

基于 AHPSO-SVM 的农产品冷链物流质量安全预警模型

杨玮, 偶雅楠, 岳婷, 杨甜, 李沁
(陕西科技大学, 西安 710021)

摘要: **目的** 为了实时监测农产品始终处于低温、适宜湿度等条件下, 实现农产品质量信息的及时反馈和预警。**方法** 针对农产品在冷链物流中的质量安全问题, 首先分析影响其质量安全的因素, 整合供应链上的追溯信息和监测信息, 构建农产品的质量安全预警指标体系。然后设计结合交叉变异算子的自适应混合粒子群算法 (AHPSO) 优化支持向量机 (SVM) 参数, 以此建立基于 AHPSO-SVM 的农产品冷链物流质量安全预警模型。**结果** 以苹果的预警指标体系为例, 经过模型训练和预测后, 预测输出曲线与期望输出曲线均能较好拟合, 误差值小。**结论** 该方法较传统的 BP 神经网络与支持向量机方法, 在解决实际问题中预测结果精度更高, 可以有效提高农产品冷链物流中质量安全预警的准确性。

关键词: 冷链物流; 农产品; 质量安全; 预警; 自适应混合粒子群算法; 支持向量机

中图分类号: TB485.3; TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)05-0071-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.05.014

Early-warning Model for Agricultural Products Quality and Safety of Cold Chain Logistics Based on AHPSO-SVM

YANG Wei, OU Ya-nan, YUE Ting, YANG Tian, LI Qin
(Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: The work aims to monitor the agricultural products always under such conditions as low temperature and appropriate humidity in real time to achieve the timely feedback and early warning of the information on the agricultural product quality. With respect to the problem of quality and safety of agricultural products during the cold-chain logistics, first, the factors that affected the quality and safety were analyzed, and the retroactive and monitoring information on the supply chain was integrated to construct the early-warning indicator system for the quality and safety of the agricultural products. Then, an adaptive hybrid particle swarm optimization (AHPSO) algorithm combined with the crossover and mutation operator was designed to optimize support vector machine (SVM) parameters so that the AHPSO-SVM early-warning model of agricultural products' quality and safety during cold-chain logistics was built. With the early-warning indicator system of apples as an example, after the model training and prediction, the predicted output curve and the expected output curve could be better fitted, and the error value was small. Compared with the traditional BP neural network and SVM, in solving practical problems by the proposed method, the prediction accuracy is higher and the quality and safety early-warning accuracy during the cold-chain logistics of agricultural products can be effectively improved.

KEY WORDS: cold-chain logistics; agricultural product; quality and safety; early-warning; adaptive hybrid particle swarm algorithm; support vector machine

我国是一个农作物种植面积达 16 000 多亿 m² 的农业大国, 农产品安全不仅影响到我国经济发展和社会的

稳定, 而且也影响到国民的身体和生活质量^[1]。物流是影响农产品安全的重要因素之一, 它包括农产品

收稿日期: 2017-07-26

基金项目: 国家自然科学基金 (71390331); 陕西省农业科技创新与攻关项目 (2014K01-29-01); 陕西省社会科学基金 (13SC011); 大学生创新训练项目 (201610708043)

作者简介: 杨玮 (1972—), 女, 陕西科技大学教授, 主要研究方向为现代物流系统工程与技术。

的采摘加工、包装、运输、仓储、配送、销售、信息技术等一系列环节,既要实现农产品价值增值,也要保证其质量安全,减少不必要的损耗和环境污染^[2]。在发展绿色冷链物流的社会大背景下,通过大力发展与新技术相结合的冷链物流来构建基于全程冷链的预警平台,对于实现农产品全程冷链各环节的实时环境监控、及时预警和降低不必要的损耗具有重要意义。

研究者已针对农产品安全指标体系和预警模型进行了大量研究,章德宾等^[3]筛选出与食品密切相关的167种监测项目,并以实际食品监测数据为样本,研究基于BP神经网络的食品安全预警方法。雷勋平等^[4]考虑影响粮食供给和需求等因素构建区域粮食安全预警指标体系,结合熵权和可拓学理论,建立基于熵权可拓决策模型的区域粮食安全预警模型。吕新业^[5]根据农产品的产量、消费量及价格指数等数据,构建食品安全指标体系,并采用向量自回归模型(VAR)对食品安全指标进行预测。Wang等^[6]提出质量风险指数和改进的灰度预测模型用来预测未来食品安全趋势。Carletto C等^[7]找出解决食品安全的关键因素,据此建立短期修正和长期改进相结合的策略,用来改变现存的粮食监测预警方面的协调性差和方法创新度低等问题。郑大宇等^[8]提出了一种基于RFID农产品包装追踪与溯源安全机制实施方法,在农产品供应链中实施HACCP从而保证农产品信息的有效传递。夏文汇等^[9]从食品安全方面研究了食品供应链物流的运行机制问题,提出建立食品安全保障体系有助于食品安全长效机制的建立。在预警研究中,其他领域应用的预测方法也值得借鉴,戴健伟等^[10]提出基于遗传算法优化反向传播神经网络的算法建立人工时(即人员执行具体某项工作的实耗工时)预测模型,实现对人工时的定量预测。吴奇等^[11]提出一种采用高斯函数作为损失函数的支持向量机,成功应用于汽车销售短期智能预测模型中。

冷链物流各环节具有不同功能,对农产品质量安全会产生不同的影响,研究农产品冷链物流质量安全预测模型时,需要考虑农产品在物流过程中的业务特征。现有研究鲜有综合考虑这些因素,而针对农产品在整个冷链物流过程中质量安全预警的文献也较为罕见,因此,文中分析了农产品在冷链物流过程中的风险因素,找出与农产品冷链物流质量安全相关性大的影响因素建立安全预警指标体系,提出应用加入遗传算法思想的自适应混合粒子群算法(AHPSO)来优化支持向量机(SVM)参数,建立预警模型,最后结合实际数据进行验证分析。

1 农产品冷链物流质量安全预警的AHPSO-SVM模型构建

农产品在流通过程中,影响其质量安全的因素很

多,因此预警难度较大。采用传统的BP神经网络方法预警虽然可行,但BP神经网络学习速率较慢,且每次输出结果鲁棒性低,预警结果也会产生相应偏差。对预警过程中数据的分析采用SVM方法,可以通过核函数降低回归拟合过程中的风险,对传统的回归拟合方法进行了优化和改进^[12-13],具有结构简单、能自动调节与问题相适应的复杂度、鲁棒性和稳定性好的优势^[14]。与传统预警方法相比在预警效果上有很大的提升。为了反映农产品冷链物流总体概况,实现农产品冷链物流过程统计的客观性,首先需要建立一套健全、科学、实用性强且覆盖面广的预警指标体系。

1.1 预警指标的确立

为确保农产品冷链物流质量安全预警模型的准确性,设计指标时应遵循目的性、科学性、系统性、规范性、针对性、定性与定量相结合以及实用性等原则^[15-17]。分析影响农产品物流安全的风险因素应从物流系统运作角度入手,即分别从加工、运输、仓储、包装、检验及信息技术等环节,对影响农产品冷链物流安全的风险因素进行分类和筛选,并参照相关国家标准构建相应安全预警指标体系。文中以此构建农产品冷链物流质量安全预警指标,一级指标($X_i, i=1,2,3,4$)共4项,分别为生产储存、环境因素、检验检疫和物流效率。二级指标($X_{ij}, i=1,2,3,4; j \in [1,2]$)共8项,为加工转化率、储存时间、平均温度、平均湿度、农药残留合格率、食品卫生合格率、运输时效性及信息准确率。通过3个专家的评判打分,运用模糊层次分析法(FAHP)^[18]得到表1中的农产品冷链物流质量安全预警指标权重。

表1 农产品冷链物流质量安全预警指标
Tab.1 The early-warning indicators for quality and safety of agricultural products' cold-chain logistics

| 一级指标 | 权重 | 二级指标 | 权重 | 综合权重 |
|------|-------|-----------|-------|-------|
| 生产储存 | 0.269 | 加工转化率/% | 0.529 | 0.142 |
| | | 储存时间/周 | 0.471 | 0.127 |
| | | 平均温度/°C | 0.754 | 0.302 |
| 环境因素 | 0.401 | 平均相对湿度/% | 0.256 | 0.103 |
| | | 农药残留合格率/% | 0.351 | 0.069 |
| 检验检疫 | 0.196 | 食品卫生合格率/% | 0.649 | 0.127 |
| | | 运输时效性/% | 0.587 | 0.079 |
| 物流效率 | 0.134 | 信息准确率/% | 0.413 | 0.051 |

1.2 指标归一化及安全等级划分

设 $X=(x_{ij})_{100 \times 23}$, p_{ij} 为归一化后的数据,其中 $i \in (1,100)$, $j \in (1,23)$ 。采用最大最小值方法将指标分为定性指标和定量指标,定性指标的评判由好到差分为5个等级: I, II, III, IV, V, 对应的评价值为 1, 2, 3, 4, 5。

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} & \text{正向指标} \\ \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} & \text{逆向指标} \end{cases} \quad (1)$$

记 $M_{id} = (\max x_{ij} - \min x_{ij}) / 2$ ，则适度指标为：

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} & M_{id} \leq x_{ij} \leq \max x_{ij} \\ \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} & \min x_{ij} \leq x_{ij} \leq M_{id} \end{cases} \quad (2)$$

文中数据资料主要来自陕西速必达冷链物流有

限责任公司，通过相关专家咨询和现场调查获取。共收集了 50 批次、10 项指标的具体资料。部分归一化结果见表 2。

1.3 基于 AHPSO-SVM 的预警模型建立

在使用 SVM 方法进行预测时，设 (x_i, y_i) 为训练样本集， $i=1,2,\dots,l$ ，其中 $x_i (x_i \in R_d)$ 为第 i 个训练样本的输入列向量， $x_i=[x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id}]^T$ ， $y_i \in R$ 为对应的输出值， w 为权向量， b 为常数项， C 为惩罚因子。为寻找最小的 w ，引入最小化欧几里德空间范数，假设所有样本数据 (x_i, y_i) 都可以在精度 ε 下线性拟合，引入松弛变量 $\xi_i \geq 0$ 和 $\xi_i^* \geq 0$ ，考虑函数复杂性和回归

表 2 指标归一化结果
Tab.2 Index normalization results

| 样本编号 | 指标 | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 0.9692 | 0.751 | 0.8519 | 0.2256 | 0.9642 | 0.9122 | 0.2271 | 0.356 |
| 2 | 0.4520 | 0.3163 | 0.8035 | 0.9710 | 0.8919 | 0.9500 | 0.3655 | 0.457 |
| 3 | 0.5480 | 0.8234 | 0.591 | 0.9399 | 0.8949 | 0.9730 | 0.9500 | 0.943 |
| 4 | 0.2610 | 0.2314 | 0.9978 | 0.5615 | 0.9803 | 0.9061 | 0.1746 | 0.675 |
| 5 | 1 | 0.1677 | 0.7658 | 0.9010 | 0.9012 | 0.9348 | 0.6892 | 0.960 |
| 6 | 0.4818 | 0.6171 | 0.2548 | 0.9335 | 0.9449 | 0.9684 | 0.1737 | 1 |
| 7 | 0.7501 | 0.0560 | 0.4535 | 0.8618 | 0.5093 | 0.9851 | 0.1367 | 0.837 |
| 8 | 0.571 | 0.7393 | 0.9757 | 0.7869 | 0.9372 | 1 | 0 | 0.756 |
| 9 | 0.4532 | 0 | 0.8813 | 0.7515 | 0.9812 | 0.9354 | 0.9568 | 0.971 |
| 10 | 0.9972 | 0.8832 | 0.9280 | 0 | 0.8992 | 0.9641 | 0.9779 | 0.953 |
| 11 | 0.5157 | 0.6881 | 0.5471 | 0.0592 | 0.9298 | 0.9453 | 0.7850 | 0.871 |
| 12 | 0.9839 | 0.7584 | 0.6961 | 0.5077 | 0.9786 | 0.9295 | 0.6269 | 0.896 |
| 13 | 0.8920 | 0.0862 | 0.9233 | 0.4307 | 0.9307 | 0.9309 | 0.112 | 0.883 |
| 14 | 0.7015 | 0.8994 | 0.5862 | 0.6872 | 0.9328 | 0.9557 | 0.0105 | 0.916 |
| 15 | 0.5863 | 0.1326 | 0.5259 | 0.2943 | 0.9578 | 0.9906 | 0.9402 | 0.670 |

拟合误差，以结构风险最小化原理构建回归问题的目标函数见式 (3)。

$$\min \frac{1}{2} \|w\| + C \sum_{i=1}^l (\xi_i + \xi_i^*) \quad (3)$$

$$\text{条件} \begin{cases} y_i - w\Phi(x_i) - b \leq \varepsilon + \xi_i, i=1,2,\dots,l \\ -y_i + w\Phi(x_i) + b \leq \varepsilon + \xi_i^* \\ \xi_i \geq 0, \xi_i^* \geq 0 \end{cases}$$

对于训练集为非线性情况，可通过非线性映射函数 $\Phi(x_i)$ 将训练集数据 x_i 映射到一个高维线性特征空间。采用高斯径向基 (RBF) 核函数，用式 (4) 对高维空间问题进行降维处理求得核函数 $K(x, x')$ 。其中， $\|x-x'\|$ 为样本点 x 与 x' 之间的距离， g 为用于控制样本高斯分布的核半径。

$$K(x, x') = \exp\left(-\frac{\|x-x'\|^2}{2g^2}\right) \quad (4)$$

为进一步提高预测精度，得到更好的警度预测拟合值，文中采用自适应混合粒子群算法对影响学习机性能的主要参数惩罚函数 C 和径向基核函数的参数 g 进行优化。将支持向量机参数 C, g 编码成粒子位置串，以网络训练集的交叉验证 (CV) 误差 (MSE) 最小值作为参数优化目标，更新粒子的位置和速度，运用遗传算法的变异策略进行变异操作，避免粒子的“早熟”，通过不断迭代训练找到全局最优值，即 SVM 最佳参数 C, g 的值，然后输入最优参数训练支持向量机得到预警模型。算法流程见图 1。算法具体步骤如下所述。

- 1) 初始化种群，随机生成 N 个初始解 x 、速度 v 以及 p_i, p_g ，设定参数学习因子 c_1, c_2 ，最大迭代次数 T_{max} 等。
- 2) 求解单个粒子适应度值 $f(x)$ 。
- 3) 更新粒子个体极值和全局极值。

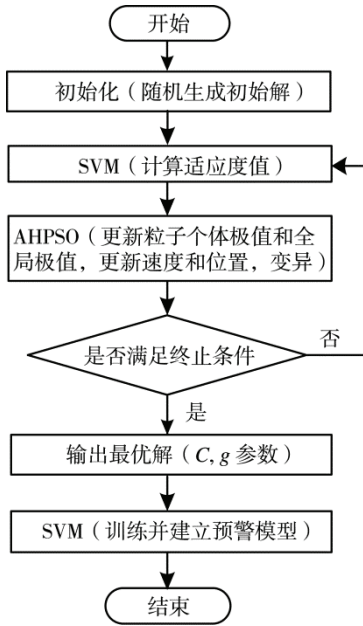


图1 优化算法的流程

Fig.1 Flow chart of optimization algorithm

4)更新粒子速度和位置,如果 $v_i > v_{max}$ 将其设为 v_{max} , 如果 $v_i < v_{min}$, 将其设为 v_{min} 。粒子速度更新公式为:

$$v_{id}^{t+1} = v_{id}^t + c_1 r_1 (P_{id}^t - x_{id}^t) + c_2 r_2 (P_{gd}^t - x_{id}^t) \quad (5)$$

位置更新公式为:

$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^t + v_{id}^{t+1} \quad (6)$$

5)为增强算法全局性,若随机数 $r_{and} < p_m$, p_m 为变异概率,随机选取2个变异点进行交换变异。对得到的新个体采用保留优秀个体策略,只有当新粒子适应度值好于旧粒子时才更新粒子。

6)更新粒子当前适应度值。

7)更新个体极值和全局极值。

8)判断是否满足最大迭代次数 T_{max} , 是则算法停止,反之 $t=t+1$, 转向步骤2)继续迭代。

2 AHP SO-SVM 模型的 MATLAB 实现

2.1 参数设置

将50组数据中的40组数据作为训练数据集进行训练学习,再利用已训练好的网络对剩余的10组数据集进行测试。算法程序中主要参数设置为:种群数 $N=30$, 迭代次数 $N_c=100$, 学习因子 $c_1=2, c_2=1.5$, 惩罚因子 $C \in (1, 2^{10})$, 核函数 $g \in (2^{-80}, 2^{-5})$, 变异概率 $p_m=0.2$ 。

为了将预测警情以直观方式进行显示,可将最终的预测结果值根据不同区间划分为5个区间:无警(输出结果 > 0.5)、微警(0.4~0.5)、轻警(0.3~0.4)、中警(0.2~0.3)和重警(< 0.2)。采用自适应混合粒子群算法对支持向量机的惩罚因子 C 和核参数 g 同时

进行优化,优化结果为: $C=431.0651, g=0.0313$, 并得出预测样本在各个环节的相应警情结果见表3。

表3 测试集警情预测结果
Tab.3 Alarm prediction results for test sets

| 样本号 | 真实值 | AHP SO-SVM | |
|-----|--------|------------|----|
| | | 预测值 | 警情 |
| 1 | 0.4178 | 0.4180 | 微警 |
| 2 | 0.6952 | 0.6953 | 无警 |
| 3 | 0.7371 | 0.7373 | 无警 |
| 4 | 0.7821 | 0.7821 | 无警 |
| 5 | 0.4246 | 0.4242 | 微警 |
| 6 | 0.5926 | 0.5926 | 无警 |
| 7 | 0.5272 | 0.5270 | 无警 |
| 8 | 0.7327 | 0.7325 | 无警 |
| 9 | 0.6403 | 0.6402 | 无警 |
| 10 | 0.5423 | 0.5427 | 无警 |

2.2 预警结果对比与分析

为了验证所提出的 AHP SO-SVM 在农产品冷链物流质量安全方面预测的精确性,采用 BP 神经网络和未优化的 SVM 方法进行对比测试。由表4可知,经过 AHP SO-SVM 进行农产品冷链物流质量安全预警的效果最好,各环节获得的均方误差比其他2种算法都小,且决定系数 r^2 比其他2组更接近1,说明训练获得的模型泛化能力非常好,预测可靠性较高。由于神经网络进行预测的过程中,预测结果波动性较大,不具有稳定性,而支持向量机算法则是将预测问题进行转化,将其作为二次规划问题进行解决,从而得到理论意义上的全局最优解,预测结果是定值,具有稳定性。采用优化后的支持向量机进行农产品冷链物流质量安全预警较 BP 神经网络有明显优势,且更有实际意义。

表4 3种方法对测试集的拟合误差
Tab.4 Fitting errors of three algorithms for test sets

| 算法 | 均方误差 | 决定系数 r^2 |
|------------|-------------------------|------------|
| BP神经网络 | 1.7068×10^{-4} | 0.966420 |
| SVM | 4.2430×10^{-6} | 0.998625 |
| AHP SO-SVM | 6.5123×10^{-9} | 0.999824 |

3 算法的实现与验证

通过对陕西速必达冷链物流有限责任公司以及西安方欣集团下属的食品产业园工作过程进行调查和专家咨询,针对苹果的预警指标评价体系,随机筛选50组原始数据(以下取10组样本演示),具体资料统计数据和专家打分部分结果见表5。

表 5 苹果冷链物流各指标的原始数据
Tab.5 Raw data of apple cold-chain logistics indicators

| 样本号 | 生产储存 | | 环境因素 | | 检验检疫 | | 物流效率 | |
|-----|---------|--------|--------|----------|-----------|-----------|---------|---------|
| | 加工转换率/% | 储存时间/周 | 平均温度/℃ | 平均相对湿度/% | 农药残留合格率/% | 食品卫生合格率/% | 运输时效性/% | 信息准确率/% |
| 1 | 15 | 16 | 4.8 | 90 | 79 | 85 | 121 | 89 |
| 2 | 42 | 12 | 4.8 | 93 | 92 | 75 | 86 | 76 |
| 3 | 27 | 25 | 6.1 | 88 | 81 | 41 | 130 | 90 |
| 4 | 55 | 5 | 5.3 | 96 | 80 | 83 | 82 | 96 |
| 5 | 36 | 23 | 4.9 | 86 | 95 | 86 | 108 | 87 |
| 6 | 48 | 4 | 3.4 | 90 | 91 | 96 | 86 | 98 |
| 7 | 23 | 19 | 5.3 | 95 | 36 | 91 | 75 | 84 |
| 8 | 30 | 13 | 5.2 | 77 | 92 | 75 | 97 | 95 |
| 9 | 39 | 22 | 3.3 | 90 | 86 | 88 | 95 | 93 |
| 10 | 29 | 6 | 4.4 | 84 | 94 | 89 | 88 | 89 |

将收集好的 50 组原始数据进行归一化处理，并结合模糊层次分析法，计算各环节目标结果数据。对归一化处理后输入输出数据采用参数优化后的支持向量机算法进行训练预测，取其中 40 组数据用于训练集，其余 10 组数据用于预测集，最后对比模型输出的预测结果精度和最终拟合图。苹果冷链物流回归预测模型的运行结果见图 2。

实现的是果蔬产品在空间和时间上的转移，需要始终保持果蔬产品处于适当的温湿度范围内，对物流过程中运输工具和冷库的标准化、保温，以及制冷设备的先进性要求较高，因此，物流过程中的环境温度和湿度是保证果蔬品质的关键因素，一般情况下苹果最佳环境温度在 0~5℃，环境相对湿度约为 85%~90%，而所选取的苹果冷链物流质量安全指标原始数据中环境温度和湿度有超出适宜范围的值，故会出现微预警，计算结果符合实际情况。从图 2 中可以看出，训练集、测试集样本的预测输出曲线和期望输出曲线均能较好地拟合，误差值小，结果具有较高的精准性。

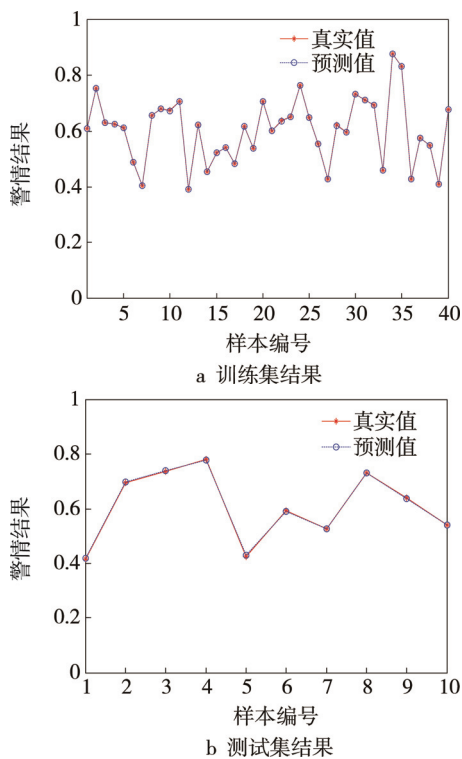


图 2 采用 RBF 核函数的预测结果
Fig.2 Prediction results with RBF kernel function

输出结果在(0.5~1]范围内属于无警，即产品处于安全状态下。由图 2b 可以看出大部分样本处于无警范围内，个别样本处于微警范围内。由于物流过程

4 结语

针对农产品在冷链物流过程中的质量安全问题，通过对整个冷链物流作业环节中的关键因素进行筛选，确定监测目标和安全指标，采用自适应混合粒子群算法优化支持向量机参数，并建立农产品冷链物流质量安全预警模型。预警结果表明，支持向量机在解决小样本、非线性及高维模式识别问题中具有独特的优势，在处理农产品冷链物流质量安全预警问题时相比传统预警方法预测效果更好。同时，文中引入遗传算法的变异策略，使用混合粒子群算法优化支持向量机参数，提高了预警的准确性。该预测方法为避免农产品在冷链物流过程中出现腐败、变质、过期等问题提供了有效的技术支持，适用于果蔬、肉制品和乳制品等农产品在冷链物流过程中的质量安全预警。除此之外，所提出的预警模型可应用于农产品冷链物流预警追溯系统，针对业务主体的全程冷链要求，面向消费者和供应链上各相关企业，保证农产品在整个供应链周期内实现风险的提前警示和事后的信息追溯，具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 张星联, 钱永忠. 我国农产品质量安全预警体系建设现状及对策研究[J]. 农业质量标准, 2014(2): 23—26.
ZHANG Xing-lian, QIAN Yong-zhong. Research on the Current Situation and Countermeasures of Quality and Safety Early Warning System of Agricultural Products in China[J]. Agricultural Quality and Standards, 2014(2): 23—26.
- [2] 李学工. 农产品物流框架体系构建[M]. 北京: 中国物资出版社, 2009.
LI Xue-gong. Construction of Agricultural Product Logistics Framework[M]. Beijing: China Logistics Publishing House, 2009.
- [3] 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.
ZHANG De-bin, XU Jia-peng, XU Jian-jun, et al. Model for Food Safety Warning Based on Inspection Data and BP Neural Network[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(1): 221—226.
- [4] 雷勋平, 吴杨, 叶松, 等. 基于熵权可拓决策模型的区域粮食安全预警[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 233—239.
LEI Xun-ping, WU Yang, YE Song, et al. Regional Grain Security Pre-Warning Based on Entropy Weight Estension Decision Model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(6): 233—239.
- [5] 吕新业. 基于向量自回归模型的中国食物安全预警[J]. 农业工程学报, 2013, 29(11): 286—292.
LYU Xin-ye. China's Food Security and Early-Warning System Based on Vector Autoregression (VAR) Model [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(11): 286—292.
- [6] WANG Yu-hong, TANG Jiang-rong, CAO Wen-bin. Grey Prediction Model-Based Food Security Early Warning Prediction[J]. Grey Systems: Theory and Application, 2012, 2(1): 13—23.
- [7] CARLETTO C, ZEZZA Ao, BANERJEE R. Towards Better Measurement of Household Food Security: Harmonizing Indicators and the Role of Household Surveys[J]. Global Food Security, 2013, 2(1): 30—40.
- [8] 郑大宇, 魏庆葆, 冯建元. 基于 RFID 农产品包装追踪与溯源安全机制实施方法[J]. 包装工程, 2006, 27(5): 153—154.
ZHENG Da-yu, WEI Qing-bao, FENG Jian-yuan. Implementation of Tracing and Tracking Safety Mechanism of Agricultural Product Packaging Based on RFID[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(5): 153—154.
- [9] 夏文汇, 彭瑶, 何玉影. 食品安全视角的食品供应链物流运行机制研究[J]. 包装工程, 2015, 36(15): 50—54.
XIA Wen-hui, PENG Yao, HE Yu-ying. Operation Mechanism of Food Supply Chain Logistics in Perspective of Food Safety[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(15): 50—54.
- [10] 戴健伟, 吉华, 杨岗, 等. 基于 GA_BP 算法的化工设备设计人工时预测[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(7): 1665—1675.
DAI Jian-wei, JI Hua, YANG Gang, et al. Man-hour Forecast Model Based on GA_BP for Chemical Equipment Design[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2013, 19(7): 1665—1675.
- [11] 吴奇, 严洪森. 基于具有高斯损失函数支持向量机的预测模型[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(2): 306—312.
WU Qi, YAN Hong-sen. Forecasting method Based on Support Vector Machine with Gaussian Loss Function [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2009, 15(2): 306—312.
- [12] BRERETON R G, LLOYD G R. Support Vector Machines for Classification and Regression[J]. Analyst, 2010, 135(2): 230.
- [13] 克里斯蒂亚尼尼. 支持向量机导论[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
CRISTIANINI. Introduction to Support Vector Machines[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.
- [14] 汪海燕, 黎建辉, 杨风雷. 支持向量机理论及算法研究综述[J]. 计算机应用研究, 2014, 31(5): 1281—1286.
WANG Hai-yan, LI Jian-hui, YANG Feng-lei. Overview of Support Vector Machine Analysis and Algorithm[J]. Application Research of Computers, 2014, 31(5): 1281—1286.
- [15] 赵英霞. 中国农产品物流评价指标体系的构建[J]. 商业研究, 2007(1): 211—213.
ZHAO Ying-xia. Construction of Evaluation Index System of Agricultural Products Logistics in China[J]. Commercial Research, 2007(1): 211—213.
- [16] 钟来元, 刘黎明, 王兴, 等. 区域综合食品安全风险预警指标体系[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 374—379.
ZHONG Lai-yuan, LIU Li-ming, WANG Xing, et al. Early Warning Index System of Regional Integrated Food Security and Risk[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(3): 374—379.
- [17] 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, 2012(22): 15—18.
XIONG Wei, QI Chun-jie. Construction of Early Warning Index System for Production and Marketing of Fruit Products[J]. Statistics & Decision, 2012(22): 15—18.
- [18] 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP)[J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2): 80—88.
ZHANG Ji-jun. Fuzzy Analytical Hierarchy Process[J]. Fuzzy System and Mathematics, 2000, 14(2): 80—88.