BP 人工神经网络在酥性饼干货架寿命预测中的应用

孙增辉，张 蕾
(天津科技大学，天津 300222)

摘要：分别使用动力学方法、weibull 危害分析法、BP 人工神经网络法建立了预测美味酥饼干货架寿命的数学模型。3 种模型性能的比较表明：BP 人工神经网络预测结果更加准确、方便，使用 BP 人工神经网络模型的预测值与真实货架寿命值的相关性最高($R^2=0.963\ 8$)；并且 BP 模型能综合反映饼干的初始含水率、初始过氧化值，饼干包装材料的透氧率、透湿率以及贮存环境温湿度对其货架寿命的影响。

关键词：酥性饼干；货架寿命预测模型；动力学方法；weibull 危害分析法；BP 人工神经网络法
中图分类号：TB485.5；TS206 **文献标识码**：A **文章编号**：1001－3563(2011)03－0016－05

Application of BP Artificial Neural Network in Shelf Life Prediction of Packaged Cookie

SUN Zeng-hui, *ZHANG Lei*
(Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: Shelf life prediction models of cookie were established using dynamic method, weibull hazard analysis method and BP artificial neural network method respectively. Comparison results of the three models showed that the prediction result of BP artificial neural network model is more accurate and convenience; the correlation coefficient of BP model, R^2, between the outputs and targets is 0.963 8; BP neural network can incorporate various factors, including food product compositions, package properties, storage and logistics condition into a single model.

Key words: cookie; shelf life prediction model; dynamic method; weibull hazard analysis method; BP artificial neural network method

如何建立准确、简单、实用及经济的食品货架寿命预测模型一直是人们极为关切的问题。动力学模型是使用最早、最广泛的食品货架寿命预测模型，它主要描述化学反应速率与影响化学反应速率的因素之间的关系。确定某种食品的主要变质反应以及导致这种反应的主要因素，利用动力学原理即可预测其货架寿命[1]。然而，食品的变质反应是错综复杂的，有时很难分清哪个反应是导致食品变质的最主要反应，甚至同一反应同时受多种因素的影响，于是 weibull 危害分析法从总体上评定食品是否被接受。它属于接受性感官评价，这就避开了判断导致变质的主反应和主因素的困难[2]；但完全依赖感官评价，主观性过强。BP 人工神经网络自身的优点及其在经济预测领域的应用现状，为解决食品货架寿命预测问题提供了可能性。国内还没有出现用 BP 人工神经网络预测食品货架寿命的研究。BP 人工神经网络将包括食品组成、包装工艺及包材特性、贮运环境温湿度在内的多种因素综合于一个模型中，建立各种因素与食品货架寿命的关系[3]；其监督式学习的特点使其模型性能更接近实际物流。

1 实验

1.1 材料与设备

原料与试剂：某品牌美味酥饼干，由天津顶新集团提供，完成生产工序后直接运送实验室，常温避光存放。样品规格为 85 克/包，包装材料为 BOPP/VmCPP；石油醚(沸程 30～60 ℃)，天津市江天化工

收稿日期：2010-11-03
作者简介：孙增辉(1985－)，女，吉林通化人，天津科技大学硕士生，主攻包装材料。

技术有限公司;植物油过氧化值测定专用试剂,吉大小天鹅仪器有限公司。

仪器与设备:SH045A 恒定湿热试验箱,上海实验仪器总厂;RE-52A 旋转蒸发仪,上海亚荣生化仪器有限公司;GDYQ-2000S 植物油过氧化值快速测试仪,吉大小天鹅仪器有限公司;气体渗透性测定仪,GDP-C,德国 Bruuger 公司。

1.2　方法

1.2.1　测试方法

分别将 20 包美味酥饼干(原包装)放置于温度分别为 35,45 和 55 ℃的恒定湿热试验箱中进行遮光加速试验,每隔 15 d 取出测定饼干的过氧化值[4]。

饼干过氧化值测试:油脂试样的提取参照 GB 5009.56－2003;饼干初始含水率测试:依据 GB/T 5009.3－2003;包材透氧率测试:依据 GB 1038－2000;包材透湿率测试:参照 GB 1037－88。

1.2.2　weibull 感官评价方法

对上述实验设置中 3 种不同温度条件下贮存的包装美味酥饼干进行 weibull 危害分析的感官评定。评定小组由 15 人组成。感官评价标准按照 GB/T 20980－2007 中对酥性饼干的感官要求进行,weibull 感官评定步骤为[5－6]:

1) 在调查问卷中提问一个简单的问题"此包饼干是否被接受?"当一半以上评定小组成员认为产品不能被接受时,认为此产品不能被接受。

2) 列出不同贮存时间内变质饼干的袋数 K,待饼干完全变质时,将 K 值逆序编数为 k。

3) 计算危害值 $h(x)=(1/k)100$。

4) 计算累计危害率 $H(x)$。

5) 根据贮存时间和累计危害率绘制 weibull 危害分布曲线,曲线上累计危害率 $H(x)=50\%$所对应的贮存时间即为包装美味酥饼干的货架寿命。

1.2.3　BP 网络模型方法

根据饼干自身特性、生产工艺及物流过程的分析,选定 6 种影响饼干品质的重要因素为输入变量,分别为:饼干初始含水率、饼干初始过氧化值、包材透氧率、包材透湿率、贮存环境温度和相对湿度。

用 Matlab 编程构建 BP 人工神经网络预测模型。

2　结果与讨论

2.1　动力学模型

不同贮存温度条件下饼干过氧化值的变化见图 1。

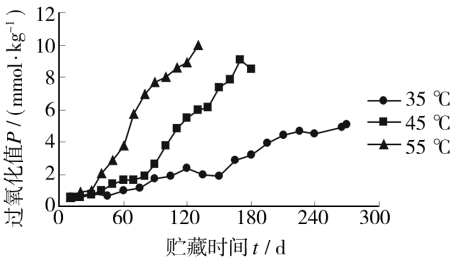


图 1　贮藏温度对酥性饼干过氧化值的影响

Fig. 1 POV of cookies changes with storage time under different storage temperature

饼干过氧化值随贮藏时间的变化在动力学上属于一级反应,即:

$$P=P_0 e^{k_P t}$$

式中:P 为过氧化值;P_0 为饼干初始过氧化值;k_P 过氧化值变化速率;t 为贮藏时间。

对不同贮存温度下包装酥性饼干过氧化值随时间的变化进行曲线拟合,结果见表 1。根据 GB 7100－2003 的规定,酥性饼干过氧化值超过 9.85 mmol/kg 时,认为其品质不可接受,此时的贮存时间即为饼干的货架寿命 t_s。由此计算各贮存温度下包装酥性饼干的货架寿命。

表 1　不同贮存温度下酥性饼干的货架寿命预测方程

Tab. 1 The prediction equation of cookies shelf life under different temperature

温度 T /℃	回归方程	R^2	预测货架寿命 t_s/d
55	$P=1.373\ 2e^{0.024t}$	0.900 0	111
45	$P=1.015\ 1e^{0.017\ 7t}$	0.966 5	168
35	$P=1.241\ 3e^{0.008\ 6t}$	0.938 8	321

对表中包装酥性饼干贮存温度与动力学模型预测值之间的关系做线性回归,见图 2。

即包装美味酥饼干的动力学货架寿命预测模型描述为:

$$\ln t_s=-0.053\ 1T+7.590\ 9$$

由上式可以看出,包装酥性饼干的动力学货架寿命预测模型只能反应贮存温度与饼干货架寿命的关系,然而在整个物流过程中,除了温度外,贮存环境的相对湿度、包装材料的阻隔性等很多因素对饼干的货架寿命都是有重要影响的;另外,包装酥性饼干的变质一般为物流过程中吸潮和油脂的酸败导致,并且 2 种反应都至关重要,而本研究使用的动力学模型只采

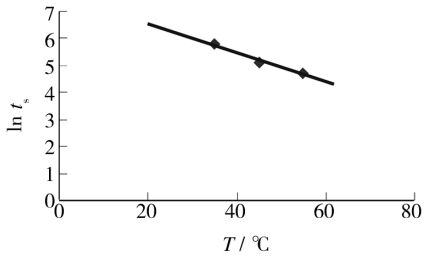


图 2 酥性饼干货架寿命的对数与贮存温度的关系(动力学模型)

Fig. 2 Relationship between logarithmic value of cookies shelf life and storage temperature (dynamic model)

用了过氧化值的品质变化表征饼干的货架寿命,没能考虑饼干的吸湿特性及水分吸收的动力学过程。这些不足限制了动力学货架寿命预测模型的准确性,以及在实际生产中的应用。

2.2 weibull 危害分析模型

以 35 ℃下包装美味酥饼干感官评价为例,根据饼干失效时间和累计危害率的关系绘制 weibull 危害分布图,见图 3, Weibull 模型的累计分布函数 $F(t_s)$:

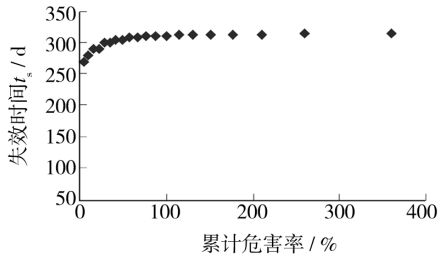


图 3 35 ℃下酥性饼干 weibull 危害分布图

Fig. 3 Weibull hazard distribution map of cookies under 35 ℃

$$F(t_s)=1-\exp\left[\left(-\frac{t_s}{\alpha}\right)^{\beta}\right]$$

累计危害函数与累计分布函数关系:

$$H(t_s)=\ln\left[1-F(t_s)\right]=\left(\frac{t_s}{\alpha}\right)^{\beta}$$

对数变形得到:

$$\lg t_s=\frac{t_s}{\beta}\lg H+\lg\alpha$$

35 ℃条件下包装酥性饼干 weibull 危害分布的对数坐标形式见图 4。Weibull 危害分析法认为当有 50%以上的评定人员认为产品不能接受时,产品失效。所以在 35 ℃贮存条件下,$H=50$ 时,$t=301$ d。同理计算 45 和 55 ℃贮存条件下包装美味酥饼干的货架寿命分别为 144 和 98 d,并绘制货架寿命与贮存温度 T 之间的线性关系,见图 5。

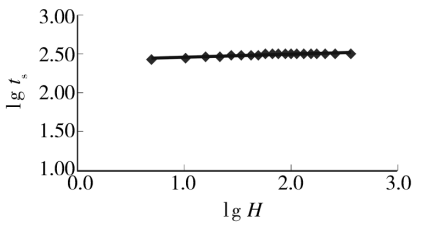


图 4 35 ℃下酥性饼干感官危害分析

Fig. 4 Sensory hazard chart of cookies under 35 ℃

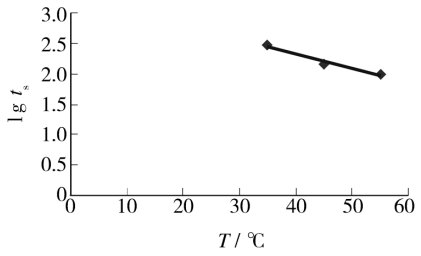


图 5 不同贮存温度对酥性饼干货架寿命的影响

Fig. 5 Relationship between different storage temperature and cookies shelf life

即包装美味酥饼干的 weibull 货架寿命模型为:

$$\log t_s=-0.024\ 4T+3.305\ 9$$

Weibull 危害分析模型从整体上评价饼干的品质变化程度,无需判断哪个反应是导致包装酥性饼干失效的最主要反应,这就避免了动力学货架寿命预测模型的片面性。然而,weibull 危害分析完全依赖感官评价数据,主观性过强;并且这种方法为终点感官评价,不能反映饼干贮运过程中的理化变化,也无法反映饼干品质变化的动态过程;另外,一个 weibull 模型只适用于其感官评定的特定条件,限制性很强。一般 weibull 危害分析预测模型需和动力学模型配合使用,因此,weibull 危害分析模型在食品货架寿命预测领域的应用也存在一定困难。

2.3 BP 人工神经网络模型

BP 人工神经网络要求用多组输入来训练网络,本研究中共收集 15 组 $\boldsymbol{p}, \boldsymbol{t}_s$ 向量组。向量 p_i 由 6 个元素组成,分别为:p_{i1} 为饼干初始含水率、p_{i2} 为初始过氧化值、p_{i3} 为包装材料透氧率、p_{i4} 为包装材料透湿率、p_{i5} 为贮存环境温度、p_{i6} 为贮存环境相对湿度;目标向量 $\boldsymbol{t}_s$,只包含一个元素,即包装酥性饼干的货架寿命。将实验数据分为 2 部分:一部分包含 9 组向量,构成训练矩阵,用来构建网络结构并训练网络;另

一部分为剩余 6 组向量，构成验证矩阵 ***p***-test 和 ***t***-test，用来对训练好的网络进行验证。因为实验收集到的初始数据存在不同的数量级，使得数据输入网络时权值差异很大，对于某些权值很小的元素，容易被计算机误判为 0，而实际上这种误判仅仅源于数量级的差别太大[7]。因此在 BP 网络训练前，需将数据进行预处理，将变化范围缩小到 0～1 之间，即数据归一化处理，公式如下：

$$p'_{ij}=\frac{p_{ij}-p_{i\min}}{p_{i\max}-p_{i\min}}$$

在 matlab 命令窗口输入 nntool 命令，调用 matlab 中人工神经网络工具箱，弹出数据处理窗口，输入预处理后数据 p，t，点击 New Network 按钮，弹出网络参数设置对话框，见图 6。设置具体参数后，点击 Create 按钮生成 BP 网络预测模型，见图 7。

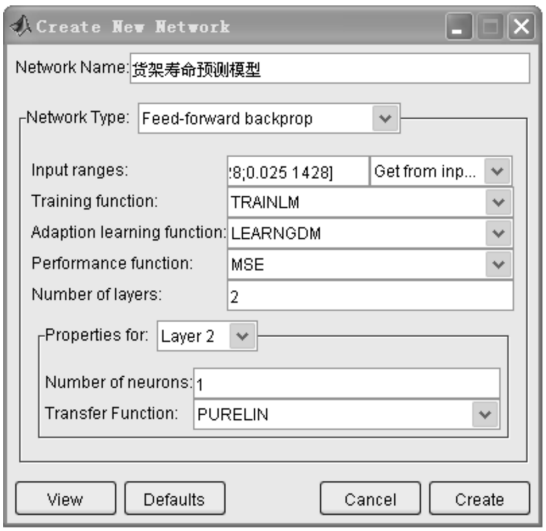


图 6　BP 模型参数设置页面

Fig. 6 Schematic diagram of parameter setting of BP model

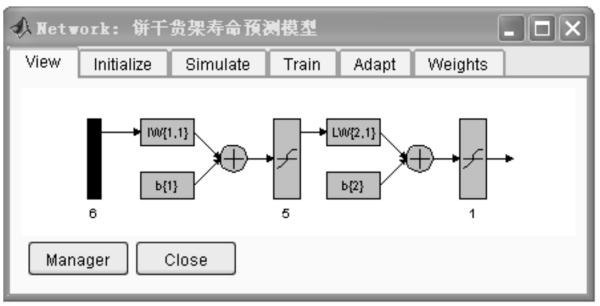


图 7　BP 网络模型结构

Fig. 7 Schematic diagram of BP model structure

本研究建立 BP 人工神经网络预测模型结构为：一个输入层，包含 6 个元素；一个输出层，包含一个元素；一个隐层，隐层的元素个数 n 按照经验公式 $n=\sqrt{n_i+n_o}+a$ 求得一个范围 4～13。选择不同的隐层神经元个数建立 BP 人工神经模型，根据训练结束后的网络训练次数和网络均方误差值，选择训练速度最快、均方误差最小的隐层元素个数[8]。本实验中 $n=5$ 时网络性能最优，故隐层神经元个数为 5。隐层传递函数选择 tansig 函数，输出层选择 purelin 函数，网络的学习函数选择 trainlm。

利用样本数据对生成的 BP 网络预测模型进行训练，相关参数设置见图 8，得到训练误差曲线见图 9，训练后网络的误差为 0.001 475 31，达到了目标值0.01，证明模型预测值与真实货架寿命值拟合度很高。



图 8　BP 网络模型训练参数设置页面

Fig. 8 Schematic diagram of training parameter setting of BP network model

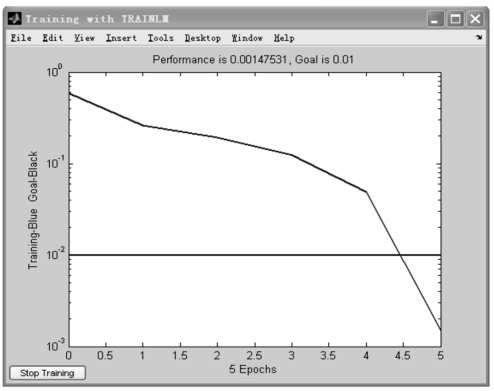


图 9　BP 人工神经网络模型训练误差曲线

Fig. 9 Curve of training error of BP model

BP 人工神经网络训练结束后，输入 ***p***-test 对网络模型进行仿真，得到 BP 模型输出向量 ***t***-out，计算网络输出值 ***t***-out 与实际贮存实验得到的货架寿命的误差。仿真结束后数据管理器窗口 outputs，error 窗口出现标题，见图 10，题目灰显后点击 view 按钮，在弹出对话框中显示包装酥性饼干预测值，见图 11。



图 10 BP 网络预测模型仿真效果

Fig. 10 Simulation of BP prediction model drawing

同样操作可查看其预测误差。

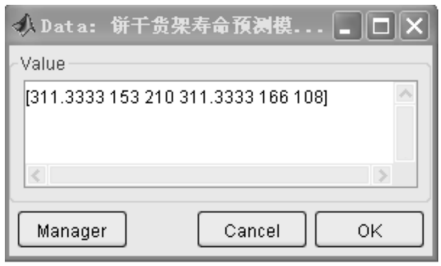


图 11 酥性饼干货架寿命预测值显示窗口

Fig. 11 Display window of prediction value of BP network

利用 3 种模型预测美味酥饼干的货架寿命,比较各模型预测值与实际贮存的酥性饼干货架寿命值的相关程度,结果见表 2。可以看出 BP 人工神经网络模型的相关性高达 0.9638,显示了更高的准确性。

表 2 不同货架寿命预测模型预测值与真实货架寿命值的相关性

Tab. 2 Predicted versus actual shelf life by different models

模型类型	线性回归方程	R^2
动力学模型	$Y=0.678x+21.903$	0.930 3
weibull 模型	$Y=1.293\ 7x+23.818$	0.913 5
BP 模型	$Y=1.020\ 3x+0.909$	0.963 8

从预测结果上分析,BP 人工神经网络模型的预测值与实际贮存包装酥性饼干的真实值最接近,两者相关性高达 0.9638,这证明 BP 人工神经网络预测模型具有更高的准确性。另外,BP 人工神经网络法将包装酥性饼干初始含水率、初始过氧化值、包装材料透湿率、包装材料透氧率、贮存环境温度、相对湿度等 6 种因素融合在一个货架寿命预测模型中,综合反映了导致饼干变质的内因与外因的共同作用,这更符合实际物流中包装酥性饼干品质变化的真实情况,为 BP 模型应用于实际生产中提供了可能性。

3 结论

3 种模型的比较证明,BP 人工神经网络预测模型的准确性更高、应用性更强、更接近实际物流环境。BP 人工神经网络预测在预测酥性饼干货架寿命上具有明显优势:

1) 预测值与饼干真实货架寿命值的相关性最高($R^2=0.9638$)。

2) 同一模型可综合反映包括包饼干内因与外因在内的 6 种因素对酥性饼干货架寿命的影响,更符合实际物流情况。内因:饼干初始含水率、初始过氧化值;外因:包装材料透湿率、包装材料透氧率、贮存环境温度、相对湿度。

3) 人机交换界面使 BP 货架寿命预测模型更直观,使用简单,方便;同时,推进了采用计算机技术解决食品领域问题的趋势。

参考文献:

[1] 韩兆让,刘宝璋. 包装保存期预测的理论和数学模型[J]. 包装工程,1993,14(6):257-261.

[2] FREITAS M A, COSTA J C. Shelf Life Determination Using Sensory Evaluation Scores: A General Weibull Modeling Approach[J]. Computers and Industrial Engineering, 2006, 51(4): 652-670.

[3] SIRIPATRAWAN Ubonrat, JANTAWAT Pantipa. A Novel Method for Shelf Life Prediction of a Packaged Moisture Sensitive Snack Using Multilayer Perception Neural Network[J]. Science Direct Expert Systems with Applications, 2008, 34(2): 1562-1567.

[4] 卢立新. 酥性饼干基于温度变化的氧化货架寿命预测[J]. 包装工程,2008,29(7):5-6.

[5] 刘晓丹,谢晶. 利用韦氏分析预测刀豆货架寿命并确定感官评分标准切分点[J]. 食品科学与技术,2006(7):172-174.

[6] 曹平,于燕波. 应用 Weibull Hazard Analysis 方法预测食品货架寿命[J]. 食品科学,2007,28(8):488-491.

[7] BUCINSKI A, ZIELINSKI H. Prediction of the Kind of Sprouts of Cruciferae Family Based on Artificial Neural Network Analysis[J]. Food Science, 2007, 25(4): 189-194.

[8] SOFU A, EKINCI F Y. Estimation of Storage Time of Yogurt with Artificial Neural Network Modeling[J]. American Dairy Science Association, Dairy Sci, 2007, 90: 3118-312.