

魔芋葡甘聚糖与羟丙基甲基纤维素复配体系流变行为研究

林立松, 石文娟, 罗 曼, 乔冬玲*
(湖北工业大学生物工程与食品学院 武汉 430068)

摘要 以魔芋葡甘聚糖(KGM)和羟丙基甲基纤维素(HPMC)复配体系为研究对象,使用旋转流变仪对复配体系进行稳态剪切、频率和温度扫描测试,分析溶液质量分数和复配比对 KGM/HPMC 复配体系黏度和流变特性的影响。结果表明,KGM/HPMC 复配体系为非牛顿流体,体系质量分数和 KGM 含量的增加,使复配溶液的流动性降低,黏度增加。在溶胶态,KGM 和 HPMC 分子链通过疏水相互作用,形成排列更为致密的结构。增加体系质量分数和 KGM 含量,均有利于维持该结构的稳定性。在低质量分数体系中,提高 KGM 含量有利于形成热致凝胶;而在高质量分数体系中,提高 HPMC 含量有利于形成热致凝胶。

关键词 魔芋葡甘聚糖; 羟丙基甲基纤维素; 复配; 流变行为

文章编号 1009-7848(2023)01-0100-10 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.01.010

天然多糖因具有增稠、乳化和胶凝等特性,在食品工业中具有广泛应用。魔芋葡甘聚糖(KGM)是一种天然植物多糖,由 β -D-葡萄糖和 β -D-甘露糖以 1.6:1 比例组成,两者通过 β -1,4 糖苷键连接^[1],在 C-6 位有少量乙酰基(每 17 个残基约有 1 个乙酰基)^[2-3]。然而,KGM 水溶液黏度较大、流动性不佳^[4-5],限制了其在生产中的应用。羟丙基甲基纤维素(HPMC)是一种甲基纤维素的丙二醇醚,属于非离子型纤维素醚。HPMC 具有成膜性、水溶性,可再生^[6]。HPMC 在低温下黏度和凝胶强度均较低,加工性能相对较差,而在高温下可形成较为粘稠的类固体凝胶^[7],因此许多生产加工须在高温下进行,导致生产耗能大,生产成本低。文献表明,KGM 分子链上未被取代的甘露糖单元可与 HPMC 分子链上疏水基团通过疏水作用形成弱交联的疏水缔合区域^[8]。该结构可以延缓与部分阻止 HPMC 的热凝胶化作用,降低 HPMC 的凝胶温度^[9]。此外,鉴于 HPMC 在较低温度下的低黏特性,预测其与 KGM 复配后,可改善 KGM 高黏特性,改善其加工性能。因此,本文将构建 KGM/HPMC 复配体系,探究溶液质量分数和复配比对 KGM/HPMC 体系流变性能的影响,为 KGM/HPMC

复配体系在食品工业中的应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

羟丙基甲基纤维素,上海麦克林生化科技公司,质量分数 2%,黏度为 6 mPa·s;甲氧基质量分数为 28%~30%;羟丙基质量分数为 7.0%~12%。

魔芋葡甘聚糖,武汉强森魔芋食品有限公司,1 wt%水溶液黏度 $\geq 28\ 000$ mPa·s。

1.2 仪器与设备

MCR92 旋转流变仪,奥地利安东帕有限公司;UPT-II-10T 超纯水机,四川优普超纯科技有限公司;AB-50 电子分析天平,瑞士 Mette 公司;LHS-150HC 恒温水浴锅,无锡华泽科技有限公司;JJ-1 电动搅拌器,江苏省金坛市医疗仪器厂。

1.3 复配溶液的制备

称量一定复配比例(质量比为 0:10,3:7,5:5,7:3,10:0)的 HPMC 和 KGM 粉末,缓慢加入到 60 °C 水浴的去离子水中,搅拌 1.5~2 h 使其分散均匀,分别配制总固形物质量分数为 0.50%,0.75%,1.00%,1.25%,1.50%的 5 种梯度的溶液。

1.4 复配溶液流变学特性的测试

稳态剪切测试:使用 CP50 锥板测定 KGM/HPMC 复配溶液的流变曲线,上下板间隙固定为 0.1 mm,测定温度为 25 °C,剪切速率范围 0.1~100 s⁻¹。

收稿日期:2022-01-14

基金项目:湖北省重点研发计划项目(2022BBA004)

第一作者:林立松,男,本科生

通信作者:乔冬玲 E-mail: qdttkl@163.com

应变扫描(线性黏弹区的确定):使用 PP50 平板测定 KGM/HPMC 复配溶液的线性黏弹区及模量变化规律,间距设定为 1.000 mm,固定频率为 1 Hz,测定温度为 25 ℃,应变范围为 0.1%~100%。

频率扫描:使用 PP50 平板测定 KGM/HPMC 复配溶液的模量变化及频率依赖性,间距设置为 1.000 mm,应变为 1%,测定温度为 25 ℃,频率范围为 0.1~100 Hz。

温度扫描:使用 PP50 平板测定 KGM/HPMC 复配溶液的模量及其温度依赖性,间距设置为 1.000 mm,固定频率为 1 Hz,1%形变,温度从 25~90 ℃。

2 结果与分析

2.1 KGM/HPMC 复配体系流动曲线分析

不同质量分数下,不同复配比 KGM/HPMC 溶液的黏度与剪切速率关系曲线,见图 1a~1e。黏度

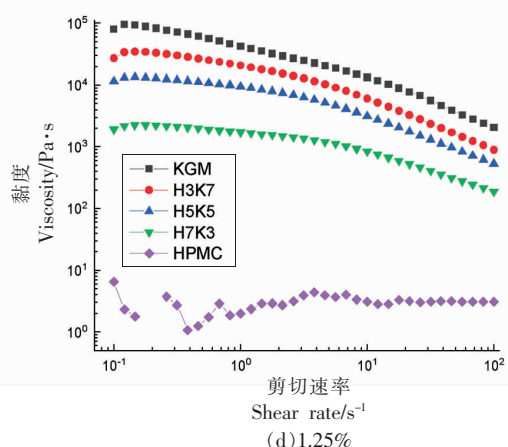
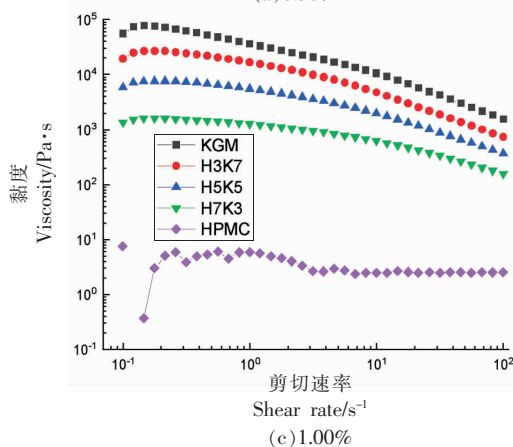
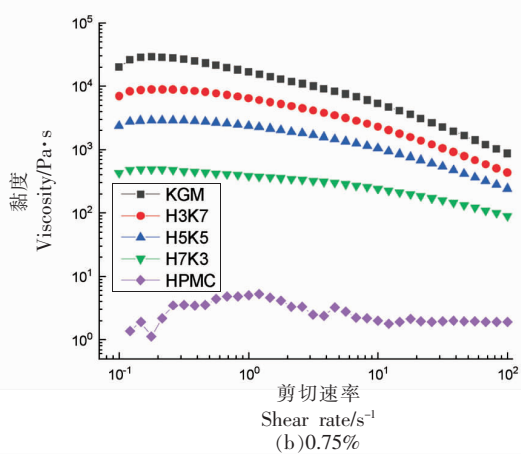
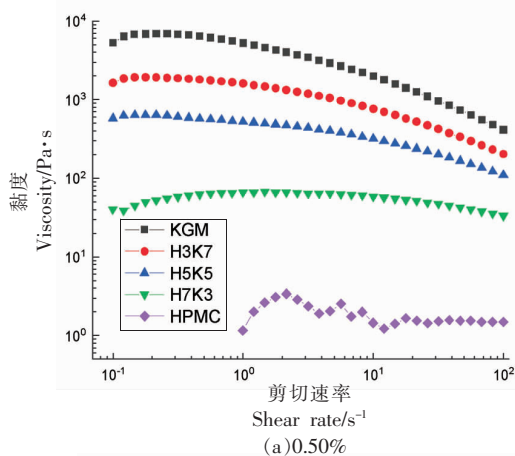
同剪切速率呈线性函数关系的流体为牛顿流体,反之,称之为非牛顿流体^[9-10]。由图可知,KGM 溶液和 KGM/HPMC 复配溶液的黏度随着剪切速率的增大而减小;KGM 含量越高,体系质量分数越高,溶液剪切稀化现象越明显。由此表明,KGM 及 KGM/HPMC 复配体系为非牛顿流体,且 KGM/HPMC 复配体系的流体类型主要由 KGM 决定。

采用 Ostwald-de Waele 幂律公式对如上流变曲线进行拟合:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

式中, τ ——剪切应力(Pa); $\dot{\gamma}$ ——剪切速率(s^{-1}); K ——黏度系数($Pa \cdot s$); n ——流动指数^[11]。

不同质量分数及不同复配比 KGM/HPMC 溶液的流动指数及黏度系数,见表 1。由表 1 可知,KGM、HPMC 以及 KGM/HPMC 复配体系的 n 值均小于 1,表明溶液均为假塑性流体^[12-13]。对于 KGM/HPMC 复配体系而言,体系质量分数的升高使溶



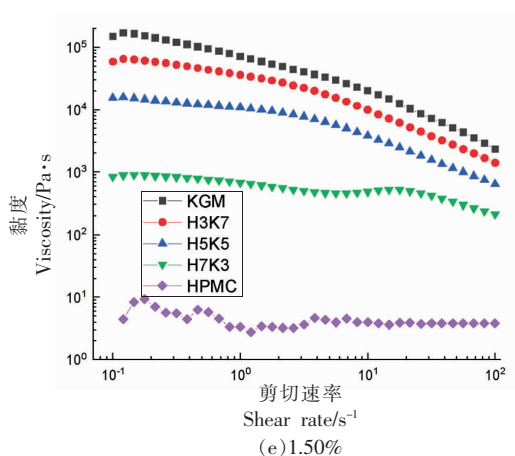


图1 25 °C下 KGM、HPMC 和不同质量分数 KGM/HPMC 复配溶液剪切应力与剪切速率的关系图

Fig.1 Shear stress vs. shear rate for KGM, HPMC, and KGM/HPMC composite systems with different mass fraction at 25 °C

表1 KGM、HPMC 和不同质量分数 KGM/HPMC 复配溶液的非牛顿流体参数

Table 1 Parameters in terms of Non Newtonian fluid for KGM, HPMC and KGM/HPMC composite systems with different mass fraction

质量分数		0.50%	0.75%	1.00%	1.25%	1.50%
KGM	n	0.593	0.492	0.454	0.450	0.393
	K	4.282	14.248	32.086	38.885	63.901
	R^2	0.765	0.755	0.788	0.805	0.806
K7H3	n	0.681	0.559	0.468	0.464	0.437
	K	1.359	5.271	13.512	17.098	30.078
	R^2	0.808	0.794	0.781	0.842	0.836
K5H5	n	0.759	0.645	0.558	0.528	0.498
	K	0.480	1.966	4.530	7.650	8.886
	R^2	0.876	0.794	0.795	0.808	0.811
K3H7	n	0.964	0.768	0.674	0.649	0.586
	K	0.0562	0.362	1.105	1.515	1.659
	R^2	0.868	0.901	0.841	0.837	0.910
HPMC	n	0.879	0.856	0.832	0.795	0.737
	K	0.00239	0.00282	0.00439	0.00456	0.00461
	R^2	0.990	0.988	0.965	0.989	0.984

液中 HPMC 和 KGM 分子链间发生缠结等相互作用,降低了分子链的流动性^[4],从而降低了体系的 n 值。同时,随着 KGM 含量的增加,KGM/HPMC 体系中 KGM 分子链间相互作用增强,从而降低了其流动性,导致 n 值下降。与之相反,KGM/HPMC 复配溶液的 K 值随着溶液质量分数和 KGM 含量的增加而不断增大,这主要由于增加体系质量分数和 KGM 含量,均提高了体系中亲水基团的含量,

增加了分子链内及链间的分子相互作用,从而增大了分子的流体力学半径,使得其在外界剪切力作用下不容易发生取向,黏度提高。

根据理想混合溶液添加规则,HPMC 和 KGM 两种组分不存在相互作用时,组成溶液的理论黏度值可以根据下式计算:

$$\ln \eta_c = \Phi_1 \ln \eta_1 + (1 - \Phi_1) \ln \eta_2 \quad (2)$$

式中, Φ_n ——相应组分的比例; η_n ——单一溶

液的黏度测量值(Pa·s)^[7]。

KGM/HPMC 复配体系零剪切黏度的理论值可根据如上对数加和原理计算而得,其试验值可通过黏度-剪切速率曲线的 Carren 拟合外推获得。将不同质量分数及不同复配比 KGM/HPMC 复配体系零剪切黏度的预测值与试验值进行对比,结果如图 2a~2e。由图可知,KGM/HPMC 复配溶液零剪切黏度的实际值均小于理论值。由此表明,在 KGM 与 HPMC 复配体系中形成了结构致密的新

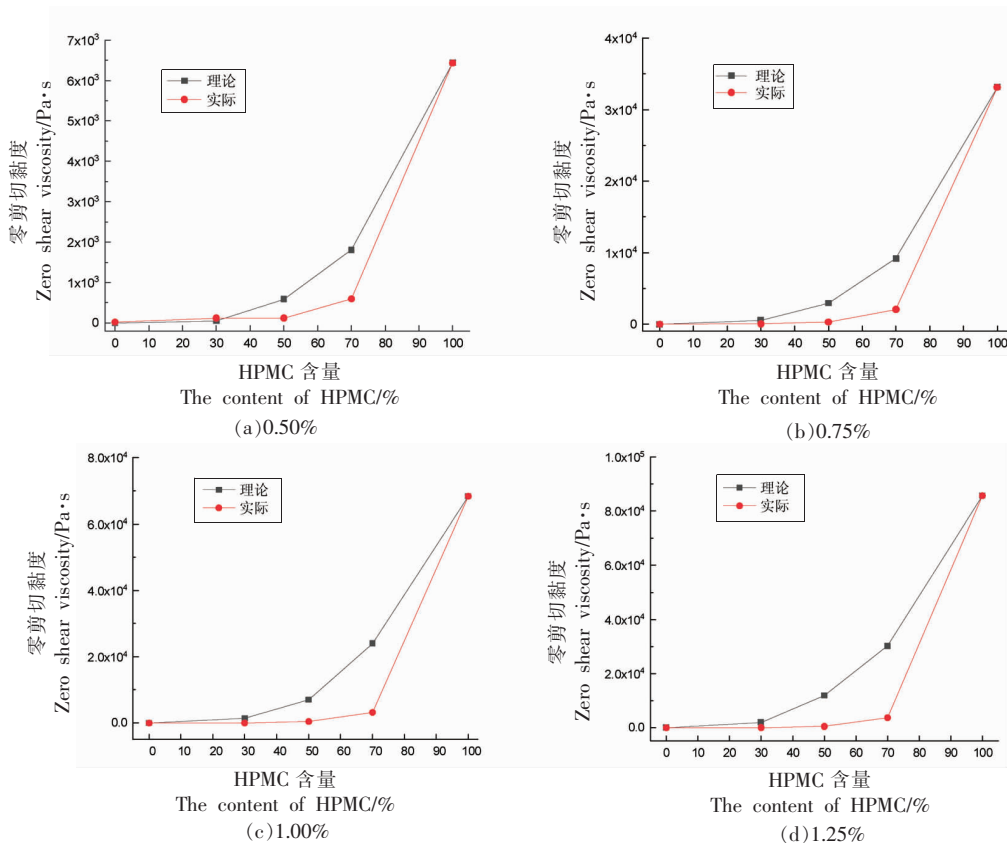
组装体^[15-18]。现有研究表明,KGM 分子链上未被取代的甘露糖单元可与 HPMC 分子链上的疏水基团通过疏水作用,形成弱交联的疏水缔合区域。由此推测,结构较为致密的新组装体结构主要在疏水相互作用形成。当 KGM 比例较低时(HPMC > 50%),KGM/HPMC 体系零剪切黏度的实际值比理论值更低,由此表明,在低 KGM 含量下,更多的分子参与到较为致密新结构的形成中,从而进一步降低了体系的零剪切黏度。

表 2 KGM、HPMC 和不同质量分数 KGM/HPMC 复配溶液剪切黏度理论值与实际值

Table 2 Theoretical and actual values of shear viscosity for KGM, HPMC and KGM/HPMC composite systems with different mass fraction

质量分数/%	$\eta_{\text{纯H}}$	η_{K7H3}	η_{KSH5}	η_{KSH7}	$\eta_{\text{纯H}}$	η_{mixK7H3}	η_{mixKSH5}	η_{mixKSH7}
0.50	6 436	1 809	588	50	2.3	596	122	25
0.75	33 137	9 199	2 950	565	3.2	2 066	324	51
1.00	68 380	24 026	7 022	1 476	2.6	3 244	425	56
1.25	85 734	30 275	11 913	2 018	2.4	3 706	457	56
1.50	143 790	55 633	13 322	905	17.8	9 664	1 598	264

注: η_{mix} 表示计算的理论黏度值。



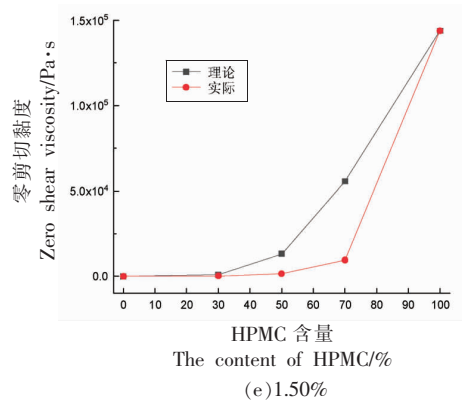


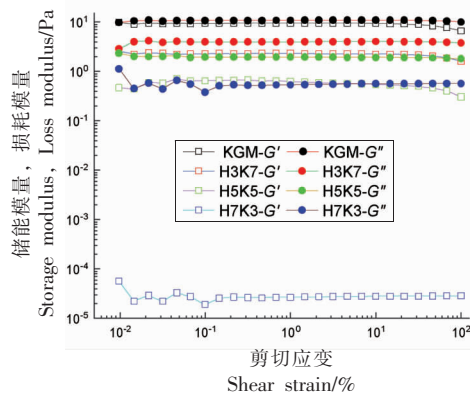
图2 25℃下 KGM、HPMC 和不同质量分数 KGM/HPMC 复配体系的零剪切黏度与 HPMC 含量的关系图

Fig.2 Zero shear viscosity vs. HPMC content for KGM, HPMC, KGM/HPMC blend systems with different mass fraction at 25℃

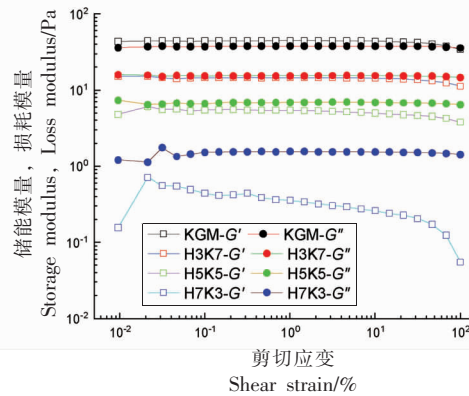
2.2 KGM/HPMC 复配体系的应变扫描曲线分析

不同质量分数及不同复配比 KGM/HPMC 溶液的模量与剪切应变的关系曲线如图 3a~3f。由图可知,当剪切应变<10%时,复配体系的 G' 和 G'' 基本不随剪切应变的增加而改变,说明在此剪切应变范围内,复配体系通过分子链构象的改变能够

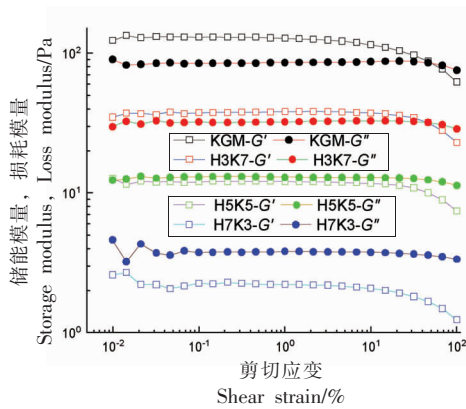
对外界的刺激作出响应,复配体系的结构未遭到破坏^[9]。当剪切应变>10%时,在外界剪切力作用下,复配体系的分子链解缠速度大于缠结速度, G' 与 G'' 开始下降,体系进入非线性黏弹性区域。因此,在后续的动态频率测试过程中,选择剪切应变参数为 1%进行测试。



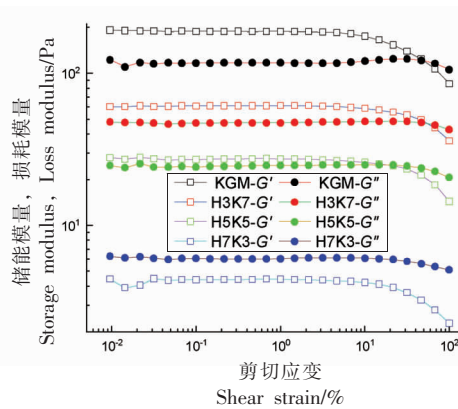
(a)0.50%



(b)0.75%



(c)1.00%



(d)1.25%

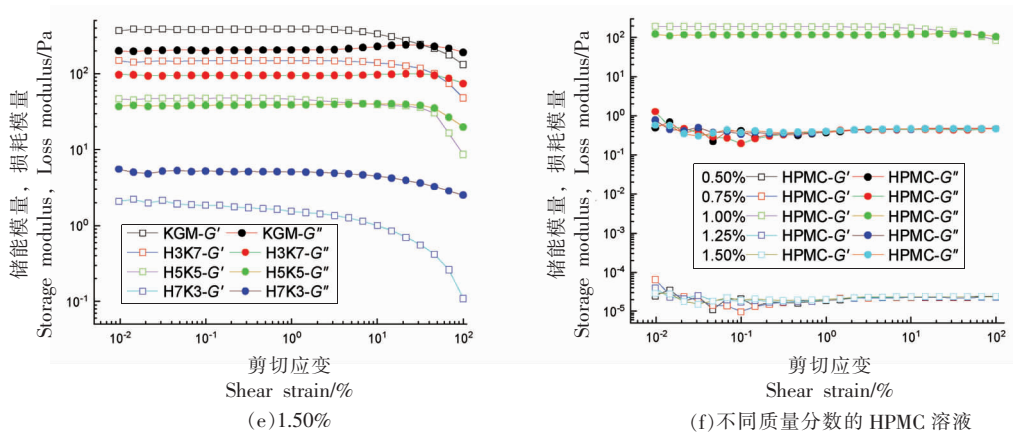
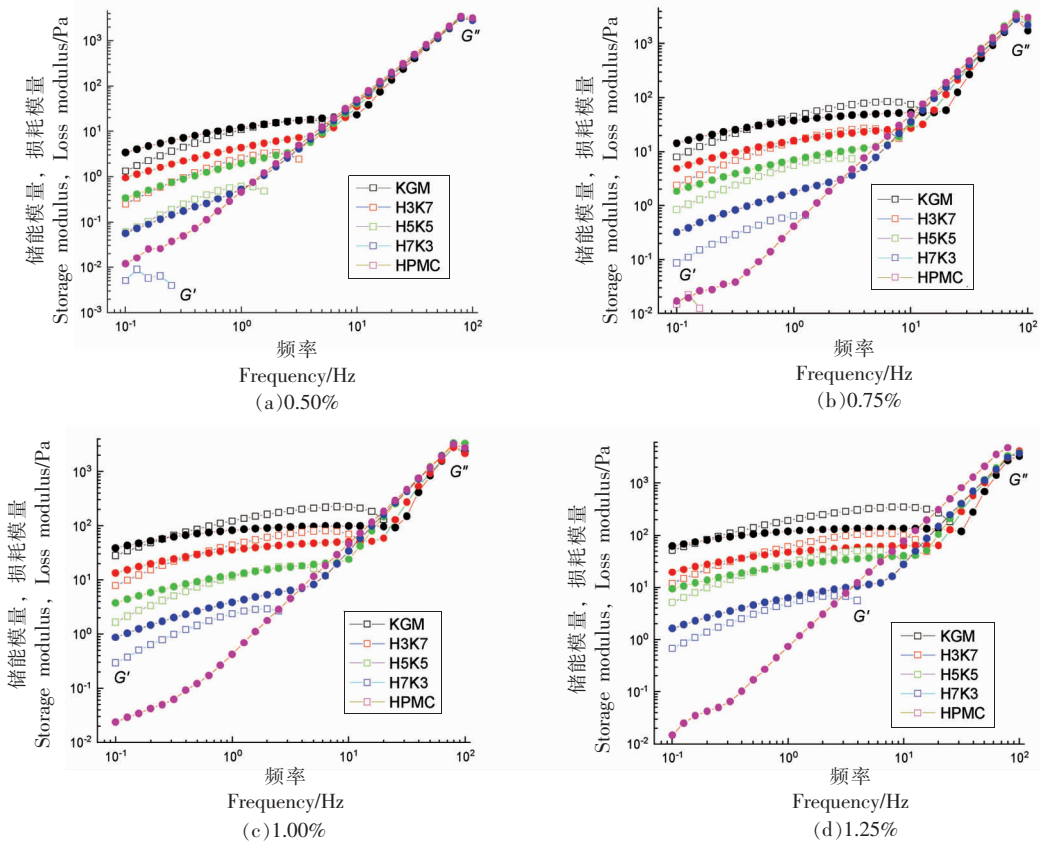


图 3 25 °C 下 KGM、HPMC 和不同质量分数 KGM/HPMC 复配体系的储能模量、损耗模量与剪切应变关系图
Fig.3 Storage modulus (G'), loss modulus (G'') vs. shear strain curves for KGM, HPMC, KGM/HPMC composite systems at 25 °C

2.3 KGM/HPMC 复配体系的频率扫描曲线分析

不同质量分数下,不同复配比 KGM/HPMC 溶液的储能模量、损耗模量随频率的变化曲线如图 4a~4e(图中,HPMC 的 G' 由于超出仪器测量下限,所以曲线未给出)。储能模量 G' 表示在试验中暂时储存后可以恢复的能量,损耗模量 G'' 则意味着

初始流动所需要的能量,是不可逆的损耗,最终转变为剪切热量^[20-21]。由图可知,随着振荡频率的增大,损耗模量 G'' 始终大于储能模量 G' ,表现出液体行为。在测试频率范围内,储能模量 G' 和损耗模量 G'' 随着振荡频率的增加而增加。这主要由于随着振荡频率的增加,体系内分子链段在短时间



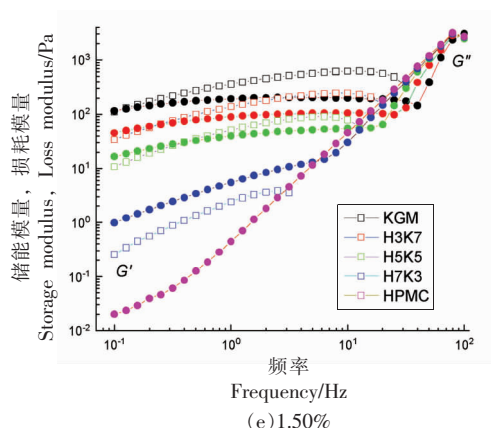


图4 25 °C下 KGM、HPMC 和不同质量分数 KGM/HPMC 复配体系的储能模量、损耗模量与频率关系图
Fig.4 Storage modulus (G'), loss modulus (G'') vs. frequency curves for KGM, HPMC, KGM/HPMC composite systems at 25 °C

内来不及恢复到形变之前的状态，从而表现出可以储存(较大的 G')或者需要损耗(G'')更多能量的现象。

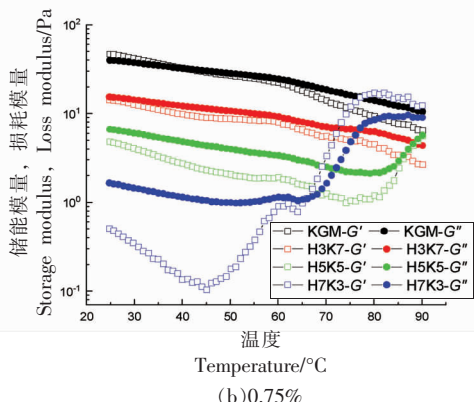
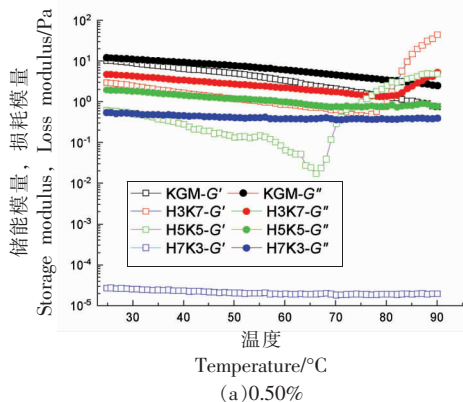
随着振荡频率的增加，体系的储能模量出现突降，且随着体系质量分数和 KGM 含量的增加，出现突降的频率点逐渐增大。该突降的出现可能是由于体系中 KGM 和 HPMC 之间疏水缔合作用所形成的较为致密的结构被外部剪切作用破坏所致。并且，体系质量分数和 KGM 含量的增加，均有利于维持该致密结构的稳定性，使破坏该结构的外界频率值增加。

2.4 KGM/HPMC 复合体系的温度扫描曲线分析

不同质量分数及不同复配比 KGM/HPMC 溶液的储能模量、损耗模量随温度变化曲线如图 5a~5f。由图可知，当体系质量分数为 0.50%时，HPMC 溶液的 G' 与 G'' 几乎不随温度而变，且 $G'' > G'$ ，体系的黏性占主导地位；当质量分数增大时，

HPMC 溶液的 G' 呈先不变后陡然增大的变化趋势，在 70 °C附近 G' 与 G'' 相交（交点温度为凝胶点），此时体系形成凝胶，由此表明 HPMC 为热致凝胶。对于 KGM 溶液而言，当体系质量分数为 0.50%和 0.75%时，体系的 G' 和 G'' 呈现降低的变化趋势；当质量分数增大时，KGM 溶液的 G' 和 G'' 先降低后显著升高，由此表明 KGM 溶液在高质量分数、高温度时，表现出类凝胶的特性。

随着温度的升高，KGM/HPMC 复配体系的 G' 和 G'' 先下降后显著上升，且 G' 与 G'' 出现交点，体系形成凝胶。HPMC 分子处于低温时，分子链上的亲水基团和水分子之间发生氢键作用^[22-26]，当温度升高时，施加的热量破坏 HPMC 和水分子之间形成的氢键，导致 HPMC 大分子链上的疏水基团暴露，发生疏水缔合，形成热致凝胶。对于低质量分数体系，KGM 含量较多可形成凝胶；对于高质量分数体系，HPMC 含量较多可形成凝胶。在低质量



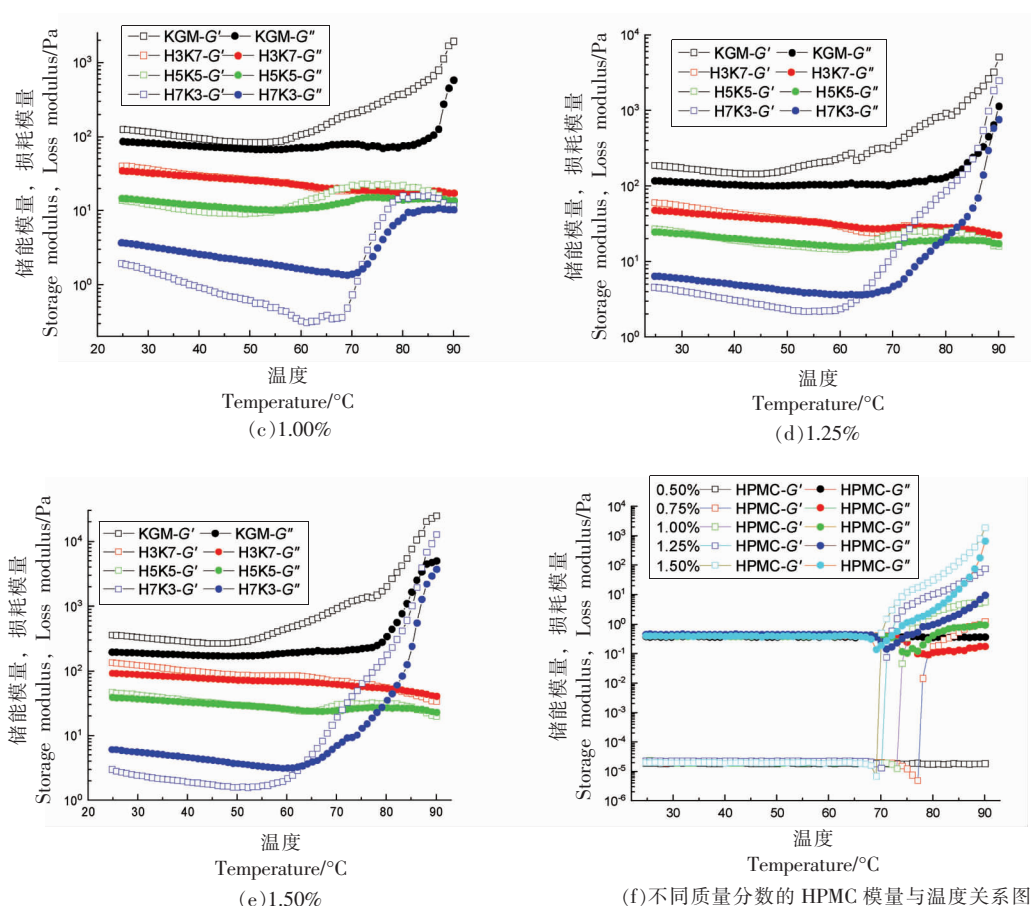


图 5 KGM、HPMC 和不同质量分数 KGM/HPMC 复配体系的储能模量、损耗模量与温度关系图

Fig.5 Storage modulus (G'), loss modulus (G'') vs. temperature curves for KGM, HPMC, KGM/HPMC blend system

分数体系 (0.50%) 中, KGM 分子的存在降低了 HPMC 分子间形成氢键的概率, 从而提高了 HPMC 分子中疏水基团暴露的可能性, 有利于形成热致凝胶。在高质量分数体系中, 若 KGM 含量过高, 体系的黏度较大, 不利于 HPMC 与 KGM 分子之间发生疏水缔合, 从而不利于形成热致凝胶。

3 结论

本文研究了 KGM 与 HPMC 复配体系的流变行为, 结果表明, KGM/HPMC 复配体系为非牛顿流体, 且 KGM/HPMC 复配体系的流体类型主要由 KGM 决定。增加体系质量分数和 KGM 含量均降低了复配溶液的流动性, 并增加了其黏度。在溶胶态下, KGM 和 HPMC 的分子链通过疏水相互作用形成了更为致密的结构。体系中该结构被外部剪切作用破坏, 导致体系的储能模量出现突降。体系

质量分数和 KGM 含量的增加, 均有利于维持该致密结构的稳定性, 使破坏该结构的外界频率值增加。对于低质量分数体系, KGM 含量较多有利于形成凝胶; 对于高质量分数体系, HPMC 含量较多有利于形成凝胶。

参 考 文 献

- [1] SHI Z J, GAO X, ULLAH M W, et al. Electroconductive natural polymer-based hydrogels[J]. *Biomaterials*, 2016, 111: 40–54.
- [2] 郭金明. 离子交联魔芋葡甘聚糖凝胶的制备及流变性能研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.
GUO J M. Preparation and rheological study of ionic-crosslinked konjac glucomannan gels[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2008.
- [3] 王晓珊, 袁毅, 龚静妮, 等. 刺云实胶/魔芋葡甘聚

- 糖复合凝胶流变性能[J]. 精细化工, 2018(10): 1707-1712.
- WANG X S, YUAN Y, GONG J N, et al. Rheological properties of tara gum/konjac glucomannan blend hydrogels [J]. Fine Chemicals, 2018 (10): 1707-1712.
- [4] 谭燕, 刘曦, 袁芳. 魔芋葡甘聚糖的结构、性质及其在食品中的应用[J]. 中国调味品, 2019, 44(2): 168-173.
- TAN Y, LIU X, YUAN F. Structure, properties of konjac glucomannan and its application in food industry[J]. China Condiment, 2019, 44(2): 168-173.
- [5] 王丽霞, 姚闽娜, 王芹, 等. 魔芋葡甘聚糖结构的研究进展[J]. 食品与机械, 2011(3): 143-146.
- WANG L X, YAO M N, WANG Q, et al. Review of structure of konjac glucomannan[J]. Food & Machinery, 2011(3): 143-146.
- [6] 孙远明, 吴青. 魔芋葡甘聚糖的结构、食品学性质及保健功能[J]. 食品与发酵工业, 1999, 25(5): 47-51.
- SUN Y M, WU Q. Structure, food properties and health function of konjac glucomannan[J]. Food and Fermentation Industries, 1999, 25(5): 47-51.
- [7] 张鸥. 魔芋葡甘聚糖果冻制备及工厂设计[D]. 南昌: 南昌大学, 2018.
- ZHANG O. Preparation and konjac Glucomannan jelly and its factory design[D]. Nanchang: Nanchang University, 2018.
- [8] 李博, 邵自强. 羟丙基甲基纤维素与魔芋葡甘聚糖复配体系相互作用的研究[J]. 高分子学报, 2010(4): 395-400.
- LI B, SHAO Z Q. Study on the interaction between hydroxypropyl methyl cellulose and konjac glucomannan[J]. Acta Polymerica Sinica, 2010(4): 395-400.
- [9] 王林, 刘子齐, 袁毅, 等. 魔芋葡甘聚糖/卡拉胶/聚丙烯酰胺纳米纤维膜的结构与性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2017, 33(8): 68-72.
- WANG L, LIU Z Q, YUAN Y, et al. Structure and properties of konjac glucomannan/carrageenan/polyacrylamide nanofiber films[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2017, 33(8): 68-72.
- [10] 许溢群, 邹黎明, 李文刚, 等. GL/ChCl-GL复配增塑PVA体系的流变行为研究[J]. 合成纤维工业, 2020, 43(2): 2-4.
- XU Y Q, ZOU L M, LI W G, et al. Study on rheological behavior of GL/ChCl-GL plasticized by PVA[J]. China Synthetic Fiber Industry, 2020, 43(2): 2-4.
- [11] 蒋明峰. 魔芋葡甘聚糖/可得然胶流变学特性的研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2016.
- JIANG M F. Rheological properties of konjac glucomannan/curdlan sol[D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2016.
- [12] 许时婴, 钱和. 魔芋葡甘露聚糖的化学结构与流变性质[J]. 无锡轻工业学院学报, 1991, 10(1): 1-12.
- XU S Y, QIAN H. Chemical structure and rheological properties of konjac glucomannan[J]. Journal of the Wuxi Institute of Light Industry, 1991, 10(1): 1-12.
- [13] 王燕斐. 羟丙基甲基纤维素/羟丙基淀粉复配体的流变与相容性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
- WANG Y F. The rheological properties and miscibility of hydroxypropyl methylcellulose/hydroxypropyl starch system[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017.
- [14] 范江洋. 魔芋葡甘聚糖-黄原胶共混多糖作为释药载体的研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.
- FAN J Y. Study on konjac glucomannan-xanthan gum polysaccharides mixtures as drug delivery carrier[D]. Tianjin: Tianjin University, 2007.
- [15] WESKA R F, ACHILLI M, BEPPU M M, et al. Improvement of collagen hydrogel scaffolds properties by the addition of konjac glucomannan[J]. Advanced Materials Research, 2012, 409: 187-192.
- [16] 王露. 卡拉胶/明胶混合体系的相行为研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2015.
- WANG L. Study on the phase behavior of carrageenan/gelatin mixture[D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2015.
- [17] 吴其晔, 巫静安. 高分子材料流变学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 40-41.
- WU Q Y, WU J A. Rheology of polymer materials [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002: 40-41.
- [18] 彭述辉, 温成荣, 姚闽娜, 等. 不同分子质量魔芋葡甘聚糖凝胶性质研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2010(11): 151-157.
- PENG S H, WEN C R, YAO M N, et al. Study on properties of konjac glucomannan gel with different molecular weights[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2010 (11): 151-157.

- [19] 姚雪, 罗学刚, 韩本超, 等. 不同分子量魔芋葡甘露低聚糖的流变特性[J]. 化工进展, 2011, 30(11): 2495-2501.
- YAO X, LUO X G, HAN B C, et al. Rheological properties of konjac oligo-glucomannan with various molecular weights[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2011, 30(11): 2495-2501.
- [20] 常秀莲. 两种芦荟活性成份及其热稳定性比较研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2006.
- CHANG X L. Comparative researches on contents and thermal stabilities of active components of two aloe species[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2006.
- [21] FUONGFUCHAT A, SEETAPAN N, MAKMOON T, et al. Linear and non-linear viscoelastic behaviors of crosslinked tapioca starch/polysaccharide systems[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 109: 571-578.
- [22] CHOPRA D, KONTOPOULOU M, VLASSOPOULOS D, et al. Effect of maleic anhydride content on the rheology and phase behavior of poly(styrene-co-maleic anhydride)/poly(methyl methacrylate)[J]. Rheol Acta, 2002, 41: 10-24.
- [23] 李斌, 盛慧, 汪超, 等. 魔芋胶-淀粉复配体系稳定性及其协效性研究[J]. 食品科技, 2003(5): 55-58.
- LI B, SHENG H, WANG C, et al. Study on the stability and synergistic effect of konjac glue-starch multiple system[J]. Food Science and Technology, 2003(5): 55-58.
- [24] 屠文瑶, 王中, 乔冬玲, 等. 魔芋葡甘聚糖溶液浓度/温度对其流变特性的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(14): 89-93.
- TU W Y, WANG Z, QIAO D L, et al. Effects of concentration/temperature on rheological properties of konjac glucomannan (KGM)[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(14): 89-93.
- [25] 张宁. 改性魔芋葡甘聚糖-甲基纤维素可食膜的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- ZHANG N. Study on modified konjac glucomannan-methylcellulose edible films[D]. Changchun: Jilin University, 2015.
- [26] 曾瑞琪, 李苇舟, 赵欣, 等. 魔芋胶-黄原胶复配体系流变学特性及其凝胶形成动力学分析[J]. 食品科学, 2018, 39(9): 39-46.
- ZENG R Q, LI W Z, ZHAO X, et al. Rheological properties and gelation kinetics of konjac gum-xanthan gum mixtures[J]. Food Science, 2018, 39(9): 39-46.

Studies on Rheological Behavior of Konjac Glucomannan and Hydroxypropyl Methyl Cellulose Composite System

Lin Lisong, Shi Wenjuan, Luo Man, Qiao Dongling*

(School of Bioengineering and Food Science, Hubei University of Technology, Wuhan 430068)

Abstract In this paper, the steady shear and oscillatory shear mode were applied to explore the influence of the solution mass fraction and blending ratio on the viscosity and rheology behaviors for konjac glucomannan/hydroxypropyl methyl cellulose (KGM/HPMC) system. The results showed that the KGM/HPMC system was a non-Newtonian fluid, and the increase of system mass fraction and KGM content decreased the fluidity of the composite solution and increased its viscosity at the same time. The molecular chains of KGM and HPMC formed a relative compact structure through hydrophobic interaction in solution state, which was stabilized by increasing the system mass fraction and KGM content. For low mass fraction system, more KGM content was favor for the formation of hot-set KGM/HPMC gel, while more HPMC content was beneficial for the formation of hot-set KGM/HPMC gel in high mass fraction system.

Keywords konjac glucomannan; hydroxypropyl methyl cellulose; composite; rheological behavior