

# 壳寡糖对高温条件下鸡胸肉糜凝胶品质的影响

望运滔, 王莎莎, 秦春艳, 李可, 栗俊广, 刘骁, 王昱, 杜曼婷, 白艳红\*

(郑州轻工业大学食品与生物工程学院, 河南省冷链食品质量安全控制重点实验室,

食品生产与安全河南省协同创新中心, 河南 郑州 450001)

**摘要:** 研究壳寡糖添加量 (0%、1%、2%、4%, *m/m*) 对高温条件下鸡肉糜凝胶品质的影响。结果显示, 与对照组相比, 壳寡糖的添加显著增加了鸡肉糜凝胶的硬度和咀嚼度 ( $P < 0.05$ ), 同时也使蒸煮损失率显著降低 ( $P < 0.05$ ), 保水性得到提高。低场核磁结果显示, 壳寡糖可以使凝胶内部不易流动水比例升高, 自由水比例降低, 横向弛豫时间减小。微观结构分析表明, 随着壳寡糖添加量依次增加 (1%、2%、4%), 鸡肉糜的凝胶网络结构逐渐规则、均匀, 凝胶内部孔洞较小。感官评定结果显示, 添加壳寡糖也使鸡肉糜凝胶的气味及色泽发生积极变化; 鸡肉糜凝胶的整体可接受度在壳寡糖添加量为4%时达到最佳。综上所述, 壳寡糖可以作为一种改良剂用于高温条件下鸡肉糜凝胶品质的改善。

**关键词:** 壳寡糖; 高温; 鸡胸肉糜; 凝胶特性; 微观结构

## Effect of Chitooligosaccharide on the Gel Quality of Ground Chicken Breast under High Temperature Conditions

WANG Yuntao, WANG Shasha, QIN Chunyan, LI Ke, LI Jinguang, LIU Xiao, WANG Yu, DU Manting, BAI Yanhong\*

(Henan Key Laboratory of Cold Chain Food Quality and Safety Control, Henan Province Collaborative Innovation Center for Food Production and Safety, College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** In this work, the effect of the addition of different amounts of chitooligosaccharide (0%, 1%, 2% and 4%) on the gel quality of chicken breast batter subjected to high temperature treatment was investigated. It was found that the addition of chitooligosaccharide significantly increased the hardness and chewiness ( $P < 0.05$ ), reduced the cooking loss ( $P < 0.05$ ) and increased water-holding capacity (WHC) of chicken breast gel compared with the control group. Low-field nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy showed that chitooligosaccharide increased the proportion of immobile water and decreased the proportion of free water within the gel and the transverse relaxation time. Microstructural analysis showed that the gel network structure of chicken breast batter gradually became more regular and homogeneous, with small pores being observed in the gel, as the concentration of added chitooligosaccharide increased from 1% to 4%. Besides, addition of chitooligosaccharide resulted in positive changes in the smell and color of chicken breast gel, with the best overall acceptability being obtained when 4% chitooligosaccharide was added. In conclusion, chitooligosaccharide can be used to improve the quality of chicken breast batter subjected to high temperature treatment.

**Keywords:** chitooligosaccharide; high temperature; chicken breast batter; gel characteristics; microstructure

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220403-031

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2023) 22-0049-06

引文格式:

望运滔, 王莎莎, 秦春艳, 等. 壳寡糖对高温条件下鸡胸肉糜凝胶品质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(22): 49-54.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220403-031. <http://www.spkx.net.cn>

WANG Yuntao, WANG Shasha, QIN Chunyan, et al. Effect of chitooligosaccharide on the gel quality of ground chicken breast under high temperature conditions[J]. Food Science, 2023, 44(22): 49-54. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220403-031. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2022-04-03

基金项目: 河南省科技攻关项目 (21210211316); “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2018YFD0401200)

第一作者简介: 望运滔 (1988—) (ORCID: 0000-0001-6011-4518), 男, 副教授, 博士, 研究方向为食品胶体科学。

E-mail: 2017019@zzuli.edu.cn

\*通信作者简介: 白艳红 (1975—) (ORCID: 0000-0002-2074-0351), 女, 教授, 博士, 研究方向为肉品加工与质量安全控制。

E-mail: baiyanhong212@163.com

近年来,鸡肉及其相关产品因蛋白含量高、脂肪和胆固醇含量低等特点在全球禽肉销量中居于前列<sup>[1-2]</sup>。随着消费者对鸡肉产品多样化的需求增加,鸡肉糜凝胶产品不断被开发。热加工是大多数肉类凝胶产品的必备工序,它赋予肉理想的颜色、质地和感官特性。一般情况下,高达60~65℃的温度足以使肉类蛋白质变性,并在蛋白质基质中释放一定的水分<sup>[3]</sup>。然而,这样的温度并不能保证肉制品的微生物安全。因此,美国农业部(United States Department of Agriculture, USDA)建议鸡肉熟制品的最低核心温度为73.9℃。另一方面,在实际生产中,高温热处理(温度大于或等于100℃)通常被用于一些传统肉制品的加工,如南京盐水鸭和德州扒鸡等。因为高温处理不仅可以杀灭细菌,还可以为最终产品提供诱人的颜色和独特的风味。然而,高温处理会带来肉制品品质特性劣化,这是因为高温条件下肉制品中的蛋白质会过度聚集<sup>[4]</sup>,因此抑制高温处理时凝胶质地的劣变对高温肉制品品质的改善具有重要意义。

目前,国内外学者主要利用辛基琥珀酸酐<sup>[5]</sup>、谷胱甘肽<sup>[6]</sup>等小分子抑制高温条件下肌原纤维蛋白凝胶的质构劣变进而改善高温肉制品品质,但这些小分子在食品中使用的安全性及成本等方面存在局限性,因此有必要寻找新的策略。也有研究者利用亲水性大分子的“填充效应”改善低温(80℃)条件下肉类凝胶的质地<sup>[7]</sup>,例如植物蛋白<sup>[8]</sup>、膳食纤维<sup>[9]</sup>、淀粉<sup>[10]</sup>和魔芋胶<sup>[11]</sup>。然而,这些大分子不会提高蛋白质分子的耐热性,且这些大分子能否改善高温肉制品(121℃)的质构特性尚不清楚。因此,改善高温条件下热诱导凝胶产品的质构劣化仍然是一个具有挑战性的目标。

壳寡糖是甲壳质脱乙酰化产物壳聚糖通过酶降解获得,是自然界中唯一且大量存在的低分子碱性氨基多糖,广泛应用于食品各领域。相比上述蛋白质和多糖等大分子,壳寡糖具有更好的水溶性及抗肿瘤、抗炎等生物活性<sup>[12]</sup>。有研究发现,寡糖类物质可以对肌原纤维蛋白结构起到一定的修饰作用,从而维持肌原纤维蛋白凝胶结构的稳定<sup>[13]</sup>;同时寡糖还可以通过稳定蛋白质周围水分子的结构抑制肌原纤维蛋白在冷冻过程中的变性<sup>[14]</sup>。然而,壳寡糖这种小分子糖类能否改善高温条件下鸡肉糜凝胶的品质尚不清楚。

因此,本研究将壳寡糖添加到鸡肉糜凝胶中,通过质构、蒸煮损失、水分分布、冷场发射扫描电子显微镜、电子鼻、色泽以及感官评定等方法探究壳寡糖添加量(0%、1%、2%、4%)对121℃条件下鸡肉糜凝胶品质的影响,以期壳寡糖在高温肉制品中的应用提供一定理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

新鲜去皮鸡胸肉 河南省郑州丹尼斯每日生鲜超市;壳寡糖(1 000 Da) 青岛博智汇力生物科技有限公司;NaCl、MgCl<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>、NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>(均为分析纯) 天津市大茂化学试剂厂;实验用其他试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

AB265-S分析天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;JA3003N电子天平 上海菁海仪器设备有限公司;SZ-22A绞肉机 广州旭众食品机械有限公司;JYZ-D57食品加工机 济南九阳电器有限公司;HH-42水浴锅 常州国华电器有限公司;TA-XT Plus质构分析仪 英国Stable Micro System公司;NM120低场核磁共振成像分析仪 上海纽迈电子科技有限公司;WSC-80C全自动色差计 北京北光世纪仪器有限公司;Regulus 8100高分辨冷场发射扫描电子显微镜 日本日立公司;PEN3电子鼻 德国Airsense公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 鸡肉糜凝胶的制备

基于Lan Meijuan等<sup>[15]</sup>的方法稍作修改。将鸡胸肉切成小块(约1 cm×1 cm×1 cm)并用斩拌机在3 000 r/min的转速下斩拌30 s,将肉末(每份100 g)在食品加工机中低速剪切30 s。分别添加2.5% NaCl溶液、30%冰水、0.5%三聚磷酸钠溶液和不同质量的壳寡糖(分别占肉质量的0%、1%、2%和4%),放入斩拌机,设置间歇时间使中心温度始终低于10℃,机器工作总时间为3 min。取40 g混合肉糜装入50 mL离心管,3 000 r/min离心5 min去除气泡,然后放入高压蒸汽灭菌锅中121℃工作4 min。待样品蒸煮完成后立即放入冰水混合物中冷却,4℃放置12 h备用。

#### 1.3.2 鸡肉糜凝胶质构的测定

将凝胶切割成圆柱形(直径2.5 cm,高度2.0 cm),并在测量前将样品放置在25℃平衡30 min。在TPA测试模式下,使用TA-XT Plus质构分析仪和圆柱形探针(P/50,50 mm不锈钢圆筒)测定硬度、弹性、内聚性、咀嚼性等TPA参数,评估样品的质构特性。质构分析条件如下:测试前速率为2.0 mm/s,测试后速率为2.0 mm/s,测试速率为1.0 mm/s,压缩比例为40%,触发力为5 g。每组样品测定10个重复。

#### 1.3.3 鸡肉糜凝胶水分蒸煮损失的测定

参考Niu Haili等<sup>[9]</sup>的方法。蒸煮前称量肉糜样品质量( $m_0$ ),蒸煮结束后,迅速将制得的凝胶放入冰水浴中浸泡0.5 h,并在室温下放置1 h以达到平衡。最后取出凝胶,用滤纸擦去表面多余水分并称质量( $m_1$ )。蒸煮损失率计算公式如下:

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100$$

### 1.3.4 鸡肉糜凝胶水分分布的测定

参考Zhuang Xinbo等<sup>[16]</sup>的方法并略微改动,使用NM120低场核磁共振成像分析仪测定鸡肉糜凝胶的横向弛豫时间( $T_2$ )。称取约2 g凝胶样品置于核磁管中并放入直径为15 mm的圆形玻璃管内进行测量。参数设置:使用CPMG序列,测量温度(32.00±0.01)℃,质子共振频率18 MHz,扫描次数32次,回声数12 000,重复时间间隔110 ms。

### 1.3.5 鸡肉糜凝胶微观结构的测定

根据Wang Yuntao等<sup>[17]</sup>的方法使用高分辨率冷场发射扫描电子显微镜观察凝胶微观结构。将凝胶样品切成1 mm×1 mm×1 mm的小方块,在-210℃过冷液氮中固定、升华(真空度10<sup>-5</sup> Pa,温度-90℃),经5 mA、60 s喷金溅射后,在加速电压1 kV、放大3 000倍条件下观察凝胶结构并拍照。

### 1.3.6 鸡肉糜凝胶色泽的测定

凝胶的亮度( $L^*$ )、红度( $a^*$ )、黄度( $b^*$ )值由WSC-80C全自动色差计测量。仪器在测量前用白板和黑板校准。每组样品测定6个重复。

### 1.3.7 鸡肉糜凝胶电子鼻的测定

根据Chen Qian等<sup>[18]</sup>的方法并稍作修改。将鸡肉糜凝胶样品切碎后称取3.00 g置于电子鼻分析的专用瓶子中,所有样品测定前在60℃水浴40 min,平衡10 min。25℃恒温环境中,运用电子鼻传感器对样品进行检测,传感器信号在30 s后基本稳定,选定信号采集时间为40 s。电子鼻配备了10个金属氧化物半导体传感器,每个传感器的信息如表1所示。

表1 电子鼻传感器阵列

阵列序号	传感器	性能描述
1	W1C	对芳香成分敏感,苯类
2	W5S	灵敏度强,对氮氧化物敏感
3	W3C	芳香成分灵敏,氨类
4	W6S	对氢化物选择性高
5	W5C	短链烷烃芳香成分
6	W1S	对甲基类物质敏感
7	W1W	对硫化物敏感
8	W2S	对醇类、醛酮类物质敏感
9	W2W	芳香成分,对有机硫化物敏感
10	W3S	芳香成分,对有机硫化物敏感

### 1.3.8 鸡肉糜凝胶的感官评价

参考Zhuang Xinbo等<sup>[19]</sup>的方法,由12名(男女各6名)具有食品专业背景的成员组成感官评价小组,对凝胶样品进行感官评分(包括总体外观、味道、质地、多汁性和总体可接受度)。评分标准:1分为极度厌恶;

2分为非常讨厌;3分为适度厌恶;4分为稍微不喜欢;5分为既不喜欢也不讨厌;6分为稍微喜欢;7分为适度喜欢;8分为非常喜欢;9分为极其喜欢。

### 1.4 数据处理

除特殊说明外,其余实验均重复3次,结果均表示为 $\bar{x} \pm s$ 。采用Origin 2019软件绘图,数据处理和分析采用SPSS 21.0软件和单因素方差分析, $P < 0.05$ ,差异显著。采用电子鼻自带WinMuster软件对采集的传感器响应数据进行主成分分析(principal component analysis, PCA)。

## 2 结果与分析

### 2.1 鸡肉糜凝胶质构分析

表2 鸡肉糜凝胶的质构特性  
Table 2 Texture properties of chicken breast gels

壳寡糖质量分数/%	硬度/g	弹性	内聚性	咀嚼性/g
0	5 490±590.85 <sup>d</sup>	0.79±0.00 <sup>d</sup>	0.52±0.01 <sup>bc</sup>	1 541.07±61.33 <sup>c</sup>
1	6 290±228.50 <sup>e</sup>	0.79±0.02 <sup>b</sup>	0.51±0.01 <sup>cd</sup>	1 640.12±70.45 <sup>b</sup>
2	7 468±234.60 <sup>f</sup>	0.80±0.02 <sup>b</sup>	0.53±0.01 <sup>ab</sup>	1 689.35±40.36 <sup>b</sup>
4	8 635±304.80 <sup>a</sup>	0.83±0.01 <sup>ab</sup>	0.54±0.01 <sup>a</sup>	1 898.58±89.14 <sup>a</sup>

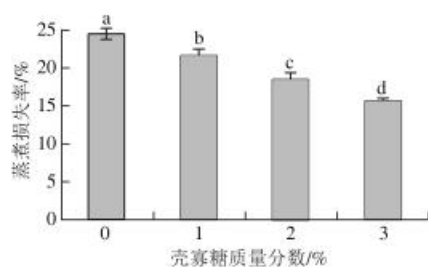
注:同列不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ );表3、4同。

由表2可知,与对照组相比,添加壳寡糖之后鸡肉糜凝胶的硬度及咀嚼性显著增大( $P < 0.05$ ),弹性及内聚性(除壳寡糖添加量4%)差异不显著( $P > 0.05$ ),但整体呈现上升趋势。高温条件下,鸡肉中的蛋白质过度聚集<sup>[5]</sup>,蛋白质分子间共价键(如离子键和肽键)及氢键可能会被破坏,凝胶网络结构被破坏,从而导致凝胶质构的劣化(硬度、弹性降低)。然而,壳寡糖的加入明显改善了高温条件下鸡肉糜凝胶的质构特性。其中,硬度结果显示:与对照组相比,壳寡糖添加量达到4%时,鸡肉糜凝胶的硬度从(5 490±590.85)g显著增加至(8 635±304.80)g( $P < 0.05$ )。此外,咀嚼性是产品质构的总体反映<sup>[13]</sup>,不同壳寡糖添加量样品的咀嚼性结果遵循以下规律:0% < 1% < 2% < 4%;未添加壳寡糖处理组的凝胶咀嚼性较低((1 541.07±61.33)g),当壳寡糖添加量为4%时,其咀嚼性达到1 900 g左右,显著改善了咀嚼性( $P < 0.05$ )。壳寡糖对鸡肉糜凝胶在121℃质构特性的明显改善可能是因为壳寡糖的亲水性较强,可以与蛋白质和水分子紧密结合,抑制鸡肉蛋白质在高温条件下的过度聚集,促使形成的凝胶网络结构更加均匀结实<sup>[20-22]</sup>、更加稳固,并将更多的水分截留在凝胶网络结构中,从而导致凝胶硬度、弹性、内聚性和咀嚼性增大。

### 2.2 鸡肉糜凝胶的蒸煮损失分析

高温条件下蛋白质会过度聚集,导致凝胶网络结构遭到破坏,凝胶中水分子与肌原纤维蛋白分子之间结合能力下降,从而使凝胶失水严重<sup>[23]</sup>。由图1可知,当壳

寡糖添加量逐渐增加时, 鸡肉糜凝胶的蒸煮损失逐渐降低, 变化显著 ( $P < 0.05$ ), 并在添加量为4%时降至最低值 (15.58%), 提高了鸡肉糜凝胶的出品率。这可能是因为壳寡糖的加入抑制了高温条件下肌原纤维蛋白的过度聚集, 使形成的凝胶网络结构更加致密; 另一方面, 壳寡糖具有较好的亲水性, 添加壳寡糖后凝胶亲水性增加, 结合水分子能力增强, 从而将更多水分截留在凝胶网络结构中, 降低了鸡肉糜凝胶的蒸煮损失<sup>[24]</sup>。所以与纯鸡肉凝胶相比, 添加壳寡糖的鸡肉糜凝胶蒸煮损失显著降低 ( $P < 0.05$ ), 表明壳寡糖可能有助于稳定肉凝胶系统中的水分。

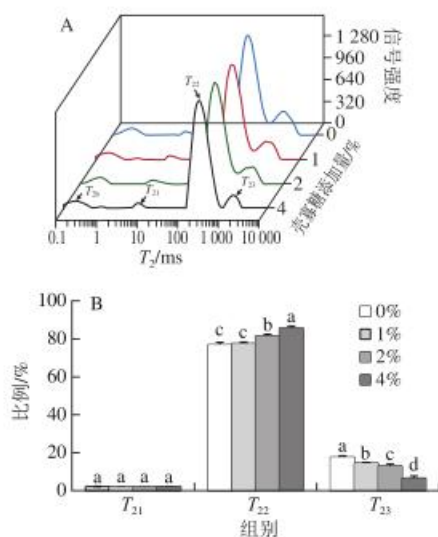


字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图1 鸡肉糜凝胶的蒸煮损失

Fig. 1 Cooking loss of chicken breast gels

### 2.3 鸡肉糜凝胶水分分布的分析



A. 弛豫时间; B. 水分分布情况。同一质量分数鸡肉凝胶样品字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图2 鸡肉糜凝胶的水分分布

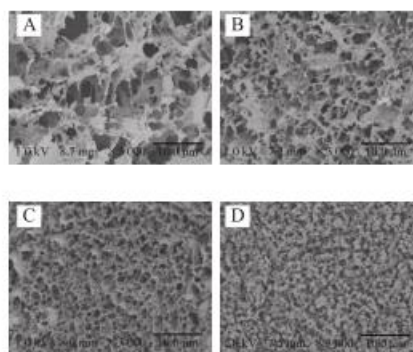
Fig. 2 Moisture distribution in chicken breast gels

如图2所示, 鸡肉糜凝胶在 $T_2$  0.01~1 000 ms内出现4个峰, 且每个峰代表不同的水分状态。4个不同的水族群分别为 $T_{2b}$  (0.1~1 ms, 与蛋白质分子结合较为紧密的结合水)、 $T_{21}$  (1~10 ms, 部分不易

流动水)、 $T_{22}$  (10~1 000 ms, 不易流动水)、 $T_{23}$  (1 000~10 000 ms, 自由水)。由于 $T_{2b}$ 部分对凝胶保水性的影响可以忽略不计且 $T_{22}$ 部分在凝胶体系中的占比最大, 所以 $T_{22}$ 变化和对应的峰比例被用来分析鸡肉糜凝胶体系中水分流动以及水分分布情况。

$T_2$ 缩短说明水分流动性减弱, 而 $T_2$ 的延长反映水分流动性的增强<sup>[25]</sup>。由图2A可知, 随着壳寡糖添加量的增加, 凝胶的 $T_{22}$ 逐渐缩短 (左移), 表明添加壳寡糖可以减小凝胶中水分的流动性, 使凝胶中含有更多的固定水, 最终形成的凝胶网络结构保水性较高。从图2B也可以看出, 随着壳寡糖添加量的增加,  $T_{23}$ 代表的自由水的峰面积占比显著下降, 且不易流动水 ( $T_{22}$ ) 峰面积的占比逐渐提高, 这说明鸡肉糜凝胶在加热过程中的自由水向不易流动水流动, 减少了凝胶蒸煮过程中水分损失, 这可能是因为水分子与寡糖之间形成的氢键产生了一种类似于“笼形”结构, 从而使更多水分子禁锢在壳寡糖-鸡肉肌原纤维蛋白的复合网络结构中<sup>[26]</sup>。

### 2.4 鸡肉糜凝胶微观结构的分析



A~D. 分别为壳寡糖添加量0%、1%、2%、4%的样品。

图3 鸡肉糜凝胶的微观结构

Fig. 3 Microstructure of chicken breast gels



图4 鸡肉糜凝胶的表现图

Fig. 4 Pictures of chicken breast gels

由图3可知, 纯鸡肉凝胶呈现出疏松的三维凝胶网络, 在放大3 000倍下观察到有几个大孔且结构较为松散, 这可能是由于高温条件下鸡肉中蛋白质过度聚集<sup>[5]</sup>, 破坏了凝胶网络的微观结构, 而添加壳寡糖可明显改善鸡肉糜凝胶的致密性。与对照组相比, 随着壳寡糖添加量的增加鸡肉糜凝胶具有更紧密的凝胶网络结构, 形成的凝胶网络结构更加规则紧凑, 均匀有序, 且孔径逐渐变小。这种更加均匀和结实的凝胶网络结构可以束缚更

多水分<sup>[22]</sup>, 增强肉糜凝胶保水性, 该结果与质构分析以及蒸煮损失分析结果一致, 说明添加壳寡糖有助于鸡肉糜凝胶在高温条件下形成更良好的凝胶网络结构。由鸡肉糜凝胶的表观图(图4)可知, 随着壳寡糖含量的增加, 鸡肉糜凝胶的横截面气孔较少且光滑, 说明其凝胶网络结构良好, 进一步验证了上述分析。

### 2.5 鸡肉糜凝胶色泽的分析

表3 鸡肉糜凝胶的色泽

壳寡糖质量分数/%	L*	a*	b*
0	83.45 ± 0.30 <sup>a</sup>	2.27 ± 0.16 <sup>d</sup>	10.77 ± 0.14 <sup>d</sup>
1	82.85 ± 0.12 <sup>b</sup>	3.56 ± 0.04 <sup>c</sup>	12.36 ± 0.13 <sup>c</sup>
2	80.77 ± 0.48 <sup>c</sup>	4.31 ± 0.18 <sup>b</sup>	13.46 ± 0.13 <sup>b</sup>
4	78.33 ± 0.34 <sup>d</sup>	5.56 ± 0.19 <sup>a</sup>	15.65 ± 0.22 <sup>a</sup>

肉糜凝胶的色泽是由肌红蛋白、血红蛋白的含量以及外源添加物的颜色共同决定<sup>[27]</sup>。由表3可知, 随着壳寡糖添加量的增加, 鸡肉糜凝胶的L\*值呈下降趋势, 而a\*值和b\*值均呈上升趋势, 与高廷轩等<sup>[24]</sup>的结果一致, 这可能是因为壳寡糖本身呈淡黄色, 添加量越大, 肉糜凝胶的颜色越黄。

### 2.6 电子鼻对鸡肉糜凝胶样品的分析

#### 2.6.1 电子鼻对鸡肉糜凝胶样品的雷达图分析

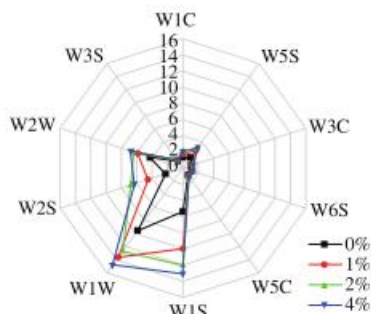


图5 电子鼻对鸡肉糜凝胶雷达图

Fig. 5 Radar map analysis of chicken breast gels by electronic nose

如图5所示, 传感器对鸡肉糜凝胶气味的响应主要集中在W5S、W1S、W1W、W2S、W2W, 这表明鸡肉糜凝胶中含有氮氧化物、甲基化合物、硫化物、醇、醛和酮类。相比之下, 传感器W2S、W2W的响应值低于W1W和W1S传感器, 且不同处理组鸡肉糜凝胶的数值表现出一定差异。美拉德反应产物中含有醛类物质, W2S传感器对不同组中鸡肉糜凝胶气味的响应值强度依次为: 2% > 4% > 1% > 0%, 但添加2%和4%壳寡糖的组别间区别不明显。这可能是由高温条件下添加了不同质量分数的壳寡糖与鸡肉中的肌原纤维蛋白通过美拉德反应产生不同程度的芳香醛类物质所致。

#### 2.6.2 电子鼻对鸡肉糜凝胶样品PCA

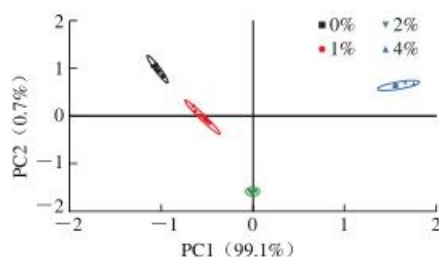


图6 鸡肉糜凝胶PCA得分图

Fig. 6 PCA score plot of chicken breast gels

由图6可知, PC1占比99.1%, PC2占比0.7%, 且PC1贡献率远大于PC2的贡献率, 两种PC的主要贡献率为99.8% (远大于80%), 说明两种PC包括了鸡肉糜凝胶的大部分香味物质, 且不同处理组间香味物质差异显著。不同处理组鸡肉糜凝胶并未出现重叠现象, 表明不同组别的鸡肉糜凝胶存在显著的气味差异。另外, 图中横纵坐标距离显示出样品挥发性强弱, 距离越远, 挥发性越强<sup>[28]</sup>, 从PC1角度(主要贡献)看, 不同壳寡糖添加量样品组的采集点与坐标轴的距离为4% > 2% > 1% > 0%, 表明壳寡糖添加量4%的鸡肉糜凝胶中含有更多的挥发性气味, 与雷达图的结果一致。这可能是因为美拉德反应中, 壳寡糖添加量4%的鸡肉糜凝胶中产生了更多醛类化合物。以上分析结果表明, 随着壳寡糖添加量的增加, 鸡肉糜凝胶含有更多芳香物质。

### 2.7 鸡肉糜凝胶的感官评定

表4 鸡肉糜凝胶感官评分

壳寡糖质量分数/%	外观	气味	质构	多汁性	整体可接受度
0	7.00 ± 0.36 <sup>c</sup>	6.80 ± 0.41 <sup>b</sup>	7.70 ± 0.52 <sup>c</sup>	7.00 ± 0.30 <sup>b</sup>	7.25 ± 0.58 <sup>c</sup>
1	7.52 ± 0.81 <sup>c</sup>	7.20 ± 0.52 <sup>b</sup>	7.80 ± 0.80 <sup>c</sup>	7.30 ± 0.32 <sup>b</sup>	7.50 ± 0.20 <sup>c</sup>
2	8.00 ± 0.59 <sup>c</sup>	8.00 ± 0.71 <sup>a</sup>	8.40 ± 0.61 <sup>b</sup>	7.80 ± 0.28 <sup>a</sup>	8.20 ± 0.42 <sup>b</sup>
4	7.20 ± 0.48 <sup>b</sup>	8.00 ± 0.58 <sup>a</sup>	8.80 ± 0.43 <sup>a</sup>	8.00 ± 0.41 <sup>a</sup>	8.50 ± 0.49 <sup>a</sup>

由表4可知, 与对照组相比, 壳寡糖添加量为1%、2%时, 121 °C条件下形成的鸡肉糜凝胶的外观分数增加, 然而当壳寡糖添加量为4%时, 外观分数下降(但仍高于对照组), 这可能是因为当壳寡糖添加量为4%时, 鸡肉糜凝胶的颜色较深, 而消费者更喜欢接近鸡肉原色的色泽所致。与对照组相比, 添加壳寡糖也会改变鸡肉糜凝胶高温煮制时的气味, 这可能是因为高温条件下糖和蛋白质发生美拉德反应, 从而一定程度上改变了鸡肉糜凝胶的气味; 随着壳寡糖添加量的增加气味评分越高, 该结果也与电子鼻的分析结果一致, 表明壳寡糖能对鸡肉糜凝胶风味起到正向促进作用, 评价者认可度较高。结果表明, 壳寡糖添加量为4%的鸡肉糜凝胶可能更

受消费者喜爱,其产物质构分数以及多汁性分数最高,说明评价者更喜欢食用多汁性强且更均匀、紧实、光滑,孔径较小的鸡肉糜凝胶产品。此外,壳寡糖添加量为4%的鸡肉糜凝胶的整体可接受度最高,这说明壳寡糖可以作为一种改良剂应用于高温条件下鸡肉糜凝胶品质的改善。

### 3 结论

将壳寡糖添加到鸡肉糜凝胶中,通过质构、蒸煮损失、水分分布、冷场发射扫描电子显微镜、电子鼻、色泽以及感官评定等方法探究壳寡糖添加量(0%、1%、2%、4%)对121℃条件下鸡肉糜凝胶品质的影响。研究发现壳寡糖可以改善鸡肉糜凝胶在高温条件下的凝胶品质,且当壳寡糖添加量为4%时,改善效果最佳。质构分析结果表明添加壳寡糖可以显著改善鸡肉糜凝胶的硬度以及咀嚼度,但是对弹性和内聚性(除壳寡糖添加量4%)的改善结果不显著;添加壳寡糖使鸡肉糜凝胶的蒸煮损失率从24.25%下降至15.58%,保水性得到提高;壳寡糖也可以改善鸡肉糜凝胶中水分分布情况,使不易流动水比例升高,自由水比例下降, $T_2$ 减小;微观结构分析表明,添加壳寡糖形成的鸡肉糜凝胶网络结构更加致密、均匀且规则;另外添加壳寡糖可以使鸡肉糜凝胶的气味及色泽发生积极变化,整体可接受度在壳寡糖添加量为4%时达到最佳。

### 参考文献:

- PETRACCI M, MUDALAL S, BABINI E, et al. Effect of white striping on chemical composition and nutritional value of chicken breast meat[J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2014, 13(1): 174-175. DOI:10.4081/ijas.2014.3138.
- GIBBS R A, RYMER C, GIVEN S D I. Postgraduate symposium longchain n-3 PUFA: intakes in the UK and the potential of a chicken meat prototype to increase them[J]. *Proceedings of the Nutrition Society*, 2010, 69(1): 144-155. DOI:10.1017/S0029665109991716.
- JEREMIAH L E, GIBSON L L. Cooking influences on the palatability of roasts from the beef hip[J]. *Food Research International*, 2003, 36(1): 1-9. DOI:10.1016/S0963-9969(02)00093-5.
- CHEN B, ZHOU K, WANG Y, et al. Insight into the mechanism of textural deterioration of myofibrillar protein gels at high temperature conditions[J]. *Food Chemistry*, 2020, 330: 127186. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.127186.
- CHEN B, GUO J, XIE Y, et al. Modulating the aggregation of myofibrillar protein to alleviate the textural deterioration of protein gels at high temperature: the effect of hydrophobic interactions[J]. *Food Chemistry*, 2021, 341: 128274. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.128274.
- CHEN B, ZHOU K, XIE Y, et al. Glutathione-mediated formation of disulfide bonds modulates the properties of myofibrillar protein gels at different temperatures[J]. *Food Chemistry*, 2021, 364: 130356. DOI:10.1016/j.foodchem.2021.130356.
- GRAVELLE A J, MARANGONI A G, BARBUT S. Insight into the mechanism of myofibrillar protein gel stability: influencing texture and microstructure using a model hydrophilic filler[J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 60: 415-424. DOI:10.1016/j.foodhyd.2016.04.014.
- NIU H L, XIA X F, WANG C, et al. Thermal stability and gel quality of myofibrillar protein as affected by soy protein isolates subjected to an acidic pH and mild heating[J]. *Food Chemistry*, 2018, 242: 188-195. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.09.055.
- HU H Y, PEREIRA J, XING L J, et al. Thermal gelation and microstructural properties of myofibrillar protein gel with the incorporation of regenerated cellulose[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 86: 14-19. DOI:10.1016/j.lwt.2017.07.015.
- FAN M C, HUANG Q L, ZHONG S Y, et al. Gel properties of myofibrillar protein as affected by gelatinization and retrogradation behaviors of modified starches with different crosslinking and acetylation degrees[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 96: 604-616. DOI:10.1016/j.foodhyd.2019.05.045.
- LIN K W, HUANG H Y. Konjac/gellan gum mixed gels improve the quality of reduced-fat frankfurters[J]. *Meat Science*, 2003, 65(2): 749-755. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.05.025.
- 李楠, 吴婧, 单林鲜, 等. 壳聚糖-三七叶黄酮复合保鲜剂对冷鲜黄牛肉的保鲜效果[J]. *肉类研究*, 2020, 34(4): 71-76. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200220-050.
- WALAYAT N, XIONG Z Y, XIONG H G, et al. Cryoprotective effect of egg white proteins and xylooligosaccharides mixture on oxidative and structural changes in myofibrillar proteins of *Colter alburnus* during frozen storage[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 158: 865-874. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2020.04.093.
- PAN S K, WU S J. Effect of chitoooligosaccharides on the denaturation of weever myofibrillar protein during frozen storage[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2014, 65: 549-552. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2014.01.074.
- LAN M J, LI L, PENG X L, et al. Effects of different lipids on the physicochemical properties and microstructure of pale, soft and exudative (PSE)-like chicken meat gel[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 145: 111284. DOI:10.1016/j.lwt.2021.111284.
- ZHUANG X B, JIANG X P, ZHOU H Y, et al. The effect of insoluble dietary fiber on myofibrillar protein emulsion gels: oil particle size and protein network microstructure[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 101: 534-542. DOI:10.1016/j.lwt.2018.11.065.
- WANG Y T, WANG S S, LI R, et al. Synergistic effect of corn fiber gum and chitosan in stabilization of oil in water emulsion[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2022, 154: 112592. DOI:10.1016/j.lwt.2021.112592.
- CHEN Q, HU Y Y, WEN R X, et al. Characterisation of the flavour profile of dry fermented sausages with different NaCl substitutes using HS-SPME-GC-MS combined with electronic nose and electronic tongue[J]. *Meat Science*, 2021, 172: 108338. DOI:10.1016/j.meatsci.2020.108338.
- ZHUANG X B, HAN M Y, KANG Z L, et al. Effects of the sugarcane dietary fiber and pre-emulsified sesame oil on low-fat meat batter physicochemical property, texture, and microstructure[J]. *Meat Science*, 2016, 113: 107-115. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.11.007.
- NIETO T V N, WANG Y X, OZIMEK L, et al. Improved thermal gelation of oat protein with the formation of controlled phase-separated networks using dextrin and carrageenan polysaccharides[J]. *Food Research International*, 2016, 82: 95-103. DOI:10.1016/j.foodres.2016.01.027.
- 王未君. 多糖对瘦肉丸及肌原纤维蛋白特性影响的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014: 1-8.
- 焦文娟, 张立彦, 皮鹤珍. 胖大海胶对鸡胸肉糜品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(2): 116-119. DOI:10.3969/j.issn.1673-9078.2012.06.009.
- SHAN L Y, LI Y, WANG Q M, et al. Profiles of gelling characteristics of myofibrillar proteins extracted from chicken breast: effects of temperatures and phosphates[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 129: 109525. DOI:10.1016/j.lwt.2020.109525.
- 高廷轩, 邓绍林, 赵雪, 等. 多糖协同超声波处理对低盐鸡肉糜凝胶特性的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(19): 148-156. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20201102-016.
- QIN H, XU P, ZHOU C L, et al. Effects of L-arginine on water holding capacity and texture of heat-induced gel of salt-soluble proteins from breast muscle[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 63(2): 912-918. DOI:10.1016/j.lwt.2015.04.048.
- 杨天, 耿文豪, 郑志红, 等. 褐藻寡糖对鲢鱼鱼糜稳定性、分子间作用力及肌原纤维蛋白结构的影响[J]. *肉类研究*, 2021, 35(7): 1-8. DOI:10.7506/RLYJ1001-8123-20210428-116.
- ZHAO X, WU T, XING T, et al. Rheological and physical properties of O/W protein emulsions stabilized by isoelectric solubilization/precipitation isolated protein: the underlying effects of varying protein concentrations[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 95: 580-589. DOI:10.1016/j.foodhyd.2018.03.040.
- 黄业传, 王洋, 彭春雷. 玫瑰花提取液对发酵香肠品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(3): 205-211. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.028572.