

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.03.023

# 菊粉溶解性能与凝胶质构特性试验\*

罗登林 许威 陈瑞红 刘建学 徐宝成 陈红

(河南科技大学食品与生物工程学院, 洛阳 471003)

**【摘要】** 对菊粉水溶液的黏度、膨胀度、持水力及凝胶质构特性进行了研究。当菊粉质量分数低于25%时,其水溶液黏度很低且随质量分数增加变化不明显,但当质量分数高于25%时,其黏度随质量分数增加迅速上升。菊粉膨胀度和持水力受温度影响显著,均在40℃时趋向最大值。采用凝胶指数(VGI)和成胶时间评价菊粉成胶能力的结果显示,只有当菊粉质量分数高于35%才能全部形成凝胶,且质量分数越高,成胶时间越短。通过TPA试验分析了菊粉凝胶的质构特性,结果表明随菊粉质量分数及贮藏时间的提高,凝胶硬度、强度、黏附力、黏着性和咀嚼性都有不同程度的提高,其中凝胶硬度、强度、黏着性及咀嚼性均在菊粉质量分数超过40%时增加明显。

**关键词:** 菊粉 溶解性 凝胶 质构特性

**中图分类号:** TS245.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)03-0118-05

## Solubility and Gelatin Textural Properties of Inulin

Luo Denglin Xu Wei Chen Ruihong Liu Jianxue Xu Baocheng Chen Hong

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

### Abstract

The viscosity, swelling degree, water retention and gelatin textural properties of inulin were explored. When the inulin content was lower than 25%, the viscosity of aqueous solution was low and the increasing was not significant with the content increasing. However, with further increasing in the content, the viscosity increased rapidly. Temperature had significant effects on the swelling degree and the water retention, both of them had the same trend and reached the maximum value at 40℃. The gelling ability of inulin was evaluated by using gel index (VGI) and gelling time. The results showed that inulin could not gelatinize completely unless the content was no less than 35% and the gelling time became shorter as inulin content increased. TPA test showed that hardness, gel strength, adhesiveness, adhesive force and gumminess of gel were improved in the different extents as inulin content increased and storage time prolonged. Hardness, gel strength, adhesiveness and gumminess of gel were improved significantly when the inulin content was above 40%.

**Key words** Inulin, Water solubility, Gelatin, Textural properties

### 引言

菊粉,又称菊糖,是一种植物性贮藏多糖,由D-果糖通过 $\beta(1\rightarrow2)$ 糖苷键连结而成的线性直链多糖,末端有一个葡萄糖残基<sup>[1]</sup>。菊粉广泛存在于菊芋、菊苣、大丽花、牛蒡等植物中,菊粉的工业生产主要通过喷雾干燥获得,标准菊粉的聚合度为2~

60,其聚合度大小主要受生产工艺及原料来源影响<sup>[2]</sup>。

菊粉具有良好的生理功能,作为一种可溶性膳食纤维,菊粉能够降低血液中脂质和胆固醇水平,改善肠道菌群,抑制病原菌的生长,促进矿物质的吸收<sup>[3]</sup>。同时菊粉还具有良好的食品加工特性,在食品工业中可作为脂肪替代品、保湿剂、增稠剂及抗老

收稿日期:2011-06-01 修回日期:2011-08-02

\* 河南省教育厅自然科学研究计划资助项目(2008B550002)和河南科技大学 S RTP 项目(2011230)

作者简介:罗登林,副教授,主要从事农产品加工与超声波技术研究,E-mail: luodenglin@sohu.com

化剂,广泛应用于乳制品、面制品、饼干、肉制品及保健食品中,不仅能改善食品流变和质构特性,赋予其良好的质感和口味,还可以降低食品热能,延长食品货架期<sup>[4-5]</sup>。

目前国内外在菊粉应用方面的报道很多,而对其食品加工特性涉及很少。为了深入了解菊粉的应用基础理论,促进其深加工技术的发展,本文主要从溶解性、黏度、膨胀度、持水力及凝胶特性方面对菊粉进行研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

菊粉(平均聚合度为10~12)购于昆山拓丰有限公司,80℃条件下干燥至质量恒定<sup>[6]</sup>。酒石酸钾钠、3,5-二硝基水杨酸、硫酸、苯酚为试剂级。Instron Universal 5544型质构仪,Instron Corp., USA。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 菊粉水溶液黏度

用DJ-79型旋转黏度计测定不同质量分数(1%~35%)菊粉溶液的黏度,测定温度为25℃。首先在80℃条件下将不同质量分数菊粉溶液完全溶解,然后冷却至室温(25℃)后进行测定,黏度测定采用1号转子和适当转速(30、60 r/min),指针在30~90格时读取数据并进行换算,每组试验平行3次,取平均值。

#### 1.2.2 菊粉膨胀度及持水力

分别测定不同温度下菊粉的膨胀度及持水力。在20 mL离心管中加入3~5 g菊粉,再加入10 mL蒸馏水,将离心管放入水浴锅中并保持一定温度。24 h后记录菊粉膨胀体积,离心管在3 000 r/min(相对离心力1 006.9g)下离心20 min,除去上清液,记录下层菊粉和离心管总质量,将离心管内菊粉在80℃干燥至质量恒定,菊粉膨胀度和持水力的计算公式为<sup>[7]</sup>

$$S_D = V/m_3$$

$$W_1 = \frac{m_2 - m_3 - m_1}{m_3} \times 100\%$$

式中  $S_D$ ——菊粉膨胀度, mL/g

$W_1$ ——菊粉持水力, %

$m_1$ ——离心管质量, g

$m_2$ ——离心后下层菊粉和离心管总质量, g

$m_3$ ——离心后离心管内的菊粉干质量, g

$V$ ——菊粉膨胀体积, mL

#### 1.2.3 菊粉凝胶特性

80℃条件下溶解不同质量分数的菊粉并于4℃

条件下进行冷藏处理,制得菊粉凝胶。凝胶指数(VGI)是评价凝胶的一个重要指标,它是形成凝胶的体积所占总体积的百分比<sup>[8]</sup>。用凝胶形成时间和VGI为指标对不同质量分数的菊粉凝胶进行评价。使用Instron Universal 5544型质构仪对菊粉凝胶质构特性(TPA)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,通过两次穿刺试验完成,对菊粉质构指标进行分析。

质构分析前样品置于室温下30 min,凝胶穿刺深度为20 mm,探头直径0.5 cm,穿刺速率1 mm/s,数据采集间隔为10 ms。凝胶持水力通过将凝胶进行3 000 r/min高速离心30 min,除去离心管中水后称质量计算得出。计算公式为<sup>[9]</sup>

$$W_2 = \frac{m_4 - m_1}{m_5 - m_1} \times 100\%$$

式中  $W_2$ ——凝胶持水力, %

$m_4$ ——离心后的凝胶与离心管总质量, g

$m_5$ ——离心前的凝胶与离心管总质量, g

## 2 结果与分析

### 2.1 菊粉水溶液黏度

图1表明,菊粉质量分数低于25%时,其水溶液黏度很低并且随着质量分数的增加变化不明显,但当质量分数高于25%时,黏度增加显著。这主要是因为质量分数增加时,过量析出的菊粉分子间相互作用改变了溶液的物理状态。当菊粉质量分数上升至35%时,其溶液黏度值达99.6 mPa·s,这时大量析出的菊粉分子会相互缠绕形成网状结构,网状之间充满着分散的液体形成黏度稳定的固态凝胶,溶液流动性变小,向凝胶状态转变。Bayarri等<sup>[10]</sup>研究了短-长链混合菊粉对低脂CMC流变行为的影响,结果发现菊粉混合物与λ-卡拉胶具有相似的流变特性,说明菊粉可作为一种新型稳定剂应用于各类食品中,如火腿肠、冷饮、乳类等。

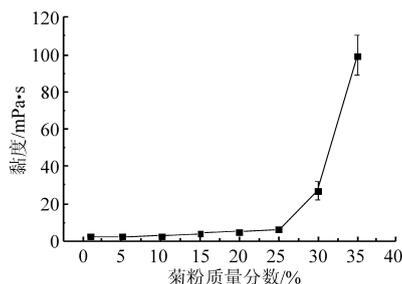


图1 菊粉水溶液的黏度

Fig. 1 Viscosity of inulin-water solution

### 2.2 温度对菊粉膨胀度及持水力的影响

菊粉的膨胀度及持水力可以间接显示菊粉分子

内部的相互作用情况。图2可以看出温度对菊粉膨胀度及持水力影响具有相同的规律,并且影响显著( $p=0.01$ )。当温度低于 $40^{\circ}\text{C}$ 时,随着温度逐渐升高,菊粉的膨胀度及持水力也逐渐提高,在温度升高至 $40^{\circ}\text{C}$ 时,菊粉膨胀度和持水力都趋向最大值,分别为 $9.31\text{ mL/g}$ 和 $264.4\%$ ,然后随着温度的上升而下降。当温度较低(低于 $40^{\circ}\text{C}$ )时,升高温度可以破坏菊粉之间及水之间的氢键,菊粉吸水膨胀,使膨胀度及持水力都得到提高;但温度高于 $40^{\circ}\text{C}$ ,进一步提高温度,菊粉结晶区的氢键遭到破坏,这时菊粉不可逆地吸收大量水分,体积进一步膨胀,透明度显著提高,在水中的溶解度增大,导致膨胀度及持水力降低。温度对菊粉膨胀度和持水力与对淀粉的影响相似,但与菊粉相比,淀粉膨胀度及持水力达最大值时需要的温度高( $58\sim 68^{\circ}\text{C}$ ),这主要归因于淀粉具有高的分子量及紧密的晶体结构,而高温会明显降低食品的营养性和增加生产能耗。菊粉这种合适的膨胀度及持水力值特别适合于添加到牛奶中,赋予其良好的口感和风味。

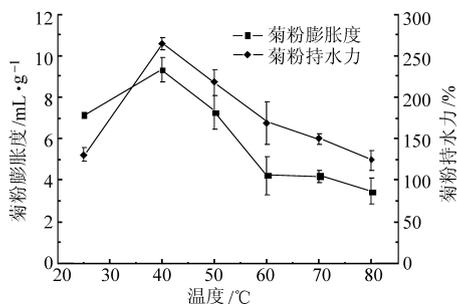


图2 温度对菊粉膨胀度及持水力的影响

Fig.2 Effect of temperature on swelling degree and water retention of inulin

### 2.3 菊粉质量分数对凝胶形成的影响

菊粉的质量分数决定了凝胶的VGI及凝胶形成时间(表1),且对凝胶VGI的影响显著( $p=0.01$ )。当溶解的菊粉从水中析出并在菊粉溶液中相互缠绕形成半固态结构时,即形成凝胶。菊粉质量分数低于 $35\%$ 时,菊粉不能形成较坚固的网状结构(图3),这时凝胶VGI值低于 $100\%$ ,且具有流动性和液体特性;菊粉质量分数越高,菊粉越易析出,分子之间相互作用也就越强烈,液体黏度也越高;当质量分数超过 $35\%$ 时,菊粉水溶液可以完全形成凝胶(VGI为 $100\%$ ),形成的凝胶没有流动性,具有固体的特性,呈现乳白色的外观和特殊的乳脂般香味。菊粉VGI变化趋势与Kim研究结果相同,但Kim发现菊粉在 $25\%$ 时VGI达到 $100\%$ ,这与所选原料有关。Kim所选原料Raftilin HP为长链菊粉,而本试验所采用的菊粉为链长较短的菊粉<sup>[11]</sup>。

表1 菊粉质量分数对凝胶形成的影响

Tab.1 Effect of inulin contents on gel formation

菊粉质量分数/%	VGI/%	成胶时间/h
20	67.2	
25	81.0	
30	93.6	
35	100	6.12
40	100	2.25
45	100	0.93
50	100	0.80
55	100	0.68
60	100	0.50

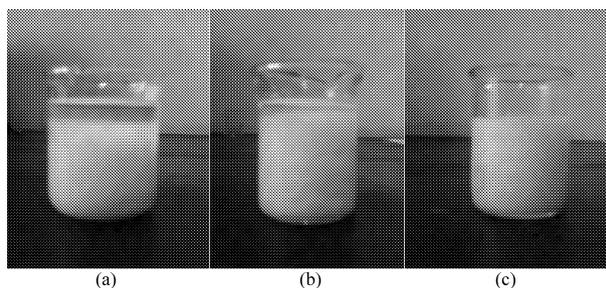


图3 不同质量分数条件下菊粉凝胶的成胶状态

Fig.3 Inulin gelling situation at different contents

(a) 20% (b) 30% (c) 40%

不同质量分数菊粉水溶液形成的凝胶具有不同的持水力(图4),随质量分数升高其凝胶持水力增大,当菊粉质量分数由 $35\%$ 上升至 $60\%$ 时,所形成的凝胶持水力也相应增大1倍。菊粉质量分数较低( $<40\%$ )时,所形成凝胶的持水力随贮藏时间延长而增加;当菊粉质量分数高于 $40\%$ 时,所形成凝胶的持水力在3d内变化不明显,但随贮藏时间进一步延长,凝胶的持水力增加显著。这是因为质量分数的增高及贮藏时间的延长使得凝胶网状结构更加致密,结构更加稳定。菊粉凝胶这种良好的持水力能够防止食品在生产和贮藏中水分的损失,可广泛应用于面制品、火腿肠和鱼糜等食品中,从而提高产

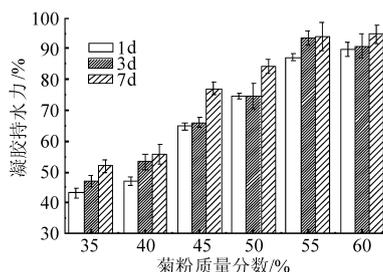


图4 在 $4^{\circ}\text{C}$ 贮藏过程中菊粉质量分数对凝胶持水力的影响

Fig.4 Effect of inulin contents on gel water-holding capacity during storage at  $4^{\circ}\text{C}$

品品质和延长货架期。

## 2.4 菊粉的凝胶特性

TPA 试验用来研究不同质量分数菊粉凝胶的质构特性,考察凝胶贮藏在 4℃ 下 7 d 内的稳定性,因为在 4℃ 下凝胶几乎不损失水分。由于菊粉质量分

数低于 35% (VGI 低于 100%) 的凝胶质构太柔软,因此不进行 TPA 试验,只对质量分数超过 35% 的凝胶进行质构分析,表 2 显示不同质量分数凝胶在贮藏过程中质构特性,如硬度、强度、黏附力、黏着性、凝聚性及咀嚼性。

表 2 在 4℃ 贮藏条件下不同菊粉质量分数所形成凝胶的质构特性

Tab. 2 Texture properties of gel with different inulin contents during storage at 4℃

参数	贮藏时间/d	菊粉质量分数/%					
		35	40	45	50	55	60
硬度/N	1	0.129 0 ± 0.003 8	0.200 4 ± 0.013 9 <sup>b</sup>	0.288 1 ± 0.028 5 <sup>b</sup>	0.387 0 ± 0.030 8 <sup>a</sup>	0.383 3 ± 0.029 4 <sup>b</sup>	0.470 1 ± 0.050 0 <sup>a</sup>
	3	0.140 8 ± 0.011 3	0.304 2 ± 0.059 1	0.329 0 ± 0.014 8 <sup>a</sup>	0.420 0 ± 0.066 0 <sup>a</sup>	0.446 3 ± 0.043 4 <sup>a</sup>	0.647 4 ± 0.048 5 <sup>ad</sup>
	7	0.204 8 ± 0.021 9 <sup>d</sup>	0.342 1 ± 0.064 2	0.390 9 ± 0.025 5 <sup>a</sup>	0.440 0 ± 0.075 2 <sup>b</sup>	0.465 4 ± 0.049 8 <sup>a</sup>	0.666 7 ± 0.109 3 <sup>b</sup>
强度/kPa	1	3.821 7 ± 0.709 3	4.755 8 ± 0.867 1	9.518 89 ± 0.902 9 <sup>b</sup>	16.161 4 ± 3.229 7 <sup>b</sup>	16.213 1 ± 1.255 6 <sup>b</sup>	21.624 2 ± 0.045 0
	3	5.9178 ± 0.676 6 <sup>d</sup>	13.273 4 ± 1.890 4 <sup>bd</sup>	15.035 7 ± 0.955 4	18.888 5 ± 2.342 0 <sup>b</sup>	17.182 6 ± 0.778 4 <sup>a</sup>	31.139 4 ± 0.490 3 <sup>a</sup>
	7	9.113 9 ± 1.617 3 <sup>d</sup>	15.569 6 ± 2.974 6	19.332 9 ± 1.817 3 <sup>ac</sup>	25.468 1 ± 3.024 6 <sup>b</sup>	24.420 4 ± 2.724 1 <sup>a</sup>	31.600 2 ± 2.768 4 <sup>a</sup>
黏附力/N	1	0.082 7 ± 0.006 4	0.109 4 ± 0.021 9	0.179 2 ± 0.052 7	0.218 4 ± 0.013 2 <sup>a</sup>	0.2053 ± 0.017 7 <sup>b</sup>	0.3063 ± 0.021 6 <sup>a</sup>
	3	0.080 6 ± 0.012 3	0.126 4 ± 0.027 1	0.206 6 ± 0.025 8 <sup>a</sup>	0.222 3 ± 0.038 8 <sup>b</sup>	0.230 0 ± 0.026 2 <sup>b</sup>	0.336 3 ± 0.056 5 <sup>a</sup>
	7	0.101 1 ± 0.019 0	0.124 4 ± 0.021 2	0.206 7 ± 0.005 8 <sup>a</sup>	0.269 3 ± 0.038 4 <sup>b</sup>	0.241 8 ± 0.011 7 <sup>a</sup>	0.324 2 ± 0.053 4 <sup>b</sup>
黏着性/N·s	1	1.141 7 ± 0.061 1	1.083 3 ± 0.099 7	2.540 4 ± 0.660 4	3.065 9 ± 0.272 9 <sup>a</sup>	3.176 8 ± 0.391 7 <sup>b</sup>	4.654 1 ± 0.168 8 <sup>a</sup>
	3	0.949 3 ± 0.126 7	1.217 4 ± 0.217 2	2.908 4 ± 0.576 0 <sup>b</sup>	3.346 5 ± 0.442 4 <sup>b</sup>	3.613 7 ± 0.408 3 <sup>b</sup>	4.339 8 ± 0.177 8 <sup>ac</sup>
	7	1.245 1 ± 0.234 9	1.400 2 ± 0.268 7	2.965 7 ± 0.180 2 <sup>b</sup>	3.783 8 ± 0.369 3 <sup>b</sup>	3.407 6 ± 0.306 2 <sup>a</sup>	4.554 8 ± 0.105 7 <sup>a</sup>
凝聚性	1	0.170 9 ± 0.044 3	0.106 6 ± 0.012 1	0.187 1 ± 0.069 2	0.231 6 ± 0.089 7	0.318 2 ± 0.080 3	0.280 4 ± 0.034 5
	3	0.151 8 ± 0.058 2	0.109 9 ± 0.005 2	0.192 7 ± 0.016 0 <sup>c</sup>	0.251 5 ± 0.032 1	0.252 4 ± 0.069 6	0.349 8 ± 0.276 6 <sup>b</sup>
	7	0.203 6 ± 0.059 2	0.089 6 ± 0.024 9	0.260 2 ± 0.052 23 <sup>c</sup>	0.254 7 ± 0.052 3	0.366 1 ± 0.020 0	0.371 9 ± 0.022 6
咀嚼性	1	0.022 2 ± 0.007 2	0.021 4 ± 0.004 4	0.055 0 ± 0.024 9	0.090 9 ± 0.040 9	0.130 4 ± 0.003 1	0.132 2 ± 0.024 0 <sup>b</sup>
	3	0.026 9 ± 0.005 8	0.037 1 ± 0.003 7	0.063 3 ± 0.002 7 <sup>b</sup>	0.098 7 ± 0.032 4 <sup>a</sup>	0.102 0 ± 0.029 5	0.226 0 ± 0.016 7 <sup>ad</sup>
	7	0.046 4 ± 0.002 4	0.026 5 ± 0.002 0	0.095 7 ± 0.027 4 <sup>d</sup>	0.127 1 ± 0.052 1	0.169 4 ± 0.018 8 <sup>b</sup>	0.251 7 ± 0.063 8 <sup>b</sup>

注:a、b 和 c、d 分别代表菊粉质量分数和贮藏时间的影响显著性,a、c 显著水平  $p=0.01$ ,b、d 显著水平  $p=0.05$ 。

凝胶的硬度和强度是凝胶受到外界压迫时表现出来的,反映了菊粉凝胶分子之间作用力情况及网状结构的稳定性,它们受菊粉质量分数和贮藏时间影响较显著( $p=0.01$ , $p=0.05$ )。菊粉凝胶硬度和强度随菊粉质量分数增加而增加,这主要因为增加菊粉质量分数,可以提高凝胶的坚固性,提高抗压能力。随菊粉质量分数增加,凝胶硬度增大的变化程度不同,当菊粉质量分数低于 50% 时,变化明显,在 50% ~ 55% 时变化趋小。与 35% 相比,60% 所形成的凝胶硬度分别在第 1 天、第 3 天和第 7 天增加了 0.34、0.51、0.46 N。贮藏时间对凝胶硬度变化影响也与菊粉质量分数有关,当菊粉质量分数不超过 35% 时,第 1 天与第 3 天硬度值相近,当高于 35% 时,凝胶硬度增加速率不同,在第 1 天至 3 天内增加最快,且当菊粉质量分数为 60% 时,第 3 天凝胶硬度与第 7 天相近(仅相差 0.019 N),而与第 1 天相比,增加了约 0.18 N。凝胶强度也随着菊粉质量分

数与贮藏时间的增加而增加,且增加的幅度受两者共同作用的影响。第 1 天凝胶强度在菊粉质量分数低于 40% 时基本不变,但在 40% ~ 60% 时随着菊粉质量分数增加呈线性增加;第 3 天与第 7 天强度变化规律相似,在 35% ~ 45% 时随质量分数增加速率较快,45% ~ 60% 强度较稳定,变化较小,在 60% 时达到最大值且强度相近,分别为 31.1 kPa、31.6 kPa。菊粉凝胶硬度和强度随贮藏时间的变化说明在 4℃ 贮藏过程中水-固两相之间的相互作用一直在增强,这对菊粉在固体食品应用中,如冰淇淋等冷冻贮藏食品非常有利,菊粉凝胶适中的强度和硬度特性,可广泛应用于各种固体食品中,赋予其良好的塑性。

菊粉凝胶具有黏性特性,并且在贮藏过程中均表现黏着性的特点,黏附力和黏着性的变化规律表示凝胶阻止形变的能力。表 2 显示黏着性及黏附力随着菊粉质量分数的增加及贮藏时间的延长都有增加的趋势。这是因为增加菊粉质量分数及延长贮藏

时间有利于菊粉分子结合更为致密,凝胶结构更加坚固,从而具有较强阻止形变的能力。从表中可以看出菊粉质量分数对凝胶黏着性及黏附力有着相似的变化规律,当菊粉质量分数低于 40% 时,黏着性和黏附力变化不大;在菊粉质量分数为 40% ~ 45% 时,随质量分数的增加黏着性和黏附力的增加速率明显加快;在 45% ~ 55% 时随质量分数的增加黏着性和黏附力表现相对稳定,60% 时均达到最高值,分别为  $4.65 \text{ N}\cdot\text{s}$  和  $0.336 \text{ N}$ 。贮藏时间对凝胶黏着性及黏附力的影响规律为:当菊粉质量分数低于 45% 时,第 1 天与第 3 天凝胶黏着性和黏附力相近,且均低于第 7 天值;但当菊粉质量分数高于 55% 时,第 3 天与第 7 天凝胶黏着性和黏附力相近,且都高于第 1 天值。菊粉不同黏着特性,适合应用于各种饮料,特别是牛奶饮料中,可以提供不同水平的黏性口感,以满足消费者要求。

凝聚性和咀嚼性也是评价凝胶的重要指标,它们均受菊粉质量分数及贮藏时间的影响。凝聚力的变化表示凝胶内部分子之间力的作用情况,其随菊粉质量分数和贮藏时间的变化较复杂,但总体呈现增大趋势。与 35% 菊粉凝胶相比,60% 凝胶凝聚性在第 1 天、第 3 天和第 7 天分别增加了 0.11、0.20 和 0.17。在相同菊粉质量分数时,贮藏时间对凝聚性影响的变化较小,且不同菊粉质量分数其增幅也不一样,最高可增加 0.092,当菊粉质量分数低于 50% 时,第 1 天与第 3 天凝胶凝聚性变化较小。咀嚼性对菊粉的应用有重要的意义,当菊粉质量分数低于 40% 时,咀嚼性基本不变,但高于 40% 时,其值随着菊粉质量分数的增加迅速增加,与 35% 菊粉凝

胶相比,60% 凝胶咀嚼性在第 1 天、第 3 天和第 7 天增加了 0.11、0.20、0.21。菊粉凝胶咀嚼性与贮藏时间成正比,相同菊粉质量分数的凝胶,贮藏时间越长,咀嚼性就会越高,这可能是凝胶在贮藏过程中网状结构趋于更加稳定的结构,使其具有更高的咀嚼性。当菊粉质量分数为 60% 时,第 3 天和第 7 天比第 1 天凝胶咀嚼性分别高 0.094、0.12。良好的咀嚼性可以提供食品良好的口感,而其优良的稳定性有利于食品在贮藏过程中品质的稳定性。

菊粉凝胶的质构特性受其菊粉质量分数及贮藏时间影响较大,且变化范围较广,这使菊粉能广泛应用到各种食品中。根据食品种类及感官需要,添加不同质量分数菊粉或替代不同含量的脂肪,可获得较好的食品品质。如 Koca 在奶酪中使用 1% 的菊粉作为脂肪替代, Villegas 则在牛奶饮料中加入 4% ~ 10% 不同链长菊粉均达到良好的效果<sup>[12-13]</sup>。

### 3 结论

(1) 菊粉水溶液黏度受菊粉质量影响明显,在 35% 时黏度达  $99.6 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。菊粉的膨胀度及持水力均在  $40^\circ\text{C}$  时趋向最大值,分别为  $9.31 \text{ mL/g}$  和  $264.4\%$ 。

(2) 菊粉质量分数达 35% 时,才能完全形成凝胶 (VGI 为 100%),成胶时间为 6.12 h;当质量分数达 60% 时,成胶时间缩短至 30 min。TPA 试验发现随菊粉质量分数及贮藏时间的提高,其凝胶质构特性有不同程度的提高,其中凝胶硬度、强度、黏着性及咀嚼性均在菊粉质量分数超过 40% 时增加明显。

### 参 考 文 献

- 1 Flamm G, Glinsmann W, Kritchevsky D, et al. Inulin and oligofructose as dietary fiber: a review of the evidence [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2001, 41(5): 353 ~ 362.
- 2 Haraguchi K, Yamanaka T, Ohtsubo K. Purification and properties of a heat stable inulin fructotransferase (DFA III-producing) from *Arthrobacter pascens* T13-2 [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2002, 50(2): 117 ~ 121.
- 3 Kaur N, Gupta A K. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition [J]. *Journal of Biosciences*, 2002, 27(7): 703 ~ 714.
- 4 Vervoort L, van den Mooter G, Augustijns P, et al. Inulin hydrogels. I. Dynamic and equilibrium swelling properties [J]. *International Journal of Pharmaceutics*, 1998, 172(1 ~ 2): 127 ~ 135.
- 5 Hempel S, Jacob A, Rohm H. Influence of inulin modification and flour type on the sensor quality of prebiotic wafer crackers [J]. *European Food Research and Technology*, 2007, 224(3): 335 ~ 341.
- 6 杨振, 杨富民, 王雪燕. 菊芋中菊粉提取工艺优化研究 [J]. *甘肃农业大学学报*, 2009, 44(5): 147 ~ 151.  
Yang Zhen, Yang Fumin, Wang Xueyan. Optimizing of extraction techniques on inulin from *Helianthus tuberosus* L. [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2009, 44(5): 147 ~ 151. (in Chinese)
- 7 包海蓉, 王馥. 微粒玉米淀粉糊精的性质研究 [J]. *食品与机械*, 2003(3): 14 ~ 15.  
Bao Hairong, Wang Zao. Properties of micro-granular amyloextrin [J]. *Food & Machinery*, 2003(3): 14 ~ 15. (in Chinese)

Southwestern University, 2005. (in Chinese)

- 11 Mottram D S, Bronislaw L, Wedzicha A T D. Acrylamide is formed in the Maillard reaction [J]. *Nature*, 2002, 419(6906): 448.
- 12 Stadler R H, Blank I, Varga N, et al. Acrylamide from Maillard reaction products [J]. *Nature*, 2002, 419(6906): 449 ~ 450.
- 13 罗龙新, 吴小崇, 邓余良, 等. 云南普洱茶渥堆过程中生化成分的变化及其与品质形成的关系[J]. *茶叶科学*, 1998, 18(1): 53 ~ 60.  
Luo Longxin, Wu Xiaochong, Deng Yuliang, et al. Variations of main biochemical components and their relations to quality formation during pile-fermentation process of Yunnan Puer tea [J]. *Journal of Tea Science*, 1998, 18(1): 53 ~ 60. (in Chinese)
- 14 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. 生物化学:上册[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2002: 9 ~ 15.
- 15 Vatter D A, Shetty K. Acrylamide in food: model for mechanism of formation and its reduction [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2003, 4(3): 331 ~ 338.
- 16 Gertz C, Klostermann S. Analysis of acrylamide and mechanisms of its formation in deep-fried products [J]. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 2002, 104(11): 762 ~ 771.
- 17 折改梅, 张香兰, 陈可可, 等. 茶氨酸和没食子酸在普洱茶中的含量变化[J]. *云南植物研究*, 2005, 27(5): 572 ~ 576.  
She Gaimei, Zhang Xianglan, Chen Keke, et al. Content variation of theanine and gallic acid in Pu-er tea [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2005, 27(5): 572 ~ 576. (in Chinese)

---

(上接第 122 页)

- 8 Mukerjee R, Slocum G, Robyt J F. Determination of the maximum water solubility of eight native starches and the solubility of their acidic-methanol and-ethanol modified analogues [J]. *Carbohydrate Research*, 2007, 342(1): 103 ~ 110.
- 9 王淑杰, 周亚军, 苏丹, 等. 鹿肉盐溶蛋白热诱导凝胶特性影响因素试验[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(9): 122 ~ 127.  
Wang Shujie, Zhou Yajun, Su Dan, et al. Properties of venison protein gelatin and mathematical model [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41(9): 122 ~ 127. (in Chinese)
- 10 Bayarri S, Chuliá I, Costell E. Comparing  $\lambda$ -carrageenan and an inulin blend as fat replacers in carboxymethyl cellulose dairy desserts. Rheological and sensory aspects [J]. *Food Hydrocolloids*, 2010, 24(6 ~ 7): 578 ~ 587.
- 11 Kim Y, Faqih M N, Wang S S. Factors affection gel formation of inulin [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2001, 46(2): 135 ~ 145.
- 12 Koca N, Metin M. Textural, melting and sensory properties of low-fat fresh kashar cheeses produced by using fat replacers [J]. *International Dairy Journal*, 2004, 14(4): 365 ~ 373.
- 13 Villegas B, Costell E. Flow behavior of inulin-milk beverages. Influence of inulin average chain length and of milk fat content [J]. *International Dairy Journal*, 2007, 17(7): 776 ~ 781.