

# 中欧禽肉中弯曲杆菌污染情况与风险建模的对比研究

刘茜<sup>1,2</sup>, 牛洪梅<sup>1</sup>, 张希斌<sup>3,4</sup>, 董庆利<sup>1\*</sup>

(1. 上海理工大学健康科学与工程学院, 上海 200093) (2. 上海杉达学院管理学院, 上海 201209)

(3. 新希望六合股份有限公司, 山东青岛 266061)

(4. 畜禽饲料与畜禽产品质量安全控制四川省重点实验室, 四川成都 610023)

**摘要:** 无论发达国家还是发展中国家, 食源性致病菌引起的食品安全风险问题都非常严峻。家禽在养殖、屠宰及消费各环节中均易受到弯曲杆菌的污染, 可能会导致消费者罹患食源性疾病, 因此禽肉产品食用安全问题应当引起重视。随着我国与欧盟贸易关系逐渐紧密, 同时欧盟对我国禽肉产品开放配额, 为进一步保证禽肉产业链的安全, 须对禽肉产品安全性进行评价, 保障国内外禽肉产品的食用安全, 维护良好的中欧贸易往来。该研究以风险建模为研究对象, 系统对比了中欧禽肉中弯曲杆菌的污染情况、预测模型及风险评估分析方法 3 个方面的差异, 总结了禽肉中弯曲杆菌风险评估中存在的问题, 展望了未来中欧在食品安全风险评估领域的发展前景, 为更好地进行微生物风险评估提供参考。

**关键词:** 弯曲杆菌; 预测模型; 风险评估; 中欧

文章编号: 1673-9078(2023)09-307-314

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.9.1232

## Comparative Study of *Campylobacter* Contamination of Poultry and Risk Modeling in China and the European Union

LIU Qian<sup>1,2</sup>, NIU Hongmei<sup>1</sup>, ZHANG Xibin<sup>3,4</sup>, DONG Qingli<sup>1\*</sup>

(1.School of Health Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China) (2.School of Management, Sanda University, Shanghai 201209, China)

(3.New Hope Liuhe Co. Ltd., Qingdao 266061, China) (4.Quality Control for Feed and Products of Livestock and Poultry Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610023, China)

**Abstract:** The food safety risks caused by food-borne pathogens are severe in developed and developing countries. Poultry is susceptible to contamination with *Campylobacter* during breeding, slaughtering, and consumption, which may lead to food-borne illness in consumers. Attention should thus be paid to the food safety of poultry products. With the gradual development of a close trade relationship between China and the European Union (EU) and the EU opening quotas for Chinese poultry products, strengthening the safety of the poultry supply chain necessitates safety evaluations of poultry products to ensure safe consumption of domestic and foreign poultry products while maintaining robust trade between China and the EU. This paper systematically compared differences between China and the EU in contamination assessment, prediction models, and risk assessment analysis methods relevant to the contamination of poultry with *Campylobacter* and summarized existing problems in risk assessment for *Campylobacter* in poultry. Future development prospects of China and the EU in the field of food safety risk assessment are presented, providing a reference for better microbial risk assessment.

**Key words:** *Campylobacter*; prediction model; risk assessment; China and the European Union

引文格式:

刘茜,牛洪梅,张希斌,等. 中欧禽肉中弯曲杆菌污染情况与风险建模的对比研究[J]. 现代食品科技, 2023, 39(9): 307-314

LIU Qian, NIU Hongmei, ZHANG Xibin, et al. Comparative study of campylobacter contamination of poultry and risk modeling in china and the european union [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(9): 307-314

收稿日期: 2022-09-27

基金项目: 国家重点研发计划政府间国际科技创新合作重点专项 (2019YFE0103800); 上海市“晨光计划”项目 (17CGB02)

作者简介: 刘茜 (1988-), 女, 博士生, 讲师, 研究方向: 食品安全风险评估, E-mail: lqiansh@163.com

通讯作者: 董庆利 (1979-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 预测微生物学与风险评估, E-mail: qdong@usst.edu.cn

食源性疾病 (Foodborne Diseases, FBD) 是全球, 发病率和死亡率的重要因素之一。世界卫生组织 2018 年食源性疾病调查报告显示, 全球感染食源性疾病人数超 6 亿, 死亡人数 42 万, 其中由食源性致病菌引起的死亡人数超过 23 万<sup>[1]</sup>。中国疾病预防控制中心数据显示, 2020 年我国食源性疾病暴发事件共 7 073 起, 其中食源性疾病引起的发病人数为 37 454 人, 死亡人数为 143 人, 已成为我国重要的食品安全问题<sup>[2]</sup>。弯曲杆菌 (*Campylobacter*) 是微需氧革兰阴性菌, 是主要的食源性致病菌, 能引起人类感染的弯曲杆菌主要有空肠弯曲杆菌 (*Campylobacter jejuni*, *C. jejuni*) 和结肠弯曲杆菌 (*Campylobacter coli*, *C. coli*)<sup>[3,4]</sup>。研究表明弯曲杆菌主要通过食品传染, 其中禽肉产品是主要的传染源<sup>[5]</sup>。2010 年欧盟食品和饲料快速预警系统 (RASFF) 的数据显示引起禽肉食品安全的微生物因素中弯曲杆菌排序第三位<sup>[6]</sup>, 在 2019 年《欧盟人畜共患病全健康报告》中指出人兽共患病感染数量排序首位的是弯曲杆菌<sup>[7,8]</sup>。2018 年底欧盟同意对我国禽肉产品开放新的关税配额, 为保证禽肉产业链安全, 有必要对禽肉中弯曲杆菌的污染情况进行研究比较, 保证国内外禽肉产品的食用安全<sup>[9]</sup>。

微生物风险评估 (Microbiological Risk Assessment, MRA) 是评估食物链中的风险因子与实际公共卫生风险之间存在联系的有效工具, 可用于评价食源性致病菌对消费者产生的不良影响的风险, 其内容包括危害识别、危害特征描述、暴露评估及风险特征描述四个部分<sup>[10]</sup>。在微生物风险评估中, 应明确考虑食品中致病菌的生存、生长和失活动态。预测微生物学是风险

评估的重要组成部分之一, 用于评估产品从农场到餐桌中微生物的变化水平<sup>[11,12]</sup>。2002 年欧洲食品安全局 (European Food Safety Authority, EFSA) 成立, 是欧盟进行风险评估的主要机构, 明确了食品的安全性可以通过从农场到餐桌全过程的有效控制加以保障<sup>[13]</sup>。在 2007 年 EFSA 已经完成食品添加剂、生物危害、农药等 500 多份风险评估意见及指导文件<sup>[14]</sup>。2009 年我国颁布实施《食品安全法》之后成立国家食品安全风险评估中心, 开始针对具体食品-致病菌开展食品微生物定量风险评估<sup>[15,16]</sup>。欧盟率先发布的评估方法对我国的食品安全风险评估工作具有借鉴作用, 具体的微生物风险评估方法有待深入分析研究。

本文从禽肉产业链不同环节弯曲杆菌污染情况出发, 对比我国与欧盟禽肉中弯曲杆菌风险评估过程中使用的预测模型及风险评估方法, 总结禽肉中弯曲杆菌风险评估中存在的问题, 展望未来中欧在食品安全风险评估领域的发展前景, 为更好地进行食品微生物风险评估提供参考。

## 1 中欧禽肉中弯曲杆菌的污染情况比较

弯曲杆菌的天然宿主是许多禽类和哺乳动物的肠道, 环境和食品中弯曲杆菌的主要来源是动物粪便的污染<sup>[17,18]</sup>。禽类在养殖、屠宰与消费等诸多环节均可能受到弯曲杆菌的污染, 存在于这些环节中 (动物粪便、养殖用水、屠宰环境与家庭厨房等) 的弯曲杆菌有可能污染最终禽肉产品, 可能造成消费者的患病风险<sup>[19]</sup>。

### 1.1 我国禽肉中弯曲杆菌的污染情况

表 1 我国不同产业链环节中弯曲杆菌的检出率

Table 1 Detection rate of *Campylobacter* in different industrial chain links in China

地区	样品来源	检出率	对应产业链环节	文献	文献年份
辽宁省	生禽肉	<i>C. jejuni</i> : 4.2% (14/335)	销售环节	[22]	2022
	鸡源泄殖腔棉拭子	<i>C. jejuni</i> : 81.2% (65/80) <i>C. coli</i> : 0	养殖环节		
浙江省	环境表面棉拭子	<i>C. jejuni</i> : 30.5% (48/157) <i>C. coli</i> : 5.1% (8/157)	屠宰环节	[20]	2016
	鸡肉和环境棉拭子	<i>C. jejuni</i> : 41.8% (69/165) <i>C. coli</i> : 7.3% (12/165)	销售环节		
江苏省	鸡源泄殖腔棉拭子	<i>C. jejuni</i> : 30.0% (45/150) <i>C. coli</i> : 16.7% (25/150)	养殖环节	[23]	2020
贵州省	新鲜粪便样本	<i>C. jejuni</i> : 18.9% (68/359) <i>C. coli</i> : 24.5% (88/359)	养殖环节 销售环节	[24]	2021
	2 个养殖场	<i>C. jejuni</i> : 22.9% (46/201) <i>C. coli</i> : 13.4% (27/201)	养殖环节		
广东省	鸡源泄殖腔拭子	<i>C. jejuni</i> : 10.0% (11/201) <i>C. coli</i> : 4.0% (9/201)		[21]	2021
	鸡肉胴体和水样	<i>C. jejuni</i> : 7.0% (41/588) <i>C. coli</i> : 4.9% (29/588)	屠宰环节		
	鸡肉胴体	<i>C. jejuni</i> : 5.4% (23/424) <i>C. coli</i> : 1.7% (7/424)	销售环节		
河南省	鸡源泄殖腔拭子	<i>C. coli</i> : 9.1% (42/460)	养殖环节	[25]	2021

研究表明,不同地区不同产业链环节中的弯曲杆菌检出率差别较大,我国广东省、浙江省、江苏省、河南省与辽宁省等均有禽肉对应不同产业链环节的污染程度研究(表1)。养殖环节中采集样品为鸡源泄殖腔拭子,屠宰环节中采集样品为环境表面拭子、环境用水及鸡肉胴体,销售环节中采集样品为鸡肉胴体和环境表面拭子。根据文献<sup>[20,21]</sup>数据显示,同一产业链下对弯曲杆菌进行检测,屠宰环节的弯曲杆菌检出率低于养殖环节的弯曲杆菌检出率,屠宰加工过程能够减少弯曲杆菌污染鸡肉的可能性。

## 1.2 欧盟禽肉中弯曲杆菌的污染情况

欧盟的污染情况,零售水平上弯曲杆菌阳性的禽肉比例有所不同,芬兰和丹麦分别为11.0%和12.0%。

表2 欧盟不同产业链环节中弯曲杆菌的检出率

Table 2 Detection rate of *Campylobacter* in different industrial chain links in EU

地区	样品来源	检出率	对应产业链环节	文献来源	文献年份
爱尔兰	盲肠内容物及颈部皮肤	盲肠内容物: 66.0% (238/358) 颈部皮肤: 53.0% (947/1 790)	屠宰环节	[28]	2022
波兰 16个省	鸡肉胴体	22.2% (525/2 367) - <i>C. jejuni</i> 54.4% (1 150/2 114)	屠宰环节	[29]	2020
波兰北部	鸡肉胴体	41.6% (309/742) - <i>C. jejuni</i> 60.2% (2009) 下降到 32% (2013)	销售环节	[30]	2015
爱尔兰	盲肠内容物 不同处理后颈部皮肤	盲肠内容物: 4.9% (27/554) 开腔后颈部皮肤: 5.2% (29/554) 清洗后颈部皮肤: 5.1% (28/554) 冷却后颈部皮肤: 4.5% (25/554)	屠宰环节	[31]	2021
丹麦 2家屠宰场	泄殖腔拭子 鸡腿皮-屠宰末端产品	19.7% (593/3 012) 24.3% (242/999)	屠宰环节 销售环节	[32]	2022
爱沙尼亚 拉脱维亚 立陶宛	新鲜鸡肉胴体 (主要为腿)	爱沙尼亚: 1.8% (3/163) 拉脱维亚: 36.8% (49/133) 立陶宛: 66.9% (89/133)	销售环节	[26]	2022

## 1.3 中欧禽肉中弯曲杆菌的污染情况差异

我国与欧盟对比,禽类相关样品中弯曲杆菌在不同产业链环节中检出率差别较大,屠宰过程中弯曲杆菌污染较为严重。尽管最初的污染程度不足以引起疾病,但弯曲杆菌在夏季较热的温度下呈指数增长,只需几个小时就可达到400~500 CFU的致病性剂量<sup>[33]</sup>。刘珮琪等<sup>[21]</sup>认为不同养殖场之间的弯曲杆菌检出率与养殖规模有关系,这一结论与Osimani等<sup>[34]</sup>一致,即大型养殖场的弯曲杆菌检出率要低于小型养殖场。在欧盟已有研究中,弯曲杆菌检出率存在明显的季节差异,尤其是夏季高于其他季节<sup>[28,32]</sup>,该结论与江苏地区的研究结论一致<sup>[23]</sup>。但是在贵州地区不同季节中

奥地利(71.0%)、法国(76.0%)、西班牙(70.0%)、斯洛文尼亚(54.0%)、波兰(50.0%)和意大利(34.1%)也报告了较高比例的弯曲杆菌污染禽肉。根据欧盟人兽共患病报告,2018年和2019年,欧盟新鲜鸡肉中弯曲杆菌的平均检出率分别为38.6%和29.6%<sup>[26]</sup>。表2汇总了部分欧盟地区不同产业链环节中弯曲杆菌的检出率。文献来源地区有爱尔兰、波兰、丹麦、爱沙尼亚、拉脱维亚及立陶宛,检测样品来源有盲肠内容物、颈部皮肤、泄殖腔拭子及鸡肉胴体,无论对应屠宰环节还是销售环节不同地区的弯曲杆菌检出率均不相同。丹麦学者Louise等<sup>[27]</sup>研究发现与冰鲜肉相比,冷冻肉给人类带来的风险持续降低,并且有很多文献都有相似结论,这与冷冻可降低弯曲杆菌浓度的发现也一致。

禽源弯曲杆菌的检出率差异无统计学意义,这一结果可能与贵州省各季节气温变化不明显有关系<sup>[24]</sup>。对于中欧禽肉中弯曲杆菌的污染情况,并不能将风险准确定位于某一个产业链环节,若要对危害因子进行风险评估,需借助预测微生物模型才能准确评估全产业链的禽肉安全。

## 2 中欧禽肉中弯曲杆菌的预测模型比较

预测微生物学已参与定量微生物风险评估过程,预测微生物学可以根据产品全产业链中环境因子的改变来预测提高食品的安全性,其核心是建立有效的模型及基础数据库<sup>[35,36]</sup>。由于食品基质不同,食品所处环境差异明显,因此需进行大量的试验研究获取基础

数据,以期建立拟合性良好的预测模型<sup>[37]</sup>。

## 2.1 我国禽肉中弯曲杆菌的预测模型

我国学者刘玺等<sup>[20]</sup>在 6 °C 冷藏条件下,鸡肉中的空肠弯曲菌失活曲线在 30 d 贮藏期内,lg CFU 值下降了 1.98;其中,0~14 d 细菌数量下降速度较快,14~30 d 细菌数量下降较为平缓,Log-logistic 模型相比于 Weibull 模型的失活曲线有较好的拟合性。Huang 等<sup>[38]</sup>建立了一个禽肉屠宰模型来评估弯曲杆菌暴露,模型包括家禽屠宰过程(去内脏 Logistic 模型、淋洗 Normal 模型)、包装(LogLogistic 模型)、速冻(Weibull 模型)过程。预测数据的整体趋势与其他国家(新西兰、捷克、澳大利亚、美国和英国)的实际监测数据一致。

## 2.2 欧盟禽肉中弯曲杆菌的预测模型

爱尔兰学者 Soro 等<sup>[39]</sup>为了评估紫外线下空肠弯曲菌的生存曲线,拟合了两个线性模型(Log linear 和 Linear and Shoulder)和两个非线性模型(Weibull 和 Double Weibull),结论表明 Log linear 模型是描述弯曲杆菌暴露于紫外线下失活动力学最可靠的模型。爱尔兰学者 Scanlon 等<sup>[40]</sup>在 55 °C 和 60 °C 下对 5 种弯曲杆菌进行了热失活研究,评估了 9 种不同模型的适用性,包括对数线性模型和 Weibull 模型,还有一些模型可以描述失活时出现的“拖尾”、“扫肩”现象,结果显示“拖尾”的 Weibull 模型具有很好的拟合。挪威学者 Sandberg 等<sup>[41]</sup>通过非参数和参数线性统计模型估计冷冻时间的影响,并预测自然感染或污染肉鸡尸体在冷冻 2、4、6、8、10、13、21、35 和 120 d 后弯曲杆菌的数量。冷冻 3 周后弯曲杆菌减少了 2 log CFU。最佳拟合模型为零膨胀负二项对数模型,泊松模型次之。禽肉中弯曲杆菌的预测模型研究并不多<sup>[38]</sup>,上述文献显示模型有很好的拟合性。

## 2.3 中欧禽肉中弯曲杆菌的预测模型差异

预测微生物学模型以食品环境(加工、流通、储藏等环节)参数为基础,采用数学模型来定量分析食品中微生物的生长规律,展示该食品中微生物的动态

生长变化,以此支撑食品安全风险评估过程<sup>[42]</sup>。根据上述内容,中欧均未对禽肉中弯曲杆菌的生长模型进行研究,经过不同处理(高温、冷冻、紫外线)模拟出有效的失活模型也不一致。我国仍然需要进行大量实验获取足够的基础数据,完善有效的预测模型,为风险评估中暴露评估予以支撑。

## 3 中欧禽肉中弯曲杆菌的风险评估方法比较

风险评估已经成为食品安全控制的一个重要工具,风险评估技术也已被食品安全领域认可与应用,近年来风险评估软件也由金融业进一步适用于食品安全风险评估领域<sup>[43]</sup>。常用的微生物风险评估软件有 @Risk 软件(定量风险评估软件)、Risk Ranger 软件(半定量风险评估软件)及快速微生物定量风险评估(sQMRA)工具(半定量风险评估软件)等<sup>[44-47]</sup>。

### 3.1 我国禽肉中弯曲杆菌的风险评估方法

我国的研究工作较多(表 3)。蔡华等<sup>[48]</sup>采集上海市食品安全风险监测结果和居民膳食消费量数据,应用 sQMRA 方法,评估不同“食品-致病菌”组合的健康风险。王君等<sup>[49]</sup>根据中国人群膳食鸡肉空肠弯曲菌风险评估结果,采用 Risk Ranger 半定量风险评估来降低风险的可行措施,结果表明空肠弯曲菌一般不能在鸡肉加工环境或加工产品中繁殖。马立才<sup>[50]</sup>建立了一个“农场-餐桌”的肉鸡源细菌耐药性随机定量风险评估模型,利用 @risk 软件进行蒙特卡罗模拟,并通过敏感性分析确定各模型参数对结果不确定度的影响大小。Huang 等<sup>[37]</sup>应用风险模型在 Excel 和 @Risk 5.5 中实现对家禽屠宰生产阶段、贮存运输阶段和消费阶段进行了连续风险估计,计算 2010 年与食用禽肉相关的弯曲杆菌病的平均感染率估计约为每 10 万人 118 例,该评估提高了食品安全准确有效的监管措施。Wang 等<sup>[51]</sup>根据全鸡制备过程和空肠弯曲杆菌流行情况,采用 Risk Ranger 对 11 个参数进行风险评估。结果 2007~2010 年中国 20 多个省份生鸡肉空肠弯曲杆菌检出率在 0.29%~2.28% 之间。

表 3 我国禽肉中空肠弯曲菌风险评估方法

Table 3 Risk assessment methods for *Campylobacter jejuni* in poultry in China

地区	使用软件	数据来源	目标人群	对应产业链环节	文献来源
上海	sQMRA	监测数据	普通人群	销售环节	[48]
21 个省(市、自治区)	Risk Ranger	监测数据	普通人群	全产业链	[49]
上海、青岛	@risk	实验检测数据	普通人群	全产业链	[50]
华东地区	@risk	监测数据	普通人群	屠宰环节	[38]
超过 20 个省	Risk Ranger	监测数据	普通人群	全产业链	[51]

表 4 欧盟禽肉中弯曲杆菌风险评估方法

地区	使用软件	数据来源	目标人群	对应产业链环节	文献来源
爱尔兰	Risk Ranger	实验检测数据	普通人群	销售环节	[52]
比利时	@risk	监测数据	普通人群	销售环节 (厨房)	[53]
丹麦	@risk	监测数据	普通人群	销售环节 (厨房)	[54]
意大利	@risk	实验检测数据	普通人群	销售环节 (厨房)	[55]
荷兰	sQMRA	监测数据	普通人群	销售环节 (厨房)	[56]
奥地利	R software	监测数据	普通人群	销售环节 (厨房)	[57]

### 3.2 欧盟禽肉中弯曲杆菌的风险评估方法

欧盟的研究结果汇总见表 4。Beatriz 等<sup>[52]</sup>利用模糊风险评估工具 (Matlab) 和 Risk Ranger (Excel) 进行微生物风险排名比较, 结果以每年疾病总数和风险排序分数表征, 在弯曲杆菌、沙门氏菌和肠出血性大肠杆菌得出相似的结论。比利时当局要求对家禽肉制品进行弯曲杆菌的风险评估, Uyttendaele 等<sup>[53]</sup>使用 @Risk 软件进行模拟, 定量风险评估模型分为四个模块 (零售、消费者处理、消费和感染疾病), 模拟结果表面食用生鸡肉产品所导致的暴露量是加热产品暴露量的  $10^{10}$  倍。Christensen 等<sup>[54]</sup>在考虑了污染概率和污染程度的基础上, 风险评估模型在 @Risk 软件中实施。该模型考虑了两种转移情况: 一种是烹饪后通过环境肉类的二次污染, 另一种是配菜 (如沙拉) 被环境污染。在家庭厨房中鸡肉易受到交叉污染, Calistri 等<sup>[55]</sup>开发了一个模型, 根据剂量-反应模型, 预计在意大利的阿布鲁佐和莫利塞地区每年发生弯曲杆菌胃肠炎的人口百分比在 0.8% 和 1.8% 之间。荷兰学者 Chardon 等<sup>[56]</sup>简化并开发了定量微生物风险评估模型和工具, 减少了数据的需求, sQMRA2 模型从零售阶段开始通过部分产业链跟踪病原体数量来估计人类疾病病例数, 能快速获得相对公共卫生风险评估估计值, 应用广泛。奥地利学者 Matt 等<sup>[57]</sup>采用二阶蒙特卡罗模拟来解决交叉污染导致的疾病的概率, 每克肉鸡皮肤上有  $3 \log \text{CFU/g}$  弯曲杆菌, 并使用 R 软件进行模拟。疾病的概率用常用的 Beta 二项剂量-反应模型计算, 结论为超过  $3 \log \text{CFU/g}$  弯曲杆菌的禽肉对烹饪卫生条件一般的消费者构成风险。

### 3.3 中欧禽肉中弯曲杆菌的风险评估方法差异

在欧盟不同地区的研究中, 对应产业链环节多集中在家庭厨房环节, 消费者对禽肉产品处理可能会出现污染问题, 例如产品储存不当、烹调或加热不当以及交叉污染。虽然产业链终端决定了消费者暴露产品

的风险, 但是产业链上游环节中产品致病菌数量与终产品中致病菌数量直接相关, 因此有必要进行全产业链的风险评估。与欧盟相比, 我国对应养殖、屠宰及销售各产业链环节均有相关研究, 但是将微生物定量风险评估应用于禽肉全产业链分析的研究并不多。各环节模型构建之间缺乏衔接, 给微生物定量风险评估中危害点识别带来困难。我国的研究集中在使用半定量风险评估软件进行分析, 部分定性的数据虽然在禽肉食用安全微生物控制中发挥作用, 但是这些数据无法满足禽肉中致病微生物风险评估对定量数据的需求。

## 4 总结与展望

本文详细介绍了我国与欧盟禽肉产业链中禽肉产品及环境的弯曲杆菌污染情况, 系统对比了禽肉中弯曲杆菌构建的预测模型及食品微生物风险评估方法的差异。我国与欧盟在禽肉不同产业链环节中弯曲杆菌污染情况不尽相同, 但是在分析构建预测模型及微生物风险评估过程中仍可相互借鉴。

基于此, 未来的食品安全微生物风险评估研究需要加强以下三个方面, 第一, 食品安全风险可能发生在食品产业链各个环节中, 需建立全产业链的微生物污染数据整合机制, 养殖、屠宰、消费等各环节需采集数据衔接, 才能提供从“农场到餐桌”各环节的科学风险评估的基础数据, 有利于食品的过程控制; 第二, 在养殖环节中抗生素的广泛使用导致抗生素耐药性问题迅速凸显, 迄今为止缺乏适当的风险评估的定量模型, 只有抗生素残留的人类健康风险评估概念框架。获得性免疫人群在人群数据中的影响同样会改变风险评估结果判定, 同样也是未来风险评估中需要考虑的部分; 第三, 减少消费者暴露致病菌的一个潜在解决方案是建立微生物标准, 微生物风险评估是微生物标准开发的支持因素之一。在保证大量实验基础数据库建立的前提下, 构建拟合度较高的预测模型, 完善我国食品微生物风险评估过程, 建立更加完善的食品卫生标准。

## 参考文献

- [1] World Health Organization. WHO estimates of the global burden of foodborne diseases: Foodborne disease burden epidemiology reference group 2007-2015 [M]. World Health Organization, 2015.
- [2] 2021 年中国食品安全发病人数、死亡人数及食品安全问题解决措施分析[EB/OL].[2021-09-18].<https://www.chyxx.com/industry/202109/975182.html>.[2022-08-20].
- [3] Jaap A Wagenaar, Marcel A P van Bergen, Martin J Blaser, et al. *Campylobacter* fetus infections in humans: Exposure and disease [J]. Clin Infect Dis, 2014, 58(11): 1579-1586.
- [4] 陈文芳,唐梦君,周倩,等.江苏省 225 株鸡源弯曲杆菌分离株的 MLST 分析[J].中国家禽,2022,44(5):47-54.
- [5] Eugenia Gripp, Daniela Hlahla, Xavier Didelot, et al. Closely related *campylobacter jejuni* strains from different sources reveal a generalist rather than a specialist lifestyle [J]. BMC Genomics, 2011, 12: 584.
- [6] 梁成彪,周广灿.2010 年欧盟食品和饲料快速预警通报(RASFF)中肉类产品汇总分析[J].肉类工业,2011,3:44-45.
- [7] European Food Safety Authority, European Centre for Disease Prevention and Control. The European Union one health 2019 zoonoses report [J]. EFSA Journal, 2021, 19(2): 6406.
- [8] Francesca Latronico, Sandra Correia, Teresa da Silva Felicio. Challenges and prospects of the European food safety authority biological hazards risk assessments for food safety [J]. Current Opinion in Food Science, 2017, 18: 50-55.
- [9] 欧盟对中国禽肉产品开放新的关税配额带来上亿元利好[EB/OL].[2019-04-01].<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1629612560202244405&wfr=spider&for=pc>. [2022-08-25].
- [10] 董庆利,王海梅,Pradeep K Malakar,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.
- [11] Myrsini Kakagianni, Konstantinos P Koutsoumanis. Assessment of *Escherichia coli* O157:H7 growth in ground beef in the Greek chill chain [J]. Food Research International, 2019, 123: 590-600.
- [12] 苏丹萍,吴云凤.食源性致病菌风险评估研究进展[J].食品安全质量检测学报,2020,11(18):6511-6518.
- [13] Marco Silano, Vittorio Silano. The fifth anniversary of the European Food Safety Authority (EFSA): Mission, organization, functioning and main results [J]. Fitoterapia, 2008, 79(3): 149-160.
- [14] Stef Bronzwaer. EFSA scientific forum 'from safe food to healthy diets'. EU risk assessment-past, present and future [J]. Trends in Food Science & Technology, 2008, 19: S2-S8.
- [15] 范蕊,卢彬,王文文.食品微生物风险及国内外安全控制策略分析[J].食品安全质量检测学报,2021,12(9):3840-3844.
- [16] Yongning Wu, Pei Liu, Junshi Chen. Food safety risk assessment in China: past, present and future [J]. Food Control, 2018, 90: 212-221.
- [17] Krzysztof Fiedoruk, Tamara Daniluk, Dorota Rozkiewicz, et al. Whole-genome comparative analysis of *Campylobacter jejuni* strains isolated from patients with diarrhea in northeastern Poland [J]. Gut Pathog, 2019, 11: 32.
- [18] Andrijana Horvat, Pieternel A Luning, Catherine Digennaro, et al. The impacts of biosecurity measures on *Campylobacter* contamination in broiler houses and slaughterhouses in the Netherlands: A simulation modelling approach [J]. Food Control, 2022, 141: 109151.
- [19] Jatziri Mota Gutierrez, Lukas Lis, Amaia Lasagabaster, et al. *Campylobacter* spp. prevalence and mitigation strategies in the broiler production chain [J]. Food Microbiology, 2022, 104: 103998.
- [20] 刘玺,潘航,Narayan Paudyal,等.禽肉弯曲菌污染分析及冷藏条件下失活动力学特征[J].浙江农业学报,2016,28(11): 1834-1841.
- [21] 刘珮琪,柳子巍,董心迎,等.广东省禽肉弯曲菌流行病学调查及毒力基因分析[J].广东畜牧兽医科技,2021,46(3):52-57.
- [22] 孙婷婷,李雪,王伟杰,等.辽宁省市售生禽肉食品中空肠弯曲菌毒力基因的鉴定[J].食品安全质量检测学报,2022,13(1):318-323.
- [23] 唐梦君,周倩,张小燕,等.江苏部分地区鸡源与猪源弯曲菌耐药性分析与毒力基因检测[J].畜牧兽医学报,2020,51(9): 2284-2292.
- [24] 李轩,谢春,周黎,等.贵州省鸡源弯曲菌的流行现状及抗生素敏感谱研究[J].中国人兽共患病学报,2021,37(11):995-1007.
- [25] 于辉,李金磊,方忠意,等.河南省鸡源结肠弯曲杆菌的分离鉴定及耐药性分析[J].畜牧与饲料科学,2021,42(3):111-114.
- [26] Triin Tedersoo, Mati Roasto, Mihkel Maesaar, et al. The prevalence, counts, and MLST genotypes of *Campylobacter* in poultry meat and genomic comparison with clinical isolates [J]. Microbiology and Food Safety, 2022, 101(4): 1-8.
- [27] Louise Boysen, Maarten Nauta, Ana Sofia Ribeiro Duarte, et al. Human risk from thermotolerant *Campylobacter* on broiler meat in Denmark [J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 162: 129-134.
- [28] Helen Lynch, Peter Franklin Hayes, Leonard Koolman, et al. Prevalence and levels of *Campylobacter* in broiler chicken

- batches and carcasses in Ireland in 2017-2018 [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2022, 372(2): 109693.
- [29] Kinga Wiczoreka, Łukasz Bocianb, Jacek Oseka. Prevalence and antimicrobial resistance of *Campylobacter* isolated from carcasses of chickens slaughtered in Poland - A retrospective study [J]. *Food Control*, 2020, 112: 107159.
- [30] Małgorzata Andrzejewska, Bernadeta Szczepanska, Dorota Spica, et al. Trends in the occurrence and characteristics of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* isolates from poultry meat in Northern Poland [J]. *Food Control*, 2015, 51: 190-194.
- [31] Malgorzata Emanowicz, Joseph Meade, Declan Bolton, et al. The impact of key processing stages and flock variables on the prevalence and levels of *Campylobacter* on broiler carcasses [J]. *Food Microbiology*, 2021, 95: 103688.
- [32] Alessandro Foddai, Nao Takeuchi-Storm, Birgitte Borck Høg, et al. Assessing *Campylobacter* cross-contamination of Danish broiler flocks at slaughterhouses considering true flock prevalence estimates and ad-hoc sampling [J]. *Microbial Risk Analysis*, 2022, 21: 100214.
- [33] Ge Zhao, Xiumei Huang, Jianmei Zhao, et al. Risk prevention and control points through quantitative evaluation of *Campylobacter* in a large broiler slaughterhouse [J]. *Frontiers in Veterinary Science*, 2020, 22: 172.
- [34] Andrea Osimani, Lucia Aquilanti, Marina Pasquini, et al. Prevalence and risk factors for thermotolerant species of *Campylobacter* in poultry meat at retail in Europe [J]. *Poultry Science*, 2017, 96(9): 3382-3391.
- [35] Salvador Cubero González, Aricia Possas, Elena Carrasco, et al. 'MicroHibro': A software tool for predictive microbiology and microbial risk assessment in foods [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2019, 29(2): 226-236.
- [36] Ana Allende, Sara Bover-Cid, Pablo S Fernández. Challenges and opportunities related to the use of innovative modelling approaches and tools for microbiological food safety management [J]. *Current Opinion in Food Science*, 2022, 45: 100839.
- [37] Aricia Possas, Antonio Valero, Fernando Pérez-Rodríguez. New software solutions for microbiological food safety assessment and management [J]. *Current Opinion in Food Science*, 2022, 44: 100814.
- [38] Jinlin Huang, Xiaoqi Zang, Weihua Zhai, et al. *Campylobacter* spp. in chicken-slaughtering operations: A risk assessment of human campylobacteriosis in East China [J]. *Food Control*, 2018, 86: 249-256.
- [39] Arturo B Soro, Paul Whyte, Declan J Bolton, et al. Modelling the effect of UV light at different wavelengths and treatment combinations on the inactivation of *Campylobacter jejuni* [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2021, 69: 102626.
- [40] Karl A Scanlon, Uma Tiwari, Claire Cagney, et al. Modelling the thermal inactivation of five *Campylobacteraceae* species [J]. *Food Control*, 2015, 47: 135-140.
- [41] Marianne Sandberg, Merete Ofshagen, Øyvind Østensvik, et al. Survival of *Campylobacter* on frozen broiler carcasses as a function of time [J]. *Journal of Food Protection*, 2005, 68(8): 1600-1605.
- [42] 陈仕佳,马擎,付晓焰,等. 鱼肉中沙门氏菌生长预测模型的建立[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(8): 2474-2482.
- [43] 李晓凤,秦宇龙,刘姜汝,等. 即食果蔬中食源性致病菌风险评估的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(18): 322-328, 336.
- [44] 陈艳. 食品安全风险评估微生物危害评估[M]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [45] 宋晓昀,王晔茹,国琳,等. 快速微生物定量风险评估工具及其改进在海产品中副溶血性弧菌风险分级中应用[J]. *中国食品卫生杂志*, 2020, 32(1): 83-88.
- [46] 阚浩鹏,李楠,胡豫杰,等. 济南市售生鸡肉中金黄色葡萄球菌污染状况及半定量风险评估研究[J]. *中国食品卫生杂志*, 2022, 34(5): 968-973.
- [47] 瞿洋,何昭颖,周昌艳,等. 生菜生产到消费全程金黄色葡萄球菌的定量风险评估[J]. *食品科学*, 2022, 43(10): 295-301.
- [48] 蔡华,宋夏,徐碧瑶,等. 上海市市售食品中主要致病菌的快速定量风险评估[J]. *现代预防医学*, 2019, 46(10): 1757-1761.
- [49] 王君,刘秀梅,郭云昌. 鸡肉空肠弯曲菌标准制定过程中风险评估的应用[J]. *卫生研究*, 2010, 39(5): 563-567.
- [50] 马立才. 典型肉鸡生产链中弯曲菌耐药性调查及风险评估研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
- [51] Jun Wang, Yun Chang Guo, Ning Li. Prevalence and risk assessment of *Campylobacter jejuni* in chicken in China [J]. *Biomed Environ Sci*, 2013, 26(4): 243-248.
- [52] Aybar-Barboza Beatriz, Butler Francis. A comparison of a simple spreadsheet tool for risk assessment and a fuzzy risk assessment tool for ranking of foodborne pathogens in poultry meat [C]// 5th International Conference on Simulation and Modelling in the Food and Bio Industry. Dublin: European TechnolInst, 2008: 86-88.
- [53] M Uyttendaele, K Baert, Y Ghafir, et al. Quantitative risk assessment of *Campylobacter* spp. in poultry based meat

- preparations as one of the factors to support the development of risk-based microbiological criteria in Belgium [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2006, 111: 149-163.
- [54] Bjarke Bak Christensen, Maarten Nauta, Helle Korsgaard, et al. Case-by-case risk assessment of broiler meat batches: An effective control strategy for *Campylobacter* [J]. *Food Control*, 2013, 31: 485-490.
- [55] Paolo Calistri, Armando Giovannini. Quantitative risk assessment of human campylobacteriosis related to the consumption of chicken meat in two Italian regions [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2008, 128: 274-287.
- [56] Jurgen E Chardon, Eric G Evers. Improved swift quantitative microbiological risk assessment (sQMRA) methodology [J]. *Food Control*, 2017, 73: 1285-1297.
- [57] M Matt, K Weyermaier. *Campylobacter* exposure model: Probability of illness due to crosscontamination given 1 000 CFU/g on broiler meat in Austria [J]. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift*, 2015, 102(1-2): 11-18.