

综述

肉鸡屠宰加工中减菌工艺及抗菌剂的研究进展

杨晓斌^{1,2}, 赵丽¹, 李凤琴², 白莉², 董银苹²

(1. 山东大学齐鲁医学院公共卫生学院微生物检验学系, 山东省“十三五”高等学校感染性疾病防控重点实验室, 山东 济南 250012; 2. 国家食品安全风险评估中心, 国家卫生健康委员会食品安全风险评估重点实验室, 北京 100021)

摘要: 肉鸡屠宰加工过程中的微生物控制对保障食品安全和人类健康具有重要意义。肉鸡屠宰加工过程中, 浸烫、洗涤、冷却是微生物污染控制的重要环节, 多种措施的联合使用可有效降低肉鸡胴体中微生物载量。其中次氯酸钠、氯化十六烷基吡啶、酸化亚氯酸钠等抗菌剂可有效减少肉鸡胴体中沙门菌、大肠埃希菌和弯曲菌等致病菌污染, 但不同减菌环节及抗菌剂的使用剂量、作用时间等对减菌效果影响较大。本文综述了肉鸡屠宰加工过程中各环节微生物污染的控制措施, 同时也对多种抗菌剂在上述工艺环节中的减菌效果进行系统阐述, 以为国内肉鸡屠宰加工过程中微生物污染防控提供数据参考, 促进肉鸡生产行业健康发展, 保护消费者健康。

关键词: 肉鸡胴体; 屠宰加工; 减菌工艺; 抗菌剂

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2023)11-1662-09

DOI: 10.13590/j.cjfh.2023.11.018

Research progress on bacteria reduction technology and antimicrobial agents in broiler slaughtering and processing

YANG Xiaobin^{1,2}, ZHAO Li¹, LI Fengqin², BAI Li², DONG Yinping²

(1. Department of Microbiological Laboratory Technology, School of Public Health, Cheeloo College of Medicine, Shandong University, Key Laboratory of Infectious Disease Control and Prevention in Universities of Shandong, Shandong Ji'nan 250012, China; 2. Key Laboratory of Food Safety Assessment of Ministry of Health, China National Center for Food Safety Assessment, Beijing 100021, China)

Abstract: The microbial control in broiler chicken slaughtering and processing is essential in ensuring food safety and human health. Scalding, washing, and cooling are crucial stages for controlling microbial contamination during broiler chicken processing, and a combined use of multiple measures can effectively reduce microbial load on broiler chicken carcasses. Among these antimicrobial agents, sodium hypochlorite, cetylpyridinium chloride, and acidified sodium chlorite are effective in reducing contamination by pathogens such as *Salmonella*, *Escherichia coli*, and *Campylobacter* on broiler chicken carcasses. However, the effectiveness of reducing microbes depends on the stages of microbial control and the amount and duration of antimicrobial agent application. This article provides an overview of the control measures for microbial contamination at various stages of broiler chicken slaughtering and processing. Additionally, this study systematically elucidates the microbial reduction effects of various antimicrobial agents in these process stages. This review aims to provide data references for preventing and controlling microbial contamination during broiler chicken slaughtering and processing in domestic industries, thereby promoting the healthy development of the broiler production industry and safeguarding consumer health.

Key words: Broiler carcass; slaughter and processing; bacteria reduction technology; antimicrobial agents

鸡肉是目前全球最主要的肉类消费品, 在世界范围内我国的鸡肉产量仅次于美国, 位居全球第

2位。现有数据显示, 2021年中国鸡肉消费量已达到2 090.4万吨, 较2020年增加132.1万吨, 增幅为6.7%, 人均消费量为14.77 kg, 增幅达6.5%^[1]。与此同时, 鸡肉的食品安全问题及其引发的食源性疾病等越来越受关注。随着市场对鸡肉需求量的增多, 传统散养模式已不能满足现有的供求关系, 规模化集中养殖逐步发展起来, 目前我国现有规模

收稿日期: 2023-06-01

作者简介: 杨晓斌 女 在读研究生 研究方向为微生物检验

E-mail: 202136502@mail.sdu.edu.cn

通信作者: 董银苹 女 副研究员 研究方向为食品微生物学

E-mail: dongyinping@cfsa.net.cn

化肉鸡养殖场超过 2.7 万个,年产量超 2 000 万吨。集中化养殖造成养殖密度过度集中,为病原菌在肉鸡群中的传播提供便利条件。除肉鸡本身的皮肤、脚和羽毛等外表面携带大量细菌外,肉鸡消化道中携带的大量病原菌也可在其屠宰加工过程中的挂鸡、放血、浸烫、脱毛、开膛、预冷、分割、包装等多个环节对鸡胴体造成污染,最终导致消费环节终产品受污染。因此,如何控制肉鸡屠宰加工过程中微生物污染,一直是各大养殖企业急需解决的问题。

近年来,多项研究对市售鸡肉进行了调查采样,结果显示鸡肉中最常见的污染菌主要为沙门菌、弯曲菌以及大肠埃希菌等^[2-4]。且沙门菌和弯曲菌也是引起食源性疾病的重要致病菌,据估计,全球每年由非伤寒沙门菌引起的病例有 9 380 万例,其中有 8 030 万例属于食源性病例,而受污染的家禽肉是最主要的致病原因^[5-7]。同样弯曲菌是引起细菌性胃肠炎的主要原因,每年约有 9 600 万由弯曲菌引起的病例,且高达 30% 的人类弯曲菌感染都是来源于鸡肉制品。由此可见,鸡肉的微生物污染控制对保持鸡肉良好品质,减少食源性病原体尤为重要。目前,国内外对冷鲜鸡肉的消毒研究数据较少,标准方法指标并不完善。本文主要就目前肉鸡屠宰加工过程中减菌工艺及抗菌剂进行了综述。

1 肉鸡屠宰加工工艺

肉鸡屠宰加工主要分为五个步骤,即浸烫、脱毛、内脏取出、洗涤和冷却。其中,脱毛和去内脏步骤是造成致病菌污染的主要环节,而浸烫、洗涤和冷却是目前加工中肉鸡减菌的最主要工艺。下面将针对三个重要的肉鸡减菌工艺进行重点综述。

1.1 浸烫

浸烫是指在去除羽毛之前将肉鸡胴体浸泡在温水中扩大毛囊。通常分为两种:软烫和硬烫。软烫使用的温度稍低,但持续时间更长(51.4 °C~53.1 °C,120~229 s)。硬烫缩短了作用时间,但通过更高的温度(55 °C~58 °C,80~150 s)来增加脱毛效率和减少加工时间。软烫主要用于新鲜出售的鸡肉,而硬烫通常用于冷冻产品。

ZWEIFEL 等^[8]对 3 个屠宰场的肉鸡胴体进行了抽检,3 个屠宰场分别使用软烫(50.7 °C~51.8 °C/200 s,51.7 °C/205 s 和 229 s,52.7 °C~53.6 °C/200 s)减菌后,样品中的菌落总数从 7.70 lg CFU/g 降至 6.00~6.50 lg CFU/g,弯曲菌从 3.60 lg CFU/g 降至 2.30~3.30 lg CFU/g。同时另一项研究对肉鸡胴体进行了 58 °C 硬烫处理,结果发现弯曲菌的检出率从 76.2% 降至 20.0%^[9]。浸烫过程能有效降低肉鸡胴

体的微生物污染,因为它可以洗去羽毛上多余的污垢并提供温和的热灭活作用。尽管浸烫过程已被证明是有效的减菌工艺,但其关键参数如温度、时间和添加剂等却缺乏全面的研究描述。YANG 等^[10]将鼠伤寒沙门菌和空肠弯曲菌接种到鸡皮上,检测浸烫温度(50、60 °C)对细菌存活的影响。研究表明,在 50 和 60 °C 浸烫 5 min 后,空肠弯曲菌在鸡皮上的减少量分别为 <1.00 lg CFU/cm² 和 >2.00 lg CFU/cm²,鼠伤寒沙门菌在鸡皮上的减少量分别为 <0.50 lg CFU/cm² 和 >2.00 lg CFU/cm²。因此,浸烫温度是影响肉鸡胴体减菌效果的重要因素。

1.2 洗涤

肉鸡胴体在取出内脏后进入洗涤环节,以去除鸡表面多余的污垢。目前,内外式洗禽机(Inside/outside bird wash, IOBW)是屠宰场最常用的清洗方式。NORTHCUTT 等^[11]研究显示,IOBW 清洗的物理作用可使鸡胴体上的沙门菌减少 0.70~1.10 lg CFU/mL。同时,有研究主张使用较高的水温通过软化脂肪和降低表面张力来破坏细菌并提高除菌率。LI 等^[12]研究显示,与 20 °C 水喷雾洗涤处理相比 55 和 60 °C 水喷雾洗涤,可多降低弯曲菌约 0.78 lg CFU/只。此外,BERRANG 等^[13]评估了 5 个独立的洗涤方式(刷式清洗机、羽毛喷雾清洗机、内/外喷雾清洗机、刷式内/外清洗机、预冷喷雾清洗机)的联合效果。结果显示,经联合洗涤后弯曲菌下降了 1.43 lg CFU/mL,大肠埃希氏菌下降了 1.91 lg CFU/mL,且沙门菌检出率从 80% (20/25) 下降到 24% (6/25)。因此,洗涤是一种有效减少微生物污染的干预措施,工厂可以用提高洗涤水温或采用多种清洗机联合使用的方式达到肉鸡胴体减菌效果。

1.3 冷却

低温预冷通过降低微生物细胞内酶活性和微生物繁殖速度的方式达到减菌的目的。目前,欧盟并未对冷却时间进行规定,只要求运输或切割前的最高温度为 4 °C^[14]。美国对不同重量的鸡胴体有不同的要求,对于重量 <4、4~8 或 >8 lb 的鸡胴体,要求要分别在 4、6 或 8 h 内冷却到 4.4 °C 及以下。中国对鸡胴体冷却也有明确规定,要求水温应控制在 4 °C 以下,最终冷却水温度为 0~2 °C,冷却时间 30~40 min,且鸡胴体要逆水流移动,冷却后的鸡胴体中心温度应小于 4 °C^[15]。国内外有多种预冷方法,主要包括浸没式水冷、空气冷却、喷雾冷却以及真空冷却等。

1.3.1 浸没式水冷

中国和美国主要选择浸没式水冷工艺对肉鸡胴体进行冷却。BERGHAUS 等^[16]比较了浸没式水

冷前后的鸡胴体微生物污染量,结果显示,冷却后沙门菌载量降低了 1.12 lg CFU/mL。此外,HUEZO 等^[17]将鸡胴体放入约 0.6 °C 的冰水中 50 min,且冷却器中的桨叶以大约 2 r/min 的速度运行后的鸡胴体中弯曲菌载量下降了 1.00 lg CFU/mL,沙门菌载量下降了 0.60 lg CFU/mL。SMITH 等^[18]的研究表明单纯的浸没式冷却可能不足以应对弯曲菌和沙门菌对鸡胴体的交叉污染,加氯是最传统的防止交叉污染方式。DUFFY 等^[19]在浸没式水冷过程中加入游离氯浓度为 3.50、2.50、1.70、1.00 mg/L 的冷却水,冷却后的弯曲菌平均降低了 2.90 lg CFU/mL,大肠埃希氏菌平均降低了 2.50 lg CFU/mL。TANG 等^[20]对浸没式水冷的效果的影响因素进行研究,发现影响程度依次为:预冷水温度>次氯酸钠浓度>预冷时间。由此可见,加氯可以有效抑制肉鸡胴体的微生物污染,也是目前国内的屠宰场最常使用的减菌方式。

1.3.2 空气冷却(风冷)

风冷是一种通过蒸汽冷却和冷空气流吹带走热量的方法,冷风通过胴体表面吹过,再在冷却间中高速循环,使鸡胴体中心温度降低。欧盟和加拿大广泛采用风冷方式,但在国内研究相对较少^[21]。STELLA 等^[22]研究显示,在速度为 0.5~2 m/s,温度为 2±0.5 °C 条件下作用 35 min 后,弯曲菌的检出率从 77%(30/39)降至 46%(18/39)。HUEZO 等^[17]将肉鸡胴体在 3.5 m/s,~1.1 °C 条件下持续作用 150 min 后,收集其皮肤样本,可使弯曲菌载量降低 1.40 lg CFU/mL,沙门菌载量降低 1.00 lg CFU/mL,大肠埃希氏菌和大肠菌群载量降低 1.0±0.1、0.90±0.1 lg CFU/mL。DEMIROK 等^[21]的研究也表明,鸡胴体在经过空气速度为 3.6 m/min,温度为 0 °C,120 min 的空气冷却后,沙门菌载量降低了 1.71 lg CFU/mL,弯曲菌降低了 1.35 lg CFU/mL。近年来,欧盟市场上推出了新开发的组合式在线空气冷却系统,旨在通过结合空气冷却和浸没式水冷的优点和缺点来生产高质量的肉鸡胴体。DEMIROK 等^[21]应用该冷却系统,对肉鸡胴体的灭菌情况进行研究,结果冷却后的沙门菌载量降低了 1.71 lg CFU/mL,弯曲菌载量降低了 2.10 lg CFU/mL。由此可见,该系统可以起到减菌的效果,但就该系统的减菌效果的研究还较少,有待进一步深入研究。

也有研究发现,空气冷却存在将假单胞菌从墙壁表面转移到肉鸡胴体上的风险,因此对环境要求较高,应在洁净的空间进行^[23]。此外,荟萃分析也发现,相比于空气冷却,浸没式水冷更有效地降低

弯曲菌和沙门菌的污染量^[24-25]。综上所述,尽管空气冷却是一种常见的肉鸡冷却方式,但其使用仍受到一定限制,且存在不足之处。

1.3.3 喷雾冷却和真空冷却

除了常见的沉浸式水冷和空气冷却,喷雾冷却和真空冷却成为了肉鸡屠宰行业冷却减菌的新方向。喷雾冷却系统中,胴体被悬挂在冷空气中,大量的冷却水会间歇或持续不断地喷到胴体上,通过水分的蒸发带走热量来实现冷却目的^[24]。尽管,喷雾冷却主要应用于红肉的屠宰加工,但单纯冷水喷雾冷却对减菌的效果并不明显,需要加入抗菌剂才能达到较好的减菌效果^[26]。真空冷却则是将待冷却的产品放在密闭的真空冷却室内,利用真空泵抽空空气形成负压环境,使得产品内部的水分得以蒸发。在水分蒸发过程中,由于蒸发吸热,导致产品本身的温度降低。有研究表明,真空冷却技术可以有效地缩短冷却时间,使其迅速通过微生物容易繁殖的温度带,很好地改善了产品的品质。但目前真空预冷技术应用于果蔬类、熟肉制品类、果酱、鱼肉等方面,未见应用于新鲜肉类的报道^[27]。

2 抗菌剂的使用

肉鸡屠宰加工过程中抗菌剂主要应用于洗涤和冷却工艺。通过抗菌剂来协助减少肉鸡胴体的微生物污染,是目前屠宰场常见的消毒方法。国内屠宰厂目前主要采用三段式螺旋冷却,第一段(18 °C,加抗菌剂,15 min)、第二段(12 °C,无抗菌剂,15 min)、第三段(0 °C~4 °C,无抗菌剂,10 min),即在第一阶段添加抗菌剂^[28]。在美国,已经允许在肉鸡屠宰加工中使用抗菌剂,但需要受食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)和美国农业部(US Department of Agriculture, USDA)的监管。然而,在欧盟地区,化学抗菌剂的使用仍存在争议。在肉鸡屠宰加工行业,目前应用或研究较多的抗菌剂主要有次氯酸盐、过氧乙酸(Peracetic acid, PAA)、氯化十六烷基吡啶(Cetylpyridinium chloride, CPC)、酸化亚氯酸钠(Acidified sodium chlorite, ASC)、乳酸等,使用方式主要有喷洒和浸没两种。

2.1 次氯酸钠

在允许使用浸水冷却的国家,次氯酸盐通常是用于家禽生产线的含氯消毒剂。该物质可添加到冷却水中,以降低肉鸡胴体的微生物污染水平和冷却环节的交叉污染问题。根据美国农业部食品安全检验局(Food Safety and Inspection Service, FSIS)的规定,家禽加工中使用氯的浓度不得超过 50 mg/

L,冷水作用时间在 10 s~120 min。而在中国的 NY/T 1174—2006《肉鸡屠宰质量管理规范》中规定,使用次氯酸钠进行消毒时,浓度应保持在 50~100 mg/kg。我国研究学者 XIAO 等^[29]通过建立交叉污染的预测模型表明,当氯的浓度在 0~20 mg/L 时,无法对沙门菌交叉污染起到控制效果,而提高浓度到 50~100 mg/L 时,则可有效控制冷却过程中的沙门菌的交叉污染。同时,添加化学添加剂 T-128(一种基于磷酸~丙二醇的专有氯稳定剂)可提高氯的稳定性,从而减少沙门菌和弯曲菌的交叉污染^[30]。有工厂 STOPFORTH 等^[31]将二氧化氯和氯协同作用于肉鸡胴体,即通过浸泡 ClO₂(通过将 50~150 mg/L 亚氯酸钠与柠檬酸酸化至 pH 2.8~3.2 制备)和 20~50 mg/L 氯化水,大肠菌群和大肠埃希氏菌分别下降了 1.00 和 0.80 lg CFU/mL。因此,与使用高浓度的氯相比,目前许多研究更偏向于与其他添加剂协同作用,这也为次氯酸钠的研究提供了新的方向。虽然次氯酸钠成本低,且在国内适用范围较广,但次氯酸钠在与食物接触时会产生一些消毒副产物,例如亚硝胺、氯仿和氯胺等物质。这些副产物被认为具有一定的致癌作用,因此有些人担心次氯酸钠在禽肉消毒中可能存在一定的健康风险。

2.2 PAA

PAA 主要依靠其自身的酸性和氧化性来有效地杀灭和抑制多种微生物,据 EBEL 等^[32]调查的 167 家美国禽生产企业显示,多个企业将 PAA 作为主要的家禽生产加工中减菌干预手段。FDA 已批准 PAA 在生家禽产品中的使用,最大浓度为 2 000 mg/L。同时欧洲食品安全管理局也批准了短间接触下 PAA 最大浓度为 2 000 mg/L,时间不超过 3 min;长间接触下最大浓度为 230 mg/L,时间为 1~2 h。BERTRAM 等^[33]采用 1 200 mg/L 的 PAA 对受弯曲菌污染的带皮鸡胸肉和鸡腿肉进行喷淋(30 s),结果显示弯曲菌减少 1.10 lg CFU/mL。KUMAR 等^[34]将接种沙门菌和弯曲菌混合物的鸡胸肉片浸泡在 1 000 mg/L PAA 溶液中 30 s,结果显示沙门菌和弯曲菌的数量分别减少 1.92 和 1.87 lg CFU/mL。同时该研究也采用了喷淋的方式进行实验,结果表明浸没或喷洒均可有效减菌。与传统的加氯浸没相比,PAA 表现出更好的减菌效果。BAUERMEISTER 等^[35]用氯(30 mg/L)或 PAA(25、100、200 mg/L)分别处理染菌(10⁶ CFU/mL 沙门菌、10⁶ CFU/mL 弯曲菌)肉鸡胴体,结果显示对于沙门菌,3 种浓度的 PAA 可将其降低至 1.50~2.50 lg CFU/mL,加氯组可降低至 3.00~3.50 lg CFU/mL。而对于弯曲菌,

25 mg/L 和 100 mg/L 的 PAA 可使其降至 2.50~3.00 lg CFU/mL,200 mg/L 可使其降至 2.00~2.50 lg CFU/mL,加氯组可使其降至 3.00~3.50 lg CFU/mL。同时,PAA 与其他抗菌剂联合使用能够更有效地减少微生物载量。例如,PAA 与臭氧水、PAA 与过氧化氢等联合使用,可显著提高减菌效果^[36-37]。同时,PAA 成本低廉,且产生的消毒副产物主要是羧酸,其不具备遗传毒性。但需要注意的是,在高浓度和高温度条件下,PAA 可能会发生急剧分解并引发爆炸。此外,PAA 对眼睛、呼吸道黏膜和皮肤具有腐蚀性和刺激性作用,容易引发工人职业健康问题。因此,在使用 PAA 时应当注意采取必要的安全措施以保护工作人员的健康。

2.3 CPC

CPC 是一种强抗菌剂,作用于细菌中的酸性基团,产生阻止细菌新陈代谢的离子化合物,从而达到减菌的目的。其喷雾使用的最大限量为 0.3 g/LB,浸没水溶液浓度不超过 8%,且与肉鸡胴体接触时间不超过 10 s。其作用方式主要为冲洗和喷淋两种,其中冲洗消毒的效果要优于喷淋。ZHANG 等^[38]研究了 CPC 对鸡肉块的减菌效果,该研究分别用 0.35% 和 0.60% 的 CPC 作用于含 10⁸ CFU/mL 鼠伤寒沙门菌和 10⁸ CFU/mL 空肠弯曲菌的鸡肉块 23 s,结果显示,在两个浓度消毒剂处理后的鸡肉中,沙门菌分别减少 2.50 和 3.50 lg CFU/mL,弯曲菌减少 4.00 和 5.00 lg CFU/mL。另外,WYTHE 等^[39]研究发现,CPC 可对沙门菌存在超时抑制作用,即用 CPC 处理鸡腿肉后,沙门菌载量随时间(0~24 h)增加而减少。同时,CPC 对家禽加工环境中沙门菌生物膜也表现出较强的抑制作用^[40]。同时,有研究者认为氯化十六烷基吡啶具有生成三卤甲烷(Trihalomethane,THMs)、卤代乙腈和亚硝胺等消毒副产物的潜力,这表明它可能也存在一定的健康风险。

2.4 ASC

ASC 通过抑制微生物重要的代谢途径以及上调参与 DNA 损伤和修复的基因,最终导致细胞氧化损伤和死亡^[41]。该抗菌剂已被美国农业部批准应用于肉鸡的屠宰加工中,并规定喷淋或浸没处理的最大限值为 1 200 mg/L。研究表明,在使用 ASC 后,肉鸡的污染率和菌落数量都有显著下降。SEXTON 等^[42]将肉鸡胴体用 ASC(900 mg/L,柠檬酸酸化至 pH 值 2.5~2.6)浸没后,弯曲菌阳性的污染率从 100% 降至 23%,且菌数量下降 3.8 lg CFU/mL。同时,PURNELL 等^[26]将鸡胸肉在 1 200 mg/L ASC 溶液中浸没 1 min,沙门菌可减少 0.90 lg CFU/mL^[43]。

采用喷淋作用方式也可达到减菌效果,在1 000 mg/L ASC 浓度下,喷雾处理鸡胸肉和鸡脖 30 s 后,两种样品中弯曲菌分别减少 1.28 和 1.60 lg CFU/mL。ARRITT 等^[44]采用 1 000 mg/L ASC 喷淋方式对鸡肉进行消毒后,空肠弯曲菌下降 0.93 lg CFU/mL。有研究对 ASC 的应用方法(喷雾与浸没)和酸激活方法(磷酸与柠檬酸)做了评估,结果显示浸没比喷洒更有效,柠檬酸比磷酸更有效,可能与柠檬酸的额外螯合作用有关^[45-46]。酸化 ASC 处理后的鸡腿在冷藏期间依旧有抑菌作用。DEL RÍO 等^[47]用柠檬酸将 ASC(1 200 mg/L)酸化至 pH 2.7 后,采用浸泡方式作用于染菌鸡腿肉中 15 min,继而在 3 °C 下条件下冷藏 5 d,结果显示,在第 0、1、3 和 5 d 分别采样,检测结果相比对照组分别减少 2.05、2.42、2.25 和 1.65 lg CFU/g。虽然 ASC 表现出良好的减菌效果,但在 1 200 mg/L ASC 浸泡的胴体皮肤上会出现轻微短暂的泛白现象。同时,ASC 反应产物为二氧化氯、亚氯酸盐和氯酸盐。残留的二氧化氯蒸发后剩余亚氯酸盐、氯酸盐和氯化物,由于二氧化氯充当氧化剂,因此其不形成 THMs 消毒副产物,消毒残留较为安全,但同时其成本较高。

2.5 磷酸三钠(Trisodium phosphate, TSP)

TSP 通过去除肉鸡胴体表面的脂质达到有效去除细菌效果,该物质可引起细菌自溶起到减菌目的^[48]。1992 年 10 月,USDA 将 TSP 批准用于肉鸡屠宰加工。屠宰厂通常用 8%~12% 的 TSP 溶液浸没或喷洒肉鸡胴体,接触时间为 15 s,温度为通常为 20~30 °C。WHYTE 等^[49]将肉鸡胴体在水中与在 10% 浓度的 TSP 溶液(pH 12)中浸没 15s 后,结果显示,经水处理的大肠埃希菌和弯曲菌的数量分别下降 0.37 lg CFU/g 和 0.55 lg CFU/g,经 TSP 处理的大肠埃希菌和弯曲菌的数量分别下降 1.95 lg CFU/g 和 1.71 lg CFU/g,且在经水处理的肉鸡胴体中检出 1.04 lg CFU/g 的沙门菌,而经 TSP 处理的肉鸡胴体中未有检出。采用喷淋作用方式也可达到减菌效果,以 10% TSP、17 s、35 °C、413 kPa 参数喷淋肉鸡胴体,沙门菌数量降低了 2.00 lg CFU/mL^[50]。DEL RÍO 等^[47]研究还发现,革兰氏阳性菌比于革兰氏阴性菌对 TSP 的耐受性更强,在处理肉鸡皮肤时,革兰氏阳性菌减少量为 0.87±0.69 lg CFU/g,革兰氏阴性菌减少量为 1.28±0.95 lg CFU/g。同时,TSP 在反应后会迅速分解为 Na⁺和 PO₄³⁻,由于其化学反应性相对较低,因此在处理家禽胴体后不太可能产生大量的副产品,但其抑菌成本高于次氯酸钠。

2.6 乳酸

有机酸作为一种安全的杀菌剂,广泛应用于许多食品的减菌与保藏中。有机酸的减菌作用主要有两种机制:一是通过创造酸性环境打破微生物内外 pH 值平衡,导致微生物内部环境酸化,同时有机酸阴离子的积累也使微生物再碱化能力的丧失,最终抑制微生物的生命活动;另一种机制是有机酸与微生物表面的脂多糖等物质发生螯合作用,引起细胞膜通透性改变,破坏了微生物的生命活动,从而达到杀菌效果。RASSCHAERT 等^[51]进行了对鸡胴体上弯曲菌减菌效果的评估,研究表明,在工厂条件下,鸡胴体浸没在 1.5% 乳酸溶液 3 min 后,弯曲菌载量下降了 1.62 lg CFU/只;而使用乳酸喷淋法作用 3 min 后,弯曲菌减少了 0.68 lg CFU/只。KILLINGER 等^[52]的研究显示,用 2% 乳酸浸没 3 min 的处理方式作用于染菌鸡翅(约 5.78 lg CFU/个),处理后的鸡翅沙门菌计数约 0.39 lg CFU/个(低于该研究的检测线),而用乳酸处理的鸡胴体大肠菌群也降低了 2.00 lg CFU/只。其他有机酸如丙酸、柠檬酸、苹果酸等都对鸡胴体微生物污染有一定的减菌效果。

2.7 其他抗菌剂

除上述常用抗菌剂外,硫酸和硫酸钠、月桂酰精氨酸、噬菌体混合物、可食性薄膜涂料等也被认为有良好的杀菌效果,目前对其应用于鸡肉胴体的消毒也在不断研究中。其中,由硫酸和硫酸钠组成的 Amplon(又称为 SSS),因其对鸡翅上的沙门菌和弯曲菌具有良好的杀菌效果,已经被 FSIS 批准用于喷雾、洗涤和浸渍处理^[53-55]。同时,NAIR 等^[56]和 SONI 等^[57]的研究显示,月桂酰精氨酸也能显著减少染菌鸡胸肉上沙门菌、弯曲菌和嗜冷菌的数量。此外,二氧化氯和酸性氧化电位水也能显著减少肉鸡胴体表面的沙门菌和大肠埃希氏菌等细菌,但其很难保持稳定的浓度^[51,58-61,26]。噬菌体混合物对染菌鸡皮样品和鸡胸肉片上的沙门菌有良好的杀菌效果,多种可食性薄膜涂料也可以有效减少肉鸡上弯曲菌的污染,且与其他化学助剂联合使用效果更佳^[62-66]。研究结果揭示了这些抗菌剂在鸡肉胴体消毒方面的潜力和效果,为进一步的应用提供了支持。

2.8 不同抗菌剂的优势与局限

目前,次氯酸钠因其低成本和明确的行业标准,在肉鸡屠宰加工厂得到了广泛应用。然而,在实际工厂使用中,次氯酸钠的稳定性较差,需要不断监测有效氯浓度,且容易受到有机物的影响。PAA 以喷洒和浸泡的方式都能有效减菌,有望成为

替代含氯消毒剂的选择。虽然 FDA 和欧洲食品安全管理局对 PAA 在肉鸡胴体上的接触时间和浓度进行了明确规范,但国内目前缺乏相应标准,需要尽快推出相关标准来规范和推广 PAA 的应用。CPC 是一种高效的抗菌剂,在使用后仍能保持持续减菌作用。然而,CPC 的减菌效果可能受到标准限制,与肉鸡胴体的最大接触时间和浓度较低,无法达到最佳效果。ASC 表现出良好的减菌效果,并且

酸化 ASC 处理的鸡腿在冷藏期间仍能发挥抑菌作用。然而,高浓度 ASC 浸泡会导致胴体皮肤出现轻微且短暂的泛白现象,可能影响肉鸡胴体的感官品质。TSP 对于革兰氏阳性菌的减菌效果较好,但革兰氏阳性菌如李斯特菌和蜡样芽胞杆菌对其具有抵抗性。乳酸作为一种有机酸是一种更安全的抗菌剂,对消费者的健康更有利,但可能会对胴体的外观造成影响。见表 1。

表 1 不同抗菌剂的优势与局限

Table 1 Advantages and limitations of different antibacterial agents

抗菌剂	优势	局限
次氯酸钠	成本低廉,屠宰企业已应用较长时间,技术相对熟练,且行业标准明确	稳定性较低,菌株表现耐氯性,使用浓度较高,有机物对其影响较大,产生较多消毒副产物
过氧乙酸	喷洒和浸泡均可有效减菌,胴体无感官变化,且效果优于加氯	国内尚无使用标准
氯化十六烷基吡啶	高效强抗菌剂,可持续抑菌	减菌效果受到最大接触浓度和时间限制,有产生消毒副产品的风险
酸化亚氯酸钠	浸泡和喷淋都有较好的减菌效果	可能对鸡肉感官有轻微影响
磷酸三钠	对革兰氏阴性菌杀菌效果较好	革兰氏阳性菌如李斯特菌、蜡样芽胞杆菌等对其具有抵抗性
乳酸	有机酸对人体更加安全,且有较好的减菌效果	可能会对胴体外观产生影响

3 总结与展望

本文分析了目前应用于鸡肉屠宰加工中的减菌加工措施和添加助剂,总体来看,浸烫、洗涤、冷却等加工措施以及各种减菌助剂的添加都可有效地减少肉鸡胴体上的食源性微生物的污染。

目前,国内的生鲜鸡肉产品的生产设备现代化程度较低,对于减菌工艺的研究有待完善。浸烫可有效减少肉鸡胴体微生物污染,而浸烫的温度和时间是影响减菌效果的重要因素。在今后的研究中,可以更加深入地探索浸烫工艺的关键参数如温度和暴露时间的影响效果,同时可考虑使用温度和暴露时间连续可变的浸烫模式。在洗涤方面,IOBW 是最常用的洗涤方式,可显著减少胴体表面的沙门菌和弯曲菌数量。同时,适当提高水温或采用多种清洗机联合使用,可以提高肉鸡胴体的去污效果。对于冷却工艺,浸没式水冷和空气冷却均可有效控制微生物污染,且喷雾冷却和真空冷却也有很大的发展潜力。目前,国内的冷却工艺研究与应用较为单一,基本均采用浸没式水冷。研究提示,可以考虑引进空气冷却以及通过综合应用其他加工助剂来控制微生物污染以及交叉污染。

在鸡肉屠宰加工中,化学抗菌剂依然是主要的干预措施,包括次氯酸钠、氯化十六烷基吡啶、酸化亚氯酸钠、有机酸等。目前国内应用较多的为次氯酸钠,高浓度的氯可有效控制交叉污染,同时也可考虑向氯中添加稳定剂或与其他抗菌剂联合使用效果更优。同时,过氧乙酸表现出比氯更好的减菌效果,氯化十六烷基吡啶则对家禽加工环境中沙门

菌生物膜有较强的抑制作用。酸化亚氯酸钠的浸没使用比喷洒更有效,经其作用后冷藏期间依旧有抑菌作用。磷酸三钠、乳酸和其他有机酸等对肉鸡胴体上的沙门菌、弯曲菌、大肠埃希氏菌均有良好的控制效果。另外,Amplon、噬菌体、二氧化氯等也被用于肉鸡胴体的消毒研究,虽然研究数据较少,但表现出了良好的减菌效果。

目前,食源性疾病挑战不断出现,鸡肉的食品安全问题越来越受关注。同时,随着消费者对食品安全和健康的重视程度不断提高,对于化学抗菌剂的使用也面临着更加严格的限制和监管。对于已经广泛应用的化学抗菌剂,不仅要探讨其对微生物污染的抑制能力,还需要进一步深入研究其对人体健康的潜在影响,以及在实际生产中的使用方法和限制条件等方面的问题,以确保食品安全和消费者健康。但国内对冷鲜鸡肉的消毒研究数据较少,标准方法指标并不完善。总的来说,鸡肉屠宰加工中的减菌措施和添加助剂的研究还有很大的发展空间。未来的研究可以进一步优化加工工艺和减菌助剂的使用,以提高肉鸡产品的质量和安全性,为人们提供更加健康和安全的食品。

参考文献

- [1] 农业农村部畜牧兽医局,全国畜牧总站,农业农村部畜牧业监测预警专家组. 2021年肉牛产业发展形势及2022年展望[J]. 中国畜牧业, 2022(4): 34-35.
- The Animal Husbandry and Veterinary Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, the National Animal Husbandry Station, The Animal Husbandry Monitoring and Early Warning

- Expert Group of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Development situation of beef cattle industry in 2021 and prospect in 2022[J]. China Animal Industry, 2022(4): 34-35.
- [2] 刘畅, 李楠, 胡豫杰, 等. 济南市零售鸡肉中沙门菌污染状况及可移动黏菌素耐药基因分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2023, 35(2): 283-288.
- LIU C, LI N, HU Y J, et al. Contamination and mobile colistin resistance gene analysis for *Salmonella* isolated from retail chickens in Ji'nan[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2023, 35(2): 283-288.
- [3] 黄伟峰, 雷高鹏, 黄玉兰, 等. 2012—2013年成都市生鸡肉中弯曲菌调查分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2015, 27(S1): 21-24.
- HUANG W F, LEI G P, HUANG Y L, et al. Analysis of quantitative monitoring results of *Campylobacter* isolated from chicken in Chengdu in 2012—2013[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2015, 27(S1): 21-24.
- [4] 吴萱, 杨璐, 刘艳超, 等. 北京市售鸡肉和猪肉中大肠杆菌污染情况及耐药特征分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(2): 211-216.
- WU X, YANG L, LIU Y C, et al. Prevalence and antimicrobial susceptibility of *Escherichia coli* in raw chicken and pork from Beijing[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(2): 211-216.
- [5] ANTUNES P, MOURÃO J, CAMPOS J, et al. Salmonellosis: The role of poultry meat [J]. Clinical Microbiology and Infection, 2016, 22(2): 110-121.
- [6] MAJOWICZ S E, MUSTO J, SCALLAN E, et al. The global burden of nontyphoidal *Salmonella* gastroenteritis [J]. Clinical Infectious Diseases, 2010, 50(6): 882-889.
- [7] DOGAN O B, CLARKE J, MATTOS F, et al. A quantitative microbial risk assessment model of *Campylobacter* in broiler chickens: Evaluating processing interventions [J]. Food Control, 2019, 100: 97-110.
- [8] ZWEIFEL C, ALTHAUS D, STEPHAN R. Effects of slaughter operations on the microbiological contamination of broiler carcasses in three abattoirs[J]. Food Control, 2015, 51: 37-42.
- [9] VASHIN I T, STOYANCHEV T T. Incidence and microbial diversity of *Campylobacter* spp. isolates during the slaughterhouse processing of poultry and critical control points of the process [J]. Bulgarian Journal of Veterinary Medicine, 2004, 7: 173-180.
- [10] YANG H, LI Y, JOHNSON M G. Survival and death of *Salmonella typhimurium* and *Campylobacter jejuni* in processing water and on chicken skin during poultry scalding and chilling[J]. Journal of Food Protection, 2001, 64(6): 770-776.
- [11] NORTH CUTT J K, SMITH D P, MUSGROVE M T, et al. Microbiological impact of spray washing broiler carcasses using different chlorine concentrations and water temperatures [J]. Poultry Science, 2005, 84(10): 1648-1652.
- [12] LI Y, YANG H, SWEM B L. Effect of high-temperature inside-outside spray on survival of *campylobacter jejuni* attached to prechill chicken carcasses [J]. Poultry Science, 2002, 81(9): 1371-1377.
- [13] BERRANG M E, BAILEY J S. On-line brush and spray washers to lower numbers of *Campylobacter* and *Escherichia coli* and presence of *Salmonella* on broiler carcasses during processing [J]. Journal of Applied Poultry Research, 2009, 18(1): 74-78.
- [14] The Council of the European Communities. Council Directive 92/106/EEC of 7 December 1992 on the establishment of common rules for certain types of combined transport of goods between Member States[S]. OJ L, 1992, 368: 38-42.
- [15] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 畜禽屠宰操作规程 鸡: GB/T 19478—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Operating procedure of livestock and poultry slaughtering—Chicken: GB/T 19478—2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2019.
- [16] BERGHAUS R D, THAYER S G, LAW B F, et al. Enumeration of *Salmonella* and *Campylobacter* spp. in environmental farm samples and processing plant carcass rinses from commercial broiler chicken flocks [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2013, 79(13): 4106-4114.
- [17] HUEZO R, NORTH CUTT J K, SMITH D P, et al. Effect of dry air or immersion chilling on recovery of bacteria from broiler carcasses [J]. Journal of Food Protection, 2007, 70(8): 1829-1834.
- [18] SMITH D P, CASON J A, BERRANG M E. Effect of fecal contamination and cross-contamination on numbers of coliform, *Escherichia coli*, *Campylobacter*, and *Salmonella* on immersion-chilled broiler carcasses [J]. Journal of Food Protection, 2005, 68(7): 1340-1345.
- [19] DUFFY L L, BLACKALL P J, COBBOLD R N, et al. Quantitative effects of in-line operations on *Campylobacter* and *Escherichia coli* through two Australian broiler processing plants [J]. International Journal of Food Microbiology, 2014, 188: 128-134.
- [20] 唐峰, 朱志盈. 宰后预冷却工艺对白条鸡肉表面微生物的影响 [J]. 中国家禽, 2010, 32(24): 67-68.
- TANG F, ZHU Z Y. Effect of precooling after slaughter on microbes on the surface of chickens [J]. China Poultry, 2010, 32(24): 67-68.
- [21] DEMIROK E, VELUZ G, STUYVENBERG W V, et al. Quality and safety of broiler meat in various chilling systems [J]. Poultry Science, 2013, 92(4): 1117-1126.
- [22] STELLA S, TIRLONI E, BERNARDI C, et al. Evaluation of effect of chilling steps during slaughtering on the *Campylobacter* sp. counts on broiler carcasses [J]. Poultry Science, 2021, 100(3): 100866.
- [23] CHEN S H, FEGAN N, KOCHARUNCHITT C, et al. Impact of poultry processing operating parameters on bacterial transmission and persistence on chicken carcasses and their shelf life [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2020, 86(12): e00594-20.
- [24] DOGAN O B, ADITYA A, ORTUZAR J, et al. A systematic review and meta-analysis of the efficacy of processing stages and interventions for controlling *Campylobacter* contamination during broiler chicken processing [J]. Comprehensive Reviews in Food

- Science and Food Safety, 2022, 21(1): 227-271.
- [25] BUCHER O, FARRAR A M, TOTTON S C, et al. A systematic review-meta-analysis of chilling interventions and a meta-regression of various processing interventions for *Salmonella* contamination of chicken [J]. Preventive Veterinary Medicine, 2012, 103(1): 1-15.
- [26] PURNELL G, JAMES C, JAMES S J, et al. Comparison of acidified sodium chlorite, chlorine dioxide, peroxyacetic acid and tri-sodium phosphate spray washes for decontamination of chicken carcasses [J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(7): 2093-2101.
- [27] 刘奕忍, 李兴民, 刘毅, 等. 白煮整鸡的真空冷却工艺研究 [J]. 农产品加工·学刊, 2010(7): 26-28.
- LIU Y R, LI X M, LIU Y, et al. The effect of different cooling methods on the quality of whole chicken [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2010(7): 26-28.
- [28] 周兴虎, 黄明, 孙京新. 冷鲜禽加工技术与发展方向 [J]. 中国家禽, 2015, 37(3): 1-4.
- ZHOU X H, HUANG M, SUN J X. Processing technology and development direction of cold fresh poultry [J]. China Poultry, 2015, 37(3): 1-4.
- [29] XIAO X N, WANG W, ZHANG J M, et al. Modeling the reduction and cross-contamination of *Salmonella* in poultry chilling process in China [J]. Microorganisms, 2019, 7(10): 448.
- [30] SCHAMBACH B T, BERRANG M E, HARRISON M A, et al. Chemical additive to enhance antimicrobial efficacy of chlorine and control cross-contamination during immersion chill of broiler carcasses [J]. Journal of Food Protection, 2014, 77(9): 1583-1587.
- [31] STOPFORTH J D, O'CONNOR R, LOPES M. Validation of individual and multiple-sequential interventions for reduction of microbial populations during processing of poultry carcasses and parts [J]. Journal of Food Protection, 2007, 70(6): 1393-1401.
- [32] EBEL E D, WILLIAMS M S, TAMERU B. Relatedness of *Salmonella* contamination frequency on chicken carcasses and parts when processed in the same establishment [J]. Food Control, 2019, 100: 198-203.
- [33] BERTRAM R, KEHRENBURG C, SEINIGE D, et al. Peracetic acid reduces *Campylobacter* spp. numbers and total viable counts on broiler breast muscle and drumstick skins during modified atmosphere package storage [J]. Poultry Science, 2019, 98(10): 5064-5073.
- [34] KUMAR S, SINGH M, COSBY D E, et al. Efficacy of peroxy acetic acid in reducing *Salmonella* and *Campylobacter* spp. populations on chicken breast fillets [J]. Poultry Science, 2020, 99(5): 2655-2661.
- [35] BAUERMEISTER L J, BOWERS J W J, TOWNSEND J C, et al. The microbial and quality properties of poultry carcasses treated with peracetic acid as an antimicrobial treatment [J]. Poultry Science, 2008, 87(11): 2390-2398.
- [36] DITTOE D K, FEYE K M, PEYTON B, et al. The addition of Viridtec™ aqueous ozone to peracetic acid as an antimicrobial spray increases air quality while maintaining *Salmonella typhimurium*, non-pathogenic *Escherichia coli*, and *Campylobacter jejuni* reduction on whole carcasses [J]. Frontiers in Microbiology, 2019, 9: 3180.
- [37] BAUERMEISTER L J, BOWERS J W J, TOWNSEND J C, et al. Validating the efficacy of peracetic acid mixture as an antimicrobial in poultry chillers [J]. Journal of Food Protection, 2008, 71(6): 1119-1122.
- [38] ZHANG L, GARNER L J, MCKEE S R, et al. Effectiveness of several antimicrobials used in a postchill decontamination tank against *Salmonella* and *Campylobacter* on broiler carcass parts [J]. Journal of Food Protection, 2018, 81(7): 1134-1141.
- [39] WYTHE L A, DITTOE D K, FEYE K M, et al. Reduction of *Salmonella* *Infantis* on skin-on, bone-in chicken thighs by cetylpyridinium chloride application and the impact on the skin microbiota [J]. Poultry Science, 2022, 101(2): 101409.
- [40] CHYLKOVA T, CADENA M, FERREIRO A, et al. Susceptibility of *Salmonella* biofilm and planktonic bacteria to common disinfectant agents used in poultry processing [J]. Journal of Food Protection, 2017, 80(7): 1072-1079.
- [41] WEERASOORIYA G, MCWHORTER A R, KHAN S, et al. Transcriptomic response of *Campylobacter jejuni* following exposure to acidified sodium chlorite [J]. Npj Science of Food, 2021, 5: 23.
- [42] SEXTON M, RAVEN G, HOLDS G, et al. Effect of acidified sodium chlorite treatment on chicken carcasses processed in South Australia [J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 115(2): 252-255.
- [43] İLHAK O İ, İNCİLİ G K, DURMUŞOĞLU H. Effect of some chemical decontaminants on the survival of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* Typhimurium with different attachment times on chicken drumstick and breast meat [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(8): 3093-3097.
- [44] ARRITT F M, EIFERT J D, PIERSON M D, et al. Efficacy of antimicrobials against *Campylobacter jejuni* on chicken breast skin [J]. Journal of Applied Poultry Research, 2002, 11(4): 358-366.
- [45] JAY J M, LOESSNER M J, GOLDEN D A. Chemical, biological, and physical methods [J]. Modern Food Microbiology, 2005: 241-284.
- [46] KEMP G K, ALDRICH M L, WALDROUP A L. Acidified sodium chlorite antimicrobial treatment of broiler carcasses [J]. Journal of Food Protection, 2000, 63(8): 1087-1092.
- [47] DEL RÍO E, MURIENTE R, PRIETO M, et al. Effectiveness of trisodium phosphate, acidified sodium chlorite, citric acid, and peroxyacids against pathogenic bacteria on poultry during refrigerated storage [J]. Journal of Food Protection, 2007, 70(9): 2063-2071.
- [48] CADENA M, KELMAN T, MARCO M L, et al. Understanding antimicrobial resistance (AMR) profiles of *Salmonella* biofilm and planktonic bacteria challenged with disinfectants commonly used during poultry processing [J]. Foods, 2019, 8(7): 275.
- [49] WHYTE P, COLLINS J D, MCGILL K, et al. Quantitative investigation of the effects of chemical decontamination procedures on the microbiological status of broiler carcasses during processing [J]. Journal of Food Protection, 2001, 64(2): 179-183.

- [50] YANG Z, LI Y, SLAVIK M. Use of antimicrobial spray applied with an inside-outside birdwasher to reduce bacterial contamination on prechilled chicken carcasses [J]. *Journal of Food Protection*, 1998, 61(7): 829-832.
- [51] RASSCHAERT G, PIESSENS V, SCHELDAMAN P, et al. Efficacy of electrolyzed oxidizing water and lactic acid on the reduction of *Campylobacter* on naturally contaminated broiler carcasses during processing [J]. *Poultry Science*, 2013, 92(4): 1077-1084.
- [52] KILLINGER K M, KANNAN A, BARY A I, et al. Validation of a 2 percent lactic acid antimicrobial rinse for mobile poultry slaughter operations [J]. *Journal of Food Protection*, 2010, 73(11): 2079-2083.
- [53] SCOTT B R, YANG X, GEORNARAS I, et al. Antimicrobial efficacy of a sulfuric acid and sodium sulfate blend, peroxyacetic acid, and cetylpyridinium chloride against *Salmonella* on inoculated chicken wings [J]. *Journal of Food Protection*, 2015, 78(11): 1967-1972.
- [54] GONZALEZ S V, GEORNARAS I, NAIR M N, et al. Evaluation of immersion and spray applications of antimicrobial treatments for reduction of *Campylobacter jejuni* on chicken wings [J]. *Foods*, 2021, 10(4): 903.
- [55] OLSON E G, WYTHE L A, DITTOE D K, et al. Application of Amplon in combination with peroxyacetic acid for the reduction of nalidixic acid-resistant *Salmonella typhimurium* and *Salmonella* reading on skin-on, bone-in tom Turkey drumsticks [J]. *Poultry Science*, 2020, 99(12): 6997-7003.
- [56] NAIR D V T, NANNAPANENI R, KIESS A, et al. Antimicrobial efficacy of lauric arginate against *Campylobacter jejuni* and spoilage organisms on chicken breast fillets [J]. *Poultry Science*, 2014, 93(10): 2636-2640.
- [57] SONI K A, DESAI M, OLADUNJOYE A, et al. Reduction of *Listeria monocytogenes* in queso fresco cheese by a combination of listericidal and listeristatic GRAS antimicrobials [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2012, 155(1-2): 82-88.
- [58] FABRIZIO K A, SHARMA R R, DEMIRCI A, et al. Comparison of electrolyzed oxidizing water with various antimicrobial interventions to reduce *Salmonella* species on poultry [J]. *Poultry Science*, 2002, 81(10): 1598-1605.
- [59] THIESSEN G P, USBORNE W R, ORR H L. Spoilage microflora of broiler carcasses washed with electrolyzed oxidizing or chlorinated water using an inside-outside bird washer [J]. *Poultry Science*, 2007, 86(1): 123-127.
- [60] HINTON JR A, NORTHCUTT J K, SMITH D P, et al. The efficacy of chlorine dioxide in controlling *Salmonella* contamination and its effect on product quality of chicken broiler carcasses [J]. *Poultry Science*, 1984, 63(4): 647-653.
- [61] HONG Y, KU K, KIM M K, et al. Survival of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella typhimurium* on chicken by aqueous chlorine dioxide treatment [J]. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2008, 18(4): 742-745.
- [62] HUNGARO H M, MENDONÇA R C S, GOUVÊA D M, et al. Use of bacteriophages to reduce *Salmonella* in chicken skin in comparison with chemical agents [J]. *Food Research International*, 2013, 52(1): 75-81.
- [63] SUKUMARAN A T, NANNAPANENI R, KIESS A, et al. Reduction of *Salmonella* on chicken breast fillets stored under aerobic or modified atmosphere packaging by the application of lytic bacteriophage preparation SalmoFresh™ [J]. *Poultry Science*, 2016, 95(3): 668-675.
- [64] AGUILERA M, MARTÍNEZ S, TELLO M, et al. Use of cocktail of bacteriophage for *Salmonella typhimurium* control in chicken meat [J]. *Foods*, 2022, 11(8): 1164.
- [65] WAGLE B R, SHRESTHA S, ARSI K, et al. Pectin or chitosan coating fortified with eugenol reduces *Campylobacter jejuni* on chicken wingettes and modulates expression of critical survival genes [J]. *Poultry Science*, 2019, 98(3): 1461-1471.
- [66] SHRESTHA S, WAGLE B R, UPADHYAY A, et al. Edible coatings fortified with carvacrol reduce *Campylobacter jejuni* on chicken wingettes and modulate expression of select virulence genes [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2019, 10: 583.