

食品比热容的BP神经网络预测

张雷杰, 张敏*, 杨乐, 钟志友 (上海海洋大学食品学院, 上海201306)

摘要 引入BP人工神经网络计算模型, 预测了食品比热容随各种物性参数变化的非线性规律。该模型以食品中的水、蛋白质、碳水化合物及脂肪含量为输入量, 以其比热容为输出量, 研究的食品包括淀粉、橙汁、牛肉等近20种, 比热容变化范围覆盖较全面[1.5~4.0 kJ/(kg·K)]。结果显示: 该模型的最大相对误差为8.40%, 最大绝对误差为0.2868 kJ/(kg·K)。因此, 利用该模型能够较准确地预测出食品的比热容。

关键词 神经网络; 比热容; 食品; 预测

中图分类号 TS201 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)17-08296-02

Using BP Neural Networks to Predict Specific Heat Capacity of Food

ZHANG Lei-jie et al (College of Food Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

Abstract The study introduced BP artificial neural network computational model to predict non-linear rule of specific heat capacity of food with the change of all physical property parameters. Contents of water, protein, carbohydrate and fat of food were set as the input and the specific heat capacity was set as the output. The food contained starch, orange juice, beef etc, and the range of specific heat capacity was relatively comprehensive [1.5-4.0 kJ/(kg·K)]. The result showed that the maximum relative error of this model was 8.40%, the maximum absolute error was 0.2868 kJ/(kg·K). So the ANN model can be used to predict the specific heat capacity of food accurately.

Key words Neural network; Specific heat capacity; Food; Prediction

食品的比热容在其加工、流通、保鲜环节起着重要的作用, 而该参数又随其化学成分的不同而改变。其中, 含水率是影响比热容的重要因素。此外, 对于那些含水率低的食品如淀粉、乳粉, 其蛋白质、碳水化合物及脂肪的含量也对比热容的变化起着关键作用^[1]。长期以来, 国内外从事热物性研究的科研人员, 基本上都是对试验所得的数据进行分析后提出各种经验方程式^[2-4], 然而, 由于比热容变化的非线性, 使得这些经验方程式都难以从本质上揭示出它的普遍规律性。近年来出现的DSC测量技术虽然能弥补这些不足, 但由于其昂贵的价格, 使其难以得到很快普及。

人工神经网络是近年来为工程界广泛重视的一种系统分析方法, 已在信息与控制工程以及机械工程等众多领域的具体问题中得到应用。它可以通过学习来逼近任意非线性映射的能力, 将其应用于非线性系统的建模、辨识和预测可以不受非线性模型的限制^[5]。人工神经网络按照其信号的传输方向可以分为前向型和反馈型2种。根据常用的前向型人工神经网络神经元输入输出传递函数、学习算法以及网络结构的差异, 可以将其分为感知器网络、BP(backpropagation)网络等不同类型, 其中BP神经网络得到了最为广泛的应用, 它是前向人工神经网络的核心部分, 体现了人工神经网络中最精华的内容^[6]。笔者应用BP神经网络技术, 对食品比热容受水、蛋白质、碳水化合物及脂肪含量影响的变化规律进行了预测。

1 材料与方 法

1.1 材料 许多学者运用各种方法已经测量到了包括比热容在内的食品热物性参数。笔者所用的数据主要来自文献[7]及其他学者的测量值, 其中包含了淀粉、橙汁、牛肉等常

见的19种食品(表1)。

表1 19种常见食品的营养成分含量及比热容

Table 1 Nutritional component contents and specific heat capacity of the 19 kinds of common food

| 食品 Food | 水 % Water | 蛋白质 % Protein | 碳水化 合物 % Carbohydrate | 脂肪 % Fat | 比热容 kJ/(kg·K) Specific heat capacity |
|--------------------------|-----------------|---------------------|--------------------------------|----------------|---|
| 淀粉 Starch | 12.0 | 0.5 | 87.0 | 0.2 | 1.754 |
| 橙汁 Orange juice | 87.5 | 0.8 | 11.1 | 0.2 | 3.822 |
| 脱脂乳粉 Skim milk powder | 3.5 | 35.6 | 52.0 | 1.0 | 1.520 |
| 黄油 Butter | 15.5 | 0.6 | 0.4 | 81.0 | 2.125 |
| 全脂乳 Whole milk | 87.0 | 3.5 | 4.9 | 3.9 | 3.981 |
| 鳕鱼 Cod | 82.6 | 15.0 | 0.0 | 0.4 | 3.697 |
| 脱脂乳 Skim milk | 90.5 | 3.5 | 5.1 | 0.1 | 4.011 |
| 番茄酱 Tomato paste | 81.4 | 1.8 | 14.6 | 1.8 | 3.676 |
| 瘦牛肉 Lean beef | 71.7 | 21.6 | 0.0 | 5.7 | 3.433 |
| 马铃薯 Potato | 79.8 | 2.1 | 17.1 | 0.1 | 3.634 |
| 苹果 Apple | 84.4 | 0.2 | 14.5 | 0.6 | 3.759 |
| 熏肉 Smoked meat | 49.9 | 27.6 | 0.3 | 17.5 | 2.014 |
| 黄瓜 Cucumber | 96.1 | 0.5 | 1.9 | 0.1 | 4.103 |
| 小牛肉 Veal | 68.0 | 21.0 | 0.0 | 10.0 | 3.223 |
| 干酪 Cheese | 65.0 | 25.0 | 1.0 | 2.0 | 3.265 |
| 虾 Shrimp | 66.2 | 26.8 | 0.0 | 1.4 | 3.302 |
| 沙丁鱼 Sardine | 57.4 | 25.7 | 1.2 | 11.0 | 3.014 |
| 牛排 Steak | 60.0 | 25.0 | 0.0 | 13.0 | 3.056 |
| 胡萝卜 Carrot | 88.2 | 1.2 | 9.3 | 0.3 | 3.886 |

1.2 神经网络的训练 从表1中任取12组试验数据为训练样本, 余下7组试验数据为检验样本, 采用如图1所示的4-9-1的网络结构, 组成3层前向网络。为了提高训练的效率和首先对数据做了归一处理, 输入层与隐层采用的传递函数为sigmoid函数, 输出层采用purelin传递函数。在模型建立的过程中, 选用Matlab神经网络工具箱中的Newf函数初始化网络, 所训练的模型参数设定为: 最大学习次数2000, 网络性能目标误差0.00001, 学习率0.01, 动量常数0.7。

2 结果与分析

用训练过的神经网络模型对余下7组检验样本进行预

基金项目 国家自然科学基金资助项目(30771245); 上海市2007年度教委重点建设课程项目(6700308)。

作者简介 张雷杰(1984-), 男, 上海人, 硕士研究生, 研究方向: 制冷及低温工程。* 通讯作者, 博士, 教授, E-mail: zhangm@shou.edu.cn。

收稿日期 2009-03-03

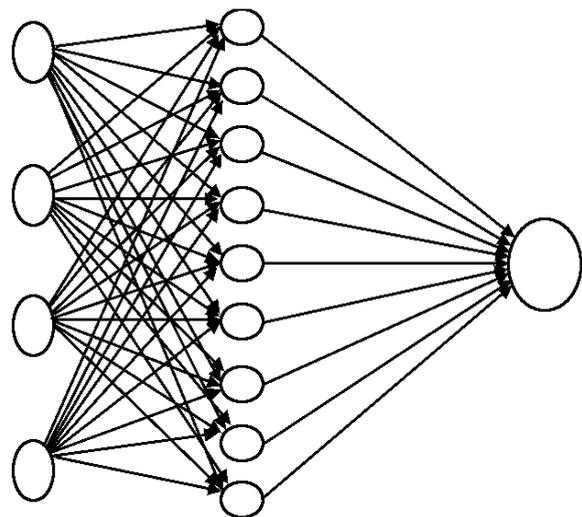


图1 人工神经网络构架示意

Fig.1 Schematic diagram of artificial nerve network structure

测,结果见表2。由表2可知,利用该模型可以很好地预测食品的水、蛋白质、碳水化合物及脂肪含量对比热容的影响,其最大相对误差为8.40%,最大绝对误差为0.2868 kJ/(kg·K)。同时,从图2中可以看出,其预测值与目标值有良好的线性关系($R^2 = 0.9162$),进一步说明了利用该神经网络进行预测

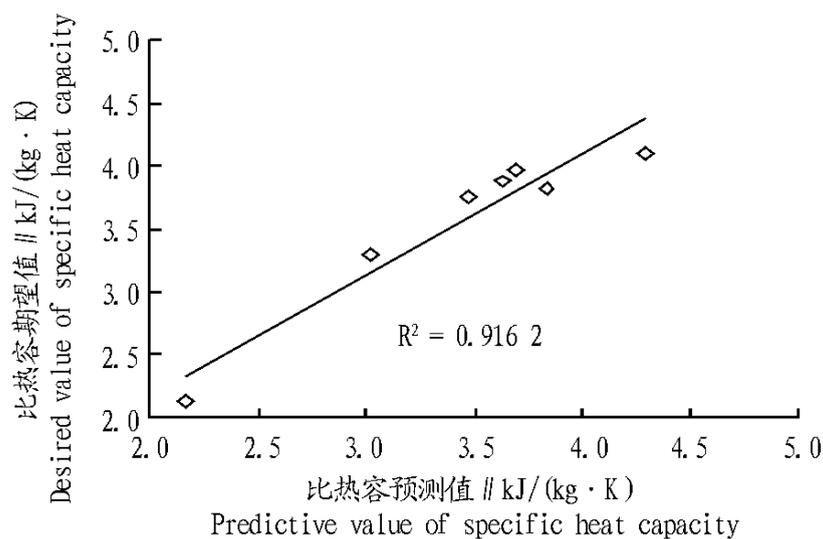


图2 比热容的预测值与期望值的线性关系

Fig.2 Linear relationship of predictive and desired values of specific heat capacity

表2 检验样本预测值与实测值误差对比

Table 2 Error comparison of predictive and desired values of test samples

| 食品 Food | 预测值 kJ/(kg·K) Predictive value | 实测值 kJ/(kg·K) Actual value | 绝对误差 kJ/(kg·K) Absolute error | 相对误差 % Relative error |
|-----------------|---|-------------------------------------|--|--------------------------------|
| 橙汁 Orange juice | 3.833 0 | 3.822 0 | 0.011 0 | 0.28 |
| 黄油 Butter | 2.166 6 | 2.125 0 | 0.041 6 | 1.96 |
| 脱脂乳 Skim milk | 3.69 42 | 3.981 0 | 0.286 8 | 7.20 |
| 苹果 Apple | 3.473 6 | 3.759 0 | 0.285 4 | 7.59 |
| 黄瓜 Cucumber | 4.298 9 | 4.103 0 | 0.095 9 | 4.77 |
| 虾 Shrimp | 3.024 5 | 3.302 0 | 0.277 5 | 8.40 |
| 胡萝卜 Carrot | 3.636 6 | 3.886 0 | 0.249 4 | 6.42 |

的可靠性。

3 结语

笔者运用BP神经网络,建立了食品比热容关于水、蛋白质、碳水化合物及脂肪含量的预测模型,预测结果表明:预测值与实测值吻合较好,并且误差较小,所建立的模型具有较好的实用性,说明运用该预测方法来模拟食品的比热容具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] RAHMAN SHAFIUR. Food properties handbook[M]. Boca Raton, FL: CRC Press, 1995: 238.
- [2] 俞微微. 计算猪肉、牛肉和鳕鱼的热物理性质的经验公式[J]. 大连水产学院学报, 2000, 15(1): 50-54.
- [3] 关志强, 蒋小强. 食品热焐和比热容的经验计算公式[J]. 食品工程, 2006(3): 55-58.
- [4] SANZ P D, ALONSO M D, MASCHERON R H. Thermophysical properties of meat products[J]. Transactions of ASAE, 1987, 30(1): 283-289.
- [5] HSHOP C M. Neural networks and their applications[J]. Review of Scientific Instruments, 1994, 65(6): 1803-1832.
- [6] 飞思科技产品研发中心. Matlab 6.5 辅助神经网络分析与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 35-38.
- [7] SINGH R P, HELDMAN D R. 食品工程导论[M]. 许学勤, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 2006: 388-389.
- [8] 李韵珠, 陆锦文, 吕梅, 等. 作物干旱指数(CWSI)和土壤干旱指数(SWSI)[J]. 土壤学报, 1995, 32(2): 202-209.
- [9] 申广荣, 田国良. 作物缺水指数监测旱情方法研究[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(1): 123-128.
- [10] 刘安麟, 李星敏, 何延波, 等. 作物缺水指数法的简化及在干旱遥感监测中的应用[J]. 应用生态学报, 2004, 15(2): 210-214.
- [11] SANDHOLT I, RASMUSSEN K, ANDERSEN J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 79: 213-234.
- [12] 齐述华, 王长耀, 牛铮. 利用温度植被旱情指数(TVDI)进行全国旱情监测研究[J]. 遥感学报, 2003, 7(5): 420-427.
- [13] 姚春生, 张增祥, 汪潇. 使用温度植被干旱指数法(TVDI)反演新疆土壤湿度[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19(6): 474-474.
- [14] 康为民, 罗宇翔, 郑小波. 贵州温度植被干旱的指数(TVDI)特征及其遥感干旱的监测应用[J]. 贵州农业科学, 2008, 36(4): 27-30.

(上接第8291页)

用[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2001, 26(5): 214-214.

- [12] 杨鹤松, 王鹏新, 孙威. 条件植被温度指数在华北平原干旱监测中的应用[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2007, 43(3): 314-318.
- [13] 潘卫华, 陈家金, 陈惠, 等. 基于MODIS数据的福建省干旱遥感动态监测分析[J]. 中国生态农学学报, 2008, 16(4): 1015-1018.
- [14] 刘丽, 周颖, 杨凤. 用遥感植被供水指数监测贵州干旱[J]. 贵州气象, 1998(6): 17-21.
- [15] 莫伟华, 王振会, 孙涵, 等. 基于植被供水指数的农田干旱遥感监测研究[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(3): 693-693.
- [16] YASAR EMEKIL, RUH BASTUG, DURSUN BUYUKTS, et al. Evaluation of a crop water stress index for irrigation scheduling of bermudagrass[J]. Agricultural Water Management, 2007, 90(3): 205-212.
- [17] 李韵珠, 陆锦文, 吕梅, 等. 作物干旱指数(CWSI)和土壤干旱指数