

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

江荣花¹, 汪雯^{2,3}, 蔡铮^{2,3}, 林玉海⁴, 董庆利^{1,*}

(1. 上海理工大学医疗器械与食品学院, 上海 200093; 2. 农业部农产品质量安全风险评估实验室(杭州), 浙江 杭州 310021; 3. 浙江省农业科学院农产品质量标准研究所, 浙江 杭州 310021; 4. 荷美尔中国研发创新中心, 上海 200436)

摘要: 肉制品加工过程中食源性致病菌容易在食物接触表面和机器设备表面发生交叉污染, 导致成品存在食用风险。国内外已有研究者采用风险评估手段评估肉制品的食用风险。本文针对2000年至今已有的肉制品加工过程中食源性致病菌交叉污染及其模型应用研究进行了综述, 介绍了肉制品加工过程中食源性致病菌的交叉污染现状和因交叉污染导致的食源性疾病现状, 简述了部分加工过程的交叉污染模型及其在风险评估领域的应用, 同时对目前香肠类和火腿类两类肉制品现有的风险评估研究进行概括, 最后对将来开展肉制品加工过程中交叉污染研究和定量风险评估提出建议和思考。建议加强肉制品加工过程中交叉污染建模研究, 增强风险评估与风险管理的互动交流, 完善肉制品加工过程的风险监测, 进而开展更多系统性的肉制品加工过程定量风险评估研究。

关键词: 肉制品; 食源性致病菌; 交叉污染; 风险评估

Progress in Foodborne Pathogen Cross-Contamination and Risk Assessment during Meat Processing

JIANG Ronghua¹, WANG Wen^{2,3}, CAI Zheng^{2,3}, LIN Yuhai⁴, DONG Qingli^{1,*}

(1. School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment on Agro-Products (Hangzhou), Ministry of Agriculture, Hangzhou 310021, China; 3. Institute of Agricultural Products Quality Standard, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; 4. Hormel China Idea and Innovation Center, Shanghai 200436, China)

Abstract: Foodborne pathogen cross-contamination between food-contact surfaces and processing equipment surface readily occurs during meat processing, causing health risks upon consumption of the final products. Nowadays, the risks associated with the consumption of meat products have been assessed worldwide. This paper reviews studies published between 2000 and today on foodborne pathogen cross-contamination during meat processing and the models used to study this issue. The current status of foodborne pathogen cross-contamination during meat processing and the foodborne illnesses caused by pathogen cross-contamination are presented and some models available to describe foodborne pathogen cross-contamination during meat processing and their application in microbial risk assessment are briefly outlined. We also summarize current studies on the risk assessment of sausage and ham products. Finally, some suggestions and thoughts are put forward for further studies on foodborne pathogen cross-contamination during meat processing and quantitative microbial risk assessment. Our suggestions include: make more efforts to model foodborne pathogen cross-contamination during meat processing, reinforce the interaction between risk assessment and management, establish a perfect risk monitoring system and carry out further systematic studies on quantitative microbial risk assessment.

Keywords: meat products; foodborne pathogen; cross-contamination; risk assessment

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201807045

中图分类号: TS201.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2018) 07-0305-07

收稿日期: 2016-11-23

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAK36B04); 国家自然科学基金面上项目(31271896); 农业部农产品质量安全风险评估实验室(杭州)开放基金课题(2015FXPG01); 上海市科委2015年长三角科技联合攻关领域项目(15395810900)

第一作者简介: 江荣花(1993—), 女, 硕士研究生, 研究方向为畜产品安全与质量控制。E-mail: truda0726@163.com

*通信作者简介: 董庆利(1979—), 男, 教授, 博士, 研究方向为畜产品安全与质量控制。E-mail: dongqingli@126.com

引文格式:

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. <http://www.spkx.net.cn>

JIANG Ronghua, WANG Wen, CAI Zheng, et al. Progress in foodborne pathogen cross-contamination and risk assessment during meat processing[J]. Food Science, 2018, 39(7): 305-311. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201807045. <http://www.spkx.net.cn>

肉制品是以畜禽肉或可食副产品等为主要原料, 加入适当辅料(含食品添加剂), 经相关加工工艺制成的产品, 包括香肠、火腿等。主要加工工艺包括原料软化、切块、腌制、绞肉、斩拌或滚揉、灌装、蒸煮、巴氏杀菌、切片、真空包装等^[1]。其中, 绞肉、斩拌、滚揉及切片过程的交叉污染现象尤为严重^[2]。

按照传统的加工方式, 正常的加工条件(温度和时间)可完全杀灭食品中的致病菌^[3-4], 但部分肉制品在生产、运输和销售过程中, 由于环境卫生、加工工艺、贮藏及销售条件不当极容易导致肉制品被食源性致病菌污染^[5-6], 因此, 需尽快完善肉制品的定量风险评估研究体系。

由食源性污染引发的食品安全问题已成为目前世界上重要的公共卫生问题之一, 其中采用风险评估是世界公认的评估手段之一^[7]。根据世界卫生组织(World Health Organization, WHO) 2012年的调查, 25%食源性疾病的暴发与交叉污染有关^[8]。2015年1月至12月期间, 国家卫生计生委监测了我国28个省(包括自治区、直辖市)的食品中毒事件, 结果显示: 微生物性食物中毒人数最多, 占全年食物中毒总人数的53.7%, 其中发生在集体食堂的食物中毒事件中中毒人数最多, 主要原因是食物变质、加工不当或储存不当所造成的交叉污染^[9]。因此, 为降低食源性疾病的暴发频率, 整合交叉污染的风险评估工作刻不容缓。

1 肉制品加工过程交叉污染基本现状

1.1 致病菌交叉污染导致的食品安全事件

食源性致病菌交叉污染导致的食品安全事件逐年增多, 引起了消费者的广泛关注。欧洲食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)统计数据表明, 肉制品加工过程中发生的交叉污染导致的食物中毒发病率达到18.6%^[10]。单增李斯特菌(*Listeria monocytogenes*)、沙门氏菌(*Salmonella*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、大肠杆菌(*Escherichia coli*)等为重点致病菌检测对象, 表1归纳了部分肉制品中食源性致病菌的检出情况。

表1 肉制品加工中常见致病菌和涉及的食物介质

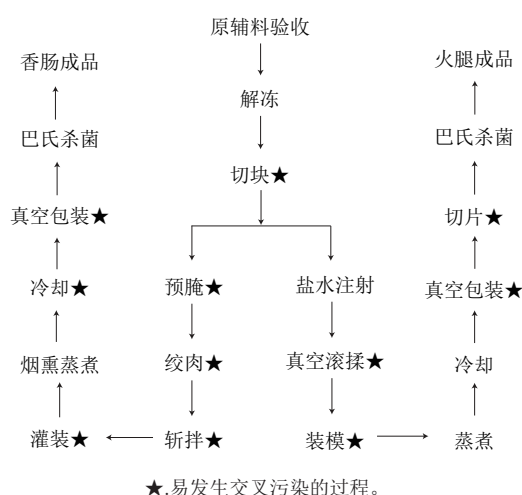
Table 1 Pathogens and food media involved in meat processing

致病菌	食品介质	取样数	检出率/%	参考文献
单增李斯特菌	鸡肉香肠	32	34.4	Gibbons等 ^[11]
	午餐肉	501	11.1	Cabedo等 ^[12]
	即食肉制品	240	38.3	Awaisheh ^[13]
	培根	480	18.3	Syne等 ^[14]
	鸡肉香肠	865	1.4	Keeratipibul等 ^[15]
	波洛尼亚香肠	170	14.1	Syne等 ^[16]
	火腿	180	10.0	Park等 ^[17]
	发酵香肠	142	16.9	Martin等 ^[18]
	培根	639	1.1	Uyttendaele等 ^[19]
	即食肉制品	569	15.8	Cabedo等 ^[12]
沙门氏菌	波洛尼亚香肠	170	2.9	Syne等 ^[16]
	即食肉制品	209	5.3	Akbar等 ^[20]
	发酵香肠	142	6.3	Martin等 ^[18]
金黄色葡萄球菌	鸡肉香肠	170	27.1	Syne等 ^[16]
	即食肉制品	209	18.2	Akbar等 ^[20]
	火腿	180	15.0	Park等 ^[17]
大肠杆菌	波洛尼亚香肠	170	2.9	Syne等 ^[16]
空肠弯曲杆菌	鸡肉香肠	865	0.4	Keeratipibul等 ^[15]
耶尔森氏杆菌	香肠	195	28.0	Hultman等 ^[21]

从表1结果可知, 单增李斯特菌、沙门氏菌及金黄色葡萄球菌等为食品中的常见致病菌, 香肠、火腿等则是最典型的肉制品致病菌载体。1990—2013年, 欧洲肉制品的销售量从10 963 t/年增长至202 446 t/年, 不合格的肉制品共引起414起食品安全事件, 造成805人入院治疗^[22]。2014年4月至2016年2月, 我国肉制品销售量从43 235 t/月增长至48 108 t/月^[23], 不合格肉制品事件频发。因此, 加强对肉制品品质的监控, 有效地进行风险评估工作显得极为重要。

1.2 肉制品加工过程中交叉污染研究现状

肉制品污染事件逐年增多, 亦引起研究者的广泛关注。加工环境及设备表面的卫生状态对肉制品的安全有重要影响, 设备使用后不当的清洁及洗涤过程容易引起交叉污染。有研究表明, 食源性致病菌会在任何加工阶段污染肉制品, 然而, 在肉制品加工的后期阶段, 风险主要与致病菌的存活状态有关, 所以由于加工过程的复杂性不同, 不同肉制品的风险可能不同^[24-26]。根据文献[27-29]总结绘制两类典型肉制品(熏煮香肠和熏煮火腿)的生产加工过程(图1)。



★.易发生交叉污染的过程。

图1 熏煮香肠和熏煮火腿的生产加工过程

Fig. 1 Flow chart for production of smoked and cooked sausage and ham

由图1可知,绞肉、斩拌、滚揉及切片等过程容易发生交叉污染。Flores等^[30]对绞肉过程的交叉污染进行研究,将一块接种大肠杆菌O157:H7的牛肉块(15.3±2.0)g与大量未接种牛肉块(322±33)g混合后绞切,描述绞后碎肉中大肠杆菌O157:H7的分布特征,发现污染大肠杆菌的碎牛肉量与肉块初始接种量线性相关,同时残留在绞肉机内的碎肉中大肠杆菌菌量与肉块初始接种量及所处绞肉机内位置有关,如螺母处的碎肉中菌量最多。此后,Flores等^[31]在之前研究的基础上构建经验模型描述污染大肠杆菌O157:H7的分布情况,同时评估了残留于绞肉机内碎肉中大肠杆菌O157:H7的污染水平。碎牛肉中污染大肠杆菌O157:H7的菌量与初始接种量的相关性可用指数算法描述($R^2=0.82$),同时残留于绞肉机内碎肉中的大肠杆菌O157:H7污染水平可用卡方分布中模型描述($R^2=0.81\sim0.99$)。有研究探究绞肉机经大肠杆菌污染后的自我清洁能力,对经大肠杆菌污染的绞肉机进行绞切实验,前3组初始无菌的样品经绞切后均有大肠杆菌阳性的样品检出^[32]。然而,以上研究并未涉及具体菌落转移情况,建议将来可以开展具体菌落转移情况的相关研究,进行一般化描述,可对后期交叉污染研究提供更有帮助。

斩拌在肉糜类(肠类)产品加工中起着极为重要的作用。Sneed等^[33]评估了美国爱荷华州40台斩拌机与食品接触表面的菌落情况,70%斩拌机表面菌落总数、5%斩拌机表面肠杆菌数及15%斩拌机表面金黄色葡萄球菌数均不符合检测标准ISO 16140—2003^[34];因此,操作者应注意日常操作后斩拌机的清洗工作,减少交叉污染的发生。有研究比较了3种常用清洁产品(清洗剂、消毒剂和洗碗剂)对污染金黄色葡萄球菌或蜡样芽孢杆菌斩拌机的清洗效率,3种方法均可显著减少斩拌机表面菌落数,但无显著性差异^[35]。因此,简单的清洗剂清洗即可充分减少斩拌机表面菌落数。

滚揉可加速腌制液的渗透与发色,是火腿类产品加工中的重要环节。Thanissery等^[36]研究真空滚揉过程中接种标记的肠炎沙门氏菌与空肠弯曲杆菌的鸡胸肉及鸡翅与未接种部分之间是否有交叉污染发生,未接种的鸡肉部分检测出标记菌落,因此,滚揉过程中有交叉污染发生。有研究表明,滚揉机转速(0~26 r/min)与去骨鸡腿肉表面菌落总数及肠杆菌数的减少量相关,高转速(20 r/min)可显著减少鸡腿表面的菌落总数及肠杆菌数^[37]。因此,操作人员应注意调节滚揉机参数,减少交叉污染的发生。

切片在西式火腿、培根及肉脯的加工过程中起着重要作用,同时也是交叉污染频发的加工单元。Lin等^[38]构建了3种熟肉制品(炉烤火鸡、意大利蒜味香肠、波洛尼亚香肠)与切片机间的单增李斯特菌交叉污染动力学。单增李斯特菌可从污染的切片机转移至肉片,且切片机刀片表面接种的单增李斯特菌量与阳性单增李斯特菌肉片数成正比。因此,操作者应注意加强日常工作中切片机的清洗工作,减少交叉污染的发生,目前,已有这方面的研究工作。Rajkovic等^[39]研究脉冲强度及处理时间对切片机刀片表面单增李斯特菌和大肠杆菌O157:H7失活的影响,切片机表面菌落的失活效率与脉冲光处理时间有关,但与脉冲光数目无关(交叉污染后60 s内处理,切片机表面菌落失活效率最高)。有研究表明,乙酰丙酸(levulinic acid, LA)及十二烷基硫酸钠(sodium dodecyl sulfate, SDS)的联合使用对切片机表面单增李斯特菌、沙门氏菌、大肠杆菌O157:H7的失活效应有显著影响;体积分数1% LA+0.1% SDS在1 min内可减少6.0~8.0(lg(CFU/g))的致病菌,使致病菌达到最高失活效率^[40]。因此,操作者因注意日常清洗时处理时间的设定及清洗剂的选择,以达到最高的除菌效率。

上述研究成果表明,绞肉、斩拌、滚揉及切片等过程均容易发生肉制品与食源性致病菌的交叉污染,因此,降低食源性疾病的暴发水平,仍需加强对肉制品加工过程的风险评估研究工作。

2 肉制品加工过程中交叉污染建模的研究进展

早期的肉制品加工过程中交叉污染建模研究可追溯到Schaffner等^[41]的相关研究,其将交叉污染模型简化为以下5个等式:

$$N_0 \times T_{01} = N_1 \quad (1)$$

$$N_1 \times S_1 = N_{S1} \quad (2)$$

$$N_{S1} \times T_{12} = N_2 \quad (3)$$

$$N_2 \times S_2 = N_{S2} \quad (4)$$

$$N_{S2} \times T_3 = N_3 \quad (5)$$

式中： N_i 为介质 i 的带菌量； N_{si} 为介质 i 表面存活菌数； T_{ij} 为介质 i 与介质 j 之间的交叉污染率； S_i 为介质 i 表面的存活率；下标0为原料肉；1为环境；2为产品接触表面；3为成品。

该研究为之后的交叉污染建模奠定了基础。以下分述绞肉及切片过程容易引起肉制品的交叉污染的建模进展。

2.1 绞肉过程

肉制品加工过程中，需将腌制好的肉块用绞肉机绞切成肉泥状，然而，绞肉机的清洁力度不够或操作者操作不当都会造成肉制品的交叉污染。Møller等^[42]使用污染的绞肉机绞切灭菌猪肉（10~20 kg），定量分析沙门氏菌转移情况，发现绞切过程中沙门氏菌转移有拖尾现象，因此假定绞肉机内有两种环境基质，在Nauta等^[43]建立的交叉污染模型基础上，增添两个模型修正式，并比较三者的预测能力。Møller等^[42]构建的5个参数、2种环境基质的修正模型（式（6）），可以较好地预测猪肉绞切过程中沙门氏菌的交叉污染情况。此后，Møller等^[44]在前期研究基础上对猪肉及牛肉绞切过程中沙门氏菌及单增李斯特菌转移情况进行了描述，评估该模型的适用性。该模型可以很好地描述绞切实验过程中菌落转移情况。因此，建议将来可结合该模型对绞肉环节交叉污染进行风险评估。

$$\begin{cases} M_i = (1-a_i)(1-a_2)(1-c_2)S_i + (b_1gr_{1,i-1}) + (b_2gr_{2,i-1}) \\ gr_{1,i} = a_1S_i + (1-b_1)(1-c_1)gr_{1,i-1} \\ gr_{2,i} = a_2S_i + (1-b_2)(1-c_2)gr_{2,i-1} \end{cases} \quad (6)$$

式中： a 为致病菌从肉样至绞肉机的转移率； b 为致病菌从绞肉机至碎肉的转移率； c 为绞肉机表面致病菌的失活率； S_i 为第 i 片肉片携带的致病菌数； gr_i 为绞肉机的污染状态； M_i 为绞切后碎肉中菌落数。

2.2 切片过程

切片过程为西式火腿、培根等肉制品加工过程的重要环节，同时，切片机的清洗不当亦会引起肉制品的交叉污染。有研究表明，对数线性模型（式（7））及威布尔模型（式（8））可对大肠杆菌O157:H7及金黄色葡萄球菌切片过程中的转移现象进行良好描述（ $R^2 > 0.73$ ）^[45]。此后，Aarnisalo等^[46]对两种单增李斯特菌接种量（大约5（lg（CFU/片））或8（lg（CFU/片）））下两种切片场景（一种为从接种的刀片转移至肉片；另一种为从接种的肉块转移至刀片后转移至未接种的肉块）的转移过程进行了描述，指数模型（ $y = a \times e^{-x/b}$ ，式中 a 、 b 为回归分析的相关系数； x 为肉样的片数； y 为每片肉样表面菌落数（lg（CFU/g）））可对肉片中单增李斯特菌量进行预测。在之前研究的基础上，Sheen等^[47]对切片过程中

不同接种量下（4、5、6、7、8（lg（CFU/片）））大肠杆菌O157:H7的转移情况进行描述，当初始接种量不低于5（lg（CFU/片））时，功率方程（ $y = ax^b$ ）及指数方程（ $y = a \times e^{-x/b}$ ）可分别对以上两个切片场景进行描述，但当初始接种量不超过4（lg（CFU/片））时，该研究未能构建相应的模型进行描述。但此后Sheen等^[48]在以上研究的基础上构建了经验模型对切片过程中不同接种量（4、5、6、7、8（lg（CFU/片）））下沙门氏菌的转移情况进行描述，经验模型（ $y = a \times e^{-x/b}$ 可对以上过程进行很好地描述（ $R^2 > 0.97$ ））。综上，经验模型可对3种致病菌（单增李斯特菌、大肠杆菌O157:H7及沙门氏菌）在切片过程中的转移情况进行描述，可对实际工业生产中机器的清洗及操作者的操作行为提供参考，同时可为今后发展肉制品的风险评估工作提供工具。

$$\lg I_{\text{slice}} = \lg I_{\text{blade}} - \frac{kN_{\text{slice}}}{\ln 10} \quad (7)$$

$$\lg I_{\text{slice}} = \lg I_{\text{blade}} - \left(\frac{N_{\text{slice}}}{a}\right)^b \quad (8)$$

式（7）、（8）中： N_{slice} 为切片数/个； I_{slice} 为肉片表面菌数（lg（CFU/cm²））； I_{blade} 、 a 和 b 为回归参数； k 为一级常数。

3 即食肉制品加工过程的风险评估

即食肉制品是以畜禽肉为主要原料经发酵或特殊加工工艺制成的直接可食的肉制品^[1]，主要包括香肠类及火腿类制品，若后期加工阶段发生交叉污染，消费者食用时会有较高的患病风险。

3.1 香肠制品

2012年EFSA调查结果表明，3 268起感染沙门氏菌事件中有约300起与消费者食用香肠制品有关^[10]。2002年瑞典暴发的大肠杆菌感染事件中，发酵香肠的消费量与感染大肠杆菌的人数显著相关（ $P < 0.002$ ）。因此，为降低食源性疾病的暴发水平，对香肠进行风险评估工作刻不容缓。早期香肠的风险评估研究工作可追溯到Alban等^[49]的相关研究，其对香肠消费阶段进行风险评估，每245份香肠（25 g/份）中至少有两份检出鼠伤寒沙门氏菌DT104，但该研究未表明低剂量鼠伤寒沙门氏菌DT104是否会使消费者致病。Gonzales-Barron等^[50]构建了香肠运输及贮藏阶段鼠伤寒沙门氏菌的暴露评估模型，香肠中沙门氏菌污染水平高于3（lg（CFU/片））的概率为 8.3×10^{-4} ，同时，若冷藏温度降低2℃及初始污染水平减半会使香肠中沙门氏菌最终污染概率降低一半（ $2.3 \times 10^{-4} \sim 4.3 \times 10^{-4}$ ）；同年，该研究者构建了香肠煮制及消费阶段沙门氏菌的暴露评估模型，煮制后香肠中沙门氏菌的失活率仅为约 6×10^{-3} ，同时，若煮制时间延长0.5 min，

贮藏时间减半(5~6 min),可减少70%的暴露水平^[51]。相似的结论见于Mataragas^[52]和Campelos^[53]等的研究中。以上研究均表明操作者应注意加强对香肠的风险监控,改进加工参数设置,减少食用风险。

3.2 火腿制品

火腿一般是经盐渍、烟熏、发酵和干燥处理的腌制动物后腿。Hong等^[54]使用iRisk 1.0软件对干腌火腿、圆火腿、调味火腿及香肠中空肠弯曲杆菌进行半定量风险评估并比较,火腿的食用风险高于香肠。Lee等^[55]对火腿中空肠弯曲杆菌进行危害识别及危害特征描述,韩国每日火腿的消费量为23.93 g/人,食用火腿的发病概率为 2.2×10^{-12} 。此后,Giovannini等^[56]在前人研究的基础上,构建了火腿加工修整过程的暴露评估模型,同时结合不同温度下贮藏的剂量效应模型,比较消费者食用火腿后的发病概率;食用火腿存在风险,正常人群的发病概率为 4.7×10^{-10} ,器官移植患者的发病概率为 6.1×10^{-7} 。因食用火腿风险较高,部分研究者研究了降低风险的方法。有研究结果表明,应用抑菌膜包被火腿的方法,可减少每年90.7%人群因食用火腿患沙门氏菌病,明显降低了火腿的食用风险^[57]。降低火腿食用风险方法的研究尚处于初期阶段,建议继续加强对火腿的风险评估研究,早日将研究成果转化为生产实践指导中,从而降低消费者食用火腿的风险。

4 结 语

肉制品加工过程中交叉污染现象在生产中较为严重,导致成品存在食用风险,虽然目前已有研究构建了部分交叉污染模型并将其应用于肉制品的风险评估研究中,但仍需加强对肉制品的交叉污染研究及风险监控,完善肉制品加工过程的定量风险评估研究工作。建议肉制品加工过程的交叉污染建模及风险评估研究发展方向如下:1)完善肉制品加工过程中交叉污染模型的构建,建议继续加强对肉制品加工过程中食源性致病菌交叉污染的研究,通过交叉污染研究结果,为实际工厂操作,如机器清洗、环境因素的设定和操作者行为的规范等提供参考,同时为之后的风险评估研究工作提供帮助;2)加强肉制品加工过程风险评估与风险管理的互动,建议继续加强肉制品加工过程中的风险评估研究工作,通过定量风险评估结果制定食品安全目标,同时可为之后肉制品中致病菌限量标准的制定提供参考;3)完善肉制品加工过程的风险监测,目前仍缺乏大量的风险监测数据,制约了肉制品加工过程的风险评估研究工作的进展。建议风险监控部门加大对肉制品消费量、消费频率及流行病学等数据的收集工作,提高肉制品的风险监测能力及处理突发事件的响应速度。

参考文献:

- [1] 许瑞,杜连启. 新型肉制品加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2016: 10-11.
- [2] 庄沛锐, 丛懿洁, 孙为正, 等. HACCP在果蔬肉脯加工工艺中的应用[J]. 现代食品科技, 2013, 29(6): 1221; 1437-1441.
- [3] 姜红如, 李凤琴, 于红霞. 食品加工过程中交叉污染与微生物定量风险评估[J]. 卫生研究, 2013, 42(5): 875-879.
- [4] 董庆利, 陆冉冉, 汪雯, 等. 案板材质对单增李斯特菌在生熟食品间交叉污染的影响[J]. 农业机械学报, 2016, 47(3): 207-213. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.03.029.
- [5] 陆冉冉, 董庆利. 熟猪肉制品供应链中致病菌的风险识别概述[J]. 食品与发酵科技, 2015, 51(3): 97-102.
- [6] 鄂晓雪, 柳建华, 王融, 等. 真空预冷处理提高草莓与蟠桃的冷藏品质[J]. 上海理工大学学报, 2014, 36(1): 75-80.
- [7] 董庆利, 王海梅, MALAKAR P K, 等. 我国食品微生物定量风险评估的研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(11): 221-229. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201511042.
- [8] MUNTHER D, SUN X D, XIAO Y N, et al. Modeling cross-contamination during poultry processing: dynamics in the chiller tank[J]. Food Control, 2016, 59(1): 271-281. DOI:10.1016/j.foodcont.2015.05.007.
- [9] 国家卫生与计划生育委员会. 国家卫生计生委办公厅关于2015年全国食物中毒事件情况的通报[EB/OL]. (2016-04-01) [2016-10-16]. <http://www.nhfp.gov.cn/yjb/s7859/201604/8d34e4c442c54d33909319954c43311c.shtml>.
- [10] European Food Safety Authority, European Centre for Disease Prevention And Control (EFSA, ECDC). The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2012[J]. EFSA Journal, 2014, 12(2): 3547. DOI:10.2903/j.efsa.2014.3547-3584.
- [11] GIBBONS I S, ADESIYUN A, SEEPERSADSINGH N, et al. Investigation for possible source(s) of contamination of ready-to-eat meat products with *Listeria* spp. and other pathogens in a meat processing plant in Trinidad[J]. Food Microbiology, 2006, 23(4): 359-366. DOI:10.1016/j.fm.2005.05.008.
- [12] CABEDO L, PICART I B L, TEIXIDÓ I C A. Prevalence of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* in ready-to-eat food in Catalonia, Spain[J]. Journal of Food Protection, 2008, 71(4): 855-859.
- [13] AWAISHEH S S. Incidence and contamination level of *Listeria monocytogenes* and other *Listeria* spp. in ready-to-eat meat products in Jordan[J]. Journal of Food Protection, 2010, 73(3): 535-540.
- [14] SYNE S M, RAMSUBHAG A, ADESIYUN A A. Occurrence and genetic relatedness of *Listeria* spp. in two brands of locally processed ready-to-eat meats in Trinidad[J]. Epidemiology and Infection, 2011, 139(5): 718-727. DOI:10.1017/S095026881000172X.
- [15] KEERATIPIBUL S, TECHARUWICHIT P. Tracking sources of *Listeria* contamination in a cooked chicken meat factory by PCR-RAPD-based DNA fingerprinting[J]. Food Control, 2012, 27(1): 64-72. DOI:10.1016/j.foodcont.2012.02.026.
- [16] SYNE S M, RAMSUBHAG A, ADESIYUN A A. Microbiological hazard analysis of ready-to-eat meats processed at a food plant in Trinidad, West Indies[J]. Infection Ecology and Epidemiology, 2013, 3(6): 20450-20462. DOI:10.3402/iee.v3i0.20450.
- [17] PARK M S, WANG J, PARK J H, et al. Analysis of microbiological contamination in mixed pressed ham and cooked sausage in Korea[J]. Journal of Food Protection, 2014, 77(3): 412-418. DOI:10.4315/0362-028X.JFP-13-322.

- [18] MARTIN B, GARRIGA M, AYMERICH T. Prevalence of *Salmonella* spp. and *Listeria monocytogenes* at small-scale Spanish factories producing traditional fermented sausages[J]. Journal of Food Protection, 2011, 74(5): 812-815. DOI:10.4315/0362-028X.JFP-10-437.
- [19] UYTENDAELE M, BUSSCHAERT P, VALERO A, et al. Prevalence and challenge tests of *Listeria monocytogenes* in Belgian produced and retailed mayonnaise-based deli-salads, cooked meat products and smoked fish between 2005 and 2007[J]. International Journal of Food Microbiology, 2009, 133(1/2): 94-104. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2009.05.002.
- [20] AKBAR A, ANAL A K. Prevalence and antibiogram study of *Salmonella* and *Staphylococcus aureus* in poultry meat[J]. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2013, 3(2): 163-168. DOI:10.1016/S2221-1691(13)60043-X.
- [21] HULTMAN J, RAHKILAA R, ALIB J, et al. Meat processing plant microbiome and contamination patterns of cold-tolerant bacteria causing food safety and spoilage risks in the manufacture of vacuum-packaged cooked sausages[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2015, 81(20): 7088-7097. DOI:10.1128/AEM.02228-15.
- [22] European Food Safety Authority, European Centre For Disease Prevention And Control (EFSA, ECDC). The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2014[J]. EFSA Journal, 2015, 13(12): 3565-3742. DOI:10.2903/j.efsa.2015.4329.
- [23] 刘新元. 2014—2016年各月肉制品终端销售量当月值统计[EB/OL]. (2016-04-19) [2016-10-16]. <https://www.qianzhan.com/qzdata/detail/149/160419-01f5103c.html>.
- [24] DROSINOS E H, MATARAGAS M, VESKOVIĆ-MORACANIN S, et al. Quantifying nonthermal inactivation of *Listeria monocytogenes* in European fermented sausages using bacteriocinogenic lactic acid bacteria or their bacteriocins: a case study for risk assessment[J]. Journal of Food Protection, 2006, 69(11): 2648-2663.
- [25] GOUNADAKI A S, SKANDAMIS P N, DROSINOS E H, et al. Effect of packaging and storage temperature on the survival of *Listeria monocytogenes* inoculated postprocessing on sliced salami[J]. Journal of Food Protection, 2007, 70(10): 2313-2320.
- [26] YOON Y, SKANDAMIS P N, KENDALL P A, et al. A predictive model for the effect of temperature and predrying treatments in reducing *Listeria monocytogenes* populations during drying of beef jerky[J]. Journal of Food Protection, 2006, 69(1): 62-70.
- [27] FENG X C, LI C Y, JIA X, et al. Influence of sodium nitrite on protein oxidation and nitrosation of sausages subjected to processing and storage[J]. Meat Science, 2016, 116: 260-267. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.01.017.
- [28] CORRAL S, LEITNER E, SIEGMUND B, et al. Determination of sulfur and nitrogen compounds during the processing of dry fermented sausages and their relation to amino acid generation[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 657-664. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.06.009.
- [29] BOVER-CID S, BELLETTI N, AYMERRICH T, et al. Modelling the impact of water activity and fat content of dry-cured ham on the reduction of *Salmonella enterica* by high pressure processing[J]. Meat Science, 2017, 123: 120-125. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.09.014.
- [30] FLORES R A, TAMPLIN M L. Distribution patterns of *Escherichia coli* O157:H7 in ground beef produced by a laboratory-scale grinder[J]. Journal of Food Protection, 2002, 65(12): 1894-1902.
- [31] FLORES R A, STEWART T E. Empirical distribution models for *Escherichia coli* O157:H7 in ground beef produced by a mid-size commercial grinder[J]. Journal of Food Science, 2004, 69(5): M121-M126. DOI:10.1111/j.1365-2621.2004.tb10719.x.
- [32] WAGES J A, WILLIAMS J, ADAMS J, et al. Use of nonpathogenic, green fluorescent protein-marked *Escherichia coli* Biotype I cultures to evaluate the self-cleansing capabilities of a commercial beef grinding system after a contamination event[J]. Journal of Food Protection, 2014, 77(11): 1889-1896. DOI:10.4315/0362-028X.JEP-13-446.
- [33] SNEED J, STROHBEHN C, GILMORE S A, et al. Microbiological evaluation of foodservice contact surfaces in Iowa assisted-living facilities[J]. Journal of the American Dietetic Association, 2004, 104(11): 1722-1724. DOI:10.1016/j.jada.2004.08.026.
- [34] International Organization for Standardization. Microbiology of food and animal feeding stuffs-protocol for the validation of alternative methods: ISO 16140—2003[S]. Geneva: ISO International Standard, 2003: 10-14.
- [35] HALL A, SALTMARSH M, FIELDING L, et al. Evaluation of three commonly used cleaning methods for reducing bacterial numbers on hot drinks vending machine mixing bowls artificially contaminated with *Bacillus cereus* and *Staphylococcus aureus*[J]. Journal of Foodservice, 2007, 18(4): 153-160. DOI:10.1111/j.1745-4506.2007.00061.x.
- [36] THANISSERY R, SMITH D P. Marinade with thyme and orange oils reduces *Salmonella Enteritidis* and *Campylobacter coli* on inoculated broiler breast fillets and whole wings[J]. Poultry Science, 2014, 93(5): 1258-1262. DOI:10.3382/ps.2013-03697.
- [37] DEUMIER F. Decontamination of deboned chicken legs by vacuum-tumbling in lactic acid solution[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2006, 41(1): 23-32. DOI:10.1111/j.1365-2621.2005.00929.x.
- [38] LIN C M, TAKEUCHI K, ZHANG L, et al. Cross-contamination between processing equipment and deli meats by *Listeria monocytogenes*[J]. Journal of Food Protection, 2006, 69(1): 71-79.
- [39] RAJKOVIC A, TOMASEVIC I, SMIGIC N, et al. Pulsed UV light as an intervention strategy against *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7 on the surface of a meat slicing knife[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 100(3): 446-451. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2010.04.029.
- [40] CHEN D, ZHAO T, DOYLE M P. Transfer of foodborne pathogens during mechanical slicing and their inactivation by levulinic acid-based sanitizer on slicers[J]. Food Microbiology, 2014, 38(4): 263-269. DOI:10.1016/j.fm.2013.10.004.
- [41] SCHAFFNER D W. Mathematical frameworks for modelling *Listeria* cross-contamination in food-processing plants[J]. Journal of Food Science, 2004, 69(6): 155-159. DOI:10.1111/j.1365-2621.2004.tb11004.x.
- [42] MØLLER C O A, NAUTA M J, CHRISTENSEN B B, et al. Modelling transfer of *Salmonella Typhimurium* DT104 during simulation of grinding of pork[J]. Journal of Applied Microbiology, 2012, 112(1): 90-98. DOI:10.1111/j.1365-2672.2011.05177.x.
- [43] NAUTA M, VAN DER FELS-KLERX I, HAVELAAR A. A poultry-processing model for quantitative microbiological risk assessment[J]. Risk Analysis, 2005, 25(1): 85-98. DOI:10.1111/j.0272-4332.2005.00569.x.
- [44] MØLLER C O A, SANT'ANA A S, HANSEN S K, et al. Evaluation of a cross contamination model describing transfer of *Salmonella* spp. and *Listeria monocytogenes* during grinding of pork and beef[J]. International Journal of Food Microbiology, 2016, 226: 42-52. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2016.03.016.
- [45] PÉREZ-RODRÍGUEZ F, VALERO A, TODD E C, et al. Modelling transfer of *Escherichia coli* O157:H7 and *Staphylococcus aureus* during slicing of a cooked meat product[J]. Meat Science, 2007, 76(4): 692-699. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.02.011.

- [46] AARNISALO K, SHEEN S, RAASKA L, et al. Modelling transfer of *Listeria monocytogenes* during slicing of 'gravad' salmon[J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 118(1): 69-78. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2007.06.017.
- [47] SHEEN S, HWANG C A. Mathematical modeling the cross-contamination of *Escherichia coli* O157:H7 on the surface of ready-to-eat meat product while slicing[J]. Food Microbiology, 2010, 27(1): 37-43. DOI:10.1016/j.fm.2009.07.016.
- [48] SHEEN S, HWANG C A. Modeling the surface cross-contamination of *Salmonella* spp. on ready-to-eat meat via slicing operation[J]. Food and Nutrition Sciences, 2011, 2(9): 916-924. DOI:10.4236/fns.2011.29125.
- [49] ALBAN L, OLSEN A M, NIELSEN B, et al. Qualitative and quantitative risk assessment for human salmonellosis due to multi-resistant *Salmonella typhimurium* DT104 from consumption of Danish dry-cured pork sausages[J]. Preventive Veterinary Medicine, 2002, 52(3): 251-265. DOI:10.1016/S0167-5877(01)00258-6.
- [50] GONZALES-BARRON U, REDMOND G, BUTLER F. A consumer-phase exposure assessment of *Salmonella typhimurium* from Irish fresh pork sausages: I. transport and refrigeration modules[J]. Food Control, 2010, 21(12): 1683-1692. DOI:10.1016/j.foodcont.2010.04.020.
- [51] GONZALES-BARRON U A, REDMOND G, BUTLER F. A consumer-phase exposure assessment of *Salmonella typhimurium* from Irish fresh pork sausages: II. cooking and consumption modules[J]. Food Control, 2010, 21(12): 1693-1702. DOI:10.1016/j.foodcont.2010.05.012.
- [52] MATARAGAS M, BELLIOC A, ROVETTOA F, et al. Risk-based control of food-borne pathogens *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enterica* in the Italian fermented sausages Cacciatore and Felino[J]. Meat Science, 2015, 103: 39-45. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.01.002.
- [53] CAMPELOS M I, SILVA J, GIBBS P A, et al. Contributing data for risk assessment of traditional fermented sausages: "Salpicão de Vinhais" and "Chouriça de Vinhais"[J]. Cogent Food & Agriculture, 2016, 2: 1131886-1131895. DOI:10.1080/23311932.2015.1131886.
- [54] HONG S H, KIM H S, YOON K S. Survival and risk comparison of *Campylobacter jejuni* on various processed meat products[J]. International Journal Environmental Research and Public Health, 2016, 13(6): 123-145. DOI:10.3390/ijerph13060580.
- [55] LEE J, HA J, KIM S, et al. Quantitative microbial risk assessment for *Campylobacter* spp. on ham in Korea[J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2015, 35(5): 674-682. DOI:10.5851/kosfa.2015.35.5.674.
- [56] GIOVANNINI A, MIGLIORATI G, PRENCIPE V, et al. Risk assessment for listeriosis in consumers of Parma and San Daniele hams[J]. Food Control, 2007, 18(7): 789-799. DOI:10.1016/j.foodcont.2006.03.014.
- [57] LEE H, KIM J E, MIN S C. Quantitative risk assessments of the effect of an edible defatted soybean meal-based antimicrobial film on the survival of *Salmonella* on ham[J]. Journal of Food Engineering, 2015, 158: 30-38. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2015.03.002.