doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2016.06.014 文章编号:2095-6002(2016)06-0079-06
引用格式:刘翠玲,戴月,赵琦. 农产品质量安全风险评估方法探索[J]. 食品科学技术学报,2016,34(6):79-84.
LIU Cuiling, DAI Yue, ZHAO Qi. Study on risk assessment method of agricultural product quality and safety[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016,34(6):79-84.

农产品质量安全风险评估方法探索

刘翠玲, 戴 月, 赵 琦
(北京工商大学 计算机与信息工程学院/食品安全大数据技术北京市重点实验室, 北京 100048)

摘 要: 由于现有的农产品质量安全风险评估方法大多针对单一因子评估,试图通过借鉴其他领域的评估方法为农产品质量安全风险评估提供新思路。提出利用经济管理方面常用的综合评价方法,建立农产品品质多指标综合评估模型。农产品一般具有样本数据规模小、与复杂环境信息关联性尚不明确的特点,可以选取灰色预测等适用于小样本预测的模型和关联分析方法,分析与农产品质量相关性较大的环境因素。根据不同农产品的特点,选取适当的辅助模型,完善风险评估工作。

关键词: 风险评估; 多指标综合评价法; 权重系数; 预警模型
中图分类号: TS207; TS210.7; S11; TP391 **文献标志码**: A

风险评估在第二次世界大战之后开始作为一门学科发展[1]。20世纪70年代,美国核电厂最早应用风险评估进行安全性分析,随后在化工流程、军事国防等许多领域,风险评估得到了推广和应用[2]。

农产品领域的风险评估起步较晚,主要原因是其数据采集不方便。在工程领域,系统本身就存在许多现场的仪器仪表等检测装置,可以方便地对现场信息进行实时采集。并且,现场总线或网络等可以方便、快捷地进行数据传输。相比较,食物的相关指标采集则比较困难,很多指标需要运用理化的方法进行检测。对现场样品的采集工作、样品运往实验室的运送过程以及检测前的相关前处理工作,都需要时间、人力、物力保障。

农产品质量安全风险评估是指从经济社会发展、各类农业生产资料投入水平、农产品产地环境状况等方面,构建分析评估模型,采用相关数据,对农产品质量安全状况做出定量的分析和评价。可以通过比较同一区域不同时期农产品质量安全风险的变化,对农产品质量安全状况提前做出预警;也可以评判多个不同区域农产品质量安全水平的高低,作为政策强化程度的依据[3]。

农产品质量安全风险评估工作意义重大。首先,农产品质量安全问题与消费者的身体健康联系紧密,而且,在我国加入WTO后,发达国家对我国实施的技术性贸易壁垒也使农产品质量安全问题不容忽视[4]。其次,农产品质量安全风险评估结果可以为风险管理提供可靠的信息,同时也为相关法规制定提供科学依据,对保护消费者健康和促进国际贸易至关重要。由于西方发达国家的食品安全风险评估体系较为健全[5],我国可以从欧盟、美国、日本等国借鉴经验。同时,也可以从其他风险评估发展较为成熟的领域中借鉴评估方法。

1 农产品主要风险因子及常用评估方法

影响农产品质量安全的因素包括农药残留、有害重金属残留、有害微生物、异物污染等。可以将农产品的主要风险因子划分为化学性污染和生物性污染两大类。对单一风险因子的评估常常采用暴露风

收稿日期: 2015-11-12
基金项目: 北京市自然科学基金资助项目(4142012);北京市教委科研计划重点项目(KZ201310011012)。
作者简介: 刘翠玲,女,教授,博士,主要从事智能测量技术与数据处理、系统建模与仿真方法等方面的研究。

险模型,该模型分为环境暴露评估模型和膳食暴露评估模型两类。国外在单一风险因子评估方面研究的较为成熟。

1.1 化学性污染

农产品的化学性污染主要包括农药残留、兽药残留、工业废弃物的污染,汞、镉、铅、氰化物、有机磷及其他有机或无机化合物等所造成的污染。

对于农、兽药残留风险评估而言,慢性膳食摄入风险评估、急性膳食摄入风险评估以及近年来引起重视的累积风险评估是其研究重点[6-11]。美国已开发出功能健全的软件,用于开展食物中化学性污染评估。如,DEEM(dietary exposure evaluation model,DEEM)和 Lifeline 等软件用于对膳食途径开展急性和慢性评估,Calendex 软件用于非膳食途径的累积性和蓄积性暴露评估。欧盟的相关软件主要有欧盟开发的欧盟预测暴露模型(european predictive operator exposure model,EUROPOEM)、英国食品标准管理局属下农药安全委员会开发的消费暴露模型(consumer exposure model,CEM)、英国健康和安全执行机构开发的暴露评估模型(estimation and assessment of substance exposure,EASE)、比利时开发的农药职业与环境风险表征模型(pesticide occupational and environmental risk indicator,POCER)、荷兰公共卫生与环境国家研究院开发的消费产品暴露与摄入模型(consumer product exposure and uptake model,ConsExpo)等[12]。国内目前比较常见的是通过调查研究对象的日均消费量、每日允许摄入量(allowable daily intake,ADI)等信息,然后计算 ADI 风险指数和急性参考剂量(acute reference dose,ARfD)风险指数,分别进行慢性膳食摄入风险评估和急性膳食摄入风险评估。风险指数值越小,表示风险越小,当值小于 100% 时,表示风险可以接受。也有的文献通过计算食品安全指数[13](international food standard,IFS)对药物残留风险进行评估。

对于食物中重金属污染水平,美国国家环保署(U. S. Environmental Protection Agency,USEPA)提出的人体健康风险评估模型[14-16]应用最广泛。此外,重金属污染水平的常用计算方法有:1)通过计算实测值与限量值的商值(单项污染指数)来对某一种有害重金属的污染程度进行评估;2)运用内梅罗污染指数法评价多种重金属综合污染水平。在评估食物重金属污染对人体健康的风险水平时,可采用目标风险系数法,计算目标风险商(target hazard quotients,THQ),当 THQ 大于 1 时,对人体健康产生风险;也可以用危害指数法(hazard quotients,HQ)将实际暴露量与参考值进行比较,从而界定风险水平。

1.2 生物性污染

生物性污染主要包括微生物、寄生虫、昆虫及病毒等的污染。其中,微生物污染是农产品生物性污染风险评估中的重点,主要包括细菌与细菌毒素、霉菌与霉菌毒素。

食品微生物定量风险评估[17-19](quantitative microbial risk assessment,QMRA)中,常常应用微生物预测模型(predictIve model,PM)和剂量-效应模型(dose response model,DRM)描述微生物风险特征。其中,PM 模型分为 3 个级别。一级模型用于描述一定生长条件下微生物生长、失活与时间之间的函数关系;二级模型表达由一级模型得到的参数与环境因素之间的函数关系;三级模型是建立在一级和二级模型基础上的,用于预测相同或不同环境条件下,同一种微生物的生长或失活情况[20]。

2 农产品风险评估方法新思路

前文介绍的是针对某一种风险因子的评估方法。当需要对某一种农产品的多个风险因子进行综合评价时,可以借鉴其他领域的模型方法进行研究。

2.1 多指标综合评价方法

多指标综合评价[21-23]方法在社会、经济、管理等众多领域中得到了很好的应用。其一般步骤为:首先对评价指标进行筛选,得到对评价目标关联性较强的评价指标集;然后应用权重系数选择方法对各个指标赋予权值;最后根据得到的权值向量,应用合适的综合评价模型对评价对象做出评判结果。

2.1.1 指标权重系数选择方法

选择指标权重的经典方法有德尔菲法、因子分析权数法、信息量权数法、独立性权数法、主成分分析法、层次分析法、优序图法、熵权系数法、标准离差法、CRITIC 法等。

其中,德尔菲法、层次分析法属于主观方法。这类方法研究的较早,也较为成熟,但客观性差。熵权系数法、标准离差法、CRITIC 法等属于客观方法,是通过对实际资料进行整理、计算和分析得到的。这类客观方法研究的较晚,还不够完善。由于主观赋权方法的客观性常常受到质疑,而单纯从数据的角度进行分析的客观赋权方法可能与实际情况的符合

程度不够好，所以，在实际应用中，常常采用主客观结合的方式来选择指标的权重系数。

2.1.2 多指标综合评价模型

常用的综合评价方法有模糊数学评价法[24]（fuzzy mathematics，FM）、灰色系统评价法（grey system，GS）、数据包络分析法[25]（data envelopment analysis，DEA）、logistic 回归模型[26]、人工神经网络评价法（artificial neural network，ANN）等。

模糊综合评判方法运用的是不确定性数学方法，对多种因子影响的事物或者现象进行综合评判。实质上是通过模糊变换原理与最大隶属度原则，对评价对象做出综合评价的数学方法。

灰色系统理论对于研究小样本、贫信息和不确定性系统有着很大优势。灰色综合评价法的基本思想是：首先根据每个指标值的大小与评判结果的关系，制定出最优指标向量；然后计算每个评价对象的指标向量与最优指标向量的灰色关联度，从而定量评判出每个对象的优劣程度。

数据包络分析法是一种基于线性规划的方法，在经济管理领域常常被用来衡量拥有相同目标的运营单位的相对效率。该方法对于处理多输入，特别是多输出问题的能力具有绝对的优势。

Logistic 回归模型也可以有效地对评价等级进行划分。有序多分类 Logistic 回归模型，用于分析一个有序多分类应变量与多个自变量之间的关联。该模型实际上是基于二分类 Logistic 回归模型的。先依次将应变量按照不同的取值水平分割成两个等级，然后对这两个等级建立二分类 Logistic 回归模型，最终找到各个等级的因变量与自变量之间的关联。

将人工神经网络应用到综合评价当中，可以有效地模拟人脑思维过程，对复杂对象进行智能化综合评价。同时，神经网络模型的种类有很多，可以根据不同研究对象的特点，选择合适的神经网络模型。

上述评价法都是经典的综合评价方法，对于多指标综合评价模型的研究还在不断进行中。目前的研究趋势是将智能化方法引入到综合评价当中，如遗传算法、蒙特卡洛模拟方法、人工免疫算法和蚁群智能算法等，从而可以更好地完成组合评价、对目标多阶段评价以及复杂系统评价[27]的要求。在实际应用中，可以根据所要研究的农产品的具体特点，选择适当的模型。

2.2 预警模型

农产品质量安全风险评估工作的重要目的之一是形成预警机制，对可能出现的风险进行预测，便于风险管理。预警模型在经济、社会、环境灾害等领域应用的较为广泛。

由于复杂的环境因素对农产品品质的影响机制尚不明确，可以将整个农产品质量安全预警系统看作是灰色系统[28]，运用灰色模型对风险变化趋势进行预测。而且，农产品质量相关数据的获取不便，所得到的往往是小样本数据。实践证明，灰色预测模型适用于小样本数据，对于原始观测数据较少的预测问题优势十分明显，并且算法简单易行，预测精度相对较高。

农产品的农药施用量、重金属残留量等问题往往与农产品地理环境因素（如：温度、湿度、土壤环境等）有关，这就需要将关联性分析引入到预警模型中来，科学地分析环境因素对农产品质量的影响。可拓分析方法是一种多元数据动态综合分析模型，由我国数学家蔡文先生创立，其理论包括物元模型[29-30]、可拓集合和关联函数。物元是指事物、特征及其事物的特征值三者共同组成的三元组。可拓理论将逻辑值从模糊数学的[0，1]闭区间拓展到（$-\infty$，$+\infty$）实数轴，提出了表示事物性质变化的可拓集合概念。关联函数用以表征事物具有某种性质的程度及转化过程，实现事物的状态分类和发展态势分析[31]。该方法目前在环境灾害预警领域已经得到应用，也可以考虑引入到农产品预警模型中。

除此之外，也可以考虑用神经网络等智能方法建立模型，预测过程既符合实际数据发展趋势又符合人脑的思考方式，使预测结果更加合理。

2.3 辅助性模型方法

对于不同农产品的特点，可以采用不同的辅助性模型方法为风险评估提供有用信息。

当分析地域性特征明显的对象时，可以借助地理信息系统[32]（geographic information system，GIS）。如：陈家金等[33]研究了福建省引种台湾青枣的寒冻害风险，通过构建地理模型，完成区划分析。由于直接采样得到的数据为点状数据，需要利用 GIS 技术对其进行地理插值计算，将点状数据转化为面状数据，并绘制风险区划图。

在果蔬类农药残留方面，研究不同贮藏条件对农药降解的影响，建立药物的降解过程模型，为降低果蔬农药残留风险提供合理的贮藏方法建议。如：吴长刚等[34]在桃果实套袋与裸果两种情况下，分别用 3 种模型——指数负增长模型、Rayleigh 动态模

型和灰色预测 GM(1,1)模型进行农药残留量模拟。对比了 3 种模型的优劣,并且指出可以根据农药消解过程因素多的特点,在模型中引入模糊综合评判决策方法,对受多个因素影响的农药残留问题做出全面评判。

3 结 语

国外的农产品质量安全风险评估开展的较早,发展也较为成熟。当前的评估方法大多是基于膳食暴露模型、毒理实验等,对某一类风险因子的风险水平进行评估。然而,现实生活中,往往需要对一种农产品的多种风险因子进行综合评估。虽然,风险预警在风险管理中担任着重要的角色,但农产品预警模型方面的研究才刚刚起步。针对以上问题,本文所提出的新思路主要有:

1)由于目前对某一种食物的综合风险指标进行评估的模型较少,可以借鉴已广泛应用于其他领域的多指标综合评价方法,并不断跟进该方法的最新动态,将合适的方法引入到农产品品质评估中来。

2)根据农产品检测的累积数据特点,选择合适的预测方法对风险发展趋势进行预测,分析农产品质量与环境信息的关联性,建立预警模型。

3)根据不同农产品的特点,灵活运用不同的辅助性模型方法为风险评估提供有用信息。

以上提出的新思路是否合理,还有待于在实践中进一步探索。

参考文献:

[1] MARVIN Rausand. 风险评估理论、方法与应用[M]. 刘一骝, 译. 北京: 清华大学出版社, 2013:393 - 401.

[2] 王冠茹. 民用飞机运营事件风险评估方法研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2012.

[3] 孙君茂, 厉建萌, 王启现,等. 农产品质量安全风险评估在绿色农业发展中的作用[J]. 江苏农业科学, 2009(5):281 - 283.
SUN Junmao, LI Jianmeng, WANG Qixian, et al. The role of agricultural product quality and safety risk assessment in the development of green agriculture[J], Jiangsu Agricultural Sciences, 2009(5): 281 - 283.

[4] 戚亚梅. 国外农产品技术性贸易措施与我国农产品质量安全对策研究[J]. 农产品质量与安全, 2010(5): 58 - 60.
QI Yamei. Study of foreign agricultural products technical trade measures and China's agricultural products quality and safety countermeasures [J]. Quality and Safety of Agro-Products, 2010(5):58 - 60.

[5] 王芳, 钱永忠, 陈松. 发达国家农产品质量安全监管模式及经验分析[J]. 农产品质量与安全, 2010(6): 52 - 54.
WANG Fang, QIAN Yongzhong, CHEN Song. Analysis of supervision mode and experience of agricultural products quality and safety in developed countries [J]. Quality and Safety of Agro-Products, 2010(6):52 - 54.

[6] AUTHORITY E F S. The 2010 European Union report on pesticide residues in food[J]. EFSA Journal, 2013, 78(3):121 - 126.

[7] HAMILTON D, CROSSLEY S. Pesticide residues in food and drinking water: human exposure and risks[M]. England: John Wiley & Sons Ltd, 2004:167 - 268.

[8] European Food Safety Authority. Reasoned opinion: review of the existing maximum residue levels (MRLs) for diphenylamine according to article 12 of regulation (EC) No 396/20051[J]. EFSA Journal, 2011, 9(8): 2336.

[9] ŁOZOWICKA B, KACZYŃSKI P, RUTKOWSKA E, et al. Evaluation of pesticide residues in fruit from Poland and health risk assessment[J]. Agricultural Sciences, 2013, 4(5):106 - 111.

[10] SZPYRKA E, KURDZIEL A, GRZEGORZAK M, et al. Consumer exposure to pesticide residues in apples from the region of south-eastern Poland.[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185(11):8873 - 8878.

[11] GAD ALLA S A, AYOUB M M, AMER M A, et al. Dietary intake of pesticide residues in some Egyptian fruits[J]. Journal of Applied Sciences Research, 2013, 9(1):965 - 973.

[12] 钱永忠,李耘. 农产品质量安全风险评估建模与应用[M]. 北京: 中国质检出版社,中国标准出版社, 2014:251 - 287.

[13] 张大文, 王冬根, 胡丽芳,等. 猪肉产品中四环素类药物残留风险评估[J]. 农产品质量与安全, 2015(6):34 - 37.
ZHANG Dawen, WANG Donggen, HU Lifang, et al. Risk assessment of tetracycline residues in pork products [J]. Quality and Safety of Agro-Products, 2015(6): 34 - 37.

[14] CHANPIWAT P, LEE B T, KIM K W, et al. Human health risk assessment for ingestion exposure to groundwater contaminated by naturally occurring mixtures of toxic heavy metals in the Lao PDR[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2014, 186(8):4905 - 4923.

[15] YEGANEH M, AFYUNI M, KHOSHGOFTARMANESH

A H, et al. Mapping of human health risks arising from soil nickel and mercury contamination[J]. Journal of Hazardous Materials, 2012, 244/245(2):225 – 239.

[16] SU X, WANG H, ZHANG Y. Health risk assessment of nitrate contamination in groundwater: a case study of an agricultural area in northeast China[J]. Water Resources Management, 2013, 27(8):3025 – 3034.

[17] BEAUDEQUIN D, HARDEN F, ROIKO A, et al. Beyond QMRA: modelling microbial health risk as a complex system using *Bayesian* networks[J]. Environment International, 2015, 80:8 – 18.

[18] PETTERSON S, GRØNDAHL-ROSADO R, NILSEN V, et al. Variability in the recovery of a virus concentration procedure in water: implications for QMRA[J]. Water Research, 2015, 87:79 – 86.

[19] MCBRIDE G B, STOTT R, MILLER W, et al. Discharge-based QMRA for estimation of public health risks from exposure to stormwater-borne pathogens in recreational waters in the United States.[J]. Water Research, 2013, 47(14):5282 – 5297.

[20] 董庆利, 王海梅, MALAKAR P K,等. 我国食品微生物定量风险评估的研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(11): 221 – 229.
DONG Qingli, WANG Haimei, MALAKAR P K, et al. Review of progress in quantitative microbiological risk assessment in China[J]. Food Science, 2015, 36(11): 221 – 229.

[21] SU H, YANG M, WEN Z. Multi-layer multi-index comprehensive evaluation for dike safety[J]. Water Resources Management, 2015, 29:4683 – 4699.

[22] ZHAO J, WU Y, ZHU N. Check and evaluation system on heat metering and energy efficiency retrofit of existing residential buildings in northern heating areas of China based on multi-index comprehensive evaluation method[J]. Energy Policy, 2009, 37(6):2124 – 2130.

[23] HE Z, YU H, DU Y, et al. SVM based multi-index evaluation for bus arrival time prediction[C]//ICT Convergence (ICTC), 2013 International Conference. Jeju Island: IEEE, 2013:86 – 90.

[24] 马先山, 栾法敏. 模糊评价法在航次计划风险评估中的应用[J]. 航海技术, 2014(1):7 – 9.
MA Xianshan, LUAN Famin. The application of fuzzy evaluation method in the risk assessment of the voyage plan[J]. Marine Technology, 2014(1):7 – 9.

[25] SUI C, CHI G T. Loan pricing model of commercial bank based on DEA[C]//Electronic Commerce and Business Intelligence, International Conference. Beijing: IEEE, 2009:378 – 381.

[26] 张东玲, 高齐圣, 杨泽慧. 农产品质量安全风险评估与预警模型:以山东省蔬菜出口示范基地为例[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(6):1125 – 1131.
ZHANG Dongling, GAO Qisheng, YANG Zehui. Agricultural food quality safety evaluation and risk early-warning model: illustrated by an example of export vegetable sites in Shandong province[J]. Systems Engineering-Theory and Practice, 2010, 30(6):1125 – 1131.

[27] 杨勇. 智能化综合评价理论与方法研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2014.

[28] 刘思峰, 党耀国, 方志, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社, 2010:10 – 50.

[29] ZHANG J, LANG Y. Application of entropy fuzzy matter element model in evaluation of logistics development capacity[C]//ICTE 2011. ASCE, 2014:2169 – 2174.

[30] SHAO F, LI F, HU Y, et al. Operational capability evaluation of engineering regiment based on matter element model[C]//Management Science and Industrial Engineering (MSIE), 2011 International Conference. Harbin: IEEE, 2011:585 – 588.

[31] 张强, 薛惠锋, 张明军,等. 基于可拓分析的区域生态安全预警模型及应用:以陕西省为例[J]. 生态学报, 2010, 30(16):4277 – 4286.
ZHANG Qiang, XUE Huifeng, ZHANG Mingjun, et al. Early-warning model based on extension analysis for ecological security and its application: case study of Shaanxi province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(16):4277 – 4286.

[32] YIN Y, ZHANG X, LIN D, et al. GEPIC-V-R model: a GIS-based tool for regional crop drought risk assessment[J]. Agricultural Water Management, 2014, 144(2):107 – 119.

[33] 陈家金, 王加义, 黄川容,等. 福建省引种台湾青枣的寒冻害风险分析与区划[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(12), 1538 – 1544.
CHEN Jiajin, WANG Jiayi, HUANG Chuanrong, et al. Risk analysis and regionalization of cold and freezing damage to Taiwan-based *Zizyphus mauritiana* in Fujian province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(12), 1538 – 1544.

[34] 吴长刚, 管琳, 周静,等. 农药残留量预测数学模型[J]. 河北农业大学学报, 2015, 38(2):135 – 139.
WU Changgang, GUAN Lin, ZHOU Jing, et al. Mathematical model for prediction of pesticide residue[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2015, 38(2):135 – 139.

Study on Risk Assessment Method of Agricultural Product Quality and Safety

LIU Cuiling, DAI Yue, ZHAO Qi
(*School of Computer and Information Engineering/Beijing Key Laboratory of Big Data Technology for Food Safety, Beijing Technology and Business University, Beijing* 100048, *China*)

Abstract: The existing quality and safety risk assessment methods for agricultural products are mostly the single factor evaluation. The valuation methods of other fields could provide new ideas for agricultural product risk assessment. The multi index evaluation methods, which are widely used in economic management field, can be applied to evaluate the quality of agricultural products. Due to the small sample size of agricultural products and the complexity of the relationship between agricultural products' quality and environmental information, the grey forecasting model and correlation analysis methods are discussed in this paper. Moreover, according to the characteristics of different agricultural products to select appropriate auxiliary models can improve the risk assessment.

Key words: risk assessment; multi index evaluation method; weight coefficient; early-warning model

(责任编辑:檀彩莲)

(上接第 78 页)

Flow Injection Chemiluminescence Method for Detection of Dimethoate in Vegetables

WANG Shoumin[1], HU Yan[2], XU Zhixiang[1,*]
(1. *College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an* 271018, *China*;
2. *Tai'an City Central Hospital, Tai'an* 271000, *China*)

Abstract: In alkaline medium, hydrogen peroxide oxidizes luminol and then produces chemiluminescence. Dimethoate could enhance the chemiluminescence intensity strongly, and thus a quick and direct flow injection chemiluminescence method based on luminol-hydrogen peroxide system was established to determine the content of dimethoate. The results indicated that the dimethoate concentration had a good linear correlation with chemiluminescence within the scope of 0.01 to 10 mg/L. The detection limit of the method was 0.009 mg/L. The relative standard deviation was 2.1% for eleven replicate detections of 0.5 mg/L dimethoate. Using this system, the cauliflower samples were spiked with dimethoate and detected by this method with recovery ranging from 86.7% ~109.5%.

Key words: flow-injection; chemiluminiscence; luminol; dimethoate

(责任编辑:檀彩莲)