

风险评估

基于半定量风险评估的食品风险分级方法研究

周少君¹, 顿中军², 梁骏华¹, 邓小玲¹, 闻剑¹, 黄琼¹, 黄芮², 杨杏芬¹

(1. 广东省疾病预防控制中心, 广东 广州 510300;

2. 广东省公共卫生研究院, 广东 广州 511430)

摘要:目的 为科学评估食品中化学性因素、致病菌、寄生虫、病毒的风险, 有效地把大量的监督抽检的数据和“三率”(超标率、合格率、不合格率)转化为风险的量化分级, 为确立优先监管顺序提供科学依据。方法 采用经验判断、专家评议、Delphi 专家咨询等方法, 结合食品风险评估理论, 建立基于半定量风险评估的风险分级的具体指标和方法。结果 初步建立了对食品中化学性因素和生物性因素的风险分级方法和指标体系。总风险分值 = $8 \times \text{健康风险} + 2 \times \text{影响因子}$, 其中健康风险的一级指标为危害性、可能性、脆弱性, 影响因子的一级指标为社会影响、经济影响、监管影响。每个一级指标由多个二级指标分段赋分值加权求和而成。结论 此风险分级方法和指标体系的初步建立, 能识别出食品污染风险的优先次序, 为监管部门制定有针对性的预警策略、确立优先监管领域和合理分配风险管理措施资源提供科学依据。

关键词: 风险分级; 半定量; 风险评估; 食品安全

中图分类号: R155; R155.5; 文献标志码: A 文章编号: 1004-8456(2015) 05-0576-10

DOI: 10.13590/j.cjfh.2015.05.021

Risk ranking method for chemical and biological hazards in food
based on semi-quantitative risk assessment

ZHOU Shao-jun, DUN Zhong-jun, LIANG Jun-hua, DENG Xiao-ling, WEN Jian,
HUANG Qiong, HUANG Rui, YANG Xing-fen

(Guangdong Provincial Center for Disease Control and Prevention, Guangdong Guangzhou 510300, China)

Abstract: **Objective** To evaluate and rank the risk of chemical, pathogenic, viral, and parasitic hazards in food according to the massive data from food supervision and inspection, explore methods of risk ranking, and provide scientific basis to set administrative priorities. **Methods** Based on theories of food risk assessment, expert review, judgment by experience and Delphi's expert consultation were adopted in this study to establish methods of risk ranking. **Results** The methods of risk ranking for chemical and biological hazards in food were preliminary developed. Total risk score = $8 \times \text{health risk} + 2 \times \text{influential factor}$. First level indicators of health risk were severity, possibility and vulnerability. First level indicators of influence factor were social influence, economic influence and supervision influence. Each first level indicator was the weighted sum of several second level indicators. This established method was used to rank food risks based on 30 000 data from food safety supervision and inspection system in Guangdong Province in 2013-2014. **Conclusion** The methods of risk ranking and its indicator system identified the rank and priority of food risk, laid scientific foundation for risks assessment, decision-making and resources allocating.

Key words: Risk ranking; semi-quantitative; risk assessment; food safety

食品风险分级(risk ranking)属于风险评估的一

种形式,指综合分析食品的污染水平、膳食暴露情况、对公众健康危害等因素,对食源性危害风险进行分级排序,目的在于采取科学的风险分析框架,在众多复杂的食品安全问题中识别风险的优先次序,合理分配风险管理措施的有限资源^[1]。

欧洲食品安全局(EFSA)把风险分级看作是风险评估者和风险管理者之间的桥梁^[1]。新西兰食品安全局(NZFSA)与美国食品药品监督管理局(FDA)在进行风险评估之前,首先会进行风险分级以确定

收稿日期: 2015-06-10
基金项目: 卫生部公益性行业科研专项(201302005); 广东省公益研究与能力建设专项(2015A020218002); 广东省医学科研基金指令性课题项目(C2014008)
作者简介: 周少君 女 主管技师 研究方向为食品安全风险监测
E-mail: jo73671@qq.com
通讯作者: 杨杏芬 女 教授 研究方向为食品安全风险评估
E-mail: yangxingfen@21cn.com

哪些风险需要优先开展经典的定量评估。英国食品标准局(FSA)的兽药残留委员会(VRC)在每年开展兽药监测之前,运用风险分级方法排出监测项目的优先次序以制定监测计划中的项目^[2]。瑞典应用了以风险分级为导向的监测方案后,2002—2009年间的食品监测经费节省了600万欧元^[3]。可以看出,在国际上,风险分级作为一种初步评估的手段,科学有效地把大量的污染水平数据结合膳食暴露量、危害等因素转化为风险的量化分级,可以帮助风险管理者通过比较不同来源风险的相对大小以确定需优先监管的领域,并得出需进一步进行经典评估的食品危害。

为达到快速进行初步评估的目的,风险分级通常以半定量方法进行。半定量风险评估一般使用评分或赋值的方式对风险发生的可能性和严重程度进行计算和描述,一方面比定量风险评估简单、省时、易操作,另一方面比定性评估的数据利用率高、信息量大,是介于定性评估和定量评估之间的方法。

为防范食品污染和食源性疾病暴发,政府监管部门已开展了大量的食品抽检监督工作,但食品安全问题仍然层出不穷。食品污染物复杂多样,给监管带来很大困难。目前,监管部门对化学性因素、致病菌等食品安全风险的判断和控制主要基于对食品污染水平的“三率”(超标率、合格率、不合格率)的层面,通常以超标率高低去判别风险,无法厘清如大米镉3%超标率和熟肉制品苯甲酸90%超标率之间的风险高低。大量的监督抽检数据缺乏对污染物的致病严重性、人群对食品消费量、流行病学数据等风险因素的综合评估。为科学有效地把大量的监督抽检的数据和“三率”(超标率、合格率、不合格率)转化为风险的量化分级,本研究拟结合食品中污染物含量水平、膳食暴露、危害程度、流行病学数据,初步建立一种以半定量风险评估为基础的风险分级方法,以期为食品中化学和微生物风险进行评估排序,初步评判食品安全风险,确立优先监管次序提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 指标体系的构建原则

遵循科学快速、简单易行原则建立,结果为风险的量化评分,并能充分利用以现有的风险监测数据、膳食暴露量数据为主的客观数据。

1.2 方法

1.2.1 指标体系的初拟

遵循指标体系的构建原则,把食品安全风险分

为包括金属污染物、禁用药物、生物毒素、农药残留、有机污染物等化学性因素风险,以及包括食源性致病菌、寄生虫、病毒等生物性因素风险两大类,并以食品-危害组合为评估的对象。由于目前采用的风险评估方法实质上是半定量的评估方法,因此不必纠结于具体算法,目的在于能够合理的反映出食品中风险的危害性、风险发生的可能性和脆弱性之间的逻辑关系。

首先采用文献综述法,在风险相乘原理 $z=f(x,y)$ 的基础上,参考英国VRC的兽药风险分级计算公式和指标^[2], $风险=危害性\times摄入可能性\times残留可能性$,其中危害性=致病严重性+每日允许摄入量(ADI)、摄入可能性=膳食摄入比例+兽药用药频率+高暴露人群、残留可能性=监测到的兽药残留超出最大残留限量(MRL)的情况,并考虑增加脆弱性指标,初步拟定出风险的计算公式为 $风险=危害性\times可能性\times脆弱性$ 。然后采用经验判断法和专家评议法,结合食品安全风险监测水平和食品安全事件相关资料,初拟出公式的一级指标、二级指标、以及各指标的赋分方式和分值。

1.2.2 指标体系的确立

指标体系的确立应用了Delphi方法进行专家咨询。采用调查问卷的方式,共邀请25位来自疾病预防控制中心、高等院校、卫生行政部门、食品药品监管部门、食品行业的专家对指标体系进行论证。第一轮调查表主要内容为初拟的一、二级指标的筛选和确定,各级指标权重的确定。调查拟从所选指标的重要性进行评分,对每一指标的重要性采用满分10分评分法,重要性评分越高,重要性越大(如:非常重要,10分;不需要保留,0分),针对指标的重要性和必要性,专家可对指标进行增删、修改,并赋予相对权重。根据第一轮调查专家的意见或建议,在考虑指标可行性、重要性原则的基础上,确定了一、二级指标。第二轮咨询主要是专家对指标的权重和分值进行再次评价,并提出对分值、数据来源及依据的修改意见。在进行了两轮调查表咨询后,专家意见基本达成一致。

2 结果

2.1 一级指标

食品中危害的健康风险的一级指标为危害性、可能性、脆弱性。从风险的定义出发,健康风险=危害性 $\times$ 可能性 $\times$ 脆弱性。除了食品中危害对人群的健康风险外,还应考虑到食品对社会、经济、监管的风险,因此对于健康风险分值高的食品-危害组合,应进一步加上风险的影响因子指标。风险的影

响因子的一级指标为社会影响、经济影响、监管影响。为了与健康风险公式对应,影响因子计算公式为:影响因子 = 社会影响 × 经济影响 × 监管影响。通过 Delphi 法确立健康风险权重为 8,影响因子权重为 2,总风险分值 = 8 × 健康风险 + 2 × 影响因子。

2.2 二级指标

每个一级指标由多个二级指标加权求和而成,其中食品中危害的健康风险的一级指标计算方法为:危害性 = $\sum$ 危害性的二级指标 × 危害性二级指标权重,脆弱性 = $\sum$ 脆弱性的二级指标 × 脆弱性二级指标权重,可能性 = $\sum$ 可能性的二级指标 × 可能性二级指标权重。

影响因子的一级指标计算方法为:社会影响 = $\sum$ 社会影响的二级指标 × 社会影响二级指标权重,经济影响 = $\sum$ 经济影响的二级指标 × 经济影响的二级指标权重,监管影响 = $\sum$ 监管影响的二级指标 × 监管影响二级指标权重。下面将详述二级指标的定义、赋分标准与分值。

2.2.1 食品中危害的健康风险

食品中化学性因素的危害性二级指标如下:健康指导值,指国际权威机构(联合国粮农组织和世界卫生组织下的食品添加剂联合专家委员会、农药残留联席会议等)经过评估设定的一个推导值,是人类在一定时期内经口摄入某种化学物而不产生可检测到的对健康产生危害的量,包括为每日允许摄入量、每日耐受摄入量(TDI)、暂定每周耐受摄入量(PTWI)、暂定每月耐受摄入量(PTMI)等,统一转化为 $\mu\text{g/kg BW}$ 单位。对于有遗传毒性或致癌性的物质,由于没有剂量-反应的阈值,因此也没有健康指导值,被认为应尽可能地减少摄入。急性毒性(半数致死量 LD_{50}),表示在规定时间内,通过指定感染途径,使一定体重或年龄的某种动物半数死亡所需最小剂量。首选大鼠经口 LD_{50} 数据,缺乏时选用其他 LD_{50} 数据。致癌性,依据国际癌症研究机构(IARC)致癌物分级。遗传毒性,依据欧盟(EU)致突变、美国环境保护署(EPA)致突变分级依据进行划分。其他毒性,依据 EU 生殖毒性物质分级、美国 EPA 神经毒性物质分级、WHO 化学品全球统一分类与标签制度等进行划分。人体危害资料(流病、个案),依据文献报道,是否存在该化学物对人体的致病案例。例如河豚毒素,曾发生短时间微量暴露致死个案,评分为 5 分。详见表 1。

食品中化学性因素的可能性的二级指标如下:食品中化学物含量 $P50$ 超过限量标准的倍数,指食品中化学物的含量 $P50$ 超过国家标准限量的倍数,说明了污染物的污染含量高低,表明了污染的严重

程度。如果该污染物无国家标准限量值,则本次研究中暂定该指标分值 = 2。如果该污染物为不得检出的禁用物质,则暂定该指标分值 = 5。食品中污染物超标率是食品中污染物超出国家标准限量的样品数占总样品数的比率,表明了污染的普遍程度。如果该污染物无国家标准限量值,则暂定该指标分值 = 2。食品人均日消费量指平均每人食用某种食品的摄入量,基于广东省膳食摄入量的分布,按五分位数法(quintile) 计算并划分出摄入量指标赋值的标准。食品消费频次指平均每人食用某种食品的频率。食用人群规模指食用人群占总人群的比例。

食品中化学性因素的脆弱性的二级指标如下:人群易感性指是否存在容易受该物质感染的人群。医疗可控性指目前是否有可以控制该化学物对人体健康危害影响的治疗手段。详见表 1。

食品中生物性因素的危害性二级指标如下:病原生物致病剂量,食品中的致病菌等病原生物往往需要繁殖至一定数量才会令人患病,致病剂量就是指令人患病所需要的病原生物数量。对于金黄色葡萄球菌等以毒素致病的致病菌,则以产毒素的致病菌数量作为致病剂量。致病严重程度,参考 Risk Ranger 半定量评估方法^[4],以治疗的难易作为致病严重程度的评判标准。详见表 2。

食品中生物性因素的可能性二级指标如下:食品中病原生物检出率指食品中病原生物检出的样品数占总样品数的比率。食用前加工方式对危害的影响,指食用前包括煮食、加热、冷冻、冲洗等加工方式对病原生物的影响,参考 Risk Ranger 半定量评估方法^[4],划分赋值的标准。食品人均每日消费量、食品消费频次、食用人群规模此 3 个指标与化学性因素中的可能性指标相同。食品中病原生物的脆弱性的二级指标亦与化学性因素中的脆弱性指标相同,见表 2。

2.2.2 风险影响因子

由于食品的社会特性和经济特性较为复杂,在不同条件下有可能导致不同的社会和经济后果,本次指标体系的影响因子中将社会、经济、监管的指标适当简化,旨在风险公式中既能反映出社会、经济、监管对食品风险的影响,又不因过分繁复而影响可行性。

风险影响因子的社会影响二级指标如下:关注度,以百度指数和新浪指数、政府召开新闻发布会或启动应急预案等因素赋分。波及范围,食品中危害的波及范围,以波及国际最为严重。

风险影响因子的经济影响二级指标如下:食

表 1 食品中化学性因素的健康风险二级指标赋分标准和权重
Table 1 Scores and weigh of second level indicators for health risk of chemical hazard in food

一级指标	二级指标				
	名称	分类	赋分	权重	数据来源及依据
1. 危害性	1.1 健康指导值 (<i>ADI</i> , <i>TDI</i> , <i>PTWI</i> , <i>PTMI</i> 等) ($\mu\text{g}/\text{kg BW}$)	> 100	1	1.6	依据 WHO/FAO 评估报告等
		10 ~ 100	2		
		1 ~ 10	3		
		0.1 ~ 1	4		
		≤0.1 或无	5		
	1.2 半数致死量 ($\text{mg}/\text{kg BW}$)	> 5 000	1	0.4	依据文献报道
		500 ~ 5 000	2		
		50 ~ 500	3		
		1 ~ 50	4		
		≤1	5		
	1.3 致癌性	非致癌物 (4 类)	1	0.8	依据国际癌症研究机构 (IARC) 致癌物分级
		尚不能进行分级 (3 类)	2		
		可能对人类致癌 (2B 类)	3		
		很可能对人类致癌 (2A 类)	4		
		明确证据对人类致癌 (1 类)	5		
	1.4 遗传毒性	阴性证据	1	0.4	依据欧盟 (EU) 致突变分级、美国环境保护署 (EPA) 致突变分级
		致突变性分类证据不足的化学物质	2		
		对哺乳动物细胞有致突变性证据,但缺少与生殖细胞作用证据的化学物质,具潜在致突变效应而应予以关注的化学物质	3		
		对哺乳动物生殖细胞有致突变证据的化学物质,可能为人类致突变物	4		
		对生殖细胞致突变证据的化学物质,已知人类致突变物	5		
	1.5 其他毒性	无报道有其他毒性	1	0.4	依据 EU 生殖毒性物质分级、美国 EPA 神经毒性物质分级、WHO 化学品全球统一分类与标签制度等
		可逆器官毒性	2		
		很可能产生慢性毒性,不可逆器官毒性等	3		
		很可能的生殖毒性、神经毒性、内分泌毒性,显著慢性毒性	4		
		已知生殖毒性、神经毒性、内分泌毒性	5		
	1.6 人体危害资料 (流病、个案)	未见人类致病报道	1	0.4	依据文献报道
		少量人类致病的报道	2		
		长时间反复暴露致病的报道	3		
		曾发生后遗症个案	4		
		曾发生短时间微量暴露致死个案	5		
2. 可能性	2.1 食品中污染物含量 <i>P50</i> 超过限量标准的倍数	无 <i>P50</i>	1	1.2	已有数据
		0.01 ~ 0.5,或暂无国家标准限量值	2		
		0.5 ~ 1	3		
		1 ~ 2	4		
		> 2,或检出禁用物质	5		
	2.2 食品中污染物超标率 (%)	< 1 %	1	1.2	已有数据
		1 % ~ 10 % ,或暂无国家标准限量值	2		
		10 % ~ 20 %	3		
		20 % ~ 50 %	4		
		> 50 %	5		
	2.3 食品人均每日消费量 (g/d)	≤10	1	0.8	广东省居民营养检测与健康状况调查
		10 ~ 50	2		
		50 ~ 100	3		
		100 ~ 200	4		
		> 200	5		
	2.4 食品消费频次	几年 1 次	1	0.4	广东省居民营养检测与健康状况调查
		每年几次 ~ 每年 1 次	2		
		每月几次 ~ 每月 1 次	3		
		每周几次 ~ 每周 1 次	4		
		每天几次 ~ 每天 1 次	5		
	2.5 食用人群规模 (占总人群比例) (%)	≤5 %	1	0.4	广东省居民营养检测与健康状况调查
		5 % ~ 10 %	2		
		10 % ~ 30 %	3		
		30 % ~ 50 %	4		
		> 50 %	5		

续表 1					
一级指标	二级指标				
	名称	分类	赋分	权重	数据来源及依据
3. 脆弱性	3.1 人群易感性	所有人群,不存在易感人群	1	1.2	依据已有科学结论
		患基础性疾病者发病率高	2		
		老年人、慢性病患者发病率高	3		
		儿童、孕妇发病率高	4		
		婴幼儿、免疫缺陷人群发病率高	5		
	3.2 医疗可控性	不必临床治疗可自愈	1	0.8	依据已有科学结论
		通过临床治疗可治愈,通常无需住院	2		
		通过临床治疗可治愈,通常需住院	3		
		通过临床治疗可治愈,但常见治愈后后遗症	4		
		迄今无有效的临床医疗手段	5		

注:若二级指标的分类方式是数值范围,相同名称和分类下的范围下限值或上限值与下一个范围值或下限值数值虽然相同,但互不交叉

表 2 食品中病原生物的健康风险二级指标赋分标准和权重					
Table 2 Scores and weigh of second level indicators for health risk of biological hazard in food					
一级指标	二级指标				
	名称	分类	赋分	权重	数据来源及依据
1. 危害性	1.1 病原生物致病(产毒素)剂量(cfu)	>1 000 000	1	2	依据已有科学结论
		1 000 ~1 000 000	2		
		100 ~1 000	3		
		10 ~100	4		
		1 ~10	5		
	1.2 致病严重程度	可自愈	1	2	依据已有科学结论
		有时需要治疗	2		
		多数情况需要治疗	3		
		需要治疗,且有较严重后遗症	4		
		多数情况下导致死亡	5		
2. 可能性	2.1 食品中病原生物检出率(%)	未检出	1	1.2	已有数据
		<1%	2		
		1% ~5%	3		
		5% ~10%	4		
		>10%	5		
	2.2 食用前加工方式对危害的影响	肯定能消除全部危害	1	1.2	定性研判
		通常(99%的情况)能消除危害	2		
		有时(50%的情况)能消除危害	3		
		对危害无影响	4		
		加重危害	5		
	2.3 食品人均每日消费量(g/d)	≤10	1	0.8	广东省居民营养检测与健康状况调查
		10 ~50	2		
		50 ~100	3		
		100 ~200	4		
		>200	5		
	2.4 食品消费频次	几年1次	1	0.4	广东省居民营养检测与健康状况调查
		每年几次~每年1次	2		
		每月几次~每月1次	3		
		每周几次~每周1次	4		
		每天几次~每天1次	5		
	2.5 食用人群规模(占总人群比例)(%)	≤5	1	0.4	广东省居民营养检测与健康状况调查
		5 ~10	2		
		10 ~30	3		
		30 ~50	4		
		>50%	5		
3. 脆弱性	3.1 人群易感性	所有人群,不存在易感人群	1	1.2	依据已有科学结论
		患基础性疾病者发病率高	2		
		老年人、慢性病患者发病率高	3		
		儿童、孕妇发病率高	4		
		婴幼儿、免疫缺陷人群发病率高	5		

续表 2					
一级指标	二级指标				
	名称	分类	赋分	权重	数据来源及依据
3.2 医 疗 可 控性		不必临床治疗可自愈	1	0.8	依据已有科学结论
		通过临床治疗可治愈,通常无需住院	2		
		通过临床治疗可治愈,通常需住院	3		
		通过临床治疗可治愈,但常见治愈后后遗症	4		
		迄今无有效的临床医疗手段	5		

注:若二级指标的分类方式是数值范围,相同名称和分类下的范围下限值或上限值与下一个范围值或下限值数值虽然相同,但互不交叉

品的全省年度总产量单位以万吨计。食品的全省销售量单位以亿元计。区域产业集群特点,指是否广东特有食物,广东特有食物对经济影响更大。

风险影响因子的监管影响二级指标为监管的可及性,可通过监管控制的危害分值越高,见表 3。

表 3 风险影响因子二级指标赋分标准和权重

Table 3 Scores and weigh of second level indicators for influential factor					
一级指标	二级指标				
	名称	分类	赋分	权重	数据来源及依据
1. 社会影响	1.1 关注度	食品百度指数 + 有害因素百度指数≤100 或无	1	2	媒体报道,百度指数
		食品百度指数 + 有害因素百度指数 100 ~ 1 000	2		
		食品百度指数 + 有害因素百度指数 > 1 000,或市级政府召开新闻发布会	3		
		省级政府召开新闻发布会,或启动应急预案	4		
		国家级政府召开新闻发布会,或启动应急预案	5		
	1.2 波及范围	市内局部地区	1	2	媒体报道
		省内 1 ~ 2 个市	2		
		省内 3 个以上市	3		
		跨省	4		
		跨国	5		
2. 经济影响	2.1 食品的全 省年度总产量 (万吨)	≤1	1	1.6	广东省统计局
		1 ~ 100	2		
		100 ~ 1 000	3		
		1 000 ~ 2 000	4		
		> 2 000	5		
	2.2 食品的全 省销售量(亿 元)	≤1	1	1.6	广东省统计局
		1 ~ 100	2		
		100 ~ 1 000	3		
		1 000 ~ 2 000	4		
		> 2 000	5		
	2.3 区域产业集 群特点,是否广 东特有食物	否	0	1.2	专家咨询
		是	2		
3. 监管影响	3.1 监 管 可 及性	天然本底,难以控制	1	2	专家咨询
		环境污染,需通过污染源头控制	2		
		加工过程产生的污染物,可通过改进工艺控制	3		
		超范围、超量使用食品添加剂等,可通过加强监管控制	4		
		非法添加非食用物质等,可通过加强监管控制	5		

注:若二级指标的分类方式是数值范围,相同名称和分类下的范围下限值或上限值与下一个范围值或下限值数值虽然相同,但互不交叉

2.3 计算方法

2.3.1 健康风险的应用实例

例 1:以花生油中黄曲霉毒素 B₁ 为例,对其进行风险分级。黄曲霉毒素 B₁ 属于化学性因素,采用表 1 方法。①危害性方面,查阅 JECFA 评估报告,黄曲霉毒素 B₁ 由于其强致癌性,无健康指导值,取 5 分;大鼠经口 LD₅₀ 为 5.5 ~ 7.2 mg/kg BW,因此取 4 分;黄曲霉毒素 B₁ 有强烈的致肝癌作用,国际癌症研究机构(IARC)把其划分为 I 类致癌物,取 5 分;对实验动物大鼠有致突变性,取 4 分;产生不可逆肝毒性,取 3 分;2004 年 5 月,肯尼

亚曾发生急性黄曲霉毒素中毒暴发事件,导致 317 人中毒、125 人死亡,取 5 分,详见表 4,进一步按权重加权求和,则危害性分值 = 5 × 1.6 + 4 × 0.4 + 5 × 0.8 + 4 × 0.4 + 4 × 0.4 + 5 × 0.4 = 18.8。②可能性方面,根据已有数据,花生油中黄曲霉毒素 B₁ 的含量 P₅₀ 为 1.92 μg/kg,为国家标准限量 20 μg/kg 的 0.096 倍,取 2 分;超标率为 22.35%,取 4 分;据 2010—2012 年广东省居民营养检测与健康状况调查,花生油的人均日消费量为 18.1 g,取 2 分;消费频率为每天几次 ~ 每天 1 次,取 5 分;广东人群均消费花生油,取 5 分,则可能性分值 =

$2 \times 1.2 + 4 \times 1.2 + 2 \times 0.8 + 5 \times 0.4 + 5 \times 0.4 = 12.8$ 。③脆弱性方面,JECFA 评估报告指出,HBV 肝炎病患者暴露于黄曲霉毒素 B₁ 时,更易被诱发肝癌,因此人群易感性取 2 分;黄曲霉毒素 B₁ 急性中毒无特效解毒剂,慢性中毒造成不可逆的肝脏损伤,严重者诱发肝癌,医疗可控性取

5 分,则脆弱性分值 = $2 \times 1.2 + 5 \times 0.8 = 6.4$ 。因此花生油中黄曲霉毒素 B₁ 的健康风险 = 危害性分值 × 可能性分值 × 脆弱性分值 = 1 540.1,在 2013—2014 年广东省化学性因素的所有食品-危害组合中风险分值排在第一位,属于高风险,见表 4。

表 4 花生油中黄曲霉毒素 B₁ 的健康风险二级指标赋分
Table 4 Scores and weigh of second level indicators for health risk of AFB₁ in peanut oil

一级指标	二级指标			
	名称	赋分	权重	数据来源
1. 危害性	1.1 健康指导值(μg/kg BW): <0.1 或无	5	1.6	JECFA 报告 ^[5]
	1.2 急性毒性大鼠经口 LD ₅₀ (mg/kg BW): 5.5 ~7.2	4	0.4	世界卫生组织国际化学品安全规划 IPCS
	1.3 致癌性:明确证据对人类致癌(I 类)	5	0.8	IARC
	1.4 遗传毒性:对哺乳动物生殖细胞有致突变证据的化学物质,可能为人类致突变物	4	0.4	JECFA 报告 ^[5]
	1.5 其他毒性:很可能的生殖毒性、神经毒性、内分泌毒性,显著慢性毒性	4	0.4	JECFA 报告 ^[5]
	1.6 人体危害资料(流病、个案):曾发生短时间微量暴露致死个案	5	0.4	文献 ^[6]
2. 可能性	2.1 食品中污染物含量 P50 超过限量标准的倍数: >0.01	2	1.2	已有数据
	2.2 食品中污染物超标率(%): 20% ~50%	4	1.2	已有数据
	2.3 食品人均每日消费量(g/d): 10	2	0.8	2010—2012 年广东省居民营养检测与健康状况调查
	2.4 食品消费频次:每天几次 ~ 每天 1 次	5	0.4	2010—2012 年广东省居民营养检测与健康状况调查
	2.5 食用人群规模(占总人群比例): >50%	5	0.4	2010—2012 年广东省居民营养检测与健康状况调查
3. 脆弱性	3.1 人群易感性:患基础性疾病者患病率高	2	1.2	JECFA 报告 ^[5]
	3.2 医疗可控性:迄今无有效的临床医疗手段	5	0.8	JECFA 报告 ^[5]

例 2:以生食贝类中副溶血性弧菌为例评估食品中病原生物的健康风险,①危害性方面,副溶血性弧菌的致病菌量为 10⁵ cfu/g,取 2 分,副溶血性弧菌食物中毒症状较轻,腹泻通常可自愈,少于 40% 的病人需要住院治疗,致病严重程度取 2 分,进一步按权重加权求和,则危害性分值 = $2 \times 2 + 2 \times 2 = 8$ 。②可能性方面,根据 2014 年广东省食品安全风险监测结果,生食贝类中副溶血性弧菌的检出率为 53.79% (71/132),取最高值 5 分;生食贝类为生吃,无需加热煮食,食用前加工方式基本对副溶血性弧菌无影响,取 4 分;据 2010—2012 年广东省居民营养监测与健康状况调查,生食贝类人均日消费量 <10 g,取 1 分;消费频率为每月 1.7 次,取 3 分;食用软体动物的广东居民人群比例有 56%,假设其中有半数居民生食贝类,则食用人群规模为 10% ~ 30%,食用人群规模取 3 分,则可能性分值 = $5 \times 1.2 + 4 \times 1.2 + 1 \times 0.8 + 3 \times 0.4 + 3 \times 0.4 = 13.2$ 。③脆弱性方面,副溶血性弧菌感染能令糖尿病、肝炎、肾炎、癌症等免疫缺陷或免疫抑制病人引起败血症,人群易感性取 5 分;大部分人食源性疾病症状通过可自愈,医疗可控性取 1 分,则脆弱性分值 = $5 \times 1.2 + 1 \times 0.8 = 6.8$ 。因此生食贝类中副溶血性弧菌的

健康风险 = 危害性分值 × 可能性分值 × 脆弱性分值 = 718.1。在 2013—2014 年广东省生物性因素食品-危害组合中风险分值排在第一位,属于高风险,见表 5。

2.3.2 影响因子的应用实例

例 1:对化学性因素健康风险属于高风险的花生油-黄曲霉毒素 B₁,进一步进行影响因子的计算。①社会影响方面,“花生油”的百度指数为 679,“黄曲霉毒素 B₁”的百度指数为 183,两者相加为 862,关注度取 2 分;搜索近年媒体报道,花生油中黄曲霉毒素 B₁ 超标事件以在广东发生为主,并包括山东、河南等地,波及范围为跨省,取 4 分。进一步按权重加权求和,则社会影响分值 = $2 \times 2 + 4 \times 2 = 12$ 。②经济影响方面,2012 年广东花生油产量为 95.52 万吨,取 2 分,销售量为 610.04 亿元,取 3 分,花生油不是广东特有食物,取 0 分,则经济影响分值 = $2 \times 1.6 + 3 \times 1.6 + 0 \times 1.2 = 8$ 。③监管影响方面,黄曲霉毒素 B₁ 属于天然本底,难以控制,取 1 分,则监管影响分值 = $1 \times 2 = 2$ 。因此花生油中黄曲霉毒素 B₁ 的影响因子社会影响分值 × 经济影响分值 × 监管影响分值 = 192,见表 6。

例 2:对病原生物健康风险属于高风险的生食

表5 生食贝类中副溶血性弧菌的健康风险二级指标赋分

Table 5 Scores and weigh of second level indicators for health risk of VP in ready-to-eat shellfish

一级指标	二级指标			
	名称	赋分	权重	数据来源
1. 危害性	1.1 病原生物致病(产毒素)剂量(CFU或个): >1 000	2	2.0	美国FDA;bad bug book ^[7]
	1.2 致病严重程度:有时需要治疗	2	2.0	美国FDA;bad bug book ^[7]
	2.1 食品中病原生物检出率: >10%	5	1.2	已有数据
	2.2 食用前加工方式对危害的影响:对危害无影响	4	1.2	生食贝类为生吃,无需加热煮食,食用前加工方式基本对副溶血性弧菌无影响
2. 可能性	2.3 食品人均每日消费量(g/d): <10	1	0.8	2010—2012年广东省居民营养检测与健康状况调查
	2.4 食品消费频次:每月几次~每月1次	3	0.4	2010—2012年广东省居民营养检测与健康状况调查
	2.5 食用人群规模(占总人群比例): >10%	3	0.4	2010—2012年广东省居民营养检测与健康状况调查
	3.1 人群易感性:婴幼儿、免疫缺陷人群发病率高	5	1.2	美国FDA;bad bug book ^[7]
3. 脆弱性	3.2 医疗可控性:不必临床治疗可自愈	1	0.8	美国FDA;bad bug book ^[7]

表6 花生油中黄曲霉毒素B₁的影响因子二级指标赋分

Table 6 Scores and weigh of second level indicators for influential factor of AFB₁ in peanut oil

一级指标	二级指标			
	名称	赋分	权重	数据来源及依据
1. 社会影响	1.1 注程度食品百度指数+有害因素百度指:数100~1 000	2	2.0	媒体报道,百度指数
	1.2 波及范围:跨省	4	2.0	媒体报道
2. 经济影响	2.1 食品的全省年度总产量(万吨): >1	2	1.6	2012年广东省统计局数据
	2.2 食品的全省销售量(亿元): >100	3	1.6	2012年广东省统计局数据
	2.3 区域产业集群特点,是否广东特有食物:否	0	1.2	专家咨询
3. 监管影响	3.1 监管可及性:天然本底,难以控制	1	2.0	专家咨询

贝类-副溶血性弧菌,进一步进行影响因子的计算。①社会影响方面,“生食贝类”与“副溶血性弧菌”两个关键词均未被百度指数收录,关注度取1分;搜索近年媒体报道,生食贝类中副溶血性弧菌导致的食物中毒在全国均有发生,波及范围为跨省,取4分。进一步按权重加权求和,则社会影响分值=1×2.0+4×2.0=10。②经济影响方面,2012年广东水产品产量为789.5万吨,估计贝类产量在100~1 000万吨区

间,取3分,由于目前暂无全省的贝类销售量数据,根据全省肉禽蛋类销售量为339.09亿元估计,贝类销售量在1~100亿元区间,暂取2分,贝类不是广东特有食物,取0分,则经济影响分值=3×1.6+2×1.6+0×1.2=8。③监管影响方面,副溶血性弧菌属于环境污染,取2分,则监管影响分值=2×2.0=4。因此生食贝类中副溶血性弧菌的影响因子社会影响分值×经济影响分值×监管影响分值=320,见表7。

表7 生食贝类中副溶血性弧影响因子二级指标赋分

Table 7 Scores and weigh of second level indicators for influential factor of VP in ready-to-eat shellfish

一级指标	二级指标			
	名称	赋分	权重	数据来源及依据
1. 社会影响	1.1 注程度:食品百度指数+有害因素百度指数<100或无	1	2.0	媒体报道,百度指数
	1.2 波及范围:跨省	4	2.0	媒体报道
	2.1 食品的全省年度总产量(万吨): >100	3	1.6	广东省统计局
2. 经济影响	2.2 食品的全省销售量(亿元): >1	2	1.6	广东省统计局
	2.3 区域产业集群特点,是否广东特有食物:否	0	1.2	专家咨询
3. 监管影响	3.1 监管可及性:环境污染,需通过污染源头控制	2	2.0	专家咨询

2.3.3 总风险计算过程

利用健康风险公式分别计算出所有食品中化学性因素、生物性因素组合的健康风险分值后,按健康风险分值进行排序、分级,把食品-危害组合分为高、中、低3种健康风险层次。然后,针对排序结果中健康风险高的食品危害组合,将利用影响因子公式,进一步计算高风险的食品-危害组合的影响因子。最后,利用总风险公式,计算出高风险食品危害组合的总风险。

则花生油-黄曲霉毒素B₁的总风险=8×健康

风险+2×风影响因子=8×1540.1+2×192=12 704.8,生食贝类-副溶血性弧菌的总风险=8×健康风险+2×影响因子=8×718.1+2×320=6 384.8。

3 讨论

风险评估是联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)制定的食品安全风险分析框架中的一部分,与风险管理、风险交流部分紧密相关。假设食品链从下往上的方向为从食品原材料-加工-流

通-人群消费-疾病暴发,则风险评估的形式既包括自下而上从食品污染监测数据出发、通过暴露评估模型预测危害对消费人群的健康影响的经典风险评估,也包括“自上而下”的从食源性疾病监测数据出发、通过疾病负担模型估计危害与人群不良健康影响之间联系的流行病学评估形式,同时还包括运用基于风险指标的分级方法对风险分级排序的半定量风险评估形式^[8]。

微生物风险分级方法较多,例如半定量的 Risk Ranger^[4]、sQMRA^[9]等,这是由于进行完整的微生物定量风险评估(QMRA)的难度往往很大,食品中的微生物一直处于生长、存活、消亡的动态变化中并受环境温度、pH 等多种条件影响,除了需收集大量数据外还需采用预测微生物模型、蒙特卡洛模拟、贝叶斯网络分析等数学模型,过程费时费力并需要大量经费。

而化学物在食品中大都处于稳定状态,因此定量评估方法比较完善,风险分级的方法相对缺乏。英国 FSA 曾把化学物质的危害性和可能性得分代入风险分级矩阵进行比较^[10],只考虑了危害性和可能性两个指标,属于比较简单的二维矩阵图。英国兽药残留委员会则用兽药的危害性、危害强度、施药动物占人群膳食的比例、施药频率、高暴露人群组别、药物残留检出情况等 6 个指标分别赋值^[2],采用风险指数法计算兽药的风险高低并进行分级,维度更多更全面。

本次研究针对国内食源性疾病暴发流行病学数据不足的因素,结合“自上而下”和“自下而上”两种互补评估方法,探索建立了一套以半定量风险评估为基础的食品风险分级方法和指标体系,并利用此方法对 2013—2014 年广东省 3 万余条食品安全监督抽检和已有数据进行分析,分级评定出 44 项高风险的食品-危害组合,确定了广东省目前 7 种需要重点关注的食品安全高风险问题(将另文详述)。以往的文献资料显示,目前国内所进行的食品安全风险评估理论的应用与探讨多集中于食品安全某一个方面或某一个危害,评估的对象不同,方法和技术指标也不尽相同,关于风险分级的方法较少。有文献应用半定量的 Risk Ranger 进行某一种微生物如单增李斯特菌、副溶血性弧菌的风险分级^[11-13],也有运用风险矩阵法进行风险分级以确定食品监管项目的报道^[14],但未见有同时对微生物风险和化学风险综合起来进行风险分级的报道。本次研究探讨构建了同时结合食品中化学性因素和生物性因素风险、并考虑到社会经济监管影响的标准化风险分级方法和指标体系,对各种一级指标和

二级进行了定义,探讨设置了量化赋分的标准,将有助于实现对食品安全中化学性因素、微生物危害等各种风险的横向比较,以选择优先干预重点和有限干预策略,为进一步开展经典风险评估打下了科学基础,实现食品安全监管资源的优化配置,最大限度地保障人群的身体健

康。食品安全风险本身是非常复杂的问题,无法简单地描述,也没有完全通用的风险分级方法,需根据不同的分级目的、数据可及性、以及评估的时间等因素来决定^[1]。单使用一个模型或公式不可能完全囊括所有的假设条件和不同的影响因素。本次研究在分级过程中,更多地考虑风险对人体健康的影响,并尽量使用客观数据作为主要指标以降低主观判断对分级结果的干扰,但影响因子和权重分析仍然以食品领域专家的选择为主,包含有一定的主观成分。同时,虽然风险分级结果能为政府决策提供一定的科学依据,但“政府的决策不能简单地简化为一个公式”^[15],每一个因素的变化都可能使优先次序发生变化。因此随着研究的深入,还需在食品风险分级的指标、公式、方法做出不断的修正和调整,下一步将在本研究的基础上继续探索,进一步更完善的食品安全分级方法和指标体系,以达到真正以风险为导向的食品安全监管提供科学依据的目的。

参考文献

- [1] EFSA. Scientific opinion on the development of a risk ranking framework on biological hazards [J]. EFSA Journal, 2012, 6 (10): 2724-2812.
- [2] VRC. Annual report on surveillance for veterinary residues in food in the UK 2010 [R]. UK Veterinary Residues Committee, 2010.
- [3] Asselt E D, Spiegel M, Noordam M Y, et al. Risk ranking of chemical hazards in food—a case study on antibiotics in the Netherlands [J]. Food Research International, 2013, 54 (2): 1636-1642.
- [4] Ross T, Sumner J. A simple, spreadsheet-based, food safety risk assessment tool [J]. Int J Food Microbiol, 2002, 77 (1/2): 39-53.
- [5] WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants [R]. Forty-ninth report of the joint FAO/WHO expert committee on food additives, Geneva, Switzerland, 1999.
- [6] Lewis L, Onsongo M, Njapau H, et al. Aflatoxin contamination of commercial maize products during an outbreak of acute aflatoxicosis in eastern and central Kenya [J]. Environmental Health Perspectives, 2005, 113 (12): 1763-1767.
- [7] FDA. Bad bug book: foodborne pathogenic microorganisms and natural toxins handbook [M]. Silver Spring: US Food and Drug Administration, 2012.
- [8] WHO. 食品安全风险分析: 国家食品安全管理机构应用指南 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008.
- [9] Evers E G. A swift quantitative microbiological risk assessment

(sQMRA) tool [J]. Food Control, 2010 (21) : 319-330.

[10] Lenartowicz P, Michie N. Risk-based sampling of food [R]. Public Analyst Service Ltd for Food Standards Agency, 2002.

[11] 刘弘, 顾其芳, 吴春峰, 等. 生乳中金黄色葡萄球菌污染半定量风险评估研究 [J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 23 (4) : 293-296.

[12] 田静, 刘秀梅. 熟肉制品和蔬菜沙拉中单核细胞增生李斯特菌的风险分级评估 [J]. 中华预防医学杂志, 2009, 43 (9) : 781-784.

[13] 赵峰, 马丽萍, 孙永, 等. 我国沿海城市海产品中副溶血性弧菌的半定量风险评估 [J]. 中国渔业质量与标准, 2012 (4) : 33-38.

[14] 刘清碧, 陈婷, 张经华, 等. 基于风险矩阵的食品安全风险监测模型 [J]. 食品科学, 2010, 31 (5) : 86-90.

[15] 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

杭州市居民主要膳食镉暴露评估

王玲莉, 刘辉, 王姝婷
(杭州市疾病预防控制中心, 浙江 杭州 310021)

摘要:目的 通过分析 2011—2013 年杭州市主要食品中镉污染水平及居民膳食消费量, 评估杭州市居民镉暴露的安全性。方法 对各类食品中镉含量进行检测, 并结合 2010 年杭州市居民膳食营养调查中各类食物消费量数据, 获得杭州市居民膳食中镉的实际摄入量, 对居民由膳食摄入的镉进行安全性评估。结果 10 大类食品 1 010 份食品样品中镉的总检出率为 73.76% (745/1 010), 总超标率为 5.12% (41/801)。大米、小麦及猪内脏均检出镉, 检出率为 100%, 乳制品检出率最低 (29.03%, 27/93), 超标食品主要是大米、水产品、猪肾、蛋类、蔬菜及食用菌。按照食品消费量的均值估算, 杭州市居民每月 10 大类主要食品的镉暴露量为 22.61 $\mu\text{g/kg BW}$, 未超过每月耐受摄入量 (*PTMI*) 为 25 $\mu\text{g/kg BW}$, 镉的安全限值 *MOS* = 1.11。贡献率最大的 3 类食品分别为大米 (64.16%)、蔬菜 (15.28%) 及水产品 (14.48%)。结论 杭州市主要食品对居民膳食镉的平均贡献水平未超过 *PTMI* 值, *MOS* > 1, 居民膳食镉暴露水平总体上安全, 由于杭州市居民大米的消费量较大且大米对居民膳食镉贡献率最高, 监管部门应对大米的镉污染问题予以重视。

关键词: 镉; 膳食; 暴露评估; 食品安全

中图分类号: R155; O614 文献标志码: A 文章编号: 1004-8456 (2015) 05-0585-05
DOI: 10.13590/j.cjfh.2015.05.022

Assessment on the dietary exposure of cadmium in Hangzhou residents

WANG Ling-li, LIU Hui, WANG Shu-ting
(Hangzhou Center for Disease Prevention and Control, Zhejiang Hangzhou 310021, China)

Abstract: Objective To analyse the cadmium level in food and dietary intake of residents in Hangzhou for risk assessment. **Methods** The content of cadmium in foods were determined by the monitoring project of food contamination in Hangzhou city during 2011-2013. The actual dietary intake of cadmium was obtained by combining the data of food consumption survey in Hangzhou residents in 2010 with the data of cadmium content in foods. The dietary intake of cadmium among Hangzhou residents was assessed by provisional tolerable monthly intake (*PTMI*) recommended by JECFA. **Results** Cadmium was detected in 745 of 1 010 samples (73.76%) from ten food categories. Rice, wheat and pig viscera were all positive while the detection rate of dairy products was the lowest. The violation rate was 5.12%, mainly in rice, aquatic products, pig kidney, eggs, vegetables and edible mushrooms. Combined with the mean value of food consumption estimates, the cadmium exposure of Hangzhou residents from 10 major food categories were 22.61 $\mu\text{g/kg BW}$, which was below the *PTMI* (25 $\mu\text{g/kg BW}$), and the *MOS* value was 1.11. The highest contributor were rice (64.16%), vegetables (15.28%) and aquatic products (14.48%). **Conclusion** The average dietary exposure of cadmium from 10 food categories did not exceed the *PTMI*, the *MOS* was above 1, so the dietary cadmium exposure was