

- Canberra; Food Standards Australia New Zealand, 2009.
- [19] FAO/WHO. FAO/WHO 在食品安全应急中应用风险分析原则和程序的指南[M]. 张磊, 刘兆平, 译. 北京: 人民卫生出版社, 2013.
- [20] 王慧, 毛伟峰, 蒋定国, 等. 中国居民水产品中四种常见重金属暴露评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2019, 31(5): 470-475.
- [21] 吴烨飞, 陈火荣, 吴镇, 等. 福建省中北部海域捕捞水产品中4种重金属含量与风险评价[J]. 渔业研究, 2018, 40(6): 478-489.
- [22] 陈树娣, 谢景千, 汤璐, 等. 2013—2014年深圳市生鲜水产品重金属含量调查及评价[J]. 食品工业, 2016, 37(7): 223-227.
- [23] BATZ M B, HOFFMANN S A, KRUPNICK A J, et al. Identifying the most significant microbiological foodborne hazards to public health: a new risk ranking model [R]. Food Safety Research Consortium, 2004.

风险评估

肉鸡屠宰环节金黄色葡萄球菌污染定量评估研究

王琳, 赵格, 赵建梅, 李月华, 韩天飞, 高玉斌, 刘娜, 黄秀梅, 曲志娜, 王娟, 刘俊辉, 王君玮

(中国动物卫生与流行病学中心 农业农村部畜禽产品质量安全

风险评估实验室(青岛), 山东 青岛 266032)

摘要:目的 解析某大型肉鸡屠宰场中金黄色葡萄球菌的风险和关键防控点, 为肉鸡屠宰过程金黄色葡萄球菌污染的科学防控提供指导。方法 通过某大型肉鸡屠宰场金黄色葡萄球菌的监测和调研, 应用@RISK 7 软件建立金黄色葡萄球菌污染的定量评估模型, 对肉鸡屠宰四个环节(烫洗褪毛、净膛、清洗预冷和分割传送)进行定量评估。结果 初步探明了鸡肉中金黄色葡萄球菌在屠宰加工过程中的消长变化规律, 清洗预冷环节和分割传送环节是金黄色葡萄球菌污染的主要风险环节, 预冷池水中金黄色葡萄球菌浓度和工人手部带菌程度是肉鸡屠宰加工过程中金黄色葡萄球菌的关键风险点(相关系数分别为 0.62 和 0.50)。结论 对肉鸡屠宰环节的金黄色葡萄球菌进行关键控制点识别和精准采取控制措施, 可有效保障终端鸡肉产品的卫生安全。

关键词:金黄色葡萄球菌; 肉鸡; 屠宰环节; 定量评估; 关键控制点

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2020)03-0300-07

DOI: 10.13590/j.cjfh.2020.03.016

Study on the quantitative assessment of *Staphylococcus aureus* in the broiler chicken slaughtering line

WANG Lin, ZHAO Ge, ZHAO Jianmei, LI Yuehua, HAN Tianfei, GAO Yubin, LIU Na, HUANG Xiumei, QU Zhina, WANG Juan, LIU Junhui, WANG Junwei

(China Animal Health and Epidemiology Center, Livestock and Poultry Products Quality & Safety Risk Assessment Laboratory (Qingdao) of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shandong Qingdao 266032, China)

Abstract: Objective To analyze the risk and key prevention and control points of *Staphylococcus aureus* in a large broiler slaughterhouse and to provide guidance for the scientific prevention and control of *Staphylococcus aureus* contamination in broiler slaughter. **Methods** Combining the monitoring data and investigation data of *Staphylococcus aureus* contamination in a large broiler chicken slaughterhouse, a quantitative assessment model was constructed using @RISK 7 software, and a quantitative assessment was conducted on the four stages of chicken slaughter (depilation, cleaning chamber, pre-cooling and segmentation). **Results** Our research determined the predictive growth and decline pattern of *Staphylococcus aureus* in slaughtering process. It showed that the pre-cooling and segmentation and transmission links were the main risk contributor links of *Staphylococcus aureus* contamination. The critical risk control points of

收稿日期: 2020-03-16

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0500505); 2019 国家农产品质量安全风险评估计划[农质发(2019)5号]

作者简介: 王琳 女 助理研究员 研究方向为动物源性病原微生物的检测和风险评估 E-mail: wl_891104@163.com

赵格 女 副研究员 研究方向为动物源性病原微生物的检测和风险评估 E-mail: cathyge2015@126.com

通信作者: 王君玮 男 研究员 研究方向为动物源性致病微生物风险监测评估与预警 E-mail: yffs2000@sina.com

王琳与赵格为共同第一作者。

Staphylococcus aureus in broiler slaughtering were the concentration of *Staphylococcus aureus* in pre-cooled pool water and hand-borne *Staphylococcus aureus* in workers with the correlation coefficient of 0.62 and 0.50, respectively. **Conclusion** The identification of key control points and precise control measures of *Staphylococcus aureus* in broiler slaughtering can effectively guarantee the health and safety of terminal chicken products.

Key words: *Staphylococcus aureus*; broiler; slaughtering line; quantitative assessment; critical risk control point

金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*) 属于革兰阳性菌, 对外界环境抵抗力强, 其产生的肠毒素在高温、低 pH 值下仍具有活性, 也不受胰蛋白酶的影响, 即使经过消化途径仍然能保持活性并比较迅速的引起中毒反应, 表现为急性肠胃炎症状, 如恶心、剧烈呕吐并伴有头晕、腹泻等, 老年人和儿童易感性高^[1-2]。在美国, 由金黄色葡萄球菌肠毒素引起的食物中毒占整个细菌性食物中毒的 33%, 加拿大则高达 45%^[1]。我国生鲜畜禽产品的金黄色葡萄球菌污染状况也不容乐观^[3-5], 据监测报告, 2008—2017 年间山东省、广西壮族自治区等地区鸡肉中检出葡萄球菌的阳性率都高于 20%^[4-5]。2018 年本实验室对我国西南地区某大型屠宰场鸡肉病原微生物污染监测中发现金黄色葡萄球菌的污染率更是高达 59.3% (尚未发表)。可见, 肉鸡屠宰环节的金黄色葡萄球菌控制已成为预防食源性金黄色葡萄球菌感染和食物中毒的迫切需要, 而对肉鸡屠宰环节进行金黄色葡萄球菌危害风险评估是进一步认知危害、识别关键控制点和精准采取控制措施的有效手段。

目前, 国外在乳制品方面已经对金黄色葡萄球菌污染危害开展了系统的定量风险评估^[6-7], 在生鲜畜禽肉方面也构建了定量风险评估模型和微生物动力模型^[8-9]。我国在微生物定量风险评估 (quantitative microbial risk assessment, QMRA) 方面相对滞后, 但随着国家对食品安全风险评估工作的重视, QMRA 也将会更多地应用于生鲜畜禽产品的质量安全控制。本研究通过构建定量评估模型, 对某大型肉鸡屠宰场中金黄色葡萄球菌的风险和关键防控点进行解析, 以期控制肉鸡屠宰过程中金黄色葡萄球菌对鸡肉的污染提供指导。

1 材料与方法

1.1 数据来源及样品采集

肉鸡屠宰加工中每批次鸡只处理量、工具使用量等工艺参数来源于采样过程的现场调研或专家咨询; 肉鸡屠宰各环节金黄色葡萄球菌污染数据为本实验室 2018 年度风险评估项目执行中的部分监测数据。

290 份样品采集于山东省某大型肉鸡屠宰场同一批次宰杀肉鸡的烫洗褪毛 (60 份)、净膛 (88 份)、清洗预冷 (17 份) 和分割传送 (125 份) 环节。样品

采集后, 按照定性和定量的方法, 对样品中的金黄色葡萄球菌进行分离、培养和鉴定, 获得鸡肉、内脏和环境等样品中金黄色葡萄球菌的污染率和污染量数据。

1.2 方法

1.2.1 定量评估工具

采用风险评估软件 @ RISK 7 对数据进行随机分布拟合。用特定的值、公式或分布表示风险评估中涉及到的变量和参数。采用蒙特卡洛模拟, 每次模拟进行 10 000 次迭代运算。每一次运算采用拉丁超立方抽样方法从模型的每一个概率分布中抽取一个值, 以随机抽取的数值进行运算。

1.2.2 模型构建

以该屠宰场一个屠宰批次的肉鸡作为评估对象 (该场每批次屠宰量为 5 万~15 万只)。肉鸡在烫洗后鸡体直接暴露于空气和环境器具中, 故以烫洗后作为评估过程的起点, 后续经褪毛、净膛、清洗预冷和分割传送 4 个过程。

1.2.2.1 烫洗褪毛

烫洗褪毛后金黄色葡萄球菌的污染量是评估模型的初始值。带菌率用离散概率分布 $p = \text{Discrete}(\{0, 1\}, \{P_{neg}, P_{pos}\})$ 进行拟合, 其中 0 代表阴性, 1 代表阳性, P_{neg} 为阴性带菌率, P_{pos} 为阳性带菌率, p 为带菌量对应的累积概率。因高温烫洗导致鸡体表面大多数细菌灭活, 未能检测到定量数据, 所以样品中金黄色葡萄球菌污染的定量数据由定性数据转换, 公式为 $M1a = -(2.303/V) \times \lg(N_{neg}/N_{total})$ ^[10], 其中 V 为棉拭子擦拭过样品表面后稀释所用溶液的体积 (每次擦过表面积为 100 cm²), N_{neg} 为阴性样品检出份数, N_{total} 为总检测样品份数, 由泊松分布进行拟合, $M1a$ 为菌量对数值。而后在褪毛过程中, 鸡胴体上残存的金黄色葡萄球菌可能污染褪毛机, 发生交叉污染, 故将褪毛机的污染状况作为模型中一个风险因素 (可能导致风险提升的因素)。褪毛机表面金黄色葡萄球菌的污染密度也用定性数据转换。假设褪毛机每批次打毛时可将肉鸡胴体接触面中一半的菌传递到该批次烫洗肉鸡胴体上, 则烫洗褪毛后肉鸡胴体上的金黄色葡萄球菌总污染量 (NI) 为烫洗后金黄色葡萄球菌总污染量和褪毛机交叉污染鸡胴体菌量的总和。模拟时所有参数设置见表 1。

表1 肉鸡屠宰环节金黄色葡萄球菌定量评估模型的参数设置

Table 1 Parameter setting of quantitative evaluation model of *Staphylococcus aureus* in broiler chicken slaughtering line

评估范围	定义	变量	单位	分布或公式	出处
烫洗褪毛	一批次鸡的数量	N_p	只	Uniform (50 000, 100 000)	调研
	单鸡宰前表面积	m_l	100 cm ²	Pert (10, 12, 14)	测量
	烫洗后带菌情况	P_p	—	Discrete ({0, 1} , {0. 567, 0. 433})	监测
	烫洗后带菌密度	M_n	MPN/100 cm ²	Poisson ($10^{(-2. 303/1) \times \lg(56. 7/100)}$)	公式
	烫洗后总污染	N_{1a}	MPN	$IF (P_p = 0, M_n \times m_l \times N_p, M_n \times m_l \times N_p)$	公式
	褪毛机带菌率	P_t	—	Discrete ({0, 1} , {0. 767, 0. 233})	监测
	褪毛机带菌密度	M_{tn}	MPN/100 cm ²	Poisson ($10^{(-2. 303/1) \times \lg(76. 7/100)}$)	公式
	褪毛机预计接触面积	M_t	100 cm ²	Uniform (1 600, 3 200)	测量
	一褪毛批次鸡数量	N_{pt}	只	Uniform (60, 120)	调研
	与褪毛机发生交叉污染后鸡胴体带菌量	N_{1b}	MPN	$0. 5 \times IF (P_t = 0, M_{tn} \times M_t \times N_p / N_{pt}, M_{tn} \times M_t \times N_p / N_{pt})$	公式
	烫褪后总污染	N_1	MPN	$N_1 = N_{1a} + N_{1b}$	公式
净膛	肠道表面带菌率	P_g	—	Discrete ({0, 1} , {0. 714, 0. 286})	监测
	肠道表面带菌量	M_g	MPN/只	Poisson ($10^{(-2. 303/1) \times \lg(71. 4/100)}$)	监测
	肠道表面菌向鸡肉传递量	N_{2a}	MPN	$0. 2 \times IF (P_g = 0, M_g \times N_p, M_g \times N_p)$	公式
	工人手部带菌率	Ph_1	—	Discrete ({0, 1} , {0. 767, 0. 233})	监测
	工人手部带菌量	M_h	MPN/只	Cumulative (0. 5, 48, {0. 5, 2. 5, 29} , {0. 57, 0. 71, 0. 86})	监测
	工人手部数量	N_{h1}	只	Uniform (20, 60)	调研
	与工人手部发生交叉污染后鸡肉带菌量	N_{2b}	MPN	$0. 5 \times IF (Ph_1 = 0, M_h \times N_{h1} \times N_p / N_{h1})$	公式
清洗预冷	净膛工具带菌率	P_j	—	Discrete ({0, 1} , {0. 733, 0. 267})	监测
	净膛工具带菌量	M_j	MPN/把	Poisson ($10^{(-2. 303/1) \times \lg(73. 3/100)}$)	监测
	净膛工具数量	N_j	把	Uniform (20, 60)	调研
	净膛工具菌向鸡肉传递量	N_{2c}	MPN	$0. 5 \times IF (P_j = 0, M_j \times N_j \times N_p / N_j, M_j \times N_j \times N_p / N_j)$	公式
	净膛后菌总污染	N_2	MPN	$N_2 = N_1 + N_{2a} + N_{2b} + N_{2c}$	公式
	一只鸡所需预冷池水体积	V	mL	Pert (1 000, 1 200, 1 500)	调研
	预冷池水带菌率	P_c	—	Discrete ({0, 1} , {0. 412, 0. 588})	监测
分割传送	预冷池水带菌浓度	M_{nc}	MPN/mL	Cumulative (0. 5, 9, {0. 5, 2. 5, 9} , {0. 7, 0. 8, 0. 9, 1. 0})	公式
	预冷池水菌总污染量	N_{3a}	MPN	$IF (P_c = 0, M_{nc} \times V \times N_p)$	公式
	预冷后菌总污染	N_3	MPN	$0. 2 \times (N_2 + N_{3a})$	公式
	分割刀具总量	N_k	把	Uniform (100, 200)	调研
	刀具带菌率	P_k	—	Discrete ({0, 1} , {0. 094, 0. 906})	监测
	刀具带菌量	M_k	MPN/把	Cumulative (0. 6, 378, {0. 6, 13, 60, 140, 256} , {0. 07, 0. 38, 0. 69, 0. 79, 0. 93})	监测
	与刀具发生交叉污染后鸡肉带菌量	N_{4a}	MPN	$0. 5 \times IF (P_k = 0, M_k \times N_k \times N_p / N_k)$	公式
分割传送	工人手部数量	N_{h2}	只	Uniform (200, 400)	调研
	工人手部带菌率	Ph_2	—	Discrete ({0, 1} , {0. 065, 0. 935})	监测
	工人手部带菌量	M_{h2}	MPN/只	Cumulative (17, 400, {17, 48, 122, 200, 335} , {0. 14, 0. 24, 0. 41, 0. 52, 0. 59})	监测
	工人手部菌向鸡肉传递菌	N_{4b}	MPN	$0. 5 \times IF (Ph_2 = 0, M_{h2} \times N_{h2} \times N_p / N_{h2})$	公式
	传送带接触面积	S	100 cm ²	Uniform (50×120/10, 50×240/10)	调研
	传送带带菌率	P_s	—	Discrete ({0, 1} , {0. 353, 0. 647})	监测
	传送带带菌密度	M_s	MPN/100 cm ²	Cumulative (2. 3, 70, {2. 3, 16. 5, 39, 54} , {0. 45, 0. 73, 0. 91, 0. 95})	监测
分割传送	一传送批次鸡的数量	N_s	只	Uniform (240, 480)	调研
	传送带接触面菌向鸡的传递菌	N_{4c}	MPN	$0. 5 \times IF (P_s = 0, M_s \times S \times N_p / N_s)$	公式
	分割传送后菌总污染	N_4	MPN	$N_4 = N_3 + N_{4a} + N_{4b} + N_{4c}$	公式
	单鸡宰后重量	M	100 g	Pert (14, 16, 18)	调研
	分割传送后 100 g 重量鸡肉污染量	N_5	MPN/100 g	$N_5 = (N_4 / N_p) / M$	公式

注：—表示没有单位；传送带接触面宽 50 m, 长 120~240 m, 按 1/10 接触面积算；Pert 分布：Pert (Min, Most likely, Max), 其中 Min 为最小值, Max 为最大值, Most likely 为最可能值；Uniform 分布：Uniform (Min, Max)；Poisson 分布：Poisson (lambda), 其中 lambda 指金黄色葡萄球菌的污染量

1. 2. 2. 2 净膛

净膛是指将脏器全部取出的过程。此过程中肉鸡胴体容易被由刀具戳破的内脏和泄殖腔口残存的粪便污染, 所以净膛过程中肉鸡内脏、工人手

部和净膛工具均需作为风险因素进行考虑。增加的金黄色葡萄球菌污染量由内脏表面、工人手部和净膛刀具的带菌率、带菌量和传递率决定。通过监测得到这三个风险因素的金黄色葡萄球菌阳

性的定性或定量数据,其中肠道表面带菌量用泊松分布拟合,净膛工具和工人手部带菌量用累积概率分布 $M1b = \text{Cumulative}(\text{Min}, \text{Max}, \{a1, a2, a3 \dots\}, \{p1, p2, p3 \dots\})$ 进行拟合,其中 Min 为最小值, Max 为最大值, a 为带菌量[本研究中认为 $1 \text{ CFU} = 1 \text{ MPN}$ (most probable number, 最大可能数)], p 为带菌量对应的累积概率, $M1b$ 为带菌量累积分布。净膛后肉鸡胴体上的金黄色葡萄球菌总污染量以 $N2$ 表示。

1.2.2.3 清洗预冷

肉鸡胴体经冲洗后理论上会减少其表面菌落总数,但预冷池共同清洗的过程中也会增加金黄色葡萄球菌的交叉污染。经调研获知,一只肉鸡对应的预冷水体积为 $1\ 000 \sim 1\ 500 \text{ mL}$,预冷池水中的金黄色葡萄球菌浓度用累积概率分布进行拟合,预冷池中总污染的金黄色葡萄球菌向肉鸡胴体的传递率按 $1/5$ [11] 计算。预冷后一批次肉鸡中金黄色葡萄球菌的总污染量为 $N3$ 。

表2 实际检测的鸡肉中金黄色葡萄球菌污染量概率分布拟合参数

Table 2 Fitting parameters of probability distribution of *Staphylococcus aureus* pollution in chicken

定义	变量	单位	分布或公式	出处
单鸡分割后表面积	$m2$	100 cm^2	$2 \times (0.67 \times M \times 100 + 536) / 100$	文献[12]
宰后鸡肉污染率	Pa	—	$\text{Discrete}(\{0, 1\}, \{0.097, 0.903\})$	监测
宰后鸡肉污染密度	Ma	$\text{MPN}/100 \text{ cm}^2$	$\text{Cumulative}(3, 77, \{3, 10, 33, 77\}, \{0.25, 0.5, 0.86, 1\})$	监测
宰后 100 g 重量鸡肉污染量	$N6$	$\text{MPN}/100 \text{ g}$	$\text{IF}(Pa=0, Ma \times m2/M)$	公式

注:—表示没有单位

2 结果与分析

2.1 定量评估模型模拟肉鸡屠宰环节金黄色葡萄球菌污染概率分布

一批次肉鸡烫洗褪毛后鸡体中金黄色葡萄球菌总污染量为初始值,经模拟分析后得到其分布如图1A所示。一批次鸡的污染量在 $0.8 \times 10^6 \sim 7.0 \times 10^6$

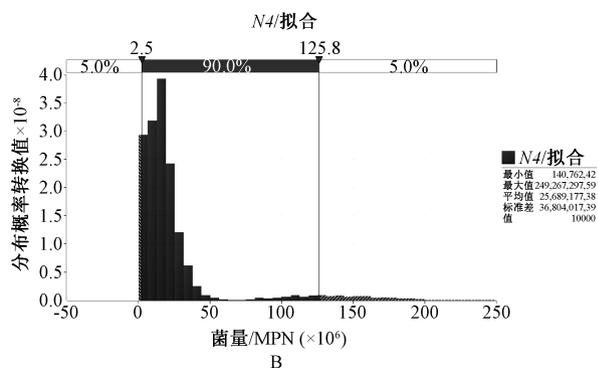
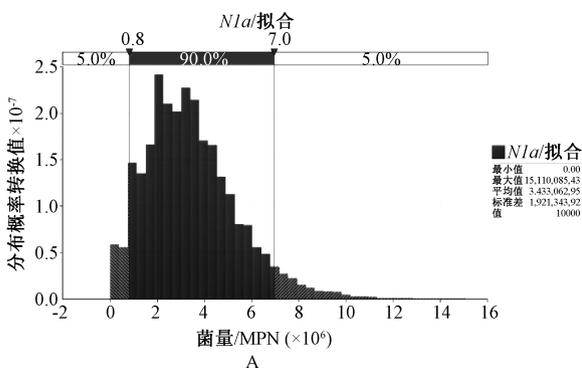
1.2.2.4 分割传送

分割传送是肉鸡胴体暴露环境最为繁杂的一个环节。此环节中将分割刀具、工人手部和传送带纳入了评估范围。这三个风险因素与肉鸡胴体接触面的数量均通过现场调研获得;金黄色葡萄球菌阳性的定量数据由监测获得,用累积概率分布进行拟合;带菌率用离散概率分布进行拟合。一个传送批次金黄色葡萄球菌经分割刀具、工人手部、传送带接触面向鸡肉的传递率均按 $1/2$ 计算,每处理批次肉鸡数量与工人手部、处理刀具等对应[11]。用 $N4$ 表示分割传送后一屠宰批次鸡肉中金黄色葡萄球菌的总污染量, $N5$ 表示 100 g 鸡肉中金黄色葡萄球菌的污染量。

1.2.3 鸡肉中金黄色葡萄球菌实际污染量的概率分布

同前期监测时的采样方法,屠宰分割后的鸡肉采集擦拭过样品表面的棉拭子(每次擦过表面积为 100 cm^2)进行定性和定量检测,其中定量数据采用累积概率分布进行拟合,见表2。

10^6 MPN 之间,平均值为 $3.4 \times 10^6 \text{ MPN}$ 。通过所构建的屠宰环节肉鸡金黄色葡萄球菌污染定量评估模型,模拟发现经过烫洗褪毛、净膛、清洗预冷和分割传送四个环节后肉鸡金黄色葡萄球菌总污染量有90%的可能分布在 $2.5 \times 10^6 \sim 125.8 \times 10^6 \text{ MPN}$ 之间(图1B),平均值高达 $25.7 \times 10^6 \text{ MPN}$ 。可见,屠宰过程明显增加了鸡肉被金黄色葡萄球菌污染的风险。



注:A为金黄色葡萄球菌的初始总污染量;B为模型模拟金黄色葡萄球菌分割后的总污染量

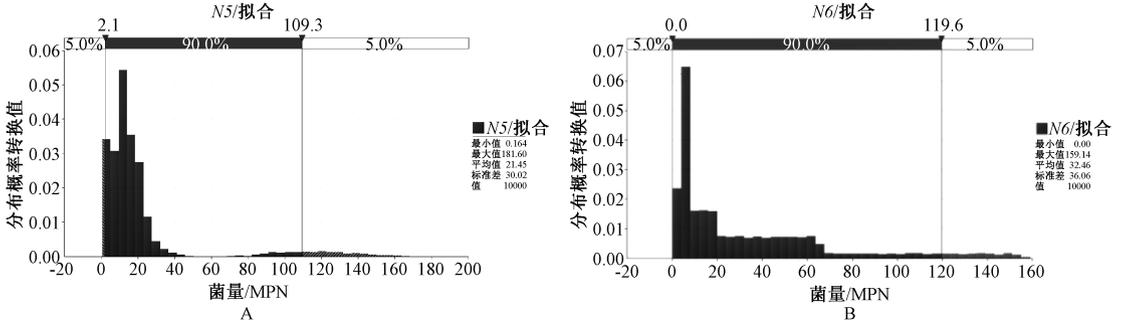
图1 屠宰环节肉鸡中金黄色葡萄球菌的污染量概率分布

Figure 1 Probability distribution of contamination amount of *Staphylococcus aureus* in broiler chickens at slaughter stage

2.2 模型输出结果的验证

通过构建的肉鸡屠宰环节金黄色葡萄球菌定量评估模型的模拟,最终输出的屠宰分割后100 g 鸡肉中金黄色葡萄球菌的污染量90%分布在2.1~109.3 MPN之间,平均值为21.5 MPN(图2 A)。而根据对该屠宰场实际监测数据,通

过拟合后发现100 g 屠宰分割鸡肉中金黄色葡萄球菌的污染量90%分布为0.0~119.6 MPN(图2B),该数据与模型模拟的污染量高度吻合,其平均值为32.5 MPN。与模型模拟的数据相比也较为符合,说明所构建的定量评估模型可信度较好。



注:A为模型模拟的输出结果;B为实际监测数据的拟合结果
图2 屠宰分割后单只肉鸡产品金黄色葡萄球菌污染量分布

Figure 2 Distribution of *Staphylococcus aureus* contamination in individual broiler products after slaughter and segmentation

2.3 屠宰过程鸡肉中不同环节金黄色葡萄球菌的消长变化

通过构建的定量评估模型,应用模拟的烫洗褪毛、净膛、清洗预冷、分割传送等过程鸡肉中金黄色葡萄球菌的污染总量平均MPN值,构建了屠宰过程金黄色葡萄球菌在鸡肉中暴露的消长变化曲线(图3)。结果显示,烫洗褪毛后金黄色葡萄球菌的污染量小幅上升,从 3.4×10^6 MPN升至 5.4×10^6 MPN,净膛过程略有增加。预冷后金黄色葡萄球菌的污染量明显上升,从 5.5×10^6 MPN升至 14.6×10^6 MPN,且分割传送后金黄色葡萄球菌污染量持续骤升,高达 25.2×10^6 MPN。可见,清洗预冷环节和分割传送环节是金黄色葡萄球菌主要的风险贡献环节。

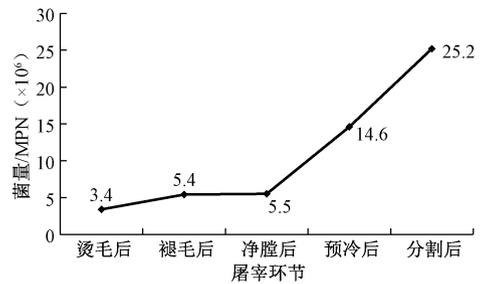


图3 肉鸡屠宰过程金黄色葡萄球菌污染的消长变化
Figure 3 Growth and decline pattern of *Staphylococcus aureus* in the broiler chicken slaughtering process

2.4 敏感性分析

通过对定量评估模型中各参数的敏感性分析,探讨屠宰分割后鸡肉中金黄色葡萄球菌污染量与屠宰过程中各风险因素的相关性,确定各风险因素

对终端鸡肉产品金黄色葡萄球菌污染的风险贡献。相关系数越大表明该因素对最终的风险值影响越大。结果如图4所示,预冷池水中的金黄色葡萄球菌浓度是影响终端鸡肉产品金黄色葡萄球菌污染的最关键风险点,相关系数为0.62;其次为工人手部带菌量,相关系数为0.50。

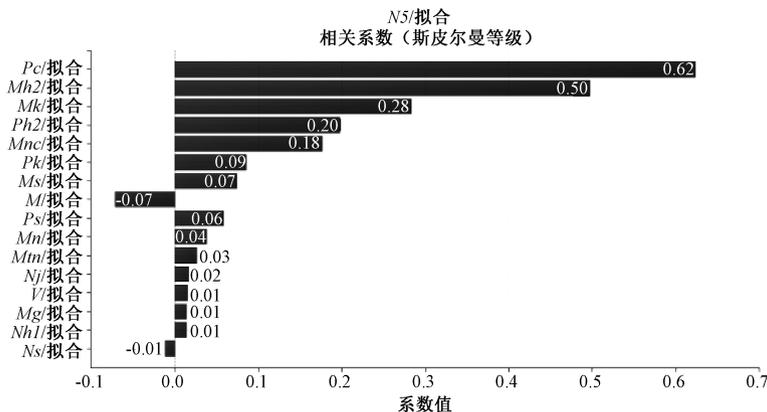


图4 模型中各变量的敏感性分析

Figure 4 Sensitivity analysis of variables in the model

3 讨论

本研究利用定量评估方法,分析了某大型肉鸡屠宰场金黄色葡萄球菌各个环节的污染状况,估计了屠宰分割后的 100 g 鸡肉中金黄色葡萄球菌的污染量 90% 分布在 2.1~109.3 MPN 之间,与实际监测数据 90% 分布在 0.0~119.6 MPN 相符。虽初始污染量不高,但温度越高越容易发生金黄色葡萄球菌食物中毒,因此,夏天金黄色葡萄球菌生长停滞期最短^[13],生长繁殖最快,最容易发生金黄色葡萄球菌食物中毒事件。

金黄色葡萄球菌浓度越高,越容易产生肠毒素,对消费风险越大。虽然金黄色葡萄球菌在烹饪时可被杀灭,但其产生的肠毒素相当稳定,只有在 131 ℃ 加热 30 min 时才能将其灭活,而研究发现广西壮族自治区和陕西省市售鸡肉中分离的金黄色葡萄球菌肠毒素基因携带率高达 50% 以上^[14-15]。一般认为,摄入 0.1~1.0 μg 肠毒素即可产生中毒症状^[16-17],当金黄色葡萄球菌污染菌数达到 10⁵ CFU/g 时,肠毒素就会达到此浓度^[13]。本研究重在考虑肉鸡屠宰过程中金黄色葡萄球菌的交叉污染暴露过程,鸡体内脏以及预冷池水、工人手部和刀具等环境因素中的金黄色葡萄球菌都会额外增加生产线上鸡肉的污染风险,因此,将肉鸡烫洗褪毛、净膛、清洗预冷、分割传送作为整个屠宰过程中的四个金黄色葡萄球菌风险引入环节,结果表明,清洗预冷和分割传送环节中金黄色葡萄球菌污染量骤然上升至 14.6×10⁶ 和 25.2×10⁶ MPN,是肉鸡屠宰环节中金黄色葡萄球菌污染的主要贡献环节,与终端产品的肠毒素浓度高度相关。通过定量评估模型对屠宰过程各风险因素进行敏感性分析进一步明确了预冷池水带菌率(相关系数 0.62)和工人手部带菌量(相关系数 0.50)是风险关键控制点。分析原因,可能是清洗预冷和分割传送过程中潜在的交叉污染最为严重,因此,可以更有针对性地加强对预冷池水以及分割传送环节工人手部的卫生控制,从而保障终端鸡肉产品的卫生安全。

模型的不确定性以及微生物本身的复杂性会对最终评估结果的准确性和有效性造成影响。本研究构建的评估模型的不确定性包括:一是过程和模型的不确定性。研究假设整个屠宰过程金黄色葡萄球菌不增殖,但实际过程中某些环节(如净膛过程)会增殖。二是定量数据的不确定性。部分环节由于未检测到定量数据,采用定性数据转换成定量数据,其可靠性不如通过大量实际样品检测获得的定量数据。三是经验推测的不确定性。研究中通过实际调研和监测获得了大部分数据,但也有少

量数据(如器具和工人手部的菌向鸡肉的传递率)是通过相关经验推测获得,并未考虑到诸多因素导致的交叉污染。

总之,本研究通过调研和监测,构建了肉鸡屠宰环节金黄色葡萄球菌污染的定量评估模型,预测结果合理。通过模型模拟数据初步探明了肉鸡屠宰加工过程中金黄色葡萄球菌的消长变化趋势,锁定了清洗预冷和分割传送环节是肉鸡屠宰环节中金黄色葡萄球菌的主要贡献环节,进一步明确了整个过程的关键风险点是预冷池水中金黄色葡萄球菌浓度和工人手部金黄色葡萄球菌污染程度。本研究构建的模型具有普遍适用性,在具体应用中各肉鸡屠宰场需根据自身具体情况录入操作过程中器具、工人、预冷水、肉鸡胴体的数量及其金黄色葡萄球菌的污染数据等信息,即可用来评估肉鸡屠宰过程中金黄色葡萄球菌的关键控制点。本研究为肉鸡屠宰过程中金黄色葡萄球菌污染的卫生控制提供科学基础,同时也为鸡肉源性金黄色葡萄球菌相关食源性疾病的防控提供了技术支撑。

参考文献

- [1] 滕蕊,李倩,柳亦博,等. 食品中微生物危害控制与风险评估[M]. 北京:化学工业出版社,2012.
- [2] PINCHUK I V, BESWICK E J, REYES V E. Staphylococcal enterotoxins[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010,61(1):1-10.
- [3] 吴斌,胡元玮,方琼楼,等. 金华市生肉食品中致病菌污染状况分析[J]. 中国卫生检验杂志,2017,27(13):1931-1933.
- [4] 郇元娟,张树秋,王文博,等. 山东省市售畜禽肉蛋产品中食源性致病菌污染状况分析[J]. 山东农业科学,2018,50(7):38-41.
- [5] 钟舒红,李军,周庆安,等. 2015年—2016年广西部分地区生鲜畜禽肉中食源性致病菌污染状况调查[J]. 动物医学进展,2018,39(4):132-136.
- [6] CROTTA M, RIZZI R, VARISCO G, et al. Multiple-strain approach and probabilistic modeling of consumer habits in quantitative microbial risk assessment: a quantitative assessment of exposure to staphylococcal enterotoxin A in raw milk[J]. Journal of Food Protection, 2016,79(3):432-441.
- [7] LEE H, KIM K, CHOI K H, et al. Quantitative microbial risk assessment for *Staphylococcus aureus*, in natural and processed cheese in Korea[J]. Journal of Dairy Science, 2015,98(9):5931-5945.
- [8] YONG J L, JUNG B S, KIM K T, et al. Predictive model for the growth kinetics of *Staphylococcus aureus*, in raw pork developed using integrated pathogen modeling program (IPMP) 2013[J]. Meat Science, 2015,107(4):20-25.
- [9] ZEAKI N, RONG C, SKANDAMIS P N, et al. Assessment of high and low enterotoxin A producing *Staphylococcus aureus*, strains on pork sausage[J]. International Journal of Food Microbiology, 2014,182/183(28):44-50.

- [10] HURLEY M, ROSCOE M. Automated statistical analysis of microbial enumeration by dilution series[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 1983, 55(1): 159-164.
- [11] 赵格, 刘娜, 赵建梅, 等. 肉鸡屠宰加工过程中沙门菌污染定量风险评估[J]. *中国动物检疫*, 2018, 35(4): 26-31.
- [12] THOMAS N L. Observations of the relationship between the surface area and weight of eviscerated carcasses of chickens, ducks and turkeys [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 1978, 13(2): 81-86.
- [13] 骆璇. 上海市鲜猪肉中金黄色葡萄球菌定量风险评估[D]. 上海: 复旦大学, 2010.
- [14] 诸葛石养, 杜悦. 广西省售鸡肉金黄色葡萄球菌肠毒素基因分型及耐药性研究[J]. *中国卫生检验杂志*, 2016, 26(16): 2416-2418.
- [15] 徐本锦, 张伟松, 王新陕, 等. 陕西省市售鸡肉中金黄色葡萄球菌的毒力基因及其药敏检测[J]. *中国人兽共患病学报*, 2012, 28(11): 1076-1080.
- [16] 王秀茹. 预防医学微生物学及检验技术[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2002.
- [17] ICMSF. Microorganisms in food 5: microbiological specifications of food pathogens [R]. London: Blackie Academic and Professional, 1996: 426-435.

风险评估

黄酒中苯甲酸本底含量与溯源分析及初步风险评估

肖潇¹, 李国辉², 雍凌¹, 包汇慧¹, 隋海霞¹, 钟其顶², 宋雁¹

(1. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100022; 2. 发酵行业生产力促进中心, 北京 100027)

摘要:目的 对黄酒中苯甲酸的本底含量进行调查与溯源分析, 并对我国居民成年饮黄酒者的苯甲酸摄入量进行评估以了解其健康风险。方法 从山东省、浙江省、江苏省、福建省、上海市等我国主要五大黄酒产区采集黄酒样品 231 份及其加工原料 15 份, 并采用液相色谱法对其中苯甲酸及其前体物质的含量进行测定; 采用苯甲醛和苯丙氨酸模拟试验以及实际样品加速试验对黄酒中苯甲酸的来源进行溯源分析; 并采用简单分布评估方法对我国居民成年饮黄酒者的苯甲酸摄入量进行评估。结果 黄酒中苯甲酸检出率为 99.13% (229/231), 含量范围为 ND (未检出)~37.00 mg/L, 均值为 2.28 mg/L。其中, 98 份成品酒中, 苯甲酸检出率为 100.00% (98/98), 含量范围为 ND~1.60 mg/L, 均值为 0.52 mg/L; 133 份基础酒中, 苯甲酸检出率为 98.50% (131/133), 含量范围为 ND~37.00 mg/L, 均值为 3.58 mg/L。溯源分析结果显示, 黄酒中苯甲酸主要来自加工原料带入、苯丙氨酸降解以及苯甲醛氧化生成。暴露评估结果显示, 我国黄酒消费人群苯甲酸的平均暴露量为 0.001 mg/kg BW, 占每日允许摄入量 (ADI) 的 0.02%; P95 暴露量为 0.005 mg/kg BW, 占 ADI 的 0.1%。结论 黄酒中苯甲酸的检出率高但本底含量较低, 其主要来源为加工原料带入、苯丙氨酸降解以及苯甲醛氧化生成; 我国居民成年饮黄酒者的苯甲酸的暴露风险较低。

关键词: 苯甲酸; 食品添加剂; 黄酒; 含量调查; 溯源分析; 暴露评估

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2020)03-0306-06

DOI: 10.13590/j.cjfh.2020.03.017

Determination, source analysis and preliminary risk assessment of benzoic acid in rice wine

XIAO Xiao¹, LI Guohui², YONG Ling¹, BAO Huihui¹, SUI Haixia¹, ZHONG Qiding², SONG Yan¹

(1. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China;
2. Chinese Productivity Promotion Center of Fermentation Industry, Beijing 100027, China)

Abstract: Objective To analyze the concentration and source of benzoic acid in rice wine and evaluate the health risk of dietary benzoic acid intake from rice wine among adult consumers in China. **Methods** 231 samples of rice wine and 15 samples of raw materials were collected from five main rice wine production areas in China, including Shandong, Zhejiang, Jiangsu, Fujian and Shanghai; the content of benzoic acid and its precursors were determined by high performance liquid chromatography; the sources of benzoic acid in rice wine were analyzed by the benzaldehyde and phenylalanine simulation test and the real sample acceleration test; the benzoic acid intake among adult consumers was evaluated by simple

收稿日期: 2020-05-19

作者简介: 肖潇 男 助理研究员 研究方向为食品安全风险评估和食品毒理学 E-mail: xiaoxiao@cfsa.net.cn

通信作者: 宋雁 女 研究员 研究方向为食品安全风险评估和食品毒理学 E-mail: songyan@cfsa.net.cn