

# 神经网络在生鲜农产品供应链管理中的研究进展

冯建英<sup>1</sup> 原变鱼<sup>1</sup> 李鑫<sup>1</sup> 张小栓<sup>2</sup> 田东<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083)

**摘要:** 可靠、高效的供应链运作和管理对保障生鲜农产品品质具有重要意义,神经网络技术在生鲜农产品供应链管理中因具有独特的优势而得到广泛应用。本文阐述了生鲜农产品供应链的特点和神经网络技术的优势,系统综述了神经网络技术在生鲜农产品供应链管理领域的代表性研究方法及研究成果,并针对神经网络和供应链管理的发展需求,指出生鲜农产品绿色供应链和可持续供应链将是未来发展的必然趋势,神经网络技术将向神经网络优化、组合网络模型、深度学习的方向发展。

**关键词:** 生鲜农产品; 供应链管理; 神经网络

**中图分类号:** F252; S126      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1298(2019)S0-0366-08

## Progress of Neural Network in Supply Chain Management of Fresh Agricultural Products

FENG Jianying<sup>1</sup> YUAN Bianyu<sup>1</sup> LI Xin<sup>1</sup> ZHANG Xiaoshuan<sup>2</sup> TIAN Dong<sup>1</sup>

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

**Abstract:** Fresh agricultural products are the necessities of people's life. Reliable and efficient supply chain operation and management are of great significance to guarantee the quality of fresh agricultural products, and neural network technology has been widely used in many aspects of supply chain management of fresh agricultural products with its unique advantages. Based on the recognition of neural network technology's advantages in the fresh agricultural products' supply chain management, the current research about neural network technology application in the field of fresh agricultural products supply chain management was systematically reviewed. It was found that neural network was mainly applied to the risk evaluation and prediction, performance evaluation, quality monitoring and control, shelf life prediction and supply chain traceability, etc. Furthermore, aiming at the demand for the future development of neural network and supply chain management, the research trend in this domain was proposed. Firstly, the level of green and sustainable development would be posed more importance in supply chain management of fresh agricultural products. Secondly, neural network would be developed in the direction of neural network optimization, combined network model and deep learning.

**Key words:** fresh agricultural products; supply chain management; neural network

### 0 引言

生鲜农产品是人们生活的必需品,其消耗量巨大,可靠、高效的供应链管理对保障生鲜农产品品质具有重要意义,但当前农产品供应链普遍管理水平较低,存在一定的风险与隐患<sup>[1]</sup>。此外,生鲜农产

品供应链管理还有一定的局限性,即针对供应链进行初步简单分析,提出问题后再配套相应的政策,缺少先进的模型分析工具和方法论<sup>[2]</sup>。神经网络技术经过多年发展,为一些复杂、不确定性的问题提供了新的解决思路,在生鲜农产品供应链管理中得到广泛应用,其研究及应用主要集中在建模、非线性优

收稿日期: 2019-04-20    修回日期: 2019-05-20  
基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFE0111200)  
作者简介: 冯建英(1982—),女,副教授,博士,主要从事农业信息智能处理研究,E-mail: fjying@cau.edu.cn  
通信作者: 田东(1972—),女,副研究员,博士,主要从事农业信息智能处理研究,E-mail: td\_tiangong@cau.edu.cn

化、经济预测与综合评价等方面。

围绕神经网络在生鲜农产品供应链管理方面的应用,国内外学者做了大量研究,主要包括供应链的风险评价与预测、绩效评价、品质监测与控制、货架期预测与供应链可追溯等几方面。本文就目前国内外的相关研究从上述几方面进行梳理,并对未来的研究方向进行分析。

# 1 神经网络在生鲜农产品供应链管理中的优势

## 1.1 生鲜农产品供应链的特点

生鲜农产品是指由农户生产、经营的一般不加工或轻加工,常温下不易保存的一种初级农产品,通常包括蔬菜、水果、肉、蛋、奶和水产品等<sup>[3]</sup>。生鲜农产品供应链是指产品从生产到最终到达消费者手中所经历的一系列环节所组成的链条<sup>[4]</sup>,这不仅是将各参与主体连接成一条具有整体功能的网络,也是对物流、资金流、信息流的整合,同时也是一条价值增值链,能够有效地降低农户单独交易的风险、成本、物流损耗等<sup>[5]</sup>。相比其他农产品,生鲜农产品自身的易腐易损性、季节性、区域性等特征使得生鲜农产品供应链及其管理有着特殊的特征。

### (1)地域性、季节性强

生鲜农产品种类众多且分布范围广泛,各地由于气候与环境禀赋的差异,导致生鲜农产品在各个环节都具有很强的季节性和地域性,供应链在不同时间、不同空间都呈现差异性。

### (2)品质控制要求高

鲜活性、安全性、绿色性是消费者对生鲜农产品品质的关键性要求,产品的主要价值取决于其鲜活程度<sup>[6-7]</sup>,但在物流运输过程中,各种物理、化学、微生物等因素都会对生鲜农产品造成影响,非常容易发生活力衰减、品质下降的问题,因而对产品品质的控制和保障是生鲜农产品供应链绩效中非常重要的一个方面。

### (3)供应链主体多样化

我国目前农产品供应链的参与主体呈现多样化特点,既包含小农户、个体户等小规模个体,也有相对具有规模的物流公司、大型商场超市等规模化企业,各类主体的经济实力、技术水平、抗风险能力等差异非常大,导致供应链管理中实现标准化、高效率的难度加大。

### (4)供应链稳定性弱

生鲜农产品供应链中各环节、各主体的契约度不强,导致对参与各主体的约束力较弱,供应链中容易出现某环节主体退出或更换的现象;同时

生鲜农产品本身的季节性和易腐性也强化了供应链的脆弱性,一旦供应链断裂,会严重损害供应链中各主体的利益。此外,不确定性因素的发生也会导致供应链重组,如自然灾害影响产量、价格容易波动、供需关系不稳定,供应链上不可控因素较大,管理难度高。

## 1.2 神经网络的优势

人工神经网络(Artificial neural network, ANN),其核心是依据算法作为主要导向,利用数学模型模拟人脑的结构,使其在一定程度上能够像人脑一样实现智能化操作<sup>[8]</sup>。作为一种计算机程序,ANN在非线性处理方面表现突出,高度的自适应学习能力,以及高速寻找最优解的能力都是其他方法不具备的,同时,ANN还具备良好的容错能力,体现出其包容性<sup>[9-11]</sup>。这些优势集中体现在以下几个方面:

(1)非线性处理。人脑的思维是非常复杂的,同样也是非线性的,神经网络利用这一特点模拟人脑来辅助解决相应的非线性问题。

(2)很强的自适应学习能力。通过学习历史数据就可以训练出一个可以概括全部数据的特定神经网络,对于预测领域有重要的意义。

(3)高速寻找最优解。通常情况下,越是复杂的问题,计算过程越为复杂,想要在一个复杂的问题中找寻最优解,困难程度更是加剧。但是如果针对需要解决的某个复杂问题设计相应的反馈型人工神经网络,充分利用计算机的高速运算性能,便能快速找到最优解。

(4)泛化能力强。神经网络可以根据已有的信息实现自动分类,所以即使输入新数据时也不需要重新训练。

(5)鲁棒性强,容错率高。整个神经元网络中,即使某个神经元局部损坏也不会影响整个网络的运行;同样局部发生变化时,整体依旧能够流畅运行。

综合以上特点,可以清晰地发现生鲜农产品供应链管理的难度之大。首先,从全局方面来说,需要考虑物流、资金流和信息流的稳定性和运行效率,其次,在关注节点参与主体的绩效和表现的情况下,应尽量保持各节点之间的均衡和稳固。这种情况下,神经网络技术可以充分发挥其优势,在供应链管理的建模、评价、预测、优化等问题上取得很好的表现。

# 2 神经网络在生鲜农产品供应链管理中的应用

神经网络以其自身强大的优势在生鲜农产品供应链管理中得到广泛应用,主要包括供应链的风险

评价与预测、绩效评价、物流环境监测、产品品质建模预测等方面。

2.1 供应链风险评价与预警

无论是风险评价还是风险预测,风险影响因子都不是独立存在的,彼此之间会复杂地相互影响,而神经网络不需要借助数学模型,也不需要输入和输出变量相关的函数形式进行假设就能够很好地处理这种非线性关系,BP神经网络是使用最广泛的网络<sup>[12]</sup>,它允许指定多输入标准,生成多个输出建议,并在输入和输出变量之间准确建立映射。强大的学习能力和泛化能力,使其成为很多学者进行风险评价的首选方式。BP神经网络的网络结构十分重要,结构不同解决问题的能力不同,研究表明3层BP神经网络是当前使用最多的网络,因为能够完成任意的 $m$ 维到 $n$ 维的映射,主要包括输入层、输出层、一层或多层的隐含层<sup>[13-14]</sup>,该算法的基本思想是利用非线性规划中的最速下降法,通过反向误差不断调整各个权值和阈值,实现网络的实际输出与期望输出的均方差最小化,满足实际应用的需求<sup>[15-17]</sup>。

一些学者利用神经网络针对供应链中某一个环节进行风险评价,如吴敏宁等<sup>[18]</sup>提出水产品生产加工环节所用添加剂对供应链风险影响最大,因此用BP神经网络建立添加剂预警模型。霍红等<sup>[19]</sup>运用BP神经网络构建了果蔬物流外包风险预警模型,张晓东<sup>[20]</sup>对生猪出栏量进行预警。其他一些学者则针对供应链全过程进行风险评价。杨玮等<sup>[21]</sup>分析果蔬加工、贮藏、运输及配送和销售4个环节风险影响因素,模型的输出分为4类警区。王荧荧<sup>[22]</sup>和李赢<sup>[23]</sup>分别分析了鲜食葡萄与乳制品供应链流程,使用人工神经网络建立风险评价模型,以上研究中各种形式的神经网络在风险预测领域都得到了较好的应用。

但是随着研究的不断深入与研究领域的扩大,BP神经网络局部极小化、收敛速度慢、结构选择不一等本质缺点也暴露了出来<sup>[24]</sup>,学者们对此进行了一些改进。目前使用最广泛的优化算法是遗传算法(Genetic algorithm, GA)和粒子群优化算法(Particle swarm optimization, PSO)<sup>[25]</sup>。因为BP神经网络在训练过程中学习规则的合理性有待考证,故使用遗传算法对BP神经网络模型的参数进行优化,先用遗传算法搜索BP神经网络权值和阈值,求出最优的权值和阈值后再训练BP神经网络,以克服局部最优的缺点,实现全局最优<sup>[26-28]</sup>。使用粒子群算法优化BP神经网络的初始值和阈值,结果证明新算法可以加快BP神经网络的收敛速度,提高预测精度<sup>[29-31]</sup>。此外径向基神经网络(Radial basis

function, RBF)可以保证稳定的学习效率并且网络收敛速度较快等优点可以弥补BP神经网络自身的不足,因此可以将二者很好地融合<sup>[32]</sup>,粗糙集(RS)和思维进化算法(MEA)也为BP神经网络优化提供了新的思路,RS可以降低BP神经网络复杂度,MEA则计算BP神经网络的全局最优初始权重和阈值<sup>[33-35]</sup>。

2.2 供应链绩效评价

供应链绩效被描述为供应链的交付能力,指以最低的成本在规定时间内将满足客户质量要求的产品交付到指定位置,供应链绩效评价是对企业供应链管理实施的结果和成效进行评估考核,不仅有利于提升企业供应链管理绩效,也有利于评价企业竞争力,从而引导企业采取针对性措施,提升产品供应链绩效。因此供应链绩效管理 and 评价已经成为业内研究者的研究热点之一<sup>[36]</sup>。供应链绩效管理评价是一个动态的过程,其中涉及到的许多因素会影响评价的质量,因此仅用一个数学方法难以进行精确有效的评价<sup>[37]</sup>,通过神经网络可以解决这个问题。

国内外关于生鲜农产品供应链绩效评价已经比较成熟,主要采用传统的经济学方法,如灰色综合评价法、层次分析法、模糊综合评判法、数据包络法等,这些方法在不同程度上均取得一定效果,但仍存在一些问题,主要体现在评价主观性较强、评价结果与真实误差较大等<sup>[38-39]</sup>。为了弥补这些缺陷,一些学者提出将神经网络应用于绩效评价,这个方法可以很好地处理评价指标数量较多以及指标间所存在的非线性关联性的复杂问题<sup>[40]</sup>,代表性的研究如表1所示。

2.3 供应链品质监测与控制

确保生产者到消费者的连续冷链是生鲜农产品供应链所面临的一个重大挑战,在冷链环节中温度对于生鲜农产品的质量安全至关重要,对易腐的农产品来说实时温度信息可以转化为对其剩余货架期的预测,剩余的货架期随后可用于改善供应链管理<sup>[45]</sup>。

BADIA等<sup>[46]</sup>研究证明使用电容和克里金方法进行温度估算的可能性,然而人工神经网络获得了最好的结果。JUDIN等<sup>[47]</sup>使用反向传播网络对温度进行预测,如果预测值异常,则及时向驾驶员或者送货员发送预警消息,以便确定异常温度的原因并采取措施。MERCIE等<sup>[48]</sup>提出利用物理传热模型的理论基础和泛化能力来开发一个可以实时预测易腐食品温度的灵活神经网络框架。该模型能够使用由放置在货物中关键位置有限数量的传感器测量温度来估计未进行测量的位置处温度。这对易腐生鲜



表 1 神经网络在生鲜农产品供应链绩效研究中的应用

| Tab.1 Research and application of neural network in performance of fresh agricultural product supply chain |           |                                                        |                        |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------|------------------------|------|
| 对象                                                                                                         | 神经网络类型    | 模型特征                                                   | 优势                     | 文献序号 |
| 生鲜农产品                                                                                                      | 模糊神经网络    | 本质上是一种多层前馈型神经网络模型,采用传统的误差反向传播算法来调整计算相关参数               | 评价精度高,时间消耗少            | [41] |
| 食品冷链物流                                                                                                     | BP 神经网络   | AHP 构建指标评价体系及指标权重,BP 建立评价模型,人工鱼群-蛙跳混合算法 (AFS - FLA) 优化 | 评价速度快,准确度高,智能化程度高      | [42] |
| 生猪                                                                                                         | SOM 神经网络  | 对评价数据进行聚类分析,得出的聚类结果和特征即为绩效评价结果                         | 能够识别环境特征并自动聚类          | [43] |
|                                                                                                            | 霍普菲尔德神经网络 | 指标实测值与评价标准在 Hopfield 神经网络作用下的识别过程                      | 可使用定性、定量指标,网络设计简单,评价客观 | [44] |

食品供应链管理,尤其是冷链运输有很大的帮助。传感器是监测运输中环境因子的主要途径,文献[46]的研究证实使用先进的神经网络温度预测模型能够减少传感器的使用,实现更好的监控以显著减少产品的损失与浪费<sup>[46]</sup>。

随着物联网技术的发展,冷链物流监测参数逐

步多元化,不仅局限于温湿度,还包括其他的气体指标、生理指标等,通过监测这些指标,使用神经网络可以预测冷链品质的变化<sup>[49-50]</sup>。典型的研究如表 2 所示,表中  $K$  值表示 ATP 的降解产物之和与 ATP 关联物总量的百分比,是以核苷酸的分解产物作为指标的食物新鲜度判定方法。

表 2 神经网络在品质预测中的应用

| Tab.2 Application of neural network in quality prediction |                                                     |                  |                 |          |         |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------|-----------------|----------|---------|
| 研究对象                                                      | 监测指标                                                | 神经网络类型           | 模型验证方法          | 预测误差/%   | 文献序号    |
| 鲜食葡萄和鲜桃                                                   | SO <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 含量 | MGM - RBF 组方法    | 均值-极差、绝对误差、相对误差 | 5.36     | [51]    |
| 虾夷扇贝                                                      | 存活指标和生理指标                                           | LVQ、PNN、SVM 神经网络 |                 |          | [52]    |
| 水产品                                                       | 感官评分、菌落总数、 $K$ 值和电导率                                | ANN              | 相对误差            | [-10,10] | [53-55] |
| 盐腌武昌鱼                                                     | 感官评分、菌落总数、 $K$ 值、TVB-N 含量、硫代巴比                      | BP - NN          | 方差              | [-10,10] | [56]    |
|                                                           | 妥酸值和肌苷含量                                            | RBF - NN         | 均值              | [-5,5]   |         |
| 胡萝卜                                                       | 温度、空气流度、厚度                                          | 遗传-神经网络          | SSR 值           | [-5,5]   | [57]    |

2.4 货架期预测

货架期是指食品在包装储藏条件下依旧能够维持其化学、生物、微生物和感官特性,同时能够保持与标签上营养信息相一致的一段时间<sup>[58]</sup>。目前主要有两类货架期预测模型,一类是基于食品储藏过程中的关键指标特征,通过动力学相关原理研究其

品质变化规律,进而实现货架期的预测。另一类则是基于人工神经网络的货架期预测模型,该方法的优势主要在于不需要事先了解各品质指标之间的变化规律,直接输入指标利用神经网络的自适应学习能力不断提高预测模型的准确性,在实际应用中取得了很好的发展<sup>[59]</sup>。典型的研究如表 3 所示。

表 3 基于 BP 神经网络的货架期预测

| Tab.3 Shelf life prediction based on BP neural network |                 |                                                                   |          |        |      |
|--------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------|----------|--------|------|
| 研究对象                                                   | 品质指标            | 输入参数                                                              | 输出参数     | 预测误差/% | 文献序号 |
| 蓝莓                                                     | 气体指标、理化指标       | O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 含量 | 货架期      | <10    | [60] |
| 酸奶                                                     | 理化指标、微生物指标、感官指标 | pH 值、硬度、粘度、微生物计数、感官评价                                             | 贮藏过程中的积温 | 5      | [61] |
| 冰鲜鸡蛋                                                   | 理化指标            | 哈夫单位值、蛋黄系数、温度                                                     | 货架期      | <7.3   | [62] |
| 松茸                                                     | 感官指标、理化指标       | 菌柄硬度,颜色和气味数                                                       | 剩余保质期    | <5     | [63] |

2.5 供应链的可追溯性研究

随着经济社会的飞速发展,人们生活水平的提高,食品质量安全问题日益成为人们的主要着眼点,世界各国开始建立食品安全可追溯系统。一旦危害

健康的问题发生,可根据链条记录信息追踪食品流向,消除危害,较少损失。供应链可追溯性预测涉及很多环节,各环节要素众多,关系复杂,呈非线性关系存在,神经网络所具有的众多优点和特性为预测

的实施提供了良好的基础。

使用 BP 神经网络可以建立供应链可追溯性预测模型,影响可追溯性事件的概率作为网络的输入样本,输出样本则为供应链的可追溯性大小<sup>[64]</sup>。BP 神经网络还可以建立判别分析模型,通过分析复杂非线性体系中各因素之间的内在关系,区分样品的来源实现源头追溯,这种模型多用于水产品,通过其体内重金属的含量建立来源海域的判别分析模型,实现对水产品原产地的追溯<sup>[65]</sup>,此外,采用人工神经网络对供应链可追溯性进行研究,不仅可以实现供应链异常信息的反馈与追踪,还可以根据系统中记录的相关可追溯性信息评估食品质量<sup>[66-67]</sup>。

## 2.6 神经网络在生鲜农产品供应链其他方面的应用

人工神经网络也应用于其他方面,例如对冷链物流的服务商进行选择<sup>[68]</sup>,在物流环节,通过对货运系统历史数据进行拟合,可以在货物运输前实现对货运量的预测<sup>[69]</sup>,有学者用 BP 神经网络将经济数据与时间序列相结合实现对生鲜农产品需求的预测<sup>[70-71]</sup>,神经网络建模技术还可以用于预测各种水果和蔬菜的导热效果等<sup>[72-73]</sup>。

## 3 结论与展望

从文献分析可以看出,目前国内外已经应用神经网络技术解决生鲜农产品供应链管理中的风险、绩效、品质、可追溯等关键问题,产生了大量的研究成果。随着生鲜农产品供应链管理需求的变化,以

及神经网络技术的不断发展,神经网络将在生鲜农产品供应链管理中发挥更大的作用,并且呈现一些新的特点和发展趋势。

(1)神经网络种类繁多,目前使用最广泛的是典型的具有 3 层网络结构的 BP 神经网络,但是随着研究的不断深入,其收敛速度慢、易陷入局部最小值等缺陷逐渐暴露出来。针对这个问题学者提出一些改进措施,例如基于思维进化算法<sup>[74]</sup>、粒子群优化算法<sup>[75]</sup>、遗传算法<sup>[76]</sup>、径向基神经网络<sup>[77]</sup>等方法更好地优化 BP 网络各层间的连接权值,提高 BP 神经网络的泛化能力、学习能力,并且大大提升其收敛速度。但目前这些优化方式并未得到广泛应用,所以下一步研究将专注于 BP 神经网络的优化,以实现更好的预测。

(2)单一的神经网络总是或多或少存在缺陷,一些学者开始将多种神经网络组合在一起,不仅可以克服单一网络的缺点,预测精度也会得到提升,因此,组合模型是未来的一种发展趋势。

(3)近年来,深度学习研究逐年升温,其超强的感知能力和决策能力的结合在一些领域得到了很好的发展,但是很少用于生鲜农产品供应链管理中,这将会是一个有潜力的研究方向。

(4)绿色环保与可持续发展理念愈加受到重视,绿色供应链与可持续供应链的研究也将是必然的趋势,因此未来需要关注神经网络技术在绿色和可持续发展的生鲜农产品供应链管理中的应用。

## 参 考 文 献

- [1] 张玉春,王婧. 生鲜农产品供应链信息共享研究综述[J]. 商业经济研究,2019(9):139-141.  
ZHANG Y C, WANG J. Review on information sharing of fresh agricultural product supply chain[J]. Journal of Commercial Economics, 2019(9): 139-141. (in Chinese)
- [2] 宋巧娜. 农产品供应链绩效评价研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(22): 11532-11534.  
SONG Q N. Research on performance evaluation of supply chain for agricultural products[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(22): 11532-11534. (in Chinese)
- [3] 张勤,杨向然. 基于层次分析法的生鲜农产品供应链知识共享影响因素研究[J]. 江苏商论, 2017(7): 7-11.  
ZHANG Q, YANG X R. Study on influencing factors of knowledge sharing effect of fresh agricultural products supply chain-based on AHP[J]. Jiangsu Commercial Forum, 2017(7): 7-11. (in Chinese)
- [4] 胡晓兰,肖科峰. 论物流与人力流、信息流、资金流的整合优化[J]. 云南社会科学, 2016(6): 73-77.  
HU X L, XIAO K F. On the integration and optimization of logistics, manpower flow, information flow and capital flow[J]. Social Sciences in Yunnan, 2016(6): 73-77. (in Chinese)
- [5] 刘阳. 农产品供应链集成化运营的绩效评价研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.  
LIU Y. Research on the performance evaluation of agricultural products supply chain integrated operation[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016. (in Chinese)
- [6] 付焯,严余松,郭茜,等. 生鲜农产品供应链物流风险传递机理及控制[J]. 西南交通大学学报, 2018, 53(3): 654-660.  
FU Z, YAN Y S, GUO Q, et al. Risk transfer mechanism and control in logistics of fresh agriculture product supply chain[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2018, 53(3): 654-660. (in Chinese)
- [7] KANCHANASUNTORN K, TECHANITISAWAD A. An approximate periodic model for fixed-life perishable products in a two-echelon inventory distribution system[J]. International Journal of Production Economics, 2007, 100(1): 101-115.
- [8] 李牧樵. 浅析人工神经网络及其应用模型[J]. 科技传播, 2019(8): 137-138, 155.  
LI M Q. Analysis of artificial neural network and its application model[J]. Public Communication of Science & Technology, 2019(8): 137-138, 155. (in Chinese)

- [9] LI H,ZHANG Z E,LIU Z J. Application of artificial neural networks for catalysis: a review[J]. Journal of Catalysts,2017,7(10):306.
- [10] LIU J Y. Artificial neural network in cosmic landscape[J]. Journal of High Energy Physics,2017(12):149.
- [11] MAKHAMBET S,YING M,WANG H Q. Risk assessment of process systems by mapping fault tree into artificial neural network[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries,2019,60:203–212.
- [12] DONG H,SHI C. Comprehensive prediction model of supply chain performance[C]//International Conference on Artificial Intelligence. IEEE,2011.
- [13] 李泽秀,朱昱,鲜勇,等. 弹道导弹飞行时间的 BP 神经网络控制方法[J]. 飞行力学,2017,35(2):54–58.  
LI Z X,ZHU Y,XIAN Y,et al. A BP neural network control method of ballistic missile flight time[J]. Flight Dynamics,2017,35(2):54–58. (in Chinese)
- [14] 闻新,周露,李翔. MATLAB 神经网络仿真与应用[M]. 北京:科学出版社,2003:264–272,283–284.
- [15] 乔艳芬. 食品生产企业供应链风险管理研究[D]. 焦作:河南理工大学,2012.  
QIAO Y F. Research on management of food production enterprise supply chain risk[D]. Jiaozuo: Henan Polytechnic University,2012. (in Chinese)
- [16] 杨玮,岳婷,曹薇,等. 采用 BP 神经网络的猪肉冷链物流预警模型与仿真[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2015,36(5):511–516.  
YANG W,YUE T,CAO W,et al. Early warning model and simulation of pork cold chain logistics using BP neural network[J]. Journal of Huaqiao University (Natural Science),2015,36(5):511–516. (in Chinese)
- [17] 郜晨. 基于融通仓模式的第三方物流企业风险管理研究[D]. 南昌:江西财经大学,2016.  
GAO C. Research of risk management of the third party logistics enterprises based on the mode of financing warehouse[D]. Nanchang: Jiangxi University of Finance and Economics,2016. (in Chinese)
- [18] 吴敏宁,张永恒. BP 神经网络在水产品安全风险预警中的应用[J]. 网络新媒体技术,2017,6(4):60–64.  
WU M N,ZHANG Y H. Application of BP neural network to safety risk forewarning[J]. Journal of Network New Media,2017,6(4):60–64. (in Chinese)
- [19] 霍红,徐辉. 基于 BP 神经网络的果蔬物流外包风险预警研究[J]. 安徽农业科学,2012,40(34):16929–16932.  
HONG H,XU H. Research on risk forewarning of fruit and vegetable logistics outsourcing based on BP neural network[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2012,40(34):16929–16932. (in Chinese)
- [20] 张晓东. 中国养猪业生产波动分析与预测预警研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2013.  
ZHANG X D. The study on the production fluctuation analysis, forecasting and warning for the pig industry in china[D]. Harbin: Northeast Agricultural University,2013. (in Chinese)
- [21] 杨玮,曹薇. BP 神经网络在果蔬冷链物流预警中的应用[J]. 计算机工程与科学,2015,37(9):1707–1711.  
YANG W,CAO W. Application of BP neural network in the early-warning of fruits and vegetables cold-chain logistics[J]. Computer Engineering and Science,2015,37(9):1707–1711. (in Chinese)
- [22] 王荧荧. 农产品冷链物流安全风险评价研究[D]. 西安:长安大学,2014.  
WANG Y Y. Study on the safety risk assessment of agricultural products cold-chain logistics[D]. Xi'an: Chang'an University,2014. (in Chinese)
- [23] 李赢. 乳制品供应链质量风险评价和控制研究[D]. 北京:北京交通大学,2016.  
LI Y. Research on quality risk assessment and control of dairy products supply chain[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University,2016. (in Chinese)
- [24] 李超,苏耀文,涂文俊,等. 面向用户视觉心理的实木板材压缩感知聚类分选[J]. 北京林业大学学报,2016,38(7):112–119.  
LI C,SU Y W,TU W J,et al. User-oriented visual psychological sorting method for wood plate[J]. Journal of Beijing Forestry University,2016,38(7):112–119. (in Chinese)
- [25] JIAN F C,HONG Y C,HAO S,et al. Big data: a parallel particle swarm optimization-back-propagation neural network algorithm based on map reduce[J]. PLOS ONE,2016,11(6):e0157551.
- [26] 濮永仙. 基于物联网的精准农业果蔬种植预警系统[J]. 湖北农业科学,2016,55(14):3741–3744,3786.  
PU Y X. The early warning system of precision agriculture fruit and vegetable production based on IoT[J]. Hubei Agricultural Sciences,2016,55(14):3741–3744,3786. (in Chinese)
- [27] FU L Y,SONG A G. An optimized BP neural network based on genetic algorithm for static decoupling of a six-axis force/torque sensor[J]. International Conference on Sensors, Materials and Manufacturing,2018,311:012002.
- [28] ZHANG J J,YIN G D,NI Y C,et al. Prediction of industrial electric energy consumption in Anhui Province based on GA-BP neural network[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,2018,108:052061.
- [29] LIU T,YIN S. An improved particle swarm optimization algorithm used for BP neural network and multimedia course-ware evaluation[J]. Multimedia Tools and Applications,2017,76(9):11961–11974.
- [30] SALMAN N,LAWI A,SYARIF S. Artificial neural network backpropagation with particle swarm optimization for crude palm oil price prediction[J]. Journal of Physics Conference Series,2018,1114(1):012088.
- [31] JIANG G W,LUO M Z,BAI K Q,et al. A precise positioning method for a puncture robot based on a PSO-optimized BP neural network algorithm[J]. Applied Sciences – Basel,2017,7(10):969.
- [32] WEN H,XIE W X,PEI J H,et al. A structure-adaptive hybrid RBF-BP classifier with an optimized learning strategy[J]. PLOS ONE,2016,11(10):e0164719.

- [33] ZHANG Y, WANG H W, WANG Y B, et al. A novel optimization algorithm for BP neural network based on RS - MEA [C] // International Conference on Image. IEEE, 2017.
- [34] 郭宇, 杨育. 基于灰色粗糙集与 BP 神经网络的设备故障预测[J]. 计算机应用研究, 2017(9): 88 - 91.  
GUO Y, YANG Y. Equipment fault prediction based on grey rough set and BP neural network [J]. Application Research of Computers, 2017(9): 88 - 91. (in Chinese)
- [35] 张以帅, 赖惠鸽, 李勇, 等. 基于 MEA 优化 BP 神经网络的天然气短期负荷预测[J]. 自动化与仪表, 2016, 31(5): 15 - 19.  
ZHANG Y S, LAI H G, LI Y, et al. Short-term gas load forecasting based on MEA optimized BP neural network [J]. Automation & Instrumentation, 2016, 31(5): 15 - 19. (in Chinese)
- [36] 封云, 马军海. 供应链需求预测的非线性方法研究[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2008, 10(5): 82 - 86.  
FENG Y, MA H J. Research on nonlinear method of supply chain demand forecasting [J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2008, 10(5): 82 - 86. (in Chinese)
- [37] DONG H, SHI C. Comprehensive prediction model of supply chain performance [C] // International Conference on Artificial Intelligence. IEEE, 2011.
- [38] 李儒品. 供应链绩效评价研究[J]. 企业经济, 2012(10): 69 - 72.  
LI R J. Research on supply chain performance evaluation [J]. Enterprise Economic, 2012(10): 69 - 72. (in Chinese)
- [39] 赵泉长, 马悦, 朱泽魁. 基于 BP 神经网络的农超对接型供应链绩效评价研究[J]. 价值工程, 2016, 35(22): 88 - 90.  
ZHAO Q C, MA Y, ZHU Z K. Research on performance evaluation of agricultural super docking supply chain based on BP neural network [J]. Value Engineering, 2016, 35(22): 88 - 90. (in Chinese)
- [40] 于辉, 安玉发. 在食品供应链中实施可追溯体系的理论探讨[J]. 农业质量标准, 2005(3): 39 - 41.  
YU H, AN Y F. Theoretical discussion on implementing traceability system in food supply chain [J]. Agricultural Quality Standard, 2005(3): 39 - 41. (in Chinese)
- [41] WANG H. Research on supply chain performance evaluation of fresh agricultural products [J]. INMATEH—Agricultural Engineering, 2013, 40(2): 35 - 42.
- [42] 乔维德, 孔广坤. 食品冷链物流企业绩效评价模型研究[J]. 石家庄学院学报, 2017, 19(6): 27 - 34.  
QIAO W D, KONG G K. A research on performance evaluation model of food cold chain logistics enterprises [J]. Journal of Shijiazhuang University, 2017, 19(6): 27 - 34. (in Chinese)
- [43] 何开伦, 李伟, 程创业. SOM 神经网络在生猪绿色供应链绩效评价中的应用[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2014, 28(9): 92 - 97.  
HE K L, LI W, CHENG C Y. Application of SOM neural network in performance evaluation of green supply chain for pig industry [J]. Journal of Chongqing Institute of Technology (Natural Science), 2014, 28(9): 92 - 97. (in Chinese)
- [44] 何开伦, 邓小翠. 基于霍普菲尔德神经网络的生猪绿色供应链评价[J]. 重庆理工大学学报(社会科学), 2014, 28(8): 30 - 34.  
HE K L, DENG X C. Evaluation of green supply chain for pig industry based on Hopfield neural network [J]. Journal of Chongqing Institute of Technology (Social Science), 2014, 28(8): 30 - 34. (in Chinese)
- [45] GWANPUA S G, VERBOVEN P, LEDUCQ D, et al. The FRISBEE tool, a software for optimising the trade off between food quality, energy use, and global warming impact of cold chains [J]. Journal of Food Engineering, 2015, 148: 2 - 12.
- [46] BADIA M R, QIAN J P, FAN B L, et al. Artificial neural networks and thermal image for temperature prediction in apples [J]. Food & Bioprocess Technology, 2016, 9(7): 1089 - 1099.
- [47] JUDIN M, NYLANDER J, LARKIOLA J, et al. Quality parameters defined by chebyshev polynomials in cold rolling process chain [C] // AIP Conference Proceedings, 2011: 368 - 373.
- [48] MERCIÉ S, UYSALI I. Neural network models for predicting perishable food temperatures along the supply chain [J]. Biosystems Engineering, 2018, 171: 91 - 100.
- [49] 王想. 面向水果冷链物流品质感知的气体传感技术与建模方法 [D]. 北京: 中国农业大学, 2018.  
WANG X. Gas sensing technology and modeling method for fruit quality perception of cold chain logistics [D]. Beijing: China Agricultural University, 2018. (in Chinese)
- [50] 肖新清. 面向冷链物流品质感知的物联网数据采集与建模方法 [D]. 北京: 中国农业大学, 2017.  
XIAO X Q. IoT based data acquisition and modeling methods for food quality perception in cold chain [D]. Beijing: China Agricultural University, 2017. (in Chinese)
- [51] 王想, 肖新清, 朱志强, 等. 鲜食葡萄冷链物流气体传感器响应特征试验研究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(1): 240 - 246.  
WANG X, XIAO X Q, ZHU Z Q, et al. Experimental study of response characteristics of gas sensors for monitoring table grape cold-chain logistics [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(1): 240 - 246. (in Chinese)
- [52] 傅润泽, 沈建, 王锡昌, 等. 基于神经网络及电子鼻的虾夷扇贝鲜活品质评价及传感器的筛选[J]. 农业工程学报, 2016, 32(6): 268 - 275.  
FU Z R, SHEN J, WANG X C, et al. Quality evaluation of live Yesso scallop and sensor selection based on artificial neural network and electronic nose [J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(6): 268 - 275. (in Chinese)
- [53] LIU X, JIANG Y, SHEN S, et al. comparison of arrhenius model and artificial neuronal network for the quality prediction of minnow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during storage at different temperatures [J]. LWT—Food Science Technology, 2015, 60(1): 142 - 147.
- [54] SIRIPATRAWAN U, SANGUANDEEKUL R, NARAKAEW V. An alternative freshness index method for modified atmosphere packaged abalone using an artificial neural network [J]. LWT—Food Science and Technology, 2009, 42(1): 343 - 349.



- [55] PETERS G, MORRISSEY M T, SYLVIA G, et al. Linear regression, neural network and induction analysis to determine harvesting and processing effects on surimi quality[J]. Journal of Food Science, 1996, 61(5): 876–880.
- [56] WANG H, KONG C, LI D, et al. Modeling quality changes in brined bream (*Megalobrama amblycephala*) fillets during storage: comparison of the arrhenius model, BP, and RBF neural network[J]. Food Bioprocess Technol., 2015, 8(12): 2429–2443.
- [57] ERENTURK S, ERENTURK K. Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(3): 905–912.
- [58] 刘宝林. 食品冷冻冷藏学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 242.
- [59] 朱彦祺, 李保国, 郭全友. 水产品货架期模型的研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(16): 341–346, 351.  
ZHU Y Q, LI B G, GUO Q Y. Research progress on the shelf life predict model of aquatic products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(16): 341–346, 351. (in Chinese)
- [60] 傅泽田, 高乾钟, 李新, 等. 基于气体传感信息的蓝莓贮藏货架期预测方法[J]. 农业机械学报, 2018, 49(8): 308–315.  
FU Z T, GAO Q Z, LI X, et al. Blueberry shelf life prediction method based on sensor information stored gas[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(8): 308–315. (in Chinese)
- [61] 易甜, 程鹏飞. BP 神经网络对酸奶货架期的预测[J]. 绿色科技, 2017(10): 242–246.  
YI T, CHENG P F. Prediction of shelf life of yogurt by BP artificial neural network[J]. Journal of Green Science and Technology, 2017(10): 242–246. (in Chinese)
- [62] 刘雪, 李亚妹, 刘娇, 等. 基于 BP 神经网络的鲜鸡蛋货架期预测模型[J]. 农业机械学报, 2015, 46(10): 328–334.  
LIU X, LI Y M, LIU J, et al. BP neural network based prediction model for fresh egg's shelf life[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(10): 328–334. (in Chinese)
- [63] FU Z T, ZHAO S, ZHANG X S, et al. Quality characteristics analysis and remaining shelf life prediction of fresh tibetan tricholoma matsutake under modified atmosphere packaging in cold chain[J]. Journal of Food Engineering, 2019, 8(4): 136.
- [64] 童小鹏. 基于事故树的乳制品可追溯性研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2018.  
TONG X P. Research on traceability of dairy products based on fault tree analysis[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2018. (in Chinese)
- [65] 李沂光, 李风铃, 宁劲松, 等. 基于 BP 神经网络的虾蛄捕捞海域溯源方法[J]. 渔业现代化, 2017, 44(5): 39–44.  
LI Y G, LI F L, NING J S, et al. A method for tracing the original fishing sea areas for the corresponding mantis shrimps based on BP neural network[J]. Fishery Modernization, 2017, 44(5): 39–44. (in Chinese)
- [66] 翁道磊. 食品安全追溯系统的分析和研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.  
WENG D L. Analysis and study on food safety traceability system[D]. Chongqing: Chongqing University, 2008. (in Chinese)
- [67] WANG J, YUE H, ZHOU Z. An improved traceability system for food quality assurance and evaluation based on fuzzy classification and neural network[J]. Food Control, 2017, 79: 363–370.
- [68] 孙冬石, 李浩渊, 杜筱婧. 基于 BP 神经网络的冷链物流服务商选择[J]. 物流技术, 2018, 37(10): 58–61, 75.  
SUN D S, LI H Y, DU X J, et al. Selection of cold chain logistics service provider based on BP neural network[J]. Logistics Technology, 2018, 37(10): 58–61, 75. (in Chinese)
- [69] 陈勇, 刘洲, 李杅麟, 等. 神经网络在货运预测系统中的应用[J]. 物联网技术, 2016(1): 42–43, 46.
- [70] 徐静. 我国生鲜农产品有效供给保障研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2016.  
XU J. Effective supply insurance of chinese fresh agri-products[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2016. (in Chinese)
- [71] 王少然. 生鲜农产品冷链物流需求预测研究[D]. 西安: 西安工程大学, 2017.  
WANG S R. Research on demand forecasting of fresh agricultural products cold chain logistics[D]. Xi'an: Xi'an Polytechnic University, 2017. (in Chinese)
- [72] HUSSAIN M A, RAHMAN M S. Thermal conductivity prediction of fruits and vegetables using neural networks[J]. International Journal of Food Properties, 1999, 2(2): 121–137.
- [73] RAHMAN M S, RASHID M M, HUSSAIN M A. Thermal conductivity prediction of foods by neural network and fuzzy (ANFIS) modeling techniques[J]. Food and Bioprocess Processing, 2012, 90(2): 333–340.
- [74] 唐立力, 陈国彬. 基于 MEA 优化 BP 神经网络的农机滚动轴承故障诊断[J]. 农机化研究, 2019, 41(3): 214–218.  
TANG L L, CHEN G B. Fault diagnosis for rolling bearing of agricultural mechanical based on BP neural network optimized by mind evolutionary algorithm[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2019, 41(3): 214–218. (in Chinese)
- [75] 王雷. PSO 算法优化 BP 神经网络[J]. 科技创新与应用, 2018(34): 38–39.  
WANG L. PSO algorithm optimizes BP neural network[J]. Technology Innovation and Application, 2018(34): 38–39. (in Chinese)
- [76] 苏崇宇, 汪毓铎. 基于改进的自适应遗传算法优化 BP 神经网络[J]. 工业控制计算机, 2019, 32(1): 67–69.  
SU C Y, WANG Y D. BP neural network optimized by improved adaptive genetic algorithm computer engineering and applications[J]. Industrial Control Computer, 2019, 32(1): 67–69. (in Chinese)
- [77] 王福忠, 裴玉龙. 光伏阵列故障类型的改进型 RBF 神经网络识别算法[J]. 电源学报, 2019, 17(1): 73–79.  
WANG F Z, PEI Y L. Photovoltaic array fault identification algorithm based on improved RBF neural network[J]. Journal of Power Supply, 2019, 17(1): 73–79. (in Chinese)