

基于BP神经网络的牡丹花热风干燥含水率预测模型^{*}

朱文学 孙淑红 陈鹏涛 陈志宏

(河南科技大学食品与生物工程学院, 洛阳 471003)

【摘要】 针对热风干燥制作牡丹压花时含水率不便实时测定的问题,探讨了干燥过程中热风温度、风速、压花板孔密度和牡丹花初始质量对干燥速率的影响。利用BP神经网络建立了干燥时间、热风温度、风速、牡丹花初始质量、压花板孔密度与牡丹花干燥过程中含水率之间的关系模型,采用Matlab神经网络工具箱对模型参数进行训练和模拟。结果表明,利用神经网络建立的模型仿真结果与实测值接近,预测性较好。

关键词: 牡丹花 干燥 含水率 预测模型 BP神经网络

中图分类号: S375; S685.11 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)08-0128-03

Moisture Content Prediction Modeling of Hot-air Drying for Pressed Peony Based on BP Neural Network

Zhu Wenxue Sun Shuhong Chen Pengtao Chen Zhihong

(College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract

Pressed peony was made by hot-air drying method. The influence of temperature of hot-air, speed of hot-air, drying board's hole density and the initial mass of peony on drying speed was discussed. Relationship model between drying time, temperature of hot-air, speed of hot-air, drying board's hole density, the initial mass and moisture content was built by using BP neural network. Parameters in the proposed model were trained and simulated in Matlab. The results indicated that the simulated values of the drying moisture content were close to the measured values.

Key words Peony, Drying, Moisture content, Prediction model, BP neural network

引言

压花(即平面干燥花)是将采集的植物材料(根、茎、叶、花、果)利用物理和化学方法,经过脱水、保色压制和干燥处理而成的平面花材^[1]。在传统压花中,花材主要选取单瓣花、复瓣花或重瓣性较少且花瓣含水率小的鲜花^[2],如康乃馨、一串红、迎春花和矢车菊^[3]等。而牡丹花这种重瓣多、花瓣含水率高的花材,大多采用分瓣压制,然后自然干燥的方法。这种方法存在耗时耗力的缺点且不易体现牡丹花原有的风韵。采用热风干燥的牡丹压花是将牡丹整花进行干燥,具有成品率高、干燥速度快、操作方便、成本低等众多优点,适合于大规模的工业化生产。

牡丹花的含水率是确定牡丹压花干燥终点的主

要依据。由于制作牡丹压花过程中,牡丹花主要固定在压花板中,比较难实现在线测定且易受干燥设备的影响。人工实时采样的方法测定牡丹花含水率耗时较长,一朵牡丹花完成干燥需十几到几十小时不等且需拆装压花板,不能有效地指导生产。本文采用热风干燥方法对牡丹压花的基本干燥特性参数进行研究,探讨热风温度、风速、压花板孔密度和牡丹花初始质量对干燥速率的影响,并建立牡丹花热风干燥BP神经网络模型,对牡丹花干燥过程中的含水率进行预测。

1 试验

1.1 材料

试验所用花料选自河南省洛阳市洛阳牡丹园鲜花期的牡丹花。牡丹花初始湿基含水率约为87%。

1.2 试验设备

压花器(自制)、热球风速仪、电子天平、隧道式干燥机、秒表等。

1.3 试验方法

将采后的牡丹鲜花去除枝叶、花托和雄蕊并用洗耳球去除过多的花粉,将处理过的牡丹整花放入压花板中压紧。其中压花板由吸水纸、薄海绵和带孔的金属板 3 部分组成。按照试验方案调节干花过程中热风温度、风速、压花板孔密度和牡丹花初始质量等参数,在试验过程中每隔 1 h 对样品进行称量,直至前后两次质量不再变化为止。

1.4 干燥因素对牡丹花干燥过程的影响

1.4.1 热风温度

试验时牡丹花初始含水率为 87%,初始质量为 $8.74 \text{ g} \pm 0.15 \text{ g}$,干燥热风温度分别为 35°C 、 40°C 、 45°C 和 50°C ,风速 1.5 m/s ,压花板孔密度为 $0.071 \text{ mm}^2/\text{mm}^2$,试验所用的压花板材为厚度为 2 mm 的不锈钢板,试验结果如图 1 所示。

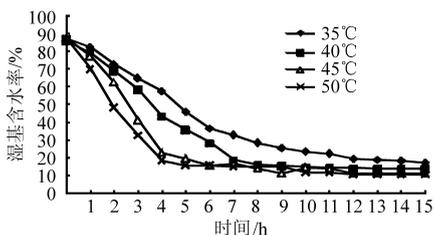


图 1 不同热风温度下含水率随干燥时间变化曲线
Fig. 1 Curves of moisture content and drying time at different temperatures of hot-air

牡丹花干燥的过程中考虑温度对花色素稳定性的影响,因此热风温度不宜过高,而温度太低干燥时间过长,体现不出热风干燥的优势。由图 1 看出,牡丹花在干燥的过程中,含水率随着时间的延长,其值逐渐降低,干燥温度对牡丹压花的干燥速率影响很大,温度越高干燥速率越快。当含水率不再下降、干燥速率趋于零时,则完成整个干燥过程。牡丹花干燥的过程是牡丹花吸收热量向外散发水分,吸水纸吸收这部分水分,在热风的作用下水分最终经过压花板上的孔隙散发到空气中。试验温度为 45°C 、干燥时间达到 10 h 时,牡丹花表面水分完全散发,而内部水分迁移速率小于吸水纸向空气中散发水分的速率,所以牡丹花的含水率暂时升高。试验温度为 50°C 时,牡丹花水分气化过快,吸水纸向空气中散发水分不及时,压花板内湿度过大,在氧气的作用下,最终制成的牡丹干花变色严重,且出现表面硬化的现象。

1.4.2 风速

牡丹花初始质量为 $11.28 \text{ g} \pm 0.15 \text{ g}$,干燥过程

中热风温度 40°C ,风速为 0.5、1.0、1.5 和 2.0 m/s 板孔密度为 $0.071 \text{ mm}^2/\text{mm}^2$,试验结果如图 2 所示。

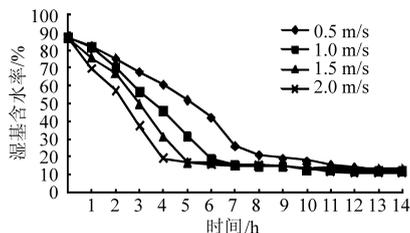


图 2 不同风速下含水率随干燥时间变化曲线
Fig. 2 Curves of moisture content and drying time at different speeds of hot-air

由图 2 得出,随着时间延长,不同风速条件下的干燥速率有所差别。在恒速干燥阶段风速越大,牡丹花干燥的速率就越大;当干燥进入降速干燥阶段,风速对干燥速率的影响不大。

1.4.3 压花板孔密度

牡丹花初始质量为 $13.10 \text{ g} \pm 0.15 \text{ g}$,干燥过程中热风温度为 40°C ,风速 1 m/s ,所用压花板孔密度为 0.016、0.024、0.039、0.071 和 $0.155 \text{ mm}^2/\text{mm}^2$,试验结果如图 3 所示。

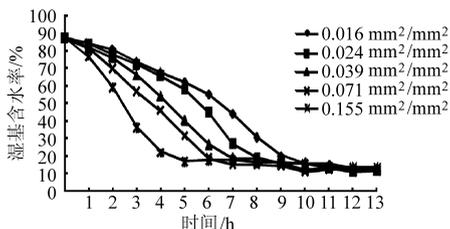


图 3 不同孔密度下含水率随干燥时间变化曲线
Fig. 3 Curves of moisture content and drying time at different board's hole densities

由图 3 可以得出,牡丹花的含水率随着时间的延长而降低,不同孔密度的压花板对牡丹压花干燥速率的影响显著。随压花板孔密度的增大,牡丹花的干燥速率也加大,压花板孔密度越大,牡丹花的干燥速率越大。

1.4.4 牡丹花初始质量

牡丹花初始质量分别为 6.86 g 和 14.68 g ,干燥过程中热风温度为 40°C ,风速 1.0 m/s ,所用压花板孔密度为 $0.071 \text{ mm}^2/\text{mm}^2$,试验结果如图 4 所示。

由图 4 可以得到,牡丹花的初始质量不同干燥过程中同一时段的含水率也不相同。随着牡丹花质量的增加,干燥速率随之下降。

2 牡丹花热风干燥 BP 神经网络模型建立

BP 神经网络采用的是反向传播学习算法,经过训练可以对样本不集中的输入给出合适的输出^[4]。Matlab 中的神经网络工具箱是以人工神经网络理论

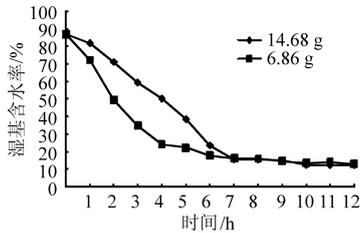


图 4 不同初始质量下含水率随干燥时间变化曲线
Fig. 4 Curves of moisture content and drying time at different initial masses

为基础,其中包含着大量 BP 神经网络的作用函数和算法函数,为 BP 神经网络的设计、训练、仿真研究提供便利的工具^[5]。

2.1 试验数据采集

BP 神经网络模型预测精度是建立在大量训练样本基础之上,因此训练样本应该足够大。选取干燥试验中比较稳定的数据作为样本。牡丹整花干燥的过程中,影响干花品质的因素很多,在此选取热风温度、风速、压花板孔密度和牡丹花初始质量的试验实测数据为输入样本,干燥过程中牡丹花湿基含水率的实时测定数据为输出样本。试验数据如表 1 所示。

表 1 试验数据
Tab.1 Experimental data

试验号	热风温度 / $^{\circ}\text{C}$	风速 / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	压花板孔密度 / $\text{mm}^2\cdot\text{mm}^{-2}$	牡丹花初始质量/g
1	45	1.0	0.016	14.64
2	45	1.0	0.024	15.28
3	45	1.0	0.039	15.58
4	45	1.0	0.071	15.88
5	45	1.5	0.016	10.52
6	45	1.5	0.024	14.45
7	45	1.5	0.071	11.79
8	45	2.0	0.016	14.18
9	45	2.0	0.024	15.19
10	45	2.0	0.039	16.04
11	45	2.0	0.071	16.49
12	40	2.0	0.016	6.50
13	40	2.0	0.024	9.11
14	40	2.0	0.039	10.22
15	40	2.0	0.071	10.50
16	40	1.0	0.024	8.14
17	40	1.0	0.071	9.54
18	40	1.5	0.016	11.12
19	40	1.5	0.024	13.93
20	40	1.5	0.039	11.55
21	40	1.5	0.071	13.35
22	40	1.5	0.155	13.89
23	40	0.5	0.071	8.53
24	35	2.0	0.155	5.86
25	35	1.0	0.016	5.54
26	35	1.5	0.071	10.15
27	45	1.5	0.071	17.77

2.2 BP 神经网络参数的选择

本试验有 5 个输入,分别是干燥时间、热风温度、风速、压花板孔密度、牡丹花初始质量,一个输出为牡丹花湿基含水率,所以模型的输入层节点数为 5,输出层节点数为 1。经过多次试用选择隐含层神经元的个数为 25。神经网络神经元的传递函数隐含层为正切 S 型函数 tansig,输出层传递函数为线性函数 purelin,训练函数 trainlm。神经网络结构如图 5 所示。

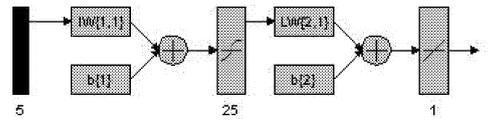


图 5 BP 神经网络结构图

Fig. 5 BP neural network structure

2.3 数据预处理

在神经网络学习中,输入数据的幅值大小不一,测量值大的波动会垄断神经网络的学习,从而不能很好地反映测量值小的变化。所以,在进行网络训练前要将输入数据进行归一化处理,使其与输出数据都在 $[0, 1]$ 范围内。

2.4 网络的训练与测试

选用 1~26 号试验的 342 组数据作为训练样本,经过 175 次训练停止,均方差小于 0.000 2。训练的收敛曲线如图 6 所示。

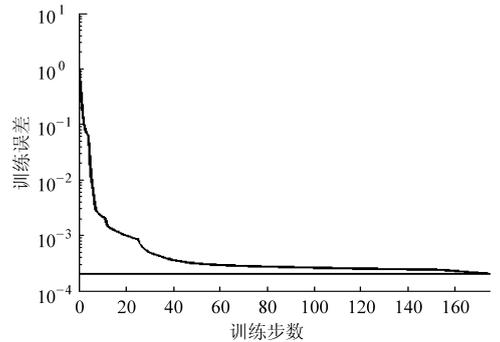


图 6 均方误差曲线

Fig. 6 Squared error curve

2.5 仿真检验

以 27 号试验作测试样本进行仿真检验,测试结果如图 7 所示。

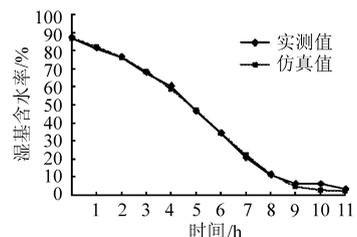


图 7 BP 神经网络仿真结果

Fig. 7 Simulated results of BP neural network

- and Development, 2007, 28(1): 155 ~ 158. (in Chinese)
- 9 肖宏儒, 宋卫东, 朱志祥, 等. 茶叶微波加工技术的研究[J]. 农业机械学报, 2004, 35(3): 175 ~ 179.
Xiao Hongru, Song Weidong, Zhu Zhixiang, et al. Tea processing by microwave technique[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(3): 175 ~ 179. (in Chinese)
- 10 梁俐俊. 茶叶感官审评的评分方法[J]. 福建茶叶, 1999(4): 14 ~ 16.
- 11 龚淑英. 名优绿茶感官审评方法及技术要点[J]. 中国茶叶加工, 2001(1): 44 ~ 46.
- 12 董娟娥, 马柏林. 超声波提取杜仲叶中有效成分工艺研究[J]. 西北林学院学报, 2003, 18(3): 66 ~ 68.
Dong Juane, Ma Bolin. An ultrasonic extraction method of *Eucommia ulmoides* leaves [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2003, 18(3): 66 ~ 68. (in Chinese)
- 13 董娟娥, 马希汉. 反向高效液相色谱法测定杜仲雄花茶及其产品中的京尼平苷酸和绿原酸[J]. 色谱, 2007, 25(2): 217 ~ 219.
Dong Juane, Ma Xihan. Determination of geniposidic acid and chlorogenic acid in male flowers and related products of *Eucommia ulmoides* by reversed-phase high performance liquid chromatography [J]. Chinese Journal of Chromatography, 2007, 25(2): 217 ~ 220. (in Chinese)
- 14 董娟娥, 马柏林, 贾二红. 杜仲叶中桃叶珊瑚苷测定方法的研究[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(1): 53 ~ 55.
Dong Juane, Ma Bolin, Jia Erhong. Study on measuring method of aucubin in *Eucommia ulmoides* leaf [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2001, 16(1): 53 ~ 55. (in Chinese)
- 15 朱德文, 岳鹏翔, 袁弟顺. 不同杀青方法对绿茶品质的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 275 ~ 279.
Zhu Dewen, Yue Pengxiang, Yuan Dishun. Effects of different fixation methods on the quality of green tea [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 275 ~ 279. (in Chinese)
- 16 白喜婷, 朱文学, 廉小梅. 杀青和初炒对杜仲绿茶中绿原酸和总黄酮的影响[J]. 农业机械学报, 2009, 40(1): 132 ~ 136, 142.
Bai Xiting, Zhu Wenxue, Lian Xiaomei. Effect of fixing and drying process on the chlorogenic acid and total flavonoids contents in *Eucommia* green tea [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 132 ~ 136, 142. (in Chinese)

(上接第 130 页)

由图 7 可得出, BP 神经网络模型预测牡丹花干燥过程中的含水率与实测值拟合性较好, 预测结果比较可靠。

3 结束语

分析了在牡丹整花压制过程中各因素对干燥过

程中含水率的影响。利用 Matlab 中的神经网络工具箱建立 BP 神经网络模型, 实现了对牡丹花干燥过程中含水率的实时预测。以实测值对模型进行仿真, 仿真结果与实际值有较好的拟合性, 说明所建立的 BP 神经网络模型预测精度较高。

参 考 文 献

- 1 肖绿田, 蒋利媛, 喻尚平, 等. 植物压花技术[J]. 湖南林业科技, 2008, 35(4): 56 ~ 59.
Xiao lütian, Jiang liyuan, Yu Shangping, et al. The technology of pressed flowers [J]. Hunan Forester Science and Technology, 2008, 35(4): 56 ~ 59. (in Chinese)
- 2 张俊. 平面干花花材的压制与保存方法研究[J]. 北方园艺, 2010(9): 109 ~ 111.
Zhang Jun. The study of pressing and preservation of dehydrated flower [J]. Northern Horticulture, 2010(9): 109 ~ 111. (in Chinese)
- 3 李云仙, 付惠, 林萍, 等. 压花制作工艺[J]. 西南林学院学报, 2009, 29(6): 88 ~ 90.
Li Yunxian, Fu Hui, Lin Ping, et al. Preparation of pressed flowers [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2009, 29(6): 88 ~ 90. (in Chinese)
- 4 张峥, 杨文平, 石博强, 等. MATLAB 程序设计与实例应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2003.
- 5 李萍, 曾令可, 税安泽, 等. 基于 MATLAB 的 BP 神经网络预测系统的设计[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(4): 149 ~ 150.
Li Ping, Zeng Lingke, Shui Anze, et al. Design of forecast system of back propagation neural network based on MATLAB [J]. Computer Applications and Software, 2008, 25(4): 149 ~ 150. (in Chinese)