

风险评估

湖北省市售猪肉中单核细胞增生李斯特菌污染定量风险评估

肖曼¹,胡池¹,杨忠诚¹,明小燕¹,马蓓蓓¹,王晔茹²

(1. 宜昌市疾病预防控制中心,湖北宜昌 443000;2. 国家食品安全风险评估中心,北京 100022)

摘要:目的 通过对湖北省市售生鲜猪肉中单核细胞增生李斯特菌从零售到食用阶段污染水平进行评估,并结合其对即食食品的交叉污染,预测人群发病风险。方法 基于湖北省监测结果确定猪肉中单增李斯特菌的污染水平,运用生长预测模型和交叉污染模型,采用蒙特卡罗方法进行模拟分析,估计厨房内猪肉对即食食品的污染水平,并结合剂量-反应模型,推算人群健康风险。结果 冷猪肉和热鲜肉经交叉污染转移到即食食品中的单增李斯特菌量分别为 1.30 CFU 和 1.90 CFU,由此导致得到易感人群年发病概率为 2.52×10^{-9} ~ 7.62×10^{-9} ,非易感人群年发病概率为 2.61×10^{-11} ~ 6.86×10^{-11} 。敏感性分析结果表明,处理生猪肉后制作即食食品的比例、每天猪肉食用量、猪肉的初始污染水平是影响发病风险的主要因素。结论 湖北省市售猪肉中单增李斯特菌导致居民发病的概率较低,为进一步降低居民健康风险,建议从源头上降低猪肉中单增李斯特菌的污染水平,并引导居民规范家庭厨房操作和烹饪等消费行为习惯,降低猪肉处理过程中的交叉污染。

关键词:猪肉;单增李斯特菌;定量风险评估;交叉污染

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2025)04-0339-09

DOI:10.13590/j.cjfh.2025.04.006

Quantitative risk assessment of *Listeria monocytogenes* in retail pork of Hubei ProvinceXIAO Man¹, HU Chi¹, YANG Zhongcheng¹, MING Xiaoyan¹, MA Beibe¹, WANG Yeru²

(1. Yichang Center for Disease Control and Prevention, Hubei Yichang 443000, China;2. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China)

Abstract: Objective To predict the risk of population morbidity by evaluating the contamination level of *Listeria monocytogenes* in commercially available fresh pork from the retail to the consumption stage and combining it with its cross-contamination of ready-to-eat food. **Methods** Based on the monitoring results in Hubei Province to determine the contamination level of *Listeria monocytogenes* in pork, a growth prediction model and a cross-contamination model were applied, and a Monte Carlo method was used for simulation and analysis to estimate the level of contamination of ready-to-eat foods by pork in the kitchen and to project the population health risk in combination with a dose-response model. **Results** The amount of *Listeria monocytogenes* transferred to ready-to-eat food by cross-contamination was 1.30 and 1.90 CFU for chilled and hot pork, respectively, which resulted in obtaining an annual probability of morbidity of 2.52×10^{-9} ~ 7.62×10^{-9} for susceptible population and 2.61×10^{-11} ~ 6.86×10^{-11} for non-susceptible population. The results of the sensitivity analyses showed that the treatment of of raw pork followed by preparation of ready-to-eat food, daily pork consumption, and initial contamination level of pork were the main factors affecting the risk of morbidity. **Conclusion** The probability of *Listeria monocytogenes* in commercially available pork in Hubei Province causing morbidity in residents is low. To further reduce the health risk to residents, it is recommended to reduce the contamination level of *Listeria monocytogenes* in pork at source and to guide residents to regulate household kitchen operation and cooking consumption habits, and reduce the cross-contamination in pork handling.

Key words: Pork; *Listeria monocytogenes*; quantitative risk assessment; cross-contamination

收稿日期:2024-08-15

基金项目:2023年度宜昌市医疗卫生研究项目(A23-1-086)

作者简介:肖曼 女 主管医师 研究方向为食品安全风险监测 E-mail:303730899@qq.com

通信作者:王晔茹 女 副研究员 研究方向为微生物风险评估 E-mail:wangyeru@cfsa.net.cn

单核细胞增生李斯特菌(*Listeria monocytogenes*, LM),简称单增李斯特菌,是一种可引起人畜共患的食源性致病菌。人感染后可发生侵袭性李斯特菌病,从而导致脑膜炎、骨髓炎、心肌炎、孕妇流产及产褥感染等,感染者死亡率高达20%~30%^[1]。据统计,2010年李斯特菌在全球范围内导致23 150人患病,5 463例死亡和172 823伤残调整寿命年^[2]。20世纪90年代,世界卫生组织将其列为食品四大致病菌之一。

肉制品是李斯特菌病的主要感染来源之一,美国的人李斯特菌病感染病例中约90%是由食用受污染的熟肉制品引起的^[3],猪肉及其制品被认为是法国及其他欧盟国家单增李斯特菌暴发的源头^[4]。猪肉是我国居民第一大肉类消费品种,持续占据我国居民肉类消费量的70%以上^[5],而多地监测结果显示生鲜猪肉中单增李斯特菌的污染状况不容乐观^[6-8]。因此,开展生鲜猪肉中单增李斯特菌的风险评估十分必要。有研究人员对不同储存条件^[9]、不同流通模式^[10]及从销售到家庭贮藏阶段生鲜猪肉中单增李斯特菌的暴露情况^[11]进行了评估,但均未对消费环节食用人群面临的健康风险进行评估。消费者作为从农田到餐桌的最后一环,其食品处理行为与食源性疾病的发生密切相关。研究表明,不当的家庭食物处理行为可使估计的李斯特菌病平均死亡率增加10⁶倍^[12]。其中,交叉污染是引起单增李斯特菌污染并导致食源性疾病的主要途径^[13]。此外,我国不同地域的肉制品中单增李斯特菌的污染水平存在差异,根据本地区监测结果开展精细化评估具有重要意义^[14]。考虑到我国居民大多没有直接进食生鲜猪肉

的饮食习惯,研究以湖北省市售生鲜猪肉初始污染水平为基础,模拟生鲜猪肉中单增李斯特菌在销售、运输、贮藏环节的数量变化的同时,通过纳入其在消费前对即食食品的交叉污染来量化居民通过进食即食食品产生的健康影响,为湖北省相关部门制定生鲜猪肉中单增李斯特菌的风险管理措施提供参考。

1 数据与方法

1.1 数据来源

1.1.1 生鲜猪肉中单增李斯特菌的初始污染情况

生鲜猪肉中单增李斯特菌的污染水平数据来源于2023年湖北省食品安全风险监测对生鲜猪肉样品的定性和定量检测结果(去除猪肉泥和猪肉馅)。阳性样品污染率 P_p 以Beta($s+1, n-s+1$)表示,其中 n 为样品总数, s 为阳性样品数,阴性样品的污染率 P_n 即可表示为 $1-P_p$ 。阳性样品中的单增李斯特菌污染水平 L_p 由累积分布密度函数描述。阴性样品中单增李斯特菌污染水平 L_n 先根据Jarvis公式^[15]计算得到平均污染水平,再由其反向偏斜累计概率分布表示。Jarvis公式如下:

$$M = -(2.303/m) \times \lg(Z/N) \quad (1)$$

式中的 M 是样品中的真实浓度(\lg CFU/g), m 是进行样品检测时所用的量(g), Z 表示阴性样品的数量, N 为检测样品的总数。

最终,生鲜猪肉中单增李斯特菌初始污染情况以离散函数表示为: $No \sim \text{Discrete}(L_p: L_n, P_p: P_n)$ 。本研究中假设MPN/g与CFU/g等同,结合检测结果(102份样品中有8份检出单增李斯特菌),具体相关参数设置见表1。

表1 生鲜猪肉中单增李斯特菌的初始污染情况

Table 1 Initial contamination of *Listeria monocytogenes* in raw pork

定义	变量	公式
阳性样品污染率/%	P_p	Beta(9,95)
阴性样品污染率/%	P_n	$1-P_p$
阳性样品污染水平/(\lg CFU/g)	L_p	Cumul(1,2.58,{1,1.6,1.7,2.58},{0.5,0.75,0.875,1})
阴性样品污染水平/(\lg CFU/g)	L_n	Cumul(-5.98,1,{-5.98,-2.49,1},{0.01,0.5,0.99})
初始污染水平/(\lg CFU/g)	N_0	Discrete($L_p: L_n, P_p: P_n$)

1.1.2 零售、运输到储存阶段的时间和温度

生鲜猪肉(含冷鲜肉和热鲜肉两种,假设两种类型的生鲜猪肉初始污染水平相同)购买、运输和储存的温度和时间参数来源于参考文献,具体参数设置见表2。在家庭存储阶段,冷鲜肉和热鲜肉都仅考虑冷藏这一种生鲜猪肉储存方式。

1.2 方法

1.2.1 单增李斯特菌生长动力学模型

采用BARANYI模型^[21]作为一级模型来模拟单增李斯特菌在零售、运输、储存阶段随时间生长变

化的情况,其表达式为:

$$N_t = N_0 + \mu_{max} \times t + \ln \left[\frac{\exp(-\mu_{max} \times t) + \exp(-\mu_{max} \times \lambda)}{-\exp(-\mu_{max} \times t - \mu_{max} \times \lambda)} \right] - A(t) \quad (2)$$

$$A(t) = \ln \left[1 + \frac{\exp(\mu_{max} \times t - \mu_{max} \times \lambda) - \exp(-\mu_{max} \times \lambda)}{\exp(N_{max} - N_0)} \right] \quad (3)$$

式中: t 为微生物生长时间, N_t 是时间为 t 时的微生物污染水平, N_0 是 N_t 的初始值, N_{max} 是 N_t 的最大值, λ 是迟滞期, μ_{max} 是最大比生长速率。

表2 生猪肉零售、运输至家庭储存阶段的参数设置

Table 2 Parameter setting for retail, transport and home storage of raw pork

参数	变量	公式	参考文献
冷鲜肉零售温度/°C	T_{r1}	Pert(-6.67,3.39,19.44)	[16]
冷鲜肉零售时间/h	t_{r1}	Uniform(0,48)	[17]
冷鲜肉运输温度/°C	T_{t1}	Pert(-3.72,7.22,24.22)	[16]
冷鲜肉运输时间/h	t_{t1}	Pert(0.5,2,3)	[18]
家庭冷藏阶段温度/°C	T_{s1}	Pert(0,4,10)	[10]
家庭冷藏阶段时间/h	t_{s1}	Cumul(0,240,{6,24,168,240},{0.130,0.546,0.968,1})	[19]
热鲜肉零售温度/°C	T_{r2}	Pert(-9.3,16.6,38.8)	[20]
热鲜肉零售时间/h	t_{r2}	Uniform(0,12)	[11]
热鲜肉运输温度/°C	T_{t2}	Pert(-9.3,16.6,38.8)	[20]
热鲜肉运输时间/h	t_{t2}	Pert(0.5,2,3)	[18]
家庭冷藏阶段温度/°C	T_{s2}	Pert(0,4,10)	[10]
家庭冷藏阶段时间/h	t_{s2}	Cumul(0,240,{6,24,168,240},{0.130,0.546,0.968,1})	[19]

根据刘阳泰等^[10]、MCMEEKIN 等^[22]的研究,采用 γ 模型作为二级模型,通过估计的温度、水分活度和 pH,计算单增李斯特菌的最大比生长速率,相关表达式如下:

$$\gamma(T) = \left(\frac{T - T_{min}}{T_{opt} - T_{min}} \right)^2 \quad (4)$$

$$\gamma(a_w) = \frac{a_w - a_{wmin}}{1 - a_{wmin}} \quad (5)$$

$$\gamma(pH) = \frac{(pH - pH_{min}) \times (pH_{max} - pH)}{(pH_{opt} - pH_{min}) \times (pH_{max} - pH_{opt})} \quad (6)$$

$$\mu_{max} = \mu_{opt} \times \gamma(T) \times \gamma(a_w) \times \gamma(pH) \quad (7)$$

Baranyi 模型和 γ 模型中所涉及的单增李斯特菌生长动力学参数见表 3。

表3 单增李斯特菌生长动力学参数

Table 3 Growth kinetic parameters of *Listeria monocytogenes*

定义	变量	公式或取值	参考文献
最大比生长速率/h ⁻¹	μ_{max}	式(4-7)	[22]
迟滞期/h	λ	$-(\lg a_0) / \mu_{max}$	[23]
最低生长温度/°C	T_{min}	-0.4	[24]
最适生长温度/°C	T_{opt}	37	[24]
最低生长 pH 值	pH_{min}	4.45	[25]
最高生长 pH 值	pH_{max}	9.4	[24]
最适生长 pH 值	pH_{opt}	7.1	[26]
最小生长水分活度	a_{wmin}	0.953	[25]
最适条件最大比生长速率 lg CFU/g/h	μ_{opt}	0.548	[27]
最大生长浓度/lg CFU/g	N_{max}	8.520	[27]
细胞初始生理状态	a_0	Pert($0,2 \times 10^{-2},1$)	[27]
猪肉 pH 值	pH	Uniform(5.9,6.9)	[28]
猪肉水分活度	a_w	Uniform(0.98,0.99)	[29]

1.2.2 厨房内生猪肉对即食食品的交叉污染模型

模型假设:假设厨房在处理完生猪肉后有 10% 的概率继续制作即食食品,整个过程共分为 5 个步骤,依次分别为切割生猪肉、洗砧板、洗刀、洗手、制备、切割即食食品;假设厨房内在处理生猪肉后制作即食食品的过程中,单增李斯特菌通过手、刀具、砧板等转移到即食食品中。洗手过程中,手上的单增李斯特菌污染向水龙头转移,关闭水龙头时,单增李斯特菌向手转移。在处理生猪肉前,手、菜刀、砧板、水龙头未被单增李斯特菌污染,即生猪肉中的单增李斯特菌为污染的唯一来源;假设交叉污染过程持续时间短,其间未出现单增李斯特菌的增长;假设单增李斯特菌与沙门菌在不同介质间的转移率相同;参考贾华云等^[19]的研究,假设用肥皂或洗涤剂洗手为安全正确的洗手方式,更换砧板或

菜刀及使用洗涤剂清洗、沸水或消毒剂消毒为安全正确的砧板和菜刀处理方式,用 Bernoulli 函数来描述不正确的清洗菜刀、砧板和手的行为及准备即食食品的行为, $X_K \sim B(P_K)$, $X_B \sim B(P_B)$, $X_H \sim B(P_H)$, $X_S \sim B(P_S)$ 。

参考 SWART 等^[30]的交叉污染模型,通过矩阵计算最终即食食品中单增李斯特菌的数量。交叉污染模型各参数见表 4,每份即食食品污染单增李斯特菌的计算公式为:

$$N_i = P_0 X_S \{ t_{PB} t_{BS} [(1 - t_{BB}) X_B X_S + t_{BB}] + t_{PK} t_{KS} [(1 - t_{KK}) X_K X_S + t_{KK}] + t_{PH} t_{HS} [(1 - G) X_H X_S + (X_H X_S - 1)(1 - t_{HT})(1 - t_{TH})G - 1] t_{HH} \} \quad (8)$$

其中:

$$G = t_{HT} [(1 - t_{HT})(1 - t_{TH})(1 - X_B X_S)(1 - X_K X_S) - X_B X_S X_K X_S + 1] \quad (9)$$

表4 交叉污染模型中的主要参数设置

Table 4 Main parameter Settings in the cross-contamination model

参数	变量	分布或取值	参考文献
从生肉到手的转移率	t_{PH}	0.08	[31]
从手到即食食品的转移率	t_{HS}	0.02	[31]
从生肉到砧板的转移率	t_{PB}	0.03	[31]
从砧板到即食食品的转移率	t_{BS}	0.26	[31]
从生肉到菜刀的转移率	t_{PK}	0.05	[31]
从菜刀到即食食品的转移率	t_{KS}	0.58	[31]
手-水龙头转移率	t_{HT}	0.002	[31]
水龙头-手转移率	t_{TH}	0.023	[31]
菜刀上的残留率	t_{KK}	0.0	[31]
砧板上的残留率	t_{BB}	0.02	[31]
手上的残留率	t_{HH}	0.006	[31]
不正确洗手的比例	P_H	Beta(261, 229)	[32]
不正确洗刀的比例	P_K	Beta(246, 247)	[32]
不正确洗砧板的比例	P_B	Beta(252, 241)	[32]
处理生肉后制作即食食品的比例	P_S	0.1	[19]
平均每日摄入猪肉量/(g/d)	C_p	Cumul(0, 577, {0, 5, 10, 50, 100, 150, 200}), {0.285, 0.294, 0.336, 0.647, 0.857, 0.945, 0.977}	[19]
即食食品食用频次/(餐/周)	F_s	Cumul(0, 7, {0.02, 0.25, 1}, {0.2, 0.75, 0.95})	[33]

式中 P_0 为烹饪前生猪肉中单增李斯特菌的数量,即居民每天的猪肉消费量与烹饪前单增李斯特菌浓度的乘积。

1.2.3 剂量-反应关系模型

借鉴 FAO/WHO 对四类即食食品的单增李斯特菌风险评估中建立的指数型剂量-反应模型^[34],公式如下:

$$P = 1 - \exp(-r \times N) \quad (10)$$

其中 N 为单增李斯特菌的摄入剂量, P 为估计可能引起单增李斯特菌的发病率情况。对易感人群 $r = 5.85 \times 10^{-12}$, 对非易感人群 $r = 5.34 \times 10^{-14}$ 。

1.2.4 评估方法

参考《微生物风险评估原则和指南》,从危害识别、危害特征描述、暴露评估、风险特征描述 4 个方面进行评估。采用定量概率函数模拟生鲜猪肉中单增李斯特菌从销售、运输、家庭储存到消费环节的变化,运用 @risk 8.5.0 进行蒙特卡罗迭代 10 000 次,对模型参数进行分析,结合剂量-反应关系模型对生鲜猪肉中单增李斯特菌污染即食食品导致居民患病风险进行评估。敏感性分析采用 Spearman 相关分析方法分析各因素与居民每餐通过生鲜猪肉厨房中交叉污染即食食品而罹患李斯特菌病的相关关系。

2 结果

2.1 危害识别

单增李斯特菌为革兰阳性短杆菌,兼性厌氧,无芽胞,一般无荚膜,但在营养丰富环境中可形成荚膜。单增李斯特菌营养要求不高,并可耐受低温、低 pH、高盐等多种极端条件^[34]。单增李斯特菌广泛存在于自然界中,多种食物与李斯特菌病的零

星病例和暴发有关。其中,生的、未煮熟的或即食食品特别容易被其污染^[35]。单增李斯特菌可分为 13 种血清型,各个菌株的相对毒力差异很大。其中 1/2a、1/2b、4b 血清型主要与人类发病相关^[36],而 4b 型是致病力最强的血清型,可导致 50% 的人暴发李斯特菌病^[37]。单增李斯特菌病是相对罕见的疾病,所报道的年发病率为每百万人 0.1~11.3 例,但其死亡率可高达 20%~30%^[34]。

2.2 危害特征描述

单增李斯特菌引起的疾病根据临床表现可分为侵袭性和非侵袭性,一般风险评估中主要是指侵袭性李斯特菌病。其易感人群主要为免疫力低下群体如新生儿、孕妇、老年人及其他有免疫缺陷的人群,如癌症、艾滋病、化疗患者,感染后主要可导致围生期妇女出现流产、早产,非围生期人群出现败血症、脑膜炎等感染性症状。单增李斯特菌病发病率低,死亡率高,且中枢神经系统感染者可出现严重的长期后遗症^[34-35]。个人从感染到发病潜伏期较长,通常为 2~3 周,可长达 3 个月。由于无法开展人类志愿者方面研究,目前单增李斯特菌剂量-反应关系主要通过暴发调查或散发病例数据收集,结合动物实验等方法来建立^[34]。其中,指数模型是一种获得普遍认可的模型,FAO/WHO 基于此完成了四类即食食品中单增李斯特菌的风险评估。该模型对模拟严重李斯特菌病具有适用性,且仅有一个参数,使用起来简单^[34]。本研究采用该模型对易感人群和对非易感人群的发病风险进行评估。

2.3 暴露评估

2.3.1 零售阶段生猪肉中单增李斯特菌初始污染水平

根据表 1 中相关参数,通过 @risk 软件模拟分

析,得到图 1。拟合结果显示,90% 的生鲜猪肉单增李斯特菌的污染水平在-5.66~1.00 lg CFU/g,平均

值为-2.17 lg CFU/g。市售生鲜猪肉中单增李斯特菌初始污染水平较低。

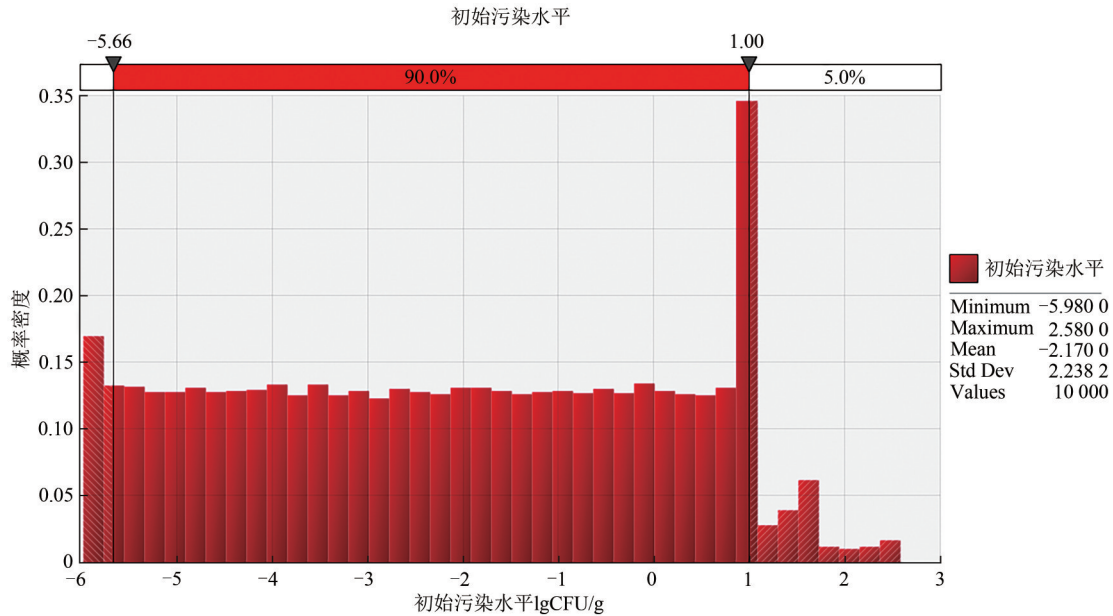


图 1 生猪肉中单增李斯特菌的初始污染水平分布

Figure 1 Initial contamination level distribution of *Listeria monocytogenes* in raw pork

2.3.2 猪肉中单增李斯特菌的最终污染水平

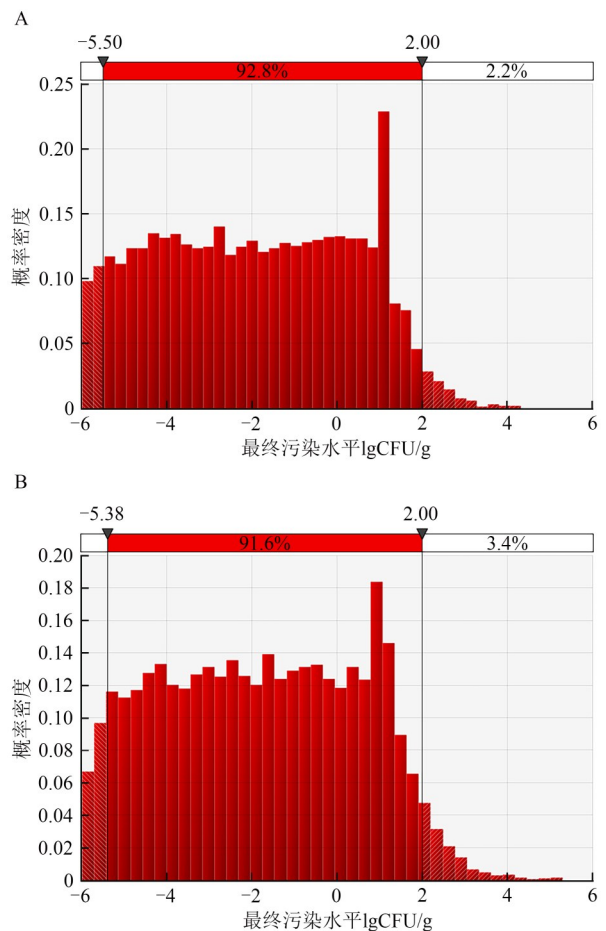
按照表 2 和表 3 输入变量,得到生猪肉经过了零售、运输和储存后单增李斯特菌的浓度。如图 2 所示,经过 3 个阶段的生长后,90% 冷鲜肉中单增李斯特菌污染水平为-5.50~1.54 lg CFU/g,平均值为-1.92 lg CFU/g;90% 热鲜肉单增李斯特菌污染水平为-5.38~1.73lg CFU/g,平均值为-1.77 lg CFU/g。欧盟委员会规定单增李斯特菌的食品安全目标(food safety objective, FSO)为 2 lg CFU/g^[38],以其作为风险阈值时,冷鲜肉和热鲜肉中单增李斯特菌污染超过阈值的概率分别为 2.2% 和 3.4%,存在交叉污染即食食品而致病风险。

2.3.3 厨房内生猪肉中单增李斯特菌污染即食品的情况

将表 3 中转移率和人群厨房卫生习惯调查等相关参数带入交叉污染模型并迭代 10 000 次,得出即食食品受冷鲜肉交叉污染导致每人每天摄入单增李斯特菌的量为 1.30 CFU,而热鲜肉交叉污染导致的每人每天摄入单增李斯特菌的量为 1.90 CFU。

2.4 风险特征描述

将受到交叉污染的即食食品中单增李斯特菌的量与剂量-反应关系模型结合,估计居民因进食受到单增李斯特菌污染的即食食品而导致的发病风险。结合即食食品的食用频率,得到冷鲜肉导致易感人群和非易感人群的年发病概率分别为 2.52×10⁻⁹和 2.61×10⁻¹¹,热鲜肉导致易感人群和非易感人群的年发病概率分别为 7.62×10⁻⁹和 6.86×10⁻¹¹。



注:A为冷鲜肉,B为热鲜肉,其95%置信水平分别为1.54和1.73 lg CFU/g

图 2 生猪肉中单增李斯特菌的最终污染水平

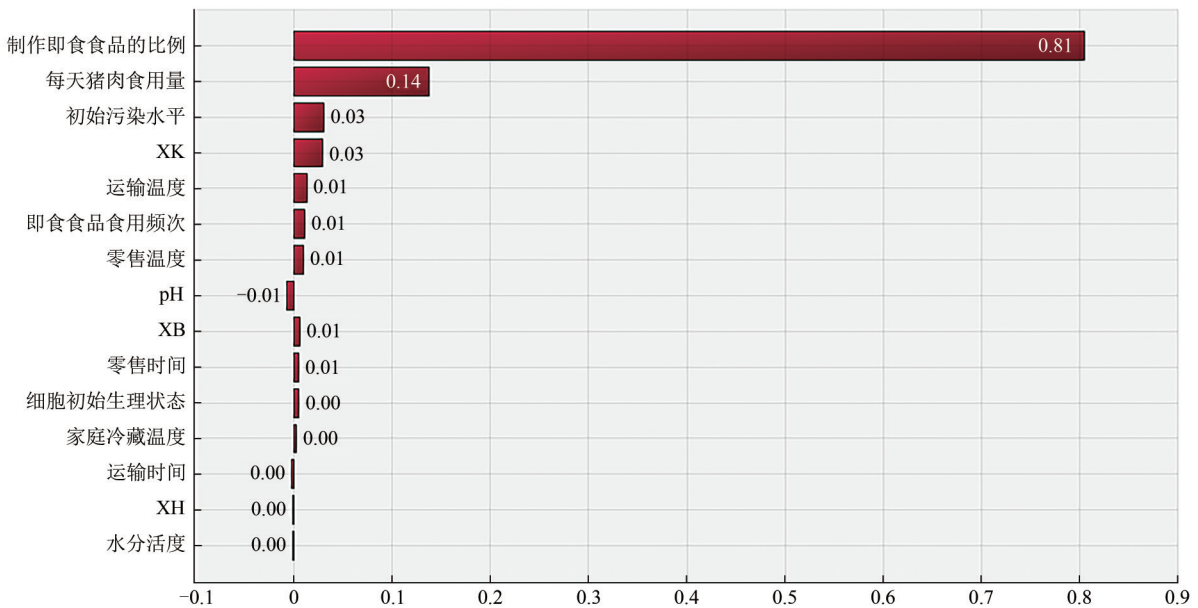
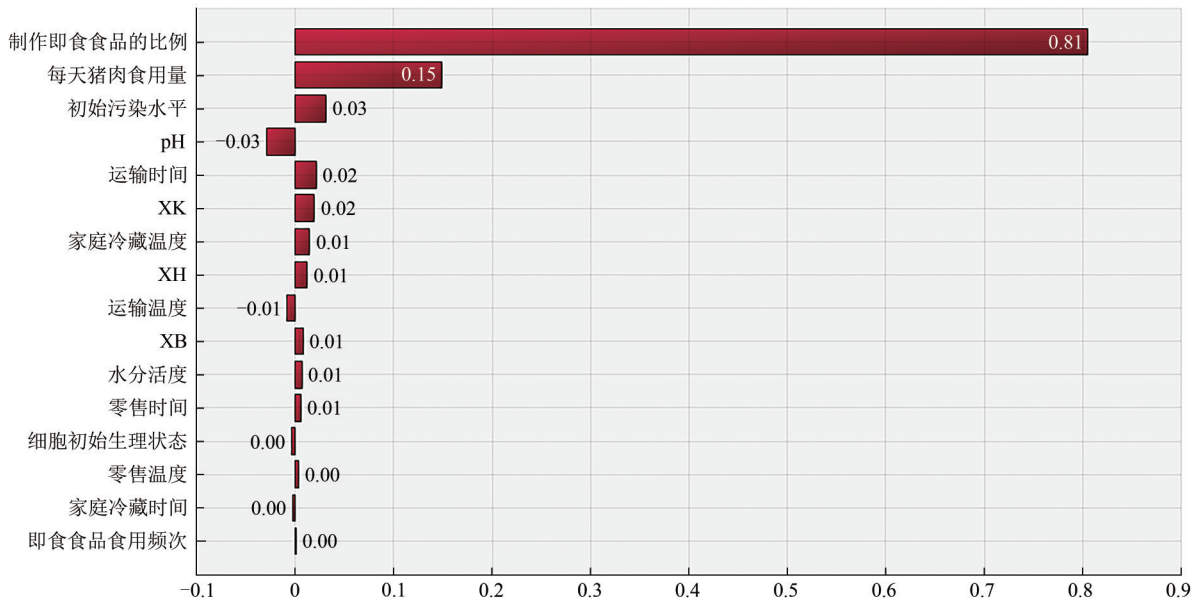
Figure 2 Final contamination levels of *Listeria monocytogenes* in raw pork

热鲜肉导致的发病风险约为冷鲜肉的3倍,易感人群发病风险约为非易感人群的97倍。

2.5 敏感性分析

采用 Spearman 相关分析,评估最终结果与各个参数的相关性,见图3。结果表明,无论是冷鲜肉还是热鲜肉,交叉污染风险最为相关的因素主要为处

理生猪肉后制作即食食品的比例、每天猪肉的食用量及猪肉中单增李斯特菌的初始污染水平等。这与贾华云等^[19]的研究基本一致,朱江辉等^[39]的研究也表明是否在加工生肉后制作凉菜是影响交叉污染的最关键因素,这符合交叉污染发生的客观规律。



注:上图为冷鲜肉;下图为热鲜肉

图3 人群健康风险的敏感性分析结果

Figure 3 Sensitivity analysis of population health risk

3 讨论

本研究结果显示,无论是冷鲜肉还是热鲜肉,生猪肉中单增李斯特菌经过零售、运输和存储三个阶段,其污染水平均有不同程度的增长。在假定同

样的初始水平下,热鲜肉的最终污染水平比冷鲜肉高,这与刘阳泰等^[10]的研究一致。但总体上湖北省市售猪肉在食用前的最终污染水平依然处于较低范围,远低于王凯等^[11]的研究结果。我国居民大多

无直接食用生鲜猪肉的习惯,因此本研究重点关注猪肉与即食食品交叉污染导致的发病风险。交叉污染是导致食源性疾病暴发的重要危险因素,而我国因生熟不分导致交叉污染事件的原因食品第一位为肉类^[40]。调查显示^[41],我国城乡居民在猪肉的处理过程中存在洗手不充分、刀具和砧板生熟不分及清洗不足等突出问题,因此,猪肉的消费过程中交叉污染问题不容忽视。此外,单增李斯特菌具有耐受极端条件的特性,且对消毒剂具有一定耐受性^[42],不易将其从食品加工环境中清除,一定程度上增加了交叉污染的风险。既往研究发现,发酵肉制品切片过程中的交叉污染导致最终产品中单增李斯特菌转移水平达到 $0.59 \pm 0.48 \log \text{CFU/g}$ ^[43],而江荣花等^[44]对低温乳化香肠交叉污染的暴露评估表明,无论是健康人群还是易感人群,交叉污染均使人群发病率结果明显提高。

本次风险评估结果表明,湖北省市售冷鲜肉和热鲜肉通过交叉污染导致的人群发病概率均较低,易感人群和非易感人群的年发病率分别为 $2.52 \times 10^{-9} \sim 7.62 \times 10^{-9}$ 和 $2.61 \times 10^{-11} \sim 6.86 \times 10^{-11}$ 。本次评估结果远低于北京市对李斯特菌病发病率的估计,其全人群和妊娠期人群发病率分别为0.25/10万人和12.89/10万人^[45]。不同人群的发病概率有所不同,易感人群的发病风险是非易感人群的97倍,这一点与宋夏等^[46]对上海市市售凉拌菜的风险评估结果一致。而热鲜肉由于在食用前的污染浓度较冷鲜肉高,最终相对冷鲜肉将导致更高的发病风险,评估结果表明热鲜肉交叉污染导致的发病风险是冷鲜肉的3倍。鉴于热鲜肉在我国肉类消费中占60%以上^[47],热鲜肉因单增李斯特菌污染导致的人群健康风险应该引起重视。

由于国内相关基础数据缺乏、风险评估模型不完善,本次风险评估部分采用假设数据或者国外已有的参数和模型,由此给评估结果带来一定的不确定性,主要表现为:①本研究假设热鲜肉和冷鲜肉的初始污染水平相同,但由于热鲜肉在屠宰后未经人工冷却阶段,故其在投放至零售市场时实际污染水平可能与冷鲜肉存在差异性;②本研究中居民猪肉消费量数据来自2012年中国居民健康与营养监测,调查显示2014年以后我国居民的人均猪肉消费量呈现下降趋势^[48],因此本研究可能会高估人群发病风险。③本次研究仅考虑了冷藏这一种家庭存储方式,且冷藏温度来自专家经验,而非真实测量结果,实际上由于不规范的冰箱使用行为,冷藏温度过高,人群发病风险被低估;④交叉污染模型和相关参数来自国外对猪肉中沙门菌的交叉污

染研究,转移率作为交叉污染模型中最重要参数,受到微生物种类、接触面材质及消费者的卫生习惯等因素的影响^[49],这都增加了评估结果的不确定性。

敏感性分析表明,处理生猪肉后制作即食食品的比例、每天猪肉食用量及生猪肉中单增李斯特菌的初始污染水平是影响人群发病风险的主要相关因素。单增李斯特菌普遍存在于自然界中,其对猪肉的污染可来自屠宰、运输到零售的各个环节,因此,建议加强对各个环节的卫生监管,从源头上降低生猪肉中单增李斯特菌的污染水平。其次,应加强食品卫生宣教,引导居民在猪肉的处理过程中注意防范交叉污染,制备即食食品前更换刀具或砧板,或者通过应用清洁剂、提高水温、延长清洗时间等方式确保清洁的彻底性。

参考文献

- [1] FAO/WHO. Risk assessment of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat foods, report Technical. Microbial risk assessment series 5 [EB/OL]. (2004-11-28) [2024-05-30]. <https://www.who.int/publications/i/item/9241562625>.
- [2] DE NOORDHOUT C M, DEVLEESSCHAUWER B, ANGULO F J, et al. The global burden of listeriosis: a systematic review and meta-analysis [J]. The Lancet Infectious Diseases, 2014, 14 (11): 1073-1082.
- [3] PRADHAN A K, IVANEK R, GROEHN Y T, et al. Quantitative risk assessment for *Listeria monocytogenes* in selected categories of deli meats: impact of lactate and diacetate on listeriosis cases and deaths [J]. Journal of Food Protection, 2009, 72(5): 978-989.
- [4] THÉVENOT D, DERNBURG A, VERNZOY-ROZAND C. An updated review of *Listeria monocytogenes* in the pork meat industry and its products [J]. Journal of Applied Microbiology, 2006, 101(1): 7-17.
- [5] 韩磊,王术坤. 2019年中国猪肉供需形势及2020年展望[J]. 农业展望, 2020, 16(4): 7-11.
HAN L, WANG S K. The supply and demand situation of pork in China in 2019 and outlook for 2020 [J]. Agricultural Outlook, 2020, 16(4): 7-11.
- [6] FANG C, SHAN Y, TONG C, et al. Prevalence and virulence characterization of *Listeria monocytogenes* in chilled pork in Zhejiang Province, China [J]. Foodborne Pathogens and Disease, 2016, 13(1): 8-12.
- [7] 张正东,张玲,王红,等. 自贡市2014年农贸市场食品中单增李斯特菌污染状况调查[J]. 实用预防医学, 2019, 26(3): 264-267.
ZHANG Z D, ZHANG L, WANG H, et al. Contamination of *Listeria monocytogenes* from food in farmers' markets in Zigong City, 2014 [J]. Practical Preventive Medicine, 2019, 26(3): 264-267.
- [8] 石奔,赵薇,杨修军,等. 2011—2019年吉林省市售食品中单增李斯特菌污染情况分析[J]. 食品安全质量检测学报,

- 2020, 11(23): 9046-9051.
- SHI B, ZHAO W, YANG X J, et al. Analysis of the contamination situation of *Listeria monocytogenes* in commercial foods in Jilin province in 2011—2019[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(23): 9046-9051.
- [9] CESARE A D, VALERO A, LUCCHI A, et al. Modeling growth kinetics of *Listeria monocytogenes* in pork cuts from packaging to fork under different storage practices [J]. *Food Control*, 2013, 34(1): 198-207.
- [10] 刘阳泰, 孙菀霞, 刘宝林, 等. 3种流通模式下生猪肉中单增李斯特菌的暴露评估[J]. *食品科学*, 2019, 40(1): 85-91.
- LIU Y T, SUN W X, LIU B L, et al. Quantitative exposure assessment of *Listeria monocytogenes* in raw pork under three transportation modes[J]. *Food Science*, 2019, 40(1): 85-91.
- [11] 王凯, 叶可萍, 白红武, 等. 冷却猪肉中单增李斯特菌的定量暴露评估[J]. *食品科学*, 2016, 37(11): 79-83.
- WANG K, YE K P, BAI H W, et al. Quantitative exposure assessment of *Listeria monocytogenes* in chilled pork [J]. *Food Science*, 2016, 37(11): 79-83.
- [12] YANG H, MOKHTARI A, JAYKUS L A et al. Consumer phase risk assessment for *Listeria monocytogenes* in deli meats [J]. *Risk Analysis: An International Journal*, 2006, 26(1): 89-103.
- [13] 张园园, 周聪, 郭依萍, 等. 肉及肉制品中单核细胞增生李斯特菌交叉污染的研究进展[J]. *食品科学*, 2022, 43(11): 293-300.
- ZHANG Y Y, ZHOU C, GUO Y P, et al. Recent Progress in Research on *Listeria monocytogenes* Cross-Contamination in Meat and Meat Products[J]. *Food Science*, 2022, 43(11): 293-300.
- [14] LIU Y T, SUN W X, SUN T M, et al. The prevalence of *Listeria monocytogenes* in meat products in China: a systematic literature review and novel meta-analysis approach [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2020, 312: 108358
- [15] JARVIS B. Sampling form icrob icrbiological analysis [M]. Gaithersburg, Maryland, USA: Aspen Publishers, 2000: 1727-1728
- [16] ECOSURE. 2007 cold temperature database[EB/OL]. (2008-10-15) [2022-05-22]. <http://foodrisk.org/exclusives/EcoSure/>.
- [17] 陈克建. 冷鲜肉加工与管理[J]. *肉类工业*, 2005, 26(7): 11-15.
- CHEN K J. Processing and management of chilled fresh meat [J]. *Meat Industry*, 2005, 26(7), 11-15.
- [18] 郭思宏. 家庭环境下的消费者食品安全行为评价研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- GUO S H. Consumers food safety behavior in the home environment evaluation Research[D]. Changchun: Jilin University, 2013.
- [19] 贾华云, 王晔茹, 王彝白纳, 等. 零售生鲜猪肉中沙门菌污染对居民健康影响的初步定量风险评估[J]. *卫生研究*, 2021, 50(4): 646-652, 664.
- JIA H Y, WANG Y R, WANG Y B N, et al. Preliminary quantitative risk assessment of the effect of *Salmonella* on human health in retail fresh pork [J]. *Journal of Hygiene Research*, 2021, 50(4): 646-652, 664.
- [20] 许小峰. 中国气象年鉴2017[M]. 北京: 气象出版社, 2017.
- XU X F. China Meteorological Yearbook 2017 [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2017.
- [21] BARANYI J, ROBERTS T A. Mathematics of predictive food microbiology [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 1995, 26(2): 199-218.
- [22] MCMEEKIN T A, CHANDLER R E, DOE P E, et al. Model for combined effect of temperature and salt concentration/water activity on the growth rate of *Staphylococcus xylosum* [J]. *Journal of Applied microbiology*, 1987, 62(6): 543-550.
- [23] BARANYI J, ROBERTS T A. A dynamic approach to predicting bacterial growth in food [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 1994, 23(3/4): 277-294.
- [24] ICMSF. Microorganisms in foods: characteristics of microbial pathogens[M]. London: Blackie Academic & Professional, 1996: 141-182.
- [25] KOUTSOUMANIS K P, KENDALL P A, SOFOS J N. A comparative study on growth limits of *Listeria monocytogenes* as affected by temperature, pH and aw when grown in suspension or on a solid surface [J]. *Food Microbiology*, 2004, 21(4): 415-422.
- [26] ZULIANI V, LEBERT I, AUGUSTIN J C, et al. Modelling the behaviour of *Listeria monocytogenes* in ground pork as a function of pH, water activity, nature and concentration of organic acid salts [J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2010, 103(3): 536-550.
- [27] ComBase. ComBasepredictor[EB/OL]. (2017-01-01)[2017-06-26]. <https://browser.combase.cc/>.
- [28] 樊文彬. 肉质的变化与细菌类型的探讨[J]. *现代畜牧科技*, 2017, 45(5): 4-5.
- FAN W B. Study on meat quality changes and bacterial types [J]. *Modern Animal Husbandry Science and Technology*, 2017, 45(5), 4-5.
- [29] 翁航萍, 徐雄新. 肉与肉制品的水分活度[J]. *肉类研究*, 2009, 23(5): 67-70.
- WENG H P, XU X X. Water activity in meat and meat products. *Meat Research*, 2009, 23(5): 67-70.
- [30] SWART A N, LEUSDEN F V, NAUTA M J. A QMRA model for *Salmonella* in pork products during preparation and consumption [J]. *Risk Analysis*, 2016, 36(3): 516-530.
- [31] HILL A, SIMONS R, RAMNIAL V, et al. Quantitative microbiological risk assessment on *Salmonella* in slaughter and breeder pigs [J]. *EFSA Supporting Publications*, 2010, 7(4): 46E.
- [32] 张黎, 朱江辉, 徐海滨, 等. 2015年中国居民家庭厨房内生肉加工行为现况调查[J]. *实用预防医学*, 2017, 24(3): 275-279, 290.
- ZHANG L, ZHU J H, XU H B, et al. (Year). Survey on raw meat handling practices in Chinese household kitchens, 2015[J]. *Practical Preventive Medicine*, 2017, 24(3): 275-279, 290.
- [33] 郑丽敏. 即食凉拌菜中单增李斯特菌的风险评估与管理[D]. 上海: 上海理工大学, 2012.
- ZHENG L M. Risk assessment and management of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat salads [D]. Shanghai: University of Shanghai for Science and Technology, 2012.
- [34] FAO/WHO. Risk assessment of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat foods, summaryinterpretative. *Microbial risk assessment*

- series 4 [EB/OL]. (2004-04-28)[2024-05-30]. http://www.fao.org/ag/agn/jemra/listeria_en.stm.
- [35] MCLAUCHLIN J, MITCHELL R T, SMERDON W J, et al. *Listeria monocytogenes* and listeriosis: a review of hazard characterisation for use in microbiological risk assessment of foods[J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 92(1): 15-33.
- [36] ABDOLLAHZADEH E, OJAGH S M, HOSSEINI H, et al. Predictive modeling of survival/death of *Listeria monocytogenes* in liquid media: bacterial responses to cinnamon essential oil, ZnO nanoparticles, and strain[J]. Food Control, 2017: S0956713516305588.
- [37] ABDIMOGHADAM Z, SHAMLOO E, MORTAZAVIAN A M, et al. Frequency of *Listeria* species in raw milk and traditional dairy products in Isfahan, Iran[J]. Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology, 2015, 10(3): 101-107.
- [38] Whiting R C. What risk assessments can tell us about setting criteria[J]. Food Control, 2011, 22(9): 1525-1528.
- [39] 朱江辉, 任鹏程, 徐海滨, 等. 中国鸡肉沙门菌厨房内交叉污染模型初探[J]. 中国食品卫生杂志, 2016, 28(3): 382-388.
- ZHU J H, REN P C, XU H B, et al. Preliminary model investigation of cross-contamination for chicken-*Salmonella* combination in kitchens of Chinese population [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2016, 28(3): 382-388.
- [40] 李雪原, 史一, 王尚敏, 等. 2010—2020年中国大陆生熟交叉污染导致食源性疾病暴发事件流行病学特征分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(5): 1016-1021.
- LI X Y, SHI Y, WANG S M, et al. Analysis on epidemic characteristics of foodborne diseases outbreaks with cross-contamination between raw and cooked food in China's Mainland from 2010 to 2020[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(5): 1016-1021.
- [41] 齐妍, 王齐, 王晔茹, 等. 南方3地区居民家庭猪肉消费行为调查与风险因素分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(2): 340-346.
- QI Y, WANG Q, WANG Y R, et al. Investigation on household pork consumption behavior and the analysis of risk factors in three areas of Southern China [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(2): 340-346.
- [42] BUCHANAN R L, GORRIS L G M, HAYMAN M M, et al. A review of *Listeria monocytogenes*: an update on outbreaks, virulence, dose-response, ecology, and risk assessments[J]. Food control, 2017, 75: 1-13.
- [43] POSSAS A, VALDRAMIDIS V, RM GARCÍA-GIMENO, et al. High hydrostatic pressure processing of sliced fermented sausages: a quantitative exposure assessment for *Listeria monocytogenes* [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2019, 52: 406-419.
- [44] 江荣花, 杜建萍, 崔昉, 等. 整合低温乳化香肠加工过程交叉污染的单增李斯特菌定量风险评估[J]. 食品科学, 2018, 39(23): 134-141.
- JIANG R H, DU J P, CUI Y, et al. Quantitative risk assessment of cross-contamination of *Listeria monocytogenes* during low-temperature emulsified sausage processing [J]. Food Science, 2018, 39(23): 134-141.
- [45] 姜金茹, 牛彦麟, 王同瑜, 等. 基于贝叶斯模型的北京市李斯特菌病发病率估计[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(5): 1054-1058.
- JIANG J R, NIU Y L, WANG T Y, et al. Estimates of incidence rate of listeriosis in Beijing based on Bayesian model [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(5): 1054-1058.
- [46] 宋夏, 蔡华, 徐碧瑶, 等. 上海市市售凉拌菜中单核细胞增生李斯特菌对居民健康影响半定量风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2020, 32(1): 77-82.
- SONG X, CAI H, XU B Y, et al. Semi-quantitative risk assessment on *Listeria monocytogenes* in retail Chinese salads for Shanghai residents[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2020, 32(1): 77-82.
- [47] 苗旺, 陆欢然, 孔凡春. 国内猪肉鲜销产品及工艺分析-热鲜肉与冷却肉[J]. 农产品加工, 2022(16): 84-87.
- MIAO W, LU H R, KONG F C. Fresh pork products and process analysis of hot fresh meat and chilled meat in China[J]. Farm Products Processing, 2022(16): 84-87.
- [48] 郭惠武. 中国猪肉消费现状和趋势分析[J]. 今日养猪业, 2018(4): 60-67.
- GUO H W. Analysis of Current Status and Trends in Pork Consumption in China [J]. Swine Industry Today, 2018(4): 60-67.
- [49] 王海梅, 董庆利, 朱江辉, 等. 厨房中食源性致病菌交叉污染的研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(6): 16-21.
- WANG H M, DONG Q L, ZHU J H, et al. Research progress of foodborne pathogens cross-contamination in the Kitchen [J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2014, 50(6): 16-21.