

基于BP神经网络的气调包装评价方法研究

曹乐, 李润, 袁艳, 李苗, 陈鑫

(西安工业大学, 西安 710021)

摘要: **目的** 为了提高果蔬气调包装评价应用水平。**方法** 基于BP神经网络,对果蔬MAP包装评价的理论研究现状进行了系统的研究和分析,系统地介绍了基于BP神经网络的评价方法原理。以牛肉气调包装为例,选用pH值、TVB-N值(挥发性盐基氮)、汁液流失率、细菌总数、色泽等评价指标,建立了气调包装评价模型,并用实例进行了证明。**结果** 评价了样本MAP2,MAP6,MAP9的实际输出值分别为0.61,0.83,0.69,符合所选牛肉的气调包装表现。**结论** 评价方法实用性强,可用于各类产品的气调包装评价,为气调包装方案的设计提供了依据。

关键词: BP神经网络; 气调包装; 方案评价

中图分类号: TB485.2; TS206

文献标识码: A

文章编号: 1001-3563(2014)01-0038-04

Study on the Method of MAP Evaluation Based on BP Network

CAO Le, LI Run, YUAN Yan, LI Miao, CHEN Xin

(Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: **Objective** To improve the application level of modified atmosphere packaging evaluation for fruits and vegetables. **Methods** Based on the BP Network, the status in quo of fruits and vegetables modified atmosphere packaging evaluation is analyzed. The principle of evaluating method was systematically introduced. To resolve the problem of MAP evaluation, the parameters of MAP were analyzed, and the process of evaluation was introduced. Taking beef as an example, evaluating indexes such as pH value, TVB-N (total volatile basic nitrogen) value, drip loss, total bacterial count and tincture were selected, and the model of MAP evaluation was set up and proved by case study. **Results** From the result, it was easily concluded that the values of evaluating samples MAP2, MAP6 and MAP9 were 0.61, 0.83 and 0.69, respectively, consistent with the MAP performance of beef. **Conclusion** This method is practical and applicable for all MAP evaluation and provides basis for MAP design.

KEY WORDS: back propagation network; MAP; project evaluation

气调包装是当前使用最广泛的一种用于果蔬肉类产品保鲜的包装方法。其原理是通过调节包装内的气体环境,使 N_2 、 CO_2 气体的含量比例适合产品保存,同时选用具有一定透气性的包装材料,在产品的呼吸作用和包装内外气体交换的双重作用下达达到抑制细菌繁殖、延缓新陈代谢的目的,从而保证产品质量^[1-3]。对气调包装的效果进行评价是难点和重点,

具体涉及评价指标的选择、如何定量评价等复杂问题。当前对此方面研究较少,且现有评价方法过于片面,无法评价气调包装的综合性能,不具有推广性^[4-6]。

文中将BP神经网络引入气调包装的评价方法中,利用BP网络的非线性、自适应性好、容错能力强等优点,建立基于BP神经网络的气调包装评价模型,

收稿日期: 2013-05-24

基金项目: 西安工业大学大学生创新专项经费资助项目(201210702068)

作者简介: 曹乐(1979—),男,陕西西安人,博士,西安工业大学讲师,主要研究方向为物流包装。

并阐述模型的设计过程,实现对气调包装的科学评价^[7-8]。

1 BP 神经网络

BP 神经网络是目前应用效果最好的神经网络模型,广泛应用于各类评价模型的设计中。其网络结构常见为 3 层,包括输入层、隐层、输出层,见图 1。

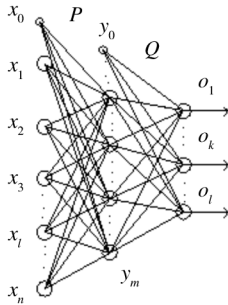


图 1 BP 神经网络结构

Fig. 1 Structure of back propagation network

输入层输入为 \$(x_0, x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)^T\$, 隐层输出为 \$(y_0, y_1, \dots, y_j, \dots, y_m)^T\$, 输出层输出为 \$(o_0, o_1, \dots, o_k, \dots, o_l)^T\$, 期望输出为 \$(d_1, d_2, \dots, d_k, \dots, d_l)^T\$。其中 \$x_0 = y_0 = -1\$, 分别为输入层和隐层阈值。\$(P_1, P_2, \dots, P_j, \dots, P_m), (Q_1, Q_2, \dots, Q_k, \dots, Q_l)\$ 为输入层到隐层、隐层到输出层的连接权值矩阵, 其中列向量 \$P_j\$ 为隐层第 \$j\$ 个神经元对应的向量, \$Q_k\$ 为输出层第 \$k\$ 个神经元对应的向量。

对于隐层:

$$y_j = f(\text{net}_j) \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

$$\text{net}_j = \sum_{i=0}^n P_{ij} x_i \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

对于输出层:

$$o_k = f(\text{net}_k) \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (3)$$

$$\text{net}_k = \sum_{j=0}^m Q_{jk} y_j \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (4)$$

BP 算法的实质是信号的正向传播和误差的反向传播, 具体算法如下所述。

当实际输出与期望输出不相符时, 定义误差为:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^l (d_k - o_k)^2 \quad (5)$$

将误差传播到隐层, 有:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^l (d_k - f(\sum_{j=0}^m Q_{jk} y_j))^2 \quad (6)$$

误差传播到输入层, 有:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^l (d_k - f(\sum_{j=0}^m Q_{jk} f(\sum_{i=0}^n P_{ij} x_i)))^2 \quad (7)$$

由上述分析可得, 误差与各层权值 \$P_{ij}, Q_{jk}\$ 存在函数关系。反复调整各层权值, 可使误差 \$E\$ 减小。调整原则为误差不断减小, 即调整量与误差梯度下降成正比 \$\eta\$ (收敛速率), 表达式为:

$$\Delta P_{ij} = \eta \frac{\partial E}{\partial P_{ij}} \quad (8)$$

$$\Delta Q_{jk} = \eta \frac{\partial E}{\partial Q_{jk}} \quad (9)$$

BP 神经网络的基本思想是收敛过程, 包括信号的正向传播和误差的反向传播。信号经过输入层传入, 经过隐层变换后, 传到输出层。若输出信号与期望结果不相符, 则将两者的误差逐层反传, 据此不断调整网络, 直到误差达到要求为止。

2 应用实例

2.1 气调包装评价指标选择^[9]

常见的气调包装产品分为果蔬和肉类两大类。对果蔬产品, 评价指标可选择 Vc、纤维素、叶绿素、失重率、感官评价等; 对肉类产品, 评价指标可选择 pH 值、TVB-N 值 (挥发性盐基氮)、汁液流失率、细菌总数、色泽等^[10-11]。文中具体以肉类产品的气调包装为例进行说明, 但研究的方法不局限于上述评价指标^[12-14]。

2.2 构建 BP 网络模型

构建 BP 神经网络结构, 需要确定输入参数个数、输出参数个数、隐层层数和隐层神经元个数, 赋予网络合适的初始值和阈值, 并设定学习速率及结束条件。经过训练的网络, 若测试达到要求, 便可用于评价。

2.2.1 输入层、输出层神经元的确定

对于肉类产品, 评价指标为 pH 值、TVB-N 值、汁液流失率、细菌总数及色泽, 因此输入层神经元个数为 5, 用 \$X_1 \sim X_5\$ 表示。输出层神经元个数为 1, 输出结果代表气调包装的评价效果, 用 \$O_1\$ 表示。

2.2.2 隐层神经元确定

目前确定隐层神经元个数并无理论依据, 通常靠经验确定。若隐层神经元个数较少会影响网络的收

敛速度,若个数较多会使网络拓扑结构复杂繁琐、训练次数增多,使用效果也不理想。由此可见,选择合适的隐层神经元显得尤为重要,可根据经验公式(10)确定:

$$n = \sqrt{X+L} + A \quad (10)$$

式中: n 为隐层神经元个数; X 为输入层神经元; L 为输出层神经元; A 为(1,10)之间的常数。

A 分别取不同值,输入数据测试,再根据训练结果确定 A 值。文中模型隐层神经元根据上述原理确定为5。

2.2.3 激活函数选择

激活函数使神经元具有不同的信息处理特性,文中选用单极性 sigmoid 函数为隐层、输出层激活函数,表达式为:

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (11)$$

此函数适用于 BP 网络,具有连续可导的特点,且:

$$f'(x) = f(x)[1-f(x)] \quad (12)$$

2.3 评价过程

2.3.1 数据处理

由于所选评价指标为不同量纲参数,无法进行对比,因此需要对输入输出数据进行归一化处理,把数据转换到(0,1)区间内。网络输出最大值为1,数值越高表明气调包装评价越高。归一化处理用式(13)进行:

$$\bar{X}_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (13)$$

式中: \bar{X}_i 为归一化处理的数据; X_{\max} 为数据变化范围内最大值; X_i 为原始数据; X_{\min} 为数据变化范围内最小值。

2.3.2 训练网络

利用 Matlab 神经网络工具箱编程,构建 BP 神经网络。

文中以文献[15]的数据作为示例,以每组实验的实际效果为期望输出(教师信号),按照以下步骤进行训练。以贮存8d为例,训练样本选择范围应能代表整个样本空间特点。训练样本见表1。

- 1) 对各层权值赋较小随机数,设置学习次数、学习速率、误差精度。
- 2) 输入样本和期望输出,计算各层输出量。
- 3) 计算网络输出误差。
- 4) 计算网络各层误差。
- 5) 根据误差调整各层权值。
- 6) 对所有样本完成一次训练,若达到学习次数,转向7,否则转向2。
- 7) 若误差达到要求,训练结束,否则转向2。

训练的实质为通过调整网络连接权值,使实际输出尽可能接近期望输出,赋予模型进行气调包装评价的功能。

2.3.3 评价结果分析

经过训练的网络可用于评价。将待评价方案按输入向量输入,模型给出实际输出值,评价气调包装的效果,见表2。

通过调整气调包装方案,实际输出值随评价指标变化而变化。模型可根据实际输出值的大小指导设计气调包装方案。

表1 训练样本

Tab.1 Training samples

训练样本	气调方案 $O_2/CO_2/N_2$	pH 值	TVB-N 值 $/(mg \cdot (100g)^{-1})$	细菌总数 $/(lgCFU \cdot g^{-1})$	色泽 a^*	汁液流失率 /%	期望输出	训练结果
MAP1	0% ,100% ,0%	6.04	12.7734	4.76	16.41	8.38	0.55	0.52
MAP3	15% ,45% ,40%	5.85	11.1738	4.67	21.35	6.56	0.67	0.68
MAP4	25% ,75% ,0%	6.06	13.9364	4.54	21.30	6.90	0.84	0.82
MAP5	30% ,70% ,0%	5.81	10.5406	4.73	22.52	6.79	0.87	0.86
MAP7	45% ,30% ,25%	5.87	9.8877	4.57	24.96	7.77	0.92	0.91
MAP8	60% ,40% ,0%	5.97	13.7221	4.85	22.79	6.79	0.70	0.69
MAP10	90% ,10% ,0%	6.12	12.6525	4.86	17.74	7.83	0.52	0.54

表2 评价样本
Tab.2 Samples of evaluating

训练 样本	气调方案 O ₂ /CO ₂ /N ₂	pH 值	TVB-N 值 /(mg·(100g) ⁻¹)	细菌总数 /(lgCFU·g ⁻¹)	色泽 a*	汁液流失率 /%	实际 输出
MAP2	10% ,90% ,0%	5.67	11.7033	4.48	23.41	5.11	0.61
MAP6	40% ,60% ,0%	5.88	13.218	4.35	23.36	5.89	0.83
MAP9	75% ,15% ,10%	6.15	13.0354	4.89	20.22	7.08	0.69

3 结语

BP神经网络无需了解输入到输出的数学方程,经过样本训练后即可完成两者的非线性映射,适合气调包装等此类非线性问题的求解。BP神经网络存在误差曲面、收敛速度慢、训练有学新忘旧等缺陷,值得进一步深入研究。

参考文献:

- [1] LEE D S, HAGGAR P E, LEE J, et al. Model for Fresh Produce Respiration in Modified Atmospheres Based On principles of Enzyme Kinetics[J]. Journal of Food Science, 1991, 56:1580—1585.
- [2] 卢立新. 果蔬气调包装理论研究进展[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7):175—180.
LU Li-xin. Research Advances in Theories for Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(7):175—180.
- [3] 王家民, 崔爽, 于江. 果蔬气调包装模型研究[J]. 包装工程, 2005, 26(4):28—29.
WANG Jia-min, CUI Shuang, YU Jiang. Study on Model of Modified Atmosphere Packaging for Fruits and Vegetables[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(4):28—29.
- [4] 盛娜, 刘晔. 果蔬气调包装(MAP)数学模型研究现状[J]. 包装工程, 2009, 30(1):31—33.
SHENG Na, LIU Ye. Current Status of Research on Mathematical Models of Fruits and Vegetables Modified Atmosphere Packaging[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(1):31—33.
- [5] 李家政. 果蔬自发气调包装原理与应用[J]. 包装工程, 2011, 32(15):33—38.
LI Jia-zheng. Principle and Application of Voluntary Modified Atmosphere Packaging for Fruit and Vegetable[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(15):33—38.
- [6] 李家政, 毕大鹏, 李杨. 温度对保鲜膜透气和透湿性能的影响[J]. 包装工程, 2010, 31(10):8—10.
LI Jia-zheng, BI Da-peng, LI Yang. Effects of Temperature on Gas and Water Vapor Permeability of Preservative Film[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(10):8—10.
- [7] 段华伟, 王志伟, 胡长鹰. 面向工程应用的果蔬气调包装设计理论与方法[J]. 包装工程, 2010, 31(3):1—4.
DUAN Hua-wei, WANG Zhi-wei, HU Chang-ying. Engineering-oriented Theory and Method of Modified Atmosphere Packaging Design of Fruits and Vegetables[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(3):1—4.
- [8] 胡红艳, 卢立新. 微孔膜果蔬气调包装设计方法研究[J]. 包装工程, 2008, 29(10):171—173.
HU Hong-yan, LU Li-xin. Design of Modified Atmosphere Package with Micro-hole Film for Fruits and Vegetables[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(10):171—173.
- [9] 段华伟, 王志伟, 胡长鹰. 气调包装工况下番木瓜成熟度的无损分级[J]. 包装工程, 2008, 29(10):107—108, 125.
DUAN Hua-wei, WANG Zhi-wei, HU Chang-ying. Nondestructive Classification of Papaya Ripeness under Modified Atmosphere Packaging Conditions[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(10):107—108, 125.
- [10] WANG Zhi-wei, DUAN Hua-wei, HU Chang-ying. Modeling the Respiration Rate of Guava (Psidium GuajavaL) Fruit Using Enzyme Kinetics, Chemical Kinetics and Artificial Neural Network[J]. European Food Research and Technology, 2009, 229:495—503.
- [11] PAPAJORGI P J, PARDALOS P M. Advances in Modeling Agricultural Systems [M]. New York: Springer Science + Business Media, 2009:455—483.
- [12] SINGH S P, PAL R K. Controlled Atmosphere Storage of Guava (Psidium Guajava L) Fruit[J]. Postharvest Biol Technol, 2008, 47:296—306.
- [13] CANER C, ADAY M S, DEMIR M. Extending the Quality of Fresh Strawberries by Equilibrium Modified Atmosphere Packaging[J]. Eur Food Res Technol, 2008, 227:1575—1583.
- [14] REUCK K D, SIVAKUMAR D, KORSTEN L. Integrated Application of 1-methylcyclopropene and Modified Atmosphere Packaging to Improve Quality Retention of Litchi Cultivars During Storage[J]. Postharvest Biol Technol, 2009, 52:71—77.
- [15] 褚益可. 气调包装中气体浓度对牛肉保鲜的影响[J]. 食品与发酵工业, 2010, 37(4):226—231.
CHU Yi-ke. Effect of Gas Concentration in Modified Atmosphere Packaging on Fresh Beef[J]. Food and Fermentation Industries, 2010, 37(4):226—231.