

冰鲜鸡肉品质及其货架期的研究进展与展望

刘雪^{1,2}, 刘娇¹, 周鹏¹, 李文康¹, 张小栓^{1,2}, 傅泽田^{1,2}

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

(2. 中国农业大学食品质量与安全北京实验室, 北京 100083)

摘要: 相对于热鲜鸡肉和冷冻鸡肉, 冰鲜鸡肉在口感、风味、新鲜度以及营养等方面具有很大优势, 具有很好的市场发展前景。但冰鲜鸡肉的品质在生产加工和流通过程中容易发生腐败变质。随着消费者食品安全意识的日益提高, 冰鲜鸡肉的品质及其货架期受到越来越多的关注。本文总结了冰鲜鸡肉的品质表征指标; 阐述了微生物因素、物理因素以及化学因素对冰鲜鸡肉品质的影响; 比较了化学、超高压和辐照等 6 种保鲜技术对冰鲜鸡肉保鲜的效果及特点; 结合食品货架期预测模型, 梳理了已有预测冰鲜鸡肉货架期的相关研究; 最后分析了冰鲜鸡肉品质及其货架期的研究现状, 并对其未来的研究趋势进行了展望, 指出随着研究技术、手段和保鲜技术的不断发展, 冰鲜鸡肉货架期的研究也将不断向实用和智能化的方向发展。

关键词: 冰鲜鸡肉; 品质; 货架期; 研究进展

文章编号: 1673-9078(2017)3-328-340

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.3.049

Progress and Prospects of Studies of Chilled Chicken Meat Quality and Shelf Life

LIU Xue^{1,2}, LIU Jiao¹, ZHOU Peng¹, LI Wen-kang¹, ZHANG Xiao-shuan^{1,2}, FU Ze-tian^{1,2}

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

(2. Beijing Laboratory of Food Quality and Safety, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Compared with fresh and frozen chicken meats, chilled chicken meat has better taste, flavor, and freshness, and thus a large potential market. However, chilled chicken meat is easily spoiled during production, processing, and distribution. With increasing awareness of food quality and safety, consumers are paying increased attention to the quality and shelf life of chilled chicken meat. Here, quality indicators of chilled chicken meat are summarized. The effects of microbial, physical, and chemical factors on the quality of chilled chicken meat are described. The effects and characteristics of chemical treatment, ultra-high pressure treatment, irradiation treatment, and three other types of fresh-keeping techniques on the preservation of chilled chicken meat were compared. In combination with the predictive model of food shelf life, related studies examining the shelf life of chilled chicken meat are reviewed. Finally, the present status and outlook regarding future trends of studies evaluating the quality and shelf life of chilled chicken meat are discussed. Our results suggest that with the continuous development of research techniques, methods, and preservation technology, studies of the shelf life of chilled chicken meat will continue to improve.

Key words: chilled chicken meat; quality; shelf life; research development

相对于猪肉、牛肉和羊肉其他肉类产品而言, 鸡肉具有高蛋白和低脂肪的优点, 含较高的不饱和脂肪酸、矿物质和维生素多种营养物质, 且生产成本低^[1~3]。目前市场上初加工鸡肉产品主要有热鲜鸡肉、冰鲜鸡肉和冷冻鸡肉三种^[4]。冰鲜鸡肉是指经检验检疫合格

收稿日期: 2016-03-07

基金项目: 现代农业产业技术体系北京市家禽创新团队项目(京农发[2015]62号)

作者简介: 刘雪(1968-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农业信息管理、物流与供应链管理研究

通讯作者: 傅泽田(1956-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 食品质量安全追溯与监测等研究

的活鸡经屠宰加工后, 1 h 内经冷却但未经速冻处理使中心温度降至 8 °C, 12 h 内降至 4 °C, 并在 0~4 °C 条件下包装、贮藏、运输和销售的鸡或分割鸡肉^[5~7]。与冷冻鸡肉和热鲜鸡肉相比, 冰鲜鸡肉不仅在口感、风味、新鲜度以及营养成分等方面都具有优势, 而且在卫生安全上也更加方便管理^[8]。

然而, 冰鲜鸡肉具有高度易腐的特点, 在生产加工、包装、运输、贮藏与销售过程中易受到微生物的侵袭^[9,10]。其腐败变质不仅危害消费者的健康和人身安全^[11~13], 也给生产者造成经济损失。随着消费者食品安全意识的日益提高, 冰鲜鸡肉的品质及其货架期受到越来越多的关注^[14~16]。

国内外学者围绕冰鲜鸡肉品质做了大量研究,目前主要集中于分析冰鲜鸡肉的感官指标、理化指标、微生物指标等品质表征指标;总结微生物因素、物理因素和化学因素对冰鲜鸡肉品质的影响;研究冰鲜鸡肉保鲜技术以及冰鲜鸡肉货架期预测等方面。本文拟从上述四个方面就目前国内外有关冰鲜鸡肉的研究进行梳理,并对冰鲜鸡肉品质及货架期未来的研究方向进行分析。

1 冰鲜鸡肉品质表征指标

冰鲜鸡肉的品质表征指标较多,主要分为感官指标、理化指标和微生物指标三大类别。

1.1 感官指标

食品的感官指标是指针对食品的感官特性进行描述、定义而制定的指标^[17]。冰鲜鸡肉的感官指标主要包括粘度、弹性、肉色、气味和加热后肉汤性状等。粘度由手指触摸冰鲜鸡肉表面粘手程度判断,变质后的冰鲜鸡肉表面有粘性且潮湿^[18,19];弹性由指压冰鲜鸡肉凹陷恢复速度判断,变质导致冰鲜鸡肉弹性下降^[18-20];肉色指鸡肉的颜色与光泽,随着贮藏时间的延长,冰鲜鸡肉逐渐由正常颜色变为深黄色,且失去光泽^[21];冰鲜鸡肉带有正常的腥味和金属味,变质后会产生令人不愉快的腐败气味^[22];新鲜冰鲜鸡肉加热后肉汤澄清且脂肪团聚于液面,变质后的加热后肉汤呈浑浊状态^[18,20]。很多研究根据上述各指标的变化特性进行等级评分来建立冰鲜鸡肉的感官指标品质评价体系^[23-25]。感官指标在一定程度上能够反映冰鲜鸡肉的品质,并受评价人员的饮食习惯和爱好不同而存在差异^[26]。

1.2 理化指标

冰鲜鸡肉的理化指标是以冰鲜鸡肉腐败变质的特性改变、产物变化为基础的冰鲜鸡肉品质定量分析指标^[18]。主要包括 pH 值^[6,19,20]、TVB-N 含量^[6,27-29]、TBARS 含量^[30,31]等。

pH 值在一定程度上可以反映冰鲜鸡肉的品质。冰鲜鸡肉的 pH 值随着贮藏时间的增加会先降低后升高。当鸡肉 pH 值等于 6.0 或小于 6.0 时,品质良好。当在 4 °C 条件下贮藏 7~8 d 时,冰鲜鸡肉腐败, pH 值约为 6.8^[20,32]。多项研究表明冰鲜鸡肉 pH 值变化是由鸡肉中细菌生长繁殖、蛋白质分解等因素造成^[31,33]。

TVB-N 含量是蛋白质分解产生的氨及胺类物质与有机酸结合而形成的盐基态氮含量^[35]。TVB-N 含量随着冰鲜鸡肉腐败的加深逐渐增加,国内外多个研究都选取挥发性盐基氮含量作为衡量冰鲜鸡肉品质的指标^[4,6,20,35-37]。Balamatsia 等^[36]研究表明随着贮藏时间的延长,TVB-N 含量在 15 d 内增加了一倍。Rukchon 等^[35]选择 TVB-N 含量以及 CO₂ 含量作为表征冰鲜鸡肉品质的指标研发了一种时间温度指示器,用于实时监测冰鲜鸡肉的新鲜度。Patsias 等^[37]通过测定发现,存储在 4 °C 下的鸡肉 TVB-N 含量 9 d 后从初始值 0.12 mg/g 变为 0.49 mg/g。

TBARS 值的高低表明脂肪二级氧化产物的多少,从而判断脂肪氧化的程度。TBARS 值越高,脂质氧化程度越高,冰鲜鸡肉腐败越严重^[30]。研究发现冰鲜鸡肉在 4±1 °C 条件下贮藏,第 8 d 时 TBARS 超过 0.5 mg/kg,表明冰鲜鸡肉已经腐败变质^[29]。

1.3 微生物指标

表 1 冰鲜鸡肉的品质表征指标

Table 1 Characteristic indexes of chilled chicken meat quality

类别	表征指标	评价标准	文献
感官指标	粘度	粘度	[18,19]
	弹性	指压凹陷恢复速度	[18-20]
	肉色	肉色是否正常,表面光泽	[21]
	气味	正常鸡肉气味/腐败气味	[22]
	加热后肉汤性状	肉汤清亮程度,脂肪团性状	[18,20]
理化指标	pH 值	新鲜≤6.0,不新鲜>6.5,腐败>6.7	[6,19,20]
	挥发性盐基氮(TVB-N)含量	鲜肉≤15,次鲜肉 15~30,腐败肉>30	[6,27,29]
	硫代巴比妥酸产物含量(TBARS 值)	>0.5 mg/kg 时有异味	[30,31]
微生物指标	菌落总数	>1×10 ⁶ cfu/g 腐败变质	[18-20,38,39]

冰鲜鸡肉的微生物指标主要是菌落总数,是判断冰鲜鸡肉品质的重要依据^[38,39]。王勋等^[20]研究发现初始菌落总数介于 1×10^{3.5}~1×10⁴ cfu/g 的冰鲜鸡肉,随

着贮藏时间的延长呈递增趋势,第 8 d 菌落总数为 1×10^{6.5} cfu/g,冰鲜鸡肉已腐败变质。

表 1 总结了冰鲜鸡肉的主要品质表征指标及其评

价标准。除了上述常用品质表征指标外,尸胺含量、蒸煮损失率和质构等^[40]也可用于评价冰鲜鸡肉的品质。

2 影响冰鲜鸡肉品质的主要因素

影响冰鲜鸡肉品质的因素很多,主要分为微生物因素、物理因素和化学因素三个方面^[27,28,31,37]。

2.1 微生物因素

冰鲜鸡肉营养成分高、水分活度高,易受到微生物污染而腐败^[29]。影响冰鲜鸡肉品质的微生物主要分为致病微生物和腐败微生物两大类^[41]。其中,致病微生物包括沙门氏菌、弯曲杆菌、单核细胞增生李斯特氏菌和大肠杆菌 O157:H7 等^[42,43];腐败微生物主要包括假单胞菌、热死环丝菌、乳酸菌和腐败希瓦氏菌等^[5,9,43,44]。冰鲜鸡肉受微生物污染的主要来源有两种:一是内源性污染,即动物本身携带微生物而造成肉品受污染;二是外源性污染,指肉品在屠宰、加工、运输、销售和贮藏过程中受到的污染。影响冰鲜鸡肉品质的微生物因素主要来自于外源性污染,加工设备、加工车间、运输和贮藏环境以及相关从业人员等都可能造成冰鲜鸡肉受到微生物污染而发生腐败变质^[45,46]。在冷链条件下多数细菌的繁殖会受到抑制,从而保证冰鲜鸡肉的品质。

2.2 物理因素

影响冰鲜鸡肉品质的物理因素主要包括温度、光照、水分、气体和包装材料等,这些物理因素会诱发和促进一系列变化的发生。其中,温度是影响冰鲜鸡肉品质最重要的环境因素^[47],主要表现为对冰鲜鸡肉的化学反应的反应速率和微生物繁殖速度的影响。根据范特霍夫规则(Q_{10}),在一定温度条件下,温度对冰鲜鸡肉化学反应速率的影响可以用 Q_{10} 来表示,温度每升高 10 °C,反应速率增加 2~4 倍^[47]。温度对酶促反应的影响比其它化学反应更复杂,温度升高会使酶促反应的速率加快,而温度过高使酶的活性被钝化,又会抑制或停止酶促反应^[27]。研究表明,低温条件可以抑制酶的活性从而减缓冰鲜鸡肉内酶促反应速率。温度对微生物生长的影响如表 2 所示。其中,主要的腐败菌如假单胞菌是嗜冷菌,正常情况下冰鲜鸡肉在冷链条件下加工、运输和销售,嗜冷菌的繁殖速率受到很大限制,但温度一旦升高,会导致细菌迅速繁殖,菌落总数上升,加快冰鲜鸡肉腐败变质^[45]。研究表明,一定范围内,贮藏温度越低,冰鲜鸡肉腐败速率越低,品质变化越慢,货架期越长^[46,48]。

表 2 细菌菌群生长的最低、最佳和最高温度区间^[45]

Table 2 Lowest, highest, and best temperature ranges for

bacterial growth

	最低温度/°C	最佳温度/°C	最高温度/°C
嗜冷菌	-15~5	5~30	20~40
嗜温菌	-5~8	20~30	30~43
嗜热菌	5~8	25~43	40~50

2.3 化学因素

影响冰鲜鸡肉品质的化学因素主要是冰鲜鸡肉中酶的作用和脂质氧化作用。冰鲜鸡肉含有丰富的有机物和水分,且包含着多种具有催化作用的酶。冰鲜鸡肉生产、加工、运输和贮藏过程中,在酶的催化作用下发生各种酶促反应,鸡肉的品质特性也会因为这些反应而发生改变^[49]。鸡肉中含有的脂肪氧合酶会催化不饱和脂肪酸的氧化,导致异味的产生;蛋白酶会催化蛋白质水解,导致组织产生肽而呈苦味^[27]。脂质氧化作用除了导致鸡肉的感官特性变差,形成的氢过氧化物进一步氧化或分解为二级反应产物如醛类和酮类等化合物,还会影响鸡肉的整体品质^[50]。

3 冰鲜鸡肉保鲜方法

为了降低冰鲜鸡肉品质变质的风险,学术和实践上都采取了多种保鲜技术来避免冰鲜鸡肉品质变化,延长其货架期。根据采用技术手段不同,冰鲜鸡肉保鲜技术可分为化学保鲜技术、超高压保鲜技术、辐照保鲜技术、生物保鲜技术、气调包装技术和栅栏技术六种。

3.1 化学保鲜技术

化学保鲜技术是将抑菌效果高和安全的化学保鲜剂来抑制冰鲜鸡肉中微生物的生长从而延长货架期的保鲜技术。目前,用于冰鲜鸡肉保鲜的化学保鲜剂主要包括乳酸、乳酸钠^[51]、山梨酸钾^[52]和柠檬酸^[6]等。González-Fandos 等^[52]在 4 °C 条件下用山梨酸钾溶液对鸡腿进行抑菌处理发现,浓度为 5%的山梨酸钾溶液能够有效抑制鸡腿中的细菌繁殖且不影响其感官品质。李虹敏等^[6]研究表明,在 4±1 °C 条件下,磷酸钠、酸化亚氯酸钠、柠檬酸和乳酸四种化学保鲜剂中浓度为 2.5%的乳酸溶液和 2.5%的柠檬酸溶液对冰鲜鸡肉的减菌效果较明显。

3.2 超高压保鲜技术

超高压保鲜技术是指利用压媒(通常为液体介质)使冰鲜鸡肉在极高的压力下发生酶失活、蛋白质变性、

淀粉糊化和微生物灭活等物理、化学及生物效应, 进而达到灭菌和改性的保鲜技术^[27,53]。李楠等^[54]研究了150、250、350和450 Mpa处理压力, 保压时间为5、10和15 min条件下对冰鲜鸡肉的保鲜效果, 结果表明250 Mpa、保压时间10 min为保鲜效果最佳, 将冰鲜鸡肉货架期延长至8 d。Rodríguez-Calleja等^[55]利用(30% CO₂+70% N₂)的气调包装、300 Mpa的超高压处理和商用抗菌涂料 Articoat-DLP 三种保鲜技术, 将冰鲜鸡肉货架期延长至28 d。

3.3 辐照保鲜技术

辐照保鲜技术是利用物理射线(γ 射线)破坏微生物DNA和细胞膜来阻止微生物繁殖和新陈代谢, 从而达到杀菌保鲜的效果的技术^[47,56]。Balamatsia等^[58]研究发现辐照保鲜技术能够降低细菌数, 经辐照处理后的冰鲜鸡肉在冷藏期内TBARS含量较低, TVB-N含量显著下降。Kanatt等^[58]采用3 kGy的辐照剂量对冰鲜鸡肉进行保鲜, 在0~3℃的条件下将货架期延长至14 d。辐照保鲜技术具有灭菌彻底、无残留物和节约能源的优点, 但是在杀菌剂量辐照下, 酶不能被完全钝化^[56,57]。

3.4 生物保鲜技术

生物保鲜技术是指从动、植物或微生物的新陈代谢产物中提取具有保鲜作用的物质对冰鲜鸡肉进行保鲜的技术, 具有天然安全无毒的优点^[59]。主要的生物保鲜剂包括牛至精油^[10]、乳酸链球菌素^[12](Nisin)、壳聚糖^[44]和乳酸菌发酵液^[91]等。Latou等^[44]采用0.01 g/mL壳聚糖溶液和(70% CO₂+30% O₂)气调保鲜来延长冰鲜鸡肉的货架期, 实验得出有氧包装的冰鲜鸡肉货架期为5 d, 单独采用上述两种方法, 货架期为6~7 d, 组合使用货架期为9 d。Khanjari等^[10]采用0.01 g/mL的壳聚糖溶液和1%的牛至精油对冰鲜鸡肉保鲜处理延长6 d货架期。壳聚糖涂膜技术是将具有良好的抑菌活性和生物降解性等多个优点的壳聚糖应用于延长

冰鲜鸡肉货架期。壳聚糖涂膜技术简单方便且成本低廉, 但保鲜效果不及其他保鲜方法。

Economou等^[12]利用Nisin和EDTA进行了9组实验, 对比得到(500 IU/g~50 mM EDTA)与气调包装技术协同作用, 冰鲜鸡肉货架期最长达到13~14 d。Nisin是一种能够有效抑制革兰氏阳性球菌活性的乳酸链球菌素, 但Nisin不能有效抑制革兰氏阴性菌、酵母菌等代谢。通过与化学保鲜剂-乙烯二胺四乙酸(EDTA)协同作用, 能够发挥各自的优势对冰鲜鸡肉进行保鲜。

赵婷等^[92]采用不同浓度的乳酸菌发酵液对冷却鸡肉进行保鲜, 研究表明不同浓度的乳酸菌发酵液能够抑制冷却鸡肉中微生物的繁殖, 其中浓度为10⁷ CFU/mL的乳酸菌发酵液保鲜效果优于乳酸和Nisin。Stiles等^[92]指出当冷却肉在真空或气调包装下, 菌群中乳酸菌占主导地位, 在这种包装条件下应用乳酸菌等竞争性微生物, 能够抑制肉品中致病菌和腐败菌的生长, 并且在正常冷藏条件下不会影响肉品的品质。这种保鲜技术既延长了冰鲜鸡肉的货架期, 又提高了冰鲜鸡肉的微生物安全性。

3.5 气调保鲜技术

气调保鲜技术是指通过将CO₂、N₂和O₂等气体按一定比例混合, 在真空状态下充入食品包装容器中, 抑制细菌繁殖从而实现保鲜的一种技术^[60]。气调包装中高浓度的CO₂有益于延长冰鲜鸡肉的货架期; O₂使肉色鲜艳, 并能抑制厌氧细菌的繁殖; N₂是一种惰性填充气体^[61]。Meredith等^[23]研究表明气调包装(20% CO₂+20% O₂+20% N₂)下, 能够较好地抑制弯曲杆菌生长, 该比例气调包装下的冰鲜鸡肉货架期超过了14 d。Chouliara等^[62]采用0.11%牛至精油分别与两种不同气体配比气调包装(30% CO₂+70% N₂)和(70% CO₂+30% N₂)协同作用, 均将冰鲜鸡肉货架期延长了5~6 d。

3.6 栅栏技术

表3 冰鲜鸡肉保鲜栅栏技术的相关研究

Table 3 Studies of application of hurdle technology in preservation of chilled chicken meat

栅栏技术	各保鲜技术组合	货架期	文献
articoat-DLP、超高压、气调包装	articoat-DLP 按1:4稀释浸蘸10 s、300 MPa、30% CO ₂ +70% N ₂	28 d	[55]
金银花提取物、Nisin、气调包装	0.25 g/L 金银花提取物、30% CO ₂ +70% N ₂ ; 0.05 g/L Nisin、30% CO ₂ +70% N ₂	8 d	[66]
Nisin-EDTA、气调包装	500 IU/g、50 mM、65% CO ₂ +30% N ₂ +5% O ₂	13~14 d	[12]
壳聚糖涂膜、牛至精油	1 g/100 mL、1%	14 d	[10]

由于冰鲜鸡肉的品质受多个因素影响, 单一的保鲜技术都存在一定的不足。因此, 对冰鲜鸡肉的保鲜从采用单一的保鲜技术逐步发展到了采用综合保鲜技

术, 即栅栏技术。

栅栏技术(Hurdle technology)^[63]最早由德国Kulmbach肉类研究中心的Leistner和Roble教授于

1976年提出,将食其作用机制是通过控制可以阻止残留腐败菌和病原菌生长繁殖的因子(栅栏因子)及其协同作用来抑制微生物的繁殖,从而延缓食品的腐败变质^[65,66]。栅栏技术应用于冰鲜鸡肉保鲜的相关研究见表3。

3.7 各种保鲜技术的对照分析

结合上述相关研究,分析得出:化学保鲜技术保鲜效果明显,但是必须控制化学保鲜剂用量以确保食品安全^[63,65];超高压保鲜技术具有耗能低、环保的优

点,但压力会促使脂肪发生氧化^[27,54];辐照保鲜技术具有灭菌彻底、无残留物和节约能源的优点,但是在杀菌剂量辐照下,酶不能被完全钝化^[27,56,57];生物保鲜技术具有天然安全无毒、简单方便的优点,但保鲜效果相对较差^[44,59];气调保鲜技术具有安全卫生和副作用小等优点,但对包装材料要求严格^[27,65];栅栏技术能够突破单因素保鲜控制措施的限制,能够有效地抑制腐败,保鲜效果明显,但需要优化各保鲜技术组合才能最大限度的延长冰鲜鸡肉的货架期^[64,65]。表4将六种保鲜技术优缺点进行了对照。

表4 冰鲜鸡肉保鲜技术对照

Table 4 Advantages and disadvantages of techniques for preserving chilled chicken meat

保鲜技术	优点	缺点
化学保鲜技术	简便,经济	需严格控制用量以确保食品的安全性
超高压保鲜技术	灭菌效果均匀、瞬时、高效、环保;	压力会促使脂肪发生氧化
辐照保鲜技术	灭菌彻底、无残留物和节约能源	在杀菌剂量辐照下,酶不能被完全钝化;还需考虑消费者接受程度
生物保鲜技术	天然安全无毒、简单方便、成本低廉	保鲜效果较差
气调保鲜技术	安全卫生、肉色鲜美、副作用小	对包装材料要求严格
栅栏技术	保鲜效果更加明显	需优化保鲜技术组合

4 冰鲜鸡肉货架期预测研究

冰鲜鸡肉品质和保鲜技术等研究,旨在保证消费者的饮食健康和有效控制损失,延长冰鲜鸡肉的货架期。随着生活质量的提高,人们对冰鲜鸡肉品质和货架期的关注日益增加,对冰鲜鸡肉货架期预测的研究已经成为研究热点。

4.1 冰鲜鸡肉货架期概念

食品货架期是指在建议贮藏条件下,食品安全并保持着消费者所需的感官、化学、物理及微生物特征,所含营养成分与标签一致的时间长度^[67]。食品货架期不仅是消费者购买和食用食品的重要依据^[68],同时也是食品生产企业确保产品质量和产品销售等方面的重要依据^[69]。

冰鲜鸡肉货架期是指冰鲜鸡肉经屠宰、加工、包装后在0~4℃的贮藏条件下运输、销售所能满足消费者所需的感官、化学、物理及微生物特性和食品安全,且所含营养成分与标签一致的时间长度^[3~5,24]。目前,国内(外)对冰鲜鸡肉的货架期并没有统一的规定,上海市2014年出台的《食品安全地方标准 冷鲜鸡生产经营卫生规范》中规定冰鲜鸡肉货架期最长不超过6d;广东省《食品安全地方标准 生鲜家禽加工经营卫生规范》和浙江省《食品安全地方标准 冷鲜禽加工经营卫生规范》中均规定企业应在开展科学试验的基

础上提出保质期。

4.2 货架期预测模型

4.2.1 食品货架期预测方法

食品从生产、加工、运输和贮藏到最终消费者手中,受微生物、物理和化学等因素的影响,品质逐渐发生变化。货架期预测是通过食品品质腐败机制的系统研究来实现的。食品货架期预测方法主要分为两种^[69],一是不考虑食品品质变化过程中所发生的内在原因,只通过数据相关性分析来研究食品品质变化与环境历程的关系,以此来预测货架期^[20,40,66];二是选择关键的食品品质表征指标,基于化学动力学、微生物动力学等相关原理来研究品质表征指标的变化规律,进而实现货架期的预测^[70~78]。

4.2.2 食品货架期的预测模型

根据原理不同,食品货架期预测模型主要分为基于化学动力学的货架期预测模型、基于预测微生物学的货架期预测模型、基于温度的预测模型以及其他预测模型^[69,74,77]。

基于化学动力学的货架期预测模型^[70,71]主要是结合零级或一级反应方程和 Arrhenius 方程实现货架期预测,其中 Arrhenius 方程用于描述温度对品质的影响。基于预测微生物学的货架期预测模型^[72~74]主要是通过描述食品中特定腐败菌的生长规律,预测其生长状况,从而实现货架期预测,常用于预测肉类的货架

期。Whiting 等^[77]将食品预测微生物模型分为一、二和三级模型。其中描述微生物数量随时间变化的关系的一级模型，主要包括指数函数、Gompert 模型、对数方程以及 Logistic 函数等；描述温度对微生物影响的二级模型，主要包括 Belehrdake 模型、Arrhenius 方程；建立在一级模型和二级模型基础上的应用程序的三级模型。基于温度的货架期预测模型^[75]通常是结合 Q10 模型和 Arrhenius 方程获得货架期预测模型。其他预测模型包括人工神经网络^[76,79]和威布尔危险值

分析法^[77]。Siripatrawan^[79]运用神经网络中的 MLP (Multilayer Perceptrons 多层感知器) 运算法则，结合食品属性，包装因素以及贮藏环境等多种因素，根据衰退系数和均方差计算出各因素的权重，得出货架期预测模型。威布尔危险值分析法通过分析感官评价数据来预测食品货架期，同时获得对应威布尔模型的相关参数，实现货架期预测。表 5 对食品货架期预测相关研究进行了总结和对比。

表 5 食品货架期预测方法和模型研究

Table 5 Prediction methods and models of food shelf life

原理	研究对象	模型	品质指标	温度/℃	模型验证方法	文献
化学动力学	酱卤鸡肉	一级反应模型, Arrhenius 方程	TVB-N	0, 5, 10	相对误差	[70]
	重组虾肉	一级反应模型, Arrhenius 方程	TVB-N	30, 35, 40	相对误差	[71]
预测微生物学	冷却猪肉	一级: 修正的 Gompertz 模型; 二级: Belehrdake 模型	特定腐败菌	0, 4, 7, 10, 14, 20	偏差度、准确度	[72,93]
	冷却牛肉	修正的 Gompertz 模型	菌落总数	0, 4, 7, 10, 15, 20, 波动温度	均方误差、回归系数、准确度、偏差度	[73]
	生鲜、调理鸡肉	一级: 修正的 Gompertz; 二级: Belehrdake 模型	特定腐败菌	5, 10, 15, 20, 25	残差平方和、赤池信息量准则、均方误差	[74]
温度	冷却猪肉	Q10 模型	理化因子	0, 5, 10, 15, 20	相对误差	[75]
其他	鲜鸡蛋	BP 神经网络模型	哈夫单位、蛋黄系数	5, 25, 35	相对误差	[76]

4.2.3 冰鲜鸡肉货架期的预测模型

架期智能预测装置，预测货架期^[38,74,80,81]。

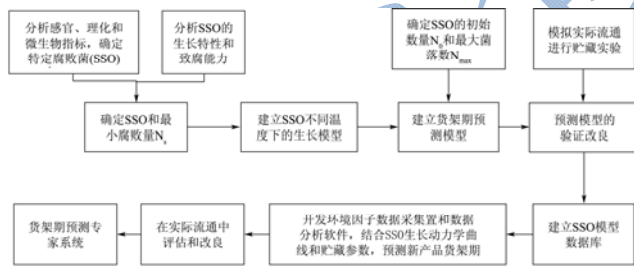


图 1 基于特定腐败菌生长动力学构建货架期预测模型的基本流程^[71, 83]

Fig.1 Basic procedure for developing a prediction model of food shelf life based on growth kinetics of specific spoilage organisms

国内外学者对于冰鲜鸡肉货架期的研究主要分为两方面：一是在传统的感官评价、理化分析和微生物分析的基础上判断冰鲜鸡肉品质特性，判断货架期^[20,40,66]；二是通过构建冰鲜鸡肉货架期预测模型和货

架期智能预测装置，预测货架期^[38,74,80,81]。冰鲜鸡肉的腐败速度与特定腐败菌的生长密切相关，其品质变化与特定腐败菌数量的动态变化具有良好的相关性。因此，在货架期预测模型的构建过程中，需要详细掌握冰鲜鸡肉特定腐败菌的生长状况^[79,82-84]。图 1 是基于特定腐败菌生长动力学原理构建货架期预测模型的基本流程。

从已有研究来看，假单胞菌是最常用于冰鲜鸡肉货架期预测模型构建的特定腐败菌^[38,77]，一级模型主要采用修正的 Compertz 方程，二级模型主要采用 Arrhenius 方程或 Belehradek 模型。在利用修正的 Compertz 方程构建一级模型描述不同温度条件下微生物的生长动态的基础上，采用 Arrhenius 方程或 Belehradek 模型建立二级模型，描述的温度与微生物生长动力学参数的关系。

修正的 Compertz 方程基本公式如下：

$$N(t) = N_0 + (N_{max} - N_0) \times \text{Exp} \{ -\text{Exp}(\mu_{max} \times 2.718 / (N_{max} - N_0) \times (\lambda - t) + 1) \} \quad (1)$$

其中， $N(t)$ 是 t 时的微生物数量 $\log_{10}(\text{CFU/g})$ ； N_0 是 $t=0$ 时的初始微生物数量 $\lg(\text{CFU/g})$ ； N_{max} 是增加到稳定期时最大的微生物数量 $\lg(\text{CFU/g})$ ； μ_{max} 是微生物生长的最大比生长速率 (h^{-1})； λ 是微生物生长的延滞时间； t 是时间。

Arrhenius 方程基本公式如下:

$$\ln k = -\frac{E_a}{RT} + \ln A \quad (2)$$

其中, k 是化学反应速率常数; A 是阿伦尼乌斯常数; E_a 是反应活化能; R 是气体常数(kJ/mol); T 是绝对温度 kJ/(mol·K)。

Belehradek 模型能很好的描述微生物生长速率和生长温度之间的关系, 是 Ratkowsky 等根据微生物在不同温度条件下的生长速率或延滞期倒数的平方根与温度之间存在的线性关系提出的经验模型。

Belehradek 模型的基本公式如下:

$$(\mu_{\max})^{1/2} = b \times (T - T_{\min}) \quad (3)$$

其中, T 是摄氏温度, $^{\circ}\text{C}$; T_{\min} 指的是假设微生物没有代谢活动时的温度, 即在此温度时最大比生长速率为零; b 是方程的常数。

将一级模型求得的 μ_{\max} 和对应的温度变量代入公式(3), 拟和出 b 和 T_{\min} 值。将所得参数代回公式(3), 即可得到在某特定温度下的最大比生长速率(μ_{\max})。

构建二级模型计算得出最大比生长速率与延滞期时间后, 根据一级模型实现肉品的剩余货架期预测。

李忠辉等^[84]对冷鲜鸡胸肉初始菌相中的主要腐败菌进行分离研究, 采用 Compertz 方程对主要腐败菌的生长曲线进行拟合, 得出在 2、4、8 和 10 $^{\circ}\text{C}$ 下冷鲜鸡胸肉的货架期分别为 14、10、5 和 3 d。李媛惠^[73]通过综合评价 Gompertz、Baranyi 和 Huang 三种模型拟合鸡肉中假单胞菌的生长情况, 发现以 Gompertz 模型拟合的生长速率和迟滞期建立生鲜鸡肉假单胞菌的二级模型效果最佳。Bruckner 等^[85]以假单胞菌为特定腐败菌, 以实验采集到的数据作为基础, 采用修正的 Compertz 方程为一级模型, Arrhenius 方程为二级模型构建了对鲜禽肉通用的货架期预测模型, 观测值与预测值的平均差为 11.1%, 并指出要利用模型作为一个有效的管理工具来提高供应链的品质管理水平。

4.3 货架期预测系统

国内外已经出现微生物生长预测数据库和预测系统。现有的预测系统基于特定腐败菌生长动力学的原理, 考虑的环境因子以温度、pH 值和水分活度为主, 构建了相关的数据库, 实现货架期预测。现有系统针对的地区、产品及其使用方式各自特点, 如表 6 所示。

表 6 国内外常见的微生物生长数据库和货架期预测系统

Table 6 Common microbial growth databases and shelf life prediction systems

货架期预测系统	研究对象	特点	环境因子	网址
ComBase	全球最大的免费预测微生物学数据库, 有在线数据库和预测软件两种形式	开放性、多种食品微生物预测模型	温度、pH 值、NaCl 浓度以及 CO ₂ 或有机酸	http://browser.combase.cc/Search.aspx
Sym'Prev-ius	可以对模型输出结果进行分析的专家系统, 由数据库、模型系统和数据分析工具三个单元组成	不开放、具有分析功能	培养条件、pH 值、生产过程、水分活度及保存条件	http://symprevious.eu/en/
GroPIN	包含 367 种模型, 针对 29 种病原体 and 43 种腐败菌的生长规律	简单实用	温度、水分活度、CO ₂	http://www.aua.gr/psomas/gropin/
SMAS	基于 TTI 技术的肉类供应链质量安全保障系统, 在建	全程监测货架期和质量风险评估	温度、pH 值、水分活度	http://smas.chemeng.ntua.gr

除了上述预测系统外, 杨宪时等^[86]以 Visual Basic 为程序编写工具, 设计并实现了养殖鱼类货架期预测系统, 实现了罗非鱼新鲜度和剩余货架期的实时和可靠预测; 菅宗昌等^[87]以 Visual Basic 和 SQL Server 为开发工具, 设计并实现了食品防潮包装货架期系统, 实现了货架期的快速预测; Qi 等^[88]基于无线传感器网络(WSN)技术设计并实现了食品冷链运输中的货架期预测决策支持系统, 系统测试和评估结果表明该系统能准确预测食品货架期, 满足消费者的需求; Koutsoumanis 等^[89]研究以微生物生产动力学模型为货架期预测模型, 设计并实现海产鱼的货架期决策系统。

4.4 货架期智能监测

时间-温度指示器 (TTI) 作为一种货架期智能监测手段对肉品整个货架期中的一些关键参数进行监控和记录, 通过时间温度积累效应指示食品的温度变化历程和剩余货架期^[90]。目前商业化 TTI 主要有扩散型、酶型和微生物型三种类型: 3M 公司的 MonitorMark 指示器 (US Patent,3,954,011) 和 Freshness Check 指示器 (US Patent,5,667,303); Vitsab 公司的 CheckPoint 指示器 (US Patent,4,043,871); 法国 Cryolog 公司开发的 Traceo, Traceo restauration 和 eO 和瑞士 Ciba 公司

的 OnVu 指示器。国外已有将 TTI 应用于冰鲜鸡肉的品质监测的研究。Brizio 等^[81]将 OnVu™ TTI B₁ 应用于实时监测冰鲜鸡胸肉的储藏温度历史和货架期, 得出上述 TTI 能够很好的指示肉品的品质变化, 适用性很强, 为冰鲜鸡胸肉供应链的监控提供了一个可靠的工具。

5 结论与展望

文献分析表明, 目前国内外围绕冰鲜鸡肉品质、表征指标、货架期的影响因素、保鲜技术以及预测等方面已经进行了大量、深入及细致的研究, 许多延长冰鲜鸡肉货架期的技术措施已经付诸实际, 随着研究技术、手段和保鲜技术的不断发展, 冰鲜鸡肉货架期的研究也将不断向实用和智能化方向发展。

5.1 栅栏技术在冰鲜鸡肉保鲜中的应用研究。从已有的研究可以看出, 冰鲜鸡肉品质受多种因素影响, 单一的保鲜技术通常都存在一定的不足, 栅栏技术用于冰鲜鸡肉的保鲜效果已经比较明显。但是, 目前这方面的研究存在不足, 因此加强栅栏技术的研究对于保证冰鲜鸡肉品质具有重要意义。

5.2 冰鲜鸡肉货架期预测系统研究。随着信息化技术的不断发展, 如何实现冰鲜鸡肉货架期的高效预测、智能化管理应是冰鲜鸡肉的品质管理的研究热点。在所构建模型的基础上开发成相应的应用系统, 能够使用户简单快捷的进行货架期预测。虽然在国内外已有一部分微生物生长数据库、食品货架期预测系统, 但目前还没有冰鲜鸡肉货架期预测系统的研究。因此, 开展冰鲜鸡肉货架期预测系统的研究, 实现冰鲜鸡肉货架期的高效预测、智能化管理应是未来冰鲜鸡肉品质管理的研究热点之一。

5.3 冰鲜鸡肉品质和货架期智能监测研究。目前针对冰鲜鸡肉品质监测主要是通过传统的感官评价、理化分析和微生物分析来判断其品质特性, 耗时较长。随着智能监测技术和设备的日益发展, 冰鲜鸡肉全程温度监测成为可能。国外 TTI 应用和商业化程度较高, 而国内关于 TTI 的研究尚处于初步探讨和研究阶段, 未来加强 TTI 在冰鲜鸡肉物流过程全程智能监测的研究和应用将是必然。

5.4 冰鲜鸡肉货架期相关国家标准的研究和制定。在开展上述研究的同时, 迫切需要综合相关的研究成果和国外的有效做法, 展开冰鲜鸡肉货架期相关标准的研究和制定工作, 为消费者食用冰鲜鸡肉提供安全保障, 为国家制定冰鲜鸡肉品质管理提供决策参考。

参考文献

- [1] 张永明, 孙晓蕾. 鸡肉的营养价值与功能[J]. 肉类工业, 2008, 8: 57-32
ZHANG Yong-ming, SUN Xiao-lei. The nutritional value and function of chicken [J]. Meat Industry, 2008, 8: 57, 32
- [2] 张素君. 关于加工工艺对油炸鸡肉产品质量的影响研究[D]. 湛江: 中国海洋大学, 2008
ZHANG Su-jun. The effects of processing technology on quality of fried chicken [D]. Zhanjiang: Ocean University of China, 2008
- [3] 陈家华, 方晓明, 朱坚, 等. 畜禽及其产品质量和安全分析技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007
CHEN Jia-hua, FANG Xiao-ming, ZHU Jian, et al. Quality and safety analysis technology of livestock and poultry product [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007
- [4] 张瑞荣. 中国肉鸡产品国际贸易研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011
ZHANG Rui-rong. Study on international trade of broiler products in China [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Dissertation, 2011
- [5] 丁宁, 李燕凌, 彭首创, 等. 供港冰鲜鸡加工工艺的控制[J]. 中国家禽, 2009, 31(11): 57-58
DING Ning, Li Yan-ling, Peng Shou-chuang. Control on the processing technology of chilled poultry supplied to Hong Kong [J]. China Poultry, 2009, 31(11): 57-58
- [6] 李虹敏, 徐幸莲, 朱志远, 等. 化学减菌处理对冰鲜鸡肉的保鲜效果[J]. 中国农业科学, 2009, 42(7): 2505-2512
LI Hong-min, XU Xing-lian, ZHU Zhi-yuan, et al. Preservative effects of various chemical decontamination treatments on broiler chicken cuts during refrigerated storage [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(7): 2505-2512
- [7] 赵晶晶. 冰鲜鸡肉中奇异变形杆菌生长预测模型的建立[D]. 北京: 中国农业大学, 2013
ZHAO Jing-jing. Development of models to predict growth of proteus mirabilis isolated from chilling chicken [D]. Beijing: China Agricultural University, 2013
- [8] Ivanova I, Ivanov G, Shikov V, et al. Analytical method for differentiation of chilled and frozen-thawed chicken meat [J]. Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology, 2014, 18(2): 43-53
- [9] 孙彦雨, 周光宏, 徐幸莲. 冰鲜鸡肉贮藏过程中微生物菌相变化分析[J]. 食品科学, 2011, 32(11): 146-151
SUN Yan-yu, ZHOU Guang-hong, XU Xing-lian. Changes in microbial community composition of chilled

- chicken during storage [J]. Food Science, 2011, 32(11): 146-151
- [10] Khanjari A, Karabagias I K, Kontominas M G. Combined effect of N, O-carboxymethyl chitosan and oregano essential oil to extend shelf life and control *Listeria monocytogenes* in raw chicken meat fillets [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 53(1): 94-99
- [11] Aymerich T, Picouet P A, Monfort J M, Decontamination technologies for meat products [J]. Meat Science, 2008, 78(1-2): 114-129
- [12] Economou T, Pournis N, Ntzimani A, et al. Nisin-EDTA treatments and modified atmosphere packaging to increase fresh chicken meat shelf-life [J]. Food Chemistry, 2009, 114(4): 1470-1476
- [13] Nychas George-John E, Skandamis P N, Tassou C C, et al. Meat spoilage during distribution [J]. Meat Science, 2008, 78(1-2): 77-89
- [14] Alzoreky N S, Nakahara K. Antibacterial activity of extracts from some edible plants commonly consumed in Asia [J]. International Journal of Food Microbiology, 2003, 80(3): 223-230
- [15] 傅泽田,邢少华,张小栓. 食品质量安全可追溯关键技术发展研究[J].农业机械学报,2013,44(7):144-153
FU Ze-tian, XING Shao-hua, ZHANG Xiao-shuan. Development trend of food quality safety traceability technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(7): 144-153
- [16] Xiong Z, Xie A, SUN D W, et al. Applications of hyperspectral imaging in chicken meat safety and quality detection and evaluation: a review [J]. Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 2015, 55(9): 1287-1301
- [17] 赵镭,刘文,汪厚银. 食品感官评价指标体系建立的一般原则与方法[J].中国食品学报,2008,8(3):121-124
ZHAO Lei, LIU Wen, WANG Hou-yin. General guidance and method for establishing index system of food sensory evaluation [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2008, 8(3): 121-124
- [18] 修琳.不同温度下鸡肉新鲜度指标的研究[D].长春:吉林大学,2007
XIU Lin. Research on the index signs of fresh degree of chicken in different temperature [D]. Changchun: Jilin University, 2007
- [19] 李特.鸡肉弹性与其新鲜度相关性的研究[D].长春:吉林大学,2008
LI Te. Relationship between the freshness and elasticity of chicken [D]. Changchun: Jilin University, 2008
- [20] 王勋,解万翠,陈波雷,等.冰鲜鸡新鲜度指标及其天然保鲜剂的研究[J].食品研究与开发,2013,16:112-116
WANG Xun, XIE Wan-cui, CHEN Bo-lei, et al. Research on the fresh index signs of different parts fresh chilled chicken and nature preservative [J]. Food Research and Development, 2013, 16: 112-116
- [21] 董亚维.高温对 AA 肉鸡和北京油鸡生产性能及肌肉品质风味的影响[D].咸阳:西北农林科技大学,2006
DONG Ya-wei. Effect of high temperature on performance, meat quality and meat flavor of avian broilers and Beijing fatty chickens [D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2006
- [22] 黄涛.不同品种鸡肌肉风味品质的比较研究[D].武汉:华中农业大学,2005
HUANG Tao. Comparative research on the flavor quality of different chicken meat [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2005
- [23] Meredith H, Valdramidis V, Rotabakk B T, et al. Effect of different modified atmospheric packaging (MAP) gaseous combinations on *Campylobacter* and the shelf-life of chilled poultry fillets [J]. Food Microbiology, 2014, 44(6) 196-203
- [24] Kanatt S R, Rao M S, Chawla S P, et al. Effects of chitosan coating on shelf-life of ready-to-cook meat products during chilled storage [J]. LWT-Food Science and Technology,2013, 53(1): 321-326
- [25] 夏小龙,彭珍,刘书亮,等.热水结合乳酸喷淋处理对屠宰生产链中肉鸡胴体微生物、理化及感官指标的影响[J].食品工业科技,2014,35(24):137-142
XIA Xiao-long, PENG Zhen, LIU Shu-liang, et al. Effects of spray treatment with hot water combined with lactic acid on broiler chicken carcasses' microorganisms, physicochemical and sensory indexes in slaughtering production chains [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(24): 137-142
- [26] 王二霞,赵健.感官评价原理及其在肉质评价中的应用[J].肉类研究,2008,4:71-74
WANG Er-xia, ZHAO Jian. Application of sensory evaluation in meat quality [J]. Meat Research, 2008, 4: 71-74
- [27] 曾名湧.食品保藏原理与技术[M].北京:化学工业出版社,2014
ZENG Ming-yong. Food preservation principle and technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2014

- [28] Owens C M, Alvarado C Z, Sams A R. Poultry meat processing (second edition) [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2013
- [29] Anang D M, Rusul G, Bakar J, et al. Effects of lactic acid and lauricidin on the survival of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis* and *Escherichia coli* O157:H7 in chicken breast stored at 4 °C [J]. Food Control, 2007, 18(8): 961-969
- [30] Hasapidou A, Savvaidis I N. The effects of modified atmosphere packaging, EDTA and oregano oil on the quality of chicken liver meat [J]. Food Research International, 2011, 44(9): 2751-2756
- [31] 李文娟. 鸡肉品质相关脂肪代谢功能基因的筛选及营养调控研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2008
LI Wen-juan. Filtration of functional genes related to lipid metabolism of meat quality and nutritional regulation in chickens [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008
- [32] Leistner L, Gorris L G M. Food preservation by hurdle technology [J]. Trends in Food Science and Technology, 1995, 6(2): 41-46
- [33] 王勋. 鸡肉腐败变质及其生物保鲜剂的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2012
WANG Xun. Study on the corruption of fresh chicken and biological preservatives [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2012
- [34] Khulal U, Zhao J, Hu W, et al. Nondestructive quantifying total volatile basic nitrogen (TVB-N) content in chicken using hyperspectral imaging (HSI) technique combined with different data dimension reduction algorithms [J]. Food Chemistry, 2016, 197PtB: 1191-1199
- [35] Rukchon C, Nopwinyuwong A, Trevanich S, et al. Development of a food spoilage indicator for monitoring freshness of skinless chicken breast [J]. Talanta, 2014, 130(5): 547-554
- [36] Balamatsia C, Patsias A, Kontominas M, et al. Possible role of volatile amines as quality-indicating metabolites in modified atmosphere-packaged chicken fillets: Correlation with microbiological and sensory attributes [J]. Food Chemistry, 2007, 104(4): 1622-1628
- [37] Patsias A, Badeka A V, Savvaidis I N, et al. Combined effect of freeze chilling and MAP on quality parameters of raw chicken fillets [J]. Food Microbiol, 2008, 25(4): 575-581
- [38] 李苗云, 张建威, 樊静, 等. 生鲜鸡肉货架期预测模型的建立与评价[J]. 食品科学, 2012, 23: 60-63
LI Miao-yun, ZHANG Jian-wei, FAN Jing, et al. Establishment and evaluation of prediction model for the shelf life of fresh chicken [J]. Food Science, 2012, 23: 60-63
- [39] 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 Sci., 2013, 94(1): 1-8
- [40] 叶藻, 谢晶, 高磊. 工厂实测冷鲜鸡冷却贮藏过程品质的变化[J]. 食品工业科技, 2015, 19: 332-335, 342
YE Zao, XIE Jing, GAO Lei. On-site tests of the quality changes of cold fresh chicken during chilling and cold storage [J]. The Food Industry Science and Technology, 2015, 19: 332-335, 342
- [41] 宋晨, 刘宝林, 董庆利. 冷冻食品货架期研究现状及发展趋势[J]. 食品科学, 2010, 31(1): 258-261
SONG Chen, LIU Bao-lin, DONG Qing-li. Current research and development trend for shelf life of frozen food [J]. Food Science, 2010, 31(1): 258-261
- [42] Waldroup A L. Contamination of raw poultry with pathogens [J]. W. Poult. Sci., 1996, 52(1): 7-25
- [43] 王艳芳, 郑华, 林捷, 等. 复合保鲜剂对分割生鲜鸡肉保鲜效果的优化[J]. 食品工业科技, 2015, 36(13): 271-274, 281
WANG Yan-fang, ZHENG Hua, LIN Jie, et al. Effect of biochemistry compound preservatives on fresh chicken quality [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(13): 271-274, 281
- [44] Latou E, Mexis S F, Badeka A V, et al. Combined effect of chitosan and modified atmosphere packaging for shelf life extension of chicken breast fillets [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 55(1): 263-268
- [45] 孙彦雨. 冰鲜鸡肉腐败微生物分析及其减菌剂的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011
SUN Yan-yu. Studies on microbial contamination and microbial decontamination of chemical substances of fresh chicken [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011
- [46] Daud H B, Mcmeekin T A, Olley J. Temperature function integration and the development and metabolism of poultry spoilage bacteria [J]. Applied & Environmental Microbiology, 1978, 36(5): 650-654
- [47] Ayres J C. Temperature relationships and some other characteristics of the microbial flora developing on refrigerated beef [M]. Journal of Food Science, 1960

- [48] 顾海宁,李强,李文钊,等.冷却猪肉贮存中的品质变化及货架期预测[J].现代食品科技,2013(11):2621-2626
GU Hai-ning, LI Qiang, LI Wen-zhao, et al. Quality change and shelf-life prediction of chilled pork during storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 11: 2621-2626
- [49] Adaro D, Tuskegee H. Real-time PCR assay for rapid detection and quantification of *Campylobacter jejuni* on chicken rinses from poultry processing plant [J]. Molecular and Cellular Probes, 2007, 1(21): 177-181
- [50] Monica G, Rosalia F, Daniele N. Antioxidant addition to prevent lipid and protein oxidation in chicken meat mixed with supercritical extracts of *Echinacea angustifolia* [J]. Journal of Supercritical Fluids, 2012, 72(72): 198-204
- [51] Zeitoun A A M, Debevere J M. Decontamination with lactic acid/sodium lactate buffer in combination with modified atmosphere packaging effects on the shelf life of fresh poultry [J]. International Journal of Food Microbiology, 1992, 16(2): 89-98
- [52] González-Fandos E, Dominguez J L. Effect of potassium sorbate washing on the growth of *Listeria monocytogenes* on fresh poultry [J]. Food Control, 2007, 18(7): 842-846
- [53] 魏静,解新安.食品超高压杀菌研究进展[J].食品工业科技,2009,6:363-367
WEI Jing, XIE Xin-an. Advance in food sterilization by ultra-high pressure [J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 6: 363-367
- [54] 李楠,张艳芳,韩剑飞,等.超高压杀菌对冰鲜鸡肉感官品质及微生物的影响[J].肉类工业,2015,3:19-23,27
LI Nan, ZHANG Yan-fang, HAN Jian-fei, et al. Effects of ultra-high pressure sterilization on sensory quality and microorganism of iced fresh chicken [J]. Meat Industry, 2015, 3: 19-23, 27
- [55] Rodríguez-Calleja J M, Cruz-Romero M C, O'Sullivan M G, et al. High-pressure-based hurdle strategy to extend the shelf-life of fresh chicken breast fillets [J]. Food Control, 2012, 25(2): 516-524
- [56] 杨宪时,姜兴为,李学英,等.伽马辐照对冰藏大黄鱼品质和货架期的影响[J].农业工程学报,2011,27(2):376-381
YANG Xian-shi, JIANG Xing-wei, LI Xue-ying, et al. Effects of gamma irradiation on quality and shelf life of iced *Pseudosciaena crocea* [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(2): 376-381
- [57] Balamatsia C C, Rogga K, Badeka A, et al. Effect of Low-dose radiation on microbiological, chemical, and sensory characteristics of chicken meat stored aerobically at 4 °C [J]. Journal of Food Protection, 2006, 69(5): 1126-1133
- [58] Kanatt S R, R Chander, Sharma A. Effect of radiation processing on the quality of chilled meat products [J]. Meat Science, 2005, 69(2): 269-275
- [59] 谢晶,杨胜平.生物保鲜剂结合气调包装对带鱼冷藏货架期的影响[J].农业工程学报,2011,27(1):376-382
XIE Jing, YANG Sheng-ping. Effects of biopreservative combined with modified atmosphere packaging on shelf-life of *trichiurus haumela* [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 376-382
- [60] 黄俊彦,韩春阳,姜浩.气调保鲜包装技术的应用[J].包装工程,2007,28(1):44-48
HUANG Jun-yan, HAN Chun-yang, JIANG Hao. Applications of modified atmosphere packaging technology [J]. Packaging Engineering, 2007, 28(1): 44-48
- [61] 王燕荣.冷却肉保鲜包装技术的研究[D].重庆:西南大学,2007
WANG Yan-rong. Research on preservative packaging technologies for chilled meat [D]. Chongqing: Southwest University, 2007
- [62] Chouliara E, Karatapanis A, Savvaidis I N, et al. Combined effect of oregano essential oil and modified atmosphere packaging on shelf-life extension of fresh chicken breast meat, stored at 4 °C [J]. Food Microbiology, 2007, 24(6): 607-617
- [63] Leistner L, Gorris L G M. Food preservation by hurdle technology [J]. Trends in Food Science and Technology, 1995, 6(2): 41-46
- [64] 郭燕茹,顾赛麒,王帅,等.栅栏技术在水产品加工与贮藏中应用的研究进展[J].食品科学,2014,35(11):339-342
GUO Yan-ru, GU Sai-lin, WANG Shuai, et al. Research advances in application of hurdle technology for aquatic products processing and storage [J]. Food Science, 2014, 35(11): 339-342
- [65] 高磊,谢晶.生鲜鸡肉保鲜技术研究进展[J].食品与机械,2014,5:310-315
GAO Lei, XIE Jing. Progress on preservation technologies for fresh chicken [J]. Food and Machinery, 2014, 5: 310-315
- [66] 吴文锦,汪兰,李新,等.冰鲜鸡肉保鲜技术的研究[J].食品工业,2015,8:91-95
WU Wen-jin, WANG Lan, LI Xin, et al. The study on the

- preservation of chilled chicken [J]. *The Food Industry*, 2015, 8: 91-95
- [67] Kilcast David, P. Subramaniam (Eds.). *The stability and shelf-life of food* [D]. Woodhead Publishing, 2010
- [68] 赵梦莹,刘雪,张领先,等.鸡蛋货架期研究进展[J].食品工业科技,2013,34(5):376-379
ZHAO Meng-ying, LIU Xue, ZHANG Ling-xian, et al. Research progress and prospect of egg shelf life [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(5): 376-379
- [69] 陈晓宇,朱志强,张小栓,等.食品货架期预测研究进展与趋势[J].农业机械学报,2015,46(8):192-199
CHEN Xiao-yu, ZHU Zhi-qiang, ZHANG Xiao-shuan, et al. Progress and trend of food shelf life prediction research [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46(8): 192-199
- [70] 邱春强,张坤生,任云霞,等.酱卤鸡肉货架期预测的研究[J].食品工业科技,2012,33(22):351-354
QIU Chun-qiang, ZHANG Kun-sheng, REN Yun-xia, et al. Research of the prediction of sauce chicken shelf life [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(22): 351-354
- [71] 陈建林,张雪娇,王向红,等.中国对虾重组虾肉货架期预测模型的建立[J].现代食品科技,2015,10:234-240,262
CHEN Jian-lin, ZHANG Xue-jiao, WANG Xiang-hong, et al. Establishment of model to predict the shelf life of restructured shrimp [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 10: 234-240, 262
- [72] 李苗云,孙灵霞,周光宏,等.冷却猪肉不同贮藏温度的货架期预测模型[J].农业工程学报,2008,24(4):235-239
LI Miao-yun, SUN Ling-xia, ZHOU Guang-hong, et al. Prediction model for the shelf-life of chilled pork stored at different temperatures [J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(4): 235-239
- [73] 李飞燕.冷却牛肉菌落总数生长模型及货架期预测模型的研究[D].泰安:山东农业大学,2011
LI Fei-yan. Study of microbial growth models of TPC and shelf life prediction for chilled beef [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2011
- [74] 李媛惠.生鲜调理鸡肉货架期预测模型评价与统一化研究[D].郑州:河南农业大学,2013
LI Hui-yuan. Evaluating and unify models of the shelf life of fresh and prepared chicken [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2013
- [75] 顾海宁,李强,李文钊,等.冷却猪肉贮存中的品质变化及货架期预测[J].现代食品科技,2013,11:2621-2626
GU Hai-ning, LI Qiang, LI Wen-zhao, et al. Quality change and shelf-life prediction of chilled pork during storage [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 11: 2621-2626
- [76] 刘雪,李亚妹,刘娇,等.基于BP神经网络的鲜鸡蛋货架期预测模型构建[J].农业机械学报,2015,46(10):328-334
LIU Xue, LI Ya-mei, LIU Jiao, et al. BP neural network based prediction model for fresh egg's shelf life [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46(10): 328-334
- [77] Whiting R C, Buchanan R L. A classification of models for predictive microbiology [J]. *Food Microbiology*, 1993, 10: 175-177
- [78] 仙鹏,傅泽田,刘雪,等.生鲜农产品货架期预测研究进展[C]//“第一届国际计算机及计算技术在农业中的应用研讨会”暨“第一届中国农村信息化发展论坛”论文集.北京:中国农业科学技术出版社,2007:336-341
XIAN Peng, FU Ze-tian, LIU Xue, et al. Research development of shelf-life prediction for perishable food [C]// CCTA2007. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2007: 336-341
- [79] Siripatrawan U, Jantawat P. A novel method for shelf life prediction of a packaged moisture sensitive snack using multilayer perceptron neural network [J]. *Expert Systems with Applications*, 2008; 34(2): 1562-1567
- [80] 梁荣蓉.生鲜鸡肉调理制品菌群结构分析和货架期预测模型的研究[D].泰安:山东农业大学,2010
LIANG Rong-rong. Bacterial community and shelf life predictive model of freshly prepared chicken products [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2010
- [81] Brizio A P D R, Prentice C. Use of smart photochromic indicator for dynamic monitoring of the shelf life of chilled chicken based products [J]. *Meat Science*, 2014, 96(3): 1219-1226
- [82] 刘寿春,赵春江,杨信廷,等.猪肉冷链流通温度监测与货架期决策系统研究进展[J].食品科学,2012,33(9):301-306
LIU Shou-chun, ZHAO Chun-jiang, YANG Xin-ting, et al. Research progress of temperature monitoring and shelf-life decision system in pork cold chain management [J]. *Food Science*, 2012, 33(9): 301-306
- [83] 肖琳琳,张凤英,杨宪时,等.预报微生物学及其在食品货架期预测领域的研究进展[J].海洋渔业,2005,27(1): 68-73

- XIAO Lin-lin, ZHANG Feng-ying, YANG Xian-shi, et al. Predictive microbiology and its advance on the field of food shelf life prediction [J]. *Marine Fisheries*, 2005, 27(1): 68-73
- [84] 李忠辉,姚开,贾冬英,等.冷鲜鸡胸肉主要腐败菌的分离及低温贮藏对货架期的影响[J].*食品与发酵工业*,2011, 37(1):167-170
- LI Zhong-hui, YAO Kai, JIA Dong-ying, et al. Isolation of predominant spoilage bacteria in chilled chicken breast and evaluation of the shelf life at low storage temperatures [J]. *Food and Fermentation Industry*, 2011, 37(1): 167-170
- [85] Bruckner S, Albrecht A, Petersen B, et al. A predictive shelf life model as a tool for the improvement of quality management in pork and poultry chains [J]. *Food Control*, 2013, 29(2): 451-460
- [86] 杨宪时,许钟,郭全友.养殖鱼类货架期预测系统的设计与评估[J].*农业工程学报*,2006,22(8):129-134
- YANG Xian-shi, XU Zhong, GUO Quan-you. Development and assessment of a shelf life prediction system for cultured fish [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2006, 22(8): 129-134
- [87] 菅宗昌,卢立新.食品防潮包装货架期预测软件系统开发[J].*包装工程*,2013,24(3):25-29
- JIAN Zong-chang, LU Li-xin. Development of shelf-life prediction system of food moisture-proof packaging [J]. *Packaging Engineering*, 2013, 24(3): 25-29
- [88] Qi L, Xu M, FuZ T, et al. C2SLDS: A WSN-based perishable food shelf-life prediction and LSFO strategy decision support system in cold chain logistics [J]. *Food Control*, 2014, 38(1): 19-39
- [89] Koutsoumanis K, Giannakourou M C, Taoukis P S, et al. Application of shelf life decision system (SLDS) to marine cultured fish quality [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2002, 73(2-3): 375-382
- [90] Taoukis P S, Labuza T P. Applicability of time temperature indicators as shelf-life monitors of food products [J]. *Journal of Food Science*, 1989, 54(4): 783-788
- [91] 赵婷,都启,李凤梅,等.乳酸菌发酵液对冷却鸡肉保鲜作用的研究[J].*食品工业*,2016,1:6-10
- ZHAO Ting, DU Qi, LI Feng-mei, et al. Studies on the preservation of chilled chicken by LAB fermented solution [J]. *Food Industry*, 2016, 1: 6-10
- [92] Stiles M E, Hastings J W. Bacteriocin production by lactic acid bacteria: potential for use in meat preservation [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 1991, 2: 247-251
- [93] 董庆利,曾静,熊成,等.不同贮藏温度下冷却猪肉货架期预测模型的构建[J].*食品科学*,2012,33(20):304-308
- DONG Qing-li, ZENG Jing, XIONG Cheng, et al. Predictive modeling of the shelf-life of chilled pork at different temperatures [J]. *Food Science*, 2012, 33(20): 304-308