

交变磁场对猪肉和牛肉冻藏品质的影响

Effect of alternating magnetic field on quality of frozen pork and beef

马国骄 金亚美 杨 哪 徐学明 谢正军

MA Guo-jiao JIN Ya-mei YANG Na XU Xue-ming XIE Zheng-jun

(江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122)

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:以猪肉和牛肉为研究对象,探究交变磁场对其冻藏2,4,6,8周后品质的影响。结果表明:在1 mT交变磁场的作用下猪肉和牛肉样品相对于对照组降温速率更快,冰点分别降低了0.9,0.5℃,相变时间分别缩短了66.67%,65.00%;干耗损失和汁液损失明显减少、水分含量更高,且交变磁场组冻藏4周后样品的持水力仍大于80.00%;冻藏6周后对照组猪肉的挥发性盐基氮含量已超标达到了17.12 mg/100 g,而交变磁场组冻藏8周后才超过限量标准;另外pH值以及微生物数量也相对减少,并保持肉的颜色更鲜亮和感官品质更好。

关键词:交变磁场;冻藏;猪肉;牛肉;品质

Abstract: The effects of alternating magnetic fields on the quality of pork and beef during frozen storage for 2, 4, 6, and 8 weeks were discussed. The results showed that compared with the control group, the pork and beef samples had a faster cooling rate and the freezing point was reduced by 0.9 °C and 0.5 °C, and the phase transition time had been shortened by 66.67% and 65.00% respectively under the action of a 1 mT alternating magnetic field. Furthermore, dry loss and drip loss were reduced, and the water content was higher, and the water-holding capacity of samples in alternating magnetic field frozen for four weeks were still more than 80.00%. After six weeks of frozen storage, the volatile base nitrogen content of pork in the control group exceeded the standard and reached 17.12 mg/100 g, while the alternating magnetic field group exceeded the limit only after eight weeks. Meanwhile, the pH value and the number of microorganisms were relatively reduced and maintained brighter colors and better sensory quality.

Keywords: magnetic field; frozen storage; pork; beef; quality

中国是肉类的生产与消费大国,但由于屠宰场距离居民区甚远,新鲜肉品难以获取,人们日常接触到的是各种冷却肉、冷冻肉,或深加工肉制品^[1],其中冷冻肉占据了主要地位。冷冻肉一般指牲畜经屠宰后的胴体经预冷、排酸、急冻,继而在-18℃以下贮藏,深层肉温在-6℃以下的肉^[2]。在冷冻过程及贮藏期间,肉类常会出现如重结晶、干耗、油烧等的劣变现象^[3],以及组织结构、微生物、pH值等的变化,从而影响冷冻肉解冻后的品质^[4]。

磁场辅助冷冻技术作为新型冷冻技术,因其较好的生物相容性和安全性而备受关注。有研究^[5-6]表明,磁场冷冻过程中食品能快速通过最大冰晶生成带,形成的冰晶细小,对细胞组织的机械损伤小,从而减少食品解冻后的损失。有学者^[7-8]采用磁场辅助冷冻蓝莓和樱桃,试图通过观察水果中水分子的变化情况来探究磁场辅助冷冻的原理。Tang等^[9]研究表明永久磁场作用下冷冻猪肉的相变时间缩短1.76 min。Mok等^[10]发现静磁场结合脉冲电场处理后的鸡胸肉相比对照组更快通过冰晶生成带,而且颜色、质地、pH值等品质指标也更接近新鲜鸡肉。可见,磁场冷冻技术有改善冷冻食品品质的潜力,但以往的文献报道大多围绕静磁场或振荡磁场对水溶液及果蔬展开研究,对于交变磁场在冷冻食品的应用鲜见报道。

试验拟以猪肉和牛肉为研究对象,将肉品置于交变磁场下进行冷冻及贮藏,探究交变磁场对猪肉和牛肉冻藏品质的影响,旨在为食品的高品质冷冻提供新方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料

猪肉(后腿肉)和牛肉(后腿肉):同一批次,购买于无锡欧尚超市。

基金项目:江苏省自然科学基金(编号:BK20180608)

作者简介:马国骄,女,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:谢正军(1964—),男,江南大学副教授,博士。

E-mail: xiezj@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2021-03-31

1.2 试剂与设备

1.2.1 主要试剂

氯化钠、氯化钾、浓盐酸、氢氧化钠、三羟甲基氨基甲烷、乙二胺四乙酸二钠:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

孟加拉红培养基、平板计数培养基:国药集团化学试剂有限公司。

1.2.2 主要仪器设备

磁场冷冻冰箱:MFI-F1型,英都斯特(无锡)感应科技有限公司;

海尔冰箱:BCD-216SDC型,青岛海尔股份有限公司;

低场核磁共振成像分析仪:MesoMR23-060V-I型,苏州纽迈分析仪器股份有限公司;

拍打式均质器:JX-05型,上海净信实业发展有限公司;

电子天平(0.000 1 g):AX224ZH/E型,奥豪斯仪器有限公司;

多段可编程人工气候箱:PQX型,宁波东南仪器有限公司;

冷冻干燥机:77530型,美国LABCONCO公司。

1.3 试验方法

1.3.1 原料准备 将购买来的猪肉和牛肉于室温、通风环境下进行简单的清理,去肥膘去筋膜后,切成尺寸为3 cm×4 cm×1 cm的肉块,随机装入自封袋,排去袋中空气,称重后分别置于普通冰箱和磁场冷冻冷藏箱内冷冻贮藏。

1.3.2 磁场冷冻冷藏处理 磁场冷冻冰箱冷冻室的尺寸为38 cm×32 cm×40 cm,温度范围为-20℃~RT(0.1℃可调),磁场强度设置范围为0~5 mT(0.1 mT可

调),具有静磁场和交变磁场(频率50 Hz)模式,时间、温度、磁场强度和磁场类型均可通过控制面板设定。采用三维高斯计和空间位移平台测量冷冻室内的磁场强度及其均匀性,冷冻室中各方向的均匀度均达到99%(如图1)。

将制备好的猪肉和牛肉样品分别置于1 mT交变磁场条件及普通冰箱中,在-20℃冻藏2,4,6,8周后,在相同条件的4℃环境下解冻样品10 h后进行各项指标测定。

1.3.3 冷冻曲线绘制 冷冻过程中,将连接到数据记录器的T型热电偶线(直径1 mm)插入猪肉和牛肉样品的几何中心,检测其中心温度变化情况,每5 min记录一次数据,直到样品中心温度达到-18℃。

1.3.4 测定项目及方法

(1) 干耗损失率:冷冻前对样品进行称重,取出样品后用吸水纸轻轻抹去样品表面冰霜,立即称重。按式(1)计算干耗损失率。

$$W_L = [(m_0 - m_1) / m_0] \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

W_L ——干耗损失率,%;

m_0 ——冷冻前样品的质量,g;

m_1 ——干冷冻后样品的质量,g。

(2) 汁液损失率:参照Alizadeh等^[11],稍作改动。冷冻前对样品进行称重,解冻后用吸水纸轻轻吸干样品表面水分,立即称重。按式(2)计算汁液损失率。

$$D_L = [(M_0 - M_1) / M_0] \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

D_L ——汁液损失率,%;

M_0 ——冷冻前样品的质量,g;

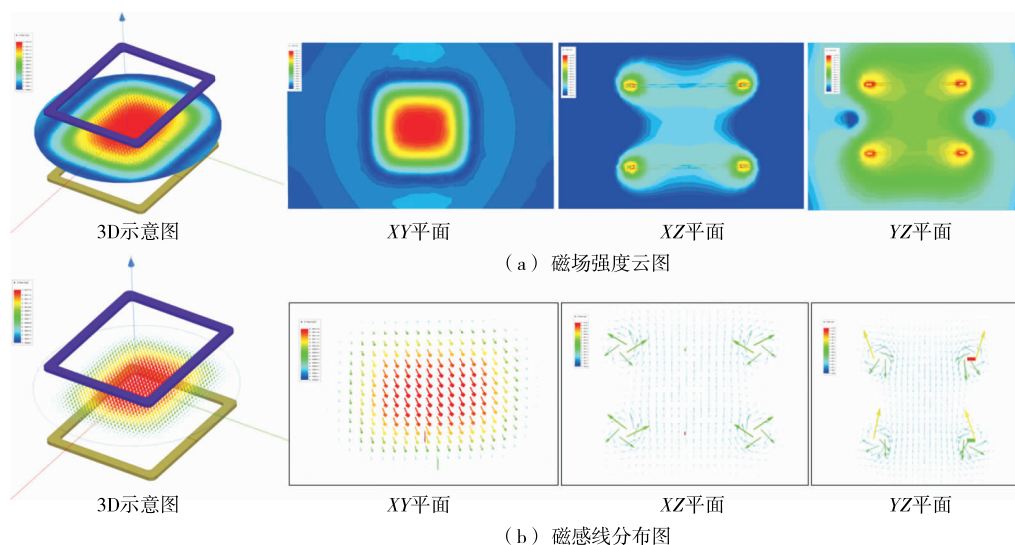


图1 COMSOL拟合磁场强度云图和磁感线分布图

Figure 1 Magnetic field intensity cloud map and distribution map of magnetic induction line with COMSOL

M_1 ——解冻后样品的质量, g。

(3) 水分含量:将解冻后的猪肉和牛肉均质后取约 2 g (精确至 0.000 1 g)样品均匀平铺在已恒重的铝盒中, 105 ℃烘箱干燥至恒重(约 48 h),取出于干燥皿中冷却至室温(30 min),立即称重。按式(3)计算水分含量。

$$X = [(m_0 - m_1) / (m_0 - m_2)] \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

X ——样品水分含量, %;

m_0 ——干燥皿和样品的质量, g;

m_1 ——干燥皿和干燥后样品的质量, g;

m_2 ——干燥皿的质量, g。

(4) 持水力:参照 Vega-Warner 等^[12]的方法,稍作修改。通过高速离心去除游离水来测定解冻后猪肉和牛肉的持水力。称取约 2.5 g 样品,集中放置在 50 mL 离心管内的双层快速定性滤纸中央,在 4 ℃下以 4 000 r/min 的转速离心 10 min。离心后,立即称重。按式(4)计算持水力。

$$W_{\text{HC}} = [1 - (m_0 - m_1) / (m_0 \times X)] \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

W_{HC} ——样品持水力, %;

m_0 ——样品离心前质量, g;

m_1 ——样品离心后质量, g;

X ——样品水分含量, %。

(5) 水分分布及状态:采用低场核磁共振成像技术进行分析。分别取解冻后的猪肉和牛肉样品,切成尺寸约为 1 cm×1 cm×1 cm 的肉块置于核磁样品管中,将样品管插入核磁共振成像分析仪(MRI)中进行成像,再用伪彩软件分析水分分布及状态。

(6) 色值:试验用手持色差仪对解冻后的猪肉和牛肉样品进行色值测定。用标准白板校正后直接将测试平面放置在样品表面。通过国际电子实验室委员会定义的 CIELAB 颜色空间中测量的 L^* 、 a^* 和 b^* 值来表征样品色值。按式(5)计算总色差 ΔE 值。

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}, \quad (5)$$

式中:

ΔE ——总色差;

ΔL^* ——不同贮藏期样品与新鲜样品的明度差值;

Δa^* ——不同贮藏期样品与新鲜样品的红绿色度差值;

Δb^* ——不同贮藏期样品与新鲜样品的黄蓝色度差值。

(7) pH 值:分别称取 3 g 均质的解冻猪肉和牛肉样品于自封袋中,加入 0.1 mol/L KCl 溶液 30 mL,均质拍打 60 s 后,倒入 50 mL 离心管内静置 5 min,用 pH 计测定 pH 值。

(8) 挥发性盐基氮(TVB-N)含量:称取 10 g 均质的解冻猪肉和牛肉样品于自封袋中,加入 75 mL 去离子水,均质拍打 60 s 后,加入 1 g 氧化镁粉末混匀后静置 30 min,置于 K9840 型自动凯式定氮仪中,加入 30 mL 10 mol/L 硼酸溶液蒸馏 3 min 后,用 0.02 mol/L 的盐酸溶液滴定。

(9) 菌落总数、霉菌和酵母总数:参照 GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检测 菌落总数测定》和 GB 4789.15—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检测 霉菌和酵母计数》,分别称取 5 g 解冻后猪肉和牛肉的均质样品于无菌袋中,加入 45 mL 生理盐水,均质拍打 60 s 得匀浆后逐步稀释,倾注平皿。菌落总数平皿置于 37 ℃恒温培养箱中培养(48±2) h,霉菌和酵母平皿置于 28 ℃恒温培养箱中培养 5 d,随后对平皿中的菌落进行计数。

(10) 感官评价:采用评分法对解冻后猪肉和牛肉样品进行感官评价。邀请 6 名经过培训的感官评定员组成评分小组,对解冻后猪肉和牛肉样品的色泽、气味、质地、组织状态及整体可接受度进行评分,评分标准见表 1、表 2。

1.3.5 数据分析 数据结果均用 3 次平行试验的平均值±标准差表示,采用 SPSS 22 软件进行统计与分析,Origin 8.5 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 猪肉和牛肉的冷冻曲线

由图2可知,交变磁场条件下冷却阶段(即初始温度

表 1 解冻后猪肉感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standard of pork after thawing

色泽	气味	质地	组织状态	整体可接受度	评分
色泽黯淡,颜色变黄甚至变绿	鲜肉味消失,有发酸发酵异味	指压触感软烂,回弹差	切面不整齐,结构松散	综合各方面,购买欲弱	1~3
色泽逐渐黯淡,颜色变浅	鲜肉味减轻,有轻微酸味	指压触感黏,回弹一般	切面整齐,结构不紧密	综合各方面,购买欲一般	4~6
色泽鲜亮,呈明亮粉红色	有较明显鲜肉味	指压触感柔软,回弹性好	切面整齐,结构紧密结实	综合各方面,购买欲强	7~9

表 2 解冻后牛肉感官评分标准

Table 2 Sensory evaluation standard of beef after thawing

色泽	气味	质地	组织状态	整体可接受度	评分
色泽黯淡,颜色发黑	鲜肉味消失,有发酸发酵异味	指压触感软烂,回弹差	切面不整齐,结构松散	综合各方面,购买欲弱	1~3
色泽逐渐黯淡,颜色变深	鲜肉味减轻,有轻微酸味	指压触感黏,回弹一般	切面整齐,结构不紧密	综合各方面,购买欲一般	4~6
色泽鲜亮,呈明亮鲜红色	有较明显鲜肉味	指压触感柔软,回弹性好	切面整齐,结构紧密结实	综合各方面,购买欲强	7~9

至冰点)的降温速率大于对照组,但冷冻曲线的主要差异体现在相变阶段。由表 3 可以看出,交变磁场冷冻的猪肉和牛肉的冰点分别比对照组的低了 0.9,0.5 ℃,同时,相变时间大幅度减少,交变磁场下冷冻猪肉和牛肉的相变时间分别缩短了 66.67%,65.00%,说明冷冻过程中施加磁场有利于猪肉和牛肉样品快速通过最大冰晶生成带,缩短相变时间,与 Li 等^[13]的研究结果一致。此外,交变磁场组的整体冻结时间也大幅度缩短。

2.2 交变磁场对冻藏猪肉和牛肉保水性的影响

2.2.1 干耗损失和汁液损失 由图 3、图 4 可以看出,随着冻藏周期的增加,干耗损失和汁液损失明显增大,但交变磁场条件下肉的损失更少。猪肉样品在交变磁场下各冻藏周期的干耗损失率分别比对照组小 64.47%,59.53%,42.69%,30.61%;同样,对于牛肉样品,交变磁场组在各冻藏周期分别比对照组小 52.32%,47.59%,

29.31%,23.85%。

相同冻藏周期下(如图 4),对照组猪肉的汁液损失率最高达到了 12.14%,而交变磁场组猪肉的汁液损失率在各冻藏周期分别比对照组少了 17.61%,31.72%,23.35%,25.52%,甚至交变磁场下冻藏 8 周的猪肉汁液损失率(9.04%)小于对照组冻藏 4 周的(9.30%)。同时,对照组牛肉的汁液损失率均高于交变磁场组的,最高达到 9.10%。汁液损失通常产生于肌纤维束与肌周围网络空间,以及肌肉纤维与肌内膜网络空间,当肌肉转化消耗时,肌肉纤维变得僵硬且不稳定,保持水分的能力也随之降低^[14],汁液流失越多,肌肉保水力越差,与 Lagerstedt 等^[15]的结论一致。

2.2.2 水分含量和持水力 由图 5、图 6 可知,在各冻藏周期,对照组冻藏的猪肉和牛肉样品水分含量均低于交变磁场组,其中冰箱冻藏 8 周后猪肉水分含量仅剩

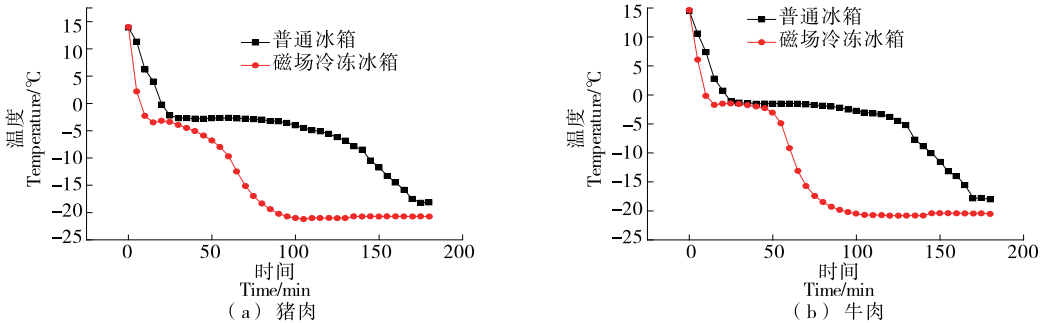


图 2 普通冰箱和磁场冷冻冰箱冷冻下猪肉和牛肉的温度曲线

Figure 2 The temperature history of pork and beef during freezing with traditional fridge and magnetic field freezer

表 3 普通冰箱和磁场冷冻冰箱冷冻猪肉和牛肉的冷参数

Table 3 The freezing parameters of pork and beef during freezing with traditional fridge and magnetic field freezer

参数	单位	普通冰箱		磁场冷冻冰箱	
		猪肉	牛肉	猪肉	牛肉
冰点	℃	-2.6±0.2	-1.2±0.1	-3.5±0.3	-1.7±0.1
最大冰晶生成带	℃	-2.6±0.2~-5.6±0.3	-1.2±0.1~-4.5±0.3	-3.5±0.3~-5.9±0.3	-1.7±0.1~-3.0±0.3
相变时间	min	90±2	100±2	30±2	35±2
整体冻结时间	min	175±4	170±2	80±2	80±3

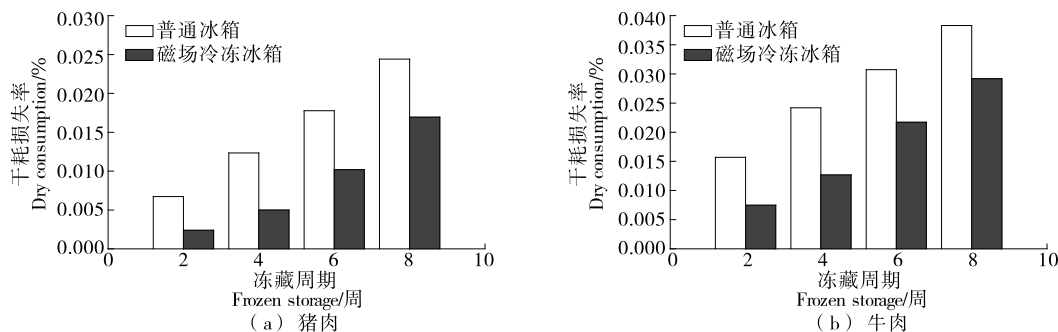


图 3 普通冰箱和磁场冷冻冰箱冻藏猪肉和牛肉的干耗损失率变化

Figure 3 Dry consumption rate of pork and beef with traditional fridge and magnetic field freezer for different storage time

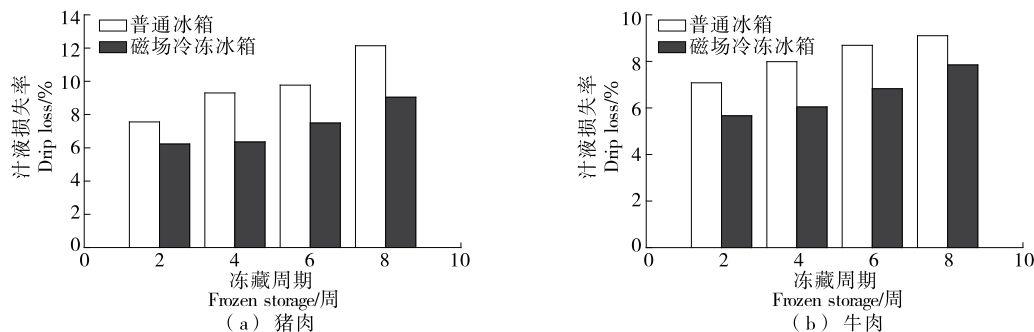


图 4 普通冰箱和磁场冷冻冰箱冻藏猪肉和牛肉的汁液损失率变化

Figure 4 Drip loss rate of pork and beef with traditional fridge and magnetic field freezer for different storage time

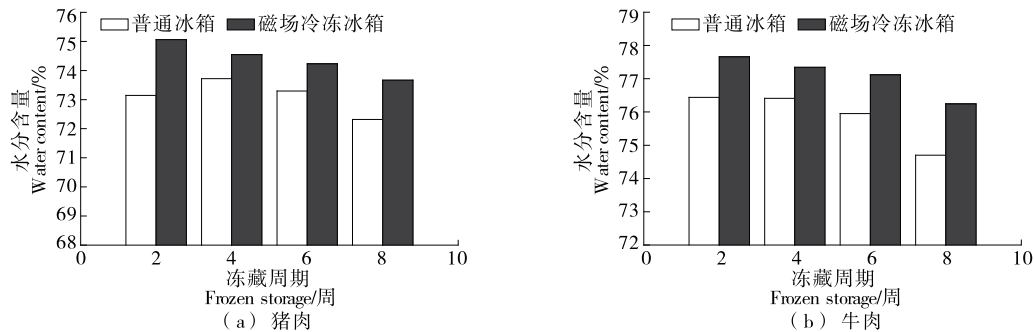


图 5 普通冰箱和磁场冷冻冰箱冻藏猪肉和牛肉的水分含量变化

Figure 5 Water content of pork and beef with traditional fridge and magnetic field freezer for different storage time

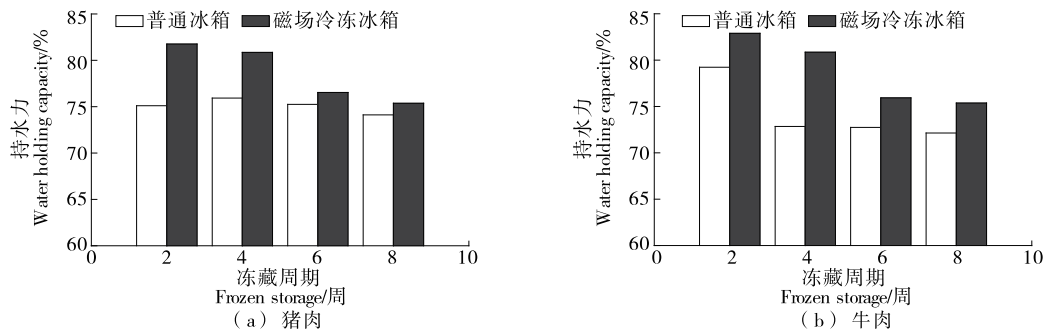


图 6 普通冰箱和磁场冷冻冰箱冻藏猪肉和牛肉的持水力变化

Figure 6 Water holding capacity of pork and beef frozen in traditional fridge and magnetic field freezer for different storage time

72.32% (该批次冻藏试验猪肉新鲜样品的水分含量为 76.20%)。另外, 交变磁场组冻藏 2, 4 周后的猪肉和牛肉样品仍保持较高持水力, 大于 80.00% (已知冻藏试验猪肉和牛肉新鲜样品的持水力为 82.81% 和 85.38%), 且冻藏 8 周的牛肉持水力仍比对照组冻藏 4 周的高 2.53%。综上所述, 交变磁场可以有效减缓肉品在冻藏期间持水力的下降, 并使肉品维持较高水分含量。

2.3 交变磁场对冻藏猪肉和牛肉水分分布及状态的影响

由图 7 可知, 随冻藏周期的增加, 样品颜色逐渐从均匀的红黄色向蓝绿色变化, 说明肉品中的水分均随冻藏周期的增加而减少。新鲜的肉呈现出均匀的红黄相间的颜色, 说明水分较均匀地分布在猪肉样品内部, 但对照组猪肉冻藏 2 周后就能明显看出水分从中心向边缘迁移的现象; 冻藏 8 周时, 水分流失严重, 此时猪肉持水力减弱、保水性下降, 与 Bertram 等^[16]的结论一致, 而交变磁场组的猪肉在冻藏 8 周后仍能在边缘附近看到较高密度的氢质子堆积。牛肉样品在对照组和交变磁场组水分变化趋势与猪肉类似, 对照组的牛肉在冻藏 8 周后水分流失严重, 而交变磁场组冻藏 8 周的牛肉水分分布与对照组冻藏 4 周的样品类似。

2.4 交变磁场对冻藏猪肉和牛肉色值的影响

整个冻藏期间猪肉和牛肉的色值变化如表 5、表 6 所示, 可以看出, 各组样品的 L^* 值和 a^* 值随时间均呈下降趋势, ΔE 逐渐变大, 但相同冻藏周期下, 磁场组的 ΔE 值

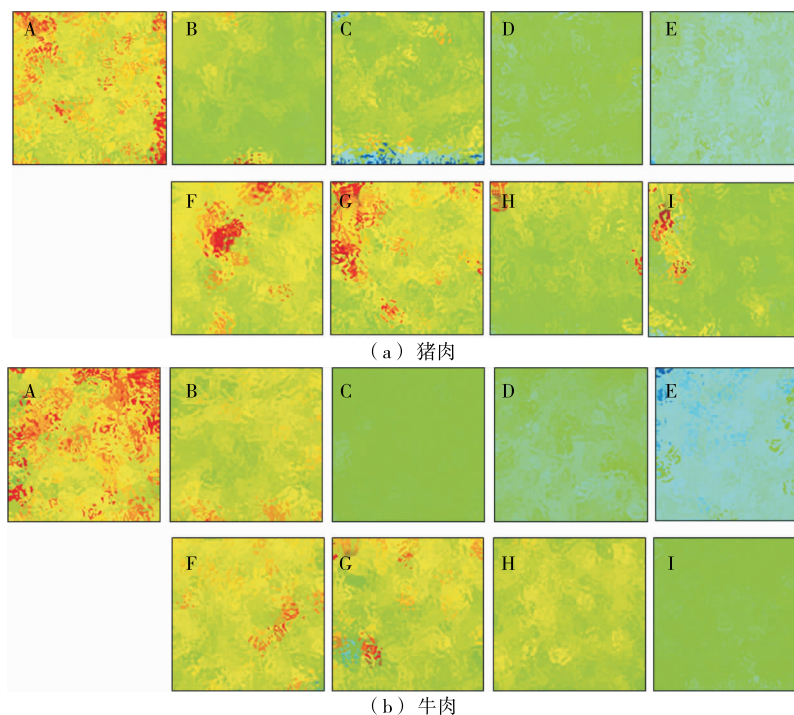
均低于普通冰箱组, 普通冰箱组猪肉与新鲜样品的总色差分别比交变磁场组高了 132.48%, 7.02%, 179.00%, 78.77%, 牛肉样品磁场组的 ΔE 值也均低于普通冰箱组, 更好地维持了肉的新鲜度^[17]。同时, 由图 8 可以看出, 交变磁场组的猪肉颜色更粉嫩, 牛肉更鲜红, 说明交变磁场处理可以减少肉品冻藏后色泽变化的差异。

2.5 交变磁场对冻藏猪肉和牛肉 pH 值的影响

肉类在 pH 值较低时能更好地保持新鲜感^[18]。由图 9 可以看出, 随冻藏时间的增加, 对照组猪肉的 pH 值有明显增加趋势, 交变磁场组则缓慢上升。同时, 交变磁场组比对照组牛肉的 pH 值分别下降了 3.08%, 2.74%, 1.65%, 2.64%, 对照组牛肉的 pH 值在冻藏 8 周后达到了 6.35, 接近腐烂牛肉的 pH 值 (pH 值到达 6.5)。一般来说, 随贮藏时间的增加, 由于肉中的蛋白质被微生物酶解成胺类等碱性含氮物, 导致 pH 值逐渐上升^[19], 因此可以认为交变磁场处理减缓了冷冻猪肉和牛肉腐败的速度, 保持了肉品的新鲜度。

2.6 交变磁场对冻藏猪肉和牛肉挥发性盐基氮含量的影响

GB 2707—2016《食品安全国家标准 鲜(冻)畜、禽产品》规定, 鲜冻猪、牛肉的挥发性盐基氮限量 ≤ 15 mg/100 g。由图 10 可知, 随着冻藏时间的增加, 猪肉和牛肉的挥发性盐基氮含量均呈上升趋势, 但交变磁场组均低于对照组。对照组猪肉挥发性盐基氮含量分别比交变磁场组



A. 新鲜样品 B~E. 普通冰箱冻藏 2, 4, 6, 8 周的样品 F~I. 1 mT 交变磁场下冻藏 2, 4, 6, 8 周的样品

图 7 普通冰箱和磁场冷冻冰箱冻藏猪肉和牛肉的核磁成像图

Figure 7 MRI images of pork and beef with traditional fridge and magnetic field freezer for different storage time

(2,4,6,8 周)高 3.09%,2.29%,16.47%,38.65%。对照组猪肉冻藏 6 周后已超出限量标准,达到了 17.12 mg/100 g,而交变磁场组在冻藏 8 周后才超过限量标准。不同处理的牛肉样品冻藏 2 周时的挥发性盐基氮含量均超出限量标准,但在 6,8 周时开始突增,分别达到 32.99,40.02 mg/100 g,说明普通冰箱中贮藏的牛肉冻藏 6 周后开始严重腐败,而交变磁场组冻藏 8 周的牛肉样品的挥发性盐基氮含量仍低于对照组冻藏 6 周的。

2.7 交变磁场对冻藏猪肉和牛肉微生物指标的影响

微生物是食品腐败的主要因素,而菌落总数是评判微生物污染程度的重要指标之一^[20],霉菌和酵母菌也广泛分布于日常生活环境中^[19]。如图 11 所示,以 6 lg (CFU/g)

表 5 普通冰箱和磁场冷冻冰箱冻藏猪肉的色值变化

Table 5 The lab of pork during the freezing storage with traditional fridge and magnetic field freezer

冻藏周 期/周	L *		a *		b *		ΔE	
	普通冰箱	磁场冷冻冰箱	普通冰箱	磁场冷冻冰箱	普通冰箱	磁场冷冻冰箱	普通冰箱	磁场冷冻冰箱
新鲜样品	50.14±0.56	50.14±0.56	6.67±0.26	6.67±0.26	6.27±0.61	6.27±0.61		
2	53.63±0.36	49.62±0.52	3.81±0.13	5.17±0.01	3.89±0.17	4.84±0.01	5.11±0.15	2.17±0.16
4	49.63±1.14	49.15±1.01	4.01±0.07	4.58±0.32	4.81±0.14	4.58±0.12	3.20±0.33	2.99±0.10
6	47.63±0.36	49.62±0.72	3.51±0.14	5.10±0.11	3.98±0.27	4.65±0.21	6.11±0.10	2.19±0.46
8	42.14±0.65	46.45±0.95	3.34±0.21	7.17±0.26	5.39±0.33	3.65±0.30	8.17±0.63	4.57±0.91

表 6 普通冰箱和磁场冷冻冰箱冻藏牛肉的色值变化

Table 6 The lab of beef during the freezing storage with traditional fridge and magnetic field freezer

冻藏周 期/周	L *		a *		b *		ΔE	
	普通冰箱	磁场冷冻冰箱	普通冰箱	磁场冷冻冰箱	普通冰箱	磁场冷冻冰箱	普通冰箱	磁场冷冻冰箱
新鲜样品	39.04±0.41	39.04±0.41	23.22±0.40	23.22±0.40	13.10±0.29	13.10±0.29		
2	35.82±0.39	40.62±0.17	11.48±0.29	13.21±0.42	6.03±0.61	6.63±0.10	14.09±0.48	12.03±0.39
4	32.45±0.71	39.44±0.34	9.23±0.16	12.72±0.47	7.17±0.29	6.10±0.21	16.57±0.51	14.34±0.48
6	33.82±0.39	37.62±0.14	10.48±0.29	12.21±0.24	6.84±0.21	6.36±0.12	16.19±0.48	14.03±0.19
8	32.36±0.67	33.43±0.73	6.82±0.24	10.63±0.65	7.30±0.33	6.80±0.09	18.64±0.31	14.18±0.68

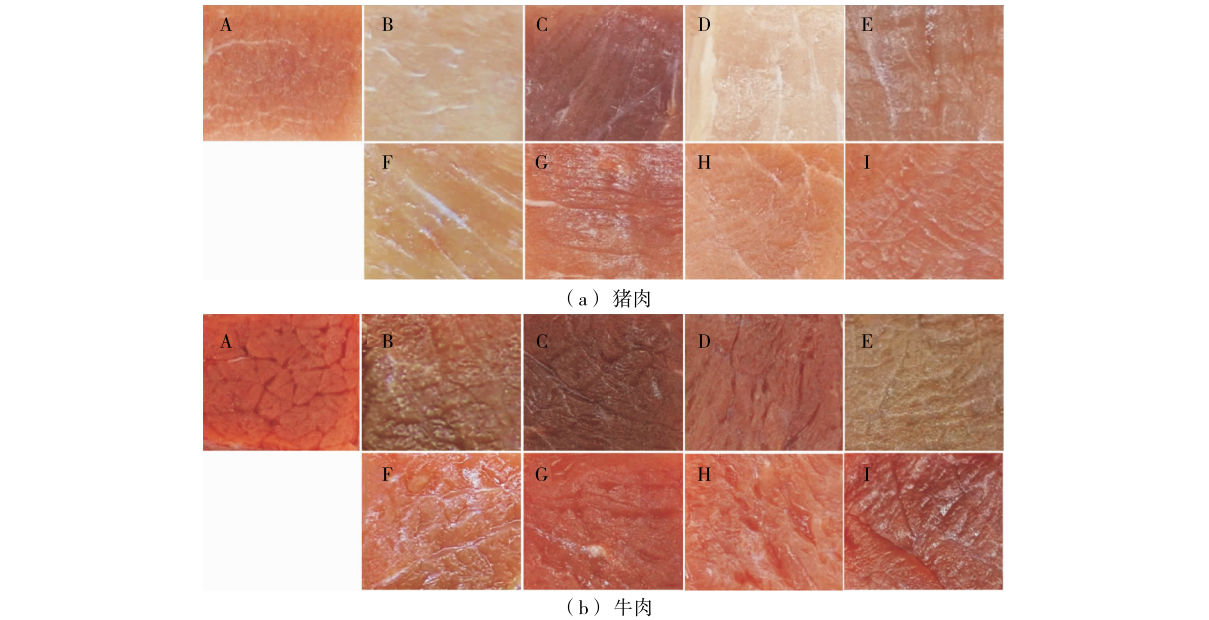


图 8 普通冰箱和磁场冷冻冰箱冻藏猪肉和牛肉的质地对比

Figure 8 The images of pork and beef with traditional fridge and magnetic field freezer for different storage time

为界线,对照组冻藏4周的猪肉菌落总数达到 $6.16 \lg(\text{CFU/g})$;而交变磁场组的猪肉菌落总数在冻藏6周时才到 $6.04 \lg(\text{CFU/g})$ 。同样,对照组的牛肉冻藏4周后菌落总数达到 $6.04 \lg(\text{CFU/g})$;而交变磁场组冻藏8周的牛肉菌落总数仍小于 10^6 CFU/g 。由图12可知,对照组冻藏8周的猪肉和牛肉霉菌和酵母总数突然增殖,说明此时肉品的腐败程度加剧。交变磁场处理可以有效抑制冷冻猪肉和牛肉中微生物的生长繁殖,与Misakian等^[21]的结论一致,从而减缓了肉品腐败速度,对

肉品的品质有改善作用。

2.8 交变磁场对冻藏猪肉和牛肉感官品质的影响

由表7、表8可以看出,各组样品的感官评价分值基本随冻藏周期的增加而减小,但交变磁场组的分值整体优于对照组。总的来说,在冻藏期间施加磁场可以更好地保存冷冻猪肉和牛肉的品质,表现为色泽更鲜艳明亮、气味酸败味不明显、质地软烂的程度更小、肌肉结构更紧密结实、消费者整体可接受程度更高。

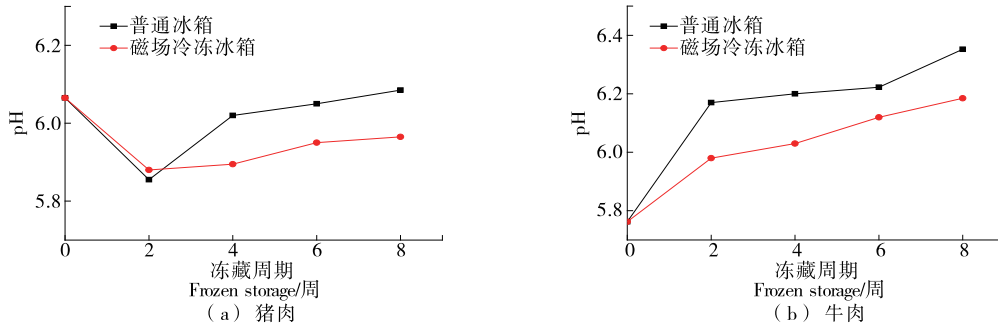


图9 普通冰箱和磁场冷冻冰箱冻藏猪肉和牛肉的pH值的变化

Figure 9 The pH of pork and beef with traditional fridge and magnetic field freezer for different storage time

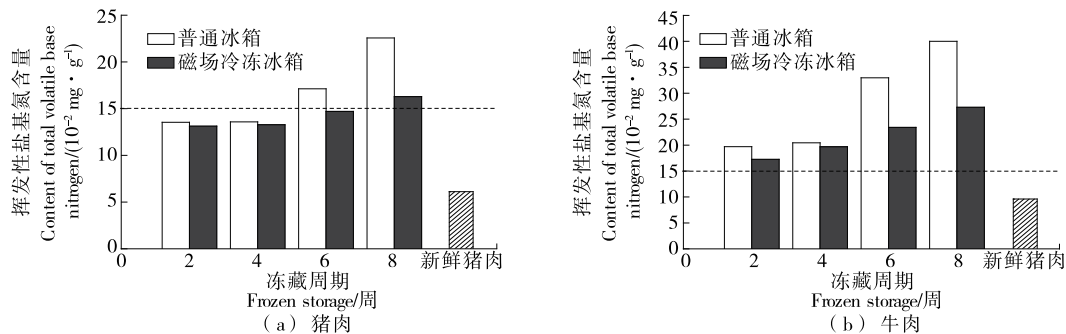


图10 普通冰箱和磁场冷冻冰箱冻藏猪肉和牛肉的挥发性盐基氮含量变化

Figure 10 The TVB-N of pork and beef with traditional fridge and magnetic field freezer for different storage time

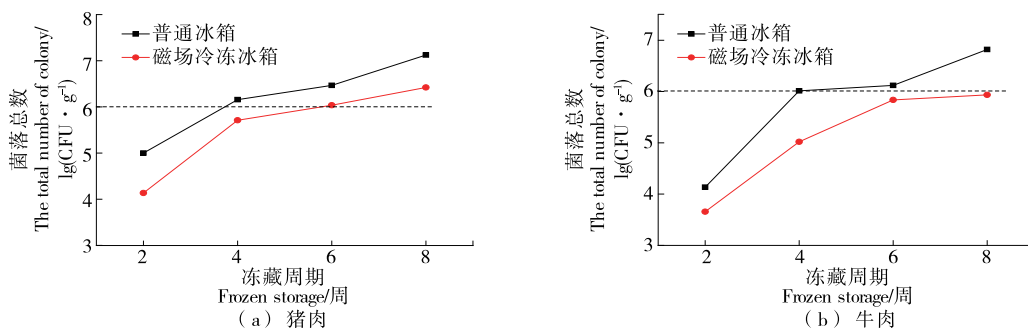


图11 普通冰箱和磁场冷冻冰箱冻藏猪肉和牛肉的菌落总数变化

Figure 11 The total number of colony of pork and beef with traditional fridge and magnetic field freezer for different storage time

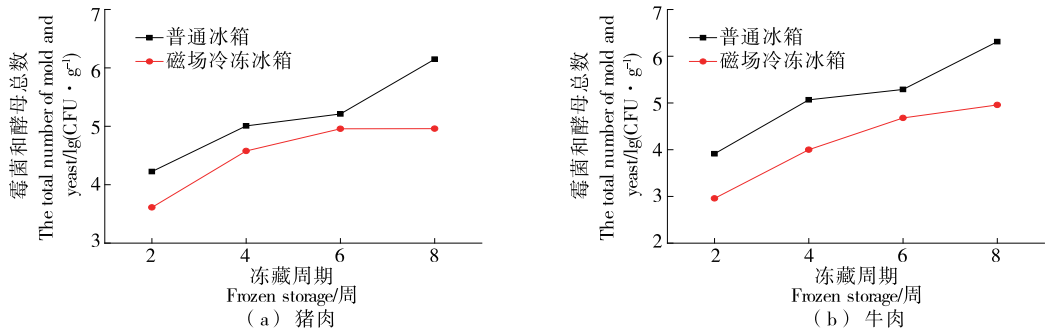


图 12 普通冰箱和磁场冷冻冰箱冻藏猪肉和牛肉的霉菌和酵母总数变化

Figure 12 The total number of mold and yeast of pork and beef with traditional fridge and magnetic field freezer for different storage time

表 7 普通冰箱和磁场冷冻冰箱冻藏猪肉的感官评分

Table 7 Sensory quality of pork with traditional fridge and magnetic field freezer for different storage time

感官指标	普通冰箱冻藏周期/周				磁场冷冻冰箱冻藏周期/周			
	2	4	6	8	2	4	6	8
色泽	6.83±0.75	5.00±1.41	4.17±0.75	3.67±0.52	7.17±0.98	5.67±0.82	5.00±0.89	4.33±0.52
气味	5.83±0.75	3.83±0.98	3.33±0.52	3.83±1.17	6.50±0.84	5.17±0.41	5.67±0.52	5.50±0.55
质地	6.33±1.03	5.67±0.52	5.50±0.55	3.83±0.98	7.50±0.55	6.17±0.75	5.83±0.75	5.17±0.75
组织状态	6.50±0.84	5.67±0.82	4.50±1.38	4.00±0.89	7.33±0.82	6.67±0.82	6.00±0.63	4.17±0.98
整体可接受度	6.67±1.21	6.00±0.89	5.50±0.55	4.67±0.52	7.83±0.41	7.33±0.52	6.17±0.98	5.67±1.03

表 8 普通冰箱和磁场冷冻冰箱冻藏牛肉的感官评分

Table 8 Sensory quality of beef with traditional fridge and magnetic field freezer for different storage time

感官指标	普通冰箱冻藏周期/周				磁场冷冻冰箱冻藏周期/周			
	2	4	6	8	2	4	6	8
色泽	6.17±0.98	5.17±1.47	4.50±1.22	3.50±2.26	7.17±1.17	5.83±0.98	5.00±1.26	4.33±0.82
气味	6.00±2.45	4.83±2.40	4.33±2.25	3.33±1.63	6.50±2.26	5.33±1.97	4.33±1.63	3.67±1.37
质地	7.00±1.10	5.67±1.03	5.00±0.63	4.33±1.37	7.17±1.17	5.83±1.33	5.50±1.05	5.33±1.37
组织状态	6.83±1.17	5.83±1.72	4.83±1.94	4.83±2.04	7.00±1.10	6.00±1.41	5.50±1.22	4.50±0.84
整体可接受度	6.67±1.51	5.50±1.38	5.33±1.63	4.67±1.37	7.50±1.22	5.33±1.21	5.17±1.33	5.17±1.33

3 结论

探究了在冷冻贮藏期间施加交变磁场对猪肉和牛肉冻藏品质的影响,得出以下结论:与普通冰箱冻藏相比,交变磁场条件下冻藏的猪肉和牛肉品质有明显改善,其表现在:降温速率更快、冰点分别降低了 0.9、0.5℃,相变时间分别缩短了 66.67%,65.00%,整体冻结时间分别缩短了 95、90 min。干耗损失和汁液损失明显减少、水分含量更高,且交变磁场组冻藏 4 周后猪肉和牛肉样品的持水力仍在 80.00%以上。此外,冻藏 6 周后对照组猪肉的挥发性盐基氮含量就已超标(达到了 17.12 mg/100 g),而交变磁场组冻藏 8 周后才超过限量标准,交变磁场下各

组样品的 L^* 值和 a^* 值均大于对照组, ΔE 值均小于对照组, pH 值以及微生物数量的增长趋势也均小于对照组,并保持了更好的感官品质,包括颜色、气味、质地、组织状态和消费者整体可接受度。

参考文献

[1] 王浩明, 郑海波, 李景军, 等. 酱卤肉制品关键加工技术研究进展[J]. 肉类研究, 2020, 34(8): 107-112.
[2] 张帅, 徐乐, 梁小慧, 等. 肉类冷冻解冻技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(16): 5363-5368.
[3] 张楠, 杜世伟, 陈玉仑, 等. 猪胴体预冷过程中雾化增湿与喷淋对干耗的影响差异性研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(3):

- 322-325.
- [4] 吴宇桐, 崔梦晗, 王宇琦, 等. 超声辅助冷冻技术的作用机制及其对食品品质影响的研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(17): 275-280.
- [5] 陈羚, 司玮, 谢海洋, 等. 冷冻食品解冻技术研究[J]. 粮食流通技术, 2017(2): 34-35.
- [6] 邢云霞, 冯云龙, 董文舒. 浅谈真空冷冻干燥技术在食品加工中的应用与前景[J]. 食品安全导刊, 2020(33): 183.
- [7] TANG Jun-yan, ZHANG Hai-nan, TIAN Chang-qing, et al. Effects of different magnetic fields on the freezing parameters of cherry[J]. Journal of Food Engineering, 2020, 278: 109949.
- [8] TANG Jun-yan, SHAO Shuang-quan, TIAN Chang-qing. Effects of the magnetic field on the freezing process of blueberry[J]. International Journal of Refrigeration, 2020, 113: 288-295.
- [9] TANG Jun-yan, SHAO Shuang-quan, TIAN Chang-qing. Effects of the magnetic field on the freezing parameters of the pork[J]. International Journal of Refrigeration, 2019, 107: 31-38.
- [10] MOK J H, HER J, KANG T, et al. Effects of pulsed electric field (PEF) and oscillating magnetic field (OMF) combination technology on the extension of supercooling for chicken breasts[J]. Journal of Food Engineering, 2017, 196(10): 27-35.
- [11] ALIZADEH E, CHAPLEAU N, DE LAMBALLERIE M, et al. Effects of freezing and thawing processes on the quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(5): 279-284.
- [12] VEGA-WARNER V, MERKEL R A, SMITH D M. Composition, solubility and gel properties of salt soluble proteins from two bovine muscle types[J]. Meat Science, 1999, 51(3): 197-203.
- [13] LI Bing, SUN Da-wen. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods: A review[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 54(3): 175-182.
- [14] BARBERA S. WHC trend, an up-to-date method to measure water holding capacity in meat[J]. Meat Science, 2019, 152(6): 134-140.
- [15] LAGERSTEDT A, ENFAELT L, JOHANSSON L, et al. Effect of freezing on sensory quality, shear force and water loss in beef *M. longissimus dorsi*[J]. Meat Science, 2008, 80(2): 457-461.
- [16] BERTRAM H C, ENGELSEN S B, BUSK H, et al. Water properties during cooking of pork studied by low-field NMR relaxation: Effects of curing and the RN-gene[J]. Meat Science, 2004, 66(2): 437-446.
- [17] MANCINI R A, HUNT M C. Current research in meat color[J]. Meat Science, 2005, 71(1): 100-121.
- [18] BUYS E M, KRÜGER J, NORTJÉ G. Centralised bulk pre-packaging of fresh pork retail cuts in various gas atmospheres[J]. Meat Science, 1994, 36(3): 293-308.
- [19] 郝生宏, 杨荣芳, 富新华, 等. 不同贮存条件对冷鲜猪肉品质的影响[J]. 辽宁农业职业技术学院学报, 2009, 11(1): 4-6.
- [20] 陈雨晴, 吕峰, 俞灿杰. 石莼多酚对冷藏猪肉丸的保鲜效果[J]. 现代食品科技, 2020, 36(10): 171-178.
- [21] MISAKIAN M, KAUNE W T. Optimal experimental design for in vitro studies with ELF magnetic fields[J]. Bioelectromagnetics, 1990, 11(3): 251-255.
- (上接第 80 页)
- [17] MENDES R, CARDOSO C, PESTANA C. Measurement of malondialdehyde in fish: A comparison study between HPLC methods and the traditional spectrophotometric test [J]. Food Chemistry, 2009, 112(4): 1 038-1 045.
- [18] DERMIS S, CAN S, DOGRU B. Determination of peroxide values of some fixed oils by using the mFOX method[J]. Spectroscopy Letters, 2012, 45(5): 359-363.
- [19] DELONG J M, PRANGE R K, HODGES D M, et al. Using a modified ferrous oxidation-xylene orange (FOX) assay for detection of lipid hydroperoxides in plant tissue[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(2): 248-254.
- [20] NAVAS J A, TRES A, CODONY R, et al. Modified ferrous oxidation-xylene orange method to determine lipid hydroperoxides in fried snacks[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2004, 106(10): 688-696.
- [21] ABRAHAM M H, ACREE W E. Descriptors for pentane-2,4-dione and its derivatives[J]. Journal of Solution Chemistry, 2017, 46(8): 1 625-1 638.
- [22] DE FINA K M, EZELL C, ACREE W E. Solubility of ferrocene in organic nonelectrolyte solvents. Comparison of observed versus predicted values based upon mobile order theory[J]. Physics and Chemistry of Liquids, 2001, 39(6): 699-710.
- [23] CATTENACCI G, ASCHI M, GRAZIANO G, et al. A theoretical study on the spectral and electrochemical properties of Ferrocene in different solvents[J]. Inorganica Chimica Acta, 2013, 407: 82-90.
- [24] VOROTYNTSEV M A, ZINOVYEVA V A, KONEV D V, et al. Electrochemical and spectral properties of ferrocene (Fc) in ionic liquid: 1-Butyl-3-methylimidazolium triflimide, [BMIM][NTf2]. Concentration effects[J]. Journal of Physical Chemistry B, 2009, 113(4): 1 085-1 099.
- [25] CHEN Qi-dan, XIA Ting, WU Fei, et al. Fabrication and characterization of ferrocene-derived sensor for hydrogen peroxide detection[J]. Advance Materials Research, 2015, 1 073/1 074/1 075/1 076: 597-600.
- [26] MULCHANDANI A, RUDOLPH D C. Amperometric determination of lipid hydroperoxides[J]. Analytical Biochemistry, 1995, 225(2): 277-282.
- [27] 李玉武, 任立军, 王婧瑞, 等. 方法检出限三个评估方法标准解读与比较[J]. 中国无机分析化学, 2015, 5(3): 24-33.
- [28] 张连中, 孙秀云, 魏庆玲, 等. 固体酸催化过氧化氢异丙苯分解制苯酚丙酮反应的研究[J]. 化学世界, 2011, 8(11): 487-490.