

芥蓝胶流变学特性的研究

李泽珍^{1,2}, 陈敏^{1*}, 朱小聪¹

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

2. 山西农业大学食品科学与工程学院, 山西太谷 030801)

摘要: 研究了芥蓝胶溶液的流变学特性。应用 NDJ-1 型旋转粘度计和 AR550 流变仪, 考察了浓度、温度、pH、剪切速率、电解质和非电解质对芥蓝胶溶液表观粘度的影响, 及其动态流变性质。结果表明, 低浓度芥蓝胶具有很高的粘度; 芥蓝胶溶液是剪切变稀的假塑性流体, 其表观粘度随浓度的增加逐渐增加; 随着温度的上升, 芥蓝胶溶液的表观粘度下降; pH 对芥蓝胶溶液的表观粘度影响很大; 盐、蔗糖、柠檬酸在一定浓度范围都会使芥蓝胶溶液表观粘度显著下降。动态流变性质的研究表明, 芥蓝胶溶液显示弱凝胶的特性。

关键词: 芥蓝胶, 流变性, 表观粘度, 储能模量, 损耗模量

Study on rheology properties of *Camelina Sativa* gum

LI Ze-zhen^{1,2}, CHEN Min^{1*}, ZHU Xiao-cong¹

(1. College of Food Science & Nutritional Engineering China Agricultural University, Beijing 100083, China)

2. College of Food Science & Engineering Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract Rheological properties of *Camelina sativa* gum was investigated by NDJ-1 rotary viscosimeter and AR550 rheometer. The properties were affected by its concentration, temperature, pH, shearing action, electrolyte and nonelectrolyte added. The results showed that *Camelina sativa* gum solution in low concentration exhibited high apparent viscosity and its whose apparent viscosity exhibited shear thinning behavior belonged to pseudoplastic fluid. Apparent viscosity increased with the increase of concentration, and decreased with the increase of temperature. pH affected apparent viscosity of *Camelina sativa* gum remarkably. Apparent viscosity decreased observably with addition of certain concentration of electrolyte and nonelectrolyte. *Camelina sativa* gum solutions exhibited typical "weak gel" properties by small strain oscillatory measurements.

Keywords *Camelina sativa* gum; rheology; apparent viscosity; storage modulus; loss modulus

中图分类号: TS201.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2008)010-0115-05

芥蓝 (*Camelina sativa* Glod. of pleasure) 属于十字花科, 亚麻芥属, 是由国外引种的亚麻芥与国内野生的长柄亚麻芥进行杂交, 培育而成的一种优质高产油料作物^[1,2]。芥蓝具有农艺性状好、适应性强、产量高等优点, 种植主要集中在河北、山西、陕西、甘肃、新疆等北方地区^[2,3]。芥蓝胶是从其种籽皮中提取的一种多糖胶质, 含量高达芥蓝籽皮质量的 25% 以上。芥蓝胶具有很强的吸水溶胀能力, 在水中能形成粘稠的溶液, 具有良好的持水性, 有望作为增稠剂、稳定剂及乳化剂等, 广泛用于食品、化妆品和医药工业中。迄今, 芥蓝作为新型油料作物, 其相关研究主要集中在芥蓝的生物学特性、栽培特性、芥蓝籽成分以及芥蓝油的开发应用上^[2,4,5]。芥蓝胶作为一种新型植物胶, 国内外至今未见相关研究报导。本文比较了芥蓝胶与几种常用食品胶的粘度, 考察了芥蓝胶溶液的静态流变性和动态流变性, 以期对芥蓝胶开发

和在食品中的应用提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

芥蓝胶 实验室自制; 黄原胶 山东淄博中轩生物制品公司; 瓜尔豆胶 产于印度, 广州同利物资贸易有限公司供应; 亚麻胶 郑州海特食品添加剂有限公司; NaCl、KCl、CaCl₂、Na₂CO₃、Na₂SO₄、Na₂HPO₄、HCl、NaOH、柠檬酸、蔗糖 均为分析纯。

恒温振荡器 THZ-82 型, 国华企业; 组织捣碎匀浆机 JJ-2 型, 国华企业; 台式离心机 TDL-5 型, 上海安亭科学仪器厂; 电热鼓风干燥箱 中环实验电炉有限公司; 旋转粘度计 NDJ-1 型, 上海精密仪器厂; 流变仪 AR 550 型, TA instruments; pH 计 sartorius professional meter PP-15; 水浴锅 DZKW 型, 光明电子仪器厂。

1.2 实验方法

1.2.1 芥蓝胶的制备 芥蓝籽皮加 33 倍蒸馏水, 61℃ 浸提 3.5h 后, 用组织捣碎机高速搅拌, 使吸水溶胀的胶质与种籽皮分离, 再用 4000r/min 离心沉淀皮

收稿日期: 2008-03-07 * 通讯联系人

作者简介: 李泽珍 (1980-), 女, 在读硕士, 研究方向: 天然产物化学。

渣,收集的胶液经无水乙醇三级沉淀浓缩,60℃鼓风干燥得到芥蓝胶(纤维状),粉碎后(过80目筛)作为芥蓝胶粉样品。该法制取胶质得率为芥蓝籽皮的25%以上。

1.2.2 芥蓝胶溶液静态流变性的测定

1.2.2.1 芥蓝胶溶液表观粘度的测定^[9] NDJ-1型旋转粘度计测定芥蓝胶溶液的表观粘度。根据溶液粘度大小选用合适的转子及转速进行测量。每次测量采用恒温水浴锅保温30min,保证测量在恒温下进行。

1.2.2.2 芥蓝胶与几种常用的食品胶粘度的比较 配制浓度为0.1%、0.2%、0.3%、0.4%和0.5%的芥蓝胶、亚麻胶、黄原胶、瓜尔豆胶溶液,在25℃下,用NDJ-1型旋转粘度计2号转子,60r/min测量各食品胶溶液的表观粘度值。

1.2.2.3 芥蓝胶溶液浓度对表观粘度的影响 配制浓度分别为0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%、0.8%、0.9%的芥蓝胶溶液,在25℃下,用NDJ-1型旋转粘度计3号转子,60r/min测量各浓度的表观粘度值。

1.2.2.4 温度变化对芥蓝胶溶液表观粘度的影响 配制浓度为0.1%、0.3%、0.5%的芥蓝胶溶液,将其分别在20℃、30℃、40℃、50℃、60℃、70℃、80℃、90℃恒温水浴加热30min,然后用NDJ-1型旋转粘度计的2号转子,适合的转速下测其表观粘度变化。

1.2.2.5 pH变化对芥蓝胶溶液表观粘度的影响 配制浓度为0.1%、0.3%、0.5%的芥蓝胶溶液,用0.5mol/L NaOH和HCl分别调其pH为2、3、4、5、6、7、8、9、10、11,在25℃下,用NDJ-1型旋转粘度计的2号转子,30r/min测其表观粘度变化。

1.2.2.6 剪切速率对芥蓝胶溶液表观粘度的影响 配制浓度为0.1%、0.3%、0.5%的芥蓝胶溶液,在25℃下,用NDJ-1型旋转粘度计的2号转子对各浓度分别在6、12、30、60r/min测其表观粘度变化。

1.2.2.7 电解质与非电解质对芥蓝胶溶液表观粘度的影响

电解质对芥蓝胶溶液表观粘度的影响:配制浓度为0.3%的芥蓝胶溶液,分别测定盐酸盐NaCl、KCl、CaCl₂,金属钠盐Na₂CO₃、Na₂SO₄、Na₂HPO₄为表1浓度梯度下,对芥蓝胶液表观粘度的影响。测定条件:25℃,NDJ-1型旋转粘度计的2号转子,30r/min,以上盐溶液配制时将芥蓝胶溶液和水的密

度视为1.0g/mL。
非电解质对芥蓝胶溶液表观粘度的影响:配制浓度为0.3%的芥蓝胶溶液,添加蔗糖、柠檬酸为表2浓度梯度时,在25℃下,用NDJ-1型旋转粘度计的2号转子,30r/min测定胶液表观粘度变化。
1.2.3 芥蓝胶溶液动态流变性质的测定 配制质量分数为0.5%的芥蓝胶溶液,采用AR550流变仪测定动态流变性质。

1.2.3.1 线性粘弹区的测定 采用AR550型流变仪,选择直径为40mm、2度锥形板,温度25℃,振荡频率1Hz,测定复合模量G*随振荡应力的变化。复合模量G*恒定的振荡应力区为线性粘弹区。

1.2.3.2 动态流变性质的测定 在线性粘弹区范围内,固定一振荡应力,由AR550流变仪分别测定芥蓝胶溶液的储能模量G'、损耗模量G''及动力学粘度η'随振荡频率的变化。

2 结果与分析

2.1 芥蓝胶与几种常用的食品胶表观粘度的比较 芥蓝胶作为一种新型植物胶,选择与其来源相近的油料作物种皮胶亚麻胶,广泛应用的高粘度植物种籽胶瓜尔豆胶及微生物胶黄原胶,在常用的低浓度下比较其表观粘度,如图1所示。

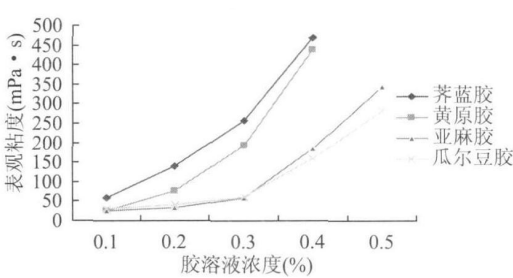


图1 芥蓝胶与几种常见食品胶溶液粘度的比较

由图1可见,随着胶液浓度的增大,各溶液的粘度均升高,芥蓝胶和黄原胶粘度上升速率较其他胶快,二者溶液浓度达到0.5%时,已超出测量范围。相同制备条件下,各浓度的黄原胶、亚麻胶、瓜尔豆胶溶液的粘度均小于对应浓度的芥蓝胶溶液。芥蓝胶有望成为一种新的高粘度的天然植物胶。

2.2 芥蓝胶溶液浓度对表观粘度的影响

溶液浓度(C%)与表观粘度(mPa·s)的关系及浓度(C%)与粘度对数(lgη)的实验数据分别如图2所示。芥蓝胶溶液表现为非牛顿流体的特性,其表

表1 盐的浓度水平

盐浓度 (mmol·L ⁻¹)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
NaCl	0	0.18	0.6	1.8	6	18	60	180	600
KCl	0	0.18	0.6	1.8	6	18	60	180	600
CaCl ₂	0	0.09	0.3	0.9	3	9	3	90	300
Na ₂ CO ₃	0	0.09	0.3	0.9	3	9	3	90	300
Na ₂ SO ₄	0	0.09	0.3	0.9	3	9	3	90	300
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	0	0.09	0.3	0.9	3	9	3	90	300

表2 非电解质浓度水平

样品号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
蔗糖 (%)	0	1	2	4	6	8	10	12	14	16
柠檬酸 (%)	0	0.01	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5		

观粘度与浓度成指数规律增加。

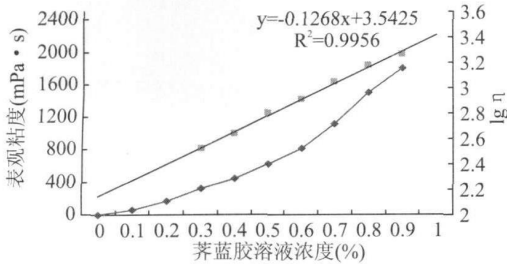


图 2 浓度对羧甲基壳聚糖溶液表观粘度及其对数的影响

随着溶液浓度的增加, 羧甲基壳聚糖分子数增多, 分子间的交联增强, 故其粘度上升。浓度 0.6% 以下的胶液粘度增加程度较小, 0.6% 以上的粘度增加幅度较大。这是高分子间的联结程度随浓度的升高而增强的结果。由图 2 可知, 当溶液的浓度在 0.3%~0.9% 范围内时, 羧甲基壳聚糖浓度与其表观粘度对数呈良好的线性关系, 可以引用图中的式子分别计算中间浓度在 25℃ 下的粘度^[7]。

2.3 温度对羧甲基壳聚糖溶液表观粘度的影响

温度对 0.1%、0.3% 和 0.5% 浓度羧甲基壳聚糖溶液表观粘度的影响如图 3 所示。0.1% 的羧甲基壳聚糖液粘度几乎不受温度影响; 0.3% 和 0.5% 的羧甲基壳聚糖液随着温度升高, 表观粘度逐渐下降, 在较高温度 (60~90℃) 时, 表观粘度下降幅度减小, 表现出非牛顿流体特征。

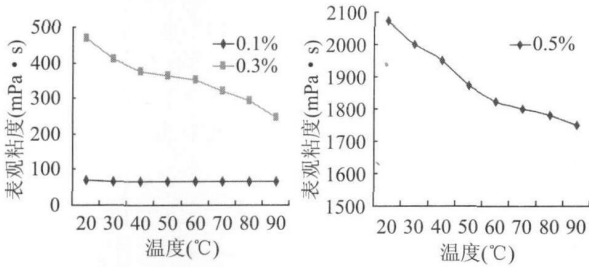


图 3 温度对羧甲基壳聚糖溶液表观粘度的影响

羧甲基壳聚糖溶液随着温度升高, 表观粘度下降, 速度与浓度、温度高低有关。温度升高导致分子热运动的加剧, 削弱了胶体大分子间缠结, 使羧甲基壳聚糖溶液表观粘度下降。对于不同浓度的溶液, 高浓度胶体溶液的粘度随温度变化幅度大, 可能因为浓度大的溶液有较高的活化能^[8]。在较低温度范围内, 溶液中胶体分子间的缠结大部分得到削弱, 故表观粘度降低幅度很大, 而在较高温度范围内, 此时分子间的缠结只有剩余的小部分也几乎得到完全地削弱, 故表观粘度也下降, 但幅度很小^[9]。

2.4 pH 变化对羧甲基壳聚糖溶液表观粘度的影响

pH 对羧甲基壳聚糖溶液表观粘度的影响伴随浓度的增加而显著, 如图 4 所示。0.1% 的胶液受 pH 变化的影响很小。0.3%、0.5% 的胶液在酸性条件下, 随着 pH 的降低, 粘度逐渐降低; 在碱性条件下, 随着 pH 的增大, 粘度也逐渐下降, 但碱对羧甲基壳聚糖溶液粘度的影响比酸稍弱; 在 pH 6~7 弱酸性条件下, 羧甲基壳聚糖溶液的粘度达到最大值。这跟亚麻籽胶溶液 pH 对表观粘度的影响规律相似^[10]。

不同浓度时羧甲基壳聚糖溶液自身的 pH 都约为 6 可

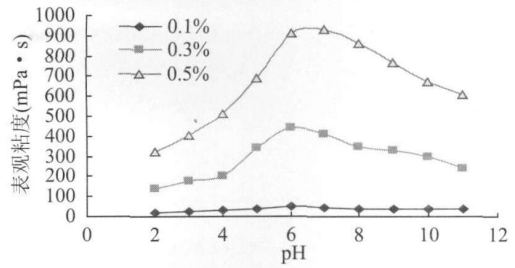


图 4 pH 对羧甲基壳聚糖溶液粘度的影响

能是羧甲基壳聚糖溶液在微酸性时粘度最大的原因。酸的介入会改变荷电胶体粒子间的相互作用、胶体的水化和溶解能力, 同时强酸条件下羧甲基壳聚糖大分子容易发生降解, 从而导致胶液粘度下降。与酸相比, 碱的影响较小, 其主要是 OH⁻ 与带负电荷多糖分子之间的相斥, 减少分子之间的缠结, 从而使多聚糖分子收缩, 粘度降低^[11]。

2.5 剪切速率对羧甲基壳聚糖溶液表观粘度的影响

不同浓度羧甲基壳聚糖溶液的表观粘度都随着剪切速率的增加而下降, 如图 5 所示。随着浓度的增加, 其表观粘度随剪切速率变化的程度亦增加。溶液浓度增高, 剪切稀化的程度加剧, 从而表现出更强的假塑性流体特征, 0.5% 的羧甲基壳聚糖液表观粘度已降低至超出测量范围。

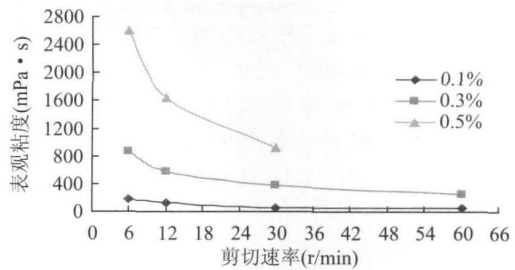


图 5 剪切速率对羧甲基壳聚糖溶液表观粘度的影响

这一现象主要是由于羧甲基壳聚糖溶液的多糖大分子在速度梯度场中的定向所致。剪切速率越大, 定向作用越强, 分子与流动方向趋于一致, 同时大分子间的缠结减弱^[12], 溶液的表观粘度随着剪切速率的增加而下降, 浓度越大, 这种作用越显著。

2.6 电解质和非电解质对羧甲基壳聚糖溶液表观粘度的影响

2.6.1 电解质对羧甲基壳聚糖溶液表观粘度的影响 以溶液中离子浓度为横坐标, 溶液表观粘度为纵坐标作图 (由于零无法用科学计数法表示, 因而以 1×10^{-5} 代替阴离子浓度为零的空白值), 其结果见图 6 电解质在一定浓度范围内都会引起羧甲基壳聚糖溶液粘度的显著下降。

NaCl、KCl 金属盐对低浓度羧甲基壳聚糖溶液的表观粘度影响规律类似, 在 10^{-3} mol/L 数量级浓度以下, 对溶液表观粘度影响不大, 在 10^{-3} ~ 10^{-1} mol/L 的数量级浓度范围内, 随着盐添加量的增加, 溶液的表观粘度急剧下降, 到 10^{-1} mol/L 的数量级浓度范围后, 随着盐浓度的增加, 溶液表观粘度下降缓慢。同时, 实验表明, KCl 比 NaCl 对胶液粘度破坏更大, 即阴离子相同, 即使阳离子价态一致, 对胶液粘度的影响仍不相同。相对一价金属盐的溶液, 含二价金属盐 $CaCl_2$ 的

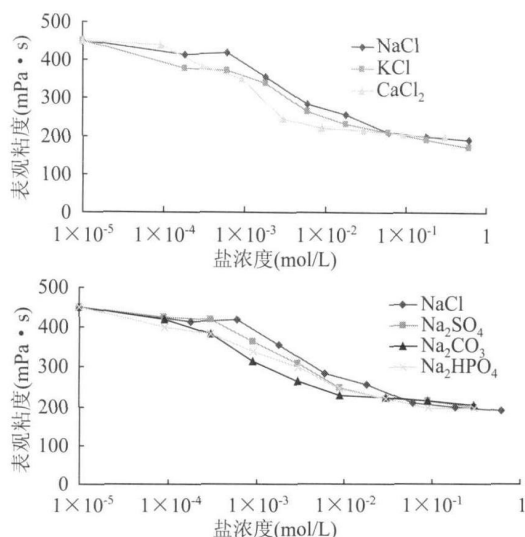


图6 盐对羧基藻胶表观粘度的影响

胶溶液在 10^{-4} mol/L 浓度时, 表观粘度就开始急剧下降, 10^{-2} mol/L 的数量级浓度范围后, 溶液表观粘度基本上保持不变。阴离子相同时, 随阳离子强度增大, 电解质对胶液粘度破坏增大^[13]。

电解质 NaCl Na_2CO_3 Na_2SO_4 Na_2HPO_4 阳离子相同时, 从图 6 中可以看到, 阴离子 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 HPO_4^{2-} 的存在对 0.3% 浓度的羧基藻胶溶液粘度的影响规律相似, Cl^- 离子稍有差异。前三种阴离子在 10^{-3} mol/L 数量级浓度时, 溶液表观粘度就开始随着盐添加量的增加急剧下降, 到 10^{-2} mol/L 的数量级浓度范围后, 随着盐浓度的增加, 溶液表观粘度下降基本保持不变。其中, Na_2CO_3 同其它盐相比对粘度的破坏更为显著, 随着 Na_2CO_3 浓度的增加, 胶液颜色加深。 Cl^- 的添加浓度在 10^{-3} mol/L 的数量级以下时对溶液粘度影响不大, 在 $10^{-3} \sim 10^{-1}$ mol/L 的数量级浓度范围内造成溶液表观粘度急剧下降, 在 10^{-1} mol/L 的浓度数量级以上, 随着盐浓度的增加溶液表观粘度变化不大。

双电层理论认为, 电解质的加入压缩了胶体粒子表面的双电层厚度, 减小相互作用力, 使体系粘度降低^[13, 14]。电解质浓度越大, 价数越高, 压缩双电层的能力越强, 从而使粘度进一步下降。当电解质的添加量达到一定极限时, 再继续增加浓度, 胶液的粘度不再下降, 这可能是由于离子作用已达到饱和。

2.6.2 非电解质对羧基藻胶溶液表观粘度的影响 蔗糖和柠檬酸使 0.3% 浓度羧基藻胶溶液表观粘度明显下降, 见图 7 图 8。蔗糖浓度在 8% 以下时, 胶液体系粘度缓慢下降; 大于 8% 时, 胶液的表观粘度保持最低值基本不再变化。柠檬酸浓度在 0.01% 以上就会引起体系粘度的急剧下降; 当柠檬酸浓度增加到 0.20% 以上时, 溶液的表观粘度保持最低值而不再变化。

羧基藻胶溶液体系中, 添加蔗糖的情况下, 蔗糖分子优先与水分子相互作用, 减少了与胶体大分子相互作用的水分子的数量, 使水的活性有所减弱, 一定程度上削弱了大分子与小分子的相互作用, 同时蔗糖的存在也可能干扰羧基藻胶多糖大分子自身相互靠近, 减弱胶多糖大分子间的作用力, 从而导致体系的

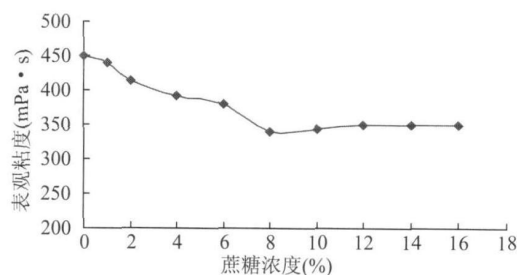


图7 蔗糖对羧基藻胶表观粘度的影响

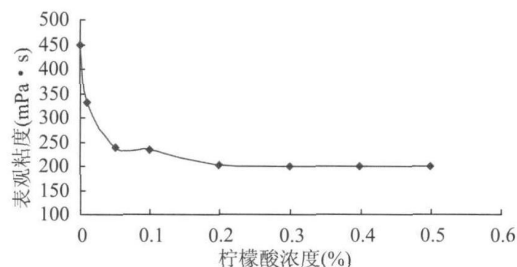


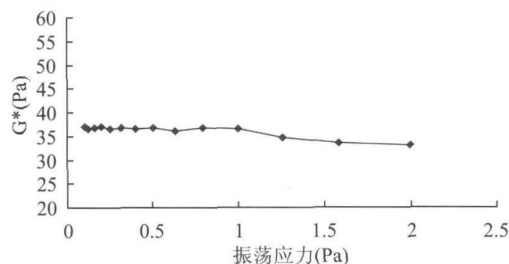
图8 柠檬酸对羧基藻胶表观粘度的影响

粘度有所减低^[15]。柠檬酸对食品胶溶液粘度的影响主要是体系 pH 变化引起的, 从体系的 pH 对粘度的影响来考虑, 图 8 的结果与 2.4 中所得结论相符。

2.7 羧基藻胶溶液的动态流变性质

2.7.1 线性粘弹区的确定 在测定溶胶的粘弹性质时, 为了不破坏它的结构, 需要在线性粘弹区内进行测定^[16]。线性粘弹区是指复合模量 G^* ($G^* = G' + G''$) 不随振荡应力或应变发生变化的区域。

从图 9 可以看出, 羧基藻胶溶液在振荡应力为 0.5~2.0 Pa 的范围内显示线性粘弹区, 复合模量 G^* 呈线性关系。本实验选择 1.0 Pa 的振荡应力来测定羧基藻胶溶液的动态流变性质。

图9 羧基藻胶溶液的复合模量 G^* 与应力的关系

2.7.2 羧基藻胶溶液的动态流变性质 浓度 0.5% 的羧基藻胶溶液的储能模量 G' 、损耗模量 G'' 和动力学粘度 η' 随振荡频率的变化如图 10 所示。羧基藻胶溶液的动力学粘度 η' 随振荡频率的增大而减小, 表现为剪切变稀的特性, 与静态流变性质测定的结果相符。大部分食品体系或生物大分子溶液, 一般都属于粘弹性流体, 其 G' 和 G'' 均不同程度地依赖于振荡频率^[17]。在所采用的大部分振荡频率范围内, 羧基藻胶溶液的储能模量 G' 大于损耗模量 G'' , 且 G' 与 G'' 都随振荡频率的变化而变化, 反映了羧基藻胶溶液弱凝胶的性质。这是由于胶液中大分子之间相互作用, 形成了网状结构。储能模量 G' 大于 G'' , 表明羧基藻胶弹性大于粘性, 且以弹性为主。 G' 与 G'' 在低频区出现相交点, 体系稳定^[18]。

3 结论

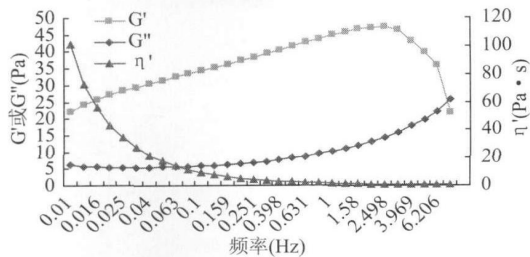


图 10 羧甲基瓜尔胶溶液的 G' 、 G'' 、 η' 随扫描频率的变化

3.1 羧甲基瓜尔胶与几种食品胶在常用低浓度下表观粘度的比较表明: 羧甲基瓜尔胶溶液表观粘度大于对应各浓度的黄原胶、亚麻胶、瓜尔豆胶溶液。羧甲基瓜尔胶在低浓度时就有很高的粘度, 有望成为一种新的高粘度的天然植物胶。

3.2 羧甲基瓜尔胶溶液为非牛顿流体, 表观粘度与浓度成指数规律增加, 具有剪切稀化的特征, 假塑性的程度随着浓度的增加而增大。溶液的表观粘度对温度有较强的依赖性, 随着温度的上升其表观粘度下降。酸、碱都会降低羧甲基瓜尔胶溶液的表观粘度, 但碱对其影响比酸较弱。

3.3 电解质 NaCl 、 KCl 、 CaCl_2 及 Na_2CO_3 、 Na_2SO_4 、 Na_3HPO_4 对浓度 0.3% 羧甲基瓜尔胶溶液粘度的影响有类似规律, 即盐浓度在一定范围内会使胶体溶液粘度急剧下降。在实际生产中可控制盐浓度以避免溶液粘度大幅下降。蔗糖能明显降低 0.3% 羧甲基瓜尔胶溶液的粘度, 在饮料生产中若使用羧甲基瓜尔胶作增稠剂时, 宜用甜味剂代替蔗糖。柠檬酸在低浓度时就可以使 0.3% 的羧甲基瓜尔胶溶液表观粘度大幅度降低。

3.4 线性粘弹区内, 浓度 0.5% 的羧甲基瓜尔胶溶液贮能模量 G' 大于损耗模量 G'' , 羧甲基瓜尔胶溶液表现弱凝胶的性质。

参考文献:

[1] 邓曙东, 张青文. 亚麻荠种植和利用的研究现状 [J]. 植物学通报, 2004 21(3): 376-382.
[2] 黄凤洪, 谢笔钧, 刘昌盛. 新型油料作物——芥蓝 [J]. 中国油脂, 2005 30(10): 76-77.

[3] 王荣成, 翟军海, 王宏军, 等. 芥蓝在陕西省渭北旱塬的推广应用效果 [J]. 陕西农业科学, 2007(2): 66-68.
[4] 黄庆德, 王江薇, 黄沁洁, 等. 芥蓝籽冷榨制油和芥蓝籽油精炼工艺研究 [J]. 中国油脂, 2006 30(1): 17-20.
[5] 黄凤洪, 黄庆德, 谢笔钧, 等. 新型油料作物芥蓝初探 [J]. 河南工业大学学报, 2006 27(3): 57-58.
[6] 雷鸣, 卢晓黎, 陈正纲, 等. 黄原胶在低浓度时的流变特性及影响因素研究 [J]. 食品科学, 2000 21(12): 16-18.
[7] 沈悦玉, 张明春, 王喆. 魔芋胶的结构及其流变性 [J]. 天津商学院学报, 1995 15(3): 17-23.
[8] James F S. Rheological Methods in Food Process Engineering[M]. New York: Freeman Press, 1996. 312-324.
[9] 汤凤霞, 王忠敏. 葫芦巴胶溶液流变特性研究 [J]. 食品科学, 2004 25(5): 46-52.
[10] 陈海华, 许时婴, 王璋. 亚麻籽胶的流变性质 [J]. 无锡轻工大学学报, 2004 23(1): 30-35.
[11] 徐志丽, 吴晖. 卡拉胶的流变性能 [J]. 广州食品工业科技, 2004(3): 153-155.
[12] 王伟, 徐德时, 李素清, 等. 聚电解质—壳聚糖浓溶液流变学性质研究 [J]. 高分子学报, 1994(3): 328-334.
[13] Higin J, Herald T J, Akvi S, Bean S. Rheological study of xanthan and locust bean gum interaction in dilute solution: Effect of salt [J]. Food Research International, 2007 40: 435-447.
[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. 228-260.
[15] Carlson W A., Zieglnuss E M. The effect of sugar on guar gum as thickening agent [J]. Food Technology, 1965 19: 954-958.
[16] 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. 27.
[17] ROSS-MURPHY S B. Physical techniques for the study of food biopolymers [M]. Glasgow: Blackie Academic and Professional, 1994. 382-385.
[18] WALTON A. Modern rheometry in characterising the behavior of foods [J]. Food Science and Technology Today, 2000 14(3): 144-146.

(上接第 114 页)

[2] Bernardi Don L S, Pibsof A M R. Enzymatic modification of soy protein concentrates by fungal and bacterial proteases [J]. Journal of American Oil Chemists Society, 1991 68(2): 255-261.
[3] 张梅, 周瑞宝, 马智刚. 醇法大豆浓缩蛋白酶法改性研究 [J]. 中国油脂, 2003 28(12): 8-11.
[4] Surówka K, Zmudziński D, Surówka J. Enzymic modification of extruded soy protein concentrates as a method of obtaining new functional food components [J]. Trends in Food Science & Technology, 2004 15: 153-160.
[5] 赵新淮. 蛋白质水解物水解度的测定 [J]. 食品科学, 1994 15(11): 65-67.
[6] 黄友如, 华欲飞, 袁爱泳. 醇法大豆浓缩蛋白制取工艺的探讨 [J]. 中国油脂, 2002 27(3): 50-52.
[7] Moure Andrés, Domínguez Herménia, Parajó Juan Carlos. Fractionation and enzymatic hydrolysis of soluble protein present

in waste liquors from soy processing [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005 53: 7600-7608.
[8] Martins Vilene Braga Netto Flavia Maria. Physicochemical and functional properties of soy protein isolate as a function of water activity and storage [J]. Food Research International, 2006 39: 145-153.
[9] 吴晖, 唐传核. 盐浓度对商用大豆分离蛋白凝胶的胶凝过程及动态粘弹性的影响 [J]. 食品科学, 2006 27(7): 39-43.
[10] Conde Jos M, Miones. Effect of enzymatic treatment of extracted sunflower proteins on solubility, amino acid composition, and surface activity [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005 53: 8308-8345.
[11] Nakai S. Structure-relationship of food proteins with and emphasis on the importance of protein hydrophobicity [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1983 31(4): 676-683.