

基于突变级数法的有机蔬菜认证风险评估系统

张领先^{1,2} 顾东岳¹ 陈 诚¹ 邹春雨¹ 李鑫星^{1,2}

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 农业部农业信息化标准化重点实验室, 北京 100083)

摘要: 针对有机蔬菜生产环节认证完整性和有效性的不足,有机认证风险缺乏定量评价方法,依据突变级数理论和有机产品国家标准,结合有机蔬菜生产过程,识别有机蔬菜生产环节认证风险 15 个关键因子;提出有机蔬菜风险评估指标体系;构建基于突变级数法的有机蔬菜认证风险评估三层结构模型,将定性因子定量化,进行认证风险评估;并设计基于突变级数法的有机蔬菜认证风险评估系统。系统实际应用测试可知,构建的基于突变级数法的有机蔬菜认证风险评估模型能有效评估有机蔬菜认证风险,同时能较好地表现出认证风险关键影响因子。提高了有机蔬菜认证的完整性和有效性,可为企业有机蔬菜生产管理提供风险管控,为相关职能部门有机蔬菜生产认证风险监管提供科学依据。

关键词: 有机蔬菜; 认证风险; 突变级数法; 评估系统

中图分类号: S2; X820.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)06-0152-07

Assessment System for Organic Vegetables Certification Risk Based on Catastrophe Progression Method

ZHANG Lingxian^{1,2} GU Dongyue¹ CHEN Cheng¹ ZOU Chunyu¹ LI Xinxing^{1,2}

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory of Agricultural Information Standardization (Beijing), Ministry of Agriculture, Beijing 100083, China)

Abstract: In recent years, with the improvement of people's living standards, organic products with health, ecology, safety advantages, have become a hot in consumer market. However, in the current market environment, the organic product was mixed, causing a crisis of confidence of consumers. Production processes are the ultimately problem. The organic certification is just beginning in China. Thus there is a greater risk when the certification bodies certificating the production process, affecting certification result. Aiming at the problems of lack of integrity and effectiveness of the organic vegetables production certification, and less of quantitative assessment method for the organic vegetables certification risk, according to the basic principle of catastrophe progression method and the national standard of organic product, combining with the production of organic vegetables, the organic vegetables certification risk evaluation index system was built, the three-tie architecture model of organic vegetables certification risk assessment was put forward based on catastrophe progression method, the qualitative factors were quantified, certification risk was assessed and the organic vegetables certification risk assessment system was designed based on catastrophe progression method. By testing the practical application of the system, the model can assess organic vegetables certification risk efficiently and show the key certification risk impact point at the same time. The research improved the integrity and effectiveness of organic vegetables certification, provided risk management recommendations for the management of organic vegetable production, and provided scientific basis for the relevant functional departments to supervise the production of organic vegetables.

Key words: organic vegetables; certification risk; catastrophe progression method; assessment system

收稿日期: 2016-09-24 修回日期: 2016-10-23
基金项目: 叶类蔬菜产业技术体系北京市创新团队建设专项资金项目(BAIC07-2016)
作者简介: 张领先(1970—),男,副教授,博士,主要从事农业信息化技术研究,E-mail: zhanglx@cau.edu.cn
通信作者: 李鑫星(1983—),男,副教授,主要从事农业信息化技术研究,E-mail: lxxcau@cau.edu.cn

引言

当前国内有机食品市场秩序混乱,真假难辨,消费者的购买信心受到打击,严重影响了企业的发展^[1-2]。

有机蔬菜认证风险是指有机蔬菜在其生产中存在的使用违禁投入品或使用不符合认证规定方法的风险。对于蔬菜,尤其是叶类蔬菜,因为其耐机械性能较差,不宜深加工,因此蔬菜全供应链过程涉及加工环节较少,影响蔬菜质量和有机完整性的关键因素主要是以生产环节为主。2011 年 12 月《有机产品认证实施规则》和 GB/T 19630.1—2011《有机产品第 1 部分:生产》正式发布,其中第 1 部分从生产环节详述了有机蔬菜认证的标准,从种植环境、种子、栽培方法、土肥管理、污染控制等因素综合界定蔬菜是否是有机蔬菜。

从文献检索的结果来看^[3],目前有机蔬菜相关的研究主要集中于管理层和种植方法的研究。在认证风险评估方面,仅仅局限于定性研究,缺乏定量评价研究^[4];在系统方面,也缺乏针对有机蔬菜的信息系统研究。不难看出,有机蔬菜认证风险研究领域的成果相当少,缺乏规范的有机蔬菜认证风险评估指标体系、定量的有机蔬菜认证风险评估方法,以及可操作的评估信息系统。

目前,突变级数模型的应用研究主要集中于生态风险评估^[5]、工程稳定性评估^[6]、贷款信用评估^[7]等方面,在有机蔬菜认证风险评估中很少运用。为了满足有机蔬菜生产环节认证风险管控与监测的需求,本文结合有机蔬菜认证全过程的特点,提出有机蔬菜风险评估指标体系,构建一个基于突变级数法的有机蔬菜认证风险评估模型,设计有机蔬菜认证风险评估信息系统。同时,通过对有机蔬菜生产环节认证风险实证分析,有效地验证评估模型及信息系统。

1 突变级数法评估的基本原理

1.1 突变级数法评估的基本思想

突变级数法的主要特点是它首先对系统的评估总目标进行多层次矛盾分解,利用突变理论和模糊数学相结合产生的突变模糊隶属度函数,由归一化

公式进行综合量化运算,最后归一为一个参数,即求出总的隶属函数,从而进行评价^[8]。

突变级数法不需对评估指标赋以权重,它只考虑指标的相对重要性,避免了直接使用难以确定且主观性较大的“权重”概念。同时,突变级数是一种多维模糊隶属函数,用它来计算模糊数学的多目标评估决策问题,就更适宜和准确,而且突变级数法使用归一化公式,其计算量小,更易于编程。

1.2 突变级数法评估的步骤

1.2.1 构建突变级数层次结构模型

根据评估目的,对评估总指标进行多层次矛盾分组,排列成树状目标层次结构,构建突变级数多层次结构模型。将一个指标进行分解是为了能获得更具体的指标从而便于量化,当分解到对某个子指标可以量化时,分解就可停止。由于一般突变系统的控制变量不超过 4 个,所以相应的各层指标(相当于控制变量)不能超过 4 个^[9-10]。

评估指标确定后,可根据经验(定性)确定各指标的重要性;在同一属性、同一层次的指标中,重要程度相对大的指标放在前面,相对次要的指标放在后面,以解决控制变量的优先序列号确定的问题^[11]。

突变理论证明,当控制变量不超过 4 个时,只有 7 种基本突变形式。而多目标决策所涉及的初等突变模型主要有: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 4 种(表 1)^[12-13]。根据上一级指标所包含下一级指标的个数确定各层次的突变系统类型。

1.2.2 由突变模型推出归一化公式^[14-15]

(1)控制变量归一化公式

设突变系统的势函数为 $f(x)$, 根据突变理论,它的所有临界点集合成平衡曲面 M , 其方程通过求 $f(x)$ 的一阶导数而得到,即 $f(x)' = 0$ 。它的奇点集通过对 $f(x)$ 求二阶导数而得到,即 $f(x)'' = 0$ 。由 $f(x)' = 0$ 和 $f(x)'' = 0$ 消去 x , 则得到突变系统的分歧点集方程。通过分解形式的分歧点集导出归一化公式,由归一化公式将系统内诸控制变量(u, v, w, t)不同的质态化为同一质态,即化为状态变量表示的质态。常用的 4 个突变模型及其归一化公式如表 1 所示。

表 1 常用突变模型及归一化公式

Tab.1 Type of catastrophe models and its normalization formula

突变模型种类	控制变量数	势函数	分歧点集	归一化公式
折叠突变	1	$f(x) = x^3 + ux$	$u = -3x^2$	$x_u = \sqrt{u}$
尖点突变	2	$f(x) = x^4 + ux^2 + vx$	$u = -6x^2, v = 8x^3$	$x_u = \sqrt{u}, x_v = \sqrt[3]{v}$
燕尾突变	3	$f(x) = x^5 + ux^3 + vx^2 + wx$	$u = -6x^2, v = 8x^3, w = -3x^4$	$x_u = \sqrt{u}, x_v = \sqrt[3]{v}, x_w = \sqrt[4]{w}$
蝴蝶突变	4	$f(x) = x^6 + tx^4 + ux^3 + vx^2 + wx$	$u = -10x^2, v = 20x^3, w = -15x^4, t = 4x^5$	$x_u = \sqrt{u}, x_v = \sqrt[3]{v}, x_w = \sqrt[4]{w}, x_t = \sqrt[5]{w}$

(2)“互补”与“非互补”原则

利用突变理论进行模糊综合评估时,若同一对象各控制变量(如 u,v,w,t 等)之间不存在明显的相互关联作用,则称该对象各控制变量为“非互补”型;否则称该对象各控制变量为“互补”型。

对于非互补型的指标,按“大中取小”原则取值: $\min\{x_u,x_v,x_w,x_t\}$ 。

而对于互补型的指标,按“平均值法”原则取值: $(x_u+x_v+x_w+x_t)/4$ 。

1.2.3 利用归一化公式进行综合评估

(1)逐层综合计算

根据控制变量标准化处理值,也称初始相对隶属度,按归一化公式可计算出上一层的相对隶属度。利用系统中各突变模型的归一化公式逐层向上综合,直至得到最高层的总相对隶属度,即评估值。

(2)评估结果级别划分

各评估单元总相对隶属度均转换为取值范围为 $[0,1]$ 的越大越优型值。数值越大,表明风险越低。根据评估分级标准划分风险等级。评估分级标准有平均分隔法、自然间隔法、标准差分类法和人工分类等方法。

2 基于突变级数法的有机蔬菜认证风险评估模型构建

2.1 有机蔬菜认证风险评估突变级数模型

2.1.1 有机蔬菜认证风险评估指标体系

根据 GB/T 19630.1—2011《有机产品第 1 部分:生产》和实践经验,选取在有机蔬菜生产过程中,对有机蔬菜质量具有重大影响的基地环境(土壤重金属含量、灌溉水污染物含量、空气污染物含量、与污染源距离、缓冲带宽度)和农业投入品(种子来源、转基因污染风险、化学处理风险、常发病虫害数量、病虫害化学防治风险、防治病虫害措施、除草措施、养分需求等级、培肥手段、有机肥)作为评估指标。

有机蔬菜认证风险评估指标体系的一级指标、二级指标和三级指标具体见图 1。各个三级指标性质、量化方法等具体说明如表 2 所示。其中,负向指标(越小越优指标)有:常发病虫害数量 C1、土壤重金属含量 C13、灌溉水污染物含量 C14、空气污染物含量 C15;除此外,其它所有指标为正向指标(越大越优指标)(C4、C9、C10 指标通过量化方法转换为正向指标)。

2.1.2 有机蔬菜认证风险评估突变级数层次结构模型构建

根据认证风险评估目标,对评估总指标进行多

层次矛盾分组,排列成树状目标层次结构,分解到原始数据可获取的子指标即可。同时保证各层指标(相当于控制变量)不超过 4 个,可得有机蔬菜认证风险评估突变级数层次结构模型(图 1)。

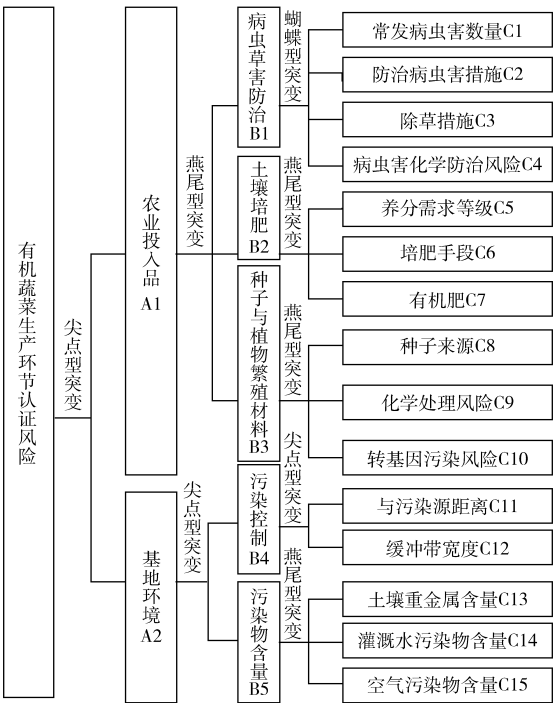


图 1 有机蔬菜认证风险评估突变级数模型

Fig. 1 Catastrophe progression model for organic vegetables certification risk evaluation

按照图 1 每一层评价指标构成可以确认突变级数类型。主要有 3 种类型:尖点型突变、燕尾型突变和蝴蝶型突变。例如,控制变量 A1 和 A2 来自于一个尖点型突变模型;从 A1 到 B1、B2、B3 为燕尾型突变模型;从 B1 到 C1、C2、C3、C4 为蝴蝶型突变模型。

2.2 基于突变级数法的有机蔬菜认证风险计算及分级

2.2.1 原始数据采集与标准化数据处理

原始数据采集:本文采集了一些企业的有机蔬菜种植情况。所涉及的数据主要来源于实地调研、问卷调查,共涉及 5 家有机生产企业的多个有机蔬菜生产农场,有机品种 12 个,共采集 16 个样本。各个样本三级评估指标原始值如表 3 所示。

标准化数据处理:为了使评估指标数据无量纲化,通常采用标准化处理方法来解决不同指标的均衡化问题。通过标准化处理,标准化数据一般处于 $0 \sim 1$ 之间。如果控制变量的值在 $[0,1]$ 范围,则数据不需要规范化处理,可以直接用于突变级数运算。

对于越大越优指标,则

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min(j)}}{x_{\max(j)} - x_{\min(j)}} \tag{1}$$

表 2 有机蔬菜认证风险三级评估指标说明

Tab.2 Caption of three level indexes for organic vegetables certification risk evaluation

指标	指标代码	指标性质	数据项	量化方法	优先序	
					属性	序列号
常发病虫害数量	C1	负向,定量	按所属蔬菜类别常发性病虫害数量	无	互补关系	4
防治病虫害措施	C2	正向,定性	物理防治、生物防治、化学防治、 环境监控	无=0,采用1项=1,采用2项=2, 采用3项=3,采用4项=4		3
除草措施	C3	正向,定性	人工除草、物理除草	无=0,采用1项=1,采用2项=2		2
病虫害化学防治风险	C4	正向,定性	高、中、低	高=0,中=1,低=2,无=3		1
养分需求等级	C5	正向,定性	高、中、低	高=0,中=1,低=2,无=3		3
培肥手段	C6	正向,定性	种植豆科植物、秸秆还田、 休耕、测土配方施肥	无=0,采用1项=1,采用2项=2, 采用3项=3,采用4项=4	互补关系	2
有机肥	C7	正向,定性	施用自制(高)、施用商品化 (中)、不施用(低)	高=0,中=1,低=2,无=3		1
种子来源	C8	正向,定性	常规种子(高)、自留种(中)、 商品化(低)	高=0,中=1,低=2,无=3	互补关系	3
化学处理风险	C9	正向,定性	高、中、低、无	高=0,中=1,低=2,无=3		2
转基因污染风险	C10	正向,定性	高、中、低、无	高=0,中=1,低=2,无=3		1
与污染源距离	C11	正向,定量	数值	若采用大棚种植,则为实测值2倍	互补关系	2
缓冲带宽度	C12	正向,定量	数值	无		1
土壤重金属含量	C13	负向,定量	数值	无	互补关系	3
灌溉水污染物含量	C14	负向,定量	数值	无		2
空气污染物含量	C15	负向,定量	数值	无		1

表 3 有机蔬菜认证风险三级评估指标原始值

Tab.3 Collected original data of three level indexes for organic vegetables certification risk evaluation

指标 代码	样品编号															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
C1	3	2	15	20	15	15	28	14	20	28	28	3	28	14	10	28
C2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4
C3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
C4	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	0	1
C5	1	0	2	0	2	2	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0
C6	1	4	3	3	4	3	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1
C7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
C9	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2	3	3	2	2	3	2
C10	2	2	3	2	3	3	0	2	3	0	3	2	0	2	3	0
C11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	2	2
C12	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10
C13	0.49	0.65	0.65	0.27	0.27	0.27	0.64	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.60	0.60	0.58	0.58
C14	0.51	0.72	0.72	0.16	0.16	0.16	0.80	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.92	0.92	0.80	0.80
C15	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

对于越小越优指标,则

$$y_{ij} = \frac{x_{\max(j)} - x_{ij}}{x_{\max(j)} - x_{\min(j)}} \tag{2}$$

式中 j ——突变子系统的顺序号
 i ——突变子系统控制变量的优先序列号
 x_{ij} ——对应于 i 和 j 层控制变量值
 y_{ij} —— x_{ij} 标准化处理数值
 $x_{\min(j)}$ 、 $x_{\max(j)}$ ——突变子系统控制变量的最小值和最大值

2.2.2 基于突变级数法的有机蔬菜认证风险计算

指标与指标之间的互补与非互补关系由专家经验确定,结合《有机产品》国家标准,农业投入品 A1 与基地环境 A2 为非互补,其余均采用互补关系。其中,三级评估指标优先序如表 2 所示。对评价指标原始指标值标准化处理并利用归一化公式对 16 个样本进行逐层计算。综合计算可得有机蔬菜认证风险评估值,结果如表 4 所示。

表 4 有机蔬菜认证风险评估值
Tab.4 Certification risk value of organic vegetables

被调研生产企业	样品名称	有机蔬菜认证风险评估值		认证风险等级
		计算值	处理后值	
泰安泰山亚细亚食品有限公司 DPF13D 农场	绿芦笋	0.925	0.750	Ⅱ
	花菜	0.917	0.724	Ⅱ
泰安泰山亚细亚食品有限公司 N05 农场	菜用大豆	0.935	0.782	Ⅱ
	菠菜	0.900	0.668	Ⅱ
泰安泰山亚细亚食品有限公司 QFF16 农场	青刀豆	0.937	0.791	Ⅱ
	菜用大豆	0.935	0.782	Ⅱ
北京春播科技有限公司	番茄	0.847	0.488	Ⅲ
	黄瓜	0.774	0.248	Ⅳ
北京第零科技有限公司	蕹菜	0.901	0.670	Ⅱ
	番茄	0.724	0.080	Ⅴ
	茄子	0.762	0.207	Ⅳ
	胡萝卜	0.898	0.661	Ⅱ
北京泰华芦村	番茄	0.857	0.524	Ⅲ
	黄瓜	0.899	0.665	Ⅱ
北京慧田	韭菜	0.921	0.736	Ⅱ
	番茄	0.882	0.608	Ⅱ

2.2.3 有机蔬菜认证风险评估结果分级

16 个有机蔬菜样品评估结果处于 0.724 ~ 0.937, 可以看出评价结果较为集中在 0.7 ~ 1.0 之间。为了便于分级分析,将评价结果处理为

$$R_n = \frac{I_n - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \tag{3}$$

式中 $I_{\max}$ ——有机蔬菜样品评估最大值,取 1.0
 $I_{\min}$ ——有机蔬菜样品评估最小值,取 0.7
 I_n ——原始计算的有机蔬菜认证风险值
 R_n ——处理后的有机蔬菜认证风险值
 n ——样品编号

处理结果如表 4 所示。

用平均分隔法对处理后的有机蔬菜认证风险值进行分级。评价结果分为 5 级,即以 0.2、0.4、0.6、0.8 为分界点(表 5)。采集样品认证风险值分级结果如表 4 所示。

表 5 有机蔬菜认证风险划分标准

Tab.5 Classification standards of organic vegetable certification risk		
等级	风险状况	风险值域
I	低风险	0.8 ~ 1.0
Ⅱ	较低风险	0.6 ~ 0.8
Ⅲ	中度风险	0.4 ~ 0.6
Ⅳ	较高风险	0.2 ~ 0.4
V	高风险	0 ~ 0.2

2.3 评估结果分析

通过分析各层子系统指标认证风险值,可以发现有机蔬菜认证风险关键影响因子。在突变级数法评估中,风险值越高则越优。由图 2 可知,北京慧田

韭菜(15 号样品)基地环境认证风险高于农业投入品认证风险,其余样品均为农业投入品认证风险高于基地环境认证风险。

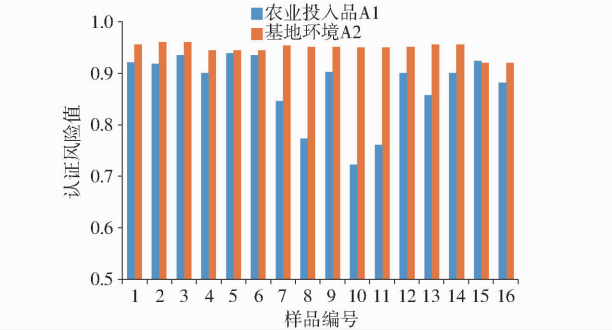


图 2 样品 A 指标认证风险值

Fig.2 Certification risk value of A indexes of samples

本文重点以 15 号样品和 1 号样品为例,分析影响有机蔬菜指标 B 认证风险的关键点(图 3)。1 号样品土壤培肥指标 B2 风险最高,15 号样品污染控制指标 B4 风险最高。

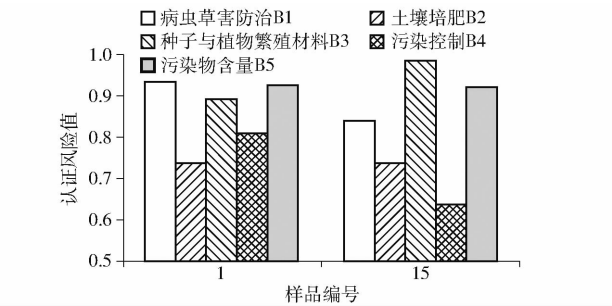


图 3 样品指标 B 认证风险值

Fig.3 Certification risk value of index B of samples

2.3.1 1 号样品认证风险分析

1 号样品土壤培肥指标 B2 下有养分需求等级

C5、培肥手段 C6、有机肥 C7 3 项指标。有机肥指标 C7 认证风险值为 0, 认证风险最高(图 4)。泰安泰山亚细亚食品有限公司 DPF13D 农场绿芦笋生产使用自制有机肥,且芦笋养分需求量较大,而农场培肥手段欠缺,结果土壤培肥指标认证风险较其他指标高。有机蔬菜认证风险也因此较高,与实际情况相符。

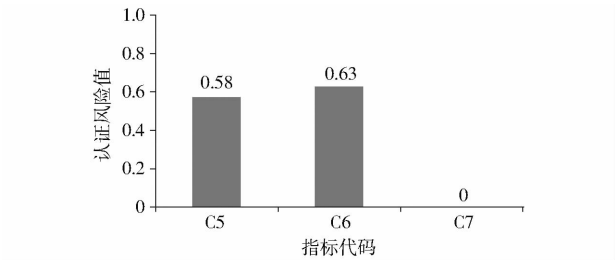


图 4 1 号样品关键认证风险因子分析

Fig. 4 Analysis of key certification risk factors of No. 1 samples

根据认证风险分析,企业应当增加培肥手段,采用商品化有机肥或不施用有机肥;有机认证机构应着重监管该企业使用的土壤培肥投入品是否符合国家标准。

2.3.2 15 号样品认证风险分析

15 号样品污染控制指标 B4 下有与污染源距离 C11 和缓冲带宽度 C12 2 项指标。缓冲带宽度 C12 认证风险值为 0.37,较与污染源距离 C11 风险大。北京慧田合作社生产基地设置缓冲带宽 10 m,与污染源距离(公路)仅 1 km,虽采用大棚种植技术,但污染生产地块使有机蔬菜有机完整性风险较高。可见评估认证风险关键点与实际情况相符(图 5)。

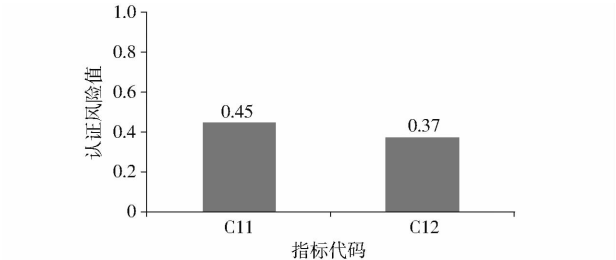


图 5 15 号样品关键认证风险因子分析

Fig. 5 Analysis of key certification risk factors of No. 15 sample

根据认证风险分析,企业与污染源之间的距离不符合认证标准要求,故企业应当增加缓冲带宽度,增加污染控制强度。有机认证机构应着重检查有机蔬菜生产基地与污染控制措施是否符合有机蔬菜认证标准。

3 有机蔬菜认证风险评估系统设计

基于 PHP 语言开发,采用 B/S 的架构模式,使

用 MySQL 数据库,设计了有机蔬菜认证风险评估系统(图 6)。



图 6 登陆界面

Fig. 6 Register interface

系统功能主要分为 7 个模块:用户管理、企业管理、评估指标设置、评估指标查询、蔬菜样品录入、风险评估、评估结果查询。

(1)用户管理:管理员能够对所有用户和用户权限进行增、删、改操作。

(2)企业管理:用户能够根据权限对企业进行增、删、改操作。

(3)评估指标设置:管理员能够设置基于突变级数法的有机蔬菜认证风险评估的各层评估指标,并能修改保存各项指标(图 7)。



图 7 指标管理界面

Fig. 7 Indexes management interface

(4)评估指标查询:用户能够查询有机蔬菜认证风险评估需要采集的数据项目和具体信息。

(5)蔬菜样品录入:用户能够将采集到的蔬菜样品各项评估指标数据输入评估系统(图 8)。

(6)风险评估:根据用户录入的有机蔬菜案例数据,按照有机蔬菜认证风险评估模型的要求,计算风险值,并划分风险等级,保存有机蔬菜样品评估结果。

(7)评估结果查询:用户能够按照输入的有机蔬菜案例查询到风险评估的结果(图 9)。

4 结束语

本文依据 GB/T 19630.1—2011《有机产品第 1 部分:生产》,结合有机蔬菜生产过程,分析识别了有机蔬菜认证风险因子;提出了有机蔬菜认证风险



图8 样本录入界面

Fig.8 Recording samples interface



图9 评估结果界面

Fig.9 Evaluation result interface

评估指标体系;在此基础上构建了基于突变级数法的有机蔬菜认证风险评估三层结构模型,该模型能够有效评估有机蔬菜认证风险,同时能较好地发现认证风险关键影响因子。同时,设计了有机蔬菜认证风险评估系统,为有机蔬菜认证风险评估提供科学依据和可操作的定量方法。

参 考 文 献

1 伊俊竹. 有机蔬菜何时迎春天[J]. 中国果菜, 2014(7): 58-62.

2 陈昱,冯伟民,樊平声,等. 我国有机蔬菜发展现状及对策[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(11): 1-4.

3 林其发. 中国有机蔬菜产业发展研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2014.

LIN Qifa. Study on the development of organic vegetables industry inChina [D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2014. (in Chinese)

4 张德纯,刘中笑,靳松. 关于有机蔬菜认证和质量管理的思考[J]. 中国蔬菜, 2007(6): 4-6.

5 ZHANG Lingxian, LIU Xue, LI Daoliang, et al. Evaluation of the rural informatization level in four Chinese regions: a methodology based on catastrophe theory[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2013, 58(3-4): 862-870.

6 宫凤强,李夕兵,高科. 地下工程围岩稳定性分类的突变级数法研究[J]. 中南大学学报:自然科学版,2008,39(5):1081-1086.

GONG Fengqiang, LI Xibing, GAO Ke. Catastrophe progression method for stability classification of underground engineering surrounding rock[J]. Journal of Central South University:Science and Technology, 2008,39(5):1081-1086. (in Chinese)

7 ZHANG T J, REN S X, LI S G, et al. Application of the catastrophe progression method in predicting coal and gas outburst[J]. Mining Science and Technology, 2009, 19(4): 430-434.

8 唐志鹏,刘卫东,周国梅,等. 基于突变级数法的中国 CO₂ 减排的影响要素指标体系及其评价研究[J]. 资源科学,2009, 31(11):1999-2005.

TANG Zhipeng, LIU Weidong, ZHOU Guomei, et al. An evaluation index system about contributing factors of China's CO₂ abatement based on a catastrophe progression method[J]. Resources Science,2009,31(11):1999-2005. (in Chinese)

9 文畅平,肖宏彬,曾娟娟. 基于突变级数法的滑坡稳定性评价[J]. 自然灾害学报,2015,24(2):68-73.

WEN Changping, XIAO Hongbin, ZENG Juanjuan. Evaluation of landslide stability based on catastrophe progression method[J]. Journal of Natural Disasters, 2015,24(2):68-73. (in Chinese)

10 金佩恩,王恩元,刘晓斐,等. 冲击地压危险性综合评价的突变级数法研究[J]. 采矿与安全工程学报,2013,30(2):256-261.

JIN Peien, WANG Enyuan, LIU Xiaofei, et al. Catastrophe progression method on comprehensive evaluation of rock burst[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2013,30(2):256-261. (in Chinese)

11 黄奕龙. 突变级数法在水资源持续利用评价中的应用[J]. 干旱环境监测, 2001, 15(3): 167-170.

HUANG Yilong. Application of catastrophe progressionmethod to sustainable usage of water resource [J]. Arid Environment Monitoring, 2001, 15(3): 167-170. (in Chinese)

12 闫莎莎,张文泉. 基于突变级数法的矿区地表开采沉陷损害等级预测研究[J]. 山东科技大学学报, 2010,29(4): 40-45.

YAN Shasha,ZHANG Wenquan. The prediction on damage grade of surface subsidence induced by mining based on catastrophe progression method[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology,2010,29(4): 40-45. (in Chinese)

13 李艳,陈晓宏,张鹏飞. 突变级数法在区域生态系统健康评价中的应用[J]. 中国人口·资源与环境, 2007, 17(3):50-54.

LI Yan,CHEN Xiaohong, ZHANG Pengfei. Application of catastrophe progression method to evaluation of regional ecosystem health[J]. China Population, Resources and Environment, 2007, 17(3):50-54. (in Chinese)

14 WU Qian,XIE Kefan, CHEN Zhiyue. A catastrophe model on the evaluation and classification of mine disaster rescue measures [J]. Systems Engineering Procedia, 2012, 4: 484-489.

15 CHEN Yu, ZHANG Shushen, ZHANG Yun, et al. Comprehensive assessment and hierarchical management of the sustainable utilization of urban water resources based on catastrophe theory[J]. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2016, 60: 430-437.