

## 基于神经网络的蔬菜农药残留风险预警模型研究

张星联<sup>1</sup> 张慧媛<sup>2</sup> 唐晓纯<sup>2\*</sup> 钱永忠<sup>1</sup> 李笑曼<sup>2</sup>

(1. 中国农业科学院 农业质量标准与检测技术研究所/农业部农产品质量安全重点实验室,北京 100081;

2. 中国人民大学 农业与农村发展学院,北京 100872)

**摘要** 为探索基于常规监测数据的神经网络预警模型在农产品传统风险管理中的应用,以2011—2012年我国5省市的蔬菜中农药残留监测数据为样本,采取神经网络方法建立风险预警模型。首先,以产品种类、监测环节、监测时间和蔬菜产地为参考采用专家打分法将样本进行安全性评级,然后将经过筛选和预处理的45种农药监测数据,作为BP神经网络输入层,并根据不安全蔬菜的风险程度,以非常安全(A)、比较安全(B)、基本安全(C)、较不安全(D)和不安全(E)5个等级作为输出层,农药残留数据经过处理整合后得到16个样本,通过对其中14个样本进行拟合训练,得到预警模型及2个验证样本的评分结果分别为2.343 0和3.171 5,与实际评分结果隶属同一安全等级。证明基于客观监测数据的神经网络预警模型对于蔬菜中农药残留的预警是有效的。

**关键词** BP神经网络;预警模型;蔬菜农药残留;监测数据

**中图分类号** TP 391; TS 207

**文章编号** 1007-4333(2015)02-0259-09

**文献标志码** A

## Research on the early-warning model of vegetable pesticide residues based on a neural network

ZHANG Xing-lian<sup>1</sup>, ZHANG Hui-yuan<sup>2</sup>, TANG Xiao-chun<sup>2\*</sup>, QIAN Yong-zhong<sup>1</sup>, LI Xiao-man<sup>2</sup>

(1. Institute of Quality Standards & Testing Technology for Agro-Products, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Agro-food Safety and Quality, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China;

2. School of Agricultural Economics and Rural Development, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

**Abstract** In order to explore the application of ANN early warning model, based on routine monitoring data in the traditional risk management of agricultural products, the pesticide residues in vegetable monitoring data from China's five provinces from 2011 to 2012 were taken as samples and the ANN risk early warning model was established. First, the experts rated the safety of samples, taking product variety, monitoring link and monitoring time and vegetable origin for reference. Then 45 kinds of pesticides filtered and monitoring data preprocessed were taken as the BP neural network input layer. And the five degrees of very safe(A), relatively safe(B), basic safe(C), relatively unsafe(D) and unsafe(E) were set as the output layer. Choosing 14 samples as training samples of the ANN warning model, the results of 2 validation samples were 2.343 0 and 3.171 5 respectively. The model results and actual results belong to the same safety level. It proved that the ANN early warning model based on the objective monitoring data is valid for the pesticide residue risk in vegetables.

**Key words** BP neural network; early-warning model; pesticide residues of vegetables; monitoring data

农产品作为食品的最初形态,其质量安全问题直接关系到食品供应链中后续产品的质量安全,对公众的健康起着至关重要的作用。虽然近年来我国农产品质量安全现状总体向好,但随着科学技术的

发展,生产环境的变化,新兴媒体的发展,新的风险隐患不断涌现,农产品质量安全事件频发,针对农产品的风险监测管理研究也越来越受到学者们的关注<sup>[1]</sup>。

基于“预防为主”预警管理是时下许多发达国家

收稿日期:2014-07-09

基金项目:中国农业科学院基本科研业务费项目支持(2012ZL016)

第一作者:张星联,助理研究员,博士,主要从事农产品质量安全风险评估和预警研究,E-mail:zxlcas@163.com

通讯作者:唐晓纯,教授,主要从事食品安全预警研究,E-mail:tangxc@ruc.edu.cn

在公共安全管理领域常用的先进理念<sup>[2-3]</sup>,在许多领域已经有了丰富的实践经验,经济预警、气象预警和环境预警等都属于比较成熟的预警机制范例<sup>[4-6]</sup>。但在农产品的质量安全领域,研究的深度和广度还远远不够<sup>[7-8]</sup>。目前,预警管理研究多集中于以下几点:1)预警方法的研究,多集中于模糊数学及系统指标研究,考虑到风险因子与评价结果关系的复杂性,近年来神经网络法逐渐进入预警专家们的眼帘,成为研究热点<sup>[9-10]</sup>;2)预警体系建设,包括预警的流程及机制,多集中于指标体系的构建<sup>[11-12]</sup>,理论性及主观性强,无法形成常规的管理机制;3)预警模型,多与计算机的技术层面及平台建设挂钩<sup>[13-16]</sup>,缺乏可靠的实际数据及案例的验证,实践经验累计不足。概括来看,农产品质量安全预警理论层面的基础研究已经比较充分,但预警管理中的体系和模型构建仍然存在实用性和操作性不强的问题,仍需要进一步的研究探索。

传统的农产品质量安全预警模型主要以指标体系的专家打分数据为样本来源。指标的选取和专家观点的不同导致得到的预警结果也有很大的差异,与实际情况具有一定的误差。常规监测数据具有量大、易得及来源稳定的特点,是非常有价值的预警模型数据来源。客观的监测数据排除了人为主观因素的影响,但单纯依靠监测数据作出的预测判断又具有一定的滞后性和片面性。因此,建立兼顾监测数据客观性及专家评价科学性的预警模型是十分必要的。本研究拟选取大宗农产品——生鲜蔬菜作为研究对象,以处理过的农药残留监测数据为样本,利用神经网络法构建预警模型,旨在为实现预警结果的准确、可靠提供依据。

## 1 蔬菜农药残留风险预警模型的构建

蔬菜的质量安全是指所有的卫生、营养状况,在满足不同消费需求的同时,不会对消费者的健康造成损害<sup>[17-18]</sup>。影响其质量安全的因素主要包括农药残留、有害金属残留、有害微生物和粉尘污染等,其中农药残留状况最为严重<sup>[19-20]</sup>。虽然近年来我国蔬菜的农药残留超标率逐年下降,但是农药残留作为危害农产品质量安全的风险因子,一直以来都是影响蔬菜质量安全的主要因素<sup>[21]</sup>。因此,本研究选取生鲜蔬菜中的农药残留作为研究对象。

### 1.1 基本思路

食用农产品质量安全预警模型实际就是风险因

子向最终安全等级非线性逼近的问题,神经网络方法可以实现预警模型的建立。BP神经网络是一种由输入层、输出层以及隐含层节点互相连接而成的一种多层次逆向学习的网络。其极强的建模功能和解决实际问题的能力,成为食用农产品质量安全预警模型中作为神经网络建模的基本网络而被优先选用。

本研究中神经网络的输入层即为常规风险监测中蔬菜45种农药的检测合格率,输出即为蔬菜中农药残留的安全性评价等级。以影响检测合格率的农产品种类、监测环节、监测时间和蔬菜产地4个客观因素为指标,让相关专家为不同样本4个因素对蔬菜农药残留的安全性打分,综合得出不同样本的安全等级。通过一定样本量的自学习和模拟过程,得到神经网络模型。最后输入2个验证样本,得到评价结果与专家评价结果对比,一致则表明模型的预警预测能力具有很强的参考性,可以用于更广泛的实践。具体模型创建流程如图1所示。

### 1.2 数据来源及分析

本次研究主要参考我国生鲜蔬菜的生产量和消费量大省,选取吉林、山西、山东、河南和江苏等5个省2011—2012年生产基地和市场2个环节的蔬菜监测样本。共涉及叶菜类、瓜菜类和茄果类等50余种生鲜蔬菜,依据GB 2763—2005及GB 2763—2012《食品中农药最大残留限量》<sup>[22]</sup>等规定标准对蔬菜中的45种农药进行检测结果进行处理(表1)。

我国各地区生鲜蔬菜种类不同,主要的病虫害不同,并且不同种类蔬菜受病虫害影响不同,因此使用的农药也有所区别。从蔬菜种类上来看,叶菜类蔬菜的农药超标率较高。其中,芹菜、韭菜、菠菜和大白菜的农药超标率最高,主要是由于绿叶蔬菜生育期较短,这段时期正好是病虫害的高发时期,农药的使用较为频繁,叶菜的叶片又是农药的载体,吸收的农药比其他类别蔬菜多,收获期无法分解极易造成农残超标。另外,农药间隔期不够也是造成农药残留超标的因素之一。由于相关法律法规的不足,导致许多菜农在生产中忽视农药间隔期,有的甚至当日喷洒次日采摘。

从超标农药种类来看,禁限用农药的违规使用仍然是生鲜蔬菜农药残留的主要问题,其中超标率较高的主要是克百威、氧乐果和有机磷类农药,并且,多种农药混合使用现象明显,最多的在一种蔬菜样品中同时检出8种农药。

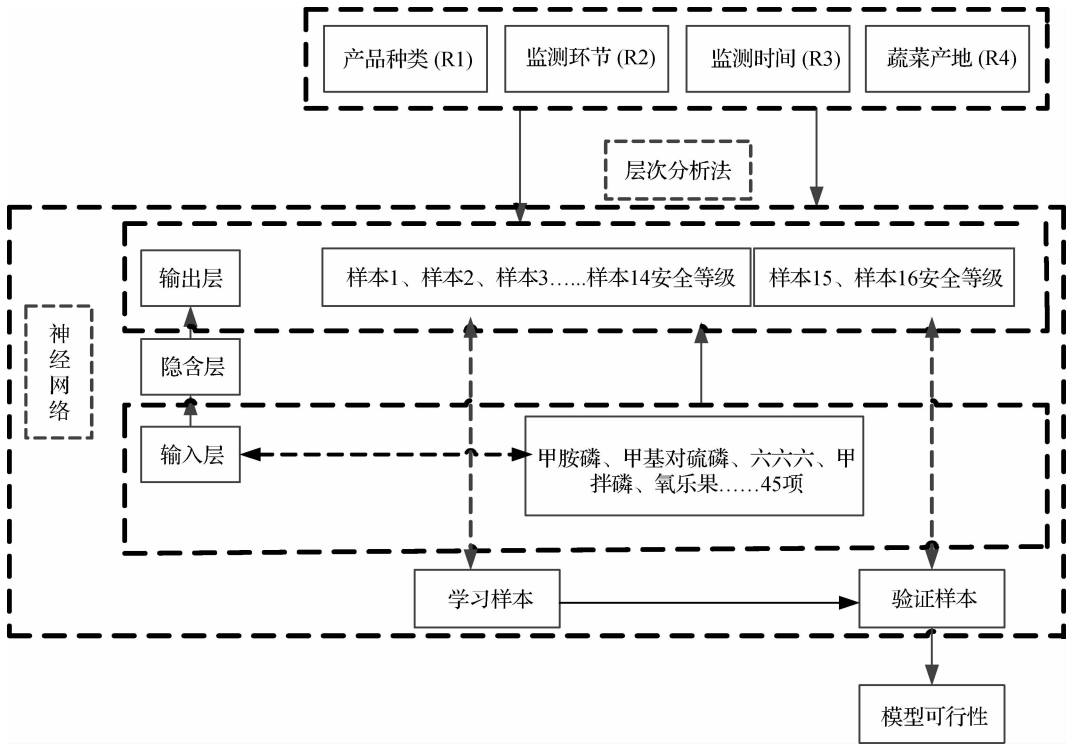


图 1 模型建立流程图

Fig. 1 A flow chart of the establishing model

表 1 蔬菜农药残留监测概况

Table 1 Monitoring situation of vegetable pesticide residues

指标 Index	日期 Date			
	2011-04	2011-08	2012-04	2012-08
蔬菜种类	45	52	45	52
监测样本数	890	1 150	900	1 050
合格率/%	93.41	96.42	95.18	96.21

从不同环节来看,生产基地的超标率低于市场环节,这主要与我国农产品监管体制有关(图 2)。生产环节作为农业行政部门的主要监管环节,已经形成了比较严格规范的产地准出制度,对农户的生产行为具有一定的约束作用。而对于批发市场和农贸市场,因为已经进入流通环节,在农产品的监管主体上存在一定的职权划分模糊问题,因而出现了许多监管真空带,使得许多不合格农产品钻了空子。因此,对于终端消费场所的蔬菜农药残留建议明确监管主体,加强监管,加大抽样量,增加抽检频率,尽可能减少农药残留对消费者的健康损害。

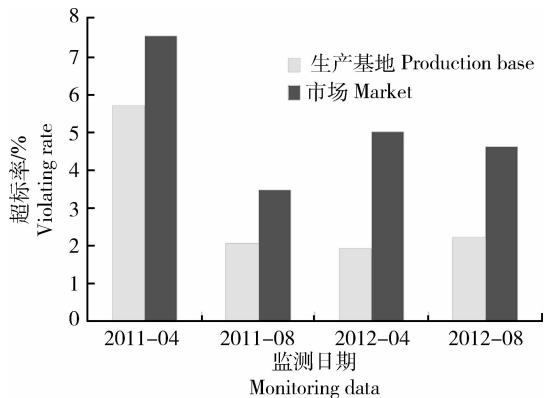


图 2 生产基地及市场不同环节的蔬菜农药残留超标情况

Fig. 2 Situation of vegetables pesticide residues from different stages of production bases and markets

### 1.3 原始数据处理

监测的农药种类共有 45 种,其中主要禁用农药有甲胺磷、对硫磷和甲基对硫磷等,限用农药共 6 类,包括甲拌磷、氧乐果、水胺硫磷、甲基异柳磷、克百威(包括 3-羟基克百威)和涕灭威(包括涕灭威砒和涕灭威亚砒),其余 40 种都属于常规农药种类

(表 2)。由于每种农药的残留量超标标准是不同的,直接作为输入层是不合理的,而超标率的标准是一致的,所以需要将 3 990 个检测样品近似平均地分成 16 份,每份的超标率作为神经网络输入层数据。蔬菜农药残留监测不同危害物种类的超标率,共包含 45 种,因此输入层所需神经元为 45 个。

表 2 样本中各农药超标率  
Table 2 Violating rate of pesticide residues in each sample

农药名称 Pesticide name	样本号 Sample No.																%
	1 (249)	2 (250)	3 (249)	4 (250)	5 (249)	6 (250)	7 (249)	8 (250)	9 (249)	10 (250)	11 (249)	12 (250)	13 (249)	14 (250)	15 (248)	16 (249)	
甲胺磷	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.06	0.00	0.03	0.00	0.00	
甲基对硫磷	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
六六六	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.00	0.02	0.06	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	
甲拌磷	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.05	0.00	0.11	0.03	0.07	0.00	
氧乐果	0.08	0.00	0.00	0.00	0.10	0.06	0.02	0.00	0.14	0.18	0.23	0.06	0.08	0.10	0.16	0.06	
水胺硫磷	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.04	0.00	0.07	0.03	0.00	0.00	0.13	0.03	0.05	0.00	
甲基异柳磷	0.03	0.00	0.00	0.00	0.07	0.03	0.09	0.00	0.02	0.00	0.03	0.06	0.03	0.00	0.02	0.00	
克百威 (包括 3-羟 基克百威)	0.24	0.45	0.27	0.00	0.21	0.33	0.26	0.25	0.12	0.18	0.05	0.13	0.13	0.06	0.16	0.06	
涕灭威(包 括涕灭威砒 涕灭威亚砒)	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.03	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	
乐果	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	
敌敌畏	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.06	
毒死蜱	0.26	0.35	0.30	0.20	0.41	0.39	0.15	0.13	0.33	0.21	0.25	0.13	0.32	0.39	0.23	0.61	
乙酰甲胺磷	0.00	0.02	0.02	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.06	0.03	0.03	0.02	0.00	
三唑磷	0.12	0.16	0.10	0.17	0.07	0.03	0.02	0.00	0.07	0.06	0.08	0.00	0.08	0.10	0.05	0.11	
杀螟硫磷	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	
丙溴磷	0.00	0.00	0.03	0.02	0.07	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00	
马拉硫磷	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	
亚胺硫磷	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
伏杀硫磷	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
辛硫磷	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.04	0.06	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.13	0.02	0.00	
二嗪磷	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	
三氯杀螨醇	0.00	0.02	0.05	0.00	0.03	0.03	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	
氟氰菊酯	0.12	0.19	0.28	0.22	0.10	0.12	0.22	0.06	0.29	0.21	0.25	0.19	0.26	0.35	0.32	0.22	

表 2(续)

农药名称 Pesticide name	样本号 Sample No.															
	1 (249)	2 (250)	3 (249)	4 (250)	5 (249)	6 (250)	7 (249)	8 (250)	9 (249)	10 (250)	11 (249)	12 (250)	13 (249)	14 (250)	15 (248)	16 (249)
氰戊菊酯	0.02	0.03	0.00	0.05	0.03	0.06	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.03	0.03	0.05	0.00
溴氰菊酯	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.06	0.00	0.06	0.02	0.00
甲氰菊酯	0.03	0.08	0.00	0.17	0.07	0.06	0.00	0.06	0.00	0.00	0.05	0.06	0.03	0.10	0.07	0.06
联苯菊酯	0.11	0.11	0.05	0.05	0.03	0.12	0.04	0.06	0.05	0.00	0.03	0.00	0.11	0.03	0.05	0.00
氯氟氰菊酯	0.09	0.15	0.10	0.12	0.10	0.15	0.11	0.06	0.12	0.06	0.20	0.13	0.11	0.23	0.18	0.06
氟氯氰菊酯	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.02	0.06
氟胺氰菊酯	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
氟氰戊菊酯	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.06	0.00	0.06	0.00	0.00
灭多威	0.03	0.03	0.02	0.00	0.07	0.03	0.04	0.00	0.00	0.03	0.05	0.00	0.03	0.06	0.00	0.00
甲萘威	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
除虫脲	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.06
灭幼脲	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.06	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
吡虫啉	0.29	0.19	0.20	0.29	0.17	0.27	0.15	0.00	0.07	0.33	0.15	0.19	0.16	0.10	0.18	0.22
氟虫脲	0.14	0.23	0.12	0.10	0.00	0.12	0.24	0.06	0.02	0.15	0.10	0.06	0.21	0.10	0.16	0.22
啶虫脲	0.29	0.29	0.32	0.17	0.17	0.21	0.26	0.13	0.07	0.18	0.23	0.25	0.34	0.23	0.34	0.28
哒螨灵	0.32	0.34	0.28	0.12	0.10	0.24	0.30	0.50	0.07	0.21	0.15	0.06	0.05	0.26	0.20	0.33
阿维菌素	0.00	0.00	0.07	0.07	0.07	0.03	0.07	0.19	0.12	0.21	0.20	0.13	0.13	0.19	0.07	0.00
异菌脲	0.09	0.05	0.08	0.10	0.03	0.12	0.02	0.06	0.07	0.03	0.08	0.06	0.03	0.06	0.07	0.17
五氯硝基苯	0.08	0.02	0.10	0.10	0.00	0.09	0.02	0.19	0.02	0.00	0.05	0.00	0.03	0.00	0.00	0.06
三唑酮	0.08	0.03	0.02	0.05	0.10	0.06	0.07	0.00	0.02	0.00	0.08	0.00	0.03	0.13	0.02	0.00
百菌清	0.17	0.15	0.17	0.10	0.07	0.09	0.02	0.13	0.07	0.00	0.05	0.06	0.08	0.13	0.11	0.11
腐霉利	0.26	0.21	0.30	0.20	0.17	0.24	0.20	0.25	0.05	0.09	0.08	0.06	0.11	0.23	0.11	0.11

注：括号内为样本数量。Note: Number of samples are shown in brackets.

#### 1.4 样本安全等级的确立

农药残留对蔬菜质量安全的危害不但与农药本身的毒性、剂量有关,还与蔬菜本身的吸收状况及环境本底条件有关,仅从监测数据来看,监测的客观条件及环境也是影响结果的重要因素,只有综合多种因素从不同的维度进行客观评价,才能客观准确地发现危害及时预警<sup>[23-24]</sup>。本研究中的蔬菜农药残留样本数据与检测环节、检测地点,检测时间和检测蔬菜种类等都有很大的关联性。仅凭超标率高低来判断蔬菜的质量安全状况是不合理的,很难从中找到

需要强化的薄弱环节。常规监测数据中,每个样本中蔬菜种类、监测环节、监测时间和蔬菜产地的不同是超标率差异的主要影响因素,因此,选取这 4 个影响因素作为蔬菜农药残留安全等级的评价指标。

具体步骤如下:对 4 个指标重要性进行两两比较,建立判断矩阵,判断矩阵中元素的值,反映了专家对各指标重要性比较的判断。判断矩阵的标度值 1~9,表示 2 个因素相比,重要性依次递增。蔬菜种类、监测环节、监测时间和蔬菜产地重要性比较后的判断矩阵见表 3。

表3 安全等级的判断矩阵

Table 3 Judgment matrix of safety levels

指标 Index	蔬菜种类( $R_1$ ) Vegetables types	监测环节( $R_2$ ) Monitoring stages	监测时间( $R_3$ ) Monitoring time	蔬菜产地( $R_4$ ) Vegetables origins	权重(W) Weight
蔬菜种类( $R_1$ ) Vegetables types	1	1/5	1/2	3	0.125 7
监测环节( $R_2$ ) Monitoring stages	5	1	3	9	0.578 9
监测时间( $R_3$ ) Monitoring time	2	1/3	1	7	0.249 6
蔬菜产地( $R_4$ ) Vegetables origins	1/3	1/9	1/7	1	0.045 8

根据层次分析法基本原理,本矩阵  $C.R. = 0.024 4 < 0.1$ ,一致性检验通过,从而得出蔬菜农药残留安全评价模型如下:

$$S_{AHP} = 0.125 7 R_1 + 0.578 9 R_2 + 0.249 6 R_3 + 0.045 8 R_4$$

其中: $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  和  $R_4$  分别指产品种类、监测环节、监测时间、蔬菜产地的安全性得分,参考相关文献资料,将每个指标评分值进行等级划分,模糊评语集=

{非常安全,比较安全,基本安全,较不安全,不安全},其对应的等级代码分别为{A,B,C,D,E},赋值分别为{5,4,3,2,1},分值越大,安全程度就越高,反之分值越小,安全度就越低(表4)。安全等级评价标准见表4。根据每个样本的基本情况,通过专家咨询评价对每个样本的4个方面打分求平均值,得到16个样本农药安全等级得分及评价结果见表5。

表4 安全等级评价标准

Table 4 Evaluation criteria of safety levels

评分标准 Scoring criteria	(1.0,1.8]	(1.8,2.6]	(2.6,3.4]	(3.4,4.2]	(4.2,5.0]
评语	不安全	较不安全	基本安全	比较安全	非常安全
等级	A	B	C	D	E
赋值	1	2	3	4	5

表5 样本安全等级评分结果

Table 5 Scoring result of the safety level of samples

样本序号 Number of samples	评分 Scoring	等级 Rating	样本序号 Number of samples	评分 Scoring	等级 Rating
1	2.343 0	B	9	2.842 2	C
2	2.921 9	C	10	3.421 1	D
3	3.500 8	D	11	4.000 0	D
4	4.079 7	D	12	4.578 9	E
5	3.091 8	C	13	2.592 6	B
6	3.670 7	D	14	3.171 5	C
7	4.249 6	E	15	3.750 4	D
8	4.828 5	E	16	4.329 3	C

## 2 BP神经网络预警模型的实现

影响农产品质量安全的因素复杂多变,如何从直观的监测数据得到预警信息是当下预警模型急需解决的问题。简单的线性方程显然无法表示出两者的因果关系。人工神经网络(ANN)作为人工智能学科中的一个分支,其独特的结构和信息处理方法使它在许多实际应用中取得了显著的成效,解决了很多传统计算方法难以解决的问题<sup>[25-27]</sup>。其原理主要是通过样本训练获得系统的隐含规律,无需严格的自变量和因变量系数关系,亦可以处理很多定性的和模糊的信息,最后验证成功的模型即可达到预警预测的作用。BP神经网络作为人工神经网络中最为常见的模型,训练和调控的参数都十分丰富<sup>[28]</sup>。适用范围广,操作简单,预警的准确率也会相应比较高。考虑到BP神经网络法的应用条件与农产品质量安全预警模型研究的特点高度一致,本研究选取神经网络法作为定量分析的基本方法。

### 2.1 BP神经网络预警模型的结构设计

本研究所采用的是单隐层的BP神经网络结构,根据相关模型的建立基本要求,关于蔬菜中农药残留安全预警模型的具体参数设定如下:

**输入层:**输入层为蔬菜农药残留监测不同危害物种类的超标率,共包含45种农药种类,因此输入层所需神经元为45个。

**输出层:**蔬菜农药残留的安全性评价结果即为输出层,神经元数为1。

**期望输出:**基于层次分析法所得的16个样本的安全性评分结果。

**隐含层:**隐层神经元数对模型学习速度和效果有很大影响,实际研究时,可根据经验公式确定隐含层神经元数的大致范围,然后根据实际误差进行选择。

此外,本研究在其他参数设定上,将训练步数设为100,输入层到隐层的连接函数定为tansig,隐层到输出层连接函数采用purelin,目标误差精度为0.00001,学习函数采用trainlm,学习速率为0.1,其余均采用系统默认值。依此,本研究所需神经网络模型框架基本构建完成。

### 2.2 BP神经网络预警模型训练过程

#### 2.2.1 训练样本的选择及网络的创建

本研究将1~14号样本作为训练样本,其输入矩阵和输出矩阵分别为 $p1, t1$ ;其余2个样本作为检验样本,其输入矩阵和输出矩阵分别为 $p2, t2$ 。

```
I=randperm(16);
I1=I(1:14);
p1=p(I1,:);
t1=t(I1,:);
I2=sort(I(15:16));
p2=p(I2,:);
t2=t(I2,:);
```

建立BP神经网络,可以利用Matlab工具箱里的newff函数进行创建,根据本研究中样本数据的特征及网络参数设定标准,设计以下语言:net=newff(minmax(p1),[9,1],{'tansig','purelin'},'trainlm');

```
net.trainParam.epochs=2000;
net.trainParam.lr=0.1;
net.trainParam.goal=0.00001;
net=init(net);
```

其中,minmax(p1)表示由14个训练样本的输入矩阵P1的最大值和最小值组成的 $14 \times 2$ 维矩阵;[9,1]代表隐层和输出层的神经元数;{}中的tansig和purelin分别表示隐含层和输出层的传递函数,trainlm表示训练函数;net=init(net)指训练前对网络连接权值和阈值的初始化工作。

#### 2.2.2 神经网络的训练

网络的创建和初始化完成后,通过语句net=train(net,p1,t1)对样本进行训练(图3),训练结果如下:

```
TRAINLM-calcjx, Epoch 0/2000, MSE 5.97619/1e-005, Gradient 9.90305/1e-010
```

```
TRAINLM-calcjx, Epoch 6/2000, MSE 8.72103e-010/1e-005, Gradient 6.94195e-005/1e-010
```

```
TRAINLM, Performance goal met.
```

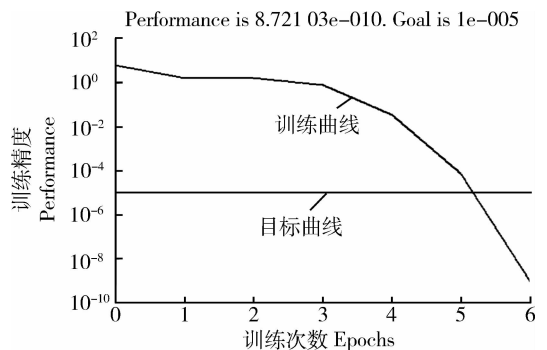


图3 误差曲线图

Fig. 3 Error graph

根据误差曲线图可以看出,经过6次训练,整个网络就已经达到了期望误差 $1e-5$ ,网络的收敛效果良好。即此时基于BP神经网络的蔬菜中农药残留安全预警模型已经构建完毕。

### 2.3 BP神经网络的训练结果分析

将15号、16号样本作为检验样本,利用仿真函数 $Y1 = \text{sim}(\text{net}, p2)$ 得到输出结果 $Y1 = [2.4748; 2.9402]$ ,仿真输出结果和期望输出评分值比较见表6。

表6 神经网络输出结果分析

Table 6 Analysis of neural network output results

样本序号 Number of samples	实际输出(Y1) Actual output	期望输出(t2) Expected output
15	2.4748(B)	2.3430(B)
16	2.9402(C)	3.1715(C)

根据输出结果模拟出的结果与预期结果安全评价等级一致,由此可以证明本研究所创建的基于BP神经网络的蔬菜农药残留预警模型是成立的,即模型运行具有一定可行性和实用性。

当然,上述方法和结果仍然具有一些值得进一步讨论的地方。首先,数据只用了2011—2012年的16个样本的监测数据,显然不能够完整反映蔬菜的风险状况,也不能准确表征风险的变化趋势。如果能对10年数据进行训练,无疑会提高模型的准确度。其次,农产品的风险监测尚处于起步阶段,从现阶段我国不断出现的农产品质量安全事件来看,超出常规监测计划的危害物和风险值得堪忧,仅仅依靠传统风险因子的预警是远远不够的,需要在农产品监测领域加强新风险因子的预警管理。

## 3 结论与展望

### 3.1 基于客观数据的神经网络预警模型具有一定的有效性

无论是预警模型还是神经网络模型,以往的研究大多以一定的指标体系作为基础,适合小范围特定条件下的科学研究,实际的应用价值并不高。常规监测数据来源稳定、广泛,检测指标和样品种类都具有一定的代表性,仅凭数据本身做出相应的判断和处理,对于食用农产品本身的风险管理意义不大,大量数据资料并没有得到很好地应用。本研究尝试将主观性比较强的指标体系替换为客观监测数据,

虽然为了保证模型正常运行,对客观数据进行了处理转化,也参考了专家的评价意见,但是仍然在很大程度上保证了模型的客观性。验证结果证明,基于一定客观检测结果的神经网络预警模型是有效的。如果能够在客观数据的处理转化方面有更多的经验可以借鉴,更多的研究可以参考,那么相信神经网络模型的预警准确性也会大大提升。

### 3.2 以客观数据为基础的预警模型实际可以是一个庞大的模型体系

农产品质量安全是一个抽象的概念,而监测数据本身又是非常具体的数据。每个数据都是特定环境特定时间某种农产品某种危害物的残留值,因此在研究中就不得不将更多地条件进行限制,将研究范围尽量缩小,以保证预警结果的准确性。本研究的预警模型就针对的只是蔬菜的农药残留限量,对于农药种类也进行了筛选。在进一步的研究中,还能够再细化针对不同农药种类,不同蔬菜种类建立相应的预警模型。根据客观数据的产生条件和要研究的问题,建立很多不同层次的神经网络预警模型,形成一个庞大的模型集,对于日常风险管理具有重要的参考价值。随着数据量的不断增多,神经网络的模拟效果也会更好,预警模型结果更加准确。

### 3.3 预警模型研究的进一步拓展

预警模型的研究已经不算是一个新的研究内容,许多学者已经对预警理念和基本方法进行了深入的探讨和研究。但如何与我国实际的监管制度相结合,还存在一些研究盲点,模型的实际操作效果仍具有一定的局限性。本研究中的预警模型虽然摒弃了许多传统模型的弊端,但是仍然存在一些值得进一步拓展的内容。单个品种某一类风险预警研究中的价指数和标准还是比较概念化的,处于初探阶段,针对具体的情况许多系数和指数还需要进行进一步的校正,模型中的评价体系还需要考量更多方面的因素,甚至对于预警的类别也可以进行进一步的扩充,尽量做到每种情况下的危害物都可以有属于自己的一套微观风险监测预警模型,提高模型的可操作性。同时,由于监测数据只有2年,具有一些项目的缺省,如果是多年的话更准确,更有利于趋势判断。

## 参 考 文 献

- [1] 徐娇,张妮娜.浅析国内外食品安全风险监测体系建设[J].卫生研究,2011,40(4):531-534



- [2] Marvin H J P, Kleter G A, Prandini A, et al. Early identification systems for emerging foodborne hazards. [J]. Food and Chemical Toxicology, 2008, 47(5): 915-926
- [3] Peter Weigert, John Gilbert, Alan L Patey, et al. Analytical quality assurance for the WHO GEMS/Food-EURO programme-results of 1993/94 laboratory proficiency testing [J]. Food Additives & Contaminants, 1997(Part A): 144
- [4] 杨冲. 加强农产品质量分等分级[J]. 现代农业科技, 2005(8): 6-7
- [5] 刘小林. 采取有效措施切实保障农产品的质量安全[J]. 中国种业, 2005(4): 17-19
- [6] 唐晓纯. 多视角下的食品安全预警体系[J]. 中国软科学, 2008(6): 150-160
- [7] 王江, 龚丽. 中国农产品技术性贸易壁垒预警指标探讨[J]. 经济与管理研究, 2006(4): 71-74
- [8] 熊巍, 祁春节. 水果类农产品产销预警指标体系的构建[J]. 统计与决策, 2011(22): 15-18
- [9] 章德宾, 徐家鹏, 许建军, 等. 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
- [10] 雷勋平, Robin Qiu, 吴杨. 基于供应链和可拓决策的食品安全预警模型及其应用[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(11): 136-143
- [11] 顾小林, 张大为, 张可, 等. 基于关联规则挖掘的食品安全信息预警模型[J]. 软科学, 2011, 25(11): 136-141
- [12] 李亮, 徐华生. 影响蔬菜农残例行监测结果可比性因素的分析[J]. 农业质量标准, 2006, 1(5): 36-37
- [13] 李光明. 基于机器学习的国有资产监管系统风险预警模型的研究[D]. 重庆: 重庆理工大学, 2013
- [14] 刘晨. 基于神经网络的漯河技术监督局食品安全预警系统研究[D]. 济南: 山东大学, 2011
- [15] 刘世明, 陈建宏, 陈惠红. 基于可拓学的检验检疫风险预警模型研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 263-268
- [16] 石柱鲜, 牟晓云. 关于中国外汇风险预警研究: 利用三元 Logit 模型[J]. 金融研究, 2005(7): 24-32
- [17] 张秀玲. 中国农产品农药残留成因与影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013
- [18] 吴鹏, 秦智伟, 周秀艳, 等. 蔬菜农药残留研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(1): 138-144
- [19] 丁昌东. 我国蔬菜农药残留标准存在的问题与对策[J]. 中国标准化, 2004(7): 16-18
- [20] 黄琼辉. 国内外农药残留检测技术研究进展和发展方向[J]. 福建农业学报, 2008, 23(2): 218-222
- [21] 孔志强. 农产品加工及储存过程中农药残留变化规律研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012
- [22] 中华人民共和国卫生部、中华人民共和国农业部. GB2763-2012 食品中农药最大残留限量[S]. 2012
- [23] 唐晓纯. 国家食品安全风险监测评估与预警体系建设及其问题思考[J]. 食品科学, 2013, 34(15): 342-348
- [24] 章力建, 张星联, 蒋士强. 农产品质量安全风险监测和评估[J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(4): 8-13
- [25] 刘天舒. BP 神经网络的改进研究及应用[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2011
- [26] 李友坤. BP 神经网络的研究分析及改进应用[D]. 合肥: 安徽理工大学, 2012
- [27] 戴文战, 海川, 杨爱萍. 非线性系统神经网络预测控制研究进展[J]. 控制理论与应用, 2009, 26(5): 521-530
- [28] 王川, 王克. 基于 BP 神经网络的我国农产品市场风险预警研究[J]. 山西财经大学学报, 2008(S1): 152-156

责任编辑: 苏燕