

白云, 罗玲英, 庄昕波, 等. 超高压预处理对乳化肠品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(24): 231–234.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.24.064

超高压预处理对乳化肠品质的影响

白云¹, 罗玲英^{1,2}, 庄昕波¹, 韩敏义¹, 徐幸莲¹, 周光宏¹

(1. 南京农业大学肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心, 江苏南京 210095; 2. 南京农业大学工学院, 江苏南京 210031)

摘要:以质构特性、蒸煮损失、色泽、显微结构、流变学特性为指标, 研究超高压作用(100、200、300 MPa, 9 min)对乳化肠品质特性的影响及其机制, 旨在为新型低温乳化肠的研发提供理论依据。结果表明, 随着压力(0.1~200 MPa)升高, 乳化肠的蒸煮损失显著降低($P < 0.05$), 硬度逐渐下降, 亮度增大, 红度减小, 同时乳化肠中的脂肪颗粒变小, 网络结构较为致密; 但当压力升至 300 MPa 时, 乳化肠硬度显著下降, 储能模量急剧降低, 内部形成了碎片化的松散结构, 不利于形成良好的品质。因此, 在一定压力范围内(≤ 200 MPa), 超高压处理可以改善乳化肠的品质。

关键词:超高压; 肉糜; 乳化肠; 品质; 机制

中图分类号: TS251.6⁺5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)24-0231-04

乳化肠是由瘦肉、脂肪、水、盐和其他添加物通过斩拌、乳化等工艺加工而成的凝胶类制品, 具有营养美味、食用方便等特点, 因而受到消费者的喜爱^[1]。但由于乳化肠在煮制及贮藏时肌肉蛋白聚集收缩, 导致孔径中的水分及脂肪流失^[2], 造成了产品出水出油, 质构特性变差, 影响了其外观和商业

收稿日期: 2018-04-25

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 31471601); 现代农业产业技术体系建设专项资金(编号: CARS-35)。

作者简介: 白云(1984—), 女, 陕西汉中, 人, 博士研究生, 实验师, 主要从事肉品加工与质量安全控制研究。E-mail: baiyun@njau.edu.cn。

通信作者: 周光宏, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事肉品加工与质量安全控制研究。E-mail: guanghong.zhou@hotmail.com。

强, 同时, 乙酸乙酯相中总多酚、总黄酮含量最高, 分别是(37.54±0.51)%、(30.53±0.92)%。其他萃取物的总黄酮、总多酚含量与抗氧化活性强弱排序一致, 总多酚、总黄酮含量与清除自由基能力呈负相关, 与总还原能力呈显著或极显著正相关, 而总多糖含量与清除自由基能力呈正相关, 提取物中黄酮类、多酚类可能是主要抗氧化物质, 可以通过进一步的分离提纯活性较好、多酚黄酮含量高的乙酸乙酯相、正丁醇相, 得到抗氧化活性物质。

本研究综合评价了白术提取物不同极性溶剂萃取物的抗氧化活性, 并探讨了抗氧化能力与总多酚、总黄酮和多糖含量之间的相关关系, 可以为白术抗氧化活性物质的分离研究提供科学依据。

参考文献:

- [1] 赵保路. 自由基、营养、天然抗氧化剂与衰老[J]. 生物物理学报, 2010, 26(1): 26–36.
- [2] 李驰荣, 黄惠, 龚盛昭, 等. 18 种中药的抗氧化活性及成分分析[J]. 中国化妆品, 2016(增刊 2): 69–71.
- [3] 谢明, 宗可欣, 富波, 等. 中药白术的研究综述[J]. 黑龙江医药, 2015(2): 299–301.

价值。

食品超高压加工技术(HPP)是一项近年来流行起来的非热加工技术, 不仅可以改善肉类嫩度, 有效灭菌延长货架期, 同时也不会影响肉类风味和营养成分^[3]。随着超高压设备的发展, 该技术受到了更多学者的重视, 用于肉类蛋白修饰, 以期获得食用品质较好的肉制品。超高压作用于单纯的肉类蛋白已有了很多研究, 如对猪肉蛋白质结构的影响^[4]、对鸡肉凝胶特性的影响^[5]等, 但从分子变化角度阐述超高压对乳化肠这一复杂对象的整体影响鲜有报道。本研究以猪背最长肌为原料制成乳化肠, 研究超高压对产品质构、肉色及保水保油性等食用品质的影响, 进一步通过探究乳化肠的微观结构以及流变特性, 分析超高压处理影响乳化肠品质特性的机制, 为利用超高压技术改善乳化肠品质提供理论和技术依据。

- [4] Wang J M, Zhang X, Kang W Y. Antioxidant activity of *Atractylodes lancea* and *Atractylodes lancea* Preparata[J]. Fine Chemicals, 2010, 27(7): 664–666.
- [5] 林晓, 张莱娣, 廖小媚, 等. 白术总黄酮提取及其抗氧化活性的研究[J]. 广州化工, 2015, 43(7): 72–74.
- [6] 崔紫姣, 张彩云, 刘彬彬, 等. Folin-Ciocalteu 比色法测定甜茶总多酚含量[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(3): 158–160.
- [7] 饶丽明, 朱岳鑫, 吴立蓉. 白术总黄酮提取工艺研究[J]. 中国处方药, 2016, 14(6): 36–38.
- [8] 宫江宁, 饶玉, 杨义菊, 等. 大孔树脂吸附纯化黔产龙胆草多糖工艺优化[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 178–181.
- [9] 鄯佩娟, 段旭昌, 王敏, 等. 长裂苦苣菜甲醇提取物各极性成分的抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(16): 146–150.
- [10] 曹清明, 郭靖宇, 钟海雁, 等. 油茶叶中黄酮的超声辅助提取及其抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(3): 162–166.
- [11] 欧阳凯, 何先元, 陈飞, 等. 四齿四棱草总皂苷提取工艺优化及抗氧化性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 141–145.
- [12] 李伟, 张应团. 火棘多酚类物质的体外抗氧化作用[J]. 食品工业科技, 2008(9): 121–123.
- [13] 胡均亮, 陆方菊, 陈功, 等. 不同来源红曲米多酚类化合物和抗氧化活性的聚类分析[J]. 中国酿造, 2017, 36(3): 39–43.

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

试验原料选用优质猪背最长肌、猪背膘,其他辅料食盐、糖、三聚磷酸钠、白胡椒粉等购于江苏省南京市农贸市场。

SANYO SIM-F124 制冰机(日本三洋公司);TE412-L 电子天平(美国赛多利斯公司);UMC-5C 斩拌机(德国 Stephan 公司);S-IL-100-850-9-W 高压设备(英国 Stansted 公司);TA-XT Plus 物性测试仪(英国 Stable Micro System 公司);DC-800 真空包装机(美国希悦尔公司);TW20 通用水浴槽(德国 Julabo 公司);MCR301 旋转流变仪(奥地利 Anton Paar 公司);CR 400 便携式色差仪(日本 Konica Minolta 公司);CM1900 冷冻切片机(德国 Leica 公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 样品处理 将背最长肌用筛孔直径为 0.8 cm 的绞肉机绞碎后真空包装,100、200、300 MPa 处理 9 min,0.1 MPa 为对照组,温度保持在 10 ℃。

1.2.2 肉糜制作 参照 Lin 等的方法^[6],稍加改动。以瘦肉 50 g、肥膘 20 g 计,其他添加物为冰水 30 g、食盐 1.5 g、糖 0.5 g、三聚磷酸钠 0.2 g、白胡椒粉 0.3 g。先将肥膘用直径 0.8 cm 筛孔的绞肉机绞碎,然后将处理组及对照组瘦肉分别放入斩拌机,1 500 r/min 斩拌 30 s,斩拌过程中加入食盐、三聚磷酸钠和 1/3 冰水,停 3 min;再 1 500 r/min 斩拌 30 s,斩拌过程中加入其他辅料、猪背膘和 1/3 冰水,停 3 min;最后 3 000 r/min 斩拌 60 s,斩拌过程中加入 1/3 冰水,中心温度低于 10 ℃。

1.2.3 乳化肠制作 将肉糜放入 50 mL 离心管中,80 ℃ 水浴加热 20 min,之后 4 ℃ 冷藏。

1.3 质构特性的测定

1.3.1 样品预处理 将 4 ℃ 冷藏的乳化肠置于室温平衡 2 h,然后用平行刀将其切成高 2 cm 的圆柱体,切面要平整垂直。

1.3.2 质构参数设定 试验选用 P50 探头,测前、测时、测后速度分别为 10、5、10 mm/s,压缩比为 75%,触发力 20 g。数据通过仪器自带的宏 TPA-Macro 进行计算。得到的质构参数:硬度(hardness),即第 1 次压缩时使用力的最大值(g);内聚性(cohesiveness),即第 2 次压缩曲线面积和第 1 次压缩曲线面积的比值;弹性(springiness),即第 1 次压缩后样品的回复百分比;咀嚼性(chewiness),即硬度×内聚性×弹性。

1.4 蒸煮损失的测定

称取 25 g 生肉糜至 50 mL 离心管中,500 g 离心 15 min 以便去除肉糜中的气泡。之后将离心管放入 80 ℃ 水浴中加热 20 min。取出后将离心管倒置放于干燥皿(干燥皿提前称质量 m_1)中,在室温下放置 50 min 后,称取干燥皿的质量 m_2 。

蒸煮损失 = $\frac{m_2 - m_1}{25} \times 100\%$ 。

1.5 色泽的测定

选用 D65 光源,并用白板对色差仪进行矫正。将 4 ℃ 冷藏的乳化肠置于室温平衡 2 h,切成 2 cm 厚的块状,然后使用色差计测定其色泽。其中 L^* 代表亮度值, a^* 代表红绿值(正值偏红,负值偏绿), b^* 代表黄蓝值(正值偏黄,负值偏蓝)。

1.6 微观结构的测定

乳化肠中的蛋白与脂肪的存在状态通过石蜡切片法进行显微观察^[7]。石蜡切片的主要步骤:取 5 mm×5 mm×2 mm 的乳化肠片,浸泡于 10% 的甲醛溶液中固定 24 h 以上,将切片脱水后浸入透明剂与熔化的石蜡(1:1)的混合液中 20~30 min,然后移入纯石蜡中,再用铝质包埋容器使其凝固成蜡块。石蜡凝固后,用旋转切片机将其切成 5~8 μm 切片,经过苏木精-伊红染色、透明、封藏后即可用于显微镜观察。

1.7 流变学测定

参照 Feng 等的方法,并稍作修改^[8]。探头选用 PP50,将处理组及对照组的生肉糜均匀涂布于测试平台,并赶走气泡。测试参数:振荡模式,狭缝间距 0.5 mm,频率 0.1 Hz,应变 2%,测定温度 20~80 ℃,1 ℃/min 升温。测试开始前为防挥发,在狭缝处加一层液体石蜡。测定指标为储能模量 G' (弹性模量)。

1.8 统计方法

试验数据采用 SPSS 20.0 分析软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同压力对乳化肠质构特性的影响

由表 1 可知,与对照组样品相比,超高压处理后,乳化肠的硬度随压力升高逐渐下降,至 300 MPa 时硬度急剧下降。究其原因可能是随着压力的升高,肌原纤维蛋白的溶解性增加,影响了蛋白质分子之间的结合方式,网络结构交联度降低,导致水分子进入,凝胶硬度下降^[9]。100 MPa 处理后,乳化肠的弹性、咀嚼性与对照组无显著差异,之后随压力升高都有不同程度的下降,尤其是 300 MPa 时急剧下降。这可能由于压力较低时,可以使肌动球蛋白活性巯基含量小幅度提高,隐藏在蛋白内部的巯基暴露表面,而压力较高时肌动球蛋白变性,总巯基含量减少,不能形成紧密的网络结构^[10]。Ros-Polski 等研究发现,鸡肉在 300 MPa 处理 3 min 相对于 200 MPa 处理时,硬度显著下降,是由于经过超高压处理后的蛋白已经部分变性,在加热的过程中不再解折叠,因此影响了其加热后的硬度^[11]。

2.2 不同压力对乳化肠蒸煮损失的影响

由图 1 可知,随着压力升高,乳化肠蒸煮损失逐渐降低,

表 1 压力对乳化肠质构特性的影响

压力 (MPa)	质构特性			
	硬度(g)	弹性	内聚性	咀嚼性
0.1	6 169.64 ± 276.68a	0.85 ± 0.01a	0.64 ± 0.02b	3 352.81 ± 198.91a
100	5 714.19 ± 464.38b	0.86 ± 0.01a	0.68 ± 0.01a	3 331.23 ± 250.92a
200	4 758.98 ± 72.92c	0.83 ± 0.01a	0.54 ± 0.01c	2 156.68 ± 76.95b
300	993.15 ± 117.45d	0.45 ± 0.04b	0.33 ± 0.02d	148.06 ± 26.73c

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。表 2 同。

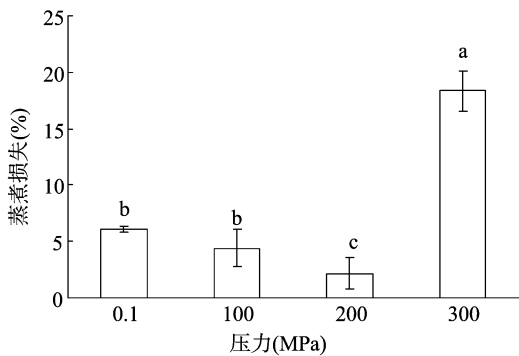


图1 不同压力对乳化肠蒸煮损失的影响

至 200 MPa 时,达到最低,当压力升至 300 MPa,蒸煮损失显著升高($P<0.05$),且大于对照组。不同的压力会对蛋白分子的展开、聚集产生不同作用。较低压力可以促进蛋白分子局部变性解聚,疏水残基周围形成网络结构,从而提高蛋白质的溶解性,有利于加强蛋白质-水的相互作用并引起乳化体系中水分分布的变化,从而提高了蛋白凝胶的保水性^[12-13]。这与马亚萍等的研究结果基本一致,其发现添加了卡拉胶的鸡胸肉肉糜经高压处理后,蒸煮损失及失水率随着压力升高先减小,在 200~400 MPa 达最低值后,又随着压力升高逐渐增加^[14]。Wang 等研究发现 100 MPa 压力下,肌球蛋白凝胶的保水性最高,因为肌球蛋白在适当的压力下会部分变性,从而形成紧密的网络结构,当压力上升后,肌球蛋白分子聚集,其结构过度变性,从而无法形成有力的网络结构,造成水分损失^[15]。

2.3 不同压力对乳化肠色泽的影响

不同压力处理对肉糜颜色影响主要体现在红度值与亮度值,其中 L^* 值(亮度)在 200 MPa 高压处理时最高, a^* 值(红度)随着压力增大呈现逐渐减小趋势,即肉糜红度逐渐减小, b^* 值(黄度)在 200 MPa 及以下处理时与对照组无明显差异,压力增大为 300 MPa 时,显著增加,颜色偏黄。肉色主要与肌红蛋白、血红蛋白关系密切,其中肌红蛋白有 3 种形式:氧合肌红蛋白 MbO₂(鲜红色)、肌红蛋白 Mb(暗红色)和高铁肌红蛋白 MetMb(褐色)^[16],这三者的比例决定了肉制品的颜色。高压导致肉糜红度变浅的原因可能是肌红蛋白被氧化成高铁肌红蛋白,同时高压会引起球蛋白部分变性,导致铁原子释放,或使卟啉环被破坏,进而促进了肌红蛋白的氧化^[17]。 L^* 值的增加与肉糜保水性及表面结构变化有关,肉糜中的含水量增加,会使表面对光线的反射或吸收作用发生改变。该结果与马汉军的研究相似,他发现牛肉经高压处理后肌原纤维蛋白变性聚集,肌红蛋白溶解性降低,从而使其 L^* 值增加^[18]。Shigehisa 等同样研究发现,随着压力升高, L^* 值逐渐增加直至到达一个恒定值,而 b^* 值基本保持不变^[19]。

表2 不同压力对乳化肠色泽的影响

压力 (MPa)	色泽		
	L^*	a^*	b^*
0.1	73.88 ± 0.31b	2.58 ± 0.17a	9.12 ± 0.22b
100	74.52 ± 0.59b	1.85 ± 0.21b	9.34 ± 0.14b
200	75.80 ± 0.61a	1.17 ± 0.16c	9.38 ± 0.12b
300	73.60 ± 1.17b	1.32 ± 0.10c	10.12 ± 0.28a

2.4 不同压力对乳化肠显微结构的影响

图 2 是乳化肠苏木精-伊红(H-E)染色后的显微图片,

白色部分为猪背膘颗粒,红色部分为肌肉蛋白。由图中可知,随着压力的升高,乳化肠中的脂肪颗粒逐渐变小,当压力为 200 MPa 及以下时,脂肪与肌肉蛋白能较好地结合在一起,这是因为经超高压处理,会使肌动蛋白与肌球蛋白的结合解离,将肌原纤维蛋白解离成小片段,同时肌肉内的钙激活酶活性增加,加速蛋白水解,使肌肉硬度下降^[20],所以在斩拌的时候脂肪与蛋白颗粒分布的更加均一。这可以解释加压后乳化肠蒸煮损失及质构特性结果,在较低压力处理条件下乳化肠肌肉蛋白与脂肪之间结合牢固,脂肪颗粒小且分布均匀,因此保水保油性较好,硬度减小。当压力升至 300 MPa,乳化肠中出现了大量缝隙和孔洞(见图中箭头),存在大块的肌肉碎片,蛋白与脂肪之间的交联度变差。这是由于压力为 200 MPa 以上时,蛋白质的三维结构发生改变,肌球蛋白解折叠程度加深,同时也伴随着疏水氨基酸的暴露^[21],表面疏水性急剧增加,进而导致部分蛋白质发生聚集^[15],不能形成紧密的网络结构,因而呈现出碎片化、松散的结构。由于在 300 MPa 时,乳化肠的内部蛋白结构发生碎片化,不能与脂肪发生很好地交联,脂肪球虽然可以以更加小的颗粒存在,但是在蒸煮的时候脂肪球不能被很好地包裹,导致大量渗油和渗水现象,同时质构特性急剧下降。

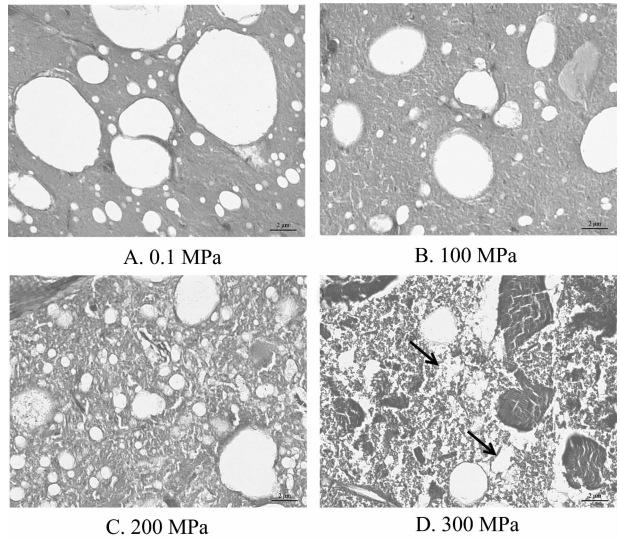


图2 超高压作用对乳化肠显微结构的影响(200×)

2.5 不同压力下肉糜流变特性的变化

储能模量(G')代表样品弹性的变化,是反映溶液分子交联程度的参数。由图 3 可知,除 300 MPa 处理组,其余高压组与对照组的肉糜 G' 随温度变化趋势基本一致,均是随温度上升缓慢上升,当温度升至 45 ℃ 时,对照组迅速下降,后随温度升高再次升高,100 MPa 及 200 MPa 处理组 G' 下降趋势推迟至 50 ℃ 时发生,这一段 G' 急剧下降区域可能是由于肌球蛋白头部发生聚集后尾部展开,造成临时形成的网络结构遭到破坏,也可能是由于加热诱导蛋白部分氢键断裂,一部分 α 螺旋构象转变成其他构象导致,进而促使蛋白凝胶网络结构的形成^[22]。高压导致这一趋势推迟说明高压处理会影响肌球蛋白尾部的展开^[23]。而 300 MPa 处理组峰消失,此结果与 Hwang 等学者在罗非鱼的鱼肉凝胶研究上的结果相似,其发现当压力为 200 MPa 及以上时,53 ℃ 处的峰值微弱甚至完全消失,说明肌球蛋白头部在此阶段降低甚至丧失了聚集能力^[24]。随后, G' 随着温度继续升高而急剧升高,这可能是由

于肌球蛋白分子的进一步聚集从而形成了三维网络结构,这要归因于二硫键的形成和疏水相互作用的加强^[25]。随着温度升高,肉糜储能模量逐渐增加,至 75 ℃ 左右时达最高值,300 MPa 处理后的肉糜储能模量远低于对照组和 100 ~ 200 MPa 处理组,说明过度高压不利于形成弹性较好的乳化肠。同时该结果与质构特性及显微结构结果一致,说明经适度高压处理后的肉糜,其质构特性与未经高压处理后的肉糜差异不明显,但过度高压会显著降低肉糜的硬度、弹性等,导致其结构松散易碎,不利于乳化肠的形成。

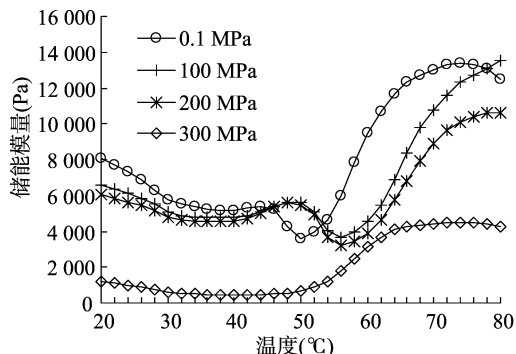


图3 不同压力对肉糜升温过程中储能模量的影响

3 结论

超高压处理可以显著提高乳化肠的保水保油性,200 MPa 处理下,乳化肠蒸煮损失最小。乳化肠的硬度随压力升高逐渐下降,至 300 MPa 时,硬度急剧下降。乳化肠 L^* 值在高压处理 200 MPa 时最高, a^* 值随着压力增大呈现逐渐减小趋势。随着压力的升高,乳化肠中的脂肪颗粒逐渐变小,网络结构较为致密,而当压力升至 300 MPa 时,乳化肠形成了碎片化的松散结构。总体而言,随着压力升高,乳化肠品质逐渐变好,但当压力升至 300 MPa 时,乳化肠品质急剧降低。本研究发现,200 MPa 高压预处理猪背最长肌 9 min 时,乳化肠食用品质最好,因此,本研究可为新型低温乳化肠的研发提供理论参考。

参考文献:

- [1] 杨慧娟,韩敏义,邹玉峰,等. 低场核磁共振研究高压处理对乳化肠特性的影响[J]. 食品科学,2014,35(17):53-57.
- [2] 杨慧娟,徐幸莲,周光宏. 应用超高压技术改善降脂乳化肠的滴水损失[J]. 食品科学技术学报,2016,34(5):70-77.
- [3] 郝泰峰,许洪高,高彦祥. 超高压灭菌及其对食品品质的影响[J]. 食品科学,2009,30(23):498-503.
- [4] 郭丽萍,熊双丽,黄业传. 超高压结合热处理对猪肉蛋白质相互作用力及结构的影响[J]. 现代食品科技,2016,32(2):196-204.
- [5] 方红美,陈从贵,马力量,等. 大豆分离蛋白及超高压对鸡肉凝胶色泽、保水和质构的影响[J]. 食品科学,2008,29(10):129-132.
- [6] Lin K W, Lin H Y. Quality characteristics of chinese-style meatball containing bacterial cellulose (Nata) [J]. Journal of Food Science, 2004,69(3):107-113.
- [7] Gomes A J, Lunardi C N, Lunardi L O, et al. Identification of psoralen loaded PLGA microspheres in rat skin by light microscopy [J]. Micron, 2008,39(1):40-44.
- [8] Feng X C, Chen L, Lei N, et al. Emulsifying properties of oxidatively stressed myofibrillar protein emulsion gels prepared with (-) -

- epigallocatechin-3-gallate and NaCl [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017,65(13):2816-2826.
- [9] 胡飞华,陆海霞,陈青,等. 超高压处理对梅鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 水产学报,2010,34(3):329-335.
- [10] Hsu K C, Hwang J S, Yu C C, et al. Changes in conformation and in sulfhydryl groups of actomyosin of tilapia (*Oreochromis niloticus*) on hydrostatic pressure treatment [J]. Food Chemistry, 2007,103(2):560-564.
- [11] Ros-Polski V, Koutchma T, Xue J, et al. Effects of high hydrostatic pressure processing parameters and NaCl concentration on the physical properties, texture and quality of white chicken meat [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2015,30:31-42.
- [12] Ma F, Chen C G, Sun G J, et al. Effects of high pressure and CaCl₂ on properties of salt-soluble meat protein gels containing locust bean gum [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2012,14:31-37.
- [13] Tabilo-Munizaga G, Barbosa-Canovas G V. Pressurized and heat-treated surimi gels as affected by potato starch and egg white: microstructure and water-holding capacity [J]. LWT - Food Science and Technology, 2005,38(1):47-57.
- [14] 马亚萍,康壮丽,王嘉楠,等. 卡拉胶结合超高压处理对鸡胸肉糜品质的影响[J]. 食品工业科技,2016,37(6):275-279,286.
- [15] Wang M Y, Chen X, Zou Y F, et al. High-pressure processing-induced conformational changes during heating affect water holding capacity of myosin gel [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2017,52(3):724-732.
- [16] 胡煌,吕飞,丁玉庭. 肉制品的呈色机理和色泽评定研究进展[J]. 肉类研究,2016,30(12):48-53.
- [17] 马汉军,周光宏,潘润淑,等. 高压处理对鸡肉丸品质的影响[J]. 食品科学,2009,30(19):128-130.
- [18] 马汉军. 高压和热结合处理对僵直后牛肉品质的影响[D]. 南京:南京农业大学,2004:103-109.
- [19] Shigehisa T, Ohmori T, Saito A, et al. Effects of high hydrostatic pressure on characteristics of pork slurries and inactivation of microorganisms associated with meat and meat products [J]. International Journal of Food Microbiology, 1991,12(2):207-215.
- [20] 赵菲,刘敬斌,关文强,等. 超高压处理对冰温保鲜牛肉品质的影响[J]. 食品科学,2015,36(2):238-241.
- [21] Huppertz T, Fox P F, Kelly A L. High pressure treatment of bovine milk: effects on casein micelles and whey proteins [J]. Journal of Dairy Research, 2004,71(1):97-106.
- [22] Iwasaki T, Noshiroya K, Saitoh N, et al. Studies of the effect of hydrostatic pressure pretreatment on thermal gelation of chicken myofibrils and pork meat patty [J]. Food Chemistry, 2006,95(3):474-483.
- [23] Villamonte G, Simonin H, Duranton F, et al. Functionality of pork meat proteins: impact of sodium chloride and phosphates under high-pressure processing [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2013,18:15-23.
- [24] Hwang J S, Lai K M, Hsu K C. Changes in textural and rheological properties of gels from tilapia muscle proteins induced by high pressure and setting [J]. Food Chemistry, 2007,104(2):746-753.
- [25] Liu Q, Bao H R, Xi C R, et al. Rheological characterization of tuna myofibrillar protein in linear and nonlinear viscoelastic regions [J]. Journal of Food Engineering, 2014,121:58-63.