

风险评估

水产品重金属风险分级模型建立及应用

马宁^{1,2},王慧³,毛伟峰¹,周萍萍¹,蒋定国¹,李建文¹,刘飒娜¹,刘思洁³,张磊¹

(1. 国家食品安全风险评估中心 国家卫生健康委员会食品安全风险评估重点实验室
中国医学科学院创新单元,北京 100022; 2. 复旦大学卫生发展战略研究中心,上海 200032;
3. 吉林省疾病预防控制中心,吉林 长春 130062)

摘要:目的 建立适用于大量风险监测数据快速分级研判的风险分级评价方法。方法 基于食品安全风险评估理论,结合数据分析、文献综述、专家判断等方法,设定涉及食品污染特征、危害物毒性特征、人群食物消费特征以及超标率的分级指标体系、运算关系和赋值标准,并以实际监测数据进行验证应用。结果 建立水产品中重金属风险分级模型,总风险分值=毒性校正含量评分×超标率评分×消费量评分。应用此模型对我国水产品中砷、镉、汞、铅四种重金属进行风险分级,结果显示海蟹、肉食鱼类、非肉食鱼类中镉、甲基汞风险评分较高,可与传统风险评估结果相互验证。结论 该模型可较好地对水产品中重金属进行风险排序,为监管部门提供优先监管的科学依据。

关键词:风险分级;水产品;重金属;风险评估

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2020)03-0294-07

DOI:10.13590/j.cjfh.2020.03.015

Establishment and application of health risk ranking model for heavy metals in aquatic products

MA Ning^{1,2}, WANG Hui³, MAO Weifeng¹, ZHOU Pingping¹, JIANG Dingguo¹,
LI Jianwen¹, LIU Sana¹, LIU Sijie³, ZHANG Lei¹

(1. National Health Commission Key Laboratory of Food Safety Risk Assessment and Chinese Academy of Medical Science Research Unit, China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China; 2. Research Institute of Health Development Strategies, Fudan University, Shanghai 200032, China; 3. Center for Disease Control and Prevention of Jilin Province, Jilin Changchun 130062, China)

Abstract: Objective To develop a scientific and rapid risk ranking model that is suitable for the analysis of data from food chemicals surveillance system. **Methods** Based on the principles of food safety risk assessment, a series of index were developed for the contamination and toxicity characteristics of chemicals in food, food consumption characteristics of population, and standards violation rate, respectively. Then the logical operation relationship and the standards for assigning scores were set. The model was verified using real surveillance data. **Results** Total risk scores were calculated using the equation: total risk score=toxicity adjusted content score × violation rate score × consumption score. This model was applied to the risk classification of arsenic, cadmium, mercury and lead in aquatic products in China. The ranking result were in line with those estimated by the classical risk assessment model. **Conclusion** The model could rank the health risk of heavy metals in aquatic products properly, and can provide a scientific foundation for regulatory priority.

Key words: Risk ranking; aquatic product; heavy metal; risk assessment

收稿日期:2020-02-21

基金项目:食品污染物定量风险表征技术与综合应用研究(2018YFC1603104);中国医学科学院创新工程食品安全项目(2019-12M-5-024);中国博士后科学基金面上项目(2016M601517)

作者简介:马宁 男 副研究员 研究方向为食品安全风险评估与预警 E-mail:maning@cfsa.net.cn

通信作者:张磊 男 研究员 研究方向为食品安全风险评估 E-mail:zhanglei@cfsa.net.cn

目前的食品安全问题复杂、多样。食品安全管理者和政策制定者常常需要在有限时间和资源的情况同时处理多种食品安全问题^[1],因此,采用一种科学快速的基于风险的方法对于制定优先管理措施和优化资源配置是十分必要的。

食品安全风险分级是一种综合分析食品污染可能性、消费者暴露情况、预期的公众健康损害大小等因素,科学界定食品中众多危害因素的风险级别的方法。风险分级结果有助于风险管理者制定

优先管理顺序,合理分配有限的资源,从而专注于最重要的公共卫生问题并能顺利制定解决这些问题的管理决策^[2]。目前全球范围的学者和食品安全机构已探索出多种风险分级的模型,包括定性、半定量、定量模型,如美国食品药品监督管理局(FDA)研发的iRISK模型、澳大利亚食品安全中心研发的Risk Ranger、荷兰瓦赫宁根大学研发的抗生素残留的风险分级^[3-4]、国家食品安全风险评估中心(CFSA)研发的食品中化学物健康风险分级^[5]及广东省疾病预防控制中心研发的半定量风险分级方法^[6]。各模型虽然都是对食品中危害因素进行风险分级,但是由于所针对的监管需求不同,在风险概念界定、适用范围、简便程度并最终反映在指标设置上均有所差异。例如美国FDA的iRISK模型是一种可定量、同时适用于微生物和化学物的模型,采用蒙特卡洛仿真技术、疾病负担估算等多种统计方法和数学函数对危害物、消费量、剂量-反应关系等多变量数据进行整合运算,完成从初级生产端到消费端全链条的食品-危害组合的风险评估、比较和排序^[7]。该模型优点是可定量、适用范围广,但同时也较为复杂、不易理解,需要依靠大量的计算机后台运算。英国兽药残留委员会(VRC)针对兽药管理需求建立的分级模型采用风险矩阵和赋分法,设置危害性质、危害强度、用药动物占膳食中的比例、用药频率、高暴露人群、药物残留检出情况六个指标进行赋分计算,以得分高低划分风险等级^[8]。该模型相对简单、易于理解和运用,在准确性和效率方面实现了更好的平衡,但不足之处在于指标对兽药针对性较强,适用性不广泛。

总之,风险分级模型构建需要考虑监管需求、数据可利用性、模型适用范围等因素,因而没有国际通用的模型。自我国建立食品安全风险监测制度以来,每年针对100余项风险物质开展监测,获得上百万条数据。为进一步科学有效利用监测数据,本研究建立了针对风险监测数据快速分析目的的食品安全风险分级模型,并以水产品中铅、镉、汞、砷等重金属监测数据为基础进行方法验证,以期应用本模型将监测数据有效转化为基于风险的量化决策基础,为确立优先监管次序提供科学的参考依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究所需水产品中重金属污染水平数据来自2013—2017年国家食品安全风险监测,砷、镉、汞和铅样品数量分别为16 528、31 444、29 716和29 269份。水产品消费量数据来自2014年中国居

民膳食消费状况调查。该调查采用分层多阶段与人口成比例的整群随机抽样的方法,在全国14个省、自治区、直辖市中开展居民在家和外出进食的所有水产品进行非连续3 d 24 h的膳食问卷调查,覆盖大城市、中小城市、农村三个层次,调查对象为3岁及以上居民,共25 862人。本研究中将水产品分为12类,分别为淡水虾、淡水蟹、海虾、海蟹、腹足类、双壳类、头足类、肉食性鱼类、非肉食性鱼类、干制水产品、熟制水产品及水产罐头类。毒理学数据来自联合国粮农组织和世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会(JECFA)等国际组织报告或文献检索。

1.2 方法

1.2.1 模型构建

模型指标选择:根据风险评估方法和设定模型用途,依据食品化学物导致健康风险的主要影响因素,选择毒性校正含量、食物消费量、超标率三类指标。毒性校正含量包括分别反映食品污染特征(平均含量)和危害物毒性特征(健康指导值或基准剂量)两个二级指标。其中,危害物毒性特征选用权威机构建立的健康指导值,无健康指导值时采用来自可靠研究的基准剂量(若来自动物试验需要采用100倍默认不确定系数)。食物消费量包括食物消费人群比例和消费人群P90消费量两个二级指标。

模型运算关系:根据风险的定量理论,风险大小是风险事故(不良健康作用)发生可能性和严重性的乘积。本模型所选取指标均是导致食品安全健康风险可能性和严重性的综合体现,故为乘积关系。根据风险评估原理,食品中危害物暴露的风险与危害物毒性特征有关,仅含量高低不能真实反映其风险特征,故采用毒性特征指标为除数进行毒性校正。食物消费人群比例和食物P90消费量两指标间通过矩阵方法,首先获得消费量综合评分,之后与毒性含量校正评分、超标率评分相乘,得到健康风险评分。模型逻辑框架见图1。

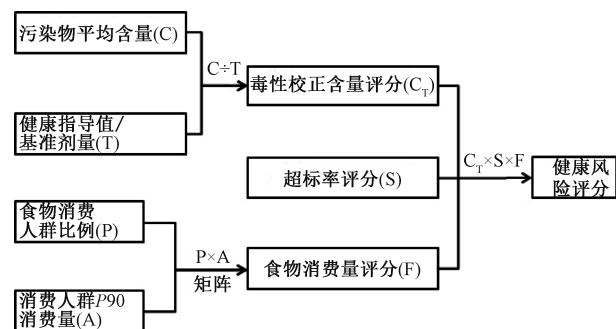


图1 水产品重金属风险分级模型框架

Figure 1 Framework of risk ranking for heavy metals in aquatic products

指标赋值:根据专家咨询和数据分析,设定各

指标划段数目,通常为5段或10段。根据历史数据分布范围,以等百分位数、等间距法,兼顾各段数据分布均衡性、能合理区分风险的原则,科学设置各段界值。根据专家判断和专业经验,设置各指标权重,反映在各指标的最高分值上。以上指标值经实际数据检验后调整优化。

1.2.2 模型验证

以风险监测数据为基础,将数据代入风险分级模型,同时以传统风险评估方法进行评价。将模型结果与传统风险评估结果进行比对验证。

2 结果

2.1 模型各指标赋分标准

毒性校正含量为污染物的平均含量除以对应污染物的健康指导值或基准剂量。毒性校正含量值赋分标准设置为5分九段,间距为0.5分,可实现各段数据较好分离(表1)。超标率指标因具有一定的主观价值判断成分,不宜设置较高权重,最高分设为3分,对应超标率 $\geq 20\%$,其他区段为 $\geq 10\% \sim 20\%$ 赋2.5分, $\geq 5\% \sim 10\%$ 赋2分, $\geq 1\% \sim 5\%$ 赋1.5分和 $<1\%$ 赋1分。对于未作限量规定的食品参考相应的国际标准或参照相关食品限量值,确无适宜判定标准时赋值最低分1分。食物消费量评分划分为5分五段,依据食物消费人群比例和消费人群P90消费量通过矩阵图得到。消费人群比例即消费某一类食品人数占调查总人数的比例,分为4级。消费人群P90消费量是消费人群中各类食品的P90消费量(以g/kg BW计),分为5级,详见图2。

2.2 水产品中4种重金属元素风险分级评分

2.2.1 毒性校正含量评分和超标率评分

鱼、贝类等水产品中砷和汞分别以无机砷和甲基汞毒性为主。无机砷、镉、甲基汞和铅的健康指导值或基准剂量及换算后的结果见表2。用各类水产品中重金属的平均含量除以健康指导值或基准剂量按日换算后的剂量得到各类重金属校正后的毒性含量,与表1比较后得到毒性校正含量评分

表2 4种重金属的健康指导值或基准剂量

Table 2 Health guide value or bench mark dose of the four heavy metals

化合物	指标	健康效应	健康指导值/基准剂量	换算后(每日) /($\mu\text{g}/\text{kg BW}$)	参考文献
无机砷	0.5%基准剂量的95%可信区间下限(BMDL _{0.5})	肺癌	每日3~5 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$	3*	[9]
镉	暂定每月可耐受摄入量(PTMI)	肾毒性	每月25 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$	0.83	[10]
甲基汞	每周可耐受摄入量(TWI)	智商	每周1.3 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$	0.186	[11]
铅	1%基准剂量的95%可信区间下限(BMDL ₀₁)	智商,心血管损伤	每日0.6 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,每日1.2 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$	0.6,1.2	[10]

注:* 从适度保守的健康保护角度,选用低限值

表1 毒性校正含量及超标率指标赋分标准

Table 1 Scoring criterions for toxicity adjusted content and exceeding standard rate

评分	毒性校正含量 /($\text{kg BW}/\text{kg 食品}$)	超标率/%*
1	<5	<1
1.5	$\geq 5 \sim 8$	$\geq 1 \sim 5$
2	$\geq 8 \sim 10$	$\geq 5 \sim 10$
2.5	$\geq 10 \sim 20$	$\geq 10 \sim 20$
3	$\geq 20 \sim 30$	≥ 20
3.5	$\geq 30 \sim 60$	—
4	$\geq 60 \sim 80$	—
4.5	$\geq 80 \sim 300$	—
5	≥ 300	—

注:* 未作限量规定的食品参考相应的国际标准或参照相关食品限量值进行评价,无适宜判定标准时赋值为1分;—为不适用

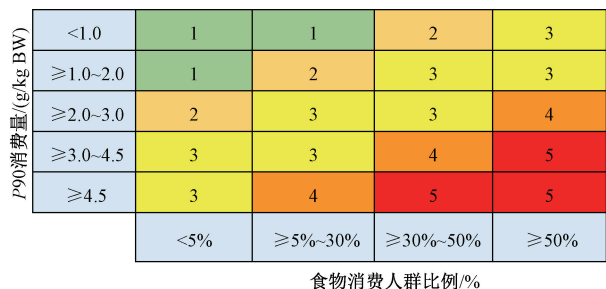


图2 消费量赋分风险矩阵图

Figure 2 Risk matrix of food consumption

(表3)。48种水产品-重金属组合中,毒性校正含量评分较高的主要为甲壳软体类(虾、蟹、腹足类、双壳类和头足类)和干制水产品中的镉和甲基汞,毒性校正含量最高的是海蟹-镉组合,为721。同样,根据超标率数据获得超标率评分见表3。

2.2.2 消费量评分

根据规则得到各类水产品消费量评分见表4。消费人群P90消费量排前三位的分别为非肉食性鱼类(1.73 g/kg BW)、肉食性鱼类(1.68 g/kg BW)和海蟹(1.65 g/kg BW),消费频率排前三位的为肉食性鱼类(33.30%)、非肉食性鱼类(30.80%)和海虾(10.68%)。消费量评分为3的两种水产品为肉食性鱼类和非肉食性鱼类,消费量评分为2的是海虾和海蟹。

表3 4种重金属毒性校正含量评分和超标率评分

Table 3 Scores of toxicity adjusted contents and exceeding standards rate

水产品-重金属组合	毒性校正含量 /(kg BW/kg 食品)	毒性校正 含量评分	超标率 评分	水产品-重金属组合	毒性校正含量 /(kg BW/kg 食品)	毒性校正 含量评分	超标率 评分
淡水虾-无机砷	2	1	1	淡水虾-甲基汞	89	4.5	1
淡水蟹-无机砷	5	1	1	淡水蟹-甲基汞	163	4.5	1
海虾-无机砷	7	1.5	1	海虾-甲基汞	88	4.5	1
海蟹-无机砷	36	3.5	1.5	海蟹-甲基汞	131	4.5	1
腹足类-无机砷	22	3	1.5	腹足类-甲基汞	102	4.5	1
双壳类-无机砷	15	2.5	1	双壳类-甲基汞	95	4.5	1
头足类-无机砷	24	3	1.5	头足类-甲基汞	107	4.5	1
肉食性鱼类-无机砷	3	1	1.5	肉食性鱼类-甲基汞	137	4.5	1
非肉食性鱼类-无机砷	1	1	1	非肉食性鱼类-甲基汞	87	4.5	1
干制水产品-无机砷	54	3.5	2.5	干制水产品-甲基汞	455	5	1.5
熟制水产品-无机砷	13	2.5	2.5	熟制水产品-甲基汞	421	5	1
水产罐头类-无机砷	7	1.5	1.5	水产罐头类-甲基汞	151	4.5	1
淡水虾-镉	49	3.5	1	淡水虾-铅	48	3.5	1
淡水蟹-镉	129	4.5	1.5	淡水蟹-铅	52	3.5	1
海虾-镉	80	4	1.5	海虾-铅	51	3.5	1
海蟹-镉	721	5	3	海蟹-铅	52	3.5	1
腹足类-镉	538	5	2	腹足类-铅	150	4.5	1
双壳类-镉	579	5	1.5	双壳类-铅	103	4.5	1.5
头足类-镉	479	5	1.5	头足类-铅	48	4	1.5
肉食性鱼类-镉	22	3	1.5	肉食性鱼类-铅	43	3.5	1
非肉食性鱼类-镉	9	2	1	非肉食性鱼类-铅	37	3.5	1.5
干制水产品-镉	413	5	2.5	干制水产品-铅	150	4.5	1.5
熟制水产品-镉	81	4.5	2.5	熟制水产品-铅	68	4.5	1
水产罐头类-镉	30	3.5	1	水产罐头类-铅	65	4.5	1

表4 各类水产品的消费量评分

Table 4 Scores of consumption of aquatic products

水产品	P90 消费量 /(g/kg BW)	消费频率 /%	消费量 评分
淡水虾	0.86	2.71	1
淡水蟹	1.22	1.32	1
海虾	1.01	10.68	2
海蟹	1.65	7.80	2
腹足类	0.62	1.24	1
双壳类	1.11	4.06	1
头足类	0.67	0.66	1
肉食性鱼类	1.68	33.30	3
非肉食性鱼类	1.73	30.80	3
干制水产品	0.34	1.63	1
熟制水产品	0.84	4.43	1
水产罐头类	0.88	0.02	1

2.2.3 水产品-重金属总评分及分级

根据建立的水产品-重金属风险分级模型,得到各类水产品-重金属组合的风险评分(表5),评分靠前的分别是海蟹-镉(30)、非肉食性鱼类-铅(15.75)、肉食性鱼类-镉(13.5)、肉食性鱼类-甲基汞(13.5)、非肉食性鱼类-甲基汞(13.5)。

依据累积风险评估方法中风险指数(HI)法的原理^[12],可将同一类别水产品中无机砷、镉、甲基汞和铅的评分相加,获得4种重金属的累积风险评分。由表6可见,海蟹、非肉食性鱼类、肉食性鱼类、干制水产品 and 海虾评分在30以上,排名前五位。海蟹排在第一位,主要是其镉和无机砷的评分贡献较高。

3 讨论

决定风险大小的主要因素是危害发生的可能

性及其后果的严重性。基于此,可用于风险定量、半定量的基本方法有多种,如风险评估、比较风险评估(CRA)、风险比值法、评分法、疾病成本(COI)、健康调整生命年(HALY)、支付意愿(WTP)、多标准决策分析(MCDA)、风险矩阵、决策树法及专家判断法等,其中风险比值法、评分法、风险矩阵和决策树法是比较多的应用于化学危害因素风险分级的方法^[13-17]。本研究建立的风险分级模型以基于健康风险评估的基本原理,综合运用评分法、风险矩阵和风险比值方法,可实现不同食物-危害物组合的快速风险评价。鉴于模型建立以大量风险监测数据的健康风险评价为目的,因此所设置指标尽量简化易于理解,并且未涉及经济损失、社会认知等方面的风险,但通过超标率指标,一定程度上兼顾了风险管理的综合评价需求。另一方面,该模型结果仅反映相应污染和消费水平下可能造成健康危害的相对风险,即以食物-物质组合间的相互对比为基础,并不反映绝对风险,因此排序靠前的组合仅提示具有优先关注度,并非一定会构成实质性健康影响。也基于此,本模型未再对最后评分划分出高、中、低风险等级,因为这样的划分具有较高主观性,并且易于造成错误理解。在实践中如有需要,可以根据评分结果,由评估者与风险管理者共同确定风险等级划分标准。

在指标选择上,食品污染特征选用一类食品中危害物的平均含量,反映整体污染水平。在实践中

表5 不同水产品-重金属组合风险排名

Table 5 Risk ranking for heavy metal-aquatic product combinations

水产品-重金属组合	排名	毒性校正评分	消费量评分	超标率评分	健康风险评分	水产品-重金属组合	排名	毒性校正评分	消费量评分	超标率评分	健康风险评分
海蟹-镉	1	5	2	3	30	头足类-铅	25	4	1	1.5	6
非肉食性鱼类-铅	2	3.5	3	1.5	15.75	熟制水产品-甲基汞	26	5	1	1	5
肉食性鱼类-镉	3	3	3	1.5	13.5	腹足类-无机砷	27	3	1	1.5	4.5
肉食性鱼类-甲基汞	4	4.5	3	1	13.5	头足类-无机砷	28	3	1	1.5	4.5
非肉食性鱼类-甲基汞	5	4.5	3	1	13.5	肉食性鱼类-无机砷	29	1	3	1.5	4.5
干制水产品-镉	6	5	1	2.5	12.5	淡水虾-甲基汞	30	4.5	1	1	4.5
海虾-镉	7	4	2	1.5	12	淡水蟹-甲基汞	31	4.5	1	1	4.5
非肉食性鱼类-镉	8	4	3	1	12	腹足类-甲基汞	32	4.5	1	1	4.5
熟制水产品-镉	9	4.5	1	2.5	11.25	双壳类-甲基汞	33	4.5	1	1	4.5
海蟹-无机砷	10	3.5	2	1.5	10.5	头足类-甲基汞	34	4.5	1	1	4.5
肉食性鱼类-铅	11	3.5	3	1	10.5	水产罐头类-甲基汞	35	4.5	1	1	4.5
腹足类-镉	12	5	1	2	10	腹足类-铅	36	4.5	1	1	4.5
海虾-甲基汞	13	4.5	2	1	9	熟制水产品-铅	37	4.5	1	1	4.5
海蟹-甲基汞	14	4.5	2	1	9	水产罐头类-铅	38	4.5	1	1	4.5
干制水产品-无机砷	15	3.5	1	2.5	8.75	淡水虾-镉	39	3.5	1	1	3.5
双壳类-镉	16	5	1	1.5	7.5	水产罐头类-镉	40	3.5	1	1	3.5
头足类-镉	17	5	1	1.5	7.5	淡水虾-铅	41	3.5	1	1	3.5
干制水产品-甲基汞	18	5	1	1.5	7.5	淡水蟹-铅	42	3.5	1	1	3.5
海虾-铅	19	3.5	2	1	7	海虾-无机砷	43	1.5	2	1	3
海蟹-铅	20	3.5	2	1	7	非肉食性鱼类-无机砷	44	1	3	1	3
淡水蟹-镉	21	4.5	1	1.5	6.75	双壳类-无机砷	45	2.5	1	1	2.5
双壳类-铅	22	4.5	1	1.5	6.75	水产罐头类-无机砷	46	1.5	1	1.5	2.25
干制水产品-铅	23	4.5	1	1.5	6.75	淡水虾-无机砷	47	1	1	1	1
熟制水产品-无机砷	24	2.5	1	2.5	6.25	淡水蟹-无机砷	48	1	1	1	1

表6 不同水产品4种重金属累积风险排序

Table 6 Ranking of cumulative risk of the four heavy metals in different aquatic products

水产品分类	排名	无机砷	镉	甲基汞	铅	累积评分
海蟹	1	10.5	30	9	7	56.5
非肉食性鱼类	2	3	12	13.5	15.75	44.25
肉食性鱼类	3	4.5	13.5	13.5	10.5	42
干制水产品	4	8.75	12.5	7.5	6.75	35.5
海虾	5	3	12	9	7	31
熟制水产品	6	6.25	11.25	5	4.5	27
腹足类	7	4.5	10	4.5	4.5	23.5
头足类	8	4.5	7.5	4.5	6	22.5
双壳类	9	2.5	7.5	4.5	6.75	21.25
淡水蟹	10	1	6.75	4.5	3.5	15.75
水产罐头类	11	2.25	3.5	4.5	4.5	14.75
淡水虾	12	1	3.5	4.5	3.5	12.5

也可依据评价目的选用中位数或其他统计值,或特定产品含量值,前提是在一个评价系统中标准应统一。食物消费特征选用两个指标,食物消费人群比例和消费人群 P90 消费量,分别反映食用人群规模和人群食物高消费量水平。在风险评估中,食物高消费量水平通常选择 P90 以上适宜位点,这要根据消费量数据质量及监管控制水平个案选择,通常选择 P95 值。但风险分级结果是风险的相对大小,此时更应关注指标的普适性,考虑到消费量调查方法上的差异(如可能是 3 d 或更长时间调查,也可能是 1 d 调查),统计上认为 P90 更为稳定反映真实值,故本模型选择 P90 消费量^[18]。危害物毒性特征选

用健康指导值或基准剂量符合风险评估的基本原理,同时简化了危害评价指标,对于大多数监测的危害物可以直接采用国际权威机构的结论。但需要注意的是,本模型仅适用于对长期健康风险的分级评价。如将本模型扩展应用于存在急性参考剂量的物质,如农药、真菌毒素等,需要单独考虑急性健康风险的可能。此种情况下可考虑采用世界卫生组织在应急情况下风险评估决策树中采用的方法,对存在急性毒性的物质在模型输出结果的基础上直接提高一个风险等级^[19]。超标率指标在模型中可视为一个校正因素,既反映食品高污染端特征,又体现了监测数据在风险管理上的价值判断。

本分级方法三大类指标之间是相乘关系。风险评估的基本公式为:含量×消费量×(1/毒性指标),亦是相乘关系。多数分级方法均遵循此逻辑关系,但通常以暴露量和毒性作为风险矩阵的两个轴,就需要在评价时获得具体消费量和含量数据以逐个计算暴露量,这样大大增加了分级的复杂性,与传统评估方法比较其快捷高效的劣势降低。本分级模型将该公式重新组合,将含量以毒性进行校正,消费量作为单独一维可以形成固化的赋值,在进行分组运算时只需要输入含量数据便可快速实现分级计算,从而明显提高分级的效率,更加符合分级评价本身的目的。毒性校正含量指标为本模

型首创,其意义为在某危害物的某一含量水平下,食用多少 kg 的食物(以 kg 体重计)就会达到该危害物的健康指导值或基准剂量,其倒数即为可安全食用的食物 kg 数。毒性校正含量越高,说明安全食用量越低。

本方法并未对各指标另外设立权重系数,而是经反复校正,通过赋分范围和分值间距反映出指标最适权重和灵敏度,毒性校正含量最高为 5 分,设九段,间距 0.5;P90 消费量分为五个等级,消费人群比例分为四个等级,通过风险矩阵将消费量划分为 5 分五段间距为 1。超标率指标因具有一定的主观价值判断成分,未设置较高权重,最高分设为 3 分。

应用本研究建立的模型对我国 2013—2017 年水产品中无机砷、镉、甲基汞和铅的监测数据进行分析,得出 48 种水产品-重金属组合风险排序和 12 类水产品 4 种重金属累积风险分级排序。结果与使用经典评估方法得到的结果相一致^[20]。一项福建省中北部海域捕捞水产品中 4 种重金属风险评估研究表明海蟹中镉风险较高^[21],与本研究评价结果一致。未见国内外应用风险分级方法对水产品中重金属风险分级结果的公开报导。现有关于水产品中重金属评价多采用污染指数法,偏重于对污染水平的综合评价,未考虑消费量的影响。陈树娣等^[22]采用年健康风险模型对深圳市生鲜水产品中重金属评价认为,个人健康风险的年致病风险依次为双壳类>甲壳类>头足类>鱼类>腹足类,但本研究所有水产品均采用同一消费量值,因而实际仍反映的是污染水平的影响。

食品安全是一个复杂的问题,没有一个通用的风险分级的方法,需要根据各自的分级目的以及数据的可行性等因素建立适合的模型。本研究在建立风险分级模型的过程中更多采用客观数据作为分级指标,降低主观因素的影响,使结果更加科学有效。优先的管理顺序受多种因素影响。风险分级的结果可以为监管者提供一个基于健康风险的优先管理决策依据,但是不能简单依据某一个模型或者公式来进行食品安全管理^[23]。本研究利用我国水产品的监测数据进行了风险分级方法的验证应用,结果表明能够对水产品中重金属健康风险可靠地分级排序。同时该模型设计用于各类食品中多种类型危害物的风险分级,但还需要更多的模型适用性测试。

参考文献

[1] FAO/WHO. Food safety risk analysis: a guide for national food safety authorities[J]. FAO Food and Nutrition Paper, 2006, 87 (6): ix-xii.

[2] EFSA Panel on Biological Hazards. Scientific opinion on the development of a risk ranking framework on biological hazards [J]. EFSA J, 2012, 10(6):2724.

[3] RENWICK A G, BARLOW S M, HERTZ-PICCIOTTO I, et al. Risk characterisation of chemicals in food and diet [J]. Food Chem Toxicol, 2003, 41(9):1211-1271.

[4] Ireland FSAI. Risk based approach to developing the national residue sampling plan (for veterinary medicinal products and medicated feed additives in domestic animal production) [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 2014, 16(18):8535-8545.

[5] ZHOU P P, LIU Z P, ZHANG L, et al. Methodology and application for health risk classification of chemicals in foods based on risk matrix [J]. Biomed Environ Sci, 2014, 27(11):912-916.

[6] 陈尚, 周少君, 邓小玲, 等. 食品中化学物危害风险分级研究进展 [J]. 中国食品卫生杂志, 2017, 29 (3):374-378.

[7] CHEN Y, DENNIS S B, HARTNETT E, et al. FDA-iRISK—a comparative risk assessment system for evaluating and ranking food-hazard pairs: case studies on microbial hazards [J]. J Food Prot, 2013, 76(3):376-385.

[8] VRC. Annual report on surveillance for veterinary residues in food [R]. UK Veterinary Residues Committee, 2010.

[9] JECFA. Safety evaluation of certain contaminants in food. Prepared by the seventy-second meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [R]. WHO Technical Reports Series, 2011.

[10] FAO/WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants. Seventy-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [R]. WHO Technical Report Series, 2011.

[11] EFSA. Scientific opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food [J]. EFSA J, 2012, 10(12):2985.

[12] 张磊, 李凤琴, 刘兆平. 食品中化学物累积风险评估方法及应用 [J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 23(4):96-100.

[13] VAN DER FELS-KLERX H J, VAN ASSELT E D, RALEY M, et al. Critical Review of methods for risk ranking of food-related hazards, based on risks for human health [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2016, 58(2):178-193. DOI: 10.1080/10408398.2016.1141165.

[14] STORNETTA A, ENGELI B E, ZARN J A, et al. Development of a risk management tool for prioritizing chemical hazard-food pairs and demonstration for selected mycotoxins [J]. Regul Toxicol Pharmacol, 2015, 72 (2):257-265.

[15] EISENBERG J N S, MCKONE T E. Decision tree method for the classification of chemical pollutants: incorporation of across-chemical variability and within-chemical uncertainty [J]. Environ Sci Technol, 1998, 32 (21):3396-3404.

[16] ROSS T, SUMNER J. A simple, spreadsheet-based, food safety risk assessment tool [J]. Int J Food Microbiol, 2002, 77(1/2):39-53.

[17] 周萍萍, 张磊, 焦阳, 等. 应用德尔菲法建立进口食品中化学性有害物质风险分级指标体系 [J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(5):2114-2119.

[18] Food Standards Australia New Zealand. Principles and practices of dietary exposure assessment for food regulatory purposes [M].

- 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。