

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.12.023

基于粗糙集和 WebGIS 的农产品质量安全应急管理系统*

钱建平^{1,2} 吴晓明¹ 杨信廷¹ 邢 斌¹ 王凤丽¹

(1. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097; 2. 北京林业大学信息学院, 北京 100083)

【摘要】 针对农产品质量安全事件的特点,利用粗糙集方法,通过对 10 个样本案例进行属性分析与约简,确定了危害源毒性、影响范围、死亡人数、伤害人数和人口密度 5 个农产品质量安全事件等级综合评价指标,通过重要度分析得到各指标的权重分别为 0.2、0.2、0.1、0.3 和 0.2。在此基础上构建了农产品质量安全事件等级评价模型;将模型计算语言化,以 WebGIS 为工具,设计与实现了农产品质量安全应急管理系统;通过模拟某次农产品质量安全事件表明,该系统能提高对事件的处置能力,也便于直观看到处置过程,为进行农产品质量安全应急管理提供参考。

关键词: 农产品 质量安全 应急管理 粗糙集 网络地理信息系统

中图分类号: X913.4; TS201.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)12-0123-07

Farm Products Quality Safety Emergency Management System
Based on Rough Set and WebGIS

Qian Jianping^{1,2} Wu Xiaoming¹ Yang Xinting¹ Xing Bin¹ Wang Fengli¹

(1. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China

2. School of Information Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract

According to the characteristics of farm products quality safety incidents, ten samples were processed by the reduction and analysis of attributes using the rough set method, and five indexes were determined. The indexes was toxicity of pollution source, scope of pollution influence, number of death, number of injuries and population density, whose weights were 0.2, 0.2, 0.1, 0.3 and 0.2, respectively, according to the importance analysis of the indexes. Based on these, a grade evaluation model of farm products quality safety accidents was established. An emergency management system of farm products quality safety was designed and implemented by programming the grade evaluation model using WebGIS. Through simulating a particular farm products quality safety accident, the result showed that the system could improve the handling ability of the accident, and realized the visualization of the disposal process. The system can provide consultation for farm products quality safety management.

Key words Farm products, Quality safety, Emergency management, Rough set, WebGIS

引言

针对农产品质量安全,建立可追溯系统从源头保障固然重要,相关学者也从不同角度进行了研究

与探索^[1~4]。但在不能完全避免质量安全事件的情况下,在发生质量安全事件后快速、准确的应急处理也是降低损失、控制风险、保障安全的重要措施。我国于 2006 年公布了《国家重大食品安全事故应急预

收稿日期: 2012-05-07 修回日期: 2012-07-09

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012AA101706)

作者简介: 钱建平,助理研究员,北京林业大学博士生,主要从事农产品溯源技术研究,E-mail: qianjp@nrcita.org.cn

通讯作者: 杨信廷,研究员,主要从事农产品溯源与监管技术研究,E-mail: yangxt@nrcita.org.cn

案》,随后各相关职能部门和各省分别制定了与此相关的预案。

对于应急管理系统,国内外学者不仅开展了相关的资源调度、灾害评估、人员撤离等相关模型的研究,而且综合利用空间信息技术、无线通信技术、三维展示技术等构建了管理与决策支持系统。Papamichail 等^[5]以核事故为背景,设计了一种实时在线决策支持系统 RODOS,被用于解决核事故问题;高杰等^[6]利用 ArcView 9.0 软件的 GIS 平台和 Oracle 9i 的数据库建立了地震应急响应系统,为应急指挥和救灾工作提供有效的决策支持信息;蒲秋等^[7]以北京师范大学北太平庄校区为例,利用 3-D GIS 技术建立城市三维环境和城市网络逻辑模型,模拟了城市应急处置过程,建立了城市灾害应急系统。

农产品质量安全应急管理系统不同于一般的应急管理系统。从农产品的生产到农产品的加工、包装、储藏、运输和销售,各大类农产品及农产品供应链各环节均存在安全隐患,因此农产品质量安全事件具有覆盖面广、影响范围大等特征^[8]。本文针对农产品的特点和农产品质量安全事件的特殊性,采用粗糙集方法构建农产品质量安全事件等级评价模型,采用 ArcGIS Server 结合 .Net,设计农产品质量安全应急管理系统,以实现增强应急管理能力和提高应急处置效率的目的。

1 农产品质量安全事件等级综合评价模型构建

突发事件等级是决定采取何种应急方案的基础^[9]。由于目前已有的研究及相关法规对农产品质量安全事件等级评价以单一指标为主,即只要满足某一条件的下限条件而低于上限条件,便认定为其对应等级的事件。若发生当某几个条件都略低于某一等级发生的下限条件,但几个条件的综合危害已经很大的情况,如采用单一指标评价,其等级较低,对应的应急响应措施也不高,而从危害范围、伤亡人数等多方面考虑,其实际危害已经很大,这样就可能影响应急响应。因此本文提出了农产品质量安全事件等级的综合评价模型。

以逐项评价法、专家评分法等为代表的传统评价方法,虽然简单易用,但在对指标赋值时,采用比较多的方法是专家打分法,导致主观性比较大。粗糙集理论的多指标综合评价方法是基于数据驱动的,可将冗余的指标进行剔除,并且根据数据本身的规律计算每个指标的权重,可以有效地克服现有评价模型中权重系数确定的主观性,从而使评价的结

果更加客观^[10~11]。农产品质量安全事件的案例较难收集,其样本较小,且事件发生的影响因素又是复杂多维的,为了避免主观因素对评价结果的影响,可应用粗糙集理论与方法来辅助解决此类小样本、多属性问题^[12~13]。

1.1 影响因素筛选

依据《中华人民共和国农产品质量安全法》、《中华人民共和国食品安全法》、《国家重大食品安全事故应急预案》、《国家重大食品安全事故应急预案农业部门操作手册》等相关法律法规,提取这些法律法规中规定的影响范围、死亡人数、伤害人数为影响农产品质量安全事件等级的因素;在此基础上,事件性质、危害源毒性、产品数量、发生地所在城市人口密度也是重要的影响因素,原因如下:农产品质量安全事件的性质可分为由畜禽类农产品引起和其他农产品引起,由于畜禽类引起的事件可能存在人畜共患病的问题,因此较由其他农产品引起的事件影响大;引起农产品质量安全事件的危害源物质有很多,不同物质可能造成的危害也不同;若产品数量多,可能事件的影响范围较广,因此将产品数量作为一个影响因素;城市人口密度将影响农产品质量安全事件的升级或降级,人口密度高,可能引起的危害范围大、危害传播速度快。基于上述分析,初步选定事件性质、危害源毒性、影响范围、死亡人数、伤害人数、产品数量、发生地所在城市人口密度为评价指标。

1.2 影响因素分析与约简

在粗糙集理论中,应用决策表来描述论域中的对象。设一个知识表达系统为

$$S = (U, Z, V, f)$$

其中 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$

$$Z = N \cup D \quad N \cap D = \emptyset$$

式中 U ——论域 Z ——属性集合

V ——属性 Z 的值域

f —— $U \times Z$ 到 V 的信息映射

N ——条件属性集

D ——决策属性集

同时条件属性集和决策属性集的知识表达系统为决策表。

在中国应急分析网的重大安全事故案例库中选取近几年发生的 10 起农产品质量安全事件为样本,经离散化后表示成二维决策表,如表 1 所示。

影响农产品质量安全事件的属性并不是同等重要的,甚至其中某些知识是冗余的。知识约简就是在保持知识库分类能力不变的条件下,删除其中不相关或不重要的知识^[14]。

表 1 离散化样本数据
Tab.1 Experimental data of scatter

事件	论域 U	条件属性集 N						
		事件性质 r_1	污染源毒性 r_2	影响范围 r_3	死亡人数 r_4	伤害人数 r_5	产品数量 r_6	人口密度 r_7
瘦肉精中毒事件	1	1	1	3	1	1	1	2
用激素催熟的草莓、猕猴桃	2	0	0	1	0	0	0	1
双汇瘦肉精事件	3	1	1	2	0	2	1	2
嘉兴猪肉中毒事件	4	1	1	1	1	1	1	2
食用含有有机磷农药的潺菜中毒	5	0	2	1	0	1	0	0
警惕农药超标蔬菜,慎防食物中毒	6	0	0	1	0	1	0	1
剧毒高残留农药的张北“无公害”蔬菜	7	0	2	1	0	1	0	1
甘肃平凉牛奶亚硝酸中毒事件	8	1	1	2	1	2	1	2
变质豆奶导致数千名学生中毒住院	9	0	0	1	0	2	0	1
工业废盐腌毒咸蛋致人中毒人死亡	10	1	1	2	1	2	1	2

注:①事件性质:畜禽类,1;其他类,0。②污染源毒性:高毒性,2;中毒性,1;低毒性,0。③影响范围:跨省范围,3;跨地级市范围,2;跨县级行政区域,1;跨乡镇区域,0。④死亡人数:出现死亡病例,1;未出现死亡病例,0。⑤伤害人数:20 人以上(含 20 人),2;5 人以上(含 5 人)20 人以内,1;5 人以内,0。⑥产品数量:1 t 以上,1;1 t 以下,0。⑦人口密度(指城市人口密度):500 人/km²及以上,2;100~500 人/km²,1;100 人/km²以下,0。

设 R 是一个等价关系族, $r_i \in R (i = 1, 2, \cdots, 7)$ 。如果 $\text{IND}(R) = \text{IND}(R - \{r\})$, 则称 r 在 R 中是可被约去的属性;如果 $P = R - \{r\}$ 是独立的, 则 P 是 R 的一个约简。

令 $U = \{U_1, U_2, \cdots, U_n\}$ 分别代表表 1 所列 10 起农产品质量安全事件, $R = \{r_1, r_2, \cdots, r_7\}$ 分别代表表 1 所列 7 个条件属性, 根据上述定义得到

$$\begin{aligned} U/\text{IND}(R) &= \{\{x_1\}, \{x_2\}, \{x_3\}, \{x_4\}, \{x_5\}, \{x_6\}, \\ &\quad \{x_7\}, \{x_8, x_{10}\}, \{x_9\}\} \\ U/\text{IND}(R - r_1) &= \{\{x_1\}, \{x_2\}, \{x_3\}, \{x_4\}, \{x_5\}, \\ &\quad \{x_6\}, \{x_7\}, \{x_8, x_{10}\}, \{x_9\}\} = U/\text{IND}(R) \end{aligned}$$

同理可得

$$\begin{aligned} U/\text{IND}(R - r_2) &\neq U/\text{IND}(R) \\ U/\text{IND}(R - r_3) &\neq U/\text{IND}(R) \\ U/\text{IND}(R - r_4) &\neq U/\text{IND}(R) \\ U/\text{IND}(R - r_5) &\neq U/\text{IND}(R) \\ U/\text{IND}(R - r_6) &= U/\text{IND}(R) \\ U/\text{IND}(R - r_7) &\neq U/\text{IND}(R) \end{aligned}$$

根据定义: 设 $P \leq R$, 如果 P 是独立的, 且 $U/\text{IND}(P) = U/\text{IND}(R)$, 则称 P 为 R 的一个约简, 记作 $\text{red}(P)$ 。 P 中所有必要关系组成的集合成为 P 的核, 记作 $\text{core}(P)$ 。

由此得到 $\text{core}(P) = \{r_2, r_3, r_4, r_5, r_7\}$, 即约简后的属性为: 污染物毒性、影响范围、死亡人数、伤害人数和人口密度。

1.3 权重计算

权重计算的基础是系统参数的重要度。粗糙集方法利用系统提供的数据信息, 通过计算系统参数

之间的依赖性 or 近似程度与识别系统的关系来衡量系统参数的重要度, 这可以避免权重确定时掺杂过多的主观因素^[15]。

根据粗糙集理论属性重要度的概念, 指标 r 在指标体系中的重要性 u_r 为

$$u_r = \frac{||\text{POS}_R(D)| - |\text{POS}_{R-r}(D)||}{|U|} \tag{1}$$

其中

$$\begin{aligned} \text{POS}_R(D) &= \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9\} \\ \text{POS}_{R-r}(D) &= \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_9\} \end{aligned}$$

式中 POS——正区域

由此得到 $u_2 = \frac{8-6}{10} = 0.2$ 。 同理可得, $u_3 = 0.2$, $u_4 = 0.1, u_5 = 0.3, u_7 = 0.2$ 。

指标 r 的权重为

$$w_r = \frac{u_r}{\sum_{i \in P} u_i} \tag{2}$$

经归一化处理, 得到污染物毒性、影响范围、死亡人数、伤害人数、人口密度的权重分别为: 0.2、0.2、0.1、0.3、0.2。

1.4 综合评价

根据各属性的权重, 结合各属性的描述信息, 采用线性加权法对各指标进行加权计算, 建立农产品质量安全事件等级综合评价模型。其计算公式为

$$S = \sum_{i=1}^n w_i s_i \tag{3}$$

式中 S ——综合评价值 w_i ——指标权重
 s_i ——指标评价价值 n ——指标数量

根据式(3),对10起样本事件进行评价,结果如表2所示。当 $0 \leq S < 0.5$,为一般农产品质量安全事故(Ⅳ级);当 $0.5 \leq S < 1$ 时,为较大农产品质量安全事故(Ⅲ级);当 $1 \leq S < 1.5$,为重大农产品质量安全事故(Ⅱ级);当 $S \geq 1.5$ 时,为特别重大农产品质量安全事故(Ⅰ级)。根据《国家重大食品安全事故应急预案农业部门操作手册》中的相关规定对10起事件进行分级,得到其实际等级。

表 2 样本评价结果
Tab.2 Evaluation results of experimental data

样本事件	综合评价值	评价等级	实际等级
1	1.6	Ⅰ级	Ⅰ级
2	0.4	Ⅳ级	Ⅳ级
3	1.6	Ⅰ级	Ⅰ级
4	1.2	Ⅱ级	Ⅱ级
5	0.9	Ⅲ级	Ⅲ级
6	0.7	Ⅲ级	Ⅲ级
7	1.1	Ⅱ级	Ⅲ级
8	1.7	Ⅰ级	Ⅱ级
9	1.0	Ⅱ级	Ⅱ级
10	1.7	Ⅰ级	Ⅱ级

由表2评价等级与实际等级的比较可以看出,10起样本事件中7起事件的评价等级与实际等级一致、3起事件的评价等级高于实际等级。样本事件7、8、10的实际等级低于本文提出的方法评价出的等级,这是由于本文考虑了污染物毒性、影响范围、死亡人数、伤害人数和人口密度的综合因素,这也与本方法提出的初衷一致。

2 系统设计与实现

2.1 系统框架设计

按照 ArcGIS Server 软件的体系结构和网络应用程序的架构原则,农产品质量安全应急管理系统采用3层架构模式,如图1所示。

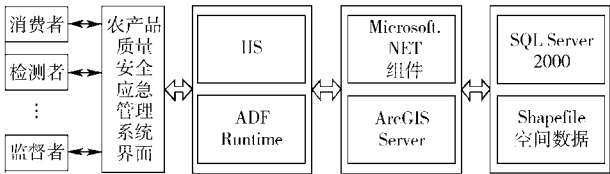


图 1 农产品质量安全应急管理系统框架
Fig.1 Structure design of farm products quality safety emergency management system

以B/S架构为基础开发的农产品质量安全应急管理系统,以网络浏览器作为与用户交互的标准界面,它能接收不同区域用户的请求,并将请求转发

到服务器端,最终将处理结果回馈到客户端浏览器进行显示。

微软的 IIS(internet information server)本身只能发布系统中的常规网络服务,却不能直接发布系统中的地图服务资源。通过安装 ADF Runtime 对 ADF 控件进行解析实现地图服务资源的发布。运行时相当于服务器端的中间组件 Web 服务器。

农产品质量安全应急管理系统的数据库可划分为两类,即空间数据与属性数据,空间数据是以 Shapefile 文件格式存在的,按照点、线、面分别进行存储,主要包括行政区划、主要道路、主要农产品交易市场、关键医疗设施位置等,通过 ArcGIS Server 控件来解决发布与交互的问题;属性数据如企业主体信息、评价结果、应急预案等,其通过常规控件,如 HTML 标签,就可以解决与客户端的交互问题^[16~17]。

2.2 系统流程设计

通过对农产品生产流通过程实地调研和应急管理分析,在参照《国家重大食品安全事故应急预案》的基础上,以 WebGIS 和构建的农产品质量安全事件等级综合评价模型为基础,农产品质量安全应急管理系统的运行流程设计如图2所示。

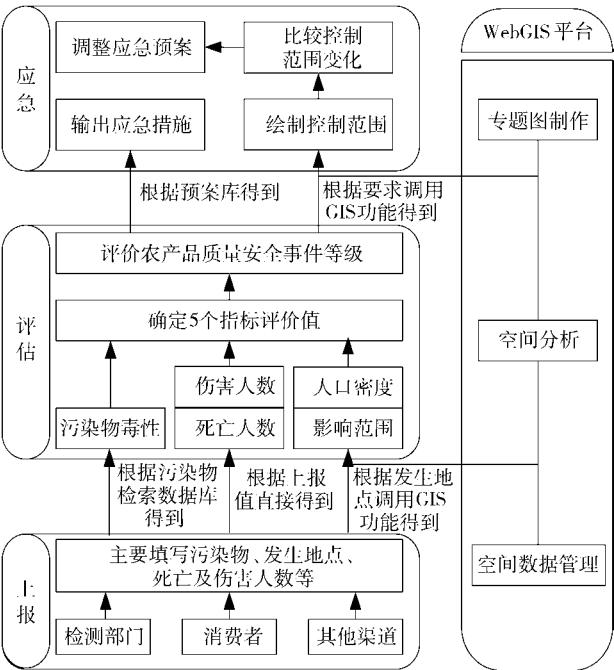


图 2 农产品质量安全应急管理系统运行流程框图
Fig.2 Work flow design of farm products quality safety emergency management system

系统按照“上报-评估-应急”这一运行流程进行组织。在上报环节,检测部门对市场随机抽取的样品进行检测,若发现问题进行上报,同样,消费者也可以对发现的问题产品通过系统上报,上报内

容包括污染物、发生地、死亡及伤害人数等信息。

在评估环节,系统根据上报的内容分 3 种类型进行评估参数提取:

(1)对于污染物毒性,可通过上报的污染物名称直接检索属性数据库得到其毒性。

(2)对于伤害人数和死亡人数,可根据上报数值直接得到。

(3)对于人口密度和影响范围,可调用 WebGIS 的空间数据管理和空间分析功能得到,其中人口密度可根据发生地在空间数据库中查询对应的城市,然后在属性数据库中检索得到;影响范围可根据批次信息并利用 WebGIS 的空间分析功能追溯该批产品的来源。

在评估参数提取的基础上,利用已建立的农产品质量安全事件等级综合评价模型确定 5 个指标的评价值,进而评价等级。

在应急环节,一方面,根据评级出的事件等级调用相应的应急预案,并输出召回、下架、人员及车辆配置等信息;另一方面,利用 WebGIS 的空间分析和专题图制作功能,绘制农产品质量安全事件应控制的范围,同时根据不同时期的事态变化,比较控制范围变化,便于直观了解事件发展态势,调整应急预案,对应急预案进行升级或降级的辅助处理。

2.3 系统实现

在设计系统框架和系统流程的基础上,采用 ArcGIS Server 提供的应用程序开发框架和微软的 ASP. Net 开发语言实现了系统。

3 系统应用模拟

3.1 应用场景

以 2010 年某地发生的毒豇豆事件为案例说明系统的运行与使用。该批豇豆最初是由 A 省 B 市的检测人员在农贸市场进行农产品抽检时发现含有水胺硫磷禁用农药成分。该农药为高毒杀虫剂,中毒会出现恶心、呕吐、腹痛、腹泻等消化系统症状,严重中毒者可致死亡。该批豇豆数量约 3 000 kg。B 市的人口密度约 947 人/km²。

3.2 典型功能应用

农产品质量安全应急管理系统部署于 A 省农产品质量安全主管部门,在 B 市检测人员发现问题豇豆的第一时间通过登陆应急管理系统,通过系统提供的事件上报功能将事件的基本情况填写完整后提交,系统界面如图 3a。省级管理部门相关人员根据系统提供的如下典型功能进行操作:

(1)产品来源确认:根据产品批次和流通记录,确认产品来自 C 省 D 市,通过系统提供的距离量算

功能可方便得到产品来源地与事件发生地之间的距离。

(2)等级评价:本次事件是由含有水胺硫磷禁用农药成分的豇豆引起的,经系统检索得污染源具有高毒性;根据产品来源确认,事件影响范围为跨省,死亡人数为零,而伤害人数达到 20 人以上;发生事件的农贸市场根据空间查询其位于 B 市的人口密度达到了 500 人/km²以上;因此,通过系统提供的事件等级综合评价功能得到该次事件的综合评价值为 2.0,属于 I 级即特别重大农产品质量安全事故,这与该事件的实际等级是相符的。

(3)扩散范围模拟:根据该批农产品的批次信息,结合流通记录,对问题农产品的流通路径在地图上实时绘制,从表现形式上看,扩散图形类似于树结构,通过叠加分析提取该树状结构上的各节点即为该次事件需控制的范围点,可以专题图形式输出,如图 3b 所示。

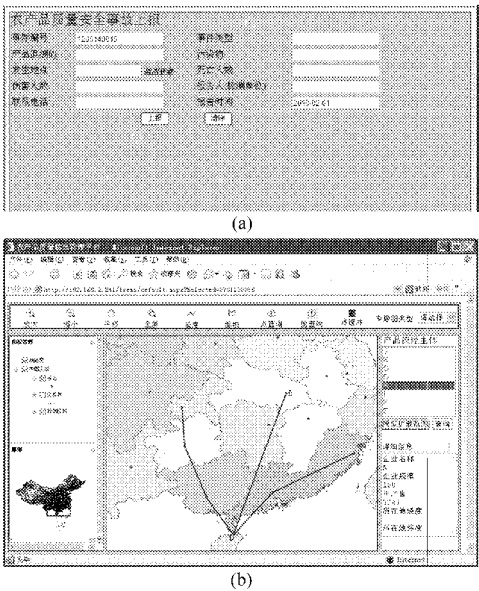


图 3 农产品质量安全应急管理系统界面
Fig. 3 Interface of farm products quality safety emergency management system
(a) 事件上报 (b) 扩散范围模拟

(4)应急预案配置:根据计算出来的评价结果,综合考虑图形化分析的结果,确定农产品质量安全事故的危害程度,从而配置出与本事件符合的 I 级响应预案。

(5)应急设施查询:由于 I 级相应预案中需要医疗设施、工商行政部门等,利用系统的缓冲区分析功能分别查找距事件发生地 1、2 和 5 km 等范围内的医疗设施,并列出这些医疗设施的基本情况,供决策使用。

(6)事态分析:根据事件的变化可实时模拟扩散范围,通过叠加分析可比较不同时期扩散范围的

变化,以此为基础进行预案调整。

3.3 应用效果讨论

通过系统提供的功能,系统能根据最新进展进行评价,在事件发生后 3 d,事件的危害已逐步消除且不会进一步扩散,根据评价结果事件进行了降级;在发生后 7 d,系统提供了终止应急响应的决策,报应急指挥部批准,应急响应结束。

本系统提供的评价模型能较为准确地评价事件等级,并可根据事态发展快速、实时评价事件,便于及时对事件的响应做出调整;同时系统提供的 WebGIS 分析功能,能辅助进行产品来源确认、扩散范围模拟、应急设施查询、事态分析等,便于数据管理和直观了解事态变化,同时分析结果可为评价模型提供参数获取依据。该系统能提高农产品质量安全事件的应急管理效率、增强应急管理能力、提升应急决策能力。

本事件的评价等级是根据建模中的 10 次样本事件提取相应规则得出的,其评价等级与实际等级一致;但随着样本事件的增多,其提取的规则可能会存在差异,因此在进行多样本评价时,最好重新构造粗糙集,以使评价结果更加准确。

由于农产品应急管理是城市应急管理的重要组成部分,其应急处置涉及到农业、工商、卫生、商务、医疗等多部门,因此若要使该系统更好地发挥作用,

需建立与上述部门应急平台的联动机制。同时,由于我国目前农产品追溯机制不够完善,导致产品的上下游信息备案不全,随着各地农产品质量安全追溯系统的建立,系统将更好地发挥作用。

4 结论

(1)农产品质量安全事件等级是影响应急处理的基础,应用粗糙集方法构建农产品质量安全事件等级综合评价模型是解决这类小样本、多属性问题的有益尝试。通过对农产品质量安全事件的样本案例进行属性分析与约简,通过重要度计算得到各属性的权重,由此构建了评价模型,模型的评价结果能较真实地反映农产品质量安全事件的影响程度,而且避免了主观因素对评价结果的影响;同时粗糙集是从已有的样本事件中提取规则的,因此在进行多样本评价时,可利用本文提供的方法重新构造粗糙集,以使评价结果更加准确。

(2)结合农产品质量安全应急管理流程,充分利用了 ArcGIS Server 组件库所提供的 GIS 功能,建立了基于 ArcGIS Server 和 .Net 技术的农产品质量安全应急管理系统,该系统实现了网络环境下农产品质量安全应急管理功能与地理空间信息的结合,从而为政府部门进行农产品质量安全应急管理提供了技术保障。

参 考 文 献

1 杨信廷,钱建平,孙传恒,等. 蔬菜安全生产管理及质量追溯系统设计与实现[J]. 农业工程学报,2008,24(3):162~166.
Yang Xinting, Qian Jianping, Sun Chuanheng, et al. Design and application of safe production and quality traceability system for vegetable[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(3): 162~166. (in Chinese)

2 谢菊芳,陆昌华,李保明,等. 基于 .NET 构架的安全猪肉全程可追溯系统实现[J]. 农业工程学报,2006,22(6):218~220.
Xie Jufang, Lu Changhua, Li Baoming, et al. Implementation of pork traceability system based on .NET framework[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(6): 218~220. (in Chinese)

3 杨信廷,孙传恒,钱建平,等. 基于流程编码的水产养殖产品质量追溯系统的构建与实现[J]. 农业工程学报,2008,24(2):159~163.
Yang Xinting, Sun Chuanheng, Qian Jianping, et al. Construction and implementation of fishery product quality traceability system based on the flow code of aquaculture[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(2): 159~163. (in Chinese)

4 熊本海,傅润亭,林兆辉,等. 生猪及其产品从农场到餐桌质量溯源解决方案:以天津市为例[J]. 中国农业科学,2009,42(1):230~237.
Xiong Benhai, Fu Runting, Lin Zhaohui, et al. A solution on pork quality safety production traceability from farm to dining table: taking Tianjin city as an example[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(1): 230~237. (in Chinese)

5 Papamichail K N, French S. Generating feasible strategies in nuclear emergencies:a constraint satisfaction problem[J]. Journal of the Operational Research Society, 1999, 50(6): 617~626.

6 高杰,冯启民,吴允涛,等. 地震应急响应系统研究[J]. 自然灾害学报,2007,16(6):180~186.
Gao Jie, Feng Qimin, Wu Yuntao, et al. Research on earthquake emergency response system[J]. Journal of Natural Disasters, 2007, 16(6): 180~186. (in Chinese)

7 蒲秋,武建军. 基于 3D GIS 的城市灾害应急系统初步研究——以北师大北太平庄校区为例[J]. 自然灾害学报,2008,17(1):33~38.

- Pu Qiu, Wu Jianjun. Three dimensional GIS-based preliminary study on urban disaster emergency system; taking Beijing Normal University area at Beitaipingzhuang as an example[J]. Journal of Natural Disasters, 2007, 17(1): 33 ~ 38. (in Chinese)
- 8 杨信廷, 钱建平, 范蓓蕾, 等. 农产品物流过程追溯中的智能配送系统[J]. 农业机械学报, 2011, 42(5): 125 ~ 130.
Yang Xinting, Qian Jianping, Fan Beilei, et al. Establishment of intelligent distribution system applying in logistics process traceability for agricultural product[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(5): 125 ~ 130. (in Chinese)
- 9 祁明亮, 池宏, 赵红, 等. 突发公共事件应急管理研究现状与展望[J]. 管理评论, 2006, 18(4): 35 ~ 45.
Qi Mingliang, Chi Hong, Zhao Hong, et al. The current researches and expectations of public emergency management[J]. Management Review, 2006, 18(4): 35 ~ 45. (in Chinese)
- 10 孟海波, 赵立欣, 徐义田, 等. 用粗糙集理论评价生物质固体成型燃料技术的研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 198 ~ 202.
Meng Haibo, Zhao Lixin, Xu Yitian, et al. Assessment of biomass pellets and briquettes technologies by rough sets theory [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(3): 198 ~ 202. (in Chinese)
- 11 张建军, 张利, 穆海芳, 等. 基于改进粒子群优化 BP 网络的发动机故障诊断方法[J]. 农业机械学报, 2011, 42(1): 198 ~ 203.
Zhang Jianjun, Zhang Li, Mu Haifang, et al. Improved BP-neural network of the particle swam optimization in the research on engine fault diagnosis[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(1): 198 ~ 203. (in Chinese)
- 12 王国胤, 姚一豫, 于洪. 粗糙集理论与应用研究综述[J]. 计算机学报, 2009, 32(7): 1 229 ~ 1 246.
Wang Guoyin, Yao Yiyu, Yu Hong. A survey on rough set theory and applications[J]. Chinese Journal of Computers, 2009, 32(7): 1 229 ~ 1 246. (in Chinese)
- 13 朱明, 李永, 李嘉. 中小型原水河渠污染事故危害度应急评价模型[J]. 水科学进展, 2010, 21(3): 405 ~ 412.
Zhu Ming, Li Yong, Li Jia. Emergency assessment model for the hazard extent of water pollution accidents in small and medium sized rivers[J]. Advances in Water Science, 2010, 21(3): 405 ~ 412. (in Chinese)
- 14 谭旭, 唐云岚, 陈英武. 基于粗糙集的烤烟烟叶智能分级方法[J]. 农业机械学报, 2009, 40(6): 169 ~ 174.
Tan Xu, Tang Yunlan, Chen Yingwu. Intelligent grading of flue-cured tobacco leaves based on rough set theory [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(6): 169 ~ 174. (in Chinese)
- 15 李佳, 张元标. 基于粗糙集理论的广东省农业循环经济综合评价[J]. 广东农业科学, 2009(9): 275 ~ 278.
Li Jia, Zhang Yuanbiao. Synthetical evaluation of agricultural circular economy in Guangdong Province based on rough set theory[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2009(9): 275 ~ 278. (in Chinese)
- 16 ESRI 中国(北京)培训中心. ArcGIS Server 轻松入门[M]. 北京: ESRI 中国(北京)培训中心, 2008.
- 17 刘光, 唐大仕. Web GIS 开发——ArcGIS Server 与 .NET[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.

(上接第 93 页)

- 9 王丽霞, 张书慧, 马成林, 等. 基于 ARM 的变量喷药控制系统设计[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 113 ~ 117.
Wang Lixia, Zhang Shuhui, Ma Chenglin, et al. Design of variable spraying system based on ARM[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(4): 113 ~ 117. (in Chinese)
- 10 邓巍, 丁为民, 何雄奎. PWM 间歇式变量喷雾的雾化特性[J]. 农业机械学报, 2009, 40(1): 74 ~ 78.
Deng Wei, Ding Weimin, He Xiongkui. Spray characteristics of PWM-based intermittent pulse variable spray [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 74 ~ 78. (in Chinese)
- 11 吴春笃, 杜彦生, 张伟, 等. 脉宽调制型变量喷雾系统雾量沉积分布[J]. 农业机械学报, 2007, 38(12): 70 ~ 73.
Wu Chundu, Du Yansheng, Zhang Wei, et al. Study on the deposit distribution of the modulated variable rate spray system [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(12): 70 ~ 73. (in Chinese)
- 12 Giles D K, Downey D. Quality control verification and mapping for chemical application[J]. Precision Agriculture, 2003, 4(1): 103 ~ 124.
- 13 Bennur P J, Taylor R K. Evaluating the response time of a rate controller used with a sensor-based, variable rate application system[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2010, 26(6): 1 069 ~ 1 075.