



冷鲜肉贮藏前处理及保鲜包装技术进展

张玉琴, 齐小晶, 梁敏, 王羽, 宋树鑫, 刘林林, 董同力^{*}

(内蒙古农业大学食品科学与工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要: 冷鲜肉因其营养物质丰富、安全卫生和肉质柔嫩, 已逐渐成为生肉市场的消费主流。但裸露放置极易受到腐败菌和致病菌的感染, 适宜的包装保鲜技术能使冷鲜肉的卫生条件良好, 也可避免肉品因失水而品质下降, 从而延长冷鲜肉的货架期, 同时有效的贮藏前处理也是延长货架期的关键过程。本文综述了目前冷鲜肉贮藏前处理的技术及国内外冷鲜肉常用的包装技术, 旨在为冷鲜肉贮藏前处理及保鲜包装提供技术参考。

关键词: 冷鲜肉; 贮藏前处理; 包装技术

Advances in Pre-Storage Treatment, Preservation and Packaging Technologies for Chilled Meat

ZHANG Yuqin, QI Xiaojing, LIANG Min, WANG Yu, SONG Shuxin, LIU Linlin, DONG Tungalag^{*}

(College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: Because of its nutritional richness, good safety and hygiene, and soft and tender texture, chilled meat has gradually become the mainstream of raw meat consumption. However, fresh meat is highly vulnerable to infection by food borne pathogens and other spoilage microorganisms when stored without packaging. Proper preservation and packaging technologies can create good hygienic conditions for chilled meat and avoid quality deterioration caused by water loss, thus prolonging its shelf life. Effective pre-storage treatment is also crucial for shelf life extension of chilled meat. This paper reviews the current commonly used technologies for pre-storage treatment and packaging of chilled meat for the purpose of providing technical references for pre-storage treatment and packaging of chilled meat.

Key words: chilled meat; pre-storage treatment; packaging technology

DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.09.007

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2016) 09-0035-05

引文格式:

张玉琴, 齐小晶, 梁敏, 等. 冷鲜肉贮藏前处理及保鲜包装技术进展[J]. 肉类研究, 2016, 30(9): 35-39. DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.09.007. <http://rlyj.cbpt.cnki.net>

ZHANG Yuqin, QI Xiaojing, LIANG Min, et al. Advances in pre-storage treatment, preservation and packaging technologies for chilled meat[J]. Meat Research, 2016, 30(9): 35-39. (in Chinese with English abstract) DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.09.007. <http://rlyj.cbpt.cnki.net>

冷鲜肉是指对严格执行检疫制度屠宰后的畜胴体迅速进行冷却处理, 使胴体温度(以后腿内部中心为测量点)在24 h内降至0~4℃, 并在后续的加工、流通和零售过程中始终保持在0~4℃范围内的鲜肉。冷鲜肉不仅保持了肉品应有的新鲜度且营养成分在贮藏过程中几乎无损失, 并且卫生安全、食用方便, 深受消费者的喜爱, 在欧美的肉品市场, 冷鲜肉的消费已显著超过我国较发达城市的消费量。

我国的冷鲜肉大多是以裸露或简单包裹的形式贮藏、运输和销售, 过程中难免受到光线、氧气的影响及

空气中或接触物上微生物和尘埃的污染, 肉品会加速出现腐败变质、肉色变暗和汁液流失等现象, 不仅商业价值大大降低, 而且造成资源浪费^[1]。制约冷鲜肉发展的根本原因是其货架期较短, 一般在0~4℃范围内鲜肉在几天后就会开始有腐败迹象。导致它腐败的原因有很多, 其中微生物是主要原因, 由于肉表面营养丰富、水分充足适宜微生物迅速地生长繁殖。微生物的生化活动会产生各种含氮化合物不仅会改变肉品本身的酸碱环境, 而且会使肉品散发腐败气味, 且在生长繁殖的过程中糖原以及能够形成脂肪酸的各类物质和表面游离脂肪

收稿日期: 2016-03-26

基金项目: 内蒙古草原英才工程项目(2011)

作者简介: 张玉琴(1991—), 女, 硕士, 研究方向为食品包装与贮运。E-mail: 15247739401@163.com

^{*}通信作者: 董同力(1972—), 男, 教授, 博士后, 研究方向为食品包装与贮运。E-mail: dongtlg@163.com



酸的分解会使肉品产生酸败味, 同时也会伴随产生一些硫化氢和其他含硫化合物改变肉的气味并且对肉品的颜色产生影响^[2]。其次贮藏温度、湿度、pH值以及氧含量等因素也会致其腐败。冷鲜肉货架期的长短主要受两方面因素的影响: 1) 原料肉的初始菌落总数; 2) 原料肉的保鲜方式。有效的保鲜方式建立在低的初始菌落总数上, 肉品的前处理过程至关重要, 它直接影响到原料肉包装前的初始菌落总数及后期贮藏过程中肉的品质, 国外将食品质量管理体系危害关系临界控制点(hazard analysis critical control point, HACCP)贯穿整个冷鲜肉的加工过程, 可以有效地将初始菌数降至 $10^2 \sim 10^3$ CFU/g。国内采取各种杀菌技术来降低贮藏前初始菌落总数, 将冷鲜肉的货架期延长。理想的前处理再经过对冷鲜肉进行适宜包装后, 可以防止空气及其他原因导致肉品二次污染、抑制微生物的生长繁殖、延缓脂肪氧化的速率。使用包装材料, 可对不良因素起到有效阻隔作用, 也可迎合消费者对食品卫生安全、食用方便的需求。

1 冷鲜肉贮藏的前处理

目前在冷鲜肉的保鲜贮藏过程中, 应用较为广泛并且发展前景较好的前处理技术有控制温度、有机酸喷淋、辐照杀菌等技术。

1.1 控制温度技术

低温可以对微生物的生长繁殖起到抑制作用, 同时也能延缓由组织酶、氧气以及光和热引起的不良反应。动物在宰杀后将鲜肉预冷, 在后续加工过程中将温度控制在 $(4 \pm 1)^\circ\text{C}$, 因为在 3°C 时, 主要抑制病原菌如肉毒梭菌E型、沙门氏菌和金黄色葡萄球菌的生长, 在 $0 \sim 4^\circ\text{C}$ 时微生物每次繁殖2倍, 病原菌的生长被抑制^[3], 实现肉品安全; 7°C 以上病原菌和腐败菌生长迅速。裸露或仅是简单包裹的鲜肉细菌生长繁殖迅速; 而 20°C 时, 细菌数在3 d内可由1个/ cm^2 增加到腐败水平(1亿个/ cm^2)^[4]。

1.2 有机酸喷淋降温技术

最初使用 80°C 左右的热热水进行喷淋, 对传统的水喷淋工艺进行了改进后, 将乳酸和水结合起来用于喷淋取得了显著的微生物去污染效果。胴体采取冷分割劈半后, 冲洗1 min、乳酸喷淋1 min, 冷却24 h, 微生物数量达到HACCP体系要求, 若采用4%乳酸和1%的柠檬酸混合喷淋, 污染菌量减少 $(1 \sim 2) \times 10^2$ 个/ cm^2 ^[5]。有机酸喷淋的技术简单易行且效果显著不存在安全隐患, 得到广泛的推广应用。

1.3 紫外线和辐照杀菌技术

肉制品杀菌保鲜中使用较多的是Co- γ 射线辐照。冷鲜猪肉经不同剂量电子束辐照后 4°C 贮藏, 腐败菌明显减少, 辐照剂量为3.5 kGy时, 冷鲜猪肉的货架期可达到

6 d^[6]。将羔羊肉的背长肌进行辐照, 剂量分别为1.5 kGy和3.0 kGy, 然后将肉样在 $(1 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的条件下进行贮藏可达56 d, 并且实验表明剂量为3.0 kGy的 γ -射线辐照不仅杀菌效果最突出, 同时肉的理化性质也没有遭到破坏^[7]。辐照剂量较大时, 可以彻底杀菌, 同时对食品的品质会有副作用, 但用聚合薄膜作增减剂, 辐照真空包装的冷鲜肉, 品质不会受影响^[6]。在实际生产中, 将辐照杀菌技术与其他杀菌技术或贮藏方式相结合, 就可以一定程度的降低辐照杀菌剂量的使用, 达到既安全又实现杀菌效果的目的, 抑制持续的效果与包装方式及贮藏温度有关。

紫外线杀菌主要是紫外线照射微生物时使其内部化学受损, 导致微生物不能正常完成合成过程变异死亡^[8]。紫外杀菌可以广泛地应用在肉品加工的各阶段, 如生产用水、操作设备、肉品表面, 包材、加工间及污水处理, 在某些阶段单一使用效果差, 结合酒精消毒等可增强杀菌效果。紫外照射只对部分微生物有作用如抑制食源性微生物的生长。紫外照射即食火腿片, 照射剂量为 2.35 J/m^2 时, 降低90%的单核细胞增生李斯特菌、鼠伤寒沙门氏菌、空肠弯曲杆菌^[9]。用波长为254 nm、剂量为 1000 mW/cm^2 的紫外光照射5 min, 显著地减少李斯特菌且原料肉品质不受影响^[10]。

1.4 加工间空气杀菌技术

冷鲜肉可在屠宰加工、冷却、分割、包装和销售过程中的任何一处产生微生物污染, 加工间及后续处理的冷却间等场所的空气卫生质量应严格要求。畜禽在屠宰后其表面及空气中潜在的一种重要致病菌是单核增生李斯特菌, 在加工间内安装功率平均 1 W/m^3 紫外光灯, 每昼夜连续或间隔照射5 h, 可使空气达到99%的灭菌效果^[11]。对小型肉类加工厂联用静电沉淀过滤与紫外线技术, 空气中的微生物量得到显著控制^[12], 实现初始菌数的减少。

1.5 肉的冷却处理技术

有效及时的预冷排酸会提高冷鲜肉的品质。超急速冷却工艺不仅降温快而且胴体质量损失少, 冷却条件下大多数微生物及产毒致病菌的生长繁殖受到抑制, 可确保肉的安全卫生等。超急速冷却工艺分为2个阶段进行, 第一阶段制冷功率 600 W/m^3 , 室温控制在 $-25 \sim -30^\circ\text{C}$, 制冷风温为 -40°C , 风速为3 m/s, 冷却时间1.5 h, 胴体温度为 0°C 及质量损失0%; 第二阶段的参数分别为制冷功率 50 W/m^3 , 室温 $4 \sim 6^\circ\text{C}$, 制冷风温 -5°C , 风速0 m/s, 冷却时间8 h, 胴体温度为 7°C , 质量损失0.95%^[3]。在冷却的过程中, 避免门的开启和人员的进出, 保持稳定的冷却温度及减少微生物的带入。

1.6 肉的分装处理技术

肉品根据包装需求分割成大小合适的块状, 分割时使用无菌砧板和刀分切肉样减少初始菌落总数, 样品在无菌环境中制备, 且使用的所有器具预先高温蒸汽灭



菌。分割时尽量剔除筋腱及结缔组织,避免这些突出组织处的微生物残留过多,影响肉的品质及货架期。若采用真空包装技术时,在包装袋抽真空时,筋腱及结缔组织存在的凸起易导致包装袋的破裂而引起漏气致使食物变质速率加快,分装后进行快速冷却,防止冰霜和血块的残留。

2 冷鲜肉的包装技术

冷鲜肉进行适宜的包装,既可实现安全卫生的需求,又可有效延长其货架期。目前冷鲜肉使用比较广泛及新型有效的包装方式均依赖于包装材料、包装技术的选择,一般要求材料氧气透过率低,且对二氧化碳和氮气有阻隔作用,结合包装技术取得显著效果。

2.1 真空包装技术

真空包装属于收缩性包装方式,抗湿性强,对冷鲜肉有改善外观、加强保护及减少血水渗出等作用,但由于对包装内真空处理使肉品大量产生脱氧肌红蛋白,肉品始终保持紫色^[13],缺氧也抑制了好氧微生物的生长,蛋白质降解和脂肪氧化酸败减少,使乳酸菌和厌氧菌增殖,pH值降低至5.6~5.8,进而抑制其他菌的生长,延长产品的贮存期。真空包装目前使用广泛,但常用的尼龙、聚乙烯等在阻隔性上存在弊端,会造成肉品质量不佳。利用生物可降解材料聚丙烯(polypropylene carbonate, PPC)与聚乙烯醇(polyvinyl alcohol, PVA)制备不同比例的复合膜材料,选用阻隔性能和机械性能良好的PPC/PVA20/PPC复合膜,对冷鲜肉进行真空包装并贮藏在4℃的环境下,冷鲜肉的货架期可延长至19 d,而仅用PPC包装或裸露放置的冷鲜肉均在11 d左右腐败变质^[14]。乙烯-乙醇共聚物(ethylene vinyl alcohol, EVOH)、聚乙烯(polyethylene, PE)和聚酰胺(polyamides, PA)的复合膜PE/EVOH/PE和PE/PA/EVOH/PA氧气透过率分别为0.98、1.78 mL/(m²·d),对冷鲜肉进行真空包装后货架期均可达到23 d,且与PA/PE复合膜相比汁液流失率也小^[15]。氧气透过率为 18.54×10^{-6} cm³/(m³·d·Pa)包装材料用于冷鲜猪肉真空包装,0℃条件贮藏超过21 d^[16]。

2.2 气调包装技术

2.2.1 主动气调包装

主动气调包装(modified atmosphere packaging, MAP)已成为一种流行的低温贮藏技术,与简单的空气包装相比它能显著地延长食物的保质期,主要气体成分为氮气、氧气和二氧化碳。N₂是一种无味、不溶于水及无抑菌功能的惰性气体,用于取代氧气和防止包装袋塌陷,但是会对厌氧和耐氧的乳酸菌创建一个缺氧的环境。O₂的填充用于抑制厌氧微生物的生长,同时也会促

进需氧微生物的生长,它的存在也会引起一系列的氧化反应,但高浓度氧通常可以使肉发色并且保持一种明亮的红色。CO₂易溶于水和血脂且溶解度随温度的降低而升高,CO₂的溶解会引起包装袋的塌陷,但它具有抑菌效果^[17]。采用气调包装贮藏冷鲜肉,包装材料的选择和包装袋内部气体成分的比例是冷鲜肉货架期长短的决定因素。单一的填充某种气体存在不同的弊端,且不能很好地延长保鲜冷鲜肉货架期,通常选择其中2种或3种气体按照不同比例进行填充气调。如要使肉满足色泽的需求,可选择将N₂和CO₂混合填充,使冷鲜肉中的肌红蛋白处于还原状态,呈紫红色,微生物较少且脂肪氧化稳定性较高,这种气调包装比例使货架期在0~2℃条件下达到4~6周^[18]。完全可降解PPC和PVA制备高阻氧PPC/PVA/PPC复合膜,对冷鲜肉进行充气包装(O₂ 50%、CO₂ 25%、N₂ 25%)由PPC/PVA/PPC膜和PA/PE膜包装的冷鲜肉货架期均可达到23 d,且pH值为一级鲜度,PPC/PVA/PPC膜的汁液流失率小于PA/PE膜^[19]。将非可降解材料PA和低密度聚乙烯(low density polyethylene, LDPE)制备成3层复合膜LDPE/PA/LDPE用于新鲜鲈鱼的保鲜,内部气体组成为40% CO₂/50% N₂/10% O₂和60% CO₂/30% N₂/10% O₂两组,在(4±0.5)℃的条件下贮藏,后者气体组分条件下货架期可延长至17 d^[20]。对切碎的牛肉采用聚对苯二甲酸乙二酯(polyethylene terephthalate, PET)/EVOH/LDPE复合膜进行气调包装,在±4℃条件下贮藏,气体比例为50% O₂+30% CO₂+20% N₂时,其颜色、氧化稳定性及微生物总数均在范围内,货架期延长至40 d^[21]。

2.2.2 自发气调包装

自发气调包装又称被动气调包装,一般不进行人工气体比例填充,主要是将食品密封在具有特定透气性能的塑料薄膜制成的袋或帐中,利用食品自身的呼吸作用和塑料薄膜的透气性能,在一定温度条件下,自行调节密封环境中的氧气和二氧化碳含量,使之符合气调贮藏的要求,从而延长食品贮藏期^[22]。这样的包装方式目前在果蔬的保鲜中应用较多^[22-23],将它应用在冷鲜肉的保鲜中几乎没有,可以按照被动气调包装的原理选择阻隔性适宜的可降解材料作为包装膜,以窗体形式包装冷鲜肉。因为选择的膜自身具有较好的阻隔性能所以对鲜肉进行分装封口后,包装内的O₂、N₂和CO₂保持一定值,冷鲜肉表面的微生物可以利用包装内的O₂进行呼吸从而随着时间的延长,包装内部的O₂含量降低CO₂含量上升而氮气保持稳定,当内部气体消耗较多时,膜内外的压力差导致外界空气少量渗透进入包装内。随着贮藏时间的不断延长,包装内部和包装外部气体达到动态平衡,这时包装内的O₂含量较低CO₂含量较高,既能达到抑制好氧菌的目的又能实现抑制厌氧菌的生长。将可降解薄膜聚乳

酸 (poly *L*-lactic acid, PLLA) 经等离子真空镀膜机将纳米级二氧化硅镀在表面提高PLLA的阻隔性能, 以自发性气调包装的形式应用于冷鲜肉的保鲜中, 并且结合使用茶多酚作为抗菌垫片, 货架期可达到55 d。

2.3 抑菌包装

2.3.1 抑菌包装的方式

目前抑菌包装成为市场上比较流行的包装方式, 它是最有前景的食品活性包装技术应用之一, 将天然抑菌剂、抗氧化剂以及天然提取物单独使用或与包装材料及抽真空或填充气体的包装技术结合起来, 形成一种新的包装体系, 在食品分装或贮藏的过程中缓慢释放到食品表面起到抑菌作用。抑菌包装形式有: 1) 使用抗菌材料将其制成包装袋, 直接用于食品包装; 2) 将天然的抑菌剂制作成可食性的膜直接包裹在冷鲜肉的表面; 3) 将天然抑菌剂或提取物配制成合适的浓度直接喷淋到冷鲜肉的表面或将冷鲜肉在溶液中浸泡或蘸取溶液, 也可与抽真空或气调包装结合起来; 4) 也可以将抑菌剂或提取物用滤纸做成抗菌垫片, 放置于冷鲜肉的下方, 在密封的包装环境中形成一个抗菌的氛围; 5) 可将抑菌剂或提取物直接涂覆到包装材料上也可使用化学方法将它接至包装材料的表面, 使其与包装内的肉品直接接触, 起到抑菌作用; 6) 在包装袋内使用吸湿剂, 通过降低水分活度从而起到抑菌作用。

2.3.2 抑菌包装的研究现状

由于食品安全性的缘故, 抑菌包装应用于食品保鲜的过程中比其他包装方式要求更严格。第一, 食品包装中用到的抗菌材料及抗菌剂要达到可接触食品或食品添加剂的要求, 且抗菌塑料能抑制或杀死所接触的微生物, 作用时间长^[24]; 第二, 天然抗菌剂或提取物有的只针对某些菌有作用, 所以要选择合适的抑菌剂或提取物, 抗菌材料和抑菌剂等的使用必须要体现出食品的防腐和保质期延长的效果^[25]。研究表明, 在冷鲜肉的贮藏中采用真空包装的方式, 带有负电性的蒙脱土通过正负电性吸引混入带正电性的壳聚糖中, 并均匀地涂覆在具有负电性的可降解材料聚己内酯 (poly ϵ -caprolactone, PCL) 薄膜表面, 货架期可延长至23 d^[26]。以可降解PPC、PVA和海藻糖 (trehalose, TH) 为制膜材料, 制备的PPC/PVA/PPC-TH复合膜包装的冷鲜肉货架期可达到28~32 d^[27]。使用生物可降解性PLLA、PVA和PCL, 制备PLLA/PVA/PCL复合膜, 并且结合天然防腐剂乳酸链球菌素 (nisin) 制备抑菌薄膜, 包装冷鲜肉其货架期可达到21~23 d^[28]。利用丁香和葡萄籽等的提取物作为天然抗氧化剂应用在冷鲜肉的贮藏中, 可以有效地减少蛋白质和脂肪的氧化并且延长货架期^[29-30]。抑菌剂涂覆于低密度聚乙烯等包装膜上应用在冷鲜牛肉的保鲜贮藏过程中, 货架期延长至32 d^[31]。将TH配制成不同浓度梯度,

喷淋在冷鲜肉表面, 4%时保鲜效果最突出, 可贮存23 d左右。

2.4 智能包装

2.4.1 智能包装的方式

智能包装是一种在迎合消费者需求下产生的新的包装体系。它能够为消费者提供内部食品或者食品所处环境变化 (温度、酸碱度等) 的情况, 这是对传统包装方式信息传递功能的一种延伸, 能够检测、传感、记录、跟踪或沟通有关产品的质量和/或在整个食品供应链的信息^[32]。智能包装可以借助指示器、传感器或其他元件来实现, 食品或包装内环境的变化能够被直观地观察到。应用在肉类包装中的有温度时间指示器、O₂和内部气氛完整性指示器和新鲜度指示器, 生物传感器设备能够精准地检测、记录和传送包装袋内有关微生物反应的信息^[33]。

2.4.2 智能包装的应用

温度时间指示器对冷鲜、冷冻产品整个食品链过程中温度时间不断监控, 是最为广泛和有效的指示器。它随着包装袋内温度的变化而发生可视的变化, 可以判断冷链是否中断过及间接的判断货架期的长短。温度时间指示器如3 M Monitor Mark[®]选定某种熔点的脂肪酸酯与蓝色染料混合, 当贮存温度超过设定的值时, 物质融化开始扩散触及指示器时会有蓝色产生^[34]。OnVu[™]指示器内含的苯并二氨基三嗪能根据温度变化速率从而改变自身颜色, 若暴露在UV灯下变成黑蓝色, 能够做成标签或直接印刷在包装上^[35]。气体指示器中O₂指示器在肉品包装尤其是气调包装中最为实用, 大多指示器内放置的是氧化还原染料, 当密封的包装袋发生气体泄漏后, O₂使指示器内的染料发生变色, 可以被人们直观迅速地发现这一状况^[36]。新鲜度指示器是对包装内食品的品质做出检测, 以某种方式来代表新鲜的食物中微生物的生长及代谢, 这样对食物的品质给出判断的直接信息。通过代谢物浓度的变化如葡萄糖、有机酸、酒精及二氧化碳等来判断微生物的生长繁殖速率, 从而来表征肉品的新鲜程度^[37]。

3 结 语

随着冷鲜肉研究的不断加深, 可清楚地了解到选择一种或几种有效的前处理方式将贮藏前的初始菌落总数控制到最低对于冷鲜肉的保藏是一个至关重要的环节, 还需要完善和改善前处理中存在的问题, 以及探寻应用于冷鲜肉中的保鲜新技术, 降低冷鲜肉保鲜的成本, 并且在安全可靠的前提下不对环境造成污染。虽然目前市售的包装材料能够有效地延长冷鲜肉货架期, 也可实现消费过程中直观可视、方便运输的目的, 但尼龙、聚乙烯等非生物降解材料长期使用会造成严重的环境污染,



并且这些非生物降解材料多数为石油基材,使用的过程中如果不严格处理加工,用于食品包装将会存在极大的安全隐患。所以,在选择对冷鲜肉这类没有表皮保护的食品包装时,选择生物可降解材料,不仅安全可靠而且通常这些可降解材料的阻隔性能比市场上的不可降解材料更加突出,非常适合于冷鲜肉的包装。

参考文献:

- [1] 许洋. 不同包装方式对猪肉食用及安全品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2012: 1-2
- [2] 金鑫, 周光宏, 徐幸莲. 冷却肉微生物腐败与冷链系统[J]. 食品工业科技, 2012, 33(6): 417-420.
- [3] 张子平. 深化冷却肉加工技术的研究[J]. 肉类工业, 2000(7): 16-19. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2000.07.008.
- [4] 李鹏. 冷却肉的包装保鲜技术[J]. 肉类研究, 2009, 23(2): 36-39. DOI:10.3969/j.issn.1001-8123.2009.02.013.
- [5] 孙京新, 邹晓葵, 周光宏, 等. 不同工艺条件对猪胴体和冷却猪肉微生物去污染效果的影响[J]. 食品与发酵工业, 2003(增刊1): 1-5. DOI:10.3321/j.issn.0253-990X.2003.07.001.
- [6] 白艳红, 赵电波, 毛多斌, 等. 电子束辐照冷却猪肉杀菌工艺优化[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 312-317. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2009.12.054.
- [7] FREGONESI R P, PORTES R G, AGUIARA M M, et al. Irradiated vacuum-packed lamb meat stored under refrigeration: microbiology, physicochemical stability and sensory acceptance[J]. Meat Science, 2014, 97(2): 151-155. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.01.026.
- [8] 闫岩, 郇和生, 任志峰. 紫外杀菌技术的研究现状[J]. 石化技术, 2011, 18(4): 60-63. DOI:10.3969/j.issn.1006-0235.2011.04.016.
- [9] LYON S A, FLETCHER D L, BERRANG M E. Germicidal ultraviolet light to lower numbers of *Listeria monocytogenes* on broiler breast fillets[J]. Poultry Science, 2007, 86(5): 964-967.
- [10] NESBAKKEN T, KAPPERUD G, CAUGANT D A. Pathways of *Listeria monocytogenes* contamination in the meat processing industry[J]. International Journal of Food Microbiology, 1996, 31(Suppl1/3): 161-171. DOI:10.1016/0168-1605(96)00978-6.
- [11] 方明常. 现代冷却肉加工技术[J]. 肉类工业, 2003(10): 3-11. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2003.10.001.
- [12] CUNDITH C J, KERTH C R, JONES W R, et al. Air-cleaning system effectiveness for control of airborne microbes in a meat-processing plant[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(3): 1170-1174. DOI:10.1111/j.1365-2621.2002.tb09471.x.
- [13] XIN L, GUNILLA L, GALIA Z, 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.
- [14] DONG T, YUN X, LI M, et al. Biodegradable high oxygen barrier membrane for chilled meat packaging[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2015, 132(16): 1-8.
- [15] 梁晓红, 呼和, 王羽, 等. 高阻隔复合膜对冷鲜肉货架期的影响[J]. 食品科技, 2015(5): 150-153.
- [16] FAN Z, ZHOU G, YE K, et al. Microbial changes in vacuum-packed chilled pork during storage[J]. Meat Science, 2015, 100(100): 145-149. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.10.004.
- [17] AL-NEHLAWI A, SALDO J, VEGA L F, et al. Effect of high carbon dioxide atmosphere packaging and soluble gas stabilization pre-treatment on the shelf-life and quality of chicken drumsticks[J]. Meat Science, 2013, 94(1): 1-8. DOI:10.1016/j.meatsci.2012.12.008.
- [18] 孔保华, 刁新平. 冷却肉包装保鲜技术的研究进展[J]. 肉类研究, 2008, 22(2): 54-59. DOI:10.3969/j.issn.1001-8123.2008.02.015.
- [19] 董同力嘎, 张晓燕, 王立立, 等. PPC/PVA/PPC复合膜制备及其在冷鲜肉包装的应用[J]. 包装工程, 2014(13): 19-23.
- [20] KOSTAKI M, GIATRAKOU V, SAVVAIDIS I N, et al. Combined effect of MAP and thyme essential oil on the microbiological, chemical and sensory attributes of organically aquacultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets[J]. Food Microbiology, 2009, 26(5): 475-482. DOI:10.1016/j.fm.2009.02.008.
- [21] OZLEM K E, REYHAN I, NURCAN D, et al. The effects of modified atmosphere gas composition on microbiological criteria, color and oxidation values of minced beef meat[J]. Meat Science, 2011, 88(2): 221-226. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.12.021.
- [22] MISTRIOTIS A, BRIASSOULIS D, GIANNOULIS A, et al. Design of biodegradable bio-based equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for fresh fruits and vegetables by using micro-perforated poly-lactic acid (PLA) films[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 111:380-389. DOI:10.1016/j.postharvbio.2015.09.022.
- [23] 关文强, 陈丽, 李喜宏, 等. 红富士苹果自发气调保鲜技术研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 218-221. DOI:10.3321/j.issn.1002-6819.2004.05.049.
- [24] REALINI C E, BEGONYA M. Active and intelligent packaging systems for a modern society[J]. Meat Science, 2014, 98(3): 404-419. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.06.031.
- [25] 李毕忠, 李泽国, 阳文, 等. 食品活性包装用抗菌材料技术进展[C]//中国塑料包装工业高新技术与绿色包装论坛暨中国包装联合会塑料制品包装委员会八届二次年会. 中国包装联合会塑料制品包装委员会, 厦门: 2012.
- [26] 董同力嘎, 呼和, 梁晓红, 等. 聚己内酯/蒙脱土/壳聚糖薄膜的制备及其应用[J]. 包装工程, 2014(19): 1-6.
- [27] 张晓燕, 云雪艳, 梁敏, 等. 含有海藻糖的生物可降解薄膜对冷鲜肉的保鲜与护色作用[J]. 食品工业科技, 2015, 36(8): 298-304.
- [28] 张玉琴, 梁敏, 齐小晶, 等. 高阻隔性可降解抑菌薄膜的制备及其在冷鲜肉中的应用[J]. 食品科技, 2016(2): 140-146.
- [29] SHI C, CUI J, YIN X, et al. Grape seed and clove bud extracts as natural antioxidants in silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets during chilled storage: effect on lipid and protein oxidation[J]. Food Control, 2014, 40(2): 134-139. DOI:10.1016/j.foodcont.2013.12.001.
- [30] MESSINA C M, BONO G, RENDA G, et al. Effect of natural antioxidants and modified atmosphere packaging in preventing lipid oxidation and increasing the shelf-life of common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) fillets[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(1): 271-277. DOI:10.1016/j.lwt.2015.01.029.
- [31] DANILLO E, ILARIO F, ANTONIETTA L S, et al. Development of spoilage microbiota in beef stored in nisin activated packaging[J]. Food Microbiology, 2010, 27(1): 137-143. DOI:10.1016/j.fm.2009.09.006.
- [32] RESTUCCIA D, CIRILLO G, CURCIO M, et al. New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications[J]. Food Control, 2010, 21(11): 1425-1435. DOI:10.1016/j.foodcont.2010.04.028.
- [33] YAM K L, TAKHISTOY P T W, MILTZ J W. Intelligent packaging[J]. Journal of Packaging Science and Technology Japan, 2005, 20(2): 138-155. DOI:10.1111/j.1365-2621.2005.tb09052.x.
- [34] KUSWANDI B, WICAKSONO Y, JAYUS, et al. Smart packaging: sensors for monitoring of food quality and safety[J]. Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety, 2011, 5(3): 137-146. DOI:10.1007/s11694-011-9120-x.
- [35] O'GRADY M N, KERRY J P. Smart packaging technologies and their application in conventional meat packaging systems[M]. New York, USA: Springer Science and Business Media. 2008: 425-451.
- [36] HURME E. 13-Detecting leaks in modified atmosphere packaging[J]. Novel Food Packaging Techniques, 2003(vember): 276-286. DOI:10.1533/9781855737020.2.276.
- [37] ARVANITOYANNIS I S, STRATAKOS A C. Application of modified atmosphere packaging and active/smart technologies to red meat and poultry: a review[J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(5): 1423-1446. DOI:10.1007/s11947-012-0803-z.