

不同处理条件 对猪肉匀浆物凝胶特性的影响

王祎娟¹,余小颖^{1,*},李学斌²,马汉军¹,段 虎¹,潘润淑¹

(1.河南科技学院食品学院,河南新乡 453003; 2.河南科技学院动物科学学院,河南新乡 453003)

摘 要:采用二次通用旋转实验设计,研究pH、NaCl浓度和加热温度对猪后腿肉匀浆物的蛋白质浓度及其热诱导凝胶特性的影响。结果表明,匀浆物的蛋白质浓度随着pH和NaCl浓度的增大而增大。pH和NaCl浓度对凝胶脱水率、保水性和凝胶强度的影响存在明显的交互作用,随着pH和NaCl浓度的升高凝胶的脱水率降低,随着加热温度的升高凝胶的脱水率增加。在一定范围内,凝胶的保水性与pH、NaCl浓度和加热温度呈正相关。在不同加热温度下,pH和NaCl浓度对凝胶强度的影响趋势基本一致。进行整体优化计算得到猪后腿肉匀浆物形成凝胶的最佳条件是:pH为6.33、NaCl浓度为0.67mol/L、加热温度为75℃。

关键词:猪肉,热诱导凝胶,蛋白质浓度,凝胶特性

Effect of different processing conditions on pork homogenate gelation properties

WANG Yi-juan¹, YU Xiao-ling^{1,*}, LI Xue-bin², MA Han-jun¹, DUAN Hu¹, PAN Run-shu¹

(1.Department of Food Science and Technology, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China;

2.Department of Animal Science and Technology, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China)

Abstract: Quadratic general rotary design was adopted to study effects of pH, sodium chloride concentration and heating temperature on heat-induced gelation properties of pork homogenate from hind leg. The results showed that protein concentration of homogenate increased with the increasing of pH and sodium chloride concentration within a certain range. There were interactions between pH and sodium chloride concentration on purge loss, water holding capacity and gelation strength. Purge loss declined with the increasing of pH and sodium chloride concentration while it increased with the increase of heating temperature. To some extent, the correlation of water holding capacity of gelation with pH, sodium chloride concentration and heating temperature were positively correlated. At different heating temperatures, the effect of pH and sodium chloride concentration on gelation strength were similar. The optimization calculation showed that the optimum condition of the formation of gelation was pH6.33, sodium chloride concentration 0.67mol/L, heating temperature of 75℃.

Key words: pork; heat-induced gelation; protein concentration; gelation properties

中图分类号:TS251.5+1

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2012)05-0112-05

蛋白质是肉中的主要成分,约占肉重的18%~20%。根据理化和功能特性,常分为三大类:肌原纤维蛋白、肌浆蛋白和基质蛋白^[1]。Ferry在1948年提出了蛋白质形成凝胶的机理,即天然蛋白质受热而变性展开,展

开的蛋白质因聚合作用形成较大分子的凝胶体^[2]。关于盐溶蛋白、肌原纤维蛋白、肌球蛋白等的凝胶机理及其凝胶特性和影响因素的研究一直受到国内外肉类科技工作者的广泛关注^[3-18]。Amity D. Westphalen等^[9]研究了肌肉类型对猪肉肌原纤维蛋白热诱导凝胶流变特性的影响。Sharp和Offer^[6]研究了温度对肌球蛋白的影响,证明温度发生改变时,蛋白质的聚集状态也随之改变。郭世良^[7]等考察了离子强度和pH

收稿日期:2011-05-17 * 通讯联系人

作者简介:王祎娟(1984-),女,硕士生,研究方向:肉品质量控制。

基金项目:河南省高校科技创新人才支持计划项目(2011HASTIT024)。

replacement for magnesium and zinc: functional comparison of the divalent ions[J]. Am Chem Soc, 1999, 121: 7360-7372.

[16] Gulsker JP, Katz AK, Bock CW. Metal ions in biological systems[J]. Rigaku, 1999, 16: 8-16.

[17] Kalinski A, Melroy DL, Dwivedi RS, et al. A soybean vacuolar protein (P34) related to thiol proteases is synthesized as a glycoprotein precursor during seed maturation[J]. Biol Chem, 1992, 267: 12068-12076.

对猪背最长肌肌原纤维热诱导凝胶特性的影响,得出离子强度为0.5、pH在6.5~7.0时有利于形成较好的凝胶。白艳红等^[10]研究了pH、NaCl、MgCl₂和复合磷酸盐对猪后腿肉盐溶蛋白提取率及热诱导凝胶的保水性和凝胶强度的影响,发现pH、NaCl与复合磷酸盐对凝胶保水性有显著影响,pH和NaCl对凝胶强度也有显著性影响。然而,国内外对肌肉匀浆物形成凝胶的条件及凝胶特性的研究鲜有报道。本实验通过三元二次通用旋转组合设计实验,研究pH、NaCl浓度及加热温度对猪后腿肉匀浆物热诱导凝胶特性的影响,并对实验结果进行分析,确定猪后腿肉匀浆物形成热诱导凝胶的最佳条件,为糜类肉制品的生产加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

样品 选择品种和饲养管理相同、活重(97±5)kg的杂交猪(淮南猪×长白猪×约克夏)6头,按照常规屠宰工艺屠宰,宰后45min内从胴体上分割两条猪后腿,置于0~4℃条件下备用;牛血清蛋白 北京奥博星生物技术有限公司;氯化钠 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;T25数显型高速分散机 美国IKA公司;IF300-15型雪花型制冰机 德国SIM有限公司;DELTA320型pH计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;WFJ 7200型分光光度计 尤尼科上海仪器有限公司。

1.2 实验设计

采用三因素二次通用旋转设计进行实验设计,其因素水平编码表如表1所示,实验设计表如表2所示。

表1 三元二次通用旋转组合设计因素水平编码表

Table 1 Factors levels coding table for ternary quadratic general rotary design

编码	x ₁ pH	x ₂ NaCl浓度(mol/mL)	x ₃ 加热温度(℃)
1.682	7.5	0.70	90.0
1	7.1	0.62	81.9
0	6.5	0.50	70.0
-1	5.9	0.38	58.1
-1.682	5.5	0.30	50.0

1.3 实验方法

1.3.1 肌肉匀浆物的制备 参照Lesiów等的方法^[12]并加以改进。首先取分装好的肉样在0~4℃冰箱中解冻20h,然后将肉切成0.5cm³的小块,准确称量并放入烧杯中,加入4倍体积的NaCl溶液,进行匀浆处理(8000r/min,每次20s,3次),用0.1mol/L NaOH和0.1mol/L HCl调节匀浆液的pH,然后将匀浆液分装到50mL离心管中,置于0~4℃冰箱中静置24h。

1.3.2 凝胶的制备 取出离心管置于水浴锅中,从30℃缓慢升温至实验设计的温度,并在此温度保温30min,然后置于冰浴中迅速降温1h即成凝胶,将制备好的凝胶置于4℃冰箱中保存备用。测定指标时从冰箱中取出凝胶,在室温下放置30min后再进行测定。

1.3.3 蛋白浓度测定 采用双缩脲法测定蛋白浓

表2 三元二次通用旋转组合设计

Table 2 Ternary quadratic general rotary design

实验号	x ₁	x ₂	x ₃
1	1	1	1
2	1	1	-1
3	1	-1	1
4	1	-1	-1
5	-1	1	1
6	-1	1	-1
7	-1	-1	1
8	-1	-1	-1
9	1.682	0	0
10	-1.682	0	0
11	0	1.682	0
12	0	-1.682	0
13	0	0	1.682
14	0	0	-1.682
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0

度,牛血清蛋白BSA作为标准蛋白。每处理组各做三个平行样。

1.3.4 凝胶脱水率测定 参照鲁奕俊的方法并稍做修改^[13]。用滤纸吸出凝胶渗出的水分,称重,按照式(1)计算凝胶脱水率。

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

式中:W₁为除水后凝胶和离心管的总重;W₂为除水前凝胶和离心管的总重;W为离心管重。每处理组各做三个平行样。

1.3.5 凝胶保水性测定 采用离心法测定凝胶的保水性^[14]。将制备好的凝胶以8000r/min离心10min后,用滤纸吸出多余的水分,再称重,按照式(2)计算凝胶保水性(WHC, water holding capacity)。

$$\text{凝胶保水性}(\%) = \frac{W_1 - W}{W_2 - W} \times 100\% \quad \text{式(2)}$$

式中:W₁为离心后的凝胶总重;W₂为离心前的凝胶总重;W为离心管重。每处理组各做三个平行样。

1.3.6 凝胶强度测定 使用质构仪测定凝胶强度^[15]。探头型号:P0.5。参数设定:测试前探头下降速度1.0mm/s,测试速度0.5mm/s,测试后探头上升速度1.0mm/s,穿刺测试距离15mm,感应力5g,用质构仪自带的软件进行分析并计算凝胶强度(g)。每处理组各做三个平行样。

1.4 数据处理

运用SPSS13.0统计软件的广义线性模型模块对所测定的数据进行相关及回归分析,用MATLAB7.0软件的绘图功能对实验分析结果进行反应曲面的绘制。

2 结果与分析

2.1 不同处理条件对猪后腿肉匀浆物蛋白质浓度的影响

以pH(x₁)和NaCl浓度(x₂)为自变量,匀浆物的蛋

白质浓度为因变量,进行多元回归分析后得到二次回归方程式(3)。

$$Y = -96.032 + 24.622x_1 + 70.972x_2 - 9.950x_1x_2 - 1.272x_1^2 \quad (R^2=0.749) \quad \text{式(3)}$$

用Matlab7.0软件绘制方程式(3)的响应曲面直观图,如图1所示。由图1可知,保持NaCl浓度不变时,随着pH上升,蛋白质浓度呈上升趋势,这与Vega-Warner等^[16]在牛半键肌肌原纤维蛋白质的溶解性研究得出的结论一致。NaCl浓度对蛋白质浓度的影响受pH影响,两者存在明显的交互作用。在较低pH范围内,随着NaCl浓度的上升,蛋白质浓度增大;在较高的pH范围内,NaCl浓度对蛋白质浓度影响较小。

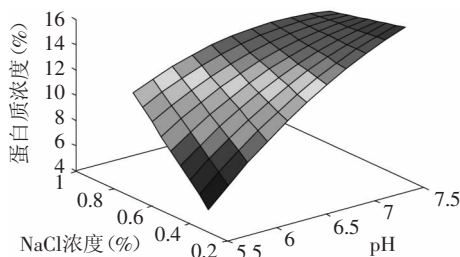


图1 pH和NaCl浓度对蛋白质浓度的影响

Fig.1 Effect of pH and sodium chloride concentration on protein concentration

对回归方程(3)中的 x_1 、 x_2 分别求导,得 $x_1=7.13$ 、 $x_2=0.65$,即当pH为7.13,NaCl浓度为0.65mol/L时,匀浆物的蛋白质浓度最大,这与李继红^[17]的研究结果比较接近,猪背最长肌在0.01mol/L $MgCl_2$ 、0.6mol/L NaCl和pH7.0的条件下,提取的盐溶蛋白浓度最大,这可能是因为较高的pH和离子强度提高了蛋白质与蛋白质间的净电排斥作用,促进了蛋白质分子的解离和溶解。

2.2 不同处理条件对猪后腿肉匀浆物凝胶脱水率的影响

以pH(x_1)、NaCl浓度(x_2)和加热温度(x_3)为自变量,匀浆物凝胶的脱水率为因变量,进行多元回归分析后得到二次回归方程式(4)。

$$Y = 609.110 - 139.795x_1 - 1284.324x_2 + 7.967x_3 + 116.094x_1x_2 - 0.756x_1x_3 + 3.579x_2x_3 + 8.184x_1^2 + 218.112x_2^2 - 0.030x_3^2 \quad (R^2=0.917) \quad \text{式(4)}$$

用Matlab7.0软件绘制方程(4)不同加热温度条件下的响应曲面直观图,如图2所示。由图2可知,所考察的加热温度条件下,pH和NaCl浓度对凝胶脱水率的影响趋势基本一致,随着pH和NaCl浓度的增加,凝胶脱水率呈下降趋势。与2.1的结果比较,推测凝胶脱水率下降可能与蛋白质的降解有一定的关系。Kristensen等^[18]认为,宰后2~7d的猪肉的持水性下降,7d后持水性增加,是由于骨架蛋白质的降解使肌细胞横向膨胀的结果,并指出降解的蛋白主要是把肌原纤维和细胞膜连接在一起的蛋白(如desmin),这些蛋白收缩时会导致肌原纤维网格结构收缩,最终使整个肌细胞收缩,收缩会形成汁液流失通道(drip channels)而增加汁液流失。

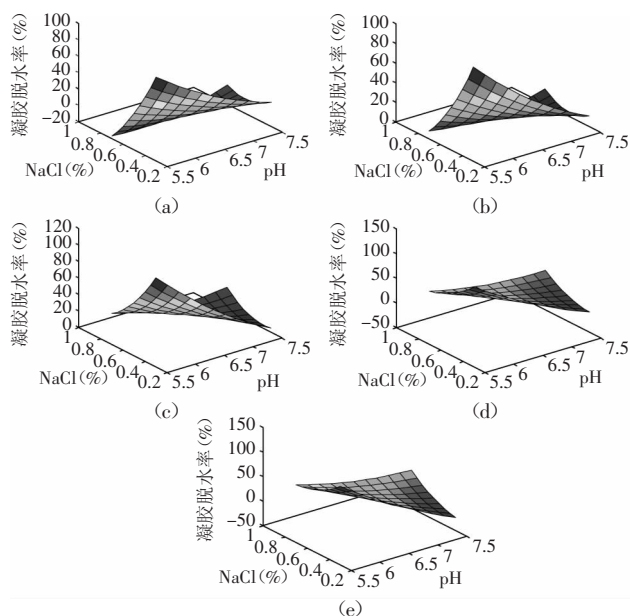


图2 不同加热温度下pH和NaCl浓度对凝胶脱水率的影响

Fig.2 Effect of pH and sodium chloride concentration on purge loss of gelation at different heating temperature

注:a:50℃;b:58.1℃;c:70℃;d:81.9℃;e:90℃。

2.3 不同处理条件对猪后腿肉匀浆物凝胶保水性的影响

以pH(x_1)、NaCl浓度(x_2)和加热温度(x_3)为自变量,匀浆物的凝胶保水性为因变量,进行多元回归分析得到二次回归方程式(5)。

$$Y = -422.587 + 117.320x_1 + 750.501x_2 - 4.258x_3 - 47.872x_1x_2 + 0.626x_1x_3 - 9.569x_1^2 - 332.540x_2^2 \quad (R^2=0.901) \quad \text{式(5)}$$

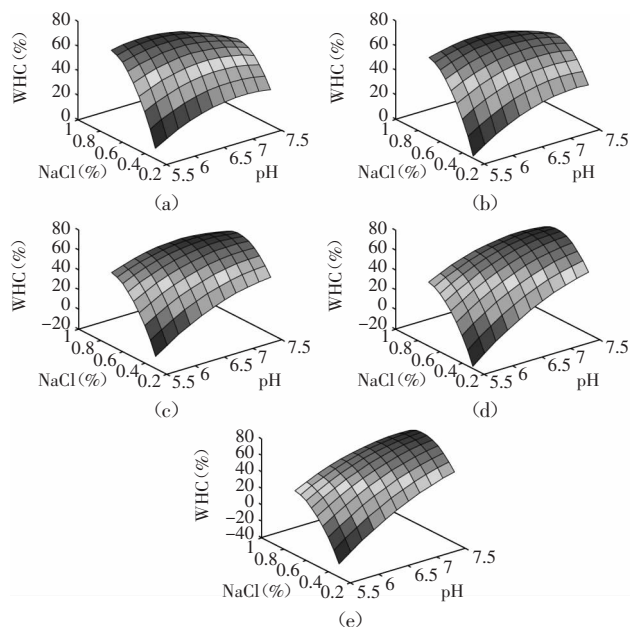


图3 不同加热温度下pH和NaCl浓度对凝胶保水性的影响

Fig.3 Effect of pH and sodium chloride concentration on WHC of gelation at different heating temperatures

注:a:50℃;b:58.1℃;c:70℃;d:81.9℃;e:90℃。

用Matlab7.0软件绘制方程(5)不同加热温度条件下的响应曲面直观图,如图3所示。由图3可知,在

所考察的加热温度条件下, pH和NaCl浓度对凝胶保水性的影响趋势总体上一致, 且因素间的交互作用显著。在pH和NaCl浓度较低时凝胶保水性较小, 随着pH和NaCl浓度增加, 凝胶的保水性增大, 这可能与蛋白质降解有关。Hamm^[19]在1986年提出了僵直后期蛋白质降解可提高猪肉的持水性的假设, 并且Davis等^[20]观察到在死后第7、14d肌间线蛋白降解多的样品持水性高(清洗损失少)。

对回归方程(5)中的 x_1 、 x_2 、 x_3 分别求导, 得 $x_1=6.80$ 、 $x_2=0.64$ 和 $x_3=69.39$, 即pH为6.80、NaCl浓度为0.64mol/L、加热温度为69.39℃时, 匀浆物凝胶的保水性最大。常青等^[21]研究了NaCl浓度、 Mg^{2+} 浓度、热变温度和pH对牛肉背最长肌和股二头肌盐溶蛋白凝胶保水性的影响, 也得出了相似的结论。pH和NaCl浓度对凝胶保水性的影响可能是因为NaCl通过增加提取液的离子强度, 使盐溶蛋白质的溶解度增大, 为凝胶网络结构的形成提供更多能交联的蛋白质分子, 同时pH通过电荷间的斥力作用使肌原纤维间的空间增大, 从而能结合更多的水分, 是它们的综合作用提高了凝胶的保水性。

2.4 不同处理条件对猪后腿肉匀浆物凝胶强度的影响

以pH(x_1)、NaCl浓度(x_2)和加热温度(x_3)为自变量, 匀浆物凝胶强度为因变量, 进行多元回归分析得到二次回归方程式(6)。

$$\hat{Y} = -486.647 + 42.156x_1 + 959.933x_2 + 5.536x_3 - 134.961x_1x_2 - 0.033x_3^2 \quad (R^2=0.790) \quad \text{式(6)}$$

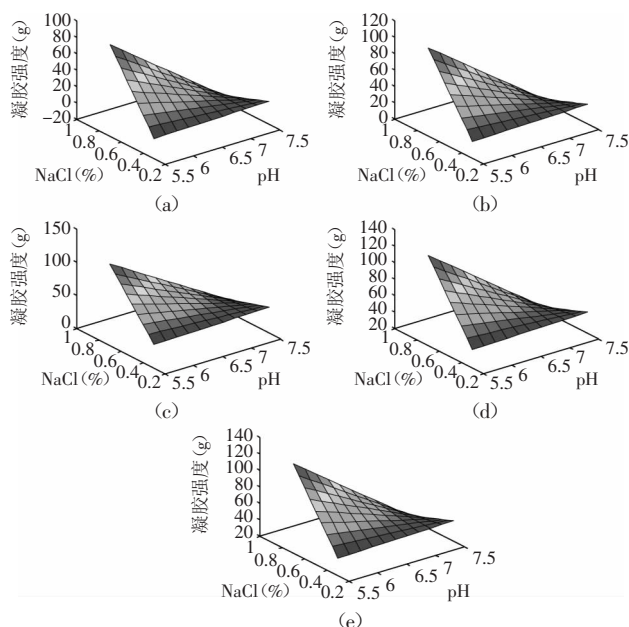


图4 不同加热温度下, pH和NaCl浓度对凝胶强度的影响

Fig.4 Effect of pH and sodium chloride concentration on strength of gelation at different heating temperature

注: a: 50℃; b: 58.1℃; c: 70℃; d: 81.9℃; e: 90℃。

用Matlab7.0软件绘制方程(6)不同加热温度条件下的响应曲面直观图, 如图4所示。由图4可知, 在不同加热条件下, pH和NaCl浓度对凝胶强度的影响趋势基本一致, 且两者存在明显的交互作用。pH较低时, 随着NaCl浓度增加凝胶强度增加; pH较高时, NaCl浓度对凝胶强度影响较小。NaCl浓度较低时, pH

对凝胶强度影响较小; NaCl浓度较高时, 凝胶强度随pH的增加而降低。加热温度50℃时凝胶强度小于58.1℃处理组, 而加热温度高于58.1℃时的凝胶强度趋于稳定。

对回归方程(6)中的 x_1 、 x_2 、 x_3 分别求导, 得 $x_1=7.11$ 、 $x_2=0.31$ 、 $x_3=83.88$, 即pH为7.11、NaCl浓度为0.31mol/L。加热温度为83.88℃时, 匀浆物凝胶的强度最大。pH和NaCl浓度影响凝胶强度的原因可能是二者的综合作用使凝胶中的蛋白含量增加, 在热变性过程中蛋白纤维间、蛋白纤维与水分子间的交联更紧密, 凝胶网络结构更致密, 从而提高了凝胶的强度^[9]。

3 结论

肌肉匀浆物在不同条件下形成凝胶的特性不同。pH和NaCl浓度对凝胶脱水率、保水性和凝胶强度的影响存在显著的交互作用。

根据猪后腿肉匀浆物的蛋白浓度及其凝胶的脱水率、保水性和凝胶强度的二次方程, 进行非线性规划计算, 得到猪后腿肉匀浆物形成凝胶的最佳条件是: pH为6.33、NaCl浓度为0.67mol/L、加热温度为75℃。

参考文献

- [1] 葛长荣, 马美湖. 肉与肉制品工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005.
- [2] Ferry J. Protein gels[J]. Advances in Protein Chemistry, 1948, 4(1): 1-9.
- [3] Westphalen AD, Briggs JL, Lonergan SM. Influence of muscle type on rheological properties of porcine myofibrillar protein during heat-induced gelation[J]. Meat Science, 2006, 72: 697-703.
- [4] 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.
- [5] Stone AP, Stanley DW. Muscle protein gelation at low ionic strength[J]. Food Research International, 1994, 27(2): 155-163.
- [6] Sharp A, Offer G. The mechanism of formation of gels from myosin molecules[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1992, 58(1): 63-73.
- [7] 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(1): 84-87.
- [8] 白艳红, 刘永吉, 张小燕, 等. 响应面法优化猪肉盐溶蛋白热诱导凝胶工艺的研究[J]. 食品科技, 2009, 34(6): 104-107.
- [9] Liu G, Xiong Y L. Gelation of chicken muscle myofibrillar proteins treated with protease inhibitors and phosphates[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45: 3437-3443.
- [10] Westphalen AD, Briggs JL, Lonergan SM. Influence of pH on rheological properties of porcine myofibrillar protein during heat induced gelation[J]. Meat Science, 2005, 70: 293-299.
- [11] Comfort S, Howell NK. Gelation properties of salt soluble meat protein and soluble wheat protein mixtures[J]. Food Hydrocolloids, 2003, 70: 149-159.
- [12] Lesiów T, Xiong YL. Chicken muscle homogenate gelation properties: effect of pH and muscle fiber type[J]. Meat Science, 2003, 64: 399-403.

(下转第118页)

($p < 0.05$)。阳性对照组在贮藏7d以后TBARs值保持低于0.068,茶树菇提取液的值虽然达到0.159,但上升趋势仍明显低于阴性对照组(0.207)。说明茶树菇对牛肉糜过氧化物质的产生有一定的抑制作用。

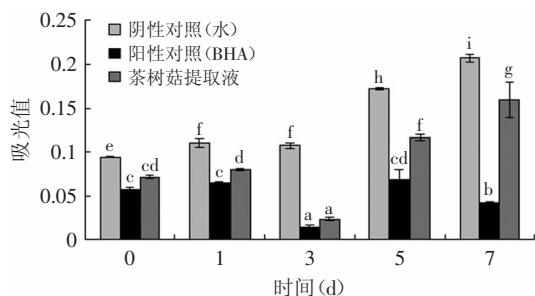


图2 添加茶树菇提取液的牛肉糜TBARs值变化

Fig.2 Effect of extracts from the fruit body of *Agaricus bisporus* on TBARs of fresh beef patties

2.4 牛肉糜色泽变化

表2是牛肉糜色泽评分,由表中可以看出,在第0d各处理组之间色泽差别不大,随着贮藏时间延长,各处理组中牛肉糜红度逐渐减小。BHA对照组和茶树菇提取液组红度均高于阴性对照组,这说明茶树菇在保持肉的鲜红色上有一定作用。但由于茶树菇提取液本身带有褐色,用它处理后的牛肉糜红度比BHA略低,但肉色略显得更加天然。

表2 牛肉糜色泽变化评分

Table 2 The color changes of fresh beef patties

时间(d)	指标	阴性对照(水)	阳性对照(BHA)	茶树菇提取液
0	总分	8.0	8.0	6.8
	色泽	稍红色	稍红色	稍浅红色
1	总分	7.0	6.0	6.5
	色泽	浅红色	稍浅红色	淡红色
3	总分	6.0	5.8	5.8
	色泽	稍浅红色	淡红色	淡红色
5	总分	4.5	5.5	5.5
	色泽	暗红色	淡红色	淡红色
7	总分	3.5	5.5	4.5
	色泽	红褐色	淡红色	暗红色

3 结论

本研究通过测量生牛肉糜pH的变化、高铁肌红

蛋白的相对含量、硫代巴比妥酸值的增减、色泽变化,来评价茶树菇水提取液对生牛肉糜的抗氧化性能。实验结果表明,茶树菇水提取液具有一定的抗氧化效果。

参考文献

- [1] 张慧芸,孔保华,孙旭. 香辛料提取物对生肉糜的抗氧化作用[J]. 食品工业科技,2008,29(4):131-132,136.
- [2] 白艳红,赵电波,蒋爱民,等. 肉类食品添加剂的应用现状及趋势[J]. 农产品加工,2007(10):61-64.
- [3] JIANG Y H,JIANG X L,WANG P,et al. The antitumor and antioxidative activities of polysaccharides isolated from *Isaria farinosa* B05[J]. Microbiological Research,2008,163(4):424-430.
- [4] LEE H H,LEE J S,CHO J Y,et al. Study on immunostimulating activity of macrophage treated with purified polysaccharides from liquid culture and fruiting body of *Lentinus edodes*[J]. J Microbiol Biotechnol,2009,19(6):566-572.
- [5] BAO H N D,OCHIAI Y,OHSHIMA T. Antioxidative activities of hydrophilic extracts prepared from the fruiting body and spent culture medium of *Flammulina velutipes*[J]. Bioresource Technology,2010,101:6248-6255.
- [6] BAO H N D,USHIO H,OHSHIMA T. Antioxidative activity and antidiscoloration efficacy of Ergothioneine in mushroom (*Flammulina velutipes*) extract added to beef and fish meats[J]. J Agric Food Chem,2008,56:10032-10040.
- [7] 黄年来. 中国食用菌百科[M]. 北京:农业出版社,1993:69-70.
- [8] 傅明辉,叶秀仪,郭秀苹,等. 茶薪菇子实体多糖的分离纯化和抗氧化活性测定[J]. 药物生物技术,2004,11(5):321-323.
- [9] 袁广峰,徐瑞雅,张树斌,等. 茶薪菇培养物中粗三萜含量测定及抗氧化抗肿瘤活性研究[J]. 食用菌学报,2007,14(2):41-47.
- [10] 张松,刘金庆,梅晓灯,等. 茶树菇活性提取物抗氧化和延缓衰老作用的研究[J]. 营养学报,2008,30(3):294-297.
- [11] 钟浦峰,常忠义,王杨,等. 植物提取物对鲜牛肉护色作用的研究[J]. 广西农业生物科学,2008,27(4):400-404.
- [12] 张松山,刘海,马长伟. 三种TBA方法用于测定腌腊肉制品脂肪氧化程度适用性的研究[J]. 应用研究,2007(8):38-41.
- [13] 王伟,汤祥明,金邦荃. 高铁肌红蛋白含量和高铁肌红蛋白还原酶活性与冷鲜肉肉色稳定性关系的研究[J]. 食品科学,2008,29(7):94-97.

(上接第115页)

- [13] 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.
- [14] Kocher P,Foegeding E. Microcentrifuge-based method for measuring water-holding of protein gels[J]. Journal of Food Science,1993,58(5):1040-1046.
- [15] 简华. 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.
- [16] Vega-Warner V,Merkel RA,Smith DM. Composition,solubility and properties of salt soluble proteins from two bovine muscle types[J]. Meat Science,1999,51(3):197-203.
- [17] 李继红. 不同种类肉盐溶蛋白凝胶特性的研究[D]. 保定:河北农业大学,2004.

- [18] Kristensen L,Purslow PP. The effect of ageing on the water-holding capacity of pork:role of cytoskeletal proteins[J]. Meat Science,2001,58:17-23.
- [19] Hamm R. Functional properties of the myofibrillar system and their measurements//P j Beclite(9ed). Muscle as food[M]. New York:Academic Press,1986:135-199.
- [20] Davis KJ,Sebranek J G,Huff-Lonergan E,et al. The effects of aging on moisture-enhanced pork loins[J]. Meat Science,2004,66:519-524.
- [21] 常青,黄启超,胡永金,等. NaCl离子强度、 Mg^{2+} 浓度、热变温度和pH对云南地方黄牛肌肉盐溶蛋白凝胶保水性的影响[J]. 食品工业科技,2009,30(1):101-104.