

# 供应链视角下我国突发食品安全事件风险评价

杨雪美, 王晓翌, 李鸿敏

(河北经贸大学金融学院, 河北 石家庄 050061)

**摘要:** 目的: 分析我国食品供应各环节食品安全风险的大小, 为今后制定突发食品安全事件应急管理策略提供理论基础和技术支持。方法: 基于突变理论模型, 构建突发食品安全事件风险评价指标体系, 对我国2005—2014年间的食品安全风险进行综合评价。结果: 总体而言, 近10年我国食品安全风险呈缓慢下降趋势, 但是从食品供应的3个具体环节来看, 风险一直呈现波动趋势, 特别是农产品生产和食品生产消费这2个环节, 近2年来食品安全风险呈现增长态势。结论: 完善食品安全法律法规体系和食品安全监管体系, 推动农业分散经营模式向规模化生产模式转变, 建立食品安全强制责任保险制度。

**关键词:** 食品安全; 供应链; 风险评价; 突变理论

## Risk Evaluation of Food Safety Emergencies under the Perspective of Supply Chain

YANG Xuemei, WANG Xiaoyi, LI Hongmin

(School of Finance, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang 050061, China)

**Abstract:** Objective: This study aimed to analyze food safety risks along the entire food supply chain for the purpose of providing a theoretical basis and technical support to formulate an emergency management strategy. Methods: Based on the data from 2005 through 2014 in China, a food safety risk assessment system is established according to the catastrophe theory in this article. Results: Overall, the past decade has saw a slow reduction in food safety risks; however, for three selected steps of the food supply chain, especially agricultural production and food production and consumption, food safety risks have continuously fluctuated during this decade and tended to rise over the last two years of this period. Conclusion: Improving the legal and regulatory system for food safety, promoting the transformation of decentralized agricultural business model to large-scale production mode, and establishing a compulsory liability insurance system for food safety are key factors to reduce food safety risks and emergencies.

**Key words:** food safety; supply chain; risk evaluation; catastrophe theory

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201719048

中图分类号: R181.8

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 19-0309-06

引文格式:

杨雪美, 王晓翌, 李鸿敏. 供应链视角下我国突发食品安全事件风险评价[J]. 食品科学, 2017, 38(19): 309-314.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201719048. <http://www.spkx.net.cn>

YANG Xuemei, WANG Xiaoyi, LI Hongmin. Risk evaluation of food safety emergencies under the perspective of supply chain[J]. Food Science, 2017, 38(19): 309-314. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201719048. <http://www.spkx.net.cn>

自20世纪80年代以来, 我国食品安全问题日益严重, 农药兽药残留超标、乳制品业使用三聚氰胺、养殖业滥用抗生素、食品加工业违规滥用食品添加剂等, 一系列影响恶劣的突发食品安全事件, 不仅给广大消费者带来身体上的伤害, 更给消费者和食品产业造成了巨大经济损失, 阻碍了食品工业的蓬勃发展, 危及食品市场

秩序。由于食品安全直接关系到广大人民群众的日常生 活, 波及面广, 一旦突发食品安全事故, 受害群体数量较大, 容易引发群体性事件, 甚至影响社会稳定。因此, 积极应对突发食品安全事件, 构建科学有效的突发食品安全事件应急管理机制是当前急需研究的课题。

食品安全问题包含2个关键词, 一是有毒有害物

收稿日期: 2016-08-06

基金项目: 2015年河北省科技计划项目 (15455404D); 河北省教育厅高等学校科学研究计划项目 (SZ134030);

河北经贸大学校内科研基金项目 (2014KYY08)

作者简介: 杨雪美 (1978—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为应急管理、风险管理与保险。E-mail: yangxue8484@sina.com

质,二是人类健康,二者缺一不可<sup>[1]</sup>。食品安全风险评估与风险管理和风险交流密切相关,其中,食品安全风险监测可对危害物检验分析,实现食品安全风险可管理操作<sup>[2-3]</sup>。可见,食品安全风险评价是一项技术性很强的工作<sup>[4]</sup>,也是科学应对突发食品安全事件的首要工作。通过对整个食品供应链的风险评价,科学分析我国食品供应链上不同环节存在安全风险的程度大小,进而根据风险程度制定相应的应急机制和政策措施,为充分做好灾前预防和灾后保障工作提供政策建议和技术支持。

## 1 食品安全评价研究现状

### 1.1 食品安全评价指标体系的研究

Kleter等<sup>[5]</sup>从分析食品安全的脆弱性分析入手,分别从食品生产链内、外及消费过程3方面分析了危害食品安全的影响因素并提出了外部环境等共17个评价指标。国内学者黄晓娟等<sup>[6]</sup>从食品安全预警角度,立足影响食品安全状态的不同因素的特征分析,构建了包含基础状态、合格状态和整体状态指标3个层次的食品安全风险指标体系。李哲敏<sup>[7]</sup>、刘於勋<sup>[8]</sup>认为食品安全综合评价指标体系应包括食品数量安全、质量安全和可持续性安全3个方面,基于这3项准则的主要内容,运用层次分析结合灰色关联分析的方法,建立了上、中、下3层共16个指标的食品安全综合评价指标体系计算模型。邹立海<sup>[9]</sup>提出食品安全监测检验项目的具体指标包括:食品合格率、各类农产品原料的监测、农产品农药残留超标率等。唐晓纯<sup>[10]</sup>根据食品安全预警体系的构建思路及食品安全的预警要求设计了4层结构共18个警情指标的预警指标体系。郑培等<sup>[11]</sup>通过对食品安全综合评价指数、综合评价指标体系及食品安全风险预警模型的研究,实现监测预警的功能。武力<sup>[12]</sup>首次建立了一套从农田到餐桌的食品供应链范围的食品安全风险评价指标体系,将层次分析法与模糊综合评价方法结合进行风险评价。

### 1.2 食品安全评价模型及方法的研究

国外在食品安全评价方法和数学模型方面的研究较多,最早的方法和模型来自美国的责任评估法,20世纪60年代建立了著名的CIPP模型<sup>[13]</sup>。目前,由国际食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)创立的食品风险性分析法<sup>[14]</sup>被国外普遍采用,相应的评估方法和模型主要有概率暴露评估模型<sup>[15]</sup>、决策评估法<sup>[16]</sup>、非途径评估模型<sup>[17]</sup>等。如Barker等<sup>[18]</sup>使用贝叶斯网络模型来预测并描述食品在各环节中的微生物数量,并以此作为参考来评估微生物风险。Valerie<sup>[19]</sup>、Iliev<sup>[20]</sup>等运用模糊风险评价工具对食品中的微生物和饮用水进行风险评价。决策评估法是世界卫生组织(World Health Organization, WHO)、联合国粮食及农业组织(Food

and Agriculture Organization, FAO)及其下属食品添加剂联合专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)共同推荐的计算膳食化合物风险值的方法<sup>[21-22]</sup>,也是欧洲评估膳食化学物风险的常用方法。2006年欧洲食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)提出风险-利益评估法(risk benefit model)<sup>[23]</sup>,该模型中引进新元素,而且同时考虑风险作用和利益效用,通过非调整生命年、质量调整生命年等指标来平衡潜在风险和利益<sup>[24]</sup>。

国内学者的研究则主要以模糊综合评判为主,如郝伟东等<sup>[25]</sup>介绍了基于模型和检测实验的各种评价方法,又将毒理学分析法分成了综合评判法、综合评分法、潜在危害指数法、模糊聚类法4种。周泽义<sup>[26]</sup>、杜树新<sup>[27]</sup>等在综合考虑了食品、危害物的多样性以及危害物毒性的差异性基础上,运用模糊数学计算不同类别危害物的风险指数;刘华楠等<sup>[28]</sup>运用层次分析法和模糊理论对影响畜产食品安全信用的各因素进行了系统分析;EFSA<sup>[29]</sup>、崔凤霞<sup>[30]</sup>等提出了风险-收益评估法,这种方法在国外主要应用于富含钙、VA及叶酸等营养强化食品和鱼类等水产品的安全评估,国内则主要用于药品的安全评估。韩月明<sup>[31]</sup>提出了生鲜食品微生物数量预测模型,并引入蒙特卡罗方法用该模型对超市生鲜食品的微生物数量进行了预测。李为相等<sup>[32]</sup>引入扩展的优势粗集理论,提出了扩展的粗集模型。章德宾等<sup>[33]</sup>运用BP神经网络的食品安全预警方法丰富了食品安全数据的处理方法,有助于完善相关预警技术手段。徐超等<sup>[34]</sup>从集对分析理论出发,结合进出口食品安全风险评价问题,建立基于集对分析理论的进出口食品安全风险评价模型,并将其应用到食品监管部门的实际工作中。

## 2 突发食品安全事件风险评价方法的选择——突变理论模型

综上所述,目前常用的食品安全评价方法主要有模糊综合评价法、指数评价法、灰色评价法以及人工神经网络法等。这些方法虽然在食品安全预警、监管工作中获得了一定的应用,但对于本文的研究对象——突发事故的风险评价而言,这些方法都不太适用。本文研究的突发食品安全事件,除了具有一般食品安全事件的特征外,更具有突发性、群体性、小概率、大损失的典型特点,其全过程的演化机制和发展规律较难确定,灾害程度及对社会稳定造成的影响是多方面的,很难用传统方法进行量化。

陈秋玲等<sup>[35]</sup>在《基于突发事件视角研究城市安全状况》一文中指出,由于突发事件的特有属性,基于常态事件的风险评估模型往往失效,但突变理论可以有效地

解决这一问题。早在1972年,法国数学教授雷内·托姆就创立了突变理论(catastrophe theory),该理论主要用于动态系统在连续发展过程中出现的突然变化现象的研究。目前,突变理论模型在数学、力学、物理、化学、生物学、社会学等领域中都有广泛的应用。鞠彦兵等<sup>[36]</sup>运用突变理论对突发事件进行研究,给出了突发事件影响程度的量化方法。王娟<sup>[37]</sup>将尖点突变模型运用到火灾事故的原因分析中,得出先提高物的安全状态,再提高人的消防安全意识和消防安全管理,可以提高系统的安全性,避免火灾事故发生的结论。孙康等<sup>[38]</sup>以危险化学品事故引起的群体性事件为例,研究非常规突发事件的演化机理;戢晓峰等<sup>[39]</sup>以应急疏散群体行为及交通行为影响度作为评价指标,在解析过饱和旅游流形成机理的基础上,利用尖点突变理论构建过饱和旅游流应急疏散效率的评估模型。孙君等<sup>[40]</sup>运用燕尾突变理论,建立应急物流能力突变模型,研究我国各类突发事件如地震、洪水、传染病等灾害事件的应急物流能力高低。可见,突变理论模型已成为评价突发事件风险程度的重要工具。

突变现象是指系统在状态空间演化过程中从一个稳定状态向另一个稳定状态跳跃时,即发生突变。突变模型首先要分解我们要评价的目标,然后利用突变模糊势函数,得到综合评价结果。雷内·托姆根据系统中状态变量和控制变量的个数,把突变现象分成折叠突变、蝴蝶突变、尖点突变、燕尾突变、椭圆脐点突变、双曲脐点突变和抛物脐点突变7种类型。运用突变模型评估社会学、经济学问题时,最常用的是折叠突变模型、尖点突变模型、燕尾突变模型和蝴蝶突变模型,如表1所示。

表1 常用的突变模型  
Table 1 Major catastrophe models

突变模型	控制变量的数目	势函数	突变奇点集方程
折叠突变	1	$f(x) = x^3 + ax$	$a = -3x^2$
尖点突变	2	$f(x) = x^4 + ax^2 + bx$	$a = -6x^2, b = 8x^3$
燕尾突变	3	$f(x) = \frac{1}{5}x^5 + \frac{1}{3}ax^3 + \frac{1}{2}bx^2 + cx$	$a = -6x^2, b = 8x^3, c = -3x^4$
蝴蝶突变	4	$f(x) = \frac{1}{6}x^6 + \frac{1}{4}ax^4 + \frac{1}{3}bx^3 + \frac{1}{2}cx^2 + dx$	$a = -10x^2, b = 20x^3, c = -15x^4, d = 4x^5$

表1中 $f(x)$ 表示状态变量 $x$ 的势函数,系数 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 表示影响状态变量的控制变量,通过对势函数 $f(x)$ 的状态变量求导,解出 $x$ 就可得到突变奇点集方程,再由突变奇点集方程导出归一公式,用它对系统进行量化递归运算,求出表示系统状态特征的系统总突变隶属函数值,这是突变模型评价方法的关键。

可见,突变理论模型是将评价指标作为控制变量,按各控制变量对状态变量影响的大小程度,进行排序。控制变量对状态变量的作用是由模型本身确定的,不是由决策者主观给出权重。因此,突变理论模型能实现定量与定性的结合,使评价结果和实际情况更加接近,本文选用这种方法进行突发食品安全事件风险的评价。

### 3 建立突发食品安全事件风险评价指标体系

食品安全受到众多因素影响,除了受外部宏观政策、法律法规、经济环境以及科技水平等间接因素的影响,主要还包括从农田到餐桌整个食品供应链上所有环节的直接影响<sup>[41]</sup>。食品供应链涉及的环节众多,从农产品的种植养殖、食品的生产加工、食品从产地到销地的运输存储,到最后在商场、超市及其他餐饮场所销售、保管等,各个环节都蕴藏着安全隐患和风险因素。本文将食品供应链主要划分为4个环节,即农产品生产环节、食品生产环节、食品流通环节、食品消费环节,基于食品安全问题的复杂性,在进行食品安全风险评估时借鉴了食品安全预警和监控的指标体系,并结合指标选取了全面性、可操作性、灵敏性以及动态性要求,在考虑整个食品供应链上存在的主要风险因素基础上,构建了3个层次的食物安全风险评价指标体系。该指标体系每一层次的测评指标(因素)都是由上一层测评指标(因素)展开的,而上一层次的测评指标需通过下一层的测评指标的测评结果反映出来,如表2所示。

表2 食品安全风险评价指标体系  
Table 2 System of indicators for food safety risk assessment

A层指标	B层指标	C层指标
食品安全总风险(A)	农产品生产环节风险(B <sub>1</sub> )	动物产品兽药残留抽检合格率(c <sub>11</sub> )
		蔬菜农残抽检合格率(c <sub>12</sub> )
		水产品抽检合格率(c <sub>13</sub> )
		畜禽(生猪)抽检合格率(c <sub>14</sub> )
	食品生产和流通环节风险(B <sub>2</sub> )	食品质量国家监督抽查合格率(c <sub>21</sub> )
		饮用水经常性卫生监测合格率(c <sub>22</sub> )
		食品经营单位经常性卫生监督合格率(c <sub>23</sub> )
		食品经营单位持健康合格证人数占比(c <sub>24</sub> )
	食品消费环节风险(B <sub>3</sub> )	全国消协组织受理食品投诉件数(c <sub>31</sub> )
		食物中毒人数统计(c <sub>32</sub> )
		食物中毒后死亡人数统计(c <sub>33</sub> )
		中毒事件数统计(c <sub>34</sub> )

食品安全总风险是第一层(A)指标,综合反映了食品安全的风险大小;第二层指标(B)由第一层指标展开,分别包括农产品生产、食品生产流通以及食品消费3个方面,反映食品安全在这3个环节上的风险大小;第三层指标(C)由第二层指标展开,共12个指标具体反映每一个环节的主要风险因素。具体而言,农产品生产



是初级农产品的种养殖过程,这个环节中主要风险隐患在于大量化肥、农药、兽药以及饲料添加剂的滥用导致的食品安全问题,因此主要选取了动物产品兽药残留抽检合格率、蔬菜农残抽检合格率、水产品抽检合格率、畜禽(生猪)抽检合格率4个指标体现该环节的风险程度。食品生产加工环节和食品流通销售环节是供应链上最为复杂的2个环节,这2个环节不但经营主体遍布全国各地,呈现多种业态模式<sup>[42]</sup>,而且食品安全隐患较多,如生产加工过程中的菌落总数超标和各类添加剂的不合格引发的食品安全问题、流通销售环节的仓储运输和经营销售过程存在的各类食品安全风险。因此,基于评价指标的可测性和易得性,本文在第二层指标(B)中,将食品生产和流通作为一个大环节,选取食品质量国家监督抽查合格率、饮用水经常性卫生监测合格率、食品经营单位经常性卫生监督合格率以及食品经营单位持健康合格证人数占比这4个指标综合反映该环节的风险。食品消费环节是食品供应链的终端,消费环节中餐饮业、食堂、家庭消费等是食物中毒的高发环节,因此,选取食物中毒人数、食物中毒后死亡人数、中毒事件数以及全国消协组织受理食品投诉件数4个指标综合反映这一环节风险大小。

#### 4 我国突发食品安全事件风险综合评价与分析

##### 4.1 数据来源及处理

本文所用指标数据选取我国2005—2014年的年度数据,数据来源于《中国卫生统计年鉴》(2006—2015年)、《中国统计年鉴》(2006—2015年)、《中国食品工业年鉴》(2006—2015年),以及通过搜集、整理国家质量监督检验检疫总局网站和中国食品安全网等网站公告公报数据统计整理得到,详见表3。

**表3 2005—2014年食品安全风险评价指标值**  
**Table 3 Values of food safety risk assessment indicators during 2005–2014**

环节	指标	年份									
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
农产品生产环节 (B <sub>1</sub> )	$x_{c_1}$	95.80	97.20	97.80	98.60	99.90	99.00	99.95	99.70	99.94	99.97
	$x_{c_2}$	91.5	93.0	95.3	96.3	96.4	96.8	97.4	97.9	96.6	96.3
	$x_{c_3}$	97.5	98.8	99.8	94.7	96.7	96.7	96.8	96.9	94.4	93.6
	$x_{c_4}$	97.2	98.5	98.4	98.6	99.5	99.6	99.6	99.7	99.7	99.2
食品生产和流通环节 (B <sub>2</sub> )	$x_{c_5}$	81.82	80.80	83.10	87.30	91.30	94.60	95.10	95.40	96.40	98.50
	$x_{c_6}$	89.40	87.70	88.60	88.60	87.40	88.10	92.10	92.30	92.76	99.50
	$x_{c_7}$	88.6	86.2	91.1	91.7	90.4	91.7	99.4	99.5	99.3	99.2
	$x_{c_8}$	98.0	96.9	97.9	96.9	96.5	97.0	92.9	97.2	97.9	97.7
食品消费环节 (B <sub>3</sub> )	$x_{c_9}$	4.87	4.20	3.70	4.60	3.70	3.50	3.90	2.920	4.29	2.64
	$x_{c_{10}}$	9 021	18 063	13 280	13 095	11 007	7 383	8 324	6 685	5 559	5 657
	$x_{c_{11}}$	235	196	258	154	181	184	137	146	109	110
	$x_{c_{12}}$	256	589	506	431	271	220	189	174	152	160

对原始数据进行标准化处理,用线形比例变换法将原始数据变换为0~1之间的数值。若指标为正向指标,则其标准化处理采用公式(1)。

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (1)$$

若指标为逆向指标,其标准化处理采用公式(2)。

$$x_{ij}^* = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (2)$$

式中: $x_{ij}$ 为第*j*个评价对象的第*i*个指标值, $\min x_{ij}$ 为第*j*个评价对象的第*i*个指标的最大值, $\max x_{ij}$ 为第*j*个评价对象的第*i*个指标的最小值, $x_{ij}^*$ 为第*j*个评价对象的第*i*个指标标准化值。

**表4 2005—2014年标准化处理后的食品安全风险评价指标值**  
**Table 4 Standardized values of food safety risk assessment indicators during 2005–2014**

环节	指标	年份									
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
农产品生产环节 (B <sub>1</sub> )	$x_{c_1}^*$	1.000 0	0.664 3	0.520 4	0.328 5	0.016 8	0.232 6	0.004 8	0.064 8	0.007 2	0.000 0
	$x_{c_2}^*$	1.000 0	0.765 6	0.406 3	0.250 0	0.234 4	0.171 9	0.078 1	0.000 0	0.203 1	0.250 0
	$x_{c_3}^*$	0.371 0	0.161 3	0.000 0	0.822 6	0.500 0	0.500 0	0.483 9	0.467 7	0.871 0	1.000 0
	$x_{c_4}^*$	1.000 0	0.480 0	0.520 0	0.440 0	0.080 0	0.040 0	0.040 0	0.000 0	0.000 0	0.200 0
食品生产和流通环节 (B <sub>2</sub> )	$x_{c_5}^*$	0.942 4	1.000 0	0.870 1	0.632 8	0.406 8	0.220 3	0.192 1	0.175 1	0.118 6	0.000 0
	$x_{c_6}^*$	0.834 7	0.975 2	0.900 8	0.900 8	1.000 0	0.942 1	0.611 5	0.595 0	0.557 0	0.000 0
	$x_{c_7}^*$	0.819 5	1.000 0	0.631 6	0.586 5	0.684 2	0.586 5	0.007 5	0.000 0	0.015 0	0.022 6
	$x_{c_8}^*$	0.000 0	0.215 7	0.019 7	0.215 7	0.294 1	0.196 1	1.000 0	0.156 9	0.019 6	0.058 8
食品消费环节 (B <sub>3</sub> )	$x_{c_9}^*$	1.000 0	0.699 6	0.475 3	0.878 9	0.475 3	0.385 7	0.565 0	0.125 6	0.739 9	0.000 0
	$x_{c_{10}}^*$	0.276 9	1.000 0	0.617 5	0.602 7	0.435 7	0.145 9	0.221 1	0.090 1	0.000 0	0.007 8
	$x_{c_{11}}^*$	0.845 6	0.583 9	1.000 0	0.302 0	0.483 2	0.503 4	0.187 9	0.248 3	0.000 0	0.006 7
	$x_{c_{12}}^*$	0.238 0	1.000 0	0.810 1	0.638 4	0.272 3	0.155 6	0.084 7	0.050 3	0.000 0	0.018 3

##### 4.2 确定突变类型,计算风险隶属函数值

确定食品供应链各环节的突变类型,采用相应的突变模型归一公式,对标准化处理后的指标值进行量化递归运算,由最下层指标给出突变隶属函数,再逐层往上推算,最后求出食品安全风险总隶属函数值。

如前所述,在整个食品生产供应链条中,食品安全包括农产品生产、食品生产流通和食品消费3个主要环节,因此食品生产系统可视为燕尾突变系统,而3个子环节对应的控制变量的数目都是4个,因此在初等突变模型中对应的都是蝴蝶突变。根据各控制变量对状态变量的影响方向,通过2个准则逐级递归计算突变隶属函数值。

1) 互补准则:系统的每个控制变量(*a*、*b*、*c*、*d*等)之间存在明显的关联作用,可以相互弥补不足,按其均值取用,即公式(3)。

$$x = \frac{x_a + x_b + x_c + x_d}{4} \quad (3)$$

2) 非互补准则:系统的每个控制变量(*a*、*b*、*c*、*d*等)之间,其作用不可互相替代,不能相互弥补不足,

则按照“最大最小”原则取值,如果是正向指标,则取各控制变量对应突变级数值中的最小值作为总隶属函数值,即公式(4)。

$$x = \min(x_a, x_b, x_c, x_d) \quad (4)$$

反之,如果是逆向指标,则取最大值为总隶属函数值,即公式(5)。

$$x = \max(x_a, x_b, x_c, x_d) \quad (5)$$

根据“互补”与“非互补”准则,食品安全系统属于互补的燕尾突变系统,其3个环节的子指标也均是互补关系,因此,就取控制变量相应的突变级数值的平均值为突变隶属函数值,用归一公式逐步向上综合,直到最高层“食品安全风险总值”,计算过程如公式(6)~(9)。

在农产品生产环节,  $c_{11}$ 、 $c_{12}$ 、 $c_{13}$ 、 $c_{14}$ 构成蝴蝶突变模型,由互补性质可得公式(6)。

$$x_{B_1} = \frac{(x_{c_{11}}^{1/2} + x_{c_{12}}^{1/3} + x_{c_{13}}^{1/4} + x_{c_{14}}^{1/5})}{4} \quad (6)$$

在食品生产流通环节,  $c_{21}$ 、 $c_{22}$ 、 $c_{23}$ 构成蝴蝶突变模型,由互补性质可得公式(7)。

$$x_{B_2} = \frac{(x_{c_{21}}^{1/2} + x_{c_{22}}^{1/3} + x_{c_{23}}^{1/4} + x_{c_{24}}^{1/5})}{4} \quad (7)$$

在食品消费环节,  $c_{31}$ 、 $c_{32}$ 、 $c_{33}$ 、 $c_{34}$ 构成蝴蝶突变模型,由互补性质可得公式(8)。

$$x_{B_3} = \frac{(x_{c_{31}}^{1/2} + x_{c_{32}}^{1/3} + x_{c_{33}}^{1/4} + x_{c_{34}}^{1/5})}{4} \quad (8)$$

而整个食品安全系统的3个子系统构成互补的燕尾突变,即食品安全总突变隶属函数值如公式(9)。

$$x_A = \frac{(x_{B_1}^{1/2} + x_{B_2}^{1/3} + x_{B_3}^{1/4})}{3} \quad (9)$$

对我国不同时期的食品安全总风险进行跟踪测评与评价,计算结果见表5。

表5 2005—2014年食品安全风险总评价  
Table 5 Food safety risk assessment values for each of the three steps and the whole supply chain during 2005–2014

指标		年份									
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
各环节风险值	$x_{B_1}$	0.945 1	0.806 8	0.584 9	0.751 0	0.547 6	0.601 1	0.464 0	0.270 4	0.409 7	0.588 7
	$x_{B_2}$	0.716 0	0.931 9	0.811 4	0.843 1	0.832 6	0.761 7	0.645 4	0.487 5	0.493 2	0.238 8
	$x_{B_3}$	0.840 3	0.927 6	0.874 9	0.859 4	0.763 1	0.669 8	0.656 3	0.514 6	0.215 1	0.233 6
食品安全总风险值	$x_A$	0.941 4	0.952 1	0.888 2	0.924 7	0.871 8	0.864 4	0.815 2	0.718 0	0.703 7	0.694 3

#### 4.3 计算结果分析

计算得到的食品安全风险值介于0~1之间,其数值越接近1,表示风险越大,食品安全系统的脆弱性越强;反之,风险值接近0,则表明食品安全系统的风险较小,安全性高(图1)。

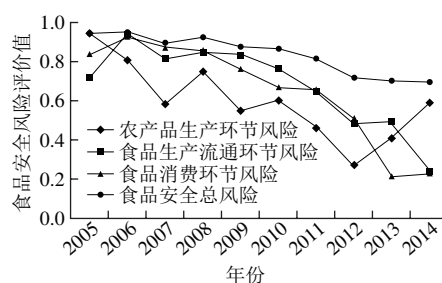


图1 2005—2014年中国食品安全风险示意图

Fig. 1 Annual food safety risk assessment values in China during 2005–2014

#### 4.3.1 我国食品安全总体风险特征

如图1所示,我国食品生产系统总风险在这10年来经历了“上升—下降—上升—下降”的波动,虽然在2006年和2008年出现小幅上升,但2个波峰值从2006年的0.952 1下降到2008年的0.924 7。因此,2005—2014年我国食品安全总风险大体上呈下降趋势,2014年是风险最低点0.694 3,处于中低风险区。

#### 4.3.2 食品供应链各环节的风险特征

农产品生产是我国食品供应链中风险值波动最剧烈的一个环节,其风险值总体趋势一直经历着“下降—上升—下降”的往复过程,无明显的规律可循。在2005—2014这10年间,其风险值分别在2007年、2009年及2012年出现较大降幅,但在随后的一两年间风险值又迅速回升,特别是2014年,风险值从2012年的0.270 4增加到0.588 7,增幅达到118%。这说明农产品生产环节不是一个稳态发展,其风险值剧烈的上下波动代表该环节存在较大的风险隐患。

与农产品生产环节不同,食品生产流通环节和食品消费环节的总风险趋势是稳步下降的,虽然有个别年份出现风险值回弹,但增长幅度很小。近2年,这两个环节的风险值有了较大幅度的下降,其中,食品生产流通环节风险值从2013年的0.493 2下降到2014年的0.238 8,而食品消费环节风险值在2013年下降幅度很大,仅1年时间风险值从0.514 6直降到0.215 1,下降幅度达58%。

## 5 结 语

根据上述评价结果,我国食品安全风险从总体来看情况乐观,可以引用8个字来表述:稳定向好,形势严峻<sup>[43]</sup>。特别是自2008年后,食品供应链上各环节总体风险均处于下降趋势,这主要归功于我国近年来不断完善食品安全法律法规体系和食品安全监管体系,但是,农产品安全生产中政府监管机制还不完善<sup>[44]</sup>。从风险评价结果显示可以看出,当前我国食品供应链中农产品生产环节存在风险隐患较大,畜禽肉、鱼虾、蛋类和零食类食品安全问题相对高发<sup>[45]</sup>,容易从稳态发生跳跃,发生突

食品安全事件。因此,一方面,在我国当前供给侧改革的大背景下,应加快农业经营模式的转变,促使当前分散的农业生产分散经营模式向专业化、大规模的家庭农场种植经营模式发展,这样可以有效实施农产品生产和加工的风险控制、降低监管成本,从而减少食品安全风险隐患。另一方面,在完善我国食品安全监管体系的基础上,针对食品生产、加工、销售企业,建立食品安全强制责任保险制度,通过保险监督降低食品安全风险,同时,食品安全责任保险的补偿功能,可以在突发事件发生后提供及时的经济补偿。

#### 参考文献:

- [1] 沈红. 食品安全的现状分析[J]. 食品工业, 2011, 32(5): 89-91.
- [2] 刘清裙, 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.
- [3] 张睿梅, 彭亚拉, 杜波. 对我国食品安全风险评估的思考[C]//第二届国际食品安全高峰论坛论. 北京: 北京食品学会, 2009: 146-149.
- [4] 陈君石. 食品安全风险评估概述[J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 23(1): 4-7. DOI:10.13590/j.cjfh.2011.01.004.
- [5] KLETER G A, MARVIN H J P. Indicators of emerging hazards and risks to food safety[J]. Food and Chemical Toxicology, 2009, 47(5): 1022-1039. DOI:10.1016/j.fct.2008.07.028.
- [6] 黄晓娟, 刘北林. 食品安全风险预警指标体系设计研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2008, 24(10): 621-629. DOI:10.3969/j.issn.1672-0946.2008.05.030.
- [7] 李哲敏. 食品安全内涵及评价指标体系研究[J]. 北京农业职业学院学报, 2004, 18(1): 18-22. DOI:10.3969/j.issn.1671-7252.2004.01.004.
- [8] 刘於勋. 食品安全综合评价指标体系的层次与灰色分析[J]. 河北工业大学学报(自然科学版), 2007, 28(5): 53-57. DOI:10.3969/j.issn.1673-2383.2007.05.014.
- [9] 邹立海. 食品安全危机预警机制研究[D]. 北京: 清华大学, 2005: 32-35.
- [10] 唐晓纯. 食品安全预警体系评价指标设计[J]. 食品安全, 2005, 26(11): 152-155. DOI:10.3969/j.issn.1002-0306.2005.11.051.
- [11] 郑培, 吴功才, 王海明, 等. 食品安全综合评价指数与监测预警系统研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2010, 20(7): 1795-1800.
- [12] 武力. “从农田到餐桌”的食品安全风险评价研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(9): 304-307. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2010.09.112.
- [13] STUFFLEBEAM D L. The CIPP model for evaluation[M]. Netherlands: Springer, 2003: 279-317.
- [14] 王李伟. 食品中化学污染物的风险评估及应用[J]. 上海预防医学杂志, 2008, 20(1): 26-28.
- [15] BOON P E, VAN DER VOET H, VAN RAAIJ M T M, et al. Cumulative risk assessment of the exposure to organophosphorus and carbamate insecticides in the Dutch diet[J]. Food and Chemical Toxicology, 2008, 46(3): 3090-3098. DOI:10.1016/j.fct.2008.06.083.
- [16] DYBING E, FARMER P B, ANDERSEN M. Human exposure and internal dose assessments of acrylamide in food[J]. Food and Chemical Toxicology, 2005, 43(3): 365-410. DOI:10.1016/j.fct.2004.11.004.
- [17] TRESSOU J, LEBLANC J C H, FEINBERG M. Statistical methodology to evaluate food exposure to a contaminant and influence of sanitary limits: application to Ochratoxin A[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2004, 40(3): 252-263. DOI:10.1016/j.yrtph.2004.07.005.
- [18] BARKER G C, TALBOT N L C, PECK M W. Risk assessment for *Clostridium botulinum*: a network approach[J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2002, 50(3/4): 167-175. DOI:10.1016/S0964-8305(02)00083-5.
- [19] VALERIE J D, JOANNE R, AAMIR F. Fuzzy risk assessment tool for microbial hazards in food systems[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2006, 157(9): 1201-1210. DOI:10.1016/j.fss.2005.12.018.
- [20] ILIEV B, LINDQUIST M, ROBERTSSON L. A fuzzy technique for food and water quality assessment with an electronic tongue[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2006, 157(9): 1155-1168. DOI:10.1016/j.fss.2005.12.014.
- [21] European Food Safety Authority. Opinion of the scientific panel on plant protection products and their residues on a request from the commission on acute dietary intake assessment of pesticide residues in fruit and vegetables[J]. The EFSA Journal, 2006, 4(1): 1-13.
- [22] SAFE S H. Development validation and problems with the toxic equivalency factor approach for risk assessment of dioxins and related compounds[J]. Journal of Animal Science, 1998, 76(1): 134-141. DOI:10.2527/1998.761134x.
- [23] EZZATI M, HOOM S V, RODQERS A. Estimates of global and regional potential health gains from reducing multiple major risk factors[J]. Lancet, 2003, 362: 271-280.
- [24] CONSTABLE A, JONAS D, COCKBURN A. History of safe use as applied to safety assessment of novel foods and foods derived from genetically modified organisms[J]. Food and Chemical Toxicology, 2007, 45(12): 2513-2525. DOI:10.1016/j.fct.2007.05.028.
- [25] 郝伟东, 石玉月, 田巍. 国内外食品安全评价综述[J]. 食品工程, 2007, 28(2): 3-5.
- [26] 周泽义, 樊耀波, 王敏健. 食品污染综合评价的模糊数学方法[J]. 环境科学, 2000, 21(3): 22-26. DOI:10.3321/j.issn.0250-3301.2000.03.005.
- [27] 杜树新, 韩绍甫. 基于模糊综合评价方法的食品安全状态综合评价[J]. 中国食品学报, 2006, 6(6): 64-69. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2006.06.014.
- [28] 刘华楠, 陈中江. 基于Fuzzy-AHP方法的畜产食品安全信用评价实证研究[J]. 科技管理研究, 2008, 28(5): 116-119. DOI:10.3969/j.issn.1000-7695.2008.05.042.
- [29] European Food Safety Authority. Report of the public consultation on the EFSA draft guidance on human health risk benefit assessment of foods[J]. The EFSA Journal, 2010, 8(7): 40-44. DOI:10.2903/j.efsa.2010.1674.
- [30] 崔霞霞, 罗伟, 罗季阳, 等. 风险-收益法概述及其在食品安全风险评估中的应用[J]. 食品工业科技, 2012, 33(14): 53-56.
- [31] 韩月明. 食品安全预测与控制模型研究[D]. 南京: 东南大学, 2006: 17-18.
- [32] 李为相, 程明, 李帮义. 粗集理论在食品安全综合评价中的应用[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(2): 152-156.
- [33] 章德宾, 徐家鹏, 许建军. 基于监测数据和BP神经网络的食品安全预警模型[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 221-226.
- [34] 徐超, 杜树新, 罗伟, 等. 基于集对分析理论的进出口食品安全风险评估方法[J]. 科技通报, 2013, 29(3): 209-211. DOI:10.3969/j.issn.1001-7119.2013.03.044.
- [35] 陈秋玲, 张青, 肖璐. 基于突变模型的突发事件视野下城市安全评估[J]. 管理学报, 2010, 7(6): 891-895. DOI:10.3969/j.issn.1672-884X.2010.06.017.
- [36] 鞠彦兵, 王爱华. 突发事件影响度评价研究[J]. 兵工学报, 2009, 30(11): 150-153. DOI:10.3321/j.issn:1000-1093.2009.z1.028.
- [37] 王娟. 基于突变理论的火灾事故预测研究[D]. 西安: 建筑科技大学, 2009: 22-23.
- [38] 孙康, 程泽军, 刘德海. 非常规突发事件演化机理研究: 以化工事故引发的群体性事件为例[J]. 电子科技大学学报(社会科学版), 2012, 14(6): 29-32.
- [39] 戴晓峰, 梁斐斐, 陈方. 基于突变理论的过饱和和旅游流应急疏散效率评价方法[J]. 经济地理, 2013, 33(5): 168-173.
- [40] 孙君, 谭清美, 姚建凤. 应急物流能力突变模型研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(18): 43-51. DOI:10.3969/j.issn.1000-0984.2012.18.007.
- [41] 朱淀, 洪小娟. 2006—2012年间中国食品安全风险评估与风险特征研究[J]. 中国农村观察, 2014(2): 49-59.
- [42] 张红霞. 核心企业主导的食品供应链质量安全风险控制研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014: 89.
- [43] 孙宝国, 王静, 孙金沅. 中国食品安全问题与思考[J]. 中国食品学报, 2013, 13(5): 1-5. DOI:10.16429/j.1009-7848.2013.05.006.
- [44] 廖杉杉. 农产品安全生产中政府监管机制的优化与创新研究[J]. 管理现代化, 2016(3): 40-42. DOI:10.3969/j.issn.1003-1154.2016.03.012.
- [45] 厉曙光, 陈莉莉, 陈波. 我国2004—2012年媒体曝光食品安全事件分析[J]. 中国食品学报, 2014, 14(3): 1-8. DOI:10.16429/j.1009-7848.2014.03.017.