

## 小麦蛋白对钾盐替代猪肉熏煮香肠综合品质的调控作用

张秋会, 刘昶, 赵莉君, 赵改名, 李苗云, 赵春波

### Regulation and Control of Wheat Protein on the Comprehensive Quality of Low-salt Sausage Substituted Partly by KCl

ZHANG Qiuhui, LIU Chang, ZHAO Lijun, ZHAO Gaiming, LI Miaoyun, and ZHAO Chunbo

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022020077>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 酵母菌和植物乳杆菌发酵对小麦过敏原性的影响

The influence of fermentation on wheat allergy by yeast and Lactobacillus

食品工业科技. 2017(02): 235-239

#### 小麦蛋白对TGase酶交联改性大豆蛋白凝胶特性的影响及机制

Effect of wheat gluten on gelation properties of soy protein isolate induced by transglutaminase crosslinking

食品工业科技. 2017(08): 214-217

#### 杀菌方式对低盐腌渍黄瓜的品质影响

Effect of Sterilization Methods on the Quality of Low-salt Pickled Cucumber

食品工业科技. 2020, 41(12): 14-20

#### 可溶性褐藻膳食纤维对低盐鱼糜制品物理特性的影响

Effect of Soluble Brown Seaweed Dietary Fiber on Physical Properties of Low Salt Surimi Products

食品工业科技. 2019, 40(2): 37-40,46

#### 基于厌氧环境的低盐雪菜挥发性风味物质分析

Analysis on Volatile Components of Low-salt Potherb Mustard (*Brassica juncea* var.) Based on Anaerobic Environment

食品工业科技. 2018, 39(22): 225-230,234

#### 大豆过敏原在低盐固态酱油酿造过程中的降解规律

Degradation of Soybean Allergens during the Process of Low-salt Solid Soy Sauce

食品工业科技. 2020, 41(24): 197-202



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

张秋会, 刘昶, 赵莉君, 等. 小麦蛋白对钾盐替代猪肉熏煮香肠综合品质的调控作用 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(23): 79–85. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020077

ZHANG Qiuhui, LIU Chang, ZHAO Lijun, et al. Regulation and Control of Wheat Protein on the Comprehensive Quality of Low-salt Sausage Substituted Partly by KCl[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(23): 79–85. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020077

· 研究与探讨 ·

# 小麦蛋白对钾盐替代猪肉熏煮香肠 综合品质的调控作用

张秋会, 刘昶, 赵莉君, 赵改名, 李苗云\*, 赵春波  
(河南农业大学食品科学技术学院, 河南郑州 450002)

**摘要:**目的: 为研究小麦蛋白对低盐猪肉熏煮香肠品质的调控规律, 确定低盐条件下小麦蛋白的适用范围。方法: 采用单因素实验, 设计 0~50% 的 KCl 替代水平, 添加 0~8% 的小麦蛋白, 测定产品质构、色泽、出品率、保水性等品质指标; 借助于方差分析、相关分析、主成分分析、回归分析等多元分析方法, 研究小麦蛋白对低盐产品品质的影响规律, 探讨熏煮香肠品质指标间的关系, 构建综合品质评价方法, 并进行应用研究。结果: 在 20%~30% 等 KCl 低替代食盐比例下, 6%~8% 的小麦蛋白显著提高产品出品率和保水率; 构建了小麦蛋白调控低盐猪肉香肠综合品质评价模型:  $Y_4 = 0.342 \times (0.127 \times Z_1 + 0.169 \times Z_2 + \dots - 0.110 \times Z_{10} - 0.108 \times Z_{11}) + 0.230 \times (0.328 \times Z_1 - 0.185 \times Z_2 + \dots + 0.115 \times Z_{10} + 0.249 \times Z_{11}) + 0.146 \times (-0.088 \times Z_1 + 0.315 \times Z_2 + \dots + 0.367 \times Z_{10} + 0.308 \times Z_{11})$ ; 找到了小麦蛋白调控低盐猪肉香肠的最佳条件, 即氯化钾替代食盐量为 40%, 小麦蛋白添加量为 6%。结论: 利用多元分析方法, 构建小麦蛋白对熏煮香肠综合品质的预测模型, 可以指导实际生产, 进行产品品质调控。

**关键词:** 低盐肉糜制品, KCl, 小麦蛋白

中图分类号: TS251.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)23-0079-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020077



本文网刊:

## Regulation and Control of Wheat Protein on the Comprehensive Quality of Low-salt Sausage Substituted Partly by KCl

ZHANG Qiuhui, LIU Chang, ZHAO Lijun, ZHAO Gaiming, LI Miaoyun\*, ZHAO Chunbo

(College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Objective: The aim of this paper was to study the effect of wheat protein on the quality of low-NaCl pork sausage and find the suitable range of wheat protein under different NaCl conditions. Methods: By single factor experiment, 0~50% KCl substitution levels and 0~8% wheat protein adding levels were applied. The texture, color, yield and water-holding capacity of products were determined. And then all the data were processed by means of variance analysis, correlation analysis, principal component analysis and regression analysis to study the effects of wheat protein on the quality of low-NaCl products, discuss the relationship between the quality indexes, establish the comprehensive quality evaluation model and find the optimum addition of wheat protein under different KCl substitution levels with the established model. Results: When KCl substituted level was 20%~30%, 6%~8% wheat protein significantly increased the product yield and water-holding capacity. The comprehensive quality evaluation model of low-NaCl pork sausage controlled by wheat protein was established:  $Y_4 = 0.342 \times (0.127 \times Z_1 + 0.169 \times Z_2 + \dots - 0.110 \times Z_{10} - 0.108 \times Z_{11}) + 0.230 \times (0.328 \times Z_1 - 0.185 \times Z_2 + \dots + 0.115 \times Z_{10} + 0.249 \times Z_{11}) + 0.146 \times (-0.088 \times Z_1 + 0.315 \times Z_2 + \dots + 0.367 \times Z_{10} + 0.308 \times Z_{11})$ . The optimum condition of wheat protein regulating low-NaCl pork sausage was 40% KCl substitution, and wheat protein addition was 6%. Conclusion: Construction of the

收稿日期: 2022-02-14

基金项目: 河南农业大学特殊创新基金 (KJCX2020C04); 河南省重点研发与推广专项 (科技攻关) 项目 (212102110081); 河南省高校科技创新团队项目 (22IRTSTHN021); 国家肉牛牦牛产业技术体系 (CARS-37)。

作者简介: 张秋会 (1978-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 低温肉制品加工与品质控制, E-mail: zhang-qiuhui@163.com。

\* 通信作者: 李苗云 (1976-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 肉品科学, E-mail: limy7476@126.com。

prediction model of wheat protein addition to the quality of smoked and cooked sausage by multivariate analysis methods could guide the actual production and control the product quality.

**Key words:** low-salt minced meat products; KCl; wheat protein

中国是世界上肉类生产和消费大国,低温肉糜制品以其独特的质地和口感深受消费者喜爱<sup>[1]</sup>。为了保障肉制品货架期以其风味、口感等品质,肉制品中一般添加 2%~3% 的食盐,肉糜制品钠含量平均在 700~1200 mg/100 g,肉制品已经成为钠的主要膳食来源之一<sup>[2]</sup>。过多的钠摄入,会增加居民肥胖、癌症、心脏病等疾病的发生率<sup>[3]</sup>。

为了降低肉糜制品中的钠含量,研究人员利用直接降低食盐添加量的方法以及非钠盐替代等方法来控制肉制品中的钠含量。直接降低食盐使用量,不仅不能满足消费者对风味和口感的需求,也大大降低了产品的出品率,影响企业经济效益<sup>[4]</sup>。而钾盐替代法受到广泛关注,尤其是 KCl 替代法,不仅可作为营养强化剂,又具有食盐的相似结构和功能。相关研究表明,不同 KCl 的替代量给不同类型的肉制品品质带来不同的影响<sup>[5]</sup>,甚至是色泽的差异性<sup>[6]</sup>,高浓度的替代可能出现口味上难以接受<sup>[7]</sup>。也有不同的研究人员利用膳食纤维<sup>[8]</sup>、氨基酸<sup>[7]</sup>、大豆蛋白<sup>[9]</sup>等不同外源添加物来改善由于低盐或者钾盐替代带来的品质问题。有关小麦蛋白调控低盐肉糜制品品质的研究报道较为少见。

小麦蛋白是生产小麦淀粉时的副产物,其氨基酸组成较齐全,是一种营养丰富、物美价廉的植物性蛋白源,主要包含清蛋白、球蛋白、麦谷蛋白和醇溶蛋白等,其中,麦谷蛋白和醇溶蛋白占面筋蛋白的 80%<sup>[10]</sup>。麦谷蛋白水合物具有粘结性和弹性,而醇溶蛋白水合物具有粘性和延伸性。小麦蛋白在肉制品中添加,对产品胶粘性 and 内聚性均有明显改良作用<sup>[11]</sup>。但在 KCl 替代条件下,对产品质构、保水性、色泽等方面研究较为少见。

在肉制品消费过程中,消费者更关注产品的整体可接受度,即其综合品质,但是对于产品的综合品质评价方法比较少见。而多元分析方法,尤其是主成分分析法能够在复杂的品质指标中找到少数几个关键的评价指标,利用它们对主成分的不同贡献,构建函数模型,进行综合评价,形成综合品质调控方法,对产品开发 and 品质评价进行科学指导<sup>[12-13]</sup>。

因此,本研究将以熏煮香肠为载体,利用小麦蛋白的营养特性<sup>[14]</sup>、结构、功能特性等特点<sup>[15]</sup>,结合多元分析手段和方法<sup>[16]</sup>,研究低钠盐条件下不同 KCl 替代水平时,小麦蛋白对肉糜制品的品质改善作用,同时构建基于综合品质模型的产品品质评价模型,优化和寻找小麦蛋白的添加水平,为企业进行低钠盐产品开发及品质控制提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

新鲜猪后腿肉、猪肥膘、食盐 购自双汇超市;

小麦蛋白 购自江苏科泰小麦蛋白科技有限公司;复合磷酸盐(六偏磷酸钠 30%,三聚磷酸钠 40%,焦磷酸钠 30%)、异抗坏血酸钠等 购自湖南天泰食品有限公司。

ZE-6000 电子色差仪 日本电色工业株式会社;TA.XTplus 物性测试仪 英国 SMS 公司;HR7620 型飞利浦斩拌机 珠海飞利浦家庭电器有限公司;YQ-22 型绞肉机 中国永强有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 熏煮香肠基础配方 熏煮香肠加工基础配方见表 1。其中,原料肉中瘦肉:肥膘为 4:1,食盐添加量为 2.5%,其中氯化钾替代食盐量依据实验设计进行。冰水的添加比例可根据季节进行调整。

表 1 香肠加工配方(以 1 kg 原料肉计)  
Table 1 Recipe of sausages (in total raw muscle of 1 kg)

名称	含量(g)	名称	含量(g)	名称	含量(g)
冰水	450	白胡椒粉	1.5	异抗坏血酸钠	0.5
白砂糖	15	味精	3	亚硝酸盐	0.15
生姜粉	1.5	鸡精	2		
八角粉	1	复合磷酸盐	3		

1.2.2 熏煮香肠的制作工艺 熏煮香肠加工工艺<sup>[17]</sup>:原料肉选择→预处理→绞碎腌制→斩拌→灌制→烘烤→煮制→冷却→冷藏。

操作要点:原料肉去筋膜、剔除可见脂肪,用 15 mm 孔板绞碎,在 0~4 ℃ 下分开腌制瘦肉和肥膘;24 h 后,把腌制好的肉用绞肉机(Φ6 mm 孔板)分别绞碎;斩拌过程中加入小麦蛋白、冰水、调味料等。整个斩拌过程温度控制在 12 ℃ 以下。灌制好的每节肠 15 cm 左右,先在 65~68 ℃ 烘烤 60 min 左右,再在 80~85 ℃ 水温下,煮制 40 min。在 0~4 ℃ 下冷藏过夜备用。

1.2.3 出品率测定 出品率的测定按照文献 [18] 中方法进行。

1.2.4 保水率(water-holding rate, WHR)测定 按 GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定方法测得香肠煮制后和烘烤前的水分含量  $X_1$ (%) 和  $X_2$ (%),保水率计算公式如下:

$$WHR(\%) = \frac{m_1 \times X_1}{m_2 \times X_2} \times 100$$

式中:  $m_1$  为煮制后熏煮香肠质量, g;  $m_2$  为烘烤前熏煮香肠质量, g。

1.2.5 质构特性分析 质构特性的测定采用文献 [19] 的方法进行,样品预前处理为高 1.5 cm,直径 2.4 cm 的圆柱体,每组测量 10 次。主要参数:探头: P/50;测前速度: 2 mm/s;测试速度 1.2 mm/s;测试后速度 1.2 mm/s;触发类型: 自动;压缩比 60%,时间 5 s,



测量环境温度: 20 ℃。

1.2.6 色差测定 色差的测定按照参考文献 [20] 的方法进行, 测量前样品去除两端, 使用模具将其切成 1.5 cm 厚的肠片。色差仪经标准比色板比对校准后, 测定记录其  $L^*$  值(亮度)、 $a^*$  值(红度)、 $b^*$  值(黄度)。测量时样品应选用不同部位, 重复测量 6 次。

1.2.7 单因素实验设计 利用单因素实验方法, 设计空白实验, 具体实验处理见表 2。

表 2 实验设计因素水平  
Table 2 Factors and levels for test

实验处理	KCl 替代食盐量(%)	小麦蛋白添加量(%)	实验处理	KCl 替代食盐量(%)	小麦蛋白添加量(%)
1	0	0	11	30	6
2	0	4	12	30	8
3	0	6	13	40	0
4	0	8	14	40	4
5	20	0	15	40	6
6	20	4	16	40	8
7	20	6	17	50	0
8	20	8	18	50	4
9	30	0	19	50	6
10	30	4	20	50	8

1.3 数据处理

采用 SPSS19.0 对实验数据进行方差分析、相关性分析、主成分分析和回归分析, 差异显著性  $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 小麦蛋白对低钠盐猪肉香肠出品率和保水率的影响

图 1 和图 2 分别是不同小麦蛋白添加量对低盐猪肉香肠出品率和保水率的影响结果。从图 1 和图 2 可以看出, 小麦蛋白的添加对低盐产品的出品率和保水率均有显著影响 ( $P<0.05$ )。在未进行 KCl 替代时, 和空白组相比, 8% 添加水平时出品率显著高于其他处理组 ( $P<0.05$ ); 在 KCl 替代 50% 食盐添加量时, 4%~6% 添加范围内, 产品出品率显著高于空白和 8% 添加水平 ( $P<0.05$ )。小麦蛋白本身具有吸水性和凝胶特性, 能够提高产品的出品率和保水性, 但是在高 KCl 替代时, 出现较大的保水性波动, 出现这

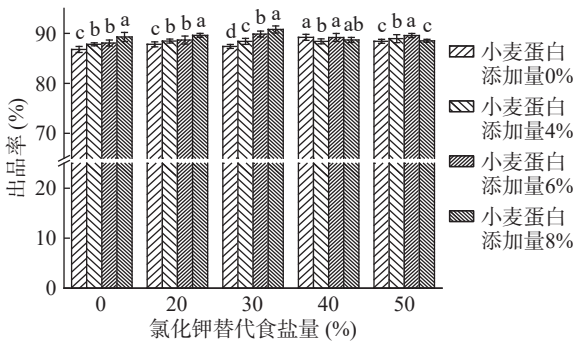


图 1 小麦蛋白对低钠盐猪肉香肠出品率的影响  
Fig.1 Effect of wheat protein on the yield of low-salt pork sausage

注: 不同小写字母表示不同小麦蛋白添加量间差异显著 ( $P<0.05$ ), 图 2 同。

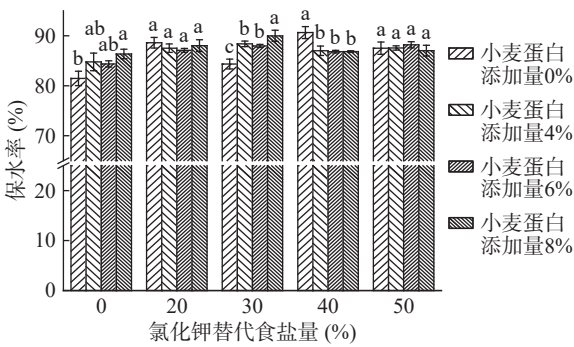


图 2 小麦蛋白对低钠盐猪肉香肠保水率的影响

Fig.2 Effect of wheat protein on water retention of low-salt pork sausage

种情况的主要原因可能是盐离子水平和种类不同带来的小麦蛋白结构和功能特性的改变<sup>[21]</sup>。

2.2 小麦蛋白对低钠盐猪肉香肠质构特性的影响

食品质构的感官模拟可以利用质构仪的 TPA (Texture Profile Analysis, 质地多面剖析法) 来准确反映质构参数, 如硬度、脆性、弹性等<sup>[2]</sup>。

表 3 是小麦蛋白对低盐猪肉香肠质构的影响结果, 从结果可以看出, 小麦蛋白的添加对不同 KCl 替代水平下产品的质构特性均有显著的影响 ( $P<0.05$ )。

其中, 未进行 KCl 替代处理时, 和空白相比, 4%~8% 的小麦蛋白的添加对硬度、胶着性、咀嚼性具有显著增强作用 ( $P<0.05$ ); 4%~8% 处理水平时, 硬度和咀嚼性组间无显著差异性 ( $P>0.05$ ); 6% 处理时, 胶着性显著高于其他各处理 ( $P<0.05$ ); 小麦蛋白 8% 的添加对内聚性、弹性以及回复性具有显著降低作用 ( $P<0.05$ )。在 KCl 替代 20%~50% 食盐添加量时, 各小麦蛋白添加范围内, 产品硬度有显著增大现象 ( $P<0.05$ )。在 KCl 替代 30% 食盐添加量时, 6%~8% 的处理对回复性和弹性有显著降低作用 ( $P<0.05$ ), 对产品咀嚼性有显著增大作用 ( $P<0.05$ )。在 KCl 替代 40%~50% 食盐添加量时, 小麦蛋白的添加显著降低产品回复性 ( $P<0.05$ )。

出现这种情况, 是由于小麦蛋白的加入, 其中的二硫键等作用力对产品的硬度、弹性和稳定性具有较大的贡献<sup>[11]</sup>; 在 KCl 替代 40%~50% 食盐添加量时, 钠离子浓度对麦谷蛋白的构象和分子间作用力影响较大<sup>[2]</sup>, 产品的硬度、弹性、咀嚼性发生较大变化。

2.3 小麦蛋白对低钠盐猪肉香肠色泽的影响

表 4 是小麦蛋白对低盐猪肉香肠产品色泽的影响, 从结果可以看出不同 KCl 替代处理下, 产品颜色均有显著改变 ( $P<0.05$ )。在未进行 KCl 替代时, 产品亮度值均未发生显著改变 ( $P>0.05$ ); 产品红度值、黄度值显著提高 ( $P<0.05$ ); 进行 KCl 替代 20%~50% 食盐添加量时, 产品亮度值均未发生显著改变 ( $P>0.05$ ); 红度值显著升高 ( $P<0.05$ ); 黄度值未见明显变化规律。30%KCl 替代量时, 6%~8% 处理组红度值显著低于其他处理组 ( $P<0.05$ )。主要原因可能是黄度值来自小麦蛋白的颜色, 没有 KCl 替代, 黄度

表 3 小麦蛋白添加量对低钠盐猪肉香肠质构特性的影响

Table 3 Effect of wheat protein addition on texture of low-salt pork sausage

氯化钾替代量(%)	小麦蛋白添加量(%)	硬度(g)	弹性	内聚性	胶着性(g)	咀嚼性(g)	回复性
0	0	2882.13±285.52 <sup>b</sup>	0.80±0.05 <sup>a</sup>	0.28±0.03 <sup>a</sup>	820.33±147.43 <sup>c</sup>	653.77±129.04 <sup>b</sup>	0.09±0.01 <sup>ab</sup>
	4	3886.55±499.97 <sup>a</sup>	0.79±0.08 <sup>a</sup>	0.27±0.03 <sup>ab</sup>	957.04±274.97 <sup>b</sup>	784.21±222.09 <sup>a</sup>	0.10±0.01 <sup>a</sup>
	6	3851.93±436.51 <sup>a</sup>	0.78±0.07 <sup>a</sup>	0.26±0.03 <sup>b</sup>	1026.48±219.24 <sup>a</sup>	794.01±147.92 <sup>a</sup>	0.09±0.01 <sup>ab</sup>
	8	4050.90±381.83 <sup>a</sup>	0.73±0.06 <sup>b</sup>	0.23±0.03 <sup>c</sup>	974.77±182.53 <sup>b</sup>	815.05±172.81 <sup>a</sup>	0.08±0.01 <sup>c</sup>
20	0	2987.75±340.12 <sup>b</sup>	0.77±0.08 <sup>a</sup>	0.30±0.03 <sup>a</sup>	888.19±118.02 <sup>ab</sup>	684.37±132.82	0.09±0.02 <sup>b</sup>
	4	3210.90±383.51 <sup>ab</sup>	0.70±0.07 <sup>b</sup>	0.22±0.03 <sup>b</sup>	723.81±153.05 <sup>b</sup>	707.99±126.42	0.07±0.01 <sup>c</sup>
	6	3514.20±947.07 <sup>a</sup>	0.81±0.04 <sup>a</sup>	0.28±0.04 <sup>a</sup>	966.22±295.90 <sup>a</sup>	784.82±240.34	0.11±0.02 <sup>a</sup>
	8	3363.49±854.96 <sup>ab</sup>	0.81±0.05 <sup>a</sup>	0.28±0.02 <sup>a</sup>	868.82±256.21 <sup>ab</sup>	702.22±211.00	0.11±0.01 <sup>a</sup>
30	0	1936.03±311.58 <sup>c</sup>	0.76±0.06 <sup>a</sup>	0.38±0.03 <sup>a</sup>	739.32±143.63	549.66±121.42 <sup>b</sup>	0.14±0.01 <sup>a</sup>
	4	2307.77±433.63 <sup>b</sup>	0.78±0.05 <sup>a</sup>	0.31±0.03 <sup>b</sup>	707.97±156.70	551.78±128.56 <sup>b</sup>	0.11±0.01 <sup>b</sup>
	6	3167.49±438.52 <sup>a</sup>	0.70±0.07 <sup>b</sup>	0.24±0.03 <sup>c</sup>	754.08±141.74	637.95±124.65 <sup>a</sup>	0.07±0.01 <sup>c</sup>
	8	2945.87±271.78 <sup>a</sup>	0.67±0.06 <sup>b</sup>	0.23±0.02 <sup>c</sup>	675.33±100.16	613.35±84.22 <sup>a</sup>	0.07±0.01 <sup>c</sup>
40	0	2558.89±337.63 <sup>c</sup>	0.72±0.06	0.29±0.02 <sup>a</sup>	734.52±127.21	534.02±120.67 <sup>b</sup>	0.08±0.00 <sup>a</sup>
	4	3342.13±440.56 <sup>b</sup>	0.68±0.08	0.23±0.03 <sup>b</sup>	662.01±162.19	587.74±122.78 <sup>a</sup>	0.07±0.01 <sup>b</sup>
	6	3803.64±595.99 <sup>a</sup>	0.70±0.07	0.22±0.02 <sup>b</sup>	772.60±208.73	642.69±179.28 <sup>a</sup>	0.07±0.01 <sup>b</sup>
	8	3450.75±277.71 <sup>b</sup>	0.66±0.06	0.23±0.02 <sup>b</sup>	719.00±127.73	578.38±112.52 <sup>a</sup>	0.07±0.01 <sup>b</sup>
50	0	2859.41±310.51 <sup>c</sup>	0.76±0.04	0.30±0.03 <sup>a</sup>	849.67±136.66	648.61±112.87	0.09±0.01 <sup>a</sup>
	4	3365.51±321.30 <sup>ab</sup>	0.73±0.07	0.26±0.04 <sup>b</sup>	876.12±198.96	640.77±151.47	0.08±0.01 <sup>b</sup>
	6	3221.86±491.26 <sup>b</sup>	0.71±0.08	0.25±0.03 <sup>b</sup>	815.23±200.66	584.95±178.62	0.08±0.01 <sup>b</sup>
	8	3233.39±442.10 <sup>a</sup>	0.75±0.06	0.24±0.03 <sup>b</sup>	892.25±192.84	664.31±146.19	0.08±0.01 <sup>b</sup>

注: 平均值±标准差; 同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ), 表4同。

值随添加量增加而升高; KCl 替代后, 钾离子可能改变了小麦蛋白的结构特性, 导致黄度值下降, 红度值升高。因此, 低盐产品开发时, 考虑小麦蛋白对产品色泽的影响, 可适量添加。

表 4 小麦蛋白添加量对低钠盐猪肉香肠色泽的影响

Table 4 Effect of wheat protein on the color of low-salt pork sausage

氯化钾替代量(%)	小麦蛋白添加量(%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$
0	0	68.28±1.96	2.98±0.43 <sup>b</sup>	8.77±1.20 <sup>c</sup>
	4	68.33±2.07	3.55±0.28 <sup>a</sup>	10.12±0.36 <sup>b</sup>
	6	69.23±1.73	3.80±0.27 <sup>a</sup>	10.48±0.60 <sup>b</sup>
	8	69.54±0.82	3.61±0.17 <sup>a</sup>	12.05±0.35 <sup>a</sup>
20	0	68.93±0.84	3.96±0.41	9.17±0.66 <sup>b</sup>
	4	69.41±0.64	3.77±0.34	11.34±0.87 <sup>a</sup>
	6	70.60±1.56	3.66±0.32	11.09±0.88 <sup>a</sup>
	8	69.99±2.26	3.46±0.19	11.44±0.57 <sup>a</sup>
30	0	68.19±4.74	3.89±0.25 <sup>a</sup>	9.80±0.83 <sup>b</sup>
	4	69.99±5.42	3.88±0.65 <sup>a</sup>	10.62±0.80 <sup>ab</sup>
	6	74.14±1.16	3.05±0.27 <sup>b</sup>	10.31±0.56 <sup>ab</sup>
	8	71.39±3.66	3.12±0.24 <sup>b</sup>	10.77±0.39 <sup>a</sup>
40	0	73.49±1.47	2.85±0.51	8.37±0.95 <sup>b</sup>
	4	73.08±1.80	2.74±0.26	9.85±0.78 <sup>a</sup>
	6	74.18±2.15	2.45±0.13	10.46±0.55 <sup>a</sup>
	8	71.88±1.44	2.43±0.25	11.08±1.24 <sup>a</sup>
50	0	70.87±1.94	3.84±0.29 <sup>a</sup>	9.22±0.66 <sup>b</sup>
	4	71.16±1.51	3.56±0.10 <sup>a</sup>	11.39±0.53 <sup>a</sup>
	6	71.98±3.50	3.11±0.30 <sup>b</sup>	9.95±0.82 <sup>b</sup>
	8	72.76±1.53	3.65±0.15 <sup>a</sup>	11.20±0.52 <sup>a</sup>

## 2.4 低盐猪肉香肠品质指标相关性分析

表 5 是不同低盐猪肉香肠品质指标的相关性分

析结果。从表 5 可以看出, 多数品质指标间存在显著, 甚至是极显著的相关关系, 如硬度和内聚性、亮度具有极显著负相关性( $P<0.01$ ), 和胶着性、咀嚼性、黄度值间具有极显著正相关性( $P<0.01$ ); 弹性和内聚性、胶着性、回复性、咀嚼性、红度值具有极显著正相关性( $P<0.01$ ), 和亮度值具有极显著负相关性( $P<0.01$ )等。这为后期进行主成分分析以及综合品质评价模型的构建奠定基础。

## 2.5 熏煮肉肠质构、色泽等品质指标的主成分分析

在众多肉制品的品质评价指标中, 不同的指标反映了肉制品品质的不同方面, 但是, 这些品质指标间不是孤立的, 不仅是有必然的联系, 而且还可能存在重叠<sup>[12]</sup>。如果利用主成分分析的降维方法, 把复杂的品质指标归结为几个主成分, 通过不同品质指标对主成分的贡献, 构建综合品质评价模型, 并进行应用, 为产品开发和品质控制提供指导<sup>[22]</sup>。

表 6 是低钠盐小麦蛋白猪肉香肠品质指标主成分分析结果。从主成分分析结果可以看出, 前三个主成分的特征值为 3.760、2.527、1.610, 均大于 1, 且累积贡献率超过 70%, 达到 71.791%, 能够代表低盐猪肉香肠品质指标的大部分信息, 因此提取三个主成分进行分析, 主成分 1 主要代表咀嚼性和胶着性, 主成分 2 主要代表硬度, 主成分 3 主要代表保水性。

## 2.6 低钠盐猪肉香肠综合品质调控模型的构建及应用

结合主成分分析结果, 先计算各主成分的特征向量(见表 7), 由表 7 中各自变量载荷除以各主成分特征值的算术平方根, 然后以特征向量为系数, 主成分为因变量, 各品质指标为自变量, 即可获得三个主

表 5 低钠盐猪肉香肠品质指标相关性分析结果

Table 5 Correlation analysis results of quality indexes of low-salt pork sausage

	硬度	弹性	内聚性	胶着性	回复性	咀嚼性	保水性	$L^*$	$a^*$	$b^*$	出品率
硬度	1										
弹性	0.072	1									
内聚性	-0.248**	0.420**	1								
胶着性	0.750**	0.285**	0.340**	1							
回复性	-0.093	0.345**	0.829**	0.340**	1						
咀嚼性	0.667**	0.545**	0.413**	0.942**	0.376**	1					
保水性	-0.094	-0.140	-0.102	-0.108	-0.321*	-0.121	1				
$L^*$	-0.251**	-0.313**	-0.191*	-0.323**	-0.274**	-0.368**	0.372**	1			
$a^*$	-0.012	0.439**	0.392**	0.184*	0.385**	0.301**	-0.089	-0.524**	1		
$b^*$	0.410**	-0.086	-0.262**	0.178	-0.072	0.121	0.020	-0.057	0.047	1	
出品率	0.204	-0.169	-0.274*	0.068	-0.372**	0.011	0.653**	0.447**	-0.328*	0.294*	1

注: \*表示在0.05级别(双尾)相关性显著; \*\*表示在0.01级别(双尾)相关性极显著。

表 6 低钠盐猪肉香肠品质指标主成分分析结果

Table 6 Principal component analysis results of quality indexes of low-salt pork sausage

品质指标	主成分载荷		
	1	2	3
硬度	0.479	0.829	-0.142
内聚性	0.635	-0.468	0.507
胶着性	0.750	0.604	0.110
咀嚼性	0.839	0.462	0.219
回复性	0.723	-0.359	0.175
$L^*$	-0.607	0.023	0.538
$a^*$	0.469	-0.255	-0.253
$b^*$	-0.097	0.578	-0.438
弹性	0.636	-0.181	0.318
保水性	-0.415	0.290	0.591
出品率	-0.405	0.630	0.497
特征值	3.760	2.527	1.610
方差贡献率(%)	34.180	22.975	14.636
累计方差贡献率(%)	34.180	57.155	71.791

表 7 低钠盐猪肉香肠品质指标特征向量

Table 7 Characteristic vector of quality index of low-salt pork sausage

变量	代表指标	主成分特征向量		
		1	2	3
$Z_1$	硬度	0.127	0.328	-0.088
$Z_2$	内聚性	0.169	-0.185	0.315
$Z_3$	胶着性	0.199	0.239	0.068
$Z_4$	咀嚼性	0.223	0.183	0.136
$Z_5$	回复性	0.192	-0.142	0.109
$Z_6$	$L^*$	-0.161	0.009	0.334
$Z_7$	$a^*$	0.125	-0.101	-0.157
$Z_8$	$b^*$	-0.026	0.229	-0.272
$Z_9$	弹性	0.169	-0.072	0.197
$Z_{10}$	保水性	-0.110	0.115	0.367
$Z_{11}$	出品率	-0.108	0.249	0.308

成分的函数表达式。

$$Y_1 = 0.127 \times Z_1 + 0.169 \times Z_2 + \cdots - 0.110 \times Z_{10} - 0.108 Z_{11}$$

$$Y_2 = 0.328 \times Z_1 - 0.185 \times Z_2 + \cdots + 0.115 \times Z_{10} + 0.249 Z_{11}$$

$$Y_3 = -0.088 \times Z_1 + 0.315 \times Z_2 + \cdots + 0.367 \times Z_{10} + 0.308 Z_{11}$$

其中:  $Y_1$ 、 $Y_2$  和  $Y_3$  代表主成分 1、2、3;  $Z_1 \sim Z_{11}$  分别代表硬度等品质指标。

再根据三个主成分的方差贡献率, 再结合主成分分析的结果, 以方差贡献率为系数, 以综合品质为因变量( $Y_4$ ), 各主成分的分值为自变量, 通过回归分析, 建立出低盐猪肉香肠综合品质评价模型  $Y_4$ 。

$$Y_4 = 0.342 \times Y_1 + 0.230 \times Y_2 + 0.146 \times Y_3$$

将实验所测各指标的均值分别代入得出的函数式和模型, 得到 20 组实验因素下各主成分的得分和综合得分, 见表 8。

表 8 基于本实验的模型应用结果

Table 8 Model application results based on this experiment

实验组别	主成分得分			综合得分 $Y_4$	得分排名
	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$		
1	646.0841	1294.214	-32.0967	513.944	16
2	765.9907	1517.099	-48.3637	603.8405	5
3	795.6868	1598.718	-72.3754	629.2633	2
4	779.8768	1605.297	-94.547	622.1324	3
5	678.9354	1351.75	-29.7239	538.7586	11
6	635.0935	1353.959	-85.1661	516.1784	14
7	783.448	1561.979	-57.2907	618.83	4
8	726.3665	1474.586	-61.5238	578.5897	6
9	486.3306	946.0832	32.31281	388.6419	20
10	526.896	1061.847	-0.09311	424.4096	19
11	641.263	1352.715	-72.637	519.8313	13
12	578.6913	1246.26	-70.0334	474.3272	17
13	559.1226	1147.402	-19.8029	452.2313	18
14	670.0069	1407.528	-80.3282	541.1458	9
15	813.3013	1653.249	-85.7992	645.8696	1
16	657.4814	1426.139	-109.706	536.8534	12
17	646.7199	1293.972	-25.4735	515.0727	15
18	714.2957	1465.536	-69.5674	571.2057	7
19	671.1944	1393.606	-67.5053	540.2221	10
20	693.1419	1397.355	-44.6086	551.9333	8

模型应用结果显示, 综合得分最高的实验组为氯化钾替代食盐量为 40%, 小麦蛋白添加量为 6%; 排名靠前的处理分布在低 KCl 替代处理组; 未进行



KCl 替代的实验组,小麦蛋白添加量都可以提高产品的综合品质。20% KCl 替代处理时,6%~8% 的小麦蛋白添加量有助于提高产品综合品质。

### 3 讨论

麦谷蛋白分子是自然界最大的蛋白质分子之一,富含谷氨酰胺(Gln)、半胱氨酸(Cys)和甘氨酸(Gly)以及脯氨酸(Pro)<sup>[10]</sup>。分子中含大量的 $\beta$ -折叠结构,分子中的重链亚基和轻链亚基如同“扩链剂”一样,通过链间的 S-S 键增大聚合体,也可以和其他分子以二硫键、氢键、离子键、疏水作用形成稳定的网络结构。醇溶蛋白分子无亚基结构,单肽依靠分子内二硫键和分子间的氢键、范德华力、静电力及疏水键连结,形成较紧密的三维结构,其氨基酸组成多为非极性<sup>[10]</sup>。未进行降盐处理时,4%~8% 的小麦蛋白的添加对硬度、胶着性、咀嚼性具有显著增强作用( $P<0.05$ )。正是因为小麦蛋白的加入,使得产品具有更强的硬度、粘性、弹性和稳定性,其中麦谷蛋白以二硫键等作用力对产品的硬度、弹性和稳定性具有较大的贡献<sup>[11]</sup>;醇溶蛋白与产品的粘性和延展性有关,但是对产品硬度没有直接影响。在 KCl 替代 40%~50% 食盐添加量时,小麦蛋白的添加对产品内聚性有显著降低作用,对产品硬度有显著增加作用( $P<0.05$ )。主要原因可能是进行低钠盐处理时,钠离子浓度对麦谷蛋白的构象和分子间作用力影响较大<sup>[23]</sup>,产品的硬度、弹性、咀嚼性发生较大变化。

### 4 结论

KCl 替代部分食盐情况下,小麦蛋白的添加可以提高产品的出品率和保水率,改善产品硬度、胶着性、咀嚼性等,尤其是 20%~30% 替代时,4%~8% 的小麦蛋白作用显著;小麦蛋白的添加对产品颜色影响较大,尤其时黄度值和红度值。

利用构建的小麦蛋白调控低盐猪肉香肠综合品质评价模型: $Y_4=0.342 \times (0.127 \times Z_1 + 0.169 \times Z_2 + \dots - 0.110 \times Z_{10} - 0.108 \times Z_{11}) + 0.230 \times (0.328 \times Z_1 - 0.185 \times Z_2 + \dots + 0.115 \times Z_{10} + 0.249 \times Z_{11}) + 0.146 \times (-0.088 \times Z_1 + 0.315 \times Z_2 + \dots + 0.367 \times Z_{10} + 0.308 \times Z_{11})$ ,找到了小麦蛋白调控低盐猪肉香肠的最佳条件,即氯化钾替代食盐量为 40%,小麦蛋白添加量为 6%;在 0~30% 的低 KCL 替代处理时,6%~8% 的小麦蛋白添加均可以提高产品的综合品质。

### 参考文献

- [1] 张秋会,李苗云,柳艳霞,等.食盐含量对熏煮鸡肉1熏煮肠的品质特性的影响[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2017,38(2):62-68. [ZHANG Q H, LI M Y, LIU Y X, et al. Effects of salt contents on the quality properties of cooked and smoked sausages[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 2017, 38(2): 62-68.]
- [2] 肖康,马阳阳,赵春波,等.基于灰色关联度法构建西式香肠钠盐含量与电子舌的相关性[J].食品工业科技,2021,42(12):262-268. [XIAO K, MA Y Y, ZHAO C B, et al. Construction of

correlation between sodium content and electronic tongue of western style sausage based on grey relational grade method[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(12): 262-268.]

- [3] ASHKAN A, PATRICK J S, KAIRSTEN A F, et al. Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990-2017: A systematic analysis for the global burden of disease study 2017[J]. Lancet, 2019, 393: 1958-1972.
- [4] AASLYNG M D, VESTERGAARD C, KOCH A G. The effect of salt reduction on sensory quality and microbial growth in hot-dog sausages, bacon, ham and salami[J]. Meat Science, 2014, 96(1): 47-55.
- [5] 甘潇,李洪军,贺雅非.以不同比例 KCl 替代 NaCl 制备低盐腊肉其理化及品质特征的变化[J].食品与发酵工业,2020,46(9):176-184. [GAN X, LI H J, HE Z F. Changes of physical and chemical quality characteristics of low-salt bacon prepared with different proportions of KCl instead of NaCl[J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(9): 176-184.]
- [6] GAP-DON K, SUN J H, TAE S P, et al. Quality characteristics of fat-reduced emulsion-type pork sausage by partial substitution of sodium chloride with calcium chloride potassium chloride and magnesium chloride[J]. LWT, 2018, 89(3): 140-147.
- [7] AGOSTINHO D S A L A, LORENZO J M, GONCALVES C A A, et al. Impact of lysine and liquid smoke as flavor enhancers on the quality of low-fat Bologna-type sausages with 50% replacement of NaCl by KCl[J]. Meat Science, 2017, 123: 50-56.
- [8] 荣良燕,蔺艳婷,何青,等.复配膳食纤维对低盐乳化肠食用品质的影响[J].肉类研究,2019,33(7):30-35. [RONG L Y, LIN Y T, HE Q, et al. Effects of dietary fiber on the eating quality of low-salt emulsified sausage[J]. Meat Research, 2019, 33(7): 30-35.]
- [9] 赵春波,余小领,李苗云,等.基于主成分分析构建大豆蛋白对低盐乳化肠的品质综合评价模型[J].现代食品科技,2020,36(12):188-197. [ZHAO C B, YU X L, LI M Y, et al. A comprehensive evaluation model of soybean protein for low-salt emulsified sausage based on principal component analysis[J]. Modern Food Technology, 2020, 36(12): 188-197.]
- [10] 王怡然,王金水,赵谋明,等.小麦面筋蛋白的组成、结构和特性[J].食品工业科技,2007(10):228-231. [WANG Y R, WANG J S, ZHAO M M, et al. Composition, structure and properties of wheat gluten[J]. Science and Technology of Food Industry, 2007(10): 228-231.]
- [11] 杨珊珊.鸡肉糜脯加工工艺及品质改良的研究[D].广州:华南理工大学,2010. [YANG S S. Study on the processing technology and quality improvement of chicken minced meat[D]. Guangzhou: Huanan Technology University, 2010.]
- [12] SCHNACKENBERG B J, SAINI U T, ROBINSON B L, et al. An acute dose of gamma-hydroxybutyric acid alters gene expression in multiple mouse brain region[J]. Neuroscience, 2010, 170(2): 523-541.
- [13] ANKIT P, NIGEL P B, GERARD D, et al. Application of principal component and hierarchical cluster analysis to classify fruits and vegetables commonly consumed in Ireland based on *in vitro* antioxidant activity[J]. Journal of Food Composition and Analy-

sis, 2011, 24(2): 250-256.

[14] 张士凯, 贾朝爽, 张启月, 等. 改性小麦蛋白的研究进展[J].

中国粮油学报, 2019, 34(12): 123-130. [ZHANG S K, JIA C H, ZHANG Q Y, et al. Research progress of modified wheat protein [J]. Chinese Journal of Grain and Oil, 2019, 34(12): 123-130.]

[15] CHIANG J H, TAY W, ONG D S M. Physicochemical, textural and structural characteristics of wheat gluten-soy protein composited meat analogues prepared with the mechanical elongation method[J]. Food Structure, 2021(28): 100183.

[16] 张秋会, 郝婉名, 李苗云, 等. 熏煮香肠保水性评价模型研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 35-41. [ZHANG Q H, HAO W M, LI M Y, et al. Study on evaluation model of water-holding capacity of smoked and cooked sausage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(1): 35-41.]

[17] ZHANG Q H, YUE X Q, LI M Y, et al. Effect of pH on NMR relaxometry and chicken myosin gel properties[J]. Asian Journal of Agriculture and Food Science, 2014, 8: 207-278.

[18] 赵春波, 张秋会, 马长明, 等. 氯化钾替代部分食盐对猪肉乳化肠品质的影响[J]. 肉类工业, 2019(1): 15-19. [ZHAO C B, ZHANG Q H, MA C M, et al. Effect of partial salt replacement by potassium chloride on the quality of pork emulsified sausage[J]. Meat Industry, 2019(1): 15-19.]

[19] ZHANG Y W, GUO X Y, LIU T T, et al. Effects of substitu-

tion of NaCl with KCl, L-histidine, and L-lysine on instrumental quality attributes of cured and cooked pork loin[J]. Journal of Food, 2018, 16(1): 877-883.

[20] 张秋会, 岳喜庆, 李苗云, 等. 大豆组织蛋白在重组肉糜制品中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(1): 101-105. [ZHANG Q H, YUE X Q, LI M Y, et al. Application of soybean tissue protein in recombinant meat products[J]. Food and Fermentation Industry, 2015, 41(1): 101-105.]

[21] 张秋会, 李苗云, 柳艳霞, 等. 离子强度对 11S 大豆球蛋白和鸡肌球蛋白质的二级结构及凝胶特性的影响[J]. 河南农业大学学报, 2018, 52(3): 424-429, 444. [ZHANG Q H, LI M Y, LIU Y X, et al. Effect of ionic strength on secondary structures and gel properties of chicken myosin and 11S soybean globulin[J]. Journal of the Henan Agricultural University, 2018, 52(3): 424-429, 444.]

[22] GEOCZE K C, BARBOSA L C A, FIDENCIO P H, et al. Essential oils from pequi fruits from the Brazilian Cerrado ecosystem [J]. Food Research International, 2013, 54(1): 1-8.

[23] 张雪纷. 超声-离子液体处理对麦谷蛋白特性和酶解产物活性的影响[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2018. [ZHANG X F. Effect of ultrasonic-ionic liquid treatment on the properties and enzymatic activity of glutenin[D]. Zhenjiang: Jiangsu University of Science and Technology, 2018.]