

基于 PSO-BP 算法的油菜籽干燥工艺参数的优化

朱光耀^{1,2}, 谢方平^{1*}, 陈凯乐¹, 代振维¹

(1.湖南农业大学工学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南机电职业技术学院, 湖南 长沙 410151)

摘要:结合神经网络和粒子群算法(PSO)对油菜籽干燥工艺进行优化:采用BP神经网络建立油菜籽平均水分下降速率和发芽率与干燥温度、初始含水率、真空度之间的三层网络预测模型,利用试验样本数据计算并确定预测模型的网络权值及阈值,再采用PSO算法进行参数优化。试验验证结果表明,对比BP网络模型和PSO-BP模型,发现BP网络仿真值相对误差最大值为4.5%,而PSO-BP仿真值最大相对误差小于2.93%。

关键词:油菜籽干燥;粒子群算法;神经网络;工艺优化

中图分类号: TP183

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2017)02-0222-04

Parameter optimization of vacuum drying process for rapeseed based on PSO-BP algorithms

ZHU Guangyao^{1,2}, XIE Fangping^{1*}, CHEN Kaile¹, DAI Zhenwei¹

(1.College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.Hunan Mechanical & Electrical Polytechnic, Changsha 410151, China)

Abstract: Vacuum drying process for rapeseed was optimized by combination of neural network and particle swarm algorithms. BP neural network algorithm was used to establish the three layer network model to forecast the relationship between the drying temperature, initial moisture content, pressure and the average rate of moisture dropping, germination rate of rapeseed. Network weight and threshold of the model was calculate by using the sample data from the experiment. Then, PSO algorithm was used to optimize the initial parameters of the model. It is verified by experiment that the maximum relative error of BP networkmodel was 4.5%, whereas it was 2.93% for PSO-BP network model. The combination of BP neural network and PSO algorithms could decrease the error between the actual value and network simulated value.

Keywords: rapeseed drying; particle swarm optimization; BP neural network; process optimization; intelligent control

传统干燥设备对油菜籽干燥过程的参数难以实时、精确监控,导致油品质量稳定性不高^[1-2]。为实现油菜籽干燥过程的智能控制,提高干燥效率和干燥质量,对干燥过程进行工艺优化、建立干燥过程参数的预测模型十分必要。刘斌等^[3]提出一种油菜籽热风干燥控制系统的模糊PID控制算法,研究了PID控制和模糊PID控制在油菜籽热风干燥控制系统中的温度响应特性和系统适应性。杨玲等^[4]研究了不同初始含水率、热风温度和风速条件下甘

蓝型油菜籽的热风干燥特性,比较了10种数学模型在甘蓝型油菜籽热风干燥中的适用性。

笔者采用反向传播神经网络(BPNN)建立油菜籽平均水分下降速率和发芽率与干燥温度、初始含水率、真空度之间的三层网络预测模型,利用样本值对其进行训练获得预测模型的参数,再结合粒子群算法对该模型进行寻优计算,在可行的搜索域内搜索满足条件的工艺参数最优解,以获得更为精确的预测模型,以期对油菜籽干燥过程的工艺参数优

化研究提供一种新的思路和方法。

1 神经网络建模及仿真

1.1 材料

油菜品种为湖南高油酸753。采集油菜籽后除杂并混合均匀，测量其初始含水率。发芽率测定参照GB5520—1985^[5-6]。

油菜籽静态干燥过程中水分含量的测定采用质量差法。计算油菜籽失水百分率 A 和平均水分下降速率 V 。

$$A = -\frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中： M_1 为油菜籽样品的干燥前质量； M_2 为油菜籽样品的干燥后质量。

$$V = \frac{A}{T} \quad (2)$$

式中： T 为 0.5 min。

1.2 油菜籽干燥工艺参数神经网络模型的建立

干燥温度、油菜籽初始含水率、真空度是影响油菜籽干燥的最主要的因素^[7]，BP神经网络模型

中，将油菜籽平均水分下降速率和发芽率作为输出层，干燥温度、初始含水率、真空度3个参数作为输入层，中间层为隐含层。输入层有3个神经元分别为干燥温度 X_1 、初始含水率 X_2 和真空度 X_3 ，输出层为2个神经元，分别为平均水分下降速率 Y_1 和发芽率 Y_2 。

1.3 网络训练及仿真试验

选取平均水分下降速率与发芽率均在70%以上的试验样本50组，其中35组作为训练样本，另外15组作为测试样本。首先利用MATLAB软件对35组训练样本数据进行网络训练，将训练得到最终的预测结果模型保存；再采用15组测试样本对已训练好的网络进行测试试验，测试其准确性，训练结果如图1所示。由图1可以看出，通过BP神经网络方法所建立的网络模型，能较为真实地反映输入、输出之间的函数关系，将实际样本值和BP网络训练值相对比后，相对误差低于4.6%，可近似认为利用该方法获得的网络模型可靠。

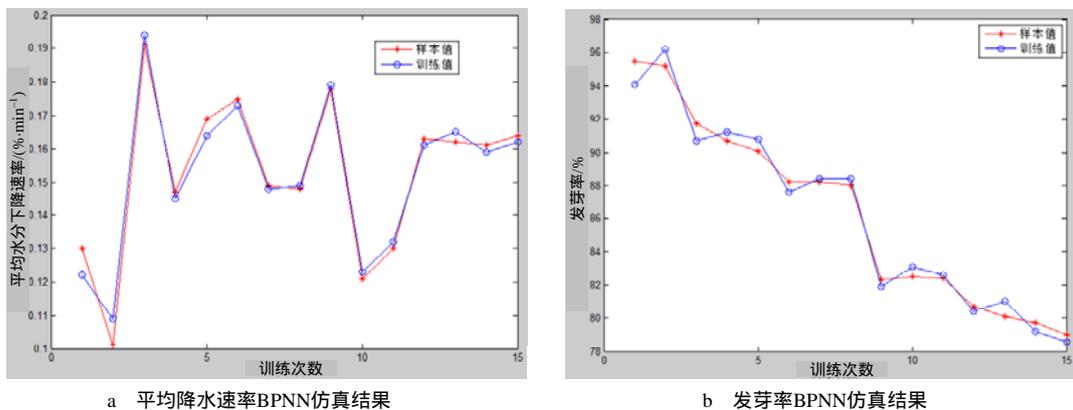


图1 实际样本值与BP算法网络训练输出值

Fig.1 Comparison between actual sample value and BP algorithm network training output value for the average rate of moisture dropping and the germination rate

2 PSO-BP 优化算法建模

2.1 PSO-BP 算法设计

利用PSO算法^[8-11]对BP神经网络初始权值、阈值参数进行优化，建立PSO-BP人工神经网络模型。

1) 初始化BP神经网络结构。根据油菜籽平均发芽率和平均水分下降速率都在70%以上的样本数据，计算并确定网络权值和阈值，建立油菜籽平均水分下降速率和发芽率与干燥温度、初始含水率、真空度之间的神经网络预测模型。

2) 将BP网络模型中的各个神经元连接权值构成向量 $W_i = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ ，该权值向量即为PSO网络中的各个粒子，随机初始化PSO网络结构，即初始化公式(3)和(4)中的惯性权重、学习因子、粒子速度和位置。

3) 首先粒子从随机的位置和速度出发，将粒子的位置和速度分别初始化为 $x_{id}(t)$ 和 $v_{id}(t)$ ，其中 i 和 d 分别为粒子个数和粒子维度，根据公式(3)和(4)不断更新粒子的位置和速度，公式(3)为粒子的速度

更新公式，公式(4)为粒子的位置更新公式。

$$v_{id}(t+1) = \omega \times v_{id}(t) + c_1 \times r_1 \times [p_b(t) - x_{id}(t)] + c_2 \times r_2 \times [g_b(t) - x_{id}(t)] \quad (3)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (4)$$

式中： ω 是惯性权重； c_1, c_2 是学习因子。取 $c_1 = c_2 = 2$ ； r_1, r_2 是(0, 1)之间的随机常数。

4) 计算每一个粒子的适应度函数值,迭代比较后,根据适应度函数的最优值确定最新的个体极值 p_b 和全局极值 g_b ,直到找到最优的极值为止。适应度函数值如公式(5)所示,若通过网络计算出的平均水分下降速率为 V ,发芽率为 G ,期望输出的水分下降速率为 v ,发芽率为 g ,整个迭代过程即可理解为找到适应度函数值,从而找出粒子群中个体极值 p_b 和全局极值 g_b ,其数学模型公式(6)所示。

$$F = 1 - (\omega_p |V - v| + \omega_k |G - g|) \quad (5)$$

$$f(x)_{\min} = \sum_{i=1}^n \omega_i f_i(x_j), (a \leq x_j \leq b) \quad (6)$$

式中： ω_p, ω_k 分别为水分下降速率和发芽率的权重系数,其约束条件为 $\omega_p + \omega_k = 1$,设定 $\omega_p = 0.5, \omega_k = 0.5$ ； x_j 表示第 j 个粒子的位置, ω_i 为第 i 个目标的权重, a 和 b 为变量范围。

5) 判断计算出来的适应度函数值是否达到预设的精度或者达到最大的迭代次数,如果满足条件即找到了全局最优值就停止计算。如果没找到则重新初始化一组权值重复计算,在此过程中设定有最大迭代次数,若达到最大迭代次数仍未输出极值,此时也应该停止计算,说明该算法在预设的精度范围内不收敛。优化算法的流程如图2所示。

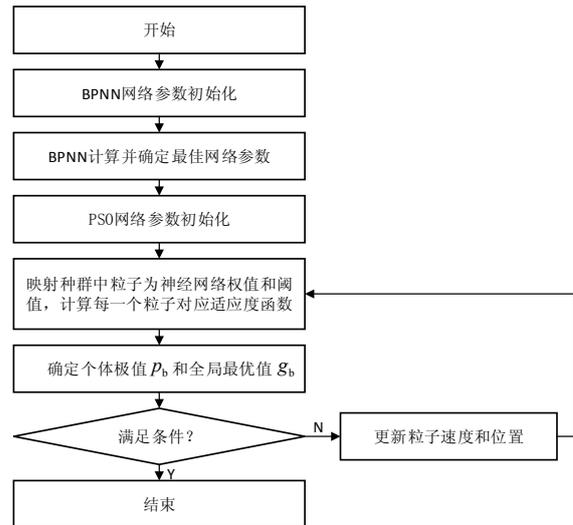


图2 PSO-BP模型计算流程

Fig.2 PSO-BP calculation process

2.2 优化结果验证

利用建立的PSO-BP算法,对油菜籽干燥模型进行寻优计算。优化过程中,先对样本数据进行归一化处理,计算完成后,将所得出网络训练结果反归一化处理,得到最终的预测结果。PSO-BP算法试验值与网络仿真值对比结果列于表1。表中 $V、G、T、A、P$ 分别为油菜籽的平均水分下降速率、发芽率试验值、干燥温度、初始含水率和真空度, $V'、G'$ 为PSO-BP网络输出的仿真值, $v1$ 和 $g1$ 分别为平均水分下降速率和发芽率的PSO-BP仿真值与试验值的相对误差, $v2$ 和 $g2$ 分别为平均水分下降速率和发芽率的BP仿真值与试验值的相对误差。

表1 PSO-BP算法试验值测试结果

Table 1 Test result of PSO-BP simulation

序号	$T/^\circ\text{C}$	$A/\%$	P/MPa	$V/(\% \cdot \text{min}^{-1})$	$V'/(\% \cdot \text{min}^{-1})$	$v1/\%$	$v2/\%$	$G/\%$	$G'/\%$	$g1/\%$	$g2/\%$
1	55	18	0.100	0.130	0.128	1.54	3.85	96.5	95.7	0.83	1.83
2	60	20	0.096	0.147	0.148	0.68	4.50	95.5	97.4	1.99	2.31
3	65	27	0.100	0.179	0.182	1.68	2.23	92.3	89.6	2.93	3.12
4	70	19	0.093	0.164	0.167	1.83	3.66	87.0	88.6	1.84	1.85
5	75	16	0.090	0.117	0.118	0.85	1.71	73.0	74.2	1.64	1.81

图3为对比BPNN、PSO-BPNN与目标值的关系图。从图中可以看出,采用PSO-BP结合优化算法

比BP算法优化模型更接近实际样本值,能够减小仿真误差。

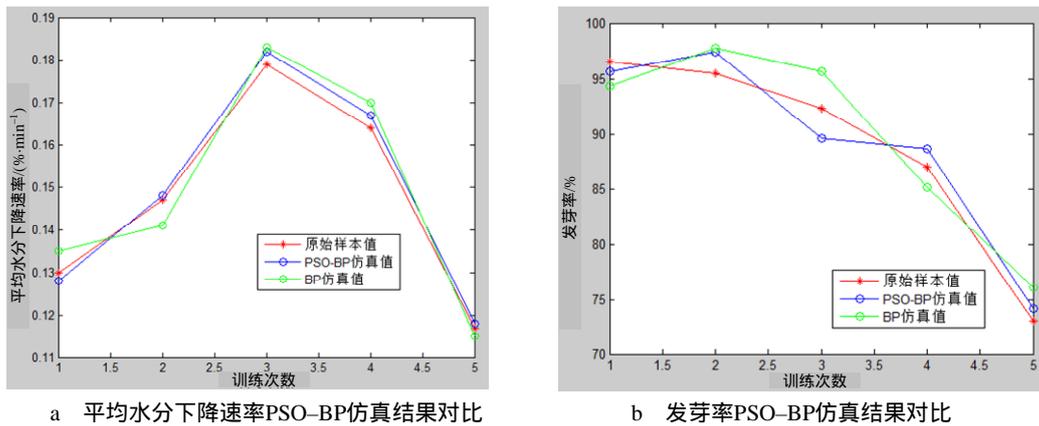


图3 BP算法网络训练输出值和PSO-BP算法网络训练输出值

Fig.3 Comparison between the BP and PSO-BP training output value for the average rate of moisture dropping and the germination rate

由结果可知，通过PSO-BP算法建立的模型，有效地降低了试验值与BP网络仿真值之间的误差，BP网络仿真值相对误差最大值为4.5%，而PSO-BP仿真值最大相对误差小于2.93%，可近似认为所建立的PSO-BP模型，可实现对油菜籽干燥过程的工艺参数进行优化。

参考文献:

[1] 谢艳群, 蒋蘋, 廖敦军, 等. CD-100型滚筒式烘干机油菜籽干燥试验[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2012, 38(3): 344-346.

[2] 史春英, 郭晓云, 贾怀远, 等. 油菜籽干燥工艺的研究[J]. 佳木斯大学学报, 2009, 27(6): 903-904.

[3] 刘斌, 尹晓峰, 丁珠玉, 等. 模糊PID在油菜籽热风干燥控制系统的研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2016, 41(4): 109-114.

[4] 杨玲, 陈建, 杨屹立, 等. 甘蓝型油菜籽热风干燥特性及其数学模型[J]. 现代食品科技, 2014, 30(8): 144-150.

[5] 付浩华, 包李林, 熊巍林, 等. 油菜籽薄层真空干燥

技术的研究[J]. 粮油食品科技, 2011, 19(3): 27-29.

[6] 陈凯乐, 谢方平, 刘大为, 等. 油菜籽静态变温干燥试验[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2015, 35(3): 281-283.

[7] 杨国峰, 丁超, 蔡浩飞, 等. 油菜籽干燥技术研究进展[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(5): 124-127.

[8] 谢艳群. 智能油菜籽烘干机的设计与试验研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.

[9] 李雪, 顾沈明, 年浩, 等. 改进粒子群算法优化BP神经网络的粮食产量预测[J]. 闽南师范大学学报(自然科学版), 2014, 83(1): 56-58.

[10] 倪立斌, 刘继常, 伍耀庭, 等. 基于神经网络和粒子群算法的激光熔覆工艺优化[J]. 中国激光, 2011, 38(2): 11-20.

[11] 马修元, 段钰锋, 刘猛, 等. 基于PSO-BP神经网络的水焦浆管道压降预测[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(5): 54-59.

责任编辑: 罗慧敏
英文编辑: 吴志立