

葫芦巴胶改善吞咽障碍者饮水安全性的流变学研究

Rheological properties of fenugreek gum on improving the safety of drinking water in nursing dysphagia

郝路路 王 凌 商龙臣 李 斌

HAO Lu-lu WANG Ling SHANG Long-chen LI Bin

(华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070)

(College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China)

摘要:参照美国吞咽障碍膳食标准,以样品的 η_{50} 黏度为分类依据,将葫芦巴胶制备成黏度分别为 180 cP(花蜜型)、1 000 cP(蜂蜜型)和 2 500 cP(布丁型)的增稠流体,对其流变学性质进行研究,并评价葫芦巴胶用于改善吞咽障碍者的饮水安全性。结果表明,溶解温度是葫芦巴胶流变性质能否满足改善饮水安全性要求的关键。80 °C 制备的葫芦巴胶具有与黄原胶、结冷胶相似的流变学性质:明显的剪切变稀行为且对增稠级别的依赖程度较小;具有 $G' > G''$ 和 $\tan\delta < 1$ 的弱凝胶弹性性质;在高增稠级别,相较于黄原胶和结冷胶,其具有更好的流动性。

关键词: 葫芦巴胶;增稠剂;吞咽困难;流变学

Abstract: In this paper, according to the American Dysphagia Diet standard, based on the viscosity at 50 s⁻¹, fenugreek gum was prepared into thickening fluids with viscosity of 180 cP(nectar), 1 000 cP(honey) and 2 500 cP(pudding), that the rheological properties had been systematically studied to evaluate the potential of fenugreek gum in improving the safe drinking water of patients with dysphagia. And then the rheological properties of fenugreek gum prepared at different temperatures were further explored. The results showed that the dissolution temperature was the key to whether the rheological properties of fenugreek gum meet the requirements of drinking water safety for people with dysphagia. Similar to xanthan gum and gellan gum, fenugreek gum dissolved at 80 °C had the following properties: it had a significant shear thinning behavior and less dependence on the thickening level; it had the weak gel elastic properties with

$G' > G''$ and $\tan\delta < 1$. What's more, at high thickening level, fenugreek gum dissolved at 80 °C had better fluidity than xanthan gum and gellan gum. Therefore, it will have a good application prospect in improving the safety of drinking water for people with swallowing disorders.

Keywords: fenugreek gum; thickener; dysphagia; rheology

吞咽功能障碍是指多种原因引起的与吞咽有关的神经、器官受损,难以将固体或液体食物由口腔安全输送到胃等症状^[1]。中国吞咽障碍的发病率在基本能够生活自理的 65 岁及以上人群中占 15%~20%,而在失能老年人群(如阿尔兹海默症或中风等)中的发病率高达 54%~80%。进食困难会导致老年人营养缺乏、脱水等,损害机体健康,严重者会因饮水呛食,造成吸入性肺炎^[2-4]。因此,如何提高吞咽障碍患者的饮水安全性已成为亟待解决的科学问题,而已有的研究^[5-6]表明,流体增稠是提高患者吞咽安全性的有效措施之一。

亲水胶体常用于食品中以增加其黏度或改善其质构^[7],以减缓食物在吞咽过程中的运动速度,给予吞咽功能障碍患者充足的反应时间遮蔽气管入口,从而防止食物进入气管。《中国吞咽障碍膳食营养管理专家共识(2019 版)》对有吞咽障碍风险患者的饮食进行了规范,要求保证食物能从口腔成功进入胃腔而非肺中且不在口腔中残留。美国吞咽障碍膳食标准^[8]规定,以 η_{50} 黏度为依据,将增稠流体稠度等级分为稀薄型(1~50 mPa·s)、花蜜型(51~350 mPa·s)、蜂蜜型(351~1 750 mPa·s)以及布丁型(>1 750 mPa·s) 4 类。因患者吞咽困难程度不同,辅助食品所需的增稠程度存在差异。目前市场上常见的增稠产品主要有黄原胶(XG)、结冷胶(GG)等,但是有关其不同增稠级别的流变学特性研究有所欠缺。

葫芦巴胶(fenugreek gum, FG)是从葫芦巴籽中分离

基金项目:湖北省自然科学基金创新群体项目(编号:2019CFA011)

作者简介:郝路路,女,华中农业大学在读硕士研究生。

通信作者:王凌(1976—),女,华中农业大学副教授,硕士生导师,博士。E-mail: wangling@mail.hzau.edu.cn

收稿日期:2020-12-22

内胚乳提取得到的一种多糖胶体,由甘露糖和半乳糖组成,摩尔比值为1:1^[9-10],具有降血糖、降胆固醇、抗氧化^[11]等药理作用,还具有增稠、乳化、凝胶化、泡沫形成^[12]等功能。葫芦巴胶可以快速溶于冷水和热水中,已有研究^[13]表明不同温度条件下制备的葫芦巴溶胶,其黏度差异明显。目前尚未见将葫芦巴胶应用于改善吞咽困难者饮水安全方面的报道。

研究拟以美国吞咽障碍膳食标准为依据,以常用的增稠剂如黄原胶和结冷胶为参照,探究葫芦巴溶胶在花蜜型、蜂蜜型以及布丁型3个不同增稠级别的流变特性,进一步探究不同溶解温度下葫芦巴胶的流变学性质,以期为葫芦巴胶作为增稠剂以改善吞咽困难患者的饮水安全提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

葫芦巴胶、黄原胶:分析级,源叶生物科技有限公司;

结冷胶:食品级,邯郸财鑫糖业有限责任公司。

1.1.2 仪器与设备

流变仪:AR2000ex型,美国TA仪器公司;

电动搅拌机:HD2010W型,上海司乐仪器有限公司;

电子天平:ME204E型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

集热式恒温加热磁力搅拌器:DF-101S型,武汉德力祥仪器设备有限公司。

1.2 方法

1.2.1 样品制备 取一定量葫芦巴胶粉溶于水,分别于25,80℃搅拌至完全溶解,配制成质量分数为2%的葫芦巴溶胶;参照美国吞咽障碍膳食标准,以 η_{50} 黏度为依据,将葫芦巴胶(FG)分别于25,80℃制备成黏度分别为(180±50),(1 000±100),(2 500±100) cP 3种增稠流体,黄原胶(XG)和结冷胶(GG)于25℃制备成3种增稠流体,250 r/min搅拌3 h,室温放置1 h使其水合完全。

1.2.2 流变学测试 采用直径为4 cm的平行板,间距0.5 mm,测试温度25℃。测试前先将样品转移到平板上平衡5 min,每个样品重复3次。

(1) 稳态流动:参照临床实践中的流动条件^[14],剪切速率设置为0.1~100.0 s⁻¹。

(2) 振荡测试:应变范围为0.1%~1 000.0%,频率为1 Hz,通过动态应变扫描测试确定线性黏弹性区域(LVR)为1%,角频率为0.62~62.30 rad/s。

1.2.3 数据处理 采用Origin Pro 2020b软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同增稠级别的葫芦巴胶流变学性质

研究^[14]表明,性质为表观黏度随剪切速率的增加而逐渐降低的非牛顿流体在吞咽安全性中起重要作用。由图1~图3可知,当温度为25,80℃时,不同增稠级别的葫芦巴胶均表现为剪切变稀,但剪切变稀的程度不同。在花蜜型、蜂蜜型及布丁型3种增稠级别中,80℃制备的葫芦巴胶在0.62~62.83 rad/s内表现出弹性性质($G' > G''$),与黄原胶和结冷胶的性质相似,其弹性性质并未随增稠级别的增加而发生变化。在花蜜型级别中,25℃制备的葫芦巴胶在0.62~6.28 rad/s内表现出黏性性质($G' < G''$),在6.28~62.80 rad/s内表现出弹性性质($G' > G''$),随着增稠级别的增加,其由 $G' < G''$ 转变为 $G' > G''$ 的角频率也随之降低,与黄原胶和结冷胶的黏弹性性质差异显著。3种增稠级别的黄原胶、结冷胶以及80℃制备的葫芦巴胶的 $\tan\delta < 1$,表现出弱黏弹性质“凝胶”网络的特征,而25℃制备的葫芦巴胶在花蜜型级别中 $\tan\delta > 1$,蜂蜜型和布丁型级别 $\tan\delta < 1$,随着增稠级别的增加,黏性行为转变为弹性行为。因此,溶解温度对葫芦巴胶的流变性质是否满足吞咽障碍者饮水安全的要求是关键。研究^[15-16]表明适用于改善吞咽困难的增稠流体具有类似的弱凝胶弹性网络结构,此类流体在吞咽过程中可能具有更高的安全性和愉悦的口感。综上,80℃制备的葫芦巴胶具备能够满足吞咽障碍者安全饮水的流变学特性,

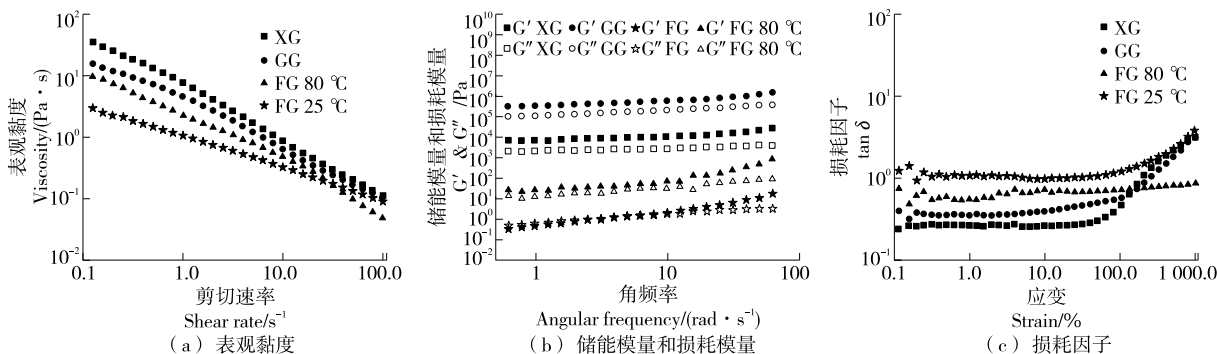


图1 花蜜型增稠级别的流变性质曲线

Figure 1 Rheological properties curve of nectar thickening grade

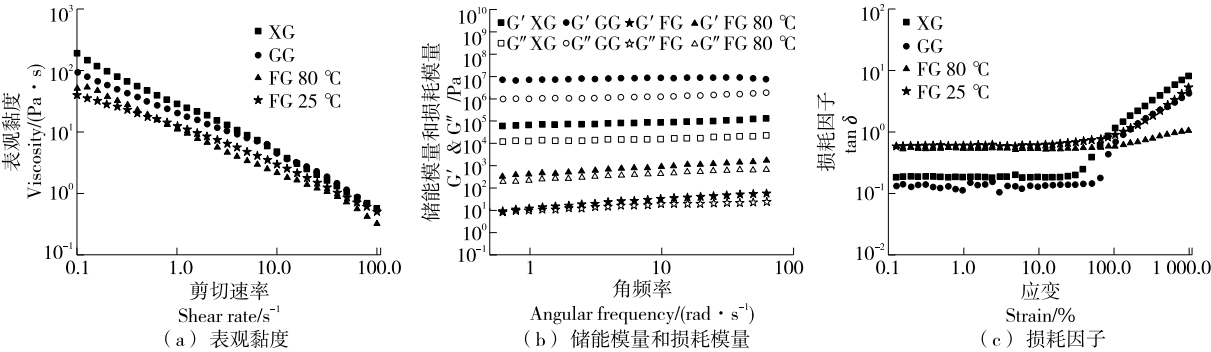


图 2 蜂蜜型增稠级别的流变性质曲线

Figure 2 Rheological properties curve of honey thickening grade

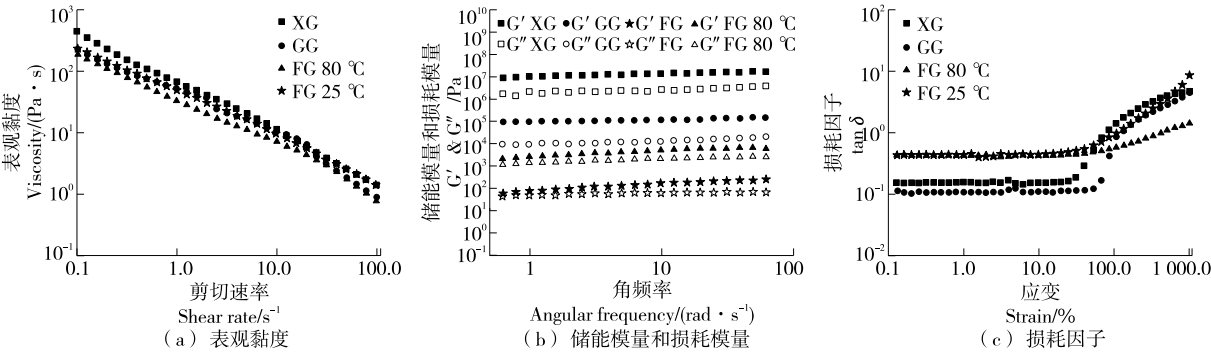


图 3 布丁型增稠级别的流变性质曲线

Figure 3 Rheological properties curve of pudding thickening grade

且在不同增稠级别,其剪切变稀行为和黏弹性质对增稠级别的依赖程度较小,在花蜜型、蜂蜜型以及布丁型增稠级别中具有普遍适用性。

由表 1 可知,25 °C 制备的葫芦巴胶的流动行为指数 (n) 大于 80 °C 制备的,表明 80 °C 制备的葫芦巴胶具有更明显的剪切变稀行为,且其对增稠级别的依赖性较小。黄原胶和结冷胶也具有相似的流变学性质,即明显的剪切变稀行为,且对增稠级别的依赖程度较小。对于吞咽困难患者,安全吞咽是第一考虑要素,其中稠度指数 (K) 是重要参数,较高的 K 可以显著增加流体吞咽临界流体体积的时间(第 1 mL 液体输送到食道的时间),使流体从口腔进入到食道中的速率减慢,患者有充足的时间关闭气管,减少流体在吞咽过程中误吸的风险^[17]。当增稠级别增加时, K 值也随之增加。但是过度增稠也会产生负面影响,例如降低适口性,流动性等。在布丁型增稠级别中,80 °C 溶解葫芦巴胶的 K 值明显低于黄原胶和结冷胶的,因此,相较于黄原胶和结冷胶,80 °C 溶解的葫芦巴胶适口性和流动性更佳。

2.2 制备温度对葫芦巴胶流变学性质的影响

由图 4(a)可知,25,80 °C 制备的葫芦巴胶是非牛顿流体,随着剪切速率的增加其表观黏度减小,且二者黏度差异显著,与文献^[18]的结论一致。这是因为葫芦巴胶

分子链随剪切力的方向变得排列有序,聚合物之间的相互作用减小,黏度下降^[19]。相较于 25 °C,80 °C 制备的葫芦巴胶表观黏度更高,可能是因为高温使分子链在水中的溶胀程度增加,胶液黏度提高^[13]。对图 4(a)中两条曲

表 1 黄原胶、结冷胶与葫芦巴胶的幂律拟合参数
Table 1 Power law fitting parameters of xanthan gum, gellan gum and fenugreek gum

种类	级别	流动行为 指数 n	稠度系数 $K /$ ($\text{Pa} \cdot \text{s}^n$)	R^2
FG 80	花蜜型	0.28	2.07	0.99
	蜂蜜型	0.23	11.32	0.99
	布丁型	0.26	34.10	0.99
FG 25	花蜜型	0.52	1.10	0.99
	蜂蜜型	0.48	12.40	0.99
	布丁型	0.33	49.80	0.99
XG	花蜜型	0.26	7.57	0.98
	蜂蜜型	0.24	30.81	0.97
	布丁型	0.24	71.75	0.96
GG	花蜜型	0.38	4.42	0.99
	蜂蜜型	0.36	21.66	0.99
	布丁型	0.42	56.35	0.99

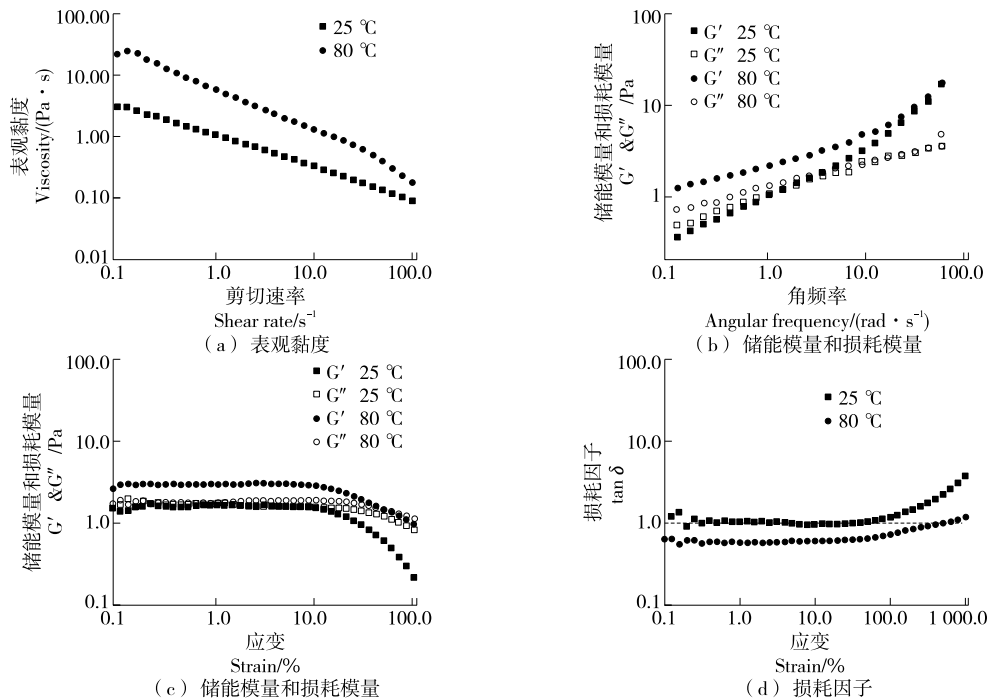


图4 25,80 °C制备FG的流变性质曲线

Figure 4 Rheological properties of FG dissolved at 25 °C and 80 °C

线分别进行幂律拟合,得到 $n_{25\text{ }^{\circ}\text{C}} = 0.52$, $n_{80\text{ }^{\circ}\text{C}} = 0.29$, 相同浓度下,80 °C制备的葫芦巴胶剪切变稀行为为更明显。有研究^[20]证明,剪切变稀行为明显的增稠流体有利于吞咽,减轻吞咽障碍者进食困难及呛食风险,因此,80 °C溶解的葫芦巴胶更有利于吞咽,进一步验证了溶解温度是葫芦巴胶用作改善吞咽困难增稠剂的关键。

由图4(b)可知,25 °C制备的葫芦巴胶在0.60~6.28 rad/s内表现出黏性行为($G' < G''$),6.28~62.80 rad/s内表现出弹性行为($G' > G''$),而80 °C制备的葫芦巴胶表现出明显的不同,可能是因为较高温度下,葫芦巴胶分子链在水中伸展度增加,分子链之间缠结力度增加,形成了较强的网络结构,使80 °C制备的葫芦巴胶在0.60~62.80 rad/s范围表现出弹性行为($G' > G''$)。

图4(c)表明,不同温度制备的葫芦巴胶的 G' 和 G'' 在线性黏弹区内都保持恒定,当应变值较低时,25 °C制备的葫芦巴胶的 $G' < G''$,而80 °C制备的葫芦巴胶的 $G' > G''$ 。研究^[21]表明, $\tan\delta > 1$, 主要表现出黏性行为; $\tan\delta < 1$, 主要表现出弹性行为。大分子聚合物体系的 $\tan\delta$ 值可分为3类:较稀溶液的 > 1 , 无定形聚合物为0.2~0.3,而凝胶或玻璃状结晶聚合物的接近0.01^[22]。由图4(d)可知,80 °C制备的葫芦巴胶的 $\tan\delta$ 为0.5左右,25 °C制备的为1左右,说明80 °C制备的葫芦巴胶处于稀流体和弹性凝胶之间的中间状态,形成了较弱的凝胶,弹性占主导作用;而25 °C制备的葫芦巴胶处于黏性占主导作用的流体状态,进一步验证了80 °C制备的葫芦巴胶符合改善吞咽

困难增稠剂应具备的弱凝胶弹性性质的要求。

3 结论

探究了葫芦巴胶在花蜜型、蜂蜜型及布丁型3种增稠级别中的流变学性质,以及不同温度制备的同一增稠级别下的流变学特性。结果表明,80 °C制备的葫芦巴胶具有与黄原胶、结冷胶相似的流变学性质:明显的剪切变稀行为且对增稠级别的依赖程度较小;具有 $G' > G''$ 和 $\tan\delta < 1$ 的弱凝胶弹性性质,说明80 °C制备的葫芦巴胶在不同增稠级别具有普遍适用性,且具有更好的流动性。后续可对葫芦巴胶与食物体系中其他组分的相互作用进行深入研究,以期发现其在吞咽困难辅助食品设计中的重要作用。

参考文献

- [1] MARTINO R, FOLEY N, BHOGAL S, et al. Dysphagia after stroke[J]. Journal of Cerebral Circulation, 2005, 36(12): 2 756-2 763.
- [2] KAISER M, BANDINELLI S, LUNENFELD B. Frailty and the role of nutrition in older people: A review of the current literature[J]. Acta Bio-Medica Atenei Parmensis, 2010, 81(Suppl 1): 37.
- [3] KIKAWADA M, IWAMOTO T, TAKASAKI M. Aspiration and infection in the elderly[J]. Drugs & Aging, 2005, 22(2): 115-130.
- [4] BARBON C E A, STEELE C M. Efficacy of thickened

- liquids for eliminating aspiration in head and neck cancer[J]. Otolaryngology-Head and Neck Surgery, 2014, 152(2): 211-218.
- [5] CICHERO J A Y. Adjustment of food textural properties for elderly patients[J]. Journal of Texture Studies, 2016, 47(4): 277-283.
- [6] PAINTER V, LE COUTEUR D, WAITE L. Texture-modified food and fluids in dementia and residential aged care facilities[J]. Clinical Interventions in Aging, 2017, 12: 1 193-1 203.
- [7] 王海鸥, 高颖宇, 陈守江, 等. 增稠剂对杏鲍菇冻干粉品质的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(9): 211-215.
- [8] 陈建设, 吕治宏. 老年饮食障碍与老年食品: 食品工业的挑战与机遇[J]. 食品科学, 2015, 36(21): 310-315.
- [9] SEBASTIEN G, AGUEDO M, PETRUT R, et al. Structure impact of two galactomannan fractions on their viscosity properties in dilute solution, unperturbed state and gel state[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 96: 550-559.
- [10] DEA I C M, MORRISON A. Chemistry and interactions of seed galactomannans[J]. Advances in Carbohydrate Chemistry & Biochemistry, 1975, 31(8): 241-312.
- [11] WANI S A, KUMAR P. Fenugreek: A review on its nutritional properties and utilization in various food products[J]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2018, 17(2): 97-106.
- [12] WEI Yan-xia, LIN Yan-bin, XIE Rui, et al. The flow behavior, thixotropy and dynamical viscoelasticity of fenugreek gum[J]. Journal of Food Engineering, 2015, 166: 21-28.
- [13] 汤凤霞, 王忠敏. 葫芦巴胶溶液流变特性研究[J]. 食品信息与技术, 2004, 25(5): 46-52.
- [14] O'LEARY M, HANSON B, SMITH C. Viscosity and non-newtonian features of thickened fluids used for dysphagia therapy[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(6): E330-E338.
- [15] WEI Yuan-yuan, GUO Ya-long, LI Rui-qi, et al. Rheological characterization of polysaccharide thickeners oriented for dysphagia management: Carboxymethylated curdlan, konjac glucomannan and their mixtures compared to xanthan gum[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 110: 106198.
- [16] SEO C W, YOO B. Steady and dynamic shear rheological properties of gum-based food thickeners used for diet modification of patients with dysphagia: Effect of concentration[J]. Dysphagia, 2013, 28(2): 205-211.
- [17] RAO M A, DA SILVA J L. Role of rheological behavior in sensory assessment of foods and swallowing[M]. [S.l.]: Rheology of Fluid and Semisolid Foods, 2013: 391-414.
- [18] VASANT G P, SYLVANA T, KHORAMETHA C, et al. Rheological characterization of fenugreek gum and comparison with other galactomannans[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 119: 486-495.
- [19] MOSTAFA A, VAHID S. Studies on the steady shear flow behavior and chemical properties of water-soluble polysaccharide from Ziziphus lotus fruit[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 72: 580-587.
- [20] BAYARRI S, TAYLOR A J, HORT J. The role of fat in flavor perception: effect of partition and viscosity in model emulsions[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(23): 8 862-8 868.
- [21] XU Jin-long, ZHANG Jing-cheng, LIU Yong, et al. Rheological properties of a polysaccharide from floral mushrooms cultivated in Huangshan mountain[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 139: 43-49.
- [22] WU Yan, GUO Rui, CAO Nan-nan, et al. A systematical rheological study of polysaccharide from *Sophora alopecuroides* L. seeds[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 180: 63-71.

信息窗

科学家发现高果糖饮食会影响免疫系统功能

已有研究发现高果糖饮食会导致许多代谢紊乱和疾病,例如肥胖、非酒精性脂肪肝和 2 型糖尿病等。然而,人们对高果糖饮食对免疫系统的影响尚缺乏了解。

近期,英国斯旺西大学和弗朗西斯·克里克研究所的研究人员对人类免疫系统中的单核细胞和小鼠巨噬细胞在高果糖环境中的代谢和功能反应进行了研究,发现短期的高果糖饮食会促进人和小鼠单核及吞噬细胞内细胞因子增多,从而引起体内的炎症反应。暴露于高果糖环境中会增加机体免疫系统中单核细胞

的脆弱性,当面对外界应激和挑战时,会更容易出现细菌感染或形成适合肿瘤生长的微环境。研究还发现果糖在生理条件下就会加剧炎症,其增强炎症的作用不依赖于代谢性疾病。

该研究在《Nature Communications》杂志发表,题为:Fructose reprogrammes glutamine-dependent oxidative metabolism to support LPS-induced inflammation。

(来源: <http://news.foodmate.net>)