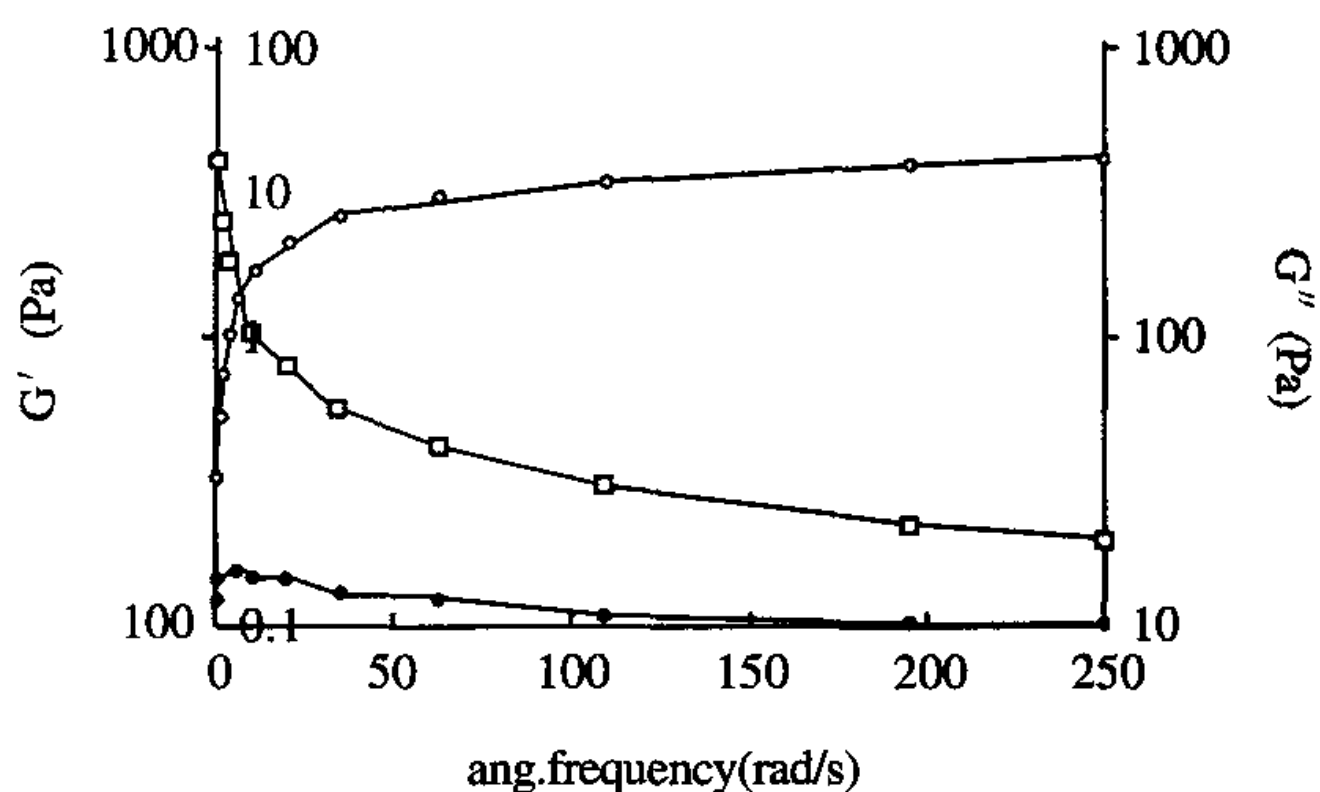
图 13 瓜尔豆胶溶液的  $G'$ 、 $G''$  和  $\eta'$  随频率的变化

Fig.13 Dynamic rheological spectra of guar gum

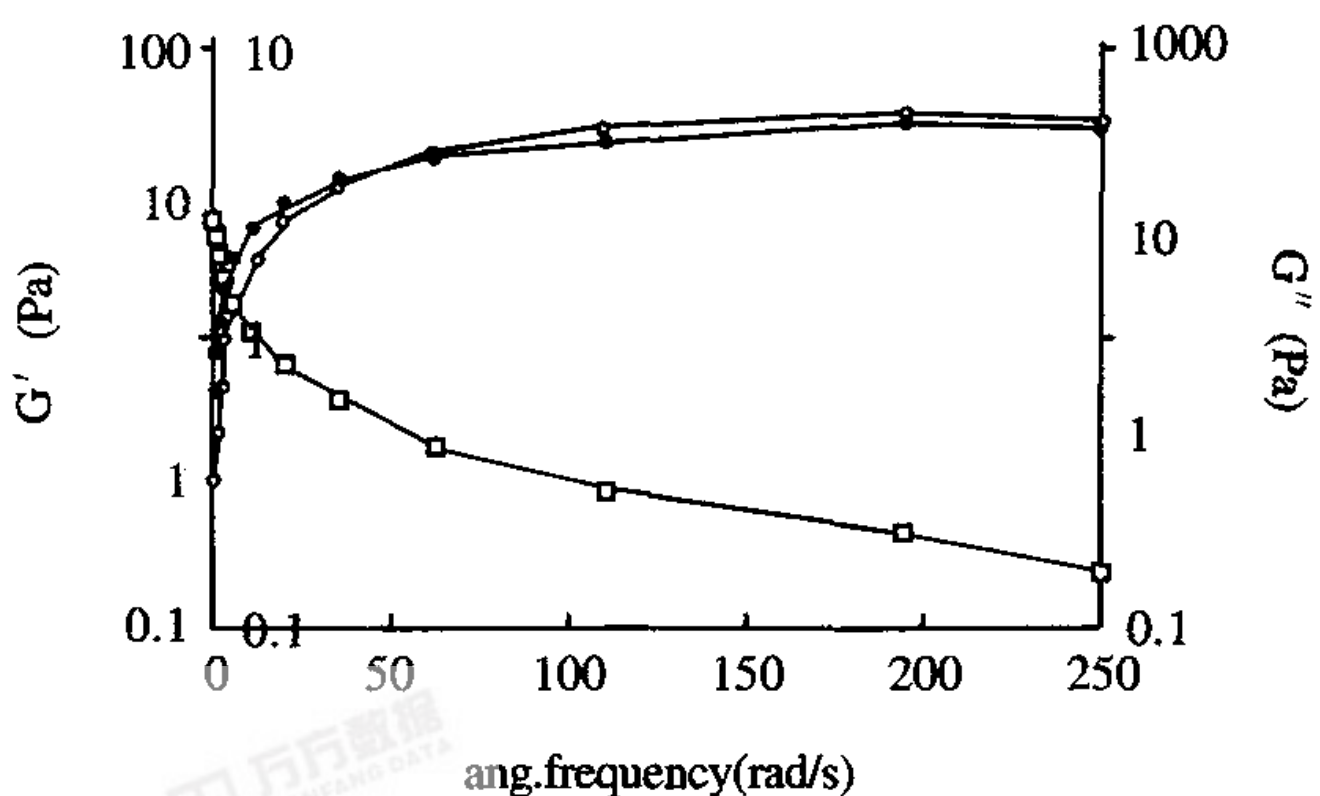
图 14 刺槐豆胶溶液的  $G'$ 、 $G''$  和  $\eta'$  随频率的变化

Fig.14 Dynamic rheological spectra of locust bean gum

原胶和刺槐豆胶的和损耗模量  $G''$  贮能模量都要大；而沙蒿籽胶溶液的损耗模量  $G''$  比黄原胶溶液、瓜尔胶溶液和刺槐豆胶的损耗模量  $G''$  都要大。

### 3 结 论

研究表明沙蒿籽胶溶液为触变性流体。沙蒿籽胶溶液粘度随剪切速率的增加而减低，其流动特性符合 Herschel-Bulkey 模型，质量分数 1% 的沙蒿籽胶溶液的流动模型为  $\tau = 0.8544 + 0.415 \gamma^{0.5194}$ 。沙蒿籽胶溶液的表观粘度随质量分数的增加而逐渐增加，随其温度的升高而稍有降低，pH 值对沙蒿籽胶溶液的表观粘度的影响较小。此外，盐的加入能改变沙蒿籽胶溶液的表观粘度，由于沙蒿籽胶内部分子的结合力和胶分子空间构象的特点，盐的加入对沙蒿籽胶溶液粘度的影响情况表现出与其他胶有较大的差别，但  $\text{Na}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$  对沙蒿籽胶溶液的影响基本相同。动态流变性质的测定结果表明沙蒿籽胶溶液具有弱凝胶的特性。

### 参考文献：

- [1] 魏明山. 沙蒿种子化学成分与应用的研究[J]. 中国粮油学报, 1988, (2): 50-51.
- [2] 张大文, 郭丽坤. 沙蒿籽胶[J]. 食品科学, 1989, (4): 10-12.
- [3] 柴本旺. 新型天然食品添加剂白沙蒿籽的应用研究[J]. 郑州粮油学报, 1992, (2): 33-41.
- [4] 张大文, 郭丽坤. 沙蒿籽胶[J]. 食品科学, 1989, (4): 10-12.
- [5] 郁祖昌. 高效食品改良剂—沙蒿胶[J]. 江苏调味副食品, 1995, (1): 29-30.
- [6] 秦振平, 曹庆生. 食用沙蒿胶的提取研究[J]. 食品科学, 2001, 22(8): 54-56.
- [7] 张守文, 李丹. 天然物质沙蒿和谷朊粉进行面粉品质改良基础研究[J]. 粮食与油脂, 2001, (8): 2-5.
- [8] 宋庆新, 陈合. 食用沙蒿籽胶流变学特性的研究[J]. 食品科学, 2002, 23(9): 53-55.
- [9] 陈宗洪, 戴闵光. 胶体化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1984. 219-230.
- [10] 江体乾. 化工流变学[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 2004. 202-220.
- [11] 李里特. 食品物性学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001. 16-26.
- [12] Owen R F. 食品化学(第三版)[M]. 王璋, 许时婴, 江波, 等译. 北京: 中国轻工业出版社, 2003. 175-176.
- [13] Phillips G O, Williams P A. Handbook of hydrocolloids[M]. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2000. 103-115.
- [14] 何曼君, 陈维孝, 董西侠. 高分子物理[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2000.
- [15] 罗昌荣. 高质量番茄粉的研制及其贮藏稳定性的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2001.
- [16] Steve W Cui. Polysaccharide gums from agricultural products[M]. Canada: Technomic Publishing Company INC, 2001.