

# 菊粉在乙醇溶液中成胶行为规律的研究

罗登林, 许威, 徐宝成, 武延辉, 刘建学

(河南科技大学食品与生物工程学院, 河南洛阳 471003)

**摘要:** 为探索菊粉在乙醇溶液中成胶行为及凝胶质构变化规律, 采用加热/冷藏的方法制配制菊粉凝胶, 考察质量分数 35%、45% 和 55% 的菊粉溶液在体积分数 0~40% 乙醇溶液中的成胶行为, 利用质构仪分析不同条件下凝胶的质构特性。试验发现随菊粉质量分数的增加其在乙醇溶液中的成胶能力增强; 乙醇体积分数对菊粉成胶能力影响显著, 当乙醇体积分数低于 30% 时, 随着其体积分数的增加菊粉的成胶能力和持水性显著提高; 当乙醇体积分数高于 30% 时, 随着其体积分数的提高菊粉的成胶能力和持水性呈下降的趋势。质构仪分析表明, 增加菊粉含量可显著提高凝胶的质构特性, 而乙醇对凝胶质构有双向作用, 随乙醇体积分数的增加, 凝胶质构特性呈现先增大后减少的趋势, 对硬度、强度、黏附力及黏着性的影响拐点为 20%, 而对凝聚性和咀嚼性的影响拐点为 10%。

**关键词:** 菊粉; 乙醇溶液; 胶体; 质构特性

文章篇号: 1673-9078(2013)10-2368-2371

## Gelation Behavior of Inulin in Ethanol Solution

LUO Deng-lin, XU Wei, XU Bao-cheng, WU Yan-hui, LIU Jian-xue

(College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

**Abstract:** To explore the gelling behavior and textural properties of inulin in ethanol solution, the gel was prepared by heat/cold storage. Gelling behaviors of 35%, 45% and 55% inulin solution in ethanol aqueous solution with ethanol concentrations ranging from 0~40% (V/V) were studied. Gelatin textural properties were analyzed using texture analyzer. The results showed that inulin gelling ability improved with the increase of inulin content and was influenced significantly by ethanol concentration. When ethanol concentration was below 30%, inulin gelling ability and water holding capability were enhanced with the rise of ethanol concentration. However, they displayed a downward trend when ethanol concentration was above 30%. TPA analysis demonstrated that increasing inulin content could significantly promote gel textural properties. Gelatin textural properties climbed up at first and then dropped down as ethanol concentration increasing. The inflexion point of the effect of ethanol on hardness, strength, adhesive force and adhesiveness was 20%, while the value was 10% for cohesiveness and chewiness.

**Key words:** inulin; ethanol solution; gel; texture characteristics

菊粉, 又称菊糖, 平均聚合度 2~60, 是一种植物性贮藏性多糖, 由 D-果糖通过  $\beta(1\rightarrow2)$  糖苷键连结而成的线性直链多糖<sup>[1-2]</sup>。目前菊粉作为一种可溶性膳食纤维, 已广泛应用于各种食品中, 如乳制品、面制品、肉制品中, 并在食品中起着保水剂、品质改良剂、脂肪替代剂的作用<sup>[3-4]</sup>, 根据《中华人民共和国食品卫生法》和《新资源食品管理办法》的规定, 批准菊粉为新资源食品, 可以用于各类食品中。

菊粉凝胶是菊粉研究方面的一个热点, 也是菊粉应用于食品, 改善食品流变及质构特性的基础。菊粉-水混合体系中, 当标准菊粉含量高于 25% 或者长链菊粉质量分数高于 15% 时, 菊粉溶液经过高剪切作用或加热/冷却过程后, 能形成凝胶网络结构, 具有与奶油

极为相似的外观和脂肪似的滑润口感<sup>[5]</sup>。另外, 菊粉与亲水胶体相互作用后具有良好粘度和流动性, 能改善食品品质与质构, 成为应用于低能量食品生产的有效脂肪替代品<sup>[6-8]</sup>。

目前, 国外已有相关菊粉凝胶方面的研究。如: Chiavaro 等<sup>[9]</sup>研究了不同种类菊粉凝胶的水分含量、玻璃转化温度及质构特性; Kim 等<sup>[10]</sup>分析不同条件对菊粉凝胶的影响, 主要包括热处理、剪切、酸度等对菊粉凝胶强度及粒径分析的影响。但关于菊粉在乙醇溶液中的成胶行为还未见报道, 只在 Kim 的文献中提到有机溶剂对菊粉成胶会有影响, 但未进行具体试验研究。本文主要研究菊粉在乙醇溶液中的成胶成力及不同乙醇体积分数对菊粉凝胶质构特性的影响, 以期对菊粉在食品工业中的实际应用提供指导。

## 1 材料与amp;方法

收稿日期: 2013-06-07

基金项目: 河南省高等学校青年骨干教师资助计划项目(2012GGJS-076), 河南省教育厅自然科学研究计划项目(2008B550002)

作者简介: 罗登林, 男, 副教授, 主要研究方向为农产品深加工及超声技术

## 1.1 材料与试剂

菊粉(平均聚合度 10~12)购买于昆山拓丰有限公司, 80 °C条件下干燥至恒重。无水乙醇为分析纯。Instron Universal 5544 型质构仪, Instron Corp., USA。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 菊粉凝胶的制备

用不同体积分数的乙醇溶液(10~40%)配制不同菊粉质量分数(35%、45%和55%)的菊粉溶液,并于80 °C条件下进行热处理8 min。取出冷却后至室温后,置于4 °C条件下进行冷藏处理。当凝胶完全成胶并不具有流动性时,即形成凝胶。

### 1.2.2 乙醇体积分数对菊粉成胶时间的影响

菊粉成胶时间,即菊粉溶液置于4 °C条件下进行冷藏处理到凝胶完全成胶并不具有流动性所用的时间,成胶时间是成胶体形成胶体能力大小的一个参数。配制不同的乙醇溶液(10~40%),考察其对菊粉溶液(35%、45%和55%)成胶时间的影响。

### 1.2.3 乙醇体积分数对菊粉凝胶持水性的影响

凝胶持水性(Water Holding Capability, WHC)测定:将制备的菊粉液进行热处理后,置于20 mL离心管中并记录其重量,并于4 °C条件制备成凝胶。分别贮藏1 d后取出并于室温下陈化30 min, 3000 r/min(相对离心力, RCF, 1006.88×g)高速离心30 min后,除去水层并记录剩于凝胶的质量<sup>[1]</sup>。凝胶持水性计算如公式1。

$$\text{WHC}(\%) = (m_1 - m_0 - m) \times 100 / m \quad (1)$$

注:  $m_0$ -离心管的重量/g;  $m$ -制备凝胶菊粉的重量/g;  $m_1$ -离心后除去上清液后离心管的重量/g。

### 1.2.4 不同乙醇体积分数下凝胶的质构特性

使用 Instron Universal 4455 (Instron Corp., USA) 质构仪(TPA)对菊粉凝胶质构特性进行分析,数据结果通过仪器自带软件 Bluehill 进行分析。TPA 试验模拟人体咀嚼,通过两次穿刺实验完成,对菊粉质构指标,如硬度、黏附力、粘着性、凝聚力及咀嚼性进行分析。

质构分析前置于室温30 min,凝胶穿刺深度为20 mm,探头直径0.5 cm,穿刺速率为1 mm/s,数据采集间隔为10 ms。

## 2 结果与分析

### 2.1 乙醇体积分数对菊粉成胶时间的影响

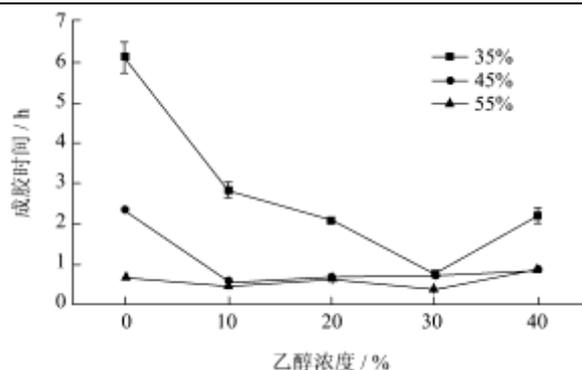


图1 乙醇体积分数对菊粉成胶时间的影响

Fig.1 Effect of ethanol concentration on inulin gelation time

由图1可知,乙醇体积分数对成胶时间影响显著( $p=0.01$ )。无论以水为溶剂,还是以不同体积分数的乙醇的水溶液为溶剂,随着菊粉含量的增加,菊粉凝胶成胶时间都有所降低。这是因为提高菊粉含量,菊粉易相互结合形成大分子聚合物而析出形成凝胶,所以菊粉含量增加,可提高菊粉的成胶能力。不同乙醇体积分数对菊粉凝胶成胶时间的影响也有所不同,由图可知,当乙醇体积分数在0~30%内,随着乙醇体积分数的增加,凝胶成胶时间呈降低趋势,但当高于30%时,凝胶成胶时间有增加的趋势。当水中加入一定体积分数的乙醇时(10~30%),菊粉在乙醇水溶液中溶解度降低,易于析出沉淀形成凝胶,所以菊粉成胶时间有所下降。但当乙醇体积分数高于30%时,虽然菊粉在溶剂中的溶解度有所下降,但乙醇溶剂极性较弱,不易与菊粉极性基团相互作用形成氢键,难以在菊粉网状结构中起到桥梁作用,不利于菊粉凝胶的形成,也可能归因于过多的乙醇虽会导致菊粉的沉淀量增加,但当乙醇与水分子的体积超过了菊粉网格之间的空间时,会有乙醇或水或乙醇与水的混合物游离在凝胶体系之外,从而造成了过高的乙醇体积分数也无法达到最佳的凝胶效果<sup>[2]</sup>。所以当乙醇体积分数进一步提高时,将不利于菊粉凝胶的形成。

### 2.2 乙醇体积分数对菊粉凝胶持水性的影响

由图2可知,乙醇对菊粉凝胶持水性的影响与对菊粉凝胶成胶时间的影响有着相似的规律。在相同条件下制备的菊粉凝胶,提高菊粉质量分数有助于增强菊粉凝胶的持水性。由图可知,对于水或乙醇作溶剂时,凝胶的持水性都随着菊粉质量分数的提高呈增加的趋势,这与我们以前报道的菊粉凝胶质构变化规律一致<sup>[1]</sup>。但以乙醇水溶液为溶剂制备的菊粉凝胶与水溶液为溶剂制备的凝胶相比,持水性表现不同的规律。当乙醇体积分数在0~30%内,增加乙醇体积分数可提

高凝胶的持水性；当乙醇体积分数为 30%时，35%、45% 和 55%的菊粉凝胶比以用水溶液制备的凝胶持水性分别提高 28.59%、20.39%和 5.72%；但当乙醇体积分数高于 30%时，菊粉凝胶的持水性下降，当乙醇体积分数为 40%时，35%、45%和 55%的菊粉凝胶的持水性与 30%乙醇制备的凝胶相比，持水性分别降低 17.53%、8.56%和 12.90%。这可能主要归因于：一方面菊粉溶解度在乙醇中比水中低，在相同的菊粉质量分数条件下，乙醇溶液中存在更多析出的菊粉分子，利于凝胶的形成和结构的稳定性；另一方面乙醇的极性比水小，与菊粉分子形成的氢键能力比水弱，不利于凝胶的形成。当乙醇体积分数较低时，前者占主导作用，但当乙醇体积分数较高时，后者占主导作用。

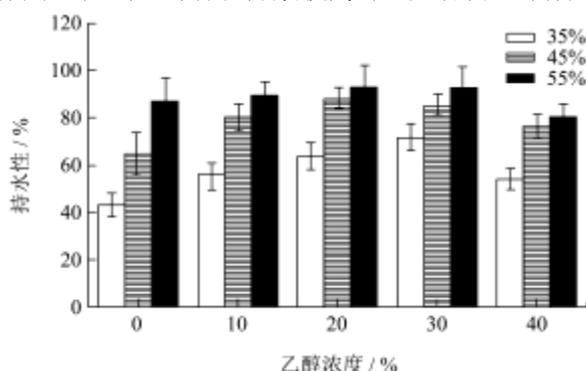


图 2 乙醇体积分数对菊粉凝胶持水性的影响

Fig.2 Effect of ethanol concentration on inulin gel water holding capacity

### 2.3 乙醇体积分数对菊粉凝胶质构特性的影响

由表 1 可知，乙醇对凝胶硬度和强度的影响有着相似的规律。当乙醇体积分数 0~20%内，随着菊粉质量分数的增加，菊粉凝胶的硬度和强度均有增加的趋势。乙醇体积分数为 20%时，35%、45%和 55%的菊粉凝胶比以用水溶液制备的凝胶硬度分别提高 0.15 N、0.20 N 和 0.20 N，强度分别提高  $8.72 \times 10^3$  Pa、 $13.52 \times 10^3$  Pa、 $11.65 \times 10^3$  Pa。但当乙醇体积分数高于 20%时，随着菊粉质量分数的增加，菊粉硬度和强度呈下降的趋势；当乙醇体积分数为 30%时，35%、45%及 55%的菊粉凝胶的硬度、强度大小相近，而当乙醇体积分数为 40%时，55%的菊粉凝胶硬度和强度均低于 45%的菊粉凝胶。乙醇对菊粉凝胶硬度和强度的影响，主要是由于乙醇对凝胶结构的影响，乙醇水溶液处于菊粉凝胶三维结构中处于桥梁作用，乙醇极性结构低于水且不易形成氢键，使凝胶的三维结构的坚固性降低，当乙醇含量较高时，凝胶硬度及强度均有下

降的趋势。

表 1 乙醇体积分数对菊粉凝胶质构的影响

Table 1 Effect of ethanol on inulin gel texture characteristics

参数	乙醇浓度/%	菊粉质量分数/%		
		35	45	55
硬度 /N	0	0.13±0.004	0.29±0.029	0.38±0.029
	10	0.16±0.004	0.44±0.069	0.46±0.040
	20	0.28±0.036	0.49±0.044	0.59±0.040
	30	0.35±0.028	0.41±0.002	0.38±0.033
	40	0.14±0.012	0.21±0.012	0.09±0.009
强度 /10 <sup>3</sup> Pa	0	3.82±0.710	9.52±0.903	16.21±1.256
	10	6.07±0.350	17.73±2.100	20.49±1.740
	20	12.54±2.330	23.04±1.850	27.86±2.500
	30	15.03±2.900	15.63±1.050	16.11±1.620
	40	5.09±0.570	8.63±1.270	3.21±0.460
黏附力 /N	0	0.08±0.006	0.18±0.053	0.21±0.018
	10	0.07±0.010	0.20±0.000	0.22±0.025
	20	0.18±0.011	0.23±0.030	0.26±0.021
	30	0.08±0.030	0.18±0.030	0.15±0.010
	40	0.05±0.000	0.09±0.010	0.05±0.010
黏着性 (N·s)	0	1.14±0.061	2.54±0.660	3.18±0.392
	10	0.79±0.120	3.00±0.140	3.24±0.146
	20	1.88±0.620	3.06±0.261	3.69±0.300
	30	2.50±0.390	2.96±0.650	2.46±0.095
	40	0.80±0.036	1.31±0.059	0.59±0.100
凝聚性	0	0.17±0.044	0.19±0.069	0.32±0.080
	10	0.26±0.053	0.38±0.030	0.38±0.004
	20	0.19±0.086	0.24±0.001	0.35±0.0173
	30	0.26±0.008	0.26±0.048	0.37±0.015
	40	0.41±0.013	0.35±0.014	0.28±0.033
咀嚼性	0	0.02±0.007	0.13±0.025	0.06±0.003
	10	0.03±0.003	0.21±0.024	0.20±0.011
	20	0.05±0.010	0.18±0.017	0.10±0.028
	30	0.08±0.002	0.13±0.018	0.10±0.010
	40	0.05±0.010	0.02±0.010	0.10±0.005

乙醇体积分数对菊粉凝胶黏性的影响与制备时乙醇体积分数有关。当乙醇体积分数 0~20%内，与硬度和强度所示规律一致，随着菊粉质量分数的增加，菊粉凝胶的黏附力和黏着性均增大。乙醇体积分数为 20%时，35%、45%和 55%的菊粉凝胶黏附力比以用水溶液制备的分别提高 0.09、0.05 和 0.003 N，黏着性分别提高 0.74、0.52、0.51 N·s。乙醇体积分数高于 20%时，在相同乙醇体积分数时，随着菊粉质量分数的增加，菊粉凝胶的黏附力和黏着性均有下降的趋势。在相同菊粉质量分数时，菊粉凝胶黏附力和黏着性变化趋势

的临界点均为乙醇体积分数 20%：低于 20%时，黏附力和黏着性均随乙醇体积分数增加呈增大趋势；高于 20%时，均随乙醇体积分数增加呈下降趋势。

乙醇体积分数对菊粉凝胶凝聚性的影响如表 1 所示。当以水为溶剂制备凝胶时，其凝聚性随着菊粉质量分数的增加而增大<sup>[1]</sup>。当以乙醇为溶剂制备凝胶时，乙醇体积分数不超过 30%时，菊粉凝胶凝聚性均高于以水为溶剂制备的凝胶；但当乙醇体积分数高于 30%时，菊粉凝胶的凝聚性下降。对于菊粉质量分数为 35%的凝胶，随乙醇体积分数的增大，菊粉凝胶的凝聚性大致上呈现增强的趋势；但对于 45%的菊粉凝胶，加入乙醇有助于提高菊粉凝胶的凝聚性，但增加的量与乙醇体积分数有关，不同的乙醇体积分数其增加量有所不同；55%的菊粉凝胶与 45%凝胶一样，均比以水溶液制备的凝胶的凝聚性高，在 10~30%乙醇体积分数范围内，凝胶凝聚性较稳定，但在 40%乙醇中其凝聚性略有下降。

在不同乙醇体积分数时，与以水为溶剂制备的凝胶相比，凝胶咀嚼性随着菊粉含量的均有所增加。对于 35%菊粉含量的凝胶，其咀嚼性随着乙醇体积分数的增加而增强，当乙醇体积分数为 30%时，凝胶咀嚼性达最大值，而在乙醇体积分数 40%时却有所下降。对 45%和 55%的菊粉凝胶，其咀嚼性均在乙醇体积分数为 10%时达到最大值，但对 45%的菊粉凝胶，在 20~40%乙醇含量范围内，乙醇体积分数的变化对其咀嚼性影响不明显；而对 55%的菊粉凝胶，在 20~40%乙醇含量范围内，随着乙醇体积分数的增大其咀嚼性降低。

### 3 结论

增加菊粉质量分数可提高菊粉溶液成胶能力，乙醇对菊粉凝胶的影响有双向作用，乙醇体积分数低于 30%，随着其体积分数的增加，菊粉成胶能力提高；但当高于 30%时，成胶能力下降。乙醇体积分数对其持水性也遵循相似的规律。乙醇对 TPA 参数的影响有所差异，乙醇体积分数对硬度、强度、黏附力及黏着性的影响趋势拐点为 20%，而对咀嚼性为 10%。这可能主要归因于一方面菊粉在乙醇溶液中溶解度较低，易于形成凝胶，另一方面乙醇较小的极性又不利于凝胶的形成，当乙醇体积分数较低时，前者占主导作用，但当乙醇体积分数较高时，后者占主导作用。

### 参考文献

- [1] Tarrega A, Rocafull A, Costell E. Effect of blends of short and long-chain inulin on the rheological and sensory properties of prebiotic low-fat custards [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2010, 43(3): 556-562
- [2] Chi Z M, Zhang T, Cao T S, et al. Biotechnological potential of inulin for bioprocesses [J]. *Bioresource Technology*, 2011, 102(6): 4295-4303
- [3] Villegas B, Costell E. Flow behaviour of inulin-milk beverages. Influence of inulin average chain length and of milk fat content [J]. *International Dairy Journal*, 2006, 17(7): 776-781
- [4] Škara N, Novotni D, Čukelj N, et al. Combined effects of inulin, pectin and guar gum on the quality and stability of partially baked frozen bread [J]. *Food Hydrocolloids*, 2013, 30(1): 428-436
- [5] Kip P, Meyer D, Jellema R H. Inulins improve sensoric and textural properties of low-fat yoghurts [J]. *International Dairy Journal*, 2006, 16(9): 1098-1103
- [6] Meyer D, Bayarri S, Tárrega A, et al. Inulin as texture modifier in dairy products [J]. *Food Hydrocolloids*, 2011, 25(8): 1881-1890
- [7] Tárrega A, Torres J D, Costell E. Influence of the chain-length distribution of inulin on the rheology and microstructure of prebiotic dairy desserts [J]. *Journal of Food Engineering*, 2011, 104(3): 356-363
- [8] Arango O, Trujillo A J, Castillo M. Influence of fat replacement by inulin on rheological properties, kinetics of rennet milk coagulation, and syneresis of milk gels [J]. *Journal of Dairy Science*, 2013, 96(4): 1984-1996
- [9] Chiavaro E, Vittadini E, Corradini C. Physicochemical characterization and stability of inulin gels [J]. *European Food Research and Technology*, 2007, 225(1): 85-94
- [10] Kim Y, Faqih M N, Wang S S. Factors affecting gel formation of inulin [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2001, 46(2): 135-145
- [11] 罗登林, 许威, 陈瑞红, 等. 菊粉溶解性能与凝胶质构特性试验 [J]. *农业机械学报*, 2012, 43(3): 118-122, 129
- [12] Luo Denglin, Xu Wei, Chen Ruihong, et al. Solubility and gelatin textural properties of Inulin [J]. *Journal of agricultural machinery*, 2012, 43(3): 118-122, 129
- [12] 吴越, 李彦. 对高甲氧基果胶凝胶特性的研究 [J]. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2008, 31(1): 158-161
- Wu Yue, Li Yan. Research on the gelling characteristics of high-methoxyl pectin [J]. *Journal of Hefei University of Technology*, 2008, 31(1): 158-161