

宰后放置时间 对牛肉匀浆物热诱导凝胶特性的影响

刘 萌,余小领*,王紫燕

(河南科技学院食品学院,河南新乡 453003)

摘要:通过对宰后1、2、3、4、5d的牛肉匀浆物的可溶性蛋白质浓度、凝胶的保水特性、凝胶强度及质构特性等指标的测定,研究宰后放置不同时间对牛背最长肌匀浆物热诱导凝胶特性的影响。结果表明,匀浆物的蛋白质浓度与凝胶保水性随放置时间呈现相同的先降后升的变化趋势,而凝胶强度、脱水率、硬度、粘性与咀嚼性则呈现相反的先升后降趋势。宰后放置时间较短时(1~3d),凝胶弹性呈现先升后降的显著变化,当放置较长时间(≥ 4 d),弹性值有所回升,但变化并不显著。宰后放置较短时间(1~3d),内聚性随宰后时间的增加显著降低,宰后放置较长时间(≥ 4 d),内聚性增加并趋于稳定。由此可知,宰后放置不同时间对牛肉匀浆物的凝胶特性影响较大,且各指标随宰后时间的变化趋势存在明显的相关性,可为凝胶类肉制品生产的原料选择提供理论依据。

关键词:牛肉匀浆物,凝胶特性,宰后放置时间

Effect of postmortem chilling time on the heat-induced gelation properties of beef homogenate

LIU Meng, YU Xiao-ling*, WANG Zi-yan

(Department of Food Science and Technology, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China)

Abstract: In this paper, the soluble protein concentration of homogenate, the water holding capacity and texture properties of gelation and gel strength were measured to study the effect of postmortem chilling time(1,2,3,4,5d) on the heat-induced gelation properties of beef homogenate. The results showed that the postmortem chilling time influenced significantly on protein concentration, dehydration rate, water retention, hardness, springiness, cohesiveness, gumminess, chewiness of gelation and gel strength, respectively. As the postmortem chilling time prolonged, the protein concentration and the water retention firstly decreased and then increased, while the dehydration rate, hardness, gumminess and chewiness changed conversely. The springiness fall down after it ascended firstly in the first three days, then increased, but the recovery was not significant. The cohesiveness decreased significantly in the first three days, increased then and finally got stabilized. In conclusion, there existed significant effect of postmortem chilling time of fresh beef on protein concentration and gelation properties and the effect existed obvious interaction, which will provide a theoretical basis for the selection of raw material of gelation meat products.

Key words: beef homogenate; gelation properties; postmortem chilling time

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)03-0086-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.03.009

牛肉具有高蛋白质、低脂肪、低胆固醇、营养丰富、肉质鲜美等特点,是一种营养价值较高的保健型肉食品,深受国际国内市场的青睐^[1-2]。随着生活水

平的提高,人们对牛肉的消费需求量日益增加。肌肉蛋白质形成热诱导凝胶的特性是肉制品加工的重要特性,在很大程度上决定了肉糜类和重组类肉制品的质地、外观和出品率等^[3]。肌肉蛋白质凝胶的功能特性主要包括凝胶的保水性、凝胶强度和质构特性。其中,保水性影响肉制品的风味、营养成分、多汁性、嫩度等感官品质,与肉制品的出品率和经济效益关系密切。凝胶的质构特性和凝胶强度是考察肌肉蛋白质凝固状况的重要参数。肌肉蛋白质形成凝胶的过程比较复杂,除受蛋白质结构特征和分子特征影响外,加工条件、环境因素及其它成分相互作用也会导致凝胶特性发生变化^[4]。

收稿日期: 2014-04-16

作者简介: 刘萌(1988-),女,硕士研究生,主要研究方向:肉品质量控制。

*通讯作者: 余小领(1973-),女,博士,副教授,主要研究方向:肉品质量控制。

基金项目: 国家自然科学基金项目(31101310);河南省高校科技创新人才支持计划项目(2011HASTTT024);河南省高校科技创新团队支持计划资助(13IRTSTHN006)。

目前国内外关于肌肉凝胶特性的报道很多,大多致力于研究凝胶的形成机理^[5-6]以及凝胶特性的影响因素(如肌肉类型^[7]、pH^[8-9]、温度^[10]、离子强度^[11]、多聚磷酸盐^[12]等)。这些研究往往将肌肉提取成分若干成分,单独进行成胶实验,或者依据溶解特性将蛋白(如盐溶蛋白)提取出来进行单独的凝胶实验,而对宰后时间没有限制,导致不同的研究者得到的结论有很大差异。有报道指出,肉的成熟程度影响凝胶特性^[13],我们的前期研究也发现,宰后不同时间猪肉匀浆物凝胶特性差异显著^[3]。然而大多研究关注的是宰后成熟对牛肉食用品质的影响,关于宰后放置时间对牛肉凝胶特性的影响研究鲜见报道。因此,本实验以牛背最长肌为原料,研究宰后放置不同时间牛肉匀浆物的可溶性蛋白质浓度、凝胶的保水特性、凝胶强度及质构特性等指标的变化趋势,探讨宰后放置时间对牛肉匀浆物凝胶特性的影响,以为凝胶类肉制品生产的原料选择提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

选择常规屠宰工艺屠宰后的牛胴体(河南新乡卫辉市世魁清真肉业有限公司提供),在屠宰后45min内从胴体上分割两条背最长肌作为实验材料。剔除可见脂肪和结缔组织,将每条牛背最长肌分割成质量为(100±5)g的小肉块若干份,在0~4℃条件下贮存。然后分别于宰后1、2、3、4、5、6d取样,进行相关指标的测定。

牛血清白蛋白 购自北京奥博星生物技术有限公司;氯化钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、无水硫酸铜、四水合石酸钾钠、氢氧化钠、盐酸(分析纯) 购自天津市科密欧化学试剂有限公司;TA XT-Plus型质构分析仪 英国 Stable Micro System 公司;3-18K型冷冻离心机德国 SIGMA 公司;Ultra Turrax T25 数显型高速分散机 德国 IKA 公司;WFJ7200型分光光度计 尤尼科上海仪器有限公司;DELTA320型 pH计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;BS223S型电子分析天平 上海天平仪器厂;HH-4型数显恒温水浴锅 常州国华电器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 肌肉匀浆物的制备 参照 Lesiów 等^[14]的方法制备匀浆物,并稍作改动如下:将肉样剪碎,准确称量后加入3倍体积0.67mol/L的NaCl溶液,并进行匀浆处理(8000r/min,3×20s),再用0.1mol/L HCl或NaOH将匀浆物的pH调整到6.33,然后将匀浆物分装到50mL离心管中,在0~4℃冰箱中静置过夜,取上清液进行蛋白质浓度的测定。

1.2.2 可溶性蛋白含量的测定 采用双缩脲法^[15]测定蛋白浓度。

1.2.3 热诱导凝胶的制备 参照王祎娟^[3]的方法制备凝胶,并加以改进如下:将制备好的牛肉匀浆物从冰箱取出,置于恒温水浴锅中加热,以1℃/min的速率从30℃梯度上升至70℃,并在70℃保温30min,取出离心管冰浴条件下保温1h即得凝胶,然后置于0~4℃条件下贮存备用。测定指标前将凝胶从冰箱

取出,在室温下放置30min后再进行凝胶脱水率、保水性、凝胶强度及质构特性的测定。

1.2.4 凝胶脱水率(Purge Loss)测定 将凝胶从4℃冰箱取出,准确称量后,用滤纸吸出凝胶渗出的水分,记录除水前后离心管与凝胶的总重以及空离心管的重量,按照公式(1)计算凝胶脱水率。每个样品测定6个重复。

$$\text{凝胶脱水率}(\%) = \left(1 - \frac{W_1 - W}{W_2 - W}\right) \times 100$$

式中:W₁为除水后凝胶和离心管总重;W₂为除水前凝胶和离心管总重;W为离心管重。

1.2.5 凝胶保水性测定 参照 Kocher 等的离心法^[16]测定凝胶的保水性(WHC, water holding capacity)。将制备好的凝胶准确称重后,于4℃条件下以8000r/min离心10min,用滤纸吸出多余的水分,记录离心前后离心管与凝胶的总重以及空离心管的重量。按照公式(2)计算凝胶保水性。每个样品测定6个重复。

$$\text{WHC}(\%) = \frac{W_1 - W}{W_2 - W} \times 100$$

式中:W₁为离心后凝胶和离心管总重,g;W₂为离心前凝胶和离心管总重,g;W为离心管重,g。

1.2.6 凝胶强度(Gel Strength)测定 参考简华君^[17]的方法并作稍加修改。测量参数设定:探头型号:P/0.5R,测前速率1.0mm/s,测试速率0.5mm/s,测后速率1.0mm/s,穿刺测试距离8mm,感应力5g。然后用质构仪自带的软件进行分析并计算凝胶强度(g)。每个处理测定6个重复。

1.2.7 凝胶质构特性测定 参考 Kristensen^[18]的方法并稍加修改,采用TA XT-PLUS质构仪的TPA模式对牛肉匀浆物凝胶的质构特性进行测定。测量参数设定:探头型号:P/0.5R,测前速率2.0mm/s,测试速率1.0mm/s,测后速率2.0mm/s,穿刺测试距离10mm,感应力5g。每个处理测定6个重复。各质构参数及定义如下:

硬度(Hardness):样品达到一定形变所必须的力,指第一次穿冲样品时的压力峰值,g。

弹性(Springiness):变形样品在去除变形力后恢复到变形前的条件下的高度或体积比率,表示为第二次穿刺的测量高度同第一次测量高度的商值。

内聚性(Cohesiveness):指样品抵御第二次穿刺变形而相对于第一次探头穿刺的程度,表示为第二次穿刺的用功面积除以第一次的用功面积的商值。

粘性(Gumminess):该值模拟表示将半固体样品破裂成吞咽时的稳定状态所需的能量,表示为(硬度×内聚性),g。

咀嚼性(Chewiness):该值模拟表示将半固体样品咀嚼成吞咽时的稳定状态所需的能量,表示为(硬度×内聚性×弹性),g。

1.3 数据统计分析

所有实验均做6次平行实验,结果表示为平均值±标准偏差。采用SPSS20.0统计分析软件对实验数据进行描述性分析、方差分析和多重比较,并采用Origin7.5软件绘图。

2 结果与讨论

2.1 宰后放置时间对肌肉匀浆物中可溶性蛋白质浓度的影响

不同宰后时间牛肉匀浆物中可溶性蛋白质浓度变化见图1。

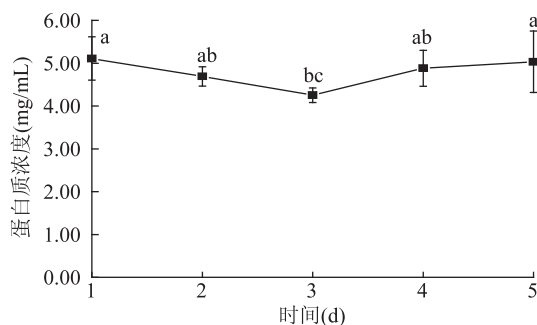


图1 宰后放置时间对牛肉匀浆物可溶性蛋白质浓度的影响

Fig.1 Effect of postmortem chilling time on the soluble protein concentration of beef homogenate

注:标有不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。

由图1可知,随着宰后时间的延长,匀浆物中可溶性蛋白质浓度呈先降后升的趋势。宰后第1d肌肉匀浆物的蛋白质浓度达到最大值,为5.11mg/mL;宰后第3d达到最低值,为4.25mg/mL。其中,宰后第1d与第3d、第5d与第3d的蛋白质浓度差异显著($p < 0.05$),其余差异不显著。蛋白质溶解度随宰后时间的变化规律可能与肌肉的宰后变化密切相关,宰后早期肌肉中乳酸的积累导致pH下降,肌肉中的酸性环境会导致肌肉蛋白变性,从而引起其溶解度下降。进入成熟期后,肌肉中许多酶类对某些蛋白质有分解作用,使肽链解离,游离氨基酸和盐基氮类含氮物增加,可溶性蛋白质含量增加^[19]。

2.2 宰后放置时间对凝胶的保水特性的影响

不同宰后时间牛肉匀浆物凝胶的保水特性(脱水率与保水性)的变化趋势见表1。

表1 宰后不同时间对牛肉匀浆物凝胶保水特性的影响

Table 1 Effect of postmortem chilling time on the water holding capacity of beef homogenate gelation

宰后时间(d)	凝胶脱水率(%)	凝胶保水性(%)
1	1.41 ± 1.16 ^b	47.33 ± 1.52 ^a
2	31.72 ± 3.28 ^a	40.83 ± 1.25 ^c
3	32.22 ± 3.75 ^a	36.13 ± 1.69 ^d
4	23.29 ± 6.76 ^a	40.11 ± 1.12 ^c
5	3.69 ± 2.12 ^b	43.51 ± 0.80 ^b

注:数值表示为平均值 ± 标准偏差($n = 6$),每行上标不同字母者差异显著($p < 0.05$)。

凝胶脱水率作为凝胶重要的功能特性之一,是衡量凝胶水分截留程度的变量^[4],与凝胶肉制品加工密切相关。由表1可知,随着宰后时间的延长,凝胶脱水率呈先升后降的趋势,其中第3d达到最大值,为32.22%。由多重比较结果可知,宰后第2~4d的脱水率差异不显著,但显著高于第1d和第5d的脱

水率($p < 0.05$),而后者差异不显著。

保水性是考察凝胶网络结构保持水分的能力,由表1可知,宰后不同时间对凝胶保水性有显著影响。凝胶保水性随宰后时间的增加呈现先降后升的趋势,宰后第1d达到最大值,为47.33%;在第3d达到最小值,为36.13%,其中,除了宰后第2d与第4d差异不显著外,其余均差异显著($p < 0.05$)。蛋白凝胶中的水分主要是通过蛋白水合作用和毛细管作用束缚在凝胶网络中的,宰后放置较短时间时,肌肉中可溶性蛋白质浓度的下降引起蛋白质水合作用和毛细管作用下降,随着凝胶网络中空隙的增多,凝胶的保水力显著降低^[20]。进入成熟期后,蛋白质浓度增加,凝胶保水性随之增加。

肌肉凝胶保水特性的变化规律与蛋白浓度呈现出极大的相关性,宰后初期(1~3d),肌肉匀浆物的蛋白质浓度随宰后时间呈现下降趋势,凝胶的保水性也随之降低,而凝胶的脱水率增加;当放置较长时间时(≥ 4 d),蛋白质浓度随宰后时间呈现上升趋势,凝胶保水性也随之增加,脱水率降低。Xiong^[21]的研究表明,蛋白质浓度的增加能够提高凝胶的保水性。徐幸莲等^[22]在研究蛋白质浓度、pH、离子强度对兔骨骼肌肌球蛋白热凝胶特性的影响时也得到相同结论。

2.3 宰后放置时间对凝胶强度的影响

不同宰后时间牛肉匀浆物凝胶强度的变化趋势见图2。

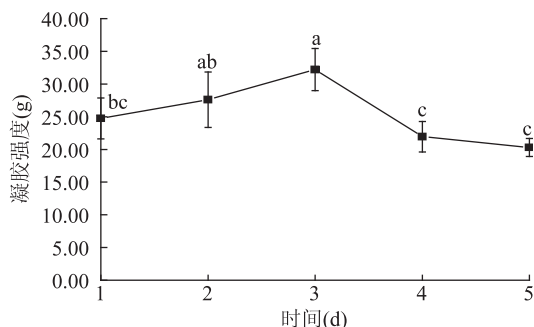


图2 宰后放置时间对牛肉匀浆物凝胶强度的影响

Fig.2 Effect of postmortem chilling time on the gel strength of beef homogenate

与凝胶脱水率的结果相似,肌肉匀浆物的凝胶强度随宰后时间整体呈现先升后降的变化趋势(见图2)。由图2可知,宰后放置时间对凝胶强度影响显著。宰后放置较短时间内(1~3d),凝胶强度随宰后时间的增加而显著增大($p < 0.05$),由第1d的24.74g增加至32.21g。当放置时间较长(≥ 4 d)时,随着宰后时间的延长,凝胶强度逐渐降低,但差异并不显著($p > 0.05$)。这可能是由于肉在宰后成熟过程中,肌球蛋白的重链发生了有限的蛋白分解作用,从而引起蛋白质凝胶强度降低^[23]。

2.4 宰后放置时间对凝胶质构特性的影响

不同宰后时间牛肉匀浆物热诱导凝胶质构特性的变化趋势见图3。

硬度是蛋白凝胶最重要的功能特性之一,凝胶

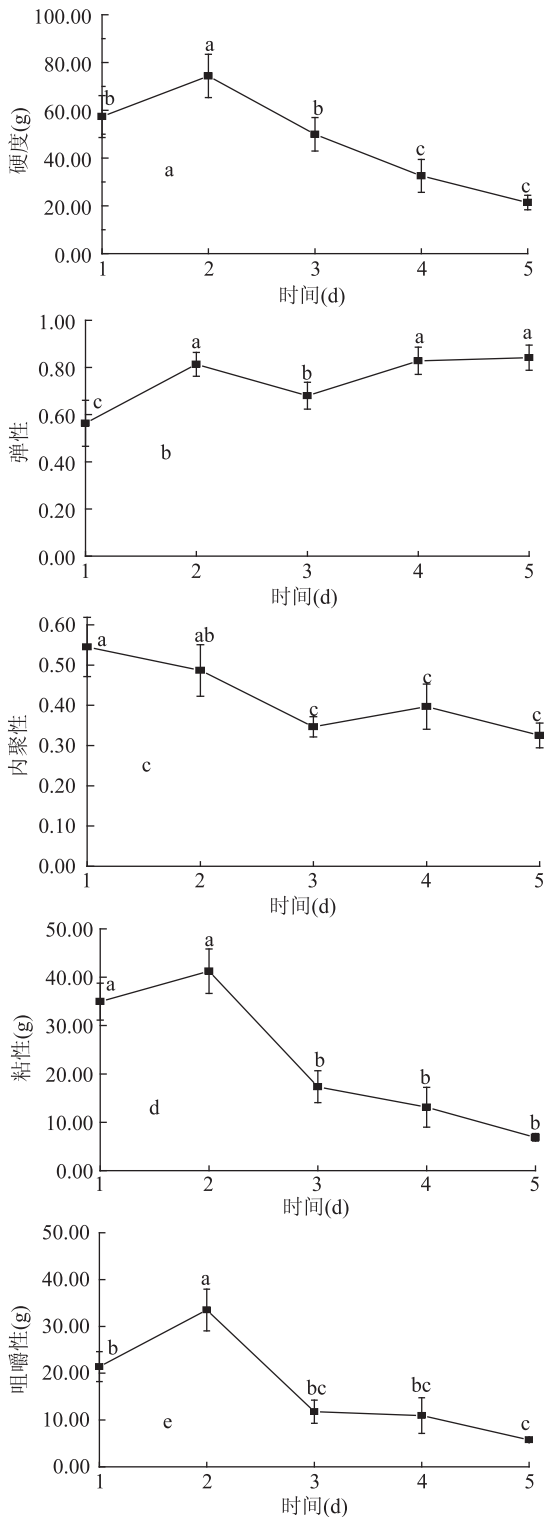


图3 宰后放置时间对牛肉匀浆物凝胶质构特性的影响

Fig.3 The effect of postmortem chilling time on the texture properties of beef homogenate gelation

- 注:a:宰后放置时间对凝胶硬度的影响;
- b:宰后放置时间对凝胶弹性的影响;
- c:宰后放置时间对凝胶内聚性的影响;
- d:宰后放置时间对凝胶粘性的影响;
- e:宰后放置时间对凝胶咀嚼性的影响。

的弹性、内聚性、粘性及咀嚼性也影响着凝胶的功能特性。由图3的结果可知,宰后放置时间对肌肉匀

浆物凝胶的质构特性有显著影响。随着宰后时间的增加,凝胶的硬度、粘性和内聚性均呈现规律性的先上升后下降趋势,于宰后第2d达到最大,分别为74.38、41.25、33.50g。宰后放置时间较短时(1~3d),弹性呈现先升后降的显著变化($p < 0.05$),当放置较长时间($\geq 4d$),弹性值有所回升,但变化并不显著($p > 0.05$)。而凝胶内聚性的变化趋势与凝胶弹性相反,宰后放置较短时间(1~3d),内聚性随宰后时间的增加显著降低($p < 0.05$),由第1d的0.55降低至0.35(第3d),最后趋于稳定($p > 0.05$)。

肌肉蛋白质凝胶特性不仅与肉制品的感官品质和加工工程的关系十分密切,同时也受形成凝胶的蛋白质浓度和蛋白质组分的影响^[24]。蛋白质的溶解是形成凝胶的前提条件,它可以反映蛋白质分子在不同环境条件和加工时的变化,可溶性蛋白含量的提高会导致凝胶特性的增强^[25]。肌肉匀浆物凝胶的质构特性也呈现出与蛋白质浓度极大的相关性。宰后初期,匀浆物的蛋白质浓度较高,因此宰后初期凝胶的硬度、内聚性、粘性和咀嚼性明显高于后三天的。而肉在成熟过程中,随着游离肌球蛋白向肌动球蛋白转化,凝胶硬度也发生改变,肌球蛋白的成丝能力逐渐丧失,形成的凝胶强度降低。

3 结论

宰后放置时间对肌肉匀浆物的蛋白质浓度以及凝胶特性均有显著影响,各指标随着宰后时间整体呈现规律性的变化趋势。其中蛋白浓度与凝胶保水性随宰后时间呈现先降后升的变化趋势,在宰后第3d达到最小值;凝胶强度、脱水率、硬度、粘性与咀嚼性则呈现先升后降趋势,凝胶的硬度、粘性与咀嚼性第2d达到最大,而凝胶强度和脱水率则是第3d达到最大。在宰后1~3d,凝胶弹性呈现先升后降的显著变化,内聚性随宰后时间的增加显著降低;宰后4~5d弹性值和内聚性趋于稳定。

参考文献

- [1] 刘丽,周光宏,王丽哲,等.宰后成熟时间对牛肉品质的影响[J].食品科学,2002,23(1):33-36.
- [2] 吴海波,方黎明,薛兵,等.肉牛宰后成熟阶段与食用品质相关指标的分析[J].黑龙江八一农垦大学学报,2002,14(2):77-81.
- [3] 王祎娟.宰后处理对猪肉凝胶特性和嫩度的影响[D].新乡:河南科技学院,2012.
- [4] 彭增起.肌肉盐溶蛋白溶解性和凝胶特性研究[D].南京:南京农业大学,2005.
- [5] Xu X L, Han M Y, Fei Y, et al. Raman spectroscopic study of heat-induced gelation of pork myofibrillar proteins and its relationship with textural characteristic[J]. Meat Science, 2011, 87(3): 159-164.
- [6] Xiong Y L, Blanchard S P, Ooizumi T, et al. Hydroxyl radical and ferryl-generating systems promote gel network formation of myofibrillar protein[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(2): C215-C221.
- [7] Westphalen A D, Briggs J L, Lonergan S M. Influence of muscle type on rheological properties of porcine myofibrillar

protein during heat-induced gelation[J]. Meat Science, 2006, 72(4): 697-703.

[8] Liu R., Zhao S., Xiong S., *et al.* Role of secondary structures in the gelation of porcine myosin at different pH values [J]. Meat Science, 2008, 80: 632-639.

[9] 费英, 韩敏义, 杨凌寒, 等. pH 对肌原纤维蛋白二级结构及其热诱导凝胶特性的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(1): 164-170.

[10] 孔保华, 王宇, 夏秀芳, 等. 加热温度对猪肉肌原纤维蛋白凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(5): 50-54.

[11] 郭世良, 赵改名, 王玉芬, 等. 离子强度和 pH 对肌原纤维蛋白热诱导凝胶特性的影响[J]. 食品科技, 2008, 33(1): 84-87.

[12] Hong G P., Chin K B. Evaluation of sodium alginate and glucono- δ -lactone levels on the cold-set gelation of porcine myofibrillar proteins at different salt concentrations [J]. Meat Science, 2010, 85(2): 201-209.

[14] 杨龙江, 南庆贤. 肌肉蛋白质的热诱导凝胶特性及其影响因素[J]. 肉类工业, 2001(10): 39-42.

[14] Lesiow T., Xiong Y L. Chicken muscle homogenate gelation properties: effect of pH and muscle fiber type [J]. Meat Science, 2003, 64(4): 399-403.

[15] 鲁奕俊. 猪肉颜色等级评定与不同颜色等级肌肉匀浆物凝胶特性的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.

[16] Kocher P N., Foegeding E A. Microcentrifuge-based method for measuring water-holding of protein gels [J]. Journal of Food

Science, 1993, 58(5): 1040-1046.

[17] 简华君. 大豆分离蛋白对肌原纤维蛋白凝胶性质的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2009.

[18] Kristensen L., Purslow P P. The effect of ageing on the water-holding capacity of pork: role of cytoskeletal proteins [J]. Meat Science, 2001, 58: 17-23.

[19] 周光宏主编. 肉品加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.

[20] Martinaud A., Mercier Y., Marinova P., *et al.* Comparison of oxidative processes on myofibrillar proteins from beef during maturation and by different model oxidation systems [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45(7): 2481-2487.

[21] Xiong Y L., Brekke C J. Changes in protein solubility and gelation properties of chicken myofibrils during storage [J]. Journal of Food Science, 1989, 54(5): 1141-1146.

[22] 徐幸莲, 周光宏, 黄鸿兵, 等. 蛋白质浓度、pH、离子强度对兔骨骼肌肌球蛋白热凝胶特性的影响[J]. 江苏农业学报, 2004, 20(3): 159-163.

[23] Yasui T., Ishioroshi M., Samejima K. Effect of actomyosin on heat-induced gelation of myosin [J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1982, 46(4): 1049-1059.

[24] 靳红果, 彭增起, 周光宏. 牛肉盐溶蛋白质热诱导凝胶特性研究[J]. 食品科学, 2008, 29(8): 95-99.

[25] 田锐花, 靳红果, 朱易, 等. 冷却和冷冻对猪背最长肌动态黏弹性和凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(3): 128-132.

(上接第 85 页)

457-460.

[13] 黄丽贞. 海产品中呈味成分甜菜碱的测定[J]. 上海水产大学学报, 1994, 3(3): 160-162.

[14] 高海燕, 王善广, 廖小军, 等. 不同品种梨汁中糖和有机酸含量测定及相关性分析[J]. 华北农学报, 2004, 19(2): 104-107.

[15] 孟庆玉, 黎源倩. 微波酸消解-原子吸收光谱法测定粽叶中 7 种金属元素的含量[J]. 现代预防医学, 2007, 34(24): 4711-4713.

[16] 党亚丽, 张中建, 闫小伟. 金华火腿水溶物的滋味成分分析[J]. 食品工业科技, 2013, 34(9): 82-85.

[17] Chen D., Zhang M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1200-1205.

[18] 李来好, 叶鸽, 郝淑贤, 等. 2 种养殖模式罗非鱼肉质品质的比较[J]. 南方水产科学, 2013, 9(5): 1-6.

[19] Hanifah N L., Anton A., Kensaku T., *et al.* Umami Taste Enhancement of SMG/NaCl Mixtures by Subthreshold L-a-Aromatic Amino Acids [J]. Journal of Food Science, 2005, 70(7): 401-405.

[20] Fuke S., Udea Y. Interactions between umami and other flavor characteristics [J]. Trends in Food Science and Technology, 1996, 7: 407-411.

[21] 胡彩虹, 许梓荣. 气相色谱法测定猪肉、鱼和虾中三甲胺

的含量[J]. 食品科学, 2001, 22(5): 62-64.

[22] 张文超, 梁桂英, 阳会军, 等. 饲料中添加甜菜碱对军曹鱼生长、体营养成分和血清生化指标的影响[J]. 南方水产科学, 2012, 8(3): 1-9.

[23] 卢春霞. 养殖大黄鱼脱脂脱腥工艺优化及其风味成分研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011, 1: 15-21.

[24] Rotzoll, Dunkel A., Hofmann T. Quantitative Studies, Taste Reconstitution and Omission Experiments on the Key Taste Compounds in Morel Mushrooms (*Morchella deliciosa* Fr [J]. Journal of Agriculture Food Chem, 2006, 54: 2705-2711.

[25] Fuke S., Konosu S. Taste-active components in some foods: A review of Japanese research [J]. Physiology & Behavior, 1991, (49): 863-868.

[26] 贾丹, 刘敬科, 孔进喜, 等. 不同体质量鲢肌肉中主要滋味物质的研究[J]. 华中农业大学学报, 2013, 32(3): 124-129.

[27] Yang J H., Lin H C., Mau J L. Non-volatile taste components of several commercial mushrooms [J]. Food Chemistry, 2001, 72(4): 465-471.

[28] Tseng Y H., Lee Y L., Li R C., *et al.* Non-Volatile flavour components of Ganoderma tsugae [J]. Food Chemistry, 2005, 90: 409-415.

[29] Chiang P D., Yen C T., Mau J L. Non-volatile taste components of various broth cubes [J]. Food Chemistry, 2007, 101(3): 932-937.