

不同气调包装结合冰温贮藏对羊肉保鲜效果的影响

赵 菲¹, 荆红彭¹, 伍新龄¹, 关文强^{1,2,*}, 刘 斌³, 张德权²

(1.天津商业大学生物技术与食品科学学院, 天津市食品生物技术重点实验室, 天津 300134;

2.中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193;

3.天津商业大学机械工程学院, 天津市制冷技术重点实验室, 天津 300134)

摘 要:为延长鲜羊肉的保鲜时间, 研究不同气体组分的气调包装对羊肉冰温贮藏过程中品质的影响。以真空包装为对照, 比较75% O₂+25% CO₂、75% N₂+25% CO₂气调包装羊肉在-1℃冰温条件下贮藏过程中感官品质、色泽、汁液流失率、嫩度、挥发性盐基氮、pH值、微生物等品质指标的变化。结果表明:真空包装羊肉的汁液流失率显著高于2种气调包装, 而75% N₂+25% CO₂气调包装羊肉的色泽和感官评分最差。75% O₂+25% CO₂气调包装的保鲜效果最好, 其色泽和感官评分最高, 汁液流失率较小, pH值最低, -1℃冰温条件下贮藏42 d时, 羊肉的菌落总数、假单胞菌菌数、乳酸菌菌数的对数值分别为5.91、5.95、5.23 (lg (CFU/g)), 其中菌落总数指标符合国家二级鲜肉标准。因此, -1℃冰温条件下结合75% O₂+25% CO₂气调包装可以使羊肉有效保鲜42 d, 是较好的鲜羊肉保鲜方法。

关键词:羊肉; 气调; 冰温; 保鲜

Effect of Modified Atmosphere Packaging in Combination with Ice-Temperature on Quality of Mutton during Storage

ZHAO Fei¹, JING Hongpeng¹, WU Xinling¹, GUAN Wenqiang^{1,2,*}, LIU Bin³, ZHANG Dequan²

(1. Tianjin Key Laboratory of Food Biotechnology, College of Biotechnology and Food Sciences, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China; 2. Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. Tianjin Key Laboratory of Refrigeration, College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

Abstract: In order to extend the storage life of fresh mutton, the effect of modified atmosphere packaging (MAP) with various gas components on the quality of fresh mutton during ice temperature storage was determined. Sensory evaluation scores, color, drip loss rate, total volatile nitrogen (TVB-N), pH value and microbial loads of mutton samples packaged in 75% O₂ + 25% CO₂ and 75% N₂ + 25% CO₂ atmospheres and stored at ice temperature (-1℃) were analyzed. Vacuum packaging was used as control. The results showed that the drip loss rate of fresh mutton in vacuum package was significantly higher than that of modified atmosphere packaged mutton, but the color and sensory evaluation of mutton packaged in 75% N₂ + 25% CO₂ atmosphere were worst among the three types of packages. Mutton packaged in 75% O₂ + 25% CO₂ atmosphere had the best color and sensory evaluation scores, lower drip loss rate, and lower pH value. After 42 d storage of the mutton packaged in 75% O₂ + 25% CO₂ atmosphere at ice temperature, the counts of total bacteria, *Pseudomonas* and lactic acid bacteria were 5.91, 5.95 and 5.23 (lg(CFU/g)), respectively, and the total number of bacteria was not higher than that of first-grade fresh meat according to the national standard of China. In general, 75% O₂ + 25% CO₂ atmosphere package combined with ice temperature (-1℃) can extend the storage life of fresh mutton for as long as 42 days, and this method is suitable for maintaining the quality of fresh mutton during storage.

Key words: mutton; modified atmosphere packaging; ice temperature; storage

中图分类号: TS251.44

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 14-0232-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201514045

收稿日期: 2014-11-25

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303083); 天津市高等学校创新团队培养计划项目(TD12-5049)

作者简介: 赵菲(1989—), 女, 硕士, 研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: 1475020045@qq.com

*通信作者: 关文强(1974—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: gwq18@163.com

随着生活条件的不断提高,人们对食品天然性、安全性和健康性的要求越来越高。传统的冻肉类产品因营养流失严重已无法满足人们对高品质食品的要求。冷却羊肉营养价值丰富,人体消化吸收率高,已经成为国际肉类消费的主要趋势^[1],但冷却肉的货架期较短。

冰温贮藏保鲜是将生鲜食品放于冰点以上,0℃以下环境中进行保鲜,是近年来生鲜食品如果蔬、鲜肉、水产品保鲜研究的热点之一^[2]。在冰温条件下,食品腐败的速率显著降低,也不会冻结,可有效延长产品的保鲜时间,减少损失^[3]。冰温保鲜技术的重要条件是保证和维持温度的精准,避免过大的温度波动。气调包装是通过调节包装袋中的气体来抑制微生物生长和减弱食品成分氧化反应的一种包装形式,与实际生产中真空包装方式相比,可显著延长产品的货架期^[4]。气调包装使用的气体一般为O₂、CO₂和N₂,调节3种气体之间的不同比例可以显著影响羊肉的保鲜效果^[5-6]。CO₂是气调包装中使用最广泛的气体,对微生物有良好的抑制作用,但体积分数高于40%时包装会因CO₂被肉吸收而发生塌陷^[7]。70%~80%的O₂可以使肉类具有令人喜爱的亮红色^[8],N₂可以用作填充气体,与CO₂一起充入气调包装中,这样可以防止CO₂被产品吸收之后包装出现塌陷^[9]。气调包装的关键在于包装中气体的选择,合理的气调包装不仅可以保证羊肉的卫生质量,还可以延长鲜羊肉的保鲜时间^[10-11]。20%~30%的CO₂和70%~80%的O₂混合气调是鲜肉气调保鲜研究和生产应用中的常用气体组成^[12]。

用综合保鲜技术替代单一保鲜方法,可以综合各种保鲜方法的优势,维持良好的品质,是羊肉保鲜的一条科学途径^[13]。目前,关于冰温与气调包装复合处理羊肉的研究尚未见报道。本研究将不同比例气体的气调包装与冰温技术相结合,以实际生产中应用较多的真空包装为对照,研究75% O₂+25% CO₂、75% N₂+25% CO₂的气调包装羊肉在-1℃冰温条件下贮藏过程中的品质变化规律,以确定羊肉冰温气调保鲜适宜参数和效果,开发羊肉保鲜新方法,为延长羊肉保鲜时间,减少流通中的损失提供依据和参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

选取年龄2 a、体质量约100 kg的绵羊肉。

假单胞菌CFC选择性培养基、平板计数琼脂培养基 青岛高科园海博生物技术有限公司;平板计数琼脂 北京奥博星生物技术有限责任公司。

1.2 仪器与设备

冰温库由天津商业大学制冷系提供(日本援建);TD电子天平 余姚市金诺天平仪器有限公司;

SM-500B气调包装机 苏州市文德孚包装机械有限公司;205pH计 德国Testo公司;TA-XT plus12587质构仪 英国Stable Micro System公司;SY21-Ni 4C电热恒温水浴锅 北京市长风仪器仪表公司;SW-CJ-1F型单人双面净化工作台 苏州净化设备有限公司;BS14-HG400 拍打式均质器 北京西化仪科技有限公司;KDN-2C型凯氏定氮仪 上海纤检仪器有限公司;Hunter Lab色差仪 美国Hunter Lab公司;PEN3便携式电子鼻 德国Airsense公司。

1.3 方法

1.3.1 羊肉分割及处理

绵羊屠宰后,选取上脑8 kg,及时运送到0℃库中排酸24 h,取出后在无菌条件下去除羊肉表面的脂肪、筋膜,修整完毕后,平均分割为210块,每块40 g左右,随机分成3组。分别按表1中的气体配比进行气调包装。用聚乙烯尼龙复合包装袋(150 mm×200 mm×0.10 mm)进行气调包装,在距包装袋上方40 mm处封口。气调包装后的羊肉放入(1.0±0.2)℃的冰温库中。每7 d分别对羊肉的感官品质、色泽、总挥发性盐基氮(total volatile base-nitrogen, TVB-N)值、pH值、汁液流失率、剪切力、微生物等指标进行测定。

表1 气调包装的气体配比
Table 1 Gas Components of MAP

分组	O ₂	CO ₂	N ₂	%
A(真空)				
B	75	25		
C		25	75	

1.3.2 感官评定

感官评定小组由10名专业人员组成,对3种不同气调包装的羊肉在贮藏过程中的感官品质进行评价。感官评定按表2标准对冰温条件下贮藏过程中的羊肉进行4方面的评价,当感官评价低于60分,消费者不能接受时结束实验。

表2 鲜羊肉感官评价的评分标准
Table 2 Criteria for sensory evaluation of mutton

色泽(25分)	气味(30分)	黏度(25分)	保水性(20分)
肌肉色泽鲜艳,有光泽(16~25分)	有鲜肉特有的气味,无其他异味(20~30分)	有弹性,不黏手(16~25分)	无汁液流出(14~20分)
色泽较鲜红或较有光泽(8~15分)	有肉的一股气味,稍有异味(10~19分)	弹性不足,稍黏手(8~15分)	有汁液流出,但量不大(7~13分)
色泽暗红或无光泽(7分以下)	有异味,不可接受(9分以下)	肉质松散,黏手(7分以下)	汁液大量流出(6分以下)

1.3.3 色泽的测定

参考姚艳玲等^[14]的方法并稍作修改,用色差仪测定肉样的L*(亮度)、a*(红度)、b*(黄度),每组处理测定3个样品,取其平均值作为该肉块的颜色值。

1.3.4 TVB-N值的测定

按GB/T 5009.44—2003《肉与肉制品卫生标准的分析方法》的方法进行测定,每个处理测定3次样品,取其平均值。评价标准:一级鲜度不大于15 mg/100 g,二级鲜度不大于20 mg/100 g,变质肉大于20 mg/100 g。

1.3.5 pH值的测定

直接将手持pH计插入羊肉块中,测量出pH值。每组处理测定3个样品,取其平均值。一般建议标准规定一级鲜肉pH值为5.8~6.2、二级鲜肉pH值为6.3~6.6、变质肉pH值为6.7以上。

1.3.6 汁液流失率的测定

参考王燕荣等^[15]的方法并稍作修改,包装前先称量包装袋质量(m_1),放入肉块后称量包装袋和肉的总质量(m_2),然后放入冰温库中贮藏,到达测量点时剪开包装袋,取出肉样,贮存期间渗出的汁液仍留于袋中,然后称量盛有汁液的包装袋质量(m_3),按下式计算汁液流失率。

$$\text{汁液流失率}/\% = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100$$

1.3.7 剪切力的测定

采用HDO/BS型探头,设置实验参数:测试速率1.00 mm/s;测后速率10.00 mm/s;压缩距离55.0 mm,将羊肉切成3 cm×3 cm×0.5 cm的小块进行测定,每组处理测定3个样品,取其平均值。

1.3.8 微生物的测定

菌落总数按GB 4789.2—2010《食品微生物学检验:菌落总数测定》进行测定,冷鲜肉微生物的一般建议标准:一级鲜肉不大于4 (lg (CFU/g)),二级鲜肉为4~6 (lg (CFU/g)),变质肉大于6 (lg (CFU/g));乳酸菌菌数按GB 4789.35—2010《食品微生物学检验:乳酸菌检验》进行测定;假单胞菌用假单胞菌CFC选择性培养基,20℃培养48 h。每组处理测定3个样品,取其平均值。

1.4 数据分析

采用Excel 2003和SPSS 16.0软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 羊肉贮藏过程中感官评分的变化

感官评定是衡量鲜肉品质直接、重要的指标,在消费者购买羊肉时起决定作用。在羊肉的各项感官指标中,气味是最重要的指标,生鲜羊肉会散发出一种肉腥味,贮藏过程中,微生物的繁殖也会产生明显的不良气味。不同气调包装的羊肉在冰温贮藏过程中感官评分的变化见图1。

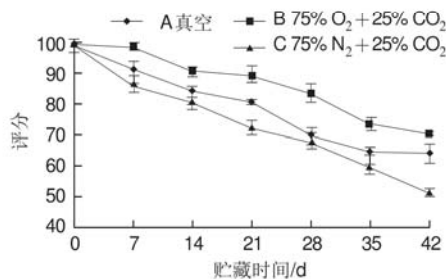


图1 气调包装羊肉在-1℃条件下贮藏过程中感官评分的变化
Fig.1 Changes in sensory evaluation of MAP mutton during storage at -1 °C

由图1可知,在整个冰温贮存过程中,随贮藏时间的延长感官评分逐渐降低。3组不同气调处理,B组感官评分最高,A组次之,C组分数最低。B组和C组差异显著,A组与C组差异不显著。B组的羊肉样品感官性状最好,在第42天时仍能达到70分,高于其他2组,含O₂的气调包装相对更有利于羊肉的感官评分。

2.2 羊肉贮藏过程中色泽的变化

肉色是消费者评价鲜肉质量品质和其可接受性的重要指标,是影响鲜肉销售的重要因素,消费者将颜色作为肉品卫生程度和新鲜度的主要参照标准^[15]。对羊肉而言,其色泽的a*值比L*值、b*值等指标更重要。

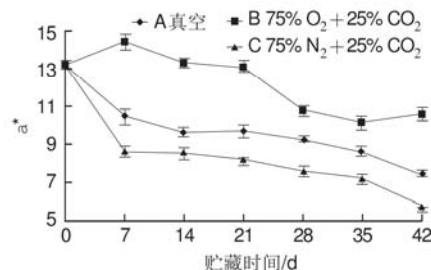


图2 气调包装羊肉在-1℃条件下贮藏过程中a*值的变化
Fig.2 Changes in a* values of MAP mutton during storage at -1 °C

由图2可知,在整个冰温贮藏过程中,随贮藏时间的延长,A、C 2组的a*值逐渐降低,且C组降低程度更大,但B组的变化趋势是先上升后下降,其上升的原因可能是高体积分数的O₂条件使羊肉中的肌红蛋白发生反应,产生呈鲜红色的氧合肌红蛋白。对比3种不同气调处理,其彼此差异显著,B组羊肉的a*值始终高于另2个处理,在第42天时a*值为10.57,大概为C组(5.85)的2倍。

2.3 羊肉贮藏过程中TVB-N值的变化

TVB-N是评定肉类新鲜程度的重要指标,肉中所含TVB-N的量与肉品腐败变质程度直接相关。

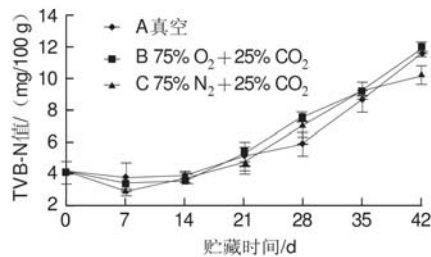


图3 气调包装羊肉在-1℃条件下贮藏过程中TVB-N值的变化
Fig.3 Changes in TVB-N values of MAP mutton during storage at -1 °C

由图3可知, A、B、C 3组不同处理的TVB-N值随冰温贮藏时期的延长都增大, 不同处理之间差异不显著。第42天时A、B两组TVB-N值较C组(10.17 mg/100 g)略大, 分别为11.57、11.85 mg/100 g。在整个贮藏时期内, 所有羊肉样品的TVB-N值均小于15 mg/100 g, 就TVB-N指标而言, 所有样品处于一级鲜肉状态。TVB-N值升高的原因是肉中的微生物利用蛋白质等作为生长基质, 生成带有异味的含硫化合物和胺类^[16]。

2.4 羊肉贮藏过程中pH值的变化

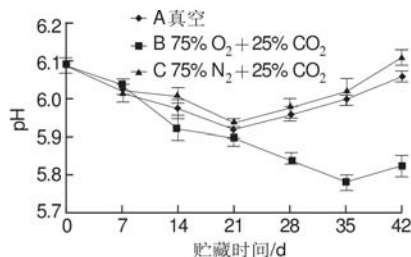


图4 气调包装羊肉在-1℃条件下贮藏过程中pH值的变化
Fig.4 Changes in pH values of MAP mutton during storage at -1 °C

羊肉的pH值可以反映肉质优劣, pH值受肉质本身、环境气体、微生物等因素的综合影响^[17]。由图4可知, 3组处理的pH值均呈现先降低后升高的趋势。在整个贮藏过程中, pH值位于5.8~6.2范围内, 属于一级鲜肉。B组与A、C差异显著, A、C之间差异不显著。在冰温贮藏7~35 d的时期内, B组处理的pH值不断下降, 35 d时降为5.78, 这可能是由于在较高的O₂条件下, 充足呼吸作用产生的CO₂被肉组织吸收的缘故, 使肉呈酸性^[18-20]。在整个贮藏时期内, A、C 2组均第21天pH值最低, 且A组的pH值始终低于C组, 可能的原因是优势菌乳酸菌生长产生较多的乳酸, 降低了羊肉的pH值。

2.5 羊肉贮藏过程中汁液流失率的变化

羊肉在贮藏过程中, 肌肉组织的滴水损失是不可避免的, 不同程度的汁液流出会影响羊肉品质和消费者的接受度。汁液流失过多则肉质的适口性变差, 产品会变得暗淡、无光泽, 其营养大量流失, 羊肉的商业价值受到极大影响^[21]。

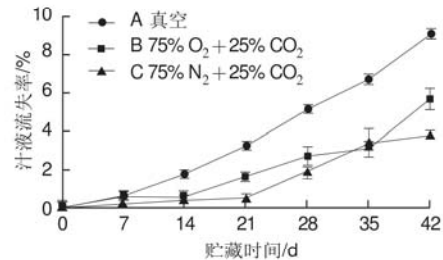


图5 气调包装羊肉在-1℃条件下贮藏过程中汁液流失率的变化
Fig.5 Changes in drip loss rate of MAP mutton during storage at -1 °C

由图5可知, 不同气调包装的牛肉在整个冰温保藏期间, 都有不同程度的汁液流失, 且随贮藏时间的延长流失程度逐渐增大。贮藏到42 d时, 汁液流失率从大到小的排列顺序为A(9.11%)、B(5.68%)、C(3.84%), A组大约为C组的2.4倍。真空包装汁液流失最严重, 这主要是由于抽真空之后外界对肉的挤压较大^[22]。A组与B、C差异显著, B组高O₂调包装的羊肉, 其系水力相较C组较低, 但两者差异不显著, 系水能力下降可能与蛋白质的氧化变性有关^[23]。

2.6 羊肉贮藏过程中嫩度的变化

嫩度是羊肉质地的指标, 消费者对羊肉品质极为重视的一点就是食用时口感的老嫩, 老嫩度直接与结缔组织的含量和肌肉中蛋白质的化学结构等状态有关。嫩度的大小可以用剪切力表征, 剪切力越大, 嫩度越小。

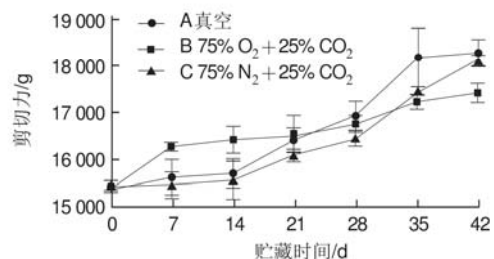


图6 气调包装羊肉在-1℃条件下贮藏过程中剪切力的变化
Fig.6 Changes in shear force values of MAP mutton during storage at -1 °C

由图6可知, 在0~14 d内, B组羊肉的嫩度降低速率较快, 14 d时剪切力达到16 431 g, A、C两组嫩度基本维持不变, 分别为15 657、15 623 g, 降低速率较小。可能的原因是高O₂包装降低肉品嫩度, Zakrys等^[24]研究发现, 肉嫩度随O₂体积分数的增加而降低, 在贮藏后期, B组嫩度降低的速率逐渐减小, 在42 d结束时B组羊肉的嫩度最好, 剪切力为17 391 g。在整个冰温贮藏过程中, 随贮藏时间的延长3组不同气调包装羊肉的嫩度均降低, 彼此差异不显著。嫩度不断下降的原因可能是嫩度变化与失水率有关, 嫩度随着失水率的增加而下降^[25]。

2.7 羊肉贮藏过程中微生物的变化

以菌落总数、乳酸菌、假单胞菌为指标, 测定了

不同气调包装的羊肉在冰温贮藏过程中微生物数量的变化,结果如图7所示。

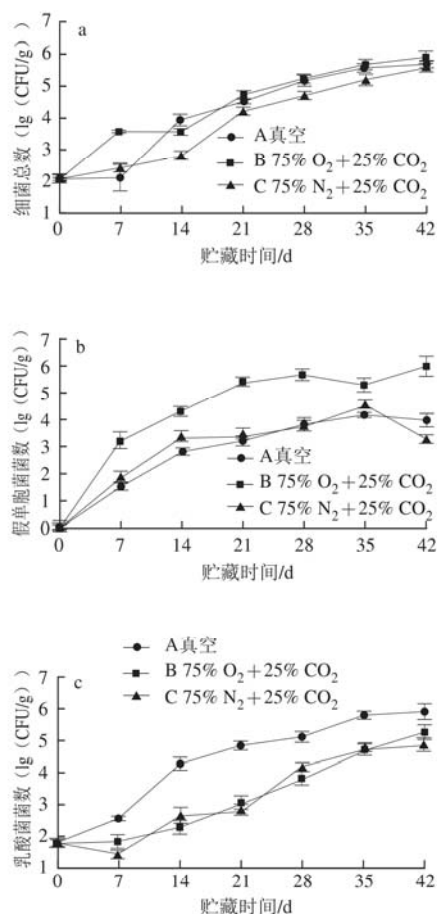


图7 气调包装羊肉在-1 °C条件下贮藏过程中菌落总数(a)、假单胞菌数(b)和乳酸菌数(c)的变化

Fig.7 Changes in total bacterial, Pseudomonas and lactic acid bacteria counts of MAP mutton during storage at -1 °C

由图7可知,在羊肉气调保鲜的整个过程中,不同处理的微生物数目随贮藏时间的延长都增大。贮藏过程中,B组的菌落总数相对略高,但3种不同处理差异不显著,第42天时A、B、C3组的菌落总数分别为5.70、5.91、5.63 (lg (CFU/g)),符合国家二级鲜肉标准。贮藏过程中,B组的假单胞菌数目显著高于其他2组,在42 d时达到5.95 (lg (CFU/g)),A、C2组差异不显著,但3组处理的假单胞菌数目都属于安全鲜肉的范围内 (lg (CFU/g) < 6)。A组的乳酸菌数目最大,42 d时达到5.89 (lg (CFU/g)),与其他2组差异显著,B、C2组之间差异不显著,42 d时分别为5.23、4.85 (lg (CFU/g))。A组处理中,乳酸菌迅速增长成为优势菌种,乳酸菌通过产酸抑制其他微生物的生长^[26]。相反,乳酸菌在B组中数量较少,B组中O₂含量相对较高,更适合假单胞菌的生长,这与Ercolini等^[27]的研究相一致。

3 结论

3种包装与冰温相结合能较好延缓羊肉贮藏过程中TVB-N值和pH值的升高,使羊肉贮藏过程中维持较好的鲜度。75% N₂+25% CO₂气调包装羊肉的色泽和感官评分较差,真空包装羊肉的汁液流失率显著高于气调包装。75% O₂+25% CO₂气调包装对羊肉的保鲜效果最好,其色泽和感官评分最高,汁液流失率较小,pH值最低,-1 °C冰温条件下贮藏42 d时,羊肉的菌落总数、假单胞菌数、乳酸菌数的对数值分别为5.91、5.95、5.23 (lg (CFU/g)),菌落总数符合国家二级鲜肉标准。

综合比较,75% O₂+25% CO₂的气调包装与-1 °C冰温复合使用,可使羊肉的保鲜期达到42 d,适于羊肉的保鲜,是较好的羊肉冰温气调保鲜方式。

参考文献:

- [1] 杨啸吟,罗欣,梁荣蓉.气调包装冷却肉品质和货架期的研究进展[J].食品与发酵工业,2013,39(7):158-164.
- [2] MAGNUSSEN O M, HAUGLAND A, HEMMINGSEN A K T, et al. Advances in superchilling of food-process characteristics and product quality[J]. Trends in Food Science and Technology, 2008, 19(8): 418-424.
- [3] 张瑞宇,殷翠茜.新鲜猪肉冰温保鲜的研究[J].食品科技,2006,31(2):113-116.
- [4] 李建雄,谢晶.冰温结合气调及保鲜剂技术在肉制品保鲜中的应用[J].湖北农业科学,2008,47(10):1212-1215.
- [5] DAVID A. World view: modified atmosphere packaging[J]. Meat Processing, 1996, 10: 16-19.
- [6] TAWIAH M, AMMANN L L, SEBRANEK J G, et al. Extending the color stability and shelf life of fresh meat[J]. Food Technology, 1991, 45(3): 94-102.
- [7] DEVLIEGHERE F, DEBEVERE J, van IMPE J. Concentration of carbon dioxide in the water-phase as a parameter to model the effect of a modified atmosphere on microorganisms[J]. International Journal of Food Microbiology, 1998, 43(1): 105-113.
- [8] JACOBSEN M, BERTELSEN G. Color stability and lipid oxidation of fresh beef. Development of a response surface model for predicting the effects of temperature, storage time and modified atmosphere composition[J]. Meat Science, 2000, 54(1): 49-57.
- [9] 赵毓芝,刘成国,周玄.气调包装技术在冷鲜肉生产中的研究进展[J].肉类研究,2011,25(1):72-77.
- [10] BOREK C. Antioxidant health effects of aged garlic extract[J]. The Journal of Nutrition, 2001, 131(Suppl 3): 1010-1015.
- [11] 马丽珍,南庆贤,戴瑞彤.不同气调包装方式对冷却猪肉在冷藏过程中的理化及感官特性的影响[J].农业工程学报,2003,19(3):156-160.
- [12] FERNANDES R P P, FREIRE M T A, de PAULA E S M, et al. Stability of lamb loin stored under refrigeration and packed in different modified atmosphere packaging systems[J]. Meat Science, 2014, 96(1): 554-561.
- [13] 孙京新,李汉昌.21世纪我国肉品贮藏保鲜技术展望[J].肉类工业,2000(1):1-55.

- [14] 姚艳玲, 贺雅非, 李洪军, 等. 包装材料对高氧气调包装冷鲜肉品质变化的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(8): 313-317.
- [15] 王燕荣. 冷却肉保鲜包装技术的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2007.
- [16] 蒋建平, 陈洪, 周晓媛. 以茶多酚为主体的抗氧化剂联用对冷却肉保鲜作用的研究[J]. 株洲工学院学报, 2005, 19(1): 17-19.
- [17] 周光宏, 徐幸莲. 肉品学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [18] 王燕荣. 冷却肉保鲜包装技术的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2007.
- [19] 黄壮霞. 鲜牛肉气调包装及其冷藏货架期保鲜技术研究[D]. 无锡: 江南大学, 2004.
- [20] 马坚毅. 冷却分割羊肉保鲜技术研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2007.
- [21] 陈椒, 周培根, 吴建中, 等. 不同CO₂气调包装对冷藏青鱼块质量的影响[J]. 上海水产大学学报, 2004, 12(4): 331-337.
- [22] SEKAR A, DUSHYANTHAN K, RADHAKRISHNAN K T, et al. Effect of modified atmosphere packaging on structural and physical changes in buffalo meat[J]. Meat Science, 2006, 72(2): 211-215.
- [23] KIM Y H, HUFF-LONERGAN E, SEBRANEK J G, et al. High-oxygen modified atmosphere packaging system induces lipid and myoglobin oxidation and protein polymerization[J]. Meat Science, 2010, 85(4): 759-767.
- [24] ZAKRYS P I, HOGAN S A, O'SULLIVAN M G, et al. Effects of oxygen concentration on the sensory evaluation and quality indicators of beef muscle packed under modified atmosphere[J]. Meat Science, 2008, 79(4): 648-655.
- [25] 闫革华. 冷却牛肉综合保鲜技术的研究[D]. 北京: 解放军兽医大学, 2003.
- [26] JAKOBSEN M, BERTELSEN G. The use of CO₂ in packaging of fresh red meats and its effect on chemical quality changes in the meat: a review[J]. Journal of Muscle Foods, 2002, 13(2): 143-168.
- [27] ERCOLINI D, RUSSO F, TORRIERI E, et al. Changes in the spoilage-related microbiota of beef during refrigerated storage under different packaging conditions[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2006, 72(7): 4663-4671.