添加多糖和氯化钙对猪皮冻凝胶品质的优化

王娟娟，周昌瑜，王冲，叶可萍，丁世杰，李春保，周光宏

（南京农业大学食品科技学院，国家肉品质量安全控制工程技术研究中心，江苏高校肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心，江苏南京 210095）

摘要：为了研究添加多糖（结冷胶和菊粉）和氯化钙对猪皮冻凝胶品质的影响，单因素实验以猪皮冻硬度、弹性、熔点、感官评分为评价指标，最后通过 Box-Behnken 响应面分析法，选取感官评分建立回归方程得到最优添加量。结果表明，添加结冷胶提高了猪皮冻熔点、硬度和弹性，添加氯化钙促进结冷胶提高了猪皮冻熔点，添加菊粉改善了猪皮冻的适口性。三种物质的添加在总体上提高了猪皮冻的感官得分（未优化：7.58，优化后：8.85）。结论：最佳添加条件为：结冷胶 0.45 g/100 g、氯化钙 0.06 g/100 g、菊粉 3.77 g/100 g，且猪皮冻理论感官得分为 8.91。在此条件下，优化后的猪皮冻实际感官得分为 8.85，与试验预测值接近。硬度为 340.08 g，弹性为 0.92，熔点为 43.4 ℃，并且微观网络结构更为致密。因此，通过添加结冷胶、菊粉、氯化钙可以改善猪皮冻品质，使感官接受度更高，为猪皮冻进一步加工以及相关产品的开发提供了理论依据。

关键词：猪皮冻；响应面；结冷胶；氯化钙；菊粉；凝胶品质

文章篇号：1673-9078(2021)01-172-181 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.01.0727

Optimization of Gel Quality of Pig Skin Jelly by Adding Polysaccharides and Calcium Chloride

WANG Juan-juan, ZHOU Chang-yu, WANG Chong, YE Ke-ping, DING Shi-jie, LI Chun-bao, ZHOU Guang-hong

(College of Food Science and Technology, National Center of Meat Quality and Safety Control, Jiangsu Collaborative Innovation Center of Meat Production and Processing, Quality and Safety Control, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In order to study the effect of adding polysaccharides (gellan gum and inulin) and $CaCl_2$ on the gel quality of pig skin jelly, the hardness, springiness, melting point and sensory score were used as response value in the single factor experiment, then box-behnken response surface analysis was used to establish the regression equation of sensory score to get the optimal value. The results showed that the addition of gellan gum increased the melting point, hardness and springiness of pigskin jelly, the addition of $CaCl_2$could promote gellan gum to increase the melting point of pigskin jelly, and the addition of inulin improved mouthfeel. Overall, adding gellan gum, inulinand $CaCl_2$ into the pig skin jelly increased the sensory score (unoptimized: 7.58, optimized: 8.85). Conclusion: the optimal addition conditions were 0.45 g/100 g of gellan gum, 0.06 g/100 g of $CaCl_2$, and 3.77 g/100 g of inulin. And the predicted sensory score of the pig skin jelly was 8.91. Conclusion: under these conditions, the actual sensory score of the optimized pig skin jelly was 8.85, which was close to the predicted value. Moreover, the hardness, springiness, and melting point of the optimized pig skin jelly were 340.08 g, 0.92 and 43.4 ℃, respectively, and its microstructure was more compact. Therefore, it is feasible to improve the quality of pig skin jelly by adding gellan gum, inulin and $CaCl_2$. This study provides a reference for further processing of pig skin jelly and development of related products.

引文格式：

王娟娟,周昌瑜,王冲,等.添加多糖和氯化钙对猪皮冻凝胶品质的优化[J].现代食品科技,2021,37(1): 172-181

WANG Juan-juan, ZHOU Chang-yu, WANG Chong, et al. Optimization of gel qualityof pig skin jelly by adding polysaccharides and calcium chloride [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(1): 172-181

收稿日期：2020-08-02

基金项目：国家生猪产业技术体系项目（CARS35）

作者简介：王娟娟（1996-），女，硕士研究生，研究方向：肉品加工与质量安全控制

通讯作者：周光宏（1960-），男，博士，教授，研究方向：肉品加工与质量安全控制

Key words: pig skin jelly; response surface methodology; gellan gum; calcium chloride; inulin; gel quality

高蛋白、低脂肪饮食是当今世界人们追求的一种健康的饮食方式，其中，猪皮制成的皮冻作为一种典型的高蛋白、低脂肪食品，其口感爽滑，有弹性，而且外观诱人，深受消费者喜爱。猪皮中胶原蛋白含量丰富，加热后水解成的多种活性肽具有良好的抗氧化、降血压、滋润皮肤、延缓衰老的作用[1-3]，所以猪皮冻食用价值高且具有良好的开发前景。传统猪皮冻单纯以猪皮为原料加工，制成的产品往往熔点低，在室温下易熔化，影响外观和口感，而且不易储存和运输。为解决实际中出现的问题，王锴[4]采用复配的结冷胶和明胶用于水晶肴肉的生产，发现结冷胶的添加提高了肉冻的熔点，能够有效改善水晶肴肉品质，并优化出结冷胶和明胶的最优配比。丁孟佳[5]采用卡拉胶、魔芋胶、结冷胶、氯化钙进行响应面试验，以质构和感官得分为响应指标，优化出长货架期猪皮冻的最优添加量。因此，采用不同多糖对猪皮冻品质进行优化具有重要意义。

结冷胶（Gellan gum）是一种安全无毒的新型微生物代谢胶，其稳定性强，透明度高，凝固点、熔点可调，而且用量少，复配性强，对离子敏感。离子的添加会促进结冷胶凝胶，主要是因为离子会通过桥连作用将结冷胶分子连接在一起，使体系结构更加稳定，提高凝胶熔点，Petcharat 等报道了随着 Ca^{2+}浓度的增加，结冷胶的胶凝温度和熔化温度增加[6]，Lau 等也报道了 Ca^{2+}浓度对牛骨明胶-结冷胶复合凝胶的胶凝温度和胶凝速率有显著影响[7]。实际生产中，结冷胶也常和氯化钙一起使用提高凝胶稳定性[8,9]。但是，低酰基结冷胶形成的凝胶坚实有脆性，用量过多会使得产品过硬，口感变差。先前研究表明，使用单一的多糖很难在提高猪皮冻熔点的同时，满足质构和感官的要求[10,11]，一些研究也已经发现结冷胶与一些其他亲水胶体具有良好的复配性能，结合使用以改善凝胶质地，如结冷胶与果胶[12]、结冷胶与黄原胶[13]、结冷胶与银耳多糖[14]，但结冷胶和菊粉复配使用的相关研究鲜见报道。菊粉（Inulin）是一种天然果聚糖聚合物，属于可溶性膳食纤维。菊粉作为新资源食品，日推荐食用量≤15 g/d，具有抗肿瘤、降血糖、降血脂、改善肠道环境等作用[15]。菊粉和水混合后可以提供和奶油相似的外观和光滑细腻的口感[16]，在肉制品生产中，可以用来替代脂肪并保持肉制品优良的质构特性。Mendoza 等在低脂乳化肠中添加菊粉，发现可以改善乳化肠的质构特性，并提高了乳化肠的弹性[17]。Felisberto 等研究也发现添加了菊粉的乳化香肠，其微观结构更致密、均匀，乳化香肠的口感也得到改善[18]。所以，菊粉作为一种可以改善肉制品质地和口感的多糖，可被考虑与质地坚实而有脆性的结冷胶多糖复配使用，在提高猪皮冻熔点的同时改善猪皮冻口感。

结冷胶和氯化钙两种食品添加剂的用量参考食品安全国家标准（食品添加剂使用标准）[19]，菊粉属于食品原料，添加量不作要求。因此，本试验在猪皮冻中同时添加结冷胶、氯化钙、菊粉进行响应面优化试验，目的是通过不同多糖与蛋白间的相互作用提高猪皮冻的品质，使猪皮冻具有熔点高、质构和感官好的品质特点。

1 材料与方法

1.1 实验材料与仪器

猪皮，江苏南京市场；食品级结冷胶、食品级氯化钙，亿鑫生物科技有限公司；食品级菊粉，比利时 Beneo 集团智利工厂；食用盐、屈臣氏饮用水（蒸馏制法），江苏南京苏果超市。

C21-IH01KN 电磁炉、ST20H1 汤锅，浙江苏泊尔股份有限公司；磁力搅拌水浴锅，金坛市城西富威实验仪器厂；TA.XT Plus 物性测试仪，英国 Stable Micro Systems 仪器公司；MCR 301 流变仪，奥地利安东帕；SU8010 扫描电子显微镜，日本日立高新技术公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品制备

猪皮洗净，焯水 5 min（猪皮冷水入锅，电磁炉 1200 W，水温达到 95~99 ℃时，调整为 300 W 开始计时 5 min），焯水结束后捞出，刮净猪皮脂肪及猪毛，洗净。每次炖煮的猪皮焯水后均重 0.5 kg 左右。换水下锅，在实验室前期试验基础上以猪皮:水为 1:3 进行炖煮 2.5 h（冷水入锅，电磁炉 1200 W，水温达到 95~99 ℃时，调整为 300 W 开始计时，并捞出表面悬浮物及油滴）。炖煮结束后除去汤表面油脂，并滤除汤中固形物，每 100 g 猪皮汤中添加 1 g 食盐调味。在炖煮后的猪皮汤中添加不同比例的结冷胶、氯化钙、菊粉，混合均匀后于 4 ℃下冷藏 24 h 后即为成品猪皮冻。以上所用水均为屈臣氏饮用水（蒸馏制法）。

1.2.2 单因素试验设计

实验制得的猪皮汤，以每 100 g 猪皮冻中添加结冷胶 0.45 g，氯化钙 0.06 g，菊粉 3.5 g 为初始基础添加量，进一步考察结冷胶添加量（0.35、0.4、0.45、

0.5、0.55、0.6 g)、氯化钙添加量（0.02、0.04、0.06、0.08、0.10、0.12 g)、菊粉添加量（2.5、3、3.5、4、4.5、5 g）对猪皮冻熔点、感官得分、质构（硬度、弹性）的影响。

1.2.3 响应面优化试验设计

在单因素试验基础上，以猪皮冻感官得分为响应指标，结冷胶（A)、氯化钙（B)、菊粉（C）为考察因素，采用 Design-Expert V8.0.6 软件设计并进行三因素三水平响应面试验。响应面试验设计与因素水平见表 1。

表 1 响应面试验设计因素与水平表

Table 1 Factors and levels of response surface experiment

水平	因素		
	结冷胶添加量 A/(g/100 g)	$CaCl_2$ 添加量 B/(g/100 g)	菊粉添加量 C/(g/100 g)
-1	0.40	0.04	3.0
0	0.45	0.06	3.5
1	0.50	0.08	4.0

1.2.4 猪皮冻熔点测定

参考鲍士宝[20]、Sow[21]的方法测定猪皮冻的熔化温度，并略作修改。实验制得的不同处理组猪皮汤，立即先后于 MCR 301 流变仪上进行测定。测定条件为：直径 50 mm 平行板，夹缝 0.5 mm，温度扫描，先 4 ℃保持 5 min，再从 4 ℃升温至 60 ℃，升温速率 3 ℃/min，扫描频率为 1 Hz，应变 5%。

1.2.5 猪皮冻质构测定

参考陈梓铠[22]的方法并略作修改。猪皮汤于 4 ℃下冷藏 24 h 后取出，切成 2×2×1 cm^3，采用 TA.XT Plus 物性测试仪测定，测定条件为：TPA 模式，P50 型号探头，测定前下降速度 2.0 mm/s，测定速度 1.0 mm/s，测定后上升速度 1.0 mm/s，压缩比 30%，触发类型自动，触发力 5 g，二次压缩中停留时间 5 s。

1.2.6 感官评定

参考吴谋成[23]、Stone 等[24]的方法，根据本实验猪皮冻的本身特点，并略作修改。选取色泽、组织状态、口感、滋味为感官评价的 4 个评价指标，随机分给 12 位感官评价员。采用 9 分制的方式进行评定，感官评定表见表 2。

1.2.7 冷冻扫描电镜

将制备好的猪皮汤置于 4 ℃下冷藏 24 h 后进行检测。试验是在配备了冷冻传输装置的扫描电子显微镜中进行的。取大约 1~3 mm^3 体积的凝胶放置到样品保持器中，并迅速在液氮（-210 ℃）中冷却样品，随后将样品转移到冷冻传输装置上（-150 ℃），并用刀片进行断裂。通过在-70 ℃升华 10 min 以除去暴露在凝胶表面上形成的冰。最后，在 15 kV 加速电压下用超纯氩气对样品溅射镀金，并在-150 ℃下进行分析。

1.2.8 数据处理

每组试验重复三次，响应面设计和分析采用 Design Expert 8.0.6 软件进行处理，其它数据利用 SAS V8 和 Origin 2018 软件进行处理（$p<0.05$）和作图。

表 2 感官评定表

Table 2 Sensory assessment table

评价指标	标准	得分
色泽	色泽均匀，乳白色，清亮	7~9
	色泽均匀，乳白色，微黄，较清亮	4~6
	色泽均匀，乳白色，黄，较清亮	1~3
组织状态	结构紧密，光滑，易夹起，质地均匀	7~9
	结构较紧密，光滑，较易夹起，质地均匀	4~6
	结构松散，光滑，难夹起，质地较均匀	1~3
口感	入口细腻爽口，富有弹性，有嚼劲	7~9
	入口基本爽口，有一定弹性和嚼劲	4~6
	入口不够细腻爽口，弹性差，偏硬或偏软	1~3
滋味	肉香可口，无腥味	7~9
	肉香可口，稍有杂味	4~6
	肉香可口，杂味重	1~3
总体接受度	组织状态好，口感好，滋味好，食欲感强	7~9
	组织状态一般，口感一般，滋味一般，食欲感一般	4~6
	组织状态差，口感差，滋味差，食欲感差	1~3

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 结冷胶添加量对猪皮冻品质的影响

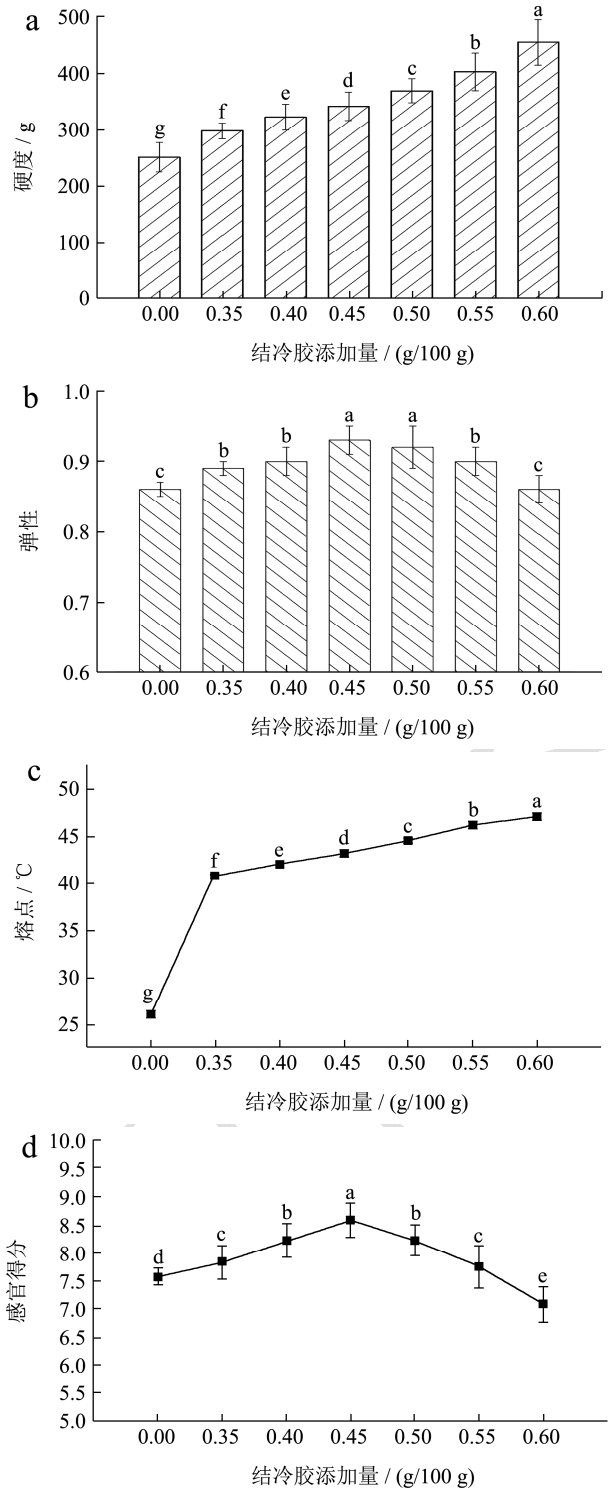


图 1 结冷胶添加量对猪皮冻品质的影响

Fig.1 Effect of gellan gum content on pig skin jelly quality

结冷胶在钙离子存在条件下的凝胶机理是钙离子定位于结冷胶双螺旋内外两侧，促进双螺旋间的交联聚合，加速形成具有热不可逆性的三维网络结构凝胶[25,26]。由图 1 可知，随着结冷胶添加量的增加（0.35~0.60 g/100 g），猪皮冻硬度和熔点均显著升高（$p<0.05$），0 添加量时（原始猪皮冻）硬度为 251.30 g，0.60 g/100 g 添加量时上升到 455.06 g，熔点由原来的 26.1 ℃上升到 47.1 ℃。结冷胶的添加使混合凝胶的分子交联程度增加，凝胶网络更加紧密，硬度增加，破坏其结构需要的能量也就更大，猪皮冻熔点随之升高[27]。结冷胶的添加使硬度升高的同时弹性也随之升高，但当添加量进一步增加并且超过 0.5 g/100 g 时，弹性开始下降，这是由于结冷胶属于一种硬度大的脆性凝胶，硬度和脆性都持续增大，导致弹性变差，进而影响口感。这与王锴等[28]利用正交试验发现 NaCl（对弹性无显著影响）存在下结冷胶的添加使结冷胶-明胶共混凝胶的弹性降低的结果一致，其中当明胶浓度为 2.5%时，添加 0.15%结冷胶弹性为 0.93，而添加 0.25%结冷胶弹性降为 0.91。在感官评价中，结冷胶添加量为 0.35~0.45 g/100 g 时，感官得分呈上升趋势，超过 0.45 g/100 g 后，适口性变差，感官得分显著下降（$p<0.05$），这和前文硬度的进一步升高导致弹性下降有关。所以，选择 0.40~0.50 g/100 g 结冷胶添加量作为进一步优化范围。

2.1.2 氯化钙添加量对猪皮冻品质的影响

结冷胶常和氯化钙结合使用，钙离子可以形成盐桥，促进结冷胶形成更加紧密的热不可逆性凝胶结构[26,29]。由图 2 可知，随着氯化钙添加量的增加（0.02~0.12 g/100 g），猪皮冻硬度和弹性均无显著变化（$p>0.05$）。猪皮冻的熔点始终呈上升趋势（$p<0.05$），有研究报道在结冷胶和氯化钙共存体系中，当氯化钙超过一定量后，体系熔点开始下降，这是由于此时结冷胶和氯化钙相互结合程度已经达到饱和，继续添加氯化钙不能再与有限的结冷胶结合，并且过多的钙离子会阻碍结冷胶分子间双螺旋结构的有序聚集[30]。而本文中由于产品感官需要，氯化钙添加量较少，未达到饱和点，所以熔点持续上升。感官评价中，氯化钙添加量在 0.02~0.06 g/100 g 时，感官得分显著增加（$p<0.05$），超过 0.06 g/100 g 后感官得分显著下降，这是由于添加过量的氯化钙产生了金属苦涩味，汤鹏宇等[31]也发现在肉汤中用 30%氯化钙代替钠盐即产生金属味导致感官得分下降。所以，选择 0.04~0.08 g/100 g 氯化钙添加量作为进一步优化范围。

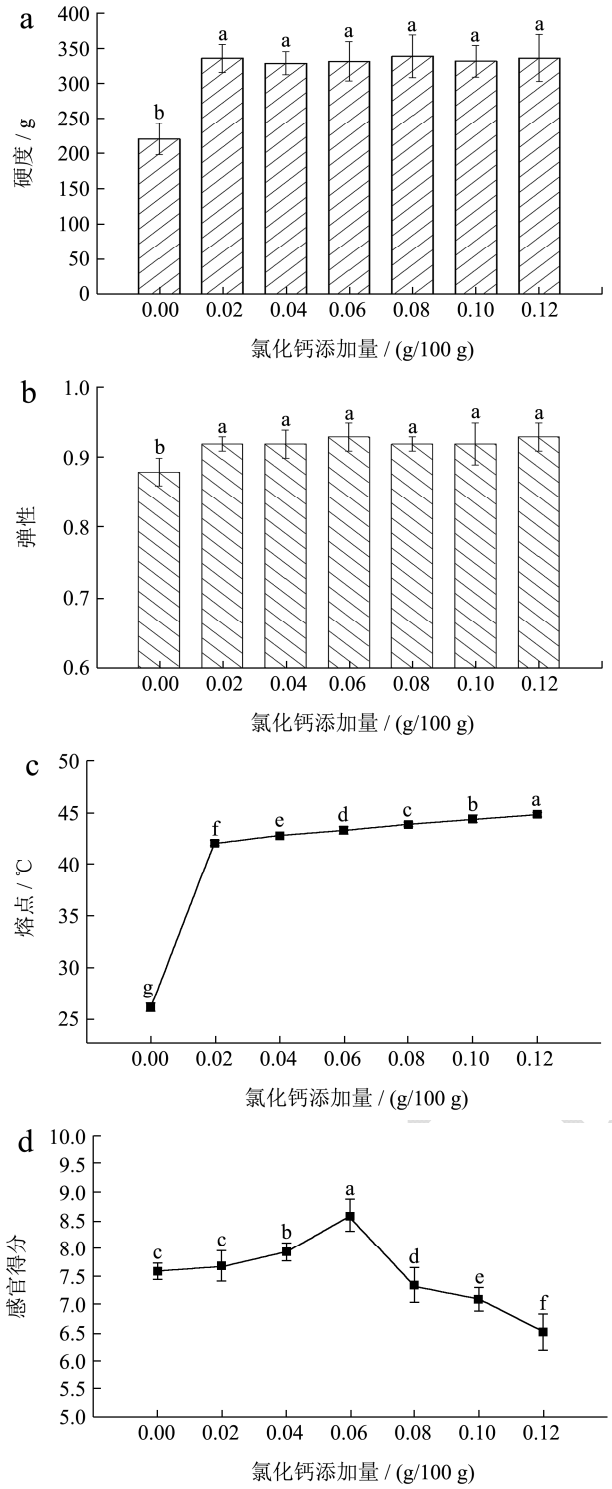


图 2 氯化钙添加量对猪皮冻品质的影响

Fig.2 Effect of calcium chloride content on pig skin jelly quality

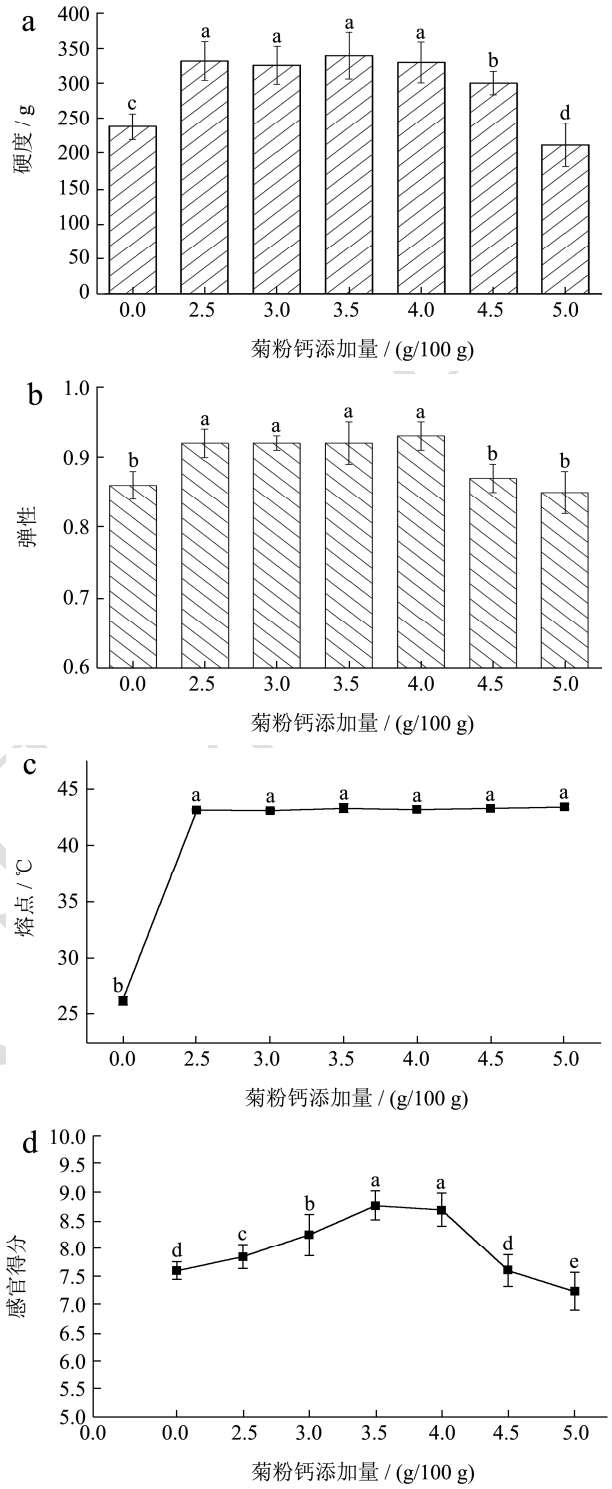


图 3 菊粉添加量对猪皮冻品质的影响

Fig.3 Effect of inulin content on pig skin jelly quality

2.1.3 菊粉添加量对猪皮冻品质的影响

菊粉属于天然食品原料，常被作为食品研发中替代糖、脂肪的一种质地改良剂，并在一定程度上改善产品弹性和适口性[32,33]。

由图 3 可知，随着菊粉的添加（2.5~5.0 g/100 g），猪皮冻硬度和弹性在 2.5~4.0 g/100 g 添加量时无显著变化（p>0.05），超过 4.0 g/100 g 后，硬度和弹性均开始下降。张玉梅[34]等发现 0~5%浓度的菊粉可以改善

肌球蛋白凝胶性质，但 2%浓度改善最为显著。Nieto-Nieto 等也发现[35]少量的菊粉（低浓度 0.1~0.5%）可以改善肌球蛋白的凝胶性质，而高浓度菊粉则有一定消极作用。所以，添加高浓度的菊粉可能不利于明胶形成更加稳定的网络结构。而且，在已添加结冷胶和氯化钙的情况下，菊粉的添加不改变猪皮冻的熔点。本实验将两种多糖混合使用，既提高了猪皮冻熔点，又改善了猪皮冻的适口性，感官得分结果显示，菊粉添加量在 3.5 g/100 g 时由于组织状态和口感的适中，得分最高。所以，选择 3.0~4.0 g/100 g 菊粉添加量作为进一步优化范围。

2.2 响应面优化猪皮冻品质结果

2.2.1 响应面试验设计与结果

在单因素实验结果基础上，选取猪皮冻实际感官得分为响应指标，对结冷胶、氯化钙、菊粉 3 个因素进行响应面优化试验，试验方案设计与结果见表 3。

对表 3 的试验数据进行多元回归拟合，得到感官得分（Y）对结冷胶添加量（A）、氯化钙添加量（B）和菊粉添加量（C）的二次多项回归模型为：$Y=8.84-0.24A-0.15B+0.19C+0.0075AB+0.36AC-0.020BC-0.91A^2-0.53B^2-0.17C^2$。对上述回归模型分别进行方差分析，结果见表 4。感官得分（Y）的回归模型显著性水平 $p<0.01$，表明该模型达到极显著水平；失拟项 $p=0.8091>0.05$ 不显著，表明回归方程对猪皮冻感官得分的实际情况模拟度较高。由模型的 $R^2=0.9624$ 和 $R^2_{adj}=0.9139$ 可知，模型具有较好的拟合度。因此，可以用此模型对猪皮冻品质的优化进行预测。由 P 值分析可知，模型中因素 A、AC、A^2、B^2 达到极显著水平（$p<0.01$），C 达到显著水平（$p<0.05$）。由 F 值的大小可以推断，在所选择的试验范围内，3 个考察因素对猪皮冻品质影响的顺序为结冷胶（A）>菊粉（C）>氯化钙（B）。

表 3 响应面试验设计与结果

Table 3 Design and results of the response surface experiment

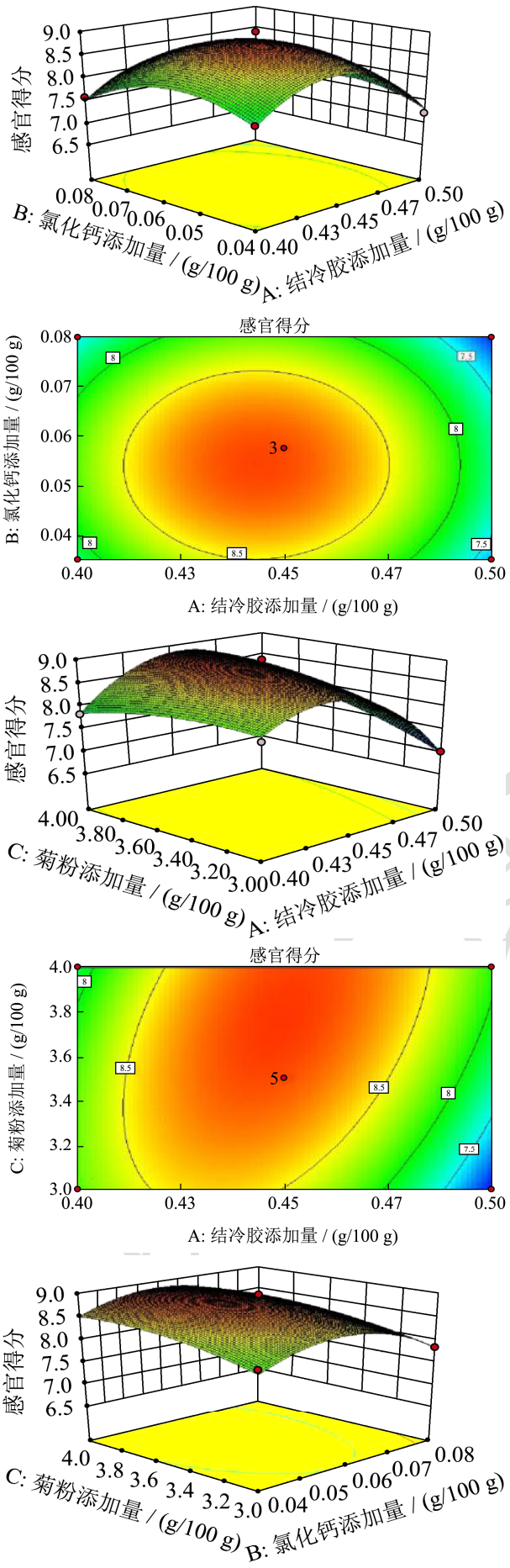
实验号 No.	A	B	C	感官得分
1	-1	-1	0	7.83
2	1	-1	0	7.22
3	-1	1	0	7.58
4	1	1	0	7.00
5	-1	0	-1	8.08
6	1	0	-1	7.00
7	-1	0	1	7.83
8	1	0	1	8.17
9	0	-1	-1	8.17
10	0	1	-1	7.83
11	0	-1	1	8.50
12	0	1	1	8.08
13	0	0	0	9.00
14	0	0	0	8.72
15	0	0	0	8.50
16	0	0	0	9.00
17	0	0	0	9.00

表 4 感官得分回归模型方差分析

Table 4 Variance analysis of the sensory score and hardness regression model

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	6.57	9	0.73	19.88	0.0003	**
A	0.47	1	0.47	12.68	0.0092	**
B	0.19	1	0.19	5.15	0.0575	
C	0.28	1	0.28	7.66	0.0278	*
AB	2.25E-04	1	2.25E-04	6.13E-03	0.9398	
AC	0.5	1	0.5	13.73	0.0076	**
BC	1.60E-03	1	1.60E-03	0.044	0.8406	
A^2	3.45	1	3.45	94.09	<0.0001	**
B^2	1.19	1	1.19	32.31	0.0007	**
C^2	0.12	1	0.12	3.25	0.1146	
残差	0.26	7	0.037			
失拟项	0.05	3	0.017	0.32	0.8091	
误差项	0.21	4	0.052			
总方差	6.83	16				

注：*表示差异显著($p<0.05$)；**表示差异极显著($p<0.01$)。



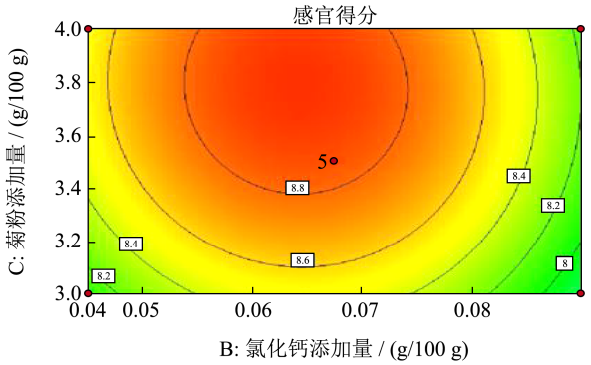


图 4 各因素交互作用对猪皮冻感官得分的影响

Fig.4 Effect of the interaction between factors on the sensory score of pig skin jelly

2.2.2 响应面试验设计与结果

结合 3D 响应曲面和二维等高线图，既可反映出响应值对因素变化的敏感程度，也可以分析出各个因素对响应值的影响。如：3D 响应面图形曲线越陡峭，响应值对因素变化越敏感，等高线的形状越接近椭圆或鞍形，表示各因素交互作用越显著[36]。由图 4 可知，结冷胶（A）和菊粉（C）交互作用对猪皮冻的感官得分的影响最为显著，结冷胶和菊粉都属于多糖，当存在于以明胶（蛋白质）为主要成分的猪皮冻中，结冷胶提高了猪皮冻硬度和质地，菊粉改善了结冷胶的脆性。两种多糖穿插于明胶蛋白质中，形成一种熔点高、适口性好的猪皮冻，从而使感官接受度更高[37]。随着各因素的变化呈现先升高后下降的抛物线趋势，有最大值，说明响应值感官得分越高，猪皮冻品质越好。

2.2.3 验证试验结果

根据感官得分为响应指标所建立的回归模型，预测得到的最佳条件为：结冷胶添加量 0.45 g/100 g、氯化钙添加量 0.06 g/100 g、菊粉添加量 3.77 g/100 g，此添加量下，猪皮冻的理论感官得分为 8.91。为验证模型的可靠性，在该预测条件下进行试验，得到实际感官得分为 8.85，与理论预测值接近，说明该方程与实际情况拟合较好，所建模型合理可靠。

2.2.3.1 优化前后猪皮冻品质指标的变化

由表 5 可知，优化后的猪皮冻的感官评分较优化前提高了 1.27 分，熔点提高了 17.3 ℃，质构品质也得到了相应的改善。图 5 也可以看出添加结冷胶、氯化钙、菊粉没有对猪皮冻原有色泽造成显著改变，色泽仍均匀，呈乳白色且较清亮。夏培浩[9]将明胶和结冷胶用于即食海参产品中，优化出最佳复配比为 10%明胶，0.3%结冷胶，此条件下质构特性良好，硬度显著升高，弹性无显著变化，复配胶熔点由 26.5 ℃升高到 37.4 ℃，但在温度过高的夏天容易熔化。李俊宏[10]考察了不同配比卡拉胶、魔芋胶和结冷胶对皮冻品质的

影响，得到优化后的水晶皮冻熔点为 54.2 ℃，凝胶强度为 435.27 g，但结冷胶添加量较高，达到 17.4%。本实验中优化后的猪皮冻中结冷胶添加量 0.45 g/100 g、氯化钙添加量 0.06 g/100 g、菊粉添加量 3.77 g/100 g，不仅熔点达到 43.4 ℃，而且添加了可溶性膳食纤维菊粉改善了口感，赋予了猪皮冻一定的功能特性。

表 5 优化前后猪皮冻品质指标的变化

Table 5 Changes of pig skin jelly quality index before and after optimization

样品	感官得分	硬度/g	弹性	熔点/℃
未优化猪皮冻	7.58±0.79	251.30±23.62	0.86±0.05	26.1±0.37
已优化猪皮冻	8.85±0.51	340.08±28.57	0.92±0.04	43.4±0.17

图 5 优化前后的猪皮冻

Fig.5 The pig skin jelly before and after optimization

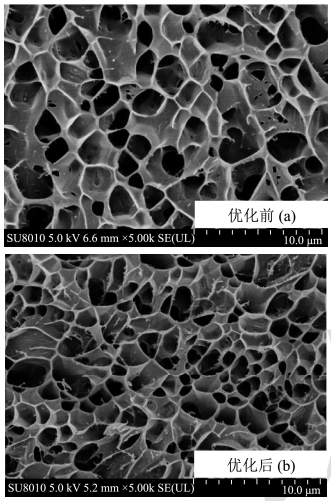


图 6 优化前后猪皮冻微观结构的变化

Fig.6 Changes of microstructure of pig skin jelly quality index before and after optimization

2.2.3.2 冷冻扫描电镜观察优化前后的微观结构

图 6 为优化前后猪皮冻在冷冻扫描电镜下的微观结构。从图中可以看出优化后的猪皮冻与未优化的猪皮冻结构有显著差异。优化前的结构图 6a 为多孔网状结构，结构均一，但孔洞较大。当添加了结冷胶、氯化钙、菊粉后图 6b，猪皮冻的多孔网状结构没有被改变，但同一视野下孔洞变小，说明添加的多糖和氯化钙与明胶发生了相互交联作用，使猪皮冻的网络结构更加致密，形成了一个更加稳定的凝胶体系。Petcharat[6]等研究也发现结冷胶和氯化钙掺入鱼明胶中可以改善微观结构，表现为结冷胶和氯化钙的添加使鱼明胶-结冷胶-氯化钙复合体系微观结构孔隙变小，而且在 2.50%结冷胶和 6 mM 氯化钙添加条件下，可以在提高混合凝胶的凝胶性能情况下，对感官性能没有不利影响。Nieto-Nieto[35]等报道了低浓度菊粉对燕麦蛋白的分子机制研究，发现少量菊粉的加入显著提高了燕麦蛋白的凝胶强度。微观结构表明蛋白和菊粉在结合带边缘可能发生局部的相互作用，如氢键和疏水键，从而形成具有增强结构的高交联凝胶网络。本研究中复合凝胶的孔隙变小，说明结冷胶、菊粉和氯化钙与明胶之间同样可能存在一定的相互作用，使微观结构发生改变，而微观结构的改变使优化后的猪皮冻表现出宏观品质的提高。

3 结论

3.1 本研究在猪皮冻中添加了结冷胶和菊粉两种多糖胶体，并结合氯化钙使用，形成一种蛋白-多糖（明胶-结冷胶-菊粉）复合凝胶体系，结果发现结冷胶的添加可以显著提高猪皮冻的熔点，当添加量达到 0.60 g/100 g 时，熔点达到 47.1 ℃，但过多添加结冷胶会使硬度过高，弹性下降，猪皮冻口感变差，感官得分降低；氯化钙的加入促进了结冷胶双螺旋结构的形成和缠绕，转变为热不可逆凝胶，进一步提高了猪皮冻的熔点，但过多添加会使猪皮冻有金属的苦涩味，降低感官得分；菊粉的适量添加在一定程度上改善了产品弹性和适口性，提高感官得分。

3.2 综上，本研究建立了以猪皮冻感官得分为目标值，以结冷胶添加量、氯化钙添加量、菊粉添加量为因子的数学模型，方差分析表明其拟合良好，通过优化所得的最优添加量参数为：结冷胶添加量 0.45 g/100 g、氯化钙添加量 0.06 g/100 g、菊粉添加量 3.77 g/100 g，理论感官得分为 8.91。此添加量下，猪皮冻实际感官得分为 8.85，与预测值接近。而且，硬度为 340.08 g，弹性为 0.92，熔点为 43.4 ℃，冷冻扫描电镜结果也显示优化后的猪皮冻组织结构更加致密。所以，此优化条件下的猪皮冻质地更好，感官接受度更高，也为相关产品的进一步开发提供了参考。

参考文献

[1] Li B, Chen F, Wang X, et al. Isolation and identification of antioxidative peptides from porcine collagen hydrolysate by

consecutive chromatography and electrospray ionization-mass spectrometry [J]. Food Chemistry, 2007, 102(4): 1135-1143

[2] Fahmi A, Morimura S, Guo H C, et al. Production of angiotensin I converting enzyme inhibitory peptides from sea bream scales [J]. Process Biochemistry, 2004, 39(10): 1195-1200

[3] 李幸.鳕鱼皮胶原肽保湿护肤效果的研究[D].青岛:中国海洋大学,2014
LI Xing. Study on the water retention and skin care of cod skin collagen peptide [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014

[4] 王锴.结冷胶以及结冷胶/明胶共混凝胶特性的研究及其在水晶肴肉中的应用[D].南京:南京农业大学,2012
WANG Kai. Gel Properties of gellan and gellan/gelatin mixed gels and application of gellan and gellan/gelatin mixed gels on jellied meat [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012

[5] 丁孟佳.长货架期皮冻加工工艺及品质特性研究[D].广州:华南农业大学,2018
DING Meng-jia. A long shelf life pig skin jelly's processing technology and quality properties research [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2018

[6] Petcharat T, Benjakul S. Property of fish gelatin gel as affected by the incorporation of gellan and calcium chloride [J]. Food Biophysics, 2017, 12(3): 1-9

[7] Lau M H, Tang J, Paulson A T. Texture profile and turbidity of gellan/gelatin mixed gels [J]. Food Research International, 2000, 33(8): 665-671

[8] 李懋鸣.结冷胶流变行为研究[D].杭州:浙江工商大学,2013
LI Mao-ming. Rheological behavior of gellan gum [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2013

[9] 夏培浩.明胶-结冷胶复配体系的研究及其在即食海参产品中的应用研究[D].青岛:中国海洋大学,2012
XIA Pei-hao. Studies on gelatin-gellan mixed gels and the application on ready-to-use seacucumber [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012

[10] 李俊宏,李洪军,胡欣颖,等.D-最优混料设计优化水晶皮冻配方[J].食品与发酵工业,2019,45(20):149-156
LI Jun-hong, LI Hong-jun, HU Xin-ying, et al. Optimization of crystal jelly formula by D-optimal mixture design [J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(20): 149-156

[11] 胡国华,马正智,李慧,等.卡拉胶的复配特性及其在肉制品中的应用[J].肉类工业,2007,9:30-33
HU Guo-hua, MA Zheng-zhi, LI Hui, et al. The mixing properties of carrageenan and its application in meat products [J]. Meat Industry, 2007, 9: 30-33

[12] 朱桂兰,叶银杉,葛洁,等.低酰基结冷胶-果胶复配体系的性能[J].食品科学,2017,38(13):66-70
ZHU Gui-lan, YE Yin-shan, GE Jie, et al. Properties of low acyl gellan and pectin mixtures [J]. Food Science, 2017, 38(13): 66-70

[13] 朱桂兰,陶思远,童群义.结冷胶与黄原胶复配体系流变与凝胶特性[J].食品与发酵工业,2013,39(3):56-60
ZHU Gui-lan, TAO Si-yuan, TONG Qun-yi. Rheological and gel properties of gellan-xanthan mixtures [J]. Food and Fermentation Industry, 2013, 39(3): 56-60

[14] 刘婷婷,杨嘉丹,曹宸瑀,等.银耳多糖与结冷胶复配体系的流变及凝胶特性[J].食品科学,2019,40(17):72-78
LIU Ting-ting, YANG Jia-dan, CAO Chen-yu, et al. Rheological and gelling properties of tremella fuciformis polysaccharide-gellan gummixtures [J]. Food Science, 2019, 40(17): 72-78

[15] 邹东旭.菊糖凝胶的制备及其物理性质的研究[D].大连:大连工业大学,2012
ZOU Dong-xu. Research of preparation and physical properties of inulin gel [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2012

[16] Chiavaro E, Vittadini E, Corradini C. Physicochemical characterization and stability of inulin gels [J]. European Food Research and Technology, 2007, 225(1): 85-94

[17] Mendoza E, Garcia M L, Casas C, et al. Inulin as fat substitute in low fat, dry fermented sausages [J]. Meat Science, 2001, 57(4): 387-393

[18] Felisberto M H F, Galvao M T E L, Picone C S F, et al. Effect of prebiotic ingredients on the rheological properties and microstructure of reduced-sodium and low-fat meat emulsions [J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 60(1), 148-155

[19] GB 2760-2014,食品安全国家标准食品添加剂使用标准[S]
GB 2760-2014, National Standard for Food Safety Standard for the Use of Food Additives [S]

[20] 鲍士宝.茶多酚纳米粒复合明胶膜的研究[D].无锡:江南大学,2009
BAO Shi-bao. Study on gelatin films incorporated with tea polyphenol loaded nanoparticles [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009

[21] Sow L C, Tan S J, Yang H. Rheological properties and structure modification in liquid and gel of tilapia skin gelatin by the addition of low acyl gellan [J]. Food Hydrocolloids,

2019, 90(5): 9-18

[22] 陈梓铠.超高压对多糖凝胶的性能影响及应用研究[D].广州:华南理工大学,2014
CHEN Zi-kai. Ultra High pressure effect on the performance of polysaccharide gel and application research [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014

[23] 吴谋成.食品分析与感官评定[M].北京:中国农业出版社,2002
WU Mou-cheng. Food Analysis and Sensory Evaluation [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002

[24] Stone H, Bleibaum R, Thomas H, et al. Sensory Evaluation Practices [M]. Elsevier, 1992: 296-304

[25] Denkinger P, Burchard W, Kunz M. Light scattering from nonionic surfactants of the sugar-lipid hybrid type in aqueous solution [J]. The Journal of Physical Chemistry, 1989, 93(4): 1428-1434

[26] Osmalek T Z, Froelich A, Jadach B, et al. Rheological investigation of high-acyl gellan gum hydrogel and its mixtures with simulated body fluids [J]. Journal of Biomaterials Applications, 2018, 32(10): 1435-1449

[27] 孟岳成,洪伦波.结冷胶的复配胶体系的流变行为研究[J].食品工业科技,2009,30(4):128-130
MENG Yue-cheng, HONG Lun-bo. Study on the rheological behavior of mixed gels of gellan [J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(4): 128-130

[28] 王锴,胡序建,黄明,等.NaCl 存在下结冷胶以及结冷胶/明胶共混凝胶质构和熔点的研究[J].食品工业科技,2013,34(2): 108-111,116
WANG Kai, HU Xu-jian, HUANG Ming, et al. Study on texture and melting point of gellan and gellan/gelatin mixed gels in the presence of sodium chloride [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(2): 108-111, 116

[29] 胡国华.结冷胶的特性及其在食品工业中的应用[J].中国食品添加剂,2002,6:64-67
HU Guo-hua. The Speciality o f gellan gum and its application in food industry [J]. China Food Additives, 2002, 6: 64-67

[30] Morris E R, Nishinari K, Rinaudo M. Gelation of gellan-a review [J]. Food Hydrocolloids, 2012, 28(2): 373-411

[31] 汤鹏宇,胡可,刘春丽,等.钠盐替代物对西式火腿品质的影响[J].肉类研究,2019,33(11):36-42
TANG Peng-yu, HU Ke, LIU Chun-li, et al. Effect of partial sodium chloride replacement by other salts on the quality of western-style ham [J]. Meat Research, 2019, 33(11): 36-42

[32] Shoaib M, Shehzad A, Omar M, et al. Inulin: properties, health benefits and food applications [J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 147: 444-454

[33] Delgado P, Banon S. Effects of replacing starch by inulin on the physicochemical, texture and sensory characteristics of gummy jellies [J]. CyTA-Journal of Food, 2018, 16(1): 1-10

[34] Zhang Y, Dong M, Zhang X, et al. Effects of inulin on the gel properties and molecular structure of porcine myosin: a underlying mechanisms study [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 108: 105974

[35] Nieto-Nieto T V, Wang Y X, Ozimek, L, et al. Inulin at low concentrations significantly improves the gelling properties of oat protein-a molecular mechanism study [J]. Food Hydrocolloids, 2015, 50: 116-127

[36] 徐彩红,金渭荃,姜忠丽,等.玉米皮多酚提取工艺优化及抗氧化性研究[J].核农学报,2019,33(9):1774-1782
XU Cai-hong, JIN Wei-quan, JIANG Zhong-li, et al. Optimization of extraction technique of polyphenols from maize bran and its antioxidant activity [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2019, 33(9): 1774-1782

[37] 李梦珂.多糖-鱼明胶复合体系的凝胶行为及其作用机理探讨[D].杭州:浙江工业大学,2017
LI Meng-ke. Study on gel behavior and mechanism of polysaccharide-fish gelatin mixed system [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2017