

## 风险评估

## 上海市禽肉中沙门菌流行特征、耐药分析和定量风险评估

蔡华,宋夏,徐碧瑶,邱丹萍,秦璐昕,杨京津,罗宝章,刘弘  
(上海市疾病预防控制中心,上海 200336)

**摘要:**目的 了解上海市禽肉中沙门菌污染及耐药情况,并定量评估其风险。方法 应用微生物风险评估的方法,通过危害识别、危害特征描述、暴露评估和风险特征4个步骤对禽肉中沙门菌进行风险评估。危害识别和危害特征描述资料来源于公开发表的文献、报告,结合沙门菌污染和禽肉消费量数据,应用Beta-Poisson剂量-反应模型和蒙特卡洛模拟进行暴露评估、风险特征描述。结果 上海市市售禽肉中沙门菌检出率为13.0%(68/522),78.2%(43/55)的沙门菌为耐药菌株,对氨苄西林、四环素和氨苄西林-舒巴坦的耐药率超过30%,多重耐药率达43.6%(24/55)。每次因食用禽肉发生沙门菌感染的概率为 $8.32 \times 10^{-5}$ ,每年因禽肉中沙门菌感染而致病的人数预期为25339例,其中耐药菌株感染人数19815例,多重耐药菌株感染人数11048例。敏感度分析显示影响较大的是初始污染浓度、每份消费量以及两项交叉污染参数。结论 上海市禽肉中沙门菌耐药水平较高,多重耐药程度严重,存在相对较高的健康风险。交叉污染是其致病风险的重要因素。

**关键词:**耐药沙门菌;禽肉;交叉污染;定量风险评估;蒙特卡洛模拟

中图分类号:R155

文献标识码:A

文章编号:1004-8456(2022)05-0990-07

DOI:10.13590/j.cjfh.2022.05.020

**Epidemic characteristics, drug-resistant analysis and quantitative risk assessment of  
*Salmonella* in poultry meat in Shanghai**

CAI Hua, SONG Xia, XU Biyao, QIU Danping, QIN Luxin, YANG Jingjin, LUO Baozhang, LIU Hong  
(Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200336, China)

**Abstract: Objective** To investigate the contamination and drug-resistant distribution of *Salmonella* in poultry meat in Shanghai and conduct a quantitative risk assessment. **Methods** According to the method of microbiological risk assessment, the risk assessment of *Salmonella* in poultry meat was carried out by four steps: hazard identification, hazard characterization, exposure assessment and risk characterization. The data for hazard identification and hazard characterization were derived from published scientific literatures and reports. Combining quantitative data of *Salmonella* with residents' consumption data of poultry meat, a Beta-Poisson dose-response model and Monte Carlo simulation method were applied to analyze the health risk. **Results** The contamination rate of *Salmonella* in poultry meat was 13.0% (68/522) in Shanghai and about 78.2% (43/55) of the isolates showed antimicrobial resistance. The resistance rate to ampicillin, tetracycline and ampicillin/sulbactam was over 30%. The multiple drug resistance rate was 43.6% (24/55). Estimated probability of infectious illness was  $8.32 \times 10^{-5}$ . That indicated the number of illnesses might reach 25339 cases every year, of which 19815 were infected by drug-resistant strains and 11048 were infected by multi-drug-resistant strains. Sensitivity analysis showed that the initial contamination concentration, consumption per serving and two cross-contamination parameters had greater impact. **Conclusion** A high level antimicrobial resistance was found among *Salmonella* isolates from poultry meat in Shanghai, so was the multi-drug resistance condition. The risk of *Salmonella* in poultry meat is relatively high for Shanghai population, and cross-contamination is one of the main factors.

**Key words:** Drug-resistant *Salmonella*; poultry meat; cross-contamination; quantitative risk assessment; Monte Carlo simulation

收稿日期:2022-03-09

基金项目:国家重点研发计划(2017YFC1600100);上海市公共卫生体系建设三年行动计划(2020-2022年)优秀人才培养计划(GWV-10.2-YQ21)

作者简介:蔡华 男 副主任医师 研究方向为食品安全风险监测与评估 E-mail:caihua@scdc.sh.cn

通信作者:刘弘 男 主任医师 研究方向为食品安全风险监测与评估 E-mail:liuhong@scdc.sh.cn

罗宝章 男 副主任医师 研究方向为食品安全风险监测与评估 E-mail:luobaozhang@scdc.sh.cn

沙门菌是全球最重要的食源性致病菌之一。在美国,沙门菌每年导致约 120 万例病例、23 000 例住院治疗和 450 例死亡<sup>[1]</sup>。2013—2017 年,欧洲由沙门菌导致的食源性疾病病例数占有食源性疾病暴发总数的 24.4%,仅次于弯曲菌属<sup>[2]</sup>。我国食源性疾病暴发事件案例中微生物性食源性疾病比例最高,占历年总中毒人数的 42.3%,其中,22.0% 细菌性食源性疾病是由沙门菌引起的,仅次于副溶血性弧菌<sup>[3]</sup>。食源性沙门菌感染与多种食物有关,欧盟的监测中肉与肉制品污染导致的病例占 84.3%。我国食源性沙门菌病例中,由食用畜禽肉引起的发病人数占 54%<sup>[4]</sup>。此外,随着养殖过程中抗生素的大量使用,人们对禽源耐药沙门菌的食源性传播表示担忧。我国监测数据表明,耐受 3 种及 3 种以上抗生素的多重耐药(Multi-drug resistance, MDR)沙门菌株比例从 20 世纪 90 年代的 30% 增至 21 世纪初的 70%<sup>[5]</sup>。

微生物风险评估(Microbiological risk assessment, MRA)是当今国际食品安全领域广泛应用的一种工具。它通过对因食用特定食品而感染特定微生物,从而对人体健康产生的不良后果进行综合地识别、确认以及定性和定量评价,估计最终发生食物中毒的概率<sup>[6]</sup>。近几年,国内外对食物链中耐药细菌风险评估的研究很少,本研究拟基于传统微生物风险评估理论,尝试运用危害识别、危害特征描述、暴露评估和风险特征描述 4 个步骤,并结合本市禽肉中沙门菌检测结果、耐药情况和居民消费量数据,进行禽肉中沙门菌的定量风险评估,对耐药菌株感染人数进行估算。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

禽肉中沙门菌检测结果和耐药情况来自 2015—2018 年上海市食品安全风险监测资料,共采集样品 522 件,包括鸡肉、鸭肉、其他禽肉 3 类。采样地点包括农贸市场、超市、网店和餐饮店等不同场所。居民禽肉消费量数据来源于上海市疾病预防控制中心 2009 年开展的上海市居民消费量调查,人口数据采用上海市第六次人口普查结果。

### 1.2 评估方法

采用风险评估软件@Risk 7(美国 Palisade 公司)建立评估模型,以概率分布函数表示变量的不确定值。模拟时采用拉丁超立方体抽样(Latin hypercube sampling, LHS)方法,一次模拟包括 10 000 次运算。构建从零售到消费过程沙门菌污染水平的变化模型并对致病概率进行评估,同时对结果进行

Spearman 等级相关分析,寻找控制风险的关键因素。

## 2 结果

### 2.1 危害识别

沙门菌是兼性厌氧、无芽孢的革兰氏阴性肠道杆菌,生长温度范围较宽,在 8℃~45℃ 均能生长,最适宜生长温度为 37℃,最适 pH 值为 6.8~7.8,对理化因素的抵抗力较差,55℃ 1h 或湿热 65℃ 15~30 min 即可失活<sup>[7]</sup>。沙门菌感染引起的症状分为 5 种类型:胃肠炎型、霍乱型、败血症型、类伤寒型、感冒型,其中以胃肠炎型为主<sup>[8]</sup>。全球每年感染沙门菌导致急性胃肠炎的病例数为 9 380 万人,其中 8 030 万人为食源性感染<sup>[9]</sup>。中国每年沙门菌引起的急性肠胃炎病例达近千万人次,其中约 90% 是食源性感染<sup>[10]</sup>。上海市食源性沙门菌感染的估计每年发病人数为 15.78 万<sup>[11]</sup>。家禽和家禽产品被认为是沙门菌向人类传播的主要载体。研究发现我国零售禽肉中沙门菌污染远高于美国和欧盟国家,其中 81.30% 的沙门菌分离株对至少一种抗生素具有抗药性,32.25% 的分离株至少对 3 种抗生素耐药<sup>[12]</sup>。耐药性沙门菌,特别是多重耐药(Multidrug resistant, MDR)菌株的出现和传播越发成为当前主要的公共卫生问题之一。

### 2.2 危害特征描述

沙门菌可通过粪-口途径传播,有一定的侵袭力和毒力,可引发急性胃肠炎、慢性肠炎、败血症甚至其他化脓性炎症。沙门菌可形成生物膜,提升其对环境因素(温度、pH 等)以及抗菌剂的耐受性<sup>[13]</sup>。耐药性对暴露结果有两方面影响:其一可能会导致细菌毒力的变化;其二是由于长期与抗生素接触产生细菌耐药性,从而影响治疗效果<sup>[14]</sup>。人通过进食或接触等途径感染沙门菌时,不同血清型或不同人群的感染剂量不同。常用的剂量-反应关系模型多通过人体试食实验数据和人群沙门菌病暴发数据进行拟合获得,模型类型包括指数模型、Beta-Poisson 模型和韦布-伽马模型等。2002 年联合国粮食及农业组织/世界卫生组织在评估中采用了 Beta-Poisson 模型<sup>[15]</sup>。

### 2.3 暴露评估

#### 2.3.1 禽肉中沙门菌污染水平

2015—2018 年共采集鸡肉、鸭肉和其他等禽肉 522 件。从 68 件样品中分离出沙门菌,总检出率为 13.0%。不同种类的检出率由高到低为鸭肉 16.0% (24/150)、鸡肉 12.0% (41/341) 和其他禽肉 9.7% (3/31)。冷冻样品检出率为 17.2% (23/134),高于

冰鲜 11.8%(18/153)和新鲜 11.5%(27/235)样品。不同地点的检出率由高到低为餐饮店 18.8%(6/32)、网店 14.6%(6/41)、超市 13.0%(25/192)和农贸市场 12.1%(31/257)。从时间上看,2018年的检出率最高,为 19.4%(31/160);2016年最低,为 7.7%(8/104)。第三季度的检出率最高,为 16.2%(35/216);四季度的最低,为 9.9%(15/152),详见表 1。

表1 上海市禽肉中沙门菌污染水平

Table 1 The prevalence of *Salmonella* in poultry meat in Shanghai

分类	样品数量/n	阳性检出/n	检出率/%
样品种类			
鸡肉	341	41	12.0
鸭肉	150	24	16.0
其他禽肉	31	3	9.7
样品状态			
新鲜	235	27	11.5
冰鲜	153	18	11.8
冷冻	134	23	17.2
采样地点			
农贸市场	257	31	12.1
超市	192	25	13.0
网店	41	6	14.6
餐饮店	32	6	18.8
采样年份			
2015年	198	21	10.6
2016年	104	8	7.7
2017年	60	8	13.3
2018年	160	31	19.4
采样季度			
一季度	20	3	15.0
二季度	134	15	11.2
三季度	216	35	16.2
四季度	152	15	9.9
合计	522	68	13.0

### 2.3.2 禽肉中沙门菌血清型分布

从禽肉中沙门菌分离株的血清分型结果看,血清型呈现多样化趋势。优势血清型为肠炎沙门菌(27.9%, 19/68)和鼠伤寒沙门菌(25.0%, 17/68),其中鸡肉中为肠炎沙门菌(36.6%, 15/41),鸭肉中为鼠伤寒沙门菌(50.0%, 12/24),详见表 2。

### 2.3.3 禽肉中沙门菌耐药性分布

对其中 55 株沙门菌开展抗生素敏感性测试,其中 43 株(78.2%)为耐药菌株,对 14 种抗生素呈现不同程度的耐药。其中耐药率超过 30% 的从高到低依次为氨苄西林(47.3%, 26/55)、四环素(45.5%, 25/55)和氨苄西林-舒巴坦(32.7%, 18/55);4 种抗生素的耐药率低于 10%,分别为头孢他啶(9.1%, 5/55)、头孢西丁(5.5%, 3/55)、阿奇霉素(5.5%, 3/55)和亚胺培南(3.6%, 2/55)。多重耐药 MDR( $\geq 3$ 种)菌株共有 24 株,占比 43.6%,部分菌株对 6 种及以上抗生素耐药,占 25.5%,详见表 3。

表2 禽肉中沙门菌菌株血清型分布

Table 2 Proportion of serotypes of poultry meat origin

*Salmonella* strains

血清型	鸡肉	鸭肉	其它禽肉	总计(构成比/%)
肠炎沙门菌( <i>S. enteritidis</i> )	15	4	0	19(27.9)
鼠伤寒沙门菌( <i>S. typhimurium</i> )	4	12	1	17(25.0)
印第安纳沙门菌( <i>S. indiana</i> )	3	2	0	5(7.4)
肯塔基沙门菌( <i>S. kentucky</i> )	2	2	0	4(5.9)
科特布斯沙门菌( <i>S. kottbus</i> )	1	2	0	3(4.4)
科瓦利斯沙门菌( <i>S. corvallis</i> )	3	0	0	3(4.4)
阿贡纳沙门菌( <i>S. agona</i> )	2	0	0	2(2.9)
德尔卑沙门菌( <i>S. derby</i> )	1	1	0	2(2.9)
波茨坦沙门菌( <i>S. potsdam</i> )	1	0	1	2(2.9)
汤卜逊沙门菌( <i>S. thompson</i> )	2	0	0	2(2.9)
胥伐成格隆( <i>S. schwarzengrund</i> )	1	1	0	2(2.9)
斯坦利沙门菌( <i>S. stanley</i> )	1	0	0	1(1.5)
巴累利沙门菌( <i>S. bareilly</i> )	1	0	0	1(1.5)
姆班达卡沙门菌( <i>S. mbandaka</i> )	1	0	0	1(1.5)
病牛沙门菌( <i>S. bovis</i> )	1	0	0	1(1.5)
科瓦利斯沙门菌( <i>S. corvallis</i> )	1	0	0	1(1.5)
伊迪坎沙门菌( <i>S. idikan</i> )	0	0	1	1(1.5)
其他	1	0	0	1(1.5)
总计	41	24	3	68(100.0)

表3 禽肉中沙门菌药敏试验结果

Table 3 Antimicrobial susceptibility of origin *Salmonella*

strains in poultry meat

抗生素	耐药菌株数/n	耐药率/%
氨苄西林	26	47.3
四环素	25	45.5
氨苄西林-舒巴坦	18	32.7
头孢唑林	15	27.3
氯霉素	14	25.5
萘啶酸	12	21.8
甲氧苄啶/磺胺甲噁唑	12	21.8
头孢噻肟	10	18.2
庆大霉素	8	14.5
环丙沙星	8	14.5
头孢他啶	5	9.1
头孢西丁	3	5.5
阿奇霉素	3	5.5
亚胺培南	2	3.6
耐药 DR( $\geq 1$ 种)	43	78.2
多重耐药 MDR( $\geq 3$ 种)	24	43.6
多重耐药 MDR( $\geq 6$ 种)	14	25.5
多重耐药 MDR( $\geq 11$ 种)	0	0.0

### 2.3.4 上海市居民禽肉的消费量及频率

消费量调查结果显示,上海市居民食用禽肉产品的消费比例为 90.7%,平均消费频次为 112.3 次/年,约为每周 2 次,平均每次食用量为 88.9 g。

### 2.3.5 零售至烹饪过程中沙门菌生长失活参数设置

零售环节采用贝塔分布的形式描述禽肉中沙门菌的污染率的不确定性。公式为  $Beta(s+1, n-s+1)$ ,其中  $n$  表示总样品数, $s$  表示阳性样品数<sup>[16]</sup>,即  $Beta(69, 455)$ 。由于本市尚未积累足够的沙门菌定量检测数据,浓度参数参照北京的一项研究<sup>[17]</sup>。

针对从零售环节购买后运输到家庭这个过程

禽肉中沙门菌的生长变化,模型应该考虑诸多环境影响因素,如温度、水分活度和 pH 值。相关研究<sup>[18-19]</sup>表明鸡肉的 pH 值范围为 5.7~5.9,水分活性范围为 0.98~0.99。根据 2016 年上海市统计年鉴<sup>[20]</sup>月度平均气温数据,以 Pert 分布模拟运输温度分布情况: Pert(6,17,28)。运输时间根据一项调查研究设置为 10 min 以内到 2 h 不等<sup>[21]</sup>。

同运输过程一样,家庭储存同样需要考虑沙门菌在不同温度、水分活度和 pH 值下的生长情况。根据国内和本市的专项调查结果<sup>[22]</sup>,禽肉保存时间和方式为 1~14 d 冷冻,6~24 h 冷藏,0~6 h 室温。同时在模型中设置-0.75% 的相关系数,以确保高温和较长储藏时间的组合无法实现(该情况下禽肉腐败不可食用)。

在烹饪环节中,较低的烹饪温度和较短的烹饪

时间可能导致未烧熟煮透的禽肉中仍有活菌残留。一般而言根据国内的烹饪习惯无论是蒸、煮、烤、炒等,禽肉中心温度均已超过 70 °C,合理烹饪均可杀灭所有沙门菌。本研究参考 WHO 相关研究<sup>[15]</sup>,模拟了未合理烹饪(如火锅等方式)时沙门菌失活的过程。具体参数设置详见表 4。

### 2.3.6 沙门菌交叉污染参数设置

交叉污染是生肉在处理 and 备餐阶段公认的危险因素。交叉污染过程模拟一般为 2 类参数:交叉污染发生的可能性;沙门菌从生肉到熟肉的传递率。本研究参照朱江辉等<sup>[23]</sup>2016 年构建的中国鸡肉沙门菌厨房内交叉污染模型,结合本市调查结果,分析生禽肉中沙门菌通过交叉污染手和案板,最终传递入口的可能性和菌量。具体参数设置详见表 4。

表 4 禽肉中沙门菌的定量风险评估模型参数

Table 4 Parameters for quantitative risk assessment of drug-resistant *Salmonella* in poultry meat

变量	变量说明	单位	公式及代码	数据来源
输入变量				
P0	零售环节禽肉中沙门菌检出率		Beta(69,455)	本研究
N0	阳性样品中沙门菌的污染水平	lg CFU/g	Cumulative(-1.495,0.74,{-1.495,0.075,0.740}, {0.1,0.5,0.9})	文献[17]
t_trans	运输时间	h	Discrete({Uniform(0,0.16),Uniform(0.16,0.33), Uniform(0.33,0.50),Uniform(0.5,2)},{0.45,0.25,0.1,0.02})	文献[21]
Temp_t	运输温度	°C	Pert(6,17,28)	文献[20]
t_home1	储藏时间 1	h	Uniform(0,6)	本研究 and 文献[22]
t_home2	储藏时间 2	h	Uniform(6,24)	本研究 and 文献[22]
t_home3	储藏时间 3	h	Uniform(24,336)	本研究 and 文献[22]
Temp_c	储藏温度	°C	Pert(6,17,28), 4, -20	文献[20]
P_AC	未烹饪完全的禽肉比例		Pert(0.01,0.02,0.05)	文献[15]
Time_Prot	烹饪过程细菌暴露的时间	min	Pert(0.5,1,1.5)	文献[15]
Temp_Pro	烹饪过程细菌暴露的温度	°C	Pert(60,64,65)	文献[15]
D_Pro	热失活参数 D 值		10 <sup>-1</sup> (-0.139*Temp_Pro+8.58)	文献[24]
LGR	沙门菌的生长速率	lg CFU/g/h	EXP(-6.225 1-[0.011 4×1.9%]+[0.323 4×Temp]+[0.002× {1.9×Temp}][0.008 5×1.9%^2]-[0.004 5×Temp^2])	文献[25]
N1	烹饪前沙门菌的污染水平	lg CFU/g	IF(Temp <10, N0, LGR×t)	
N2	烹饪后沙门菌的污染水平	lg CFU/g	N1- Time_Prot/ D_Pro	
p_WH	处理生禽肉后洗手的概率		Discrete({0,1},{249,1}); 0=洗手, 1=不洗手	本研究 and 文献[23]
t_CH	沙门菌从生禽肉到手的传递率		Beta(1.78, 41.1)	本研究 and 文献[23]
t_HS	沙门菌从手到熟肉的传递率		Beta(0.6,2.3)	本研究 and 文献[23]
P_CB	处理生禽肉后更换案板或菜刀的的概率		Discrete({0,1},{397,589}); 0=更换, 1=不更换	本研究 and 文献[23]
t_CB	沙门菌从生禽肉到案板或菜刀的传递率		(10 <sup>-1</sup> Norm(0.098,0.606))/100	本研究 and 文献[23]
t_CS	沙门菌从案板或菜刀到熟肉的传递率		(10 <sup>-1</sup> (Norm(1.535,0.32)))/100	本研究 and 文献[23]
N3	交叉污染发生后的细菌量	lg CFU/g	(p_WH×t_CH×t_HS+p_CB×t_CB×t_CS)×N0	
C	禽肉的每份消费量	g	Pert(50, 89, 150)	本研究
P_ill	每次消费禽肉导致沙门菌感染的概率		1-[1+C×(N2+N3)/51.45] <sup>-1</sup> (-0.132 4)	文献[15]
输出变量				
N1; P_ill				

### 2.4 风险特征描述

#### 2.4.1 疾病发生概率估计

用拉丁超立方体抽样方法,通过 10 000 次迭代

估算每次消费禽肉感染沙门菌风险的概率分布。结果显示,本市居民每次食用禽肉发生沙门菌感染的概率为  $8.32 \times 10^{-5}$ ,见图 1。

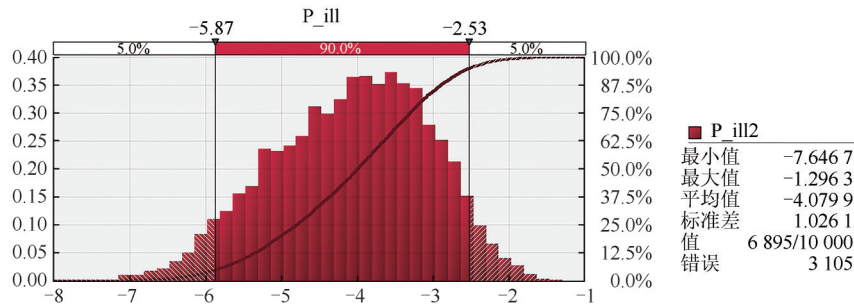


图1 每份禽肉中沙门菌致病概率分布模拟

Figure 1 Fitting distribution of final contamination level of *Salmonella* in poultry meat

结合上海市人口统计数据 and 消费量调查数据,估算出发病率为 121.42 例/10 万,上海每年因禽肉中沙门菌感染而致病的人数预期为 25 339 例,其中耐药菌株感染人数 19 815 例,多重耐药菌株感染人数 11 048 例。

#### 2.4.2 敏感度分析

敏感度分析是风险评估的重要组成部分,用于分析评估模型中产生的各变量参数对于模型结果的影响,以获得降低风险的有效控制措施。通

过运用 Spearman 等级相关分析,按照相关性排序生成的相关龙卷风图形,可表示哪个风险因素对输出结果变量的影响最大,相关系数在-1(完全负相关)和 1(完全正相关)之间。图 2 显示每份禽肉中沙门菌致病概率与模型变量之间的 Spearman 等级相关分析。结果显示影响较大的主要是初始的污染浓度、每份消费量以及两项交叉污染参数,提示交叉污染是禽肉中沙门菌致病风险的重要因素。

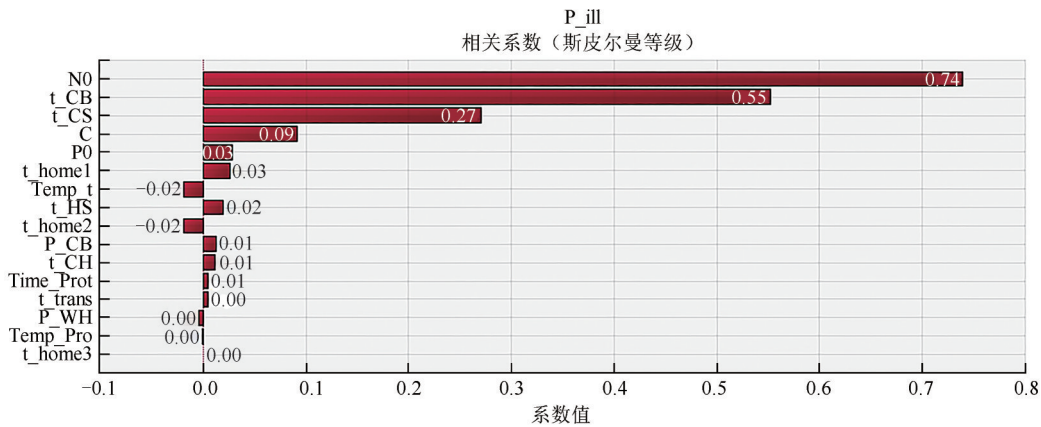


图2 敏感度分析

Figure 2 Sensitive analysis

### 3 讨论

本研究中沙门菌检出率为 13.0% (68/522),高于本市 2010 年的报道 7.5% (9/120)<sup>[26]</sup>,低于北京 52.6% (10/19)<sup>[17]</sup>、黑龙江 15.9% (43/270)<sup>[27]</sup>等地的研究。本研究中沙门菌检出率 3 季度最高,与国内外相关报道<sup>[28-29]</sup>基本一致,与气温较高适宜微生物增殖相关;冷冻禽肉中沙门菌检出率高于冰鲜和新鲜禽肉,与 WHO 评估报告<sup>[15]</sup>中描述的冷冻产品检出率高于冰鲜产品一致,但也与多项研究<sup>[28,30]</sup>相反,一般而言,沙门菌无法在低温环境繁殖增长,冷却

是禽肉加工抑菌的关键步骤,但并不会显著降低阳性率,只能降低污染浓度<sup>[31]</sup>,而部分冷冻产品可能由于加工条件较差、储藏时间长,反而增加了交叉污染的风险。耐药菌株比例(78.2%, 43/55)高于同期全国平均(72.7%),高于 2011 年上海等<sup>[32]</sup>地沙门菌的耐药情况(65.4%),提示随着抗生素在养殖业持续且广泛的应用,细菌耐药性的产生增加了临床药物治疗失败的风险和疾病负担。

目前国内外对食品中耐药细菌的风险评估研究很少,仅有部分针对食品中沙门菌的定量风险评估,

如闫军等<sup>[27]</sup>通过暴露评估提示我国居民每餐发生鸡源性非伤寒沙门菌食物中毒的风险为 0.171,而 FAO/WHO 2002 年的风险评估结果显示鸡肉中沙门菌致病概率为  $1.13 \times 10^{-5}$ 。南京市的一项评估显示鸡肉中沙门菌引起胃肠炎的发病概率为  $2.07 \times 10^{-4} \sim 2.99 \times 10^{-4}$ ,本研究的结果介于二者之间。对比由医院监测推算的病例数(15.78 万)<sup>[11]</sup>,假设 13.3%~19.0%<sup>[33-34]</sup>的病例由禽肉中沙门菌导致,结果基本相符。本研究根据沙门菌的耐药比例,推算了耐药沙门菌感染病例数量,为进一步估算耐药沙门菌的疾病负担(如病程、经济负担等)提供了依据。

微生物本身的特点决定了微生物风险评估的复杂性,在模型每一个环节都存在变异性和不确定性<sup>[35]</sup>,例如沙门菌污染的菌落水平缺乏本市数据,直接引用文献有一定的不确定性;运输和储藏的温度分布无法准确获取,选取本市月度平均气温作为参数估计;交叉污染模型的构建非常困难,禽肉在家庭中处理的实际过程更加复杂,除了模型中涉及的刀具、案板和手的途径,还可能有更多交叉污染途径甚至多重交叉污染的可能,这方面可能存在一定程度的低估;耐药菌的分布比例、生长模型参数和致病剂量可能代表性不够全面,在人体宿主肠道内也会有耐药基因转移的风险<sup>[36]</sup>。

本研究根据监测和调查数据,借鉴国际上较为成熟的评估模式,应用预测微生物模型和交叉污染模型,尝试构建沙门菌从零售到餐桌阶段的风险评估模型,同时对耐药菌株感染人数进行估算,描述了禽肉中沙门菌对人群健康的不良效应和关键控制措施。一方面为食品安全监管提供了科学依据,另一方面也提供了一个可借鉴的评估框架,客观估计了上海市食用禽肉感染耐药沙门菌的风险。未来结合更加准确的生长模型和其他新资料,可获得更加准确的评估结论。

## 参考文献

- [1] SCALLAN E, HOEKSTRA R M, ANGULO F J, et al. Foodborne illness acquired in the United States—Major pathogens [J]. *Emerging Infectious Diseases*, 2011, 17(1): 7-15.
- [2] European Food Safety Authority, European Centre for Disease Prevention and Control. The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2017[J]. *EFSA Journal*, 2018, 16(12): e05500.
- [3] LI W W, PIRES S M, LIU Z T, et al. Surveillance of foodborne disease outbreaks in China, 2003—2017 [J]. *Food Control*, 2020, 118: 107359.
- [4] 赵怀龙,付留杰,唐功臣.我国主要的食源性致病菌[J]. *医学动物防制*, 2012, 28(11): 1212-1216.  
ZHAO H L, FU L J, TANG G C. Main foodborn pathogens in our country [J]. *Journal of Medical Pest Control*, 2012, 28(11): 1212-1216.
- [5] 郭云昌,刘秀梅.市售鸡肉中沙门菌分离株多重耐药谱测定[J]. *中国食品卫生杂志*, 2005, 17(2): 100-103.  
GUO Y C, LIU X M. Characterization of multiple-antimicrobial-resistant *Salmonella* isolated from retail chicken in China [J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2005, 17(2): 100-103.
- [6] Codex Alimentarius Commission. Principles and guidelines for the conduct of microbiological risk assessment [J]. CAC/GL-30, 1999.
- [7] 张玉.山东省肉鸡中沙门氏菌的定量风险评估[D].济南:山东大学, 2015.  
ZHANG Y. Quantitative risk assessment of *Salmonella* in poultry in Shandong province [D]. Jinan: Shandong University, 2015.
- [8] 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, 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.
- [9] 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.
- [10] 毛雪丹,胡俊峰,刘秀梅.用文献综述法估计我国食源性非伤寒沙门氏菌病疾病负担[J]. *中华疾病控制杂志*, 2011, 15(7): 622-625.  
MAO X D, HU J F, LIU X M. Estimation on disease burden of foodborne non-typhoid salmonellosis in China using literature review method [J]. *Chinese Journal of Disease Control & Prevention*, 2011, 15(7): 622-625.
- [11] 罗宝章,段胜钢,蔡华,等.上海市非伤寒沙门菌感染的流行病学负担概率估计[J]. *中国食品卫生杂志*, 2018, 30(1): 12-17.  
LUO B Z, DUAN S G, CAI H, et al. Epidemiological burden estimates of nontyphoidal *Salmonella* infection in Shanghai [J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2018, 30(1): 12-17.
- [12] LI Y, PEI X Y, ZHANG X L, et al. A surveillance of microbiological contamination on raw poultry meat at retail markets in China [J]. *Food Control*, 2019, 104: 99-104.
- [13] 刘素可,张彪,路娟娥,阮海华.沙门氏菌在食品中的生存策略及其防控的研究进展[J]. *食品科学*, 2022, 43(13): 218-226.  
LIU S K, ZHANG B, LU J E, et al. Research progress on survival strategies and hazard control of *Salmonella* in foods [J]. *Food Science*, 2022, 43(13): 218-226.
- [14] TRAVERS K, MICHAEL B. Morbidity of infections caused by antimicrobial-resistant bacteria [J]. *Clinical Infectious Diseases*, 2002, 34(Supplement\_3): S131-S134.
- [15] CAHILL S. Risk assessments of *Salmonella* in eggs and broiler chickens [J]. *Food Nutrition and Agriculture*, 2002(31): 62-70.
- [16] VOSE D. Risk analysis: A quantitative guide [M]. New York: John Wiley & Sons, 2008: 401-462.
- [17] 胡豫杰,王晔茹,李凤琴.北京部分市售整鸡中沙门菌和弯曲菌协同定量污染研究[J]. *卫生研究*, 2015, 44(1): 68-72, 76.

- HU Y J, WANG Y R, LI F Q. Study on simultaneous contamination of *Salmonella* and *Campylobacter* in retail chicken carcasses in Beijing[J]. Journal of Hygiene Research, 2015, 44(1): 68-72, 76.
- [18] Campden & Chorleywood Food Research Association Group (CCFRA). Evaluating the growth and survival of *Salmonella* on chicken at chilled storage temperatures [DB/OL]. (2003-1-1) [2021-12-21]. <https://www.nal.usda.gov/research-tools/food-safety-research-projects/evaluating-growth-and-survival-salmonella-chicken>.
- [19] ICMSF. Microorganisms in Food 5: Microbiological specifications of food pathogens [M]. London: Blackie Academic and Professional, 1996: 426-435.
- [20] 上海市统计局. 2005-2016年上海市统计年鉴[EB/OL]. (2018-02-21)[2022-04-02]. <http://www.stats-sh.gov.cn/data/release.shtml>. Shanghai Provincial Bureau of Statistics. 2005-2016 Shanghai tongji nianjian [EB/OL]. (2018-02-21) [2022-04-02]. <http://www.stats-sh.gov.cn/data/release.shtml>.
- [21] 赵泽慧. 不同类型生鲜食品店可达性对家庭食物保障程度的影响研究: 以南京市为例[D]. 南京: 南京大学, 2019. ZHAO Z H. Study on the impact of accessibility of different types of fresh food stores on food security in households—A case study of Nanjing City[D]. Nanjing: Nanjing University, 2019.
- [22] 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. Raw meat processing behavior in household kitchens of residents in China, 2015: A cross-sectional study [J]. Practical Preventive Medicine, 2017, 24(3): 275-279, 290.
- [23] 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.
- [24] NG H, BAYNE H G, GARIBALDI J A. Heat resistance of *Salmonella*: The uniqueness of *Salmonella senftenberg* 775W [J]. Applied Microbiology, 1969, 17(1): 78-82.
- [25] OSCAR T P. Validation of a tertiary model for predicting variation of *Salmonella typhimurium* DT104 (ATCC 700408) growth from a low initial density on ground chicken breast meat with a competitive microflora [J]. Journal of Food Protection, 2006, 69(9): 2048-2057.
- [26] 郑雷军, 王颖, 彭少杰, 等. 2010年上海市市售食品中食源性致病菌监测结果分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2012, 24(3): 264-267. ZHENG L J, WANG Y, PENG S J, et al. Analysis on monitoring data of pathogenic bacteria contamination in food from Shanghai markets in 2010 [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2012, 24(3): 264-267.
- [27] 闫军, 遇晓杰, 王开利, 等. 零售生鸡肉中沙门菌污染对居民健康影响的暴露评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2016, 28(5): 671-676. YAN J, YU X J, WANG K L, et al. Quantitative microbiological risk assessment for *Salmonella* contamination in raw chicken from retail to table [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2016, 28(5): 671-676.
- [28] 闫琳, 裴晓燕, 宋筱瑜, 等. 2014年中国15省(自治区、直辖市)市售生畜肉中常见食源性致病菌污染状况研究[J]. 卫生研究, 2018, 47(3): 498-501, 511. YAN L, PEI X Y, SONG X Y, et al. Analysis on common foodborne pathogens contamination in retail raw livestock meat in 15 provinces of China in 2014 [J]. Journal of Hygiene Research, 2018, 47(3): 498-501, 511.
- [29] MAMBER S W, MOHR T, LEATHERS C, et al. Occurrence of *Salmonella* in ready-to-eat meat and poultry product samples from US department of agriculture-regulated producing establishments. I. results from the ALLRTE and RTE001 random and risk-based sampling projects, from 2005 to 2012 [J]. Journal of Food Protection, 2018, 81(10): 1729-1736.
- [30] YANG J X, ZHANG Z F, ZHOU X J, et al. Prevalence and characterization of antimicrobial resistance in *Salmonella enterica* isolates from retail foods in Shanghai, China [J]. Foodborne Pathogens and Disease, 2020, 17(1): 35-43.
- [31] 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.
- [32] 刘红莲. 我国部分地区非伤寒沙门菌感染性腹泻监测系统数据分析[D]. 北京: 中国疾病预防控制中心, 2013. LIU H L. Data analysis of non-typhoid *Salmonella* infectious diarrhea surveillance system in some regions of China [D]. Beijing: Chinese Center for Disease Control and Prevention, 2013.
- [33] BROWN A C, GRASS J E, RICHARDSON L C, et al. Antimicrobial resistance in *Salmonella* that caused foodborne disease outbreaks: United States, 2003-2012 [J]. Epidemiology and Infection, 2017, 145(4): 766-774.
- [34] PIRES S M, VIEIRA A R, HALD T, et al. Source attribution of human salmonellosis: An overview of methods and estimates [J]. Foodborne Pathogens and Disease, 2014, 11(9): 667-676.
- [35] 蔡华, 秦璐昕, 罗宝章, 等. 上海市市售凉拌菜中金黄色葡萄球菌的定量风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2018, 30(1): 84-88. CAI H, QIN L X, LUO B Z, et al. Quantitative risk assessment on *Staphylococcus aureus* in ready-to-eat salads in Shanghai [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2018, 30(1): 84-88.
- [36] FLOREZ-CUADRADO D, MORENO M A, UGARTE-RUÍZ M, et al. Antimicrobial resistance in the food chain in the European Union [J]. Advances in Food and Nutrition Research, 2018, 86: 115-136.