

# 无机盐对短链菊粉凝胶性能影响的研究

罗登林\*, 刘娟, 曹偲霆, 徐宝成, 任广跃, 李鹏燕

(河南科技大学食品与生物工程学院, 洛阳 471003)

**摘要:** **目的** 研究无机盐对短链菊粉凝胶指数和保水性的影响, 为其实际应用提供理论指导。 **方法** 添加不同量的 NaCl 和 CaCl<sub>2</sub>, 测定短链菊粉水溶液凝胶体系的凝胶指数和保水性的变化规律。 **结果** 当无机盐添加量一定时, 短链菊粉含量越高越有利于凝胶的形成; 当菊粉添加量一定时, 随无机盐添加量的增加, 菊粉的凝胶指数和保水性都呈先增大后减小的趋势, NaCl 和 CaCl<sub>2</sub> 的添加量分别在 4% 和 5% 时达最大值, 此时凝胶指数分别为 86.68% 和 94.58%, 保水性分别为 200.14% 和 274.86%; 在无机盐的添加量相同时, CaCl<sub>2</sub> 对菊粉凝胶性能的影响比 NaCl 更显著; 当菊粉添加量为 35% 时差异最显著, 添加 1% CaCl<sub>2</sub> 的凝胶指数和保水性分别比 1% NaCl 高 11.24% 和 42.85%。 **结论** 无机盐能促进短链菊粉凝胶的形成, 增加菊粉凝胶的凝胶指数和保水性, CaCl<sub>2</sub> 比 NaCl 的这种作用更明显。

**关键词:** 短链菊粉; 凝胶指数; 保水性; NaCl; CaCl<sub>2</sub>

## Effect of inorganic salts on short-chain inulin gelation performance

LUO Deng-Lin\*, LIU Juan, CAO Si-Ting, XU Bao-Cheng, REN Guang-Yue, LI Peng-Yan

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

**ABSTRACT: Objective** The effects of inorganic salts on the gel index and water holding capability of short-chain inulin gel was explored to provide theoretical guidance for applications. **Methods** Adding different amounts of NaCl and CaCl<sub>2</sub> to short-chain inulin solution, the changes of gel index and water holding capability were analyzed. **Results** Under a certain amounts of inorganic salts, the more the amounts of short-chain inulin, the more conducive to the formation of inulin gel. Under a certain content of inulin, with the amounts of inorganic salt increasing, the gel index and water holding capability increased first and then decreased, and reached the maximum value with the addition of 4% NaCl and 5% CaCl<sub>2</sub>, respectively, corresponding to the gel index of 86.68% and 94.58%, and the water holding capability of 200.14% and 274.86%. The impact of CaCl<sub>2</sub> on the gelling was more significant than that of NaCl at the same amounts addition. It was the most significant difference when the content of inulin was 35%, the gel index and water holding capability with the addition of 1% CaCl<sub>2</sub> were 11.24% and 42.85% more higher than with 1% NaCl. **Conclusion** Inorganic salts can promote the formation of short-chain inulin gel and increase its gel index and water holding capability, the effect of

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31371832)、河南省高等学校青年骨干教师资助计划资助项目(2012GGJS-076)、国家级大学生创新创业计划资助项目(201310464047)和河南科技大学 SRTP (2013109)

**Fund:** Supported by the National Natural Science Foundation of China (31371862), Henan Provincial Programme Foundation for University Key Teacher (2012GGJS-076), National Training Programme Foundation of Innovation and Entrepreneurship for Undergraduates (201310464047) and SRTP of Henan University of Science and Technology (2013109)

\*通讯作者: 罗登林, 博士, 副教授, 主要研究方向为农产品深加工及超声技术。E-mail: luodenglin@163.com

\*Corresponding author: LUO Deng-Lin, Doctor, Associate Professor, College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, No.273, Kaiyuan Road, Luoyang 471003, China. E-mail: luodenglin@163.com

CaCl<sub>2</sub> is more pronounced than NaCl.

**KEY WORDS:** short-chain inulin; gel index; water holding; sodium chloride; calcium chloride

## 1 引言

菊粉, 又称菊糖, 是一种天然的果聚糖混合物。菊粉分子是由 D-呋喃果糖分子以  $\beta$  (2→1) 键连接而成的线性直链多糖, 分子末端以  $\alpha$  (1→2) 糖苷键连接一个葡萄糖残基<sup>[1]</sup>。根据其聚合度(DP)的不同可分为短链(DP≤10)、中链(DP=10~23)和长链菊粉(DP≥23)。菊粉在自然界内广泛存在于 3 万多种植物及微生物中, 可提供能量和作为冷冻保护剂。

2009 年我国卫生部发布了第 5 号公告: 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(不包括婴幼儿食品)中。菊粉作为一种新型的膳食纤维, 具有突出的生理功能和优良的食品加工特性<sup>[2-5]</sup>。近年来, 菊粉被广泛应用于乳制品、焙烤食品、低脂低热食品及保健品等领域。孙文峰等<sup>[6]</sup>研究发现菊粉添加到再制干酪中, 能够降低干酪硬度, 改善再制干酪的质构, 使其达到良好的口感。Haissa RC 等<sup>[7]</sup>发现在干酪中加入菊粉或低聚果糖不但能提高其感官品质, 还能增加益生菌细胞的总数, 从而提高产品的附加功能。Kaur N 等<sup>[8]</sup>利用菊粉水解制备高纯度果糖, 得到果糖质量分数大于 85% 的高纯度果糖浆。孙彩玉等<sup>[9]</sup>将菊粉作为脂肪替代品应用于发酵香肠中, 能够获得在咀嚼性、内聚性、弹性等方面与传统香肠相似的质地。Nisha A 等<sup>[10]</sup>研究了菊粉的添加对硬质意大利面工艺、感官和结构特性的影响, 结果表明, 菊粉添加量在低于 10% 时面条的结构和感官评价得分最好。另外, 菊粉在增大面包体积、延缓其老化速率方面也具有积极作用<sup>[11]</sup>。

研究表明, 无机盐能通过和食品中亲水胶体间的相互作用而对凝胶的质构和产品的风味产生影响<sup>[12]</sup>。例如, NaCl 使红薯淀粉糊的峰值黏度下降, 并且能增强淀粉糊的回生性<sup>[13]</sup>; 1.2% 的无水硫酸钠能显著提高魔芋葡甘聚糖弱凝胶的粘度<sup>[14]</sup>。杜先锋<sup>[12]</sup>研究了食品成分对淀粉凝胶力学性能的影响, 结果表明, NaCl 的添加可提高淀粉的凝胶强度。此外, Maria CP 等<sup>[15]</sup>发现, CaCl<sub>2</sub> 提供的 Ca<sup>2+</sup> 通过钙桥与蛋白质的极性基团作用影响蛋白质的凝胶性, 使大豆分离蛋

白凝胶抗宏观变形能力明显增强。许加超等<sup>[16]</sup>采用 CaCl<sub>2</sub> 体系制作了褐藻酸钠凝胶, 并广泛应用于仿生食品中。目前关于无机盐对菊粉凝胶特性的影响的研究还比较少。Kim 等<sup>[17]</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。本课题组研究了短链菊粉成胶规律、成胶质构特性及酸度、乙醇溶剂对其成胶、质构的影响<sup>[18,19]</sup>。为对菊粉的进一步开发和利用提供理论依据和实验基础, 本文主要研究了 NaCl 和 CaCl<sub>2</sub> 对短链菊粉凝胶性能的影响及其规律。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料与试剂

短链菊粉(平均 DP≤10, 后面均简称菊粉), 购买于昆山拓丰有限公司, 测得菊粉含量 83.28%, 总糖含量 83.30%, 灰分含量 0.97%, 水分含量 4.41%, 还原糖含量 0.02%; NaCl(分析纯, 天津市风船化学试剂科技有限公司); CaCl<sub>2</sub>(分析纯, 天津市风船化学试剂科技有限公司)。

### 2.2 仪器和设备

HH-S 恒温水浴锅(江苏金坛市亿通有限公司); 800 低速台式离心机(上海医疗器械有限公司手术机械厂); 101-2 型电热鼓风干燥箱(天津市泰斯特仪器有限公司); DT500A 电子天平(常熟市意欧仪器仪表有限公司); 冰箱(青岛海尔股份有限公司)。

### 2.3 方法

#### 2.3.1 样品的前处理

将菊粉、NaCl、CaCl<sub>2</sub> 在 80 °C 烘箱中干燥至恒重, 然后菊粉置于棕色瓶中密封避光保存, NaCl 和 CaCl<sub>2</sub> 置于干燥器中保存。

#### 2.3.2 凝胶的制备

(1) 配制不同菊粉含量的菊粉水溶液(25%、30%、35%、40%、45%), 分别加入相当于溶液质量分数 1% 的 NaCl 和 CaCl<sub>2</sub>, 混匀, 在水浴锅中 80 °C 下保温 8 min。取出覆盖上薄膜, 冷却至室温后, 置于冰箱 4 °C 条件下进行冷藏处理 3 d, 并做空白对照。当凝胶完全成胶并不具有流动性时, 即形成凝胶。

(2)配制 35%的菊粉水溶液, 分别加入不同含量的 NaCl(1%~5%)和 CaCl<sub>2</sub>(1%~8%), 在水浴锅中 80 °C下保温 8 min。取出覆盖上薄膜, 冷却至室温后, 置于冰箱 4 °C条件下进行冷藏处理 3 d, 并做空白对照。当凝胶完全成胶并不具有流动性时, 即形成凝胶。

### 2.3.3 凝胶指数的测定<sup>[17]</sup>

凝胶指数(volumetric gel index, VGI)是评定物质成胶的能力大小的一个指标, 由成胶物质及成胶条件共同决定。凝胶指数的大小由不溶或胶体层和水层体积计算出来。每组试验重复三次, 取平均值。凝胶指数计算如公式①。

$$VGI(\%)=100 \times V_T/V_G \quad ①$$

式中:  $V_G$ —水层和胶体层的总体积, mL;  $V_T$ —指不溶于水的胶体体积, mL;

### 2.3.4 凝胶保水的测定

凝胶保水性(water holding capability, WHC)测定: 将不同无机盐含量的菊粉水溶液置于 20 mL 离心管中, 在水浴锅中 80 °C下保温 8 min, 置于冰箱 4 °C条件下进行冷藏处理 3 d 后, 取出并于室温下陈化 30 min, 在 3000 r/min(相对离心力为 1006.88×g)离心 30 min 后, 除去水层并记录剩于凝胶的质量, 计算凝胶的保水性<sup>[20,21]</sup>。每组试验重复三次, 取平均值。凝胶保水性计算如公式②。

$$WHC(\%)=100 \times \frac{m_1 - m_0 - m}{m} \quad ②$$

式中:  $m_1$ —离心后除去上清液后离心管的质量/g;  $m_0$ —离心管的质量/g;  $m$ —制备凝胶菊粉的质量/g;

## 3 结果与讨论

### 3.1 无机盐对不同菊粉添加量的凝胶体系的影响

在不同菊粉添加量的菊粉凝胶体系中各加入 1%的 NaCl 和 1%的 CaCl<sub>2</sub>, 和未添加无机盐的空白组相比较, 凝胶指数测定结果见表 1, 保水性测定结果见表 2。

由表 1 可知, 无机盐对不同添加量菊粉的凝胶体系的形成有明显促进作用。当无机盐添加量一定时, 菊粉添加量越多, 凝胶体系的凝胶指数和保水性越高; 当菊粉添加量低于 30%时, 其水溶液均不能形成凝胶层; 当菊粉添加量为 30%时, 不添加无机盐的菊粉水溶液不能形成凝胶, 添加了无机盐的溶液均能

形成凝胶, 并且凝胶指数分别达 34.53%、39.21%; 在菊粉添加量为 35%时, 均能形成凝胶, 并且添加 1%NaCl 和 1%CaCl<sub>2</sub> 的凝胶指数相对空白分别增加了 7.45%、19.52%; 当菊粉添加量分别为 30%和 35%时, 添加 1%CaCl<sub>2</sub> 的凝胶指数要比 1%NaCl 的分别高出 13.55%、11.24%; 在菊粉添加量大于 40%时, 溶液均能形成完全凝胶, 此时的凝胶没有流动性, 具有固体的特性, 呈现乳白色的外观和特殊的乳脂般香味。这是因为菊粉含量越高, 析出的菊粉分子越多, 分子之间相互作用增强, 引起液体黏度升高; 菊粉 VGI 值随菊粉添加量的变化趋势与 Kim<sup>[17]</sup>的研究结果相同, 但其结果表明在菊粉添加量为 25%时 VGI 达到 100, 这可能与所选原料有关, Kim 所选原料 Raftilin HP 为长链菊粉, 而本实验所采用的菊粉为短链菊粉<sup>[17]</sup>。

表 1 无机盐对不同含量菊粉的菊粉凝胶的凝胶指数的影响  
Table 1 Effects of inorganic salts on VGI added different amounts of inulin

菊粉含量/%	1%NaCl	1%CaCl <sub>2</sub> /%	空白/%
25	0	0	0
30	34.53±2.12	39.21±1.03	0
35	43.43±2.61	48.31±1.67	40.42±2.22
40	100	100	100
45	100	100	100

表 2 无机盐对不同含量菊粉的菊粉凝胶的保水性的影响  
Table 2 Effects of inorganic salts on WHC of inulin gel added different amounts of inulin

菊粉含量/%	1%NaCl/%	1%CaCl <sub>2</sub> /%	空白/%
25	0	0	0
30	0	0	0
35	12.86±0.92	55.71±1.23	0
40	73.75±2.32	107.50±4.25	51.25±2.12
45	96.67±3.01	112.22±4.75	63.33±2.28

由表 2 可知, 在菊粉添加量低于 30%时, 不添加无机盐的菊粉凝胶均无保水性; 在菊粉添加量为 35%时, 不添加无机盐的菊粉凝胶不具有保水性, 而添加了无机盐的凝胶体系均具有一定的保水性。菊粉添加量为 35%、40%、45%时, 添加 1%NaCl 的凝胶体系其保水性相比空白分别增加了 12.86%、22.50%、33.34%, 添加 1%CaCl<sub>2</sub> 的凝胶体系的保水性比空白分别增加了 55.71%、56.25%、48.89%。相比而言, 添

加 1%CaCl<sub>2</sub> 的凝胶体系的保水性比添加 1%NaCl 的凝胶体系的保水性分别增加了 42.85%、33.75%、15.55%。随着菊粉含量的增高, 菊粉凝胶的网状结构更加致密, 结构更加稳定, 保水性也随之增加。菊粉凝胶这种良好的保水性能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, 从而提高产品质量和延长货架期。此外, 随着菊粉添加量的逐渐增大时, NaCl 对其保水性的增强作用越明显, 而 CaCl<sub>2</sub> 对其保水性的增强作用差异不明显, 并且 NaCl 和 CaCl<sub>2</sub> 对保水性的影响的差异逐渐减小。

由上可见, 菊粉含量是影响凝胶中水分含量的重要因素, 菊粉含量的增加会导致提供亲水基团的数量增多, 能结合更多的水分子, 使保水性增加, 同时增强了凝胶的三维网状结构, 这与 Chiavaro 等所得结论一致<sup>[22]</sup>。此外, 无机盐的添加明显促进了菊粉凝胶体系的形成。这可能归因于金属离子的加入有助于减少菊粉分子链之间的相互排斥作用, 更有利于金属离子与菊粉分子间的结合<sup>[23]</sup>。另外由于阳离子的加入, 促使溶液中分子由无规线团向螺旋结构转变, 阳离子被夹在双螺旋体之间, 减小了两个链之间的静电排斥, 形成电中性排列<sup>[24]</sup>。

### 3.2 不同添加量的无机盐对菊粉凝胶体系的影响

在菊粉添加量为 35%时, 菊粉凝胶体系中各加入 1%~5%的 NaCl 和 1%~8%的 CaCl<sub>2</sub>, 与未添加无机盐的菊粉凝胶体系相比较, 凝胶指数测定结果见表 3, 保水性测定结果见表 4。

表 3 不同添加量的无机盐对菊粉凝胶的凝胶指数的影响  
Table 3 Effects of different amounts of inorganic salts added on VGI of inulin gel

无机盐添加量/%	凝胶指数/%	
	NaCl	CaCl <sub>2</sub>
空白	40.42±2.22	40.42±2.22
1	43.43±2.61	48.31±1.67
2	55.71±1.73	58.13±1.85
3	57.89±1.77	61.14±1.93
4	86.68±2.75	87.39±2.03
5	57.34±1.93	94.58±2.58
6	-	88.14±1.96
7	-	86.95±1.69
8	-	72.54±1.62

表 4 不同添加量的无机盐对菊粉凝胶的保水性的影响  
Table 4 Effects of different amounts of inorganic salts added on WHC of inulin gel

无机盐添加量/%	保水性/%	
	NaCl	CaCl <sub>2</sub>
空白	0	0
1	12.86±0.92	55.71±1.23
2	51.86±1.05	64.29±1.42
3	96.14±2.69	109.43±3.53
4	200.14±8.32	243±9.03
5	94.02±2.32	274.86±9.54
6	-	249.02±8.34
7	-	246.30±6.87
8	-	192.10±5.98

菊粉添加量一定时, 随无机盐添加量的增加, 菊粉的凝胶指数和保水性都呈先增大后减小的趋势, 而且无机盐的添加量不同对凝胶指数和保水性的影响差异明显。由表 3 可看出, 菊粉的凝胶指数在 NaCl 和 CaCl<sub>2</sub> 的添加量分别为 4%和 5%时达最大值, 分别为 86.68%和 94.58%, 比空白高出 46.26%、54.16%。当 NaCl 添加量超过 4%时, 凝胶指数随着其添加量的增加呈下降趋势。当 NaCl 添加量为 5%时, 菊粉的凝胶指数相比 4%时降低了 29.34%, 下降趋势明显。而当 CaCl<sub>2</sub> 添加量为 6%时, 菊粉的凝胶指数仅比 5%时下降了 6.44%, 下降趋势缓慢。在无机盐添加量相同时, 添加 CaCl<sub>2</sub> 的凝胶指数均比添加 NaCl 的凝胶指数高, 说明与 NaCl 相比, CaCl<sub>2</sub> 更有利于促进菊粉的胶凝, 可能是由于钙离子所带电荷较钠离子多, 更有利于减少菊粉分子链间的静电斥力作用, 增强其与水的结合能力, 提高了其凝胶作用和保水性<sup>[23]</sup>。此外, 钙离子能诱导凝胶形成良好均一的网络结构, 但并不含有超分子束, 这可能是钙离子与菊粉分子上的极性基团产生架桥作用, 并降低菊粉分子间斥力。这有助于菊粉分子彼此间扭结, 缠绕, 形成具有网络结构的凝胶, 并且钙离子还具有填充支撑作用, 增强了凝胶的结构<sup>[25]</sup>。

由表 4 可知, 菊粉凝胶的保水性在 NaCl 和 CaCl<sub>2</sub> 的添加量分别为 4%和 5%时达最大值, 分别为 200.14%和 274.86%。未添加无机盐的 35%的菊粉凝胶体系不具有保水性, 而添加了无机盐的凝胶体系都有一定的保水性, 可见, 添加无机盐可以增大凝胶

体系的保水性。NaCl 添加量低于 4% 时, 保水性随着 NaCl 添加量的增加呈上升趋势, 超过了 4% 则呈下降趋势, NaCl 添加量 5% 时的保水性比 4% 时降低了 106.12%, 下降趋势较快。CaCl<sub>2</sub> 添加量低于 5% 时, 保水性随着 CaCl<sub>2</sub> 添加量的增加呈上升趋势, 超过了 5% 则呈下降趋势, CaCl<sub>2</sub> 添加量 6% 时的凝胶指数比 5% 时降低了 25.84%, 下降趋势较慢。

由此可见, 低的离子强度能增强菊粉的凝胶强度, 这可能是由于金属离子参与了菊粉的凝胶形成过程。当 NaCl 和 CaCl<sub>2</sub> 的添加量分别低于 4% 和 5% 时, 增加 NaCl 和 CaCl<sub>2</sub> 的浓度就增加了菊粉凝胶形成网络结构的机会, 从而使凝胶强度增加。同时, 凝胶又是一个多分散体系, 过量的离子减少了凝胶间的斥力作用, 质点团聚机会增多, 一部分分散介质析出, 从而加速凝胶的老化过程, 释放出游离水, 此时保水性下降, 并产生收缩脱液使凝胶强度减小<sup>[24]</sup>。菊粉凝胶体系的凝胶指数和保水性随着钙离子的增加呈现先增加后减少的趋势, 也可能是由于钙离子在凝胶网络中与菊粉分子形成“钙桥”, 钙离子通过钙桥与菊粉的极性基团作用, 促进凝胶网络具有稳定作用。但随着钙浓度的继续增加, “钙桥”提供静电作用增加加速了菊粉分子聚集的速率, 影响菊粉分子间的有序结合, 结果使凝胶保水性和弹性有所下降<sup>[26,27]</sup>, 但这一机制尚有待进一步研究。

#### 4 结 论

NaCl 和 CaCl<sub>2</sub> 对菊粉凝胶的形成有促进作用, 能增加菊粉凝胶的凝胶指数和保水性, 提高菊粉的凝胶性能。无机盐添加量一定时, 菊粉添加量越多越有利于菊粉凝胶的形成。添加 1%NaCl 和 1%CaCl<sub>2</sub> 时, 25% 的菊粉水溶液不能形成凝胶且无保水性; 30% 和 35% 的菊粉水溶液可以形成凝胶, 35% 的菊粉水溶液具有低保水性; 40% 的菊粉水溶液可形成完全凝胶, 保水性达到 96.67%。菊粉添加量一定时, 随无机盐添加量的增加, 菊粉的凝胶指数和保水性都呈先增大后减小的趋势, 而且无机盐的添加量不同对凝胶指数和保水性的影响差异明显。菊粉的凝胶指数和保水性均在 NaCl 和 CaCl<sub>2</sub> 的添加量分别为 4% 和 5% 时达最大值, 凝胶指数分别为 86.68% 和 94.58%, 保水性分别为 200.14% 和 274.86%。此外, 添加的无机盐的种类不同对菊粉凝胶性能的影响差异显著, 在无机盐的添加量相同时, CaCl<sub>2</sub> 对菊粉凝胶性能的

影响总比 NaCl 对其影响大; 当菊粉添加量分别为 30% 和 35% 时, 添加 1%CaCl<sub>2</sub> 的凝胶指数要比 1%NaCl 的分别高出 4.68%、4.88%; 菊粉添加量为 35%、40%、45% 时, 添加 1%CaCl<sub>2</sub> 的凝胶体系的保水性比添加 1%NaCl 的凝胶体系的保水性分别增加了 42.85%、33.75%、15.55%。

#### 参考文献

- [1] Flamm G, Glinsmann W, Kritchevsky D, *et al.* Inulin and oligo-fructose as dietary fiber: A review of the evidence [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2001, 41(5): 353–362.
- [2] Gennaro S, Birch GG, Parke SA, *et al.* Studies on the physico-chemical properties of inulin and inulin oligomers [J]. *Food Chem*, 2000, 68 (2): 179–183.
- [3] Morris C, Morris GA. The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory properties of bread and their role in weight management: a review [J]. *Food Chem*, 2012, 133(2): 237–248.
- [4] Kumar S, Tummala H. Development of soluble inulin microparticles as a potent and safe vaccine adjuvant and delivery system [J]. *Mol Pharm*, 2013, 10(5): 1845–1853.
- [5] Dolores AM, Fernandez C, Dolores OM. Sensory and texture properties of mashed potato incorporated with inulin and olive oil blends [J]. *Int J Food Prop*, 2013, 616(8): 1839–1859.
- [6] 孙文峰, 王健, 孙玉清, 等. 菊粉对再制干酪质地与感官评价的影响[J]. *中国乳业*, 2009, (3): 44–45.  
Sun WF, Wang J, Sun YQ, *et al.* Effects of inulin on processed cheese texture and sensory evaluation [J]. *China Dairy*, 2009, (3): 44–45.
- [7] Haissa RC, Flavia CA, Inar AC, *et al.* Inulin and oligofructose improve sensory quality and increase the probiotic viable count in potentially synbiotic petit-suisse cheese [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2008, 41(6): 1037–1046.
- [8] Kaur N, Gupta AK. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition[J]. *J Biosci*, 2002, 27(7): 703–714.
- [9] 孙彩玉, 王娟, 张坤生. 菊粉作为脂肪替代品的工艺研究[J]. *食品与发酵科技*, 2010, 46(2): 56–60.  
Sun CY, Wang J, Zhang KS. Process of inulin as fat substitutes [J]. *Food Ferm Technol*, 2010, 46 (2): 56–60.
- [10] Nisha A, Mike JS, Christopher M, *et al.* Effect of inulin soluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti [J]. *Food Chem*, 2012, 132(2): 993–1002.
- [11] Rafal Z, Jaroslaw K, Leslaw J, *et al.* Influence of inulin on phys-

- ical characteristics and staling rate of gluten-free bread [J]. *J Food Eng*, 2013, 116(1): 21–27.
- [12] 杜先锋, 许时婴, 王璋. 食品成分对淀粉凝胶力学性能的影响[J]. *中国粮油学报*, 2002, 17(2): 6–8.  
Du XF, Xu SY, Wang Z. Affect of food ingredients on the mechanical properties of starch gel [J]. *Chin Cere Oils Assoc*, 2002, 17(2): 6–8.
- [13] 李光磊, 曾洁, 孙科祥. 不同食品成分对红薯淀粉糊黏度特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(1): 104–106.  
Li GL, Zeng J, Sun KX. Affect of different food ingredients on sweet potato starch paste viscosity characteristics [J]. *Food Sci Technol*, 2009, 30(1): 104–106.
- [14] 王晓泉, 宋雪峰. 魔芋葡甘聚糖弱凝胶研制[J]. *油田化学*, 2003, 20(3): 258–260.  
Wang XQ, Song XF. Research of konjac glucomannan weak gel [J]. *Oil Chem*, 2003, 20(3): 258–260.
- [15] Maria CP, Maria CA. Structural properties of heat induced soy Protein gel as affected by ionic strength and Ph [J]. *Agric Food Chem*, 1998, 46(9): 3583–3589.
- [16] 许加超, 卢伟丽, 高昕, 等. 氯化钙体系制备的褐藻酸钙凝胶特性的研究[J]. *渔业科学进展*, 2010, 31(1): 100–103.  
Xu JC, Lu WL, Gao X, *et al.* Research of calcium alginate gel properties of calcium chloride system prepared [J]. *Adv Fish Sci*, 2010, 31(1): 100–103.
- [17] Kim Y, Faqih MN, Wang SS. Factors affection gel formation of inulin [J]. *Carbohydr Polym*, 2001, 46(2): 135–145.
- [18] 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): 118–129.  
Luo DL, Xu W, Chen RH, *et al.* Inulin solubility and gel textural characteristics test [J]. *Agric Mach*, 2012, 43(3): 118–129.
- [19] 罗登林, 刘娟, 许威, 等. 菊粉在酸性条件下的凝胶特性[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(5): 185–190.  
Luo DL, Liu J, Xu W, *et al.* Inulin gel properties under acidic conditions [J]. *Agric Mach*, 2014, 45(5): 185–190.
- [20] 占剑峰. 虾肉盐溶蛋白质凝胶特性及其影响因素的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.  
Zhan JF. Research of Shrimp salt-soluble protein gel characteristics and influencing factors [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009.
- [21] 芦鑫, 程永强, 李里特. 全子叶豆腐凝胶性质研究[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(9): 128–132.  
Lu X, Cheng YQ, Lee R. Study of full cotyledon tofu gel properties [J]. *Agric Mach*, 2010, 41(9): 128–132.
- [22] Chiavaro E, Vittadini E, Corradin C. Physicochemical characterization and stability of inulin gels [J]. *Eur Food Res Technol*, 2007, 225(1): 85–94.
- [23] 陈明木, 王春英, 庞杰, 等. 海藻酸钙凝胶特性影响因素的探讨[J]. *广州食品工业科技*, 2002, 18(3): 4–11.  
Chen MM, Wang CY, Pang J, *et al.* Explore the influencing factors of properties of alginate gel [J]. *Guangzhou Food Sci Technol*, 2002, 18(3): 4–11.
- [24] 魏玉. K-卡拉胶的凝胶化作用及其与魔芋胶协同作用特性研究[D]. 湖南: 中南林业科技大学, 2010.  
Wei Y. Research of K-carrageenan's gel performance and interaction characteristics with konjac gum collaboration [D]. Hunan: Central South University of Forestry and Technology, 2010.
- [25] 杨湘庆. 食品胶和工业胶手册[M]. 福州: 福建人民出版社, 1987, 25–27.  
Yang XQ. Food and industrial rubber gum manual [M]. Fuzhou: Fujian People's Publishing House, 1987, 25–27.
- [26] Soottawat B, Chakkawat C, Wonnop V. Effect of medium temperature setting on gelling characteristics of surimi from some tropical fish [J]. *Food Chem*, 2003, 82(4): 567–574.
- [27] Soottawat B, Wonnop V, Suttirak P. Suwari gel properties as affected by transglutaminase activator and inhibitors [J]. *Food Chem*, 2004, 85(1): 91–99.

(责任编辑: 杨翠娜)

### 作者简介



罗登林, 博士, 副教授, 主要研究方向为农产品深加工及超声技术。  
E-mail: luodenglin@163.com