

肉及肉制品气调包装技术研究进展

席丽琴, 杨君娜, 许随根, 黄鑫, 王守伟*

(中国肉类食品综合研究中心, 肉类加工技术北京市重点实验室, 北京 100068)

摘要: 气调包装技术作为一种新型包装技术应用于肉及肉制品, 能较好地保持肉及肉制品品质、色泽、风味及营养、延长肉及肉制品货架期, 对产品副作用小。本文主要就气调包装的技术原理、常用气体组成成分及作用、气调包装在肉及肉制品中应用的研究进展以及影响气调包装保鲜效果的因素进行概述, 并对气调包装技术的研究应用提出了展望。

关键词: 气调包装; 肉及肉制品; 保鲜; 货架期

Progress in the Development of Modified Atmosphere Packaging Technologies for Meat and Meat Products

XI Liqin, YANG Junna, XU Suigen, HUANG Xin, WANG Shouwei*

(Beijing Key Laboratory of Meat Processing Technology, China Meat Research Centre, Beijing 100068, China)

Abstract: As a new packaging technology, modified atmosphere packaging (MAP), when applied to meat and meat products, maintains their quality, color, flavor and nutrition, and prolongs their shelf lives while causing lesser side effects. In this paper, the technical principle and gas composition and function of MAP, recent progress in the application of MAP to meat and meat products and the factors affecting its efficacy for quality maintenance are summarized, and future trends are also discussed.

Keywords: modified atmosphere packaging; meat and meat products; preservation; shelf life

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190704-157

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2019) 09-0064-05

引文格式:

席丽琴, 杨君娜, 许随根, 等. 肉及肉制品气调包装技术研究进展[J]. 肉类研究, 2019, 33(9): 64-68. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190704-157. <http://www.rlyj.net.cn>

XI Liqin, YANG Junna, XU Suigen, et al. Progress in the development of modified atmosphere packaging technologies for meat and meat products[J]. Meat Research, 2019, 33(9): 64-68. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190704-157. <http://www.rlyj.net.cn>

随着经济快速发展, 国民生活水平不断提高, 消费者对肉及肉制品的总体质量及营养、安全水平更加重视。鲜肉的质量决定了其加工适用性和消费者感知, 同时, 鲜肉加工所采用的生产技术、包装方式和贮存条件等会影响其制品的理化和感官指标, 包括pH值、颜色、质构、丙二醛含量、微生物含量和感官特性等。在生产技术规范的情况下, 鲜肉及其制品的保鲜及贮藏方式显得尤为重要。肉及肉制品的贮藏方法一直在不断改进, 以延长保质期并保持最佳品质^[1], 延长货架期的方法之一是在适宜的温度条件下进行气调包装^[2-3]。气调包装技术能保持肉类产品的原本风味, 减少汁液损失和颜色变

化, 对肉类产品的品质有一定的改善^[4]。本文主要介绍气调包装的保鲜原理及其在国内外肉及肉制品中的应用研究进展, 对影响气调包装效果的因素进行总结并提出展望, 以期气调包装技术在肉及肉制品保鲜中的应用提供参考。

1 气调包装技术原理

肉及肉制品常用气调包装技术是指在一定温度条件下, 将一定比例的混合气体充入具有一定阻隔性和密封性的包装材料中, 改变肉品所处的气体环境, 利用气体

收稿日期: 2019-07-04

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2018YFD0401200)

第一作者简介: 席丽琴 (1993—) (ORCID: 0000-0002-6313-7405), 女, 助理工程师, 硕士, 研究方向为食品生物制造。

E-mail: xiliqin1993@163.com

*通信作者简介: 王守伟 (1961—) (ORCID: 0000-0002-6390-4803), 男, 教授级高级工程师, 硕士, 研究方向为食品加工技术。E-mail: cmrcsw@126.com

间的不同作用来抑制引起肉品变质的生理生化过程,从而达到延长肉品保鲜期或货架期的技术^[5-7]。气调包装可以隔离外界微生物,防止二次污染^[8],也可以抑制肉类产品中细菌、真菌和霉菌的生长繁殖,降低酶促反应速率,减缓脂质氧化和产品颜色的不良变化,同时还可以减少防腐剂的使用,从而使肉及肉制品新鲜度和色泽更好,安全性和营养价值更高^[7,9-10]。目前,气调包装已经成为部分发达国家消费者所青睐的一种包装方式。

2 气调包装常用气体及其作用

肉及肉制品的气调包装常用气体为二氧化碳(CO_2)、氧气(O_2)和氮气(N_2)^[11-12],通常用其中的2种或3种气体按不同比例混合后进行填充。

CO_2 是一种无色、无味的气体,主要起保鲜、抑菌作用。 CO_2 易溶于水和脂肪,形成碳酸。碳酸可以破坏细菌的细胞膜,降低胞内pH值并裂解细胞,通过破坏营养吸收、抑制或减少酶促反应以及促进细胞蛋白质的理化性质改变等影响微生物的生长^[13-14]。 CO_2 可以抑制多数需氧菌和霉菌的生长繁殖,延长细菌生长迟缓期,降低对数期生长速率。 CO_2 对微生物的抑制作用也取决于初始微生物的数量、 CO_2 含量、产品贮存温度以及使用气体的时间等因素^[13]。但是由于 CO_2 易于溶解在肉类产品中,容易导致包装塌陷,影响美观,因此肉类产品气调包装中 CO_2 比例不宜太高^[11]。 O_2 的主要作用是保持肉类产品的鲜红色。 O_2 附着在肉中的水溶性肌红蛋白上,形成复杂的氧合肌红蛋白,进而使肉制品呈现出鲜红色^[6,15-17],起到护色作用。同时 O_2 还能抑制厌氧微生物的生长繁殖,有利于好氧型假单胞菌和葡萄球菌的生长^[6]。但 O_2 也会为需氧菌群生长以及维生素、脂类等营养物质氧化提供条件,导致异味形成、肉韧性增加和营养价值降低^[15-16]。 N_2 是一种惰性气体,不与肉类产品发生化学反应,可以作为替代物置换产品周围的 O_2 ,从而防止氧化和酸败,抑制好氧微生物的生长、霉菌的繁殖等^[18]。此外, N_2 的渗透率比较低,可以作为混合气体在塑料包装中起到缓冲或平衡的作用,也可以有效防止由于 CO_2 溶解导致的包装盒塌陷^[19]。

3 气调包装在肉及肉制品中的应用研究进展

3.1 气调包装对色泽的影响

肉及肉制品的颜色是影响消费者购买欲的重要因素之一,消费者通常通过肉色来辨别肉及肉制品的新鲜度^[20-22]。气调包装中含有的高浓度 O_2 可以与肌红蛋白结合形成氧合肌红蛋白^[23],使肉及肉制品呈鲜红色,使新鲜度增加,延长新鲜色泽的保持时间。马骋等^[24]研究

3组不同含氧气调包装与对照组(真空包装)牦牛肉的肉色变化,结果表明:含氧气调包装组牦牛肉中的氧合肌红蛋白含量显著高于真空包装组,使冷藏期间含氧气调包装组牦牛肉肉色更好;含氧量为60%的气调包装组牦牛肉中的乳酸脱氢酶活性和还原型辅酶I含量更高,牦牛肉具有更好的肉色稳定性。海丹等^[25]测定气调和真空包装条件下酱牛肉的色差值,结果表明,2种包装条件下肉的亮度值均缓慢上升,但是气调包装组的红度值和黄度值变化均比真空包装组平缓,能更好地保持色泽的稳定。

3.2 气调包装对微生物的影响

肉及肉制品在贮藏期间容易受到物理化学变化及微生物的影响,使产品质量降低,营养价值损失,甚至发生腐败变质^[26]。气调包装可以影响肉及肉制品中微生物的生长繁殖^[27],进而提高产品质量,延长货架期。Guo Yuchen等^[28]研究不同包装方式对烧鸡中微生物特性的影响,结果表明:空气包装组和4种气调包装组烧鸡中微生物的菌落总数分别在贮藏8、16、18、21、22 d后超过GB 2726—2016《食品安全国家标准 熟肉制品》中的限定值,表明气调包装可以抑制微生物的生长;同时,随着气调包装中 CO_2 含量的增加,霉菌和酵母菌的生长速率减慢。此外,气调包装对一些腐败菌或致病菌的生长具有抑制作用。张新笑等^[29]研究不同 CO_2 比例气调包装对冷鲜鸡肉中荧光假单胞菌的抑制作用,结果表明,荧光假单胞菌是导致冷鲜鸡肉腐败的主要优势菌,不同包装组的荧光假单胞菌总数随着贮藏时间的延长上升,随 CO_2 比例的升高而下降,表明 CO_2 气调包装能有效抑制荧光假单胞菌的生长繁殖。单核细胞增生李斯特菌是常见的食源性致病菌之一,在贮藏、再加工或食用阶段都可能通过接触发生交叉污染^[30-31]。Dalzini等^[32]将火鸡切片接种3种不同的李斯特菌后,在气调包装条件下贮藏,贮藏90 d时,其中1组火鸡切片的李斯特菌数量显著下降,而另外2组火鸡切片中均没有检测到李斯特菌。刘柳等^[33]研究表明,气调包装中 CO_2 含量的增加使冷却猪肉中单核细胞增生李斯特菌数量减少,当 CO_2 含量为100%时,抑菌效果最好。上述结果表明,气调包装对单增李斯特菌的繁殖具有明显的抑制效果。

3.3 气调包装对质构的影响

质构特性可以反映肉及肉制品的弹性及软硬程度变化,是体现食品质量的重要指标^[34]。贮藏过程中汁液流失、蛋白质变性等因素都会使肉品质构特性发生改变。不同的包装方式会影响肉品的硬度、弹性及咀嚼性等指标^[35]。研究表明,氧化作用可能导致酶活性和溶解性的丧失以及蛋白复合物和非酶褐变产物的形成,并可能与肉的嫩度相关^[36],而在高氧条件下贮藏会导致牛肉嫩度降低^[37]。罗玉龙等^[38]通过测定气调包装、真空包装和普

通包装条件下羊肉发酵香肠的咀嚼性和弹性发现, 气调包装组香肠的质地优于其他2组。Zakrys等^[39]研究不同O₂含量的气调包装对牛肉感官及品质指标的影响, 结果表明, 低氧处理组在保质期初期肉质更嫩; 剪切力与O₂含量呈正相关, 即随着O₂含量增加, 样品的硬度也有所增加。

3.4 气调包装对风味的影响

肉及肉制品在加工或贮藏过程中容易发生脂质和蛋白质氧化, 导致其风味特征的改变。脂质适度氧化会产生醛、酮、低级脂肪酸等肉制品特征风味物质, 但脂质过氧化会导致肉制品风味劣变, 产生不良气味。蛋白质氧化也会导致蛋白质主链和氨基酸侧链残基发生变化, 使肉制品风味前体相关的氨基酸损失, 影响肉品风味^[40-41]。Summo等^[42]评估不同CO₂含量气调包装下成熟后期发酵香肠的脂质降解程度及感官特性, 氧化三酰甘油(oxidized triacylglycerols, ox-TAG)代表一级氧化产物及除氢过氧化物以外的三酰甘油的氧化形式。结果表明: 在贮藏期1个月时, ox-TAG含量显著增加, 之后低CO₂含量包装组的增加程度显著高于高CO₂含量组; 三酰甘油低聚物(triacylglycerol oligopolymers, TAGP)代表二次氧化降解的三酰甘油聚合产物, 其测定值在整个贮藏期呈增加趋势, 但不同组间有差异; 二次挥发性氧化产物(secondary volatile oxidation products, ox-VoC)是己醛、辛醛、壬醛、己酸和壬酸的峰面积之和, 可作为指示物, 在贮藏1个月时, 低CO₂含量包装组的ox-VoC值最高。综合以上结果认为, 高含量CO₂气调包装产品的氧化发生率较低, 并且CO₂含量的变化会影响对香肠酸味的感知, 当CO₂含量较低时, 一些缺陷描述(酸味和酸败味)得分较低。Resconi等^[43]研究发现: 较高的O₂含量并不一定和较高的酸败水平相对应; 真空组和高O₂气调包装组牛排在贮藏第8天有感官差异, 经风味分析, 认为部分酮类(2,3-丁二酮、2-辛酮、2,3-戊二酮、2-庚酮、4-甲基-2-戊酮)、醛类(戊二醛、2-甲基-丁醛)、2-糠基硫醇、1-辛烯-3-醇和2-甲基丙基-乙酸盐是真空包装和气调包装熟牛排贮藏期间香气差异的候选物质。

3.5 气调包装与其他保鲜方法协同作用

单一的气调包装有时并不能达到对肉及肉制品的最佳保鲜效果, 越来越多的学者研究气调包装和其他保鲜方法协同对肉制品的保鲜作用。1) 气调包装和保鲜剂的复合作用。Demirhan等^[44]比较气调包装与铁基氧清除剂联合使用对新鲜鸡腿肉冷藏过程中脂质、蛋白质的氧化及微生物生长的影响。结果表明: 与空气包装组相比, 气调包装显著延缓了冷藏期间新鲜鸡腿肉的氧化和微生物的生长; 在气调包装系统中加入铁基氧清除剂可以在冷藏后期有效抑制总需氧菌和假单胞菌的生长, 并能抑制脂质和蛋白质的氧化。王燕荣等^[45]研究表明, 高

含量CO₂气调包装与保鲜剂联用可有效抑制冷却肉中微生物的生长, 同时延长保质期。2) 气调包装与超声波技术协同作用。超声波处理能使微生物细胞内容物受到强烈的振荡而使细胞被破坏, 有效抑制肉及肉制品中各种腐败菌和致病菌的生长繁殖^[46-47]。鲜肉通过超声波处理, 可以促进蛋白质分解酶的游离和分泌, 使游离氨基酸增加, 促进组织结构变化, 从而达到改善肉质嫩度的效果^[19]。朱秋劲等^[48]采用紫外线照射、超声波处理与气调保鲜包装结合的方式, 对牛肉色泽、汁液渗出率、pH值、熟肉率、嫩度、总挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)含量、细菌总数和大肠菌群数等指标进行评价, 发现冷却牛肉的保质期可达22 d, 原料肉经过超声波处理后嫩度有所改善。3) 气调包装结合真空预冷技术。真空预冷利用真空创造低压环境来降低水的沸点, 使肉及肉制品表面或内部的水分快速蒸发吸热而冷却^[49]。刘永吉等^[50]研究发现, 普通保鲜薄膜包装、真空预冷后保鲜膜包装和真空预冷后气调包装的鸡肉保质期依次为4、8、11 d, 表明真空预冷结合气调包装能够有效延长鸡肉的保质期。

4 影响肉及肉制品气调保鲜效果的因素

肉及肉制品在气调包装条件下的保鲜效果及货架期受多方面因素的影响, 主要包括气体成分及比例、包装材料、贮藏温度等。针对这些因素国内外也开展了不同的研究。

关于气体成分及比例, Spanos等^[51]研究气调包装中O₂含量(0%、20%、50%、80%)对猪排和猪肉糜氧化稳定性的影响。通过测定脂质和蛋白质氧化值, 发现猪排在贮藏7 d内没有受到O₂含量增加的影响, 而猪肉糜贮藏过程中的蛋白质形态发生了变化, 活性巯基丧失, 蛋白质氧化作用增强。说明气调包装中的O₂含量对猪肉不同产品的贮藏效果具有不同影响。任思婕等^[52]研究不同气体比例的气调包装对冷藏微波辣子鸡丁品质的影响。通过测定菌落总数、脂肪和蛋白质氧化产物含量、挥发性风味物质含量等的变化, 发现随着气调包装中O₂含量增加, 菌落总数增长加速, 脂肪和蛋白质氧化速率加快, 而加入CO₂能抑制腐败微生物的生长繁殖, 降低样品的脂肪氧化。

气调包装所用的包装材料组成成分、阻隔性等会影响包装内外的气体交换, 进而影响保鲜效果。郭光平等^[53]在适合烧肉气调包装的气体比例为30% CO₂+70% N₂前提下, 研究不同包装材料对烧肉品质的影响。结果表明, 高阻隔性的聚丙烯(polypropylene, PP)/胶黏剂(tackiness agent, TIE)/聚酰胺(polyamide, PA)/乙烯醇共聚物(ethylene vinyl alcohol copolymer, EVOH)/PA/TIE/PP



包装膜比低阻隔性的PP/PP/TIE/PA/TIE/PP/PP包装膜能更好地抑制微生物生长繁殖及其对蛋白质的分解,还可以延缓脂质氧化,从而有利于更好地保持烧肉品质。Lloret等^[54]开展聚酰胺纳米复合材料在气调包装下对熟肉色泽稳定性影响的研究,结果表明,聚酰胺纳米复合材料包装下熟火腿颜色的变化可与高阻隔性商用聚合物包装相媲美,并且商业销售的货架期可达27 d,表明聚酰胺纳米复合材料在熟火腿贮藏中具有良好的应用前景。

贮藏温度是影响肉及肉制品中微生物生长和肉品质稳定性最重要的因素之一^[55],同时贮藏温度也会影响包装材料的阻隔性。Moreira等^[56]研究发现,气调包装烤猪腰肉的TVB-N含量在贮藏温度8℃时比贮藏温度3℃时更高。李鸣等^[57]研究不同贮藏温度(4、7、12℃)对气调包装白切鸡货架期和品质的影响,结果表明,与7、12℃相比,4℃条件下贮藏期间白切鸡的微生物数量最低,pH值上升速率慢,TVB-N生成量缓慢上升,感官评分最高,货架期也相对较长。在实际应用中,应根据肉及肉制品的产品特点选择适宜的贮藏温度。

5 结 语

肉及肉制品种类和营养丰富,在贮藏或销售过程中容易发生腐败变质,使营养价值降低。而气调包装通过调节不同气体的成分和比例,设置合适的贮藏温度,可以使肉及肉制品保持较好的外观色泽及质量水平,有效延长产品的货架期^[58]。但是目前气调保鲜在肉及肉制品中的应用效果各不相同,对于特定产品的气调包装仍需加深研究,寻求最适宜的气调包装条件。气调包装应用于发酵肉制品,如发酵香肠或发酵火腿的研究比较少见,有研究表明,气调包装对于发酵香肠的贮藏具有有利影响^[42],也有研究认为,气调包装下的发酵火腿更容易酸败,而真空包装能保持脂质氧化的稳定性^[59],对于这些矛盾点后期可以拓展或加深对气调包装在发酵肉制品中的应用研究。此外,气调包装对肉及肉制品脂质氧化的研究比较常见,而对蛋白质氧化的研究则比较少,加深对气调包装条件下肉及肉制品蛋白质氧化的研究,并深入分析内在原因,有助于使肉及肉制品保持更好的风味。总之,有必要在充分利用气调包装延长肉及肉制品货架期的同时保证肉及肉制品的质量和风味。

参考文献:

- [1] STASIEWICZ M, LIPINSKI K, CIERACH M. Quality of meat products packaged and stored under vacuum and modified atmosphere conditions[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2014, 51(9): 1982-1989. DOI:10.1007/s13197-012-0682-3.
- [2] CARRIZOSA E, BENITO M J, RUIZ-MOYANO S, et al. Bacterial communities of fresh goat meat packaged in modified atmosphere[J]. *Food Microbiology*, 2017, 65: 57-63. DOI:10.1016/j.fm.2017.01.023.
- [3] CHMIEL M, ROSZKO M, ADAMCZAK L, et al. Influence of storage and packaging method on chicken breast meat chemical composition and fat oxidation[J]. *Poultry Science*, 2019(6): 2679-2690. DOI:10.3382/ps/pez029.
- [4] 陈海桂. 气调包装技术在肉类保鲜中的应用和研究进展[J]. *肉类研究*, 2010, 24(11): 74-78.
- [5] MCMILLIN K W. Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat[J]. *Meat Science*, 2008, 80(1): 43-65. DOI:10.1016/j.meatsci.2008.05.028.
- [6] 陈东杰. 气调包装对冷却猪肉菌相影响与货架期预测模型[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017: 5.
- [7] 韩吉娜, KOMLA S H, 杨鸿博, 等. 气调包装对冷却鸭肉的保鲜效果研究[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(9): 159-164. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.018894.
- [8] 骆双灵, 张萍, 高德. 肉类食品保鲜包装材料与技术的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(4): 220-228. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.017763.
- [9] 高海. 红肉鱼与白肉鱼的气调包装冷藏保鲜的比较研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017: 5-6.
- [10] HANSEN A Å, MØRKØRE T, RUDI K, et al. Quality changes during refrigerated storage of MA-packaged pre-rigor fillets of farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) using traditional MAP, CO₂ emitter, and vacuum[J]. *Journal of Food Science*, 2007, 72(9): M423-M430. DOI:10.1111/j.1750-3841.2007.00561.x.
- [11] 章彬. 冷鲜鸡加工及贮藏过程中的微生物调查及气调保鲜技术应用研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2017: 3-4.
- [12] ZHOU Guanghong, XU Xinglian, LIU Yuan. Preservation technologies for fresh meat: a review[J]. *Meat Science*, 2010, 86(1): 119-128. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.04.033.
- [13] SINGH P, WANI A A, SAENGERLAUB S, et al. Understanding critical factors for the quality and shelf-life of MAP fresh meat: a review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2011, 51(2): 146-177. DOI:10.1080/10408390903531384.
- [14] 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(1/2): 105-113. DOI:10.1016/s0168-1605(98)00101-9.
- [15] DJORDJEVIC J, BOSKOVIC M, DOKMANOVIC M, et al. Vacuum and modified atmosphere packaging effect on Enterobacteriaceae behaviour in minced meat[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2017, 41(2): e12837. DOI:10.1111/jfpp.12837.
- [16] WANG Ce, WANG Hang, LI Xia, et al. Effects of oxygen concentration in modified atmosphere packaging on water holding capacity of pork steaks[J]. *Meat Science*, 2019, 148: 189-197. DOI:10.1016/j.meatsci.2018.10.001.
- [17] MARTÍNEZ L, DJENANE D, CILLA I, et al. Effect of different concentrations of carbon dioxide and low concentration of carbon monoxide on the shelf-life of fresh pork sausages packaged in modified atmosphere[J]. *Meat Science*, 2005, 71(3): 563-570. DOI:10.1016/j.meatsci.2005.04.041.
- [18] SINGH S. Modified atmosphere packaging of fresh produce: current status and future needs[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2010, 43(3): 381-392. DOI:10.1016/j.lwt.2009.05.018.
- [19] 杜倩文, 李春伟, 高鹏, 等. 牛肉气调保鲜包装研究进展[J]. *包装与食品机械*, 2013, 31(1): 49-53.
- [20] MANCINI R A, HUNT M C. Current research in meat color[J]. *Meat Science*, 2005, 71(1): 100-121. DOI:10.1016/j.meatsci.2005.03.003.
- [21] LI X, LINDAHL G, ZAMARATSKAIA G, et al. Influence of vacuum skin packaging on color stability of beef *Longissimus lumborum* compared with vacuum and high-oxygen modified atmosphere packaging[J]. *Meat Science*, 2012, 92(4): 604-609. DOI:10.1016/j.meatsci.2012.06.006.

- [22] MOZURIENE E, BARTKIENE E, KRUNGLEVICIUTE V, et al. Effect of natural marinade based on lactic acid bacteria on pork meat quality parameters and biogenic amine contents[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 69: 319-326. DOI:10.1016/j.lwt.2016.01.061.
- [23] O'GRADY M N, MONAHAN F J, BURKE R M, et al. The effect of oxygen level and exogenous α -tocopherol on the oxidative stability of minced beef in modified atmosphere packs[J]. Meat Science, 2000, 55(1): 39-45. DOI:10.1016/S0309-1740(99)00123-0.
- [24] 马骋, 梁琪, 文鹏程, 等. 含氧气调包装对牦牛肉肉色稳定性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(9): 130-136. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201609023.
- [25] 海丹, 黄现青, 柳艳霞, 等. 酱牛肉气调和真空包装保鲜效果比较分析[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 297-300.
- [26] 赵鸾, 章杰. 贮藏温度、时间和加工工艺对熟肉制品品质的影响[J]. 南方农业, 2017, 11(24): 121-123. DOI:10.19415/j.cnki.1673-890x.2017.24.071.
- [27] DHANANJAYAN R, HAN I Y, ACTON J C, et al. Growth depth effects of bacteria in ground turkey meat patties subjected to high carbon dioxide or high oxygen atmospheres[J]. Poultry Science, 2006, 85(10): 1821-1828. DOI:10.1093/ps/85.10.1821.
- [28] GUO Yuchen, HUANG Jichao, SUN Xiaobin, et al. Effect of normal and modified atmosphere packaging on shelf life of roast chicken meat[J]. Journal of Food Safety, 2018, 38(5): e12493. DOI:10.1111/jfs.12493.
- [29] 张新笑, 章彬, 卞欢, 等. 不同二氧化碳比例气调对冷鲜鸡肉中荧光假单胞菌的抑制作用[J]. 食品科学, 2018, 39(13): 266-271.
- [30] 江荣花, 汪雯, 蔡铮, 等. 肉制品加工过程中食源性致病菌交叉污染及风险评估的研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(7): 305-311. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201807045.
- [31] 董庆利, 陆冉冉, 汪雯, 等. 基于FSO值对生熟食品交叉污染中单增李斯特菌的危害识别[J]. 现代食品科技, 2016, 32(11): 286-292. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.11.043.
- [32] DALZINI E, COSCIANI-CUNICO E, D'AMICO S, et al. Growth potential of *Listeria monocytogenes* in sliced turkey bresaola packed in modified atmosphere[J]. Italian Journal of Food Safety, 2014, 3(1): 44-46. DOI:10.4081/ijfs.2014.2231.
- [33] 刘柳, 孔保华. 温度及气调包装对冷却猪肉中单核细胞增生性李斯特菌生长的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(1): 334-337.
- [34] COPPES Z, PAVLISKO A, VECCHI S D. Texture measurements in fish and fish products[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2002, 11(1): 89-105. DOI:10.1300/J030v11n01_08.
- [35] XIA Xiufang, KONG Baohua, LIU Qian, et al. Physicochemical change and protein oxidation in porcine *Longissimus dorsi* as influenced by different freeze-thaw cycles[J]. Meat Science, 2009, 83(2): 239-245. DOI:10.1016/j.meatsci.2009.05.003.
- [36] DECKER E A, XIONG Y L, CALVERT J T, et al. Chemical, physical, and functional properties of oxidized turkey white muscle myofibrillar proteins[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1993, 41(2): 186-189. DOI:10.1021/jf00026a007.
- [37] TØRNGREN M A. Effect of packing method on colour and eating quality of beef loin steaks[C]// 49th International Congress of Meat Science and Technology. Brazil, 2003: 495-496.
- [38] 罗玉龙, 靳辉, 靳志敏, 等. 不同包装条件对羊肉发酵香肠品质特性的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(18): 252-256. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201518047.
- [39] 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. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.10.030.
- [40] LUND M N, LAMETSCH R, HVIID M S, et al. High-oxygen packaging atmosphere influences protein oxidation and tenderness of porcine *Longissimus dorsi* during chill storage[J]. Meat Science, 2007, 77(3): 295-303. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.03.016.
- [41] 蒋娅婷, 曹锦轩, 张玉林, 等. 蛋白质与挥发性风味成分相互作用研究进展[J]. 核农学报, 2014(2): 285-291.
- [42] SUMMO C, PASQUALONE A, PARADISO V M, et al. Lipid degradation and sensory characteristics of ripened sausages packed in modified atmosphere at different carbon dioxide concentrations[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(1): 262-270. DOI:10.1002/jsfa.7089.
- [43] RESCONI V C, ESCUDERO A, BELTRÁN J A, et al. Color, lipid oxidation, sensory quality, and aroma compounds of beef steaks displayed under different levels of oxygen in a modified atmosphere package[J]. Journal of Food Science, 2012, 77(1): S10-S18. DOI:10.1111/j.1750-3841.2011.02506.x.
- [44] DEMIRHAN B, CANDOĞAN K. Active packaging of chicken meats with modified atmosphere including oxygen scavengers[J]. Poultry Science, 2017, 96(5): 1394-1401. DOI:10.3382/ps/pew373.
- [45] 王燕荣, 栗丽萍. 茶多酚和壳聚糖在冷却肉保鲜气调包装中的应用[J]. 食品工业, 2016(7): 159-161.
- [46] TURANTAŞ F, KILIÇ G B, KILIÇ B. Ultrasound in the meat industry: general applications and decontamination efficiency[J]. International Journal of Food Microbiology, 2015, 198: 59-69. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2014.12.026.
- [47] 李可, 刘俊雅, 张艳艳, 等. 超声波在肉品加工中应用的研究进展[J]. 食品工业, 2018(4): 280-284.
- [48] 朱秋劲, 罗爱平, 林国虎, 等. 超声波和气调贮藏对冷却牛肉保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2006, 27(1): 240-246.
- [49] 杨俊彬, 刘圣春, 杨文哲, 等. 真空预冷技术的现状及展望[J]. 冷藏技术, 2016(3): 1-4.
- [50] 刘永吉, 冯小燕, 钟瑞敏. 真空预冷结合气调包装对冷鲜鸡肉冷藏品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(21): 105-108; 133. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2018.21.026.
- [51] SPANOS D, TØRNGREN M A, CHRISTENSEN M, et al. Effect of oxygen level on the oxidative stability of two different retail pork products stored using modified atmosphere packaging (MAP)[J]. Meat Science, 2016, 113: 162-169. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.11.021.
- [52] 任思婕, 胡吕霖, 沈清, 等. 不同气体比例气调包装对冷藏微波辣子鸡丁品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(21): 245-252. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201821037.
- [53] 郭光平, 张建梅, 刘彩霞, 等. 气调包装技术对烧肉品质的影响[J]. 肉类研究, 2015, 29(9): 20-24. DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2015.09.005.
- [54] LLORET E, PICOUE T P A, TRBOJEVICH R, et al. Colour stability of cooked ham packed under modified atmospheres in polyamide nanocomposite blends[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 66: 582-589. DOI:10.1016/j.lwt.2015.11.012.
- [55] CHMIEL M, HAĆ-SZYMAŃCZUK E, ADAMCZAK L, et al. Quality changes of chicken breast meat packaged in a normal and in a modified atmosphere[J]. Journal of Applied Poultry Research, 2018, 27(3): 349-362. DOI:10.3382/japr/pfy004.
- [56] MOREIRA M J, OLIVEIRA I, SILVA J A, et al. Safety and quality assessment of roasted pork loin obtained by cook-chill system and packed in modified atmosphere[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 101: 711-722. DOI:10.1016/j.lwt.2018.11.060.
- [57] 李鸣, 王虎虎, 徐幸莲, 等. 贮藏温度对气调包装白切鸡保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(20): 261-267. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.20.044.
- [58] JABERI R, KABAN G, KAYA M. Effects of vacuum and high-oxygen modified atmosphere packaging on physico-chemical and microbiological properties of minced water buffalo meat[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2019, 32(3): 421-429. DOI:10.5713/ajas.18.0391.
- [59] PARRA V, VIGUERA J, SÁNCHEZ J, et al. Modified atmosphere packaging and vacuum packaging for long period chilled storage of dry-cured Iberian ham[J]. Meat Science, 2010, 84(4): 760-768. DOI:10.1016/j.meatsci.2009.11.013.