



应用人工神经网络算法优化面包配方

冯占利, 李文钊, 赵璐

(食品营养与安全教育部重点实验室, 天津科技大学食品工程与生物技术学院, 天津 300457)

摘要: 在优化面包配方实验中, 针对面包易老化、不耐储存这一问题, 采用人工神经网络 (artificial neural network, ANN) 对 12 个影响因素和 6 项观测指标进行模拟与建模, 最终获得了口感好、储存效果好的最优配方, 即: 面粉 32%, 水 7%, 盐 0.962%, 奶粉 8%, 果葡糖浆 30%, 酥油 18%, 糖醇 3%, 保鲜酶 0.03%, 淀粉酶 0.001%, 脂肪酶 0.002%, 木聚糖酶 0.005%, 卡拉胶 0.5%, 黄原胶 0.5%。

关键词: 面包; 配方优化; 人工神经网络; 实验设计

中图分类号: TS201.1 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2011)01-0014-05

Optimization of Bread Formulation Based on Artificial Neural Network Algorithm

FENG Zhan-li, LI Wen-zhao, ZHAO Lu

(Key Laboratory of Food Nutrition and Safety, Ministry of Education, College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: In the optimization of bread formulation experiment, aiming at the question of bread aging and short storage, artificial neural network (ANN) was used to model the twelve effect factors and six targets. Best formula was obtained that have good taste and can keep longer time by this model, that is the best ratio of raw material respectively are flour 32%, water 7%, salt 0.962%, milk power 8%, high fructose syrup 30%, butter 18%, sugar alcohol 3%, fresh enzyme 0.03%, starch enzyme 0.001%, fat enzyme 0.002%, xylan enzyme 0.005%, carrageenan 0.5%, xanthan gum 0.5%.

Keywords: bread; formulation optimization; artificial neural network; experimental design

面包以其营养丰富、组织蓬松、易于消化、食用方便等特点深受大众喜爱, 在全世界的消费量占绝对优势。作为人类最重要的主食之一, 人们对于它的需求量越来越大, 随着科学的发展和大众健康意识的提高, 人们对其营养与口味的要求也越来越高, 面包工业必须不断地与时俱进、推陈出新才能迎合人们的需要。然而, 不论是面包品质改进还是研发新品种都是一个复杂的过程, 因为影响面包品质的因素很多, 除和面、醒发、烘烤等加工工序及工艺条件外, 面粉、油脂等主辅原料, 各种食品添加剂, 尤其是一些新的品质改良剂, 都会影响面包的品质^[1-2]。本文主要针对面包易老化、不耐储存这一问题, 重点研究面包主辅

料及新配料的适宜配比, 及获得保鲜期较长的优化面包配方。

在配方研究中, 需要观测的面包品质指标很多, 包括香味、颜色、口感等感官指标, 物性指标, 货架期, 理化指标等。这种多因素多指标的研究课题若一一采用传统的实验设计方法, 如分部实验设计、正交实验设计等, 既耗时又耗力, 且难以将不同因素、不同指标间复杂关系进行统一。近年来, 人工神经网络算法在解决多因素多观测值问题上效果显著, 它只需提供一定的数据, 不需知道具体的函数形式, 即可对结果进行优化^[3]。因此, 本文应用人工神经网络算法优化面包配方。

收稿日期: 2010-09-07; 修回日期: 2010-12-02

基金项目: 企业合作项目“欧式面包品质改进与工业化生产”(1000140008)

作者简介: 冯占利(1985—), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生; 通信作者: 李文钊, 副教授, liwenzhao@tust.edu.cn.

1 材料与amp;方法

1.1 主要原料

面包专用粉,福建仁升食品有限公司;奶粉,内蒙古伊利实业集团股份有限公司;乳化剂,广州美晨集团股份有限公司;酶制剂,天津市诺奥科技发展有限公司;卡拉胶,闽南琼胶有限公司;黄原胶,淄博中轩生化有限公司;瓜尔豆胶,河南正兴食品添加剂有限公司.

1.2 主要设备

SZM-10 型多功能搅拌机,东莞旭众食品机械有限公司;XYF-2E-3P 型远红外线食品烤炉,广州红菱电热设备有限公司;SPX-250C 型恒温恒湿箱,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;电子精密天平,奥豪斯(上海)公司;TA.XT.Plus 质构仪,英国 Stable Micro System 公司.

1.3 面包加工方法

1.3.1 工艺流程

原辅料预处理→面团调制→发酵→分割→滚圆→醒发→整形→醒发→烘烤→冷却→包装.

1.3.2 要点

原料前处理包括:将适量酶制剂放入酵母中干混均匀,加入 35℃ 的水充分溶解,将其活化,待用;将食品胶按一定比例复配再加入白砂糖混匀后加入 70℃ 热水将其糊化,在 70℃ 热水中保温 1 h 使其糊化完全,冷却备用.另外,焙烤时使用下火温度 180℃,上火温度 200℃ 焙烤 9~13 min.

1.4 面包品质检测方法

1.4.1 面包感官品质评价方法

根据 GB 20981—2007 中软式面包感官评价指标,建立面包感官评分标准,见表 1.

1.4.2 面包硬度测定方法

采用 TA.XT.Plus 质构仪测试面包表皮和面包芯的硬度.硬度的测定选用一次咀嚼实验,对厚度为 25 mm 的法式软面包及其切片进行质构分析.测试参数见表 2.

表 1 面包感官评价分值分配表

Tab.1 Sensory evaluation of bread

项目分类	项目名称	满分
外部评分	面包皮色泽和质地	10
	形状匀整性和烤炉胀发	10
	比容得分	20
内部评分	面包心颜色	5
	气孔颗粒组织	15
	质地结构和触感	15
	面包心气味	5
	口感和味道	20
总分		100

表 2 面包硬度的测定参数

Tab.2 Parameters of bread hardness

参数名称	面包皮	面包芯
探头	P/2	P/6
压缩距离/mm	2.0	4.0
测试前速率/(mm·s ⁻¹)	2.0	2.0
测试后速率/(mm·s ⁻¹)	1.0	1.0
测试中速率/(mm·s ⁻¹)	1.0	1.0
感应力/g	3.0	3.0

1.5 运用神经网络建模

对于 BP 神经网络,隐含层节点数的确定是成败的关键^[4].本文中首先根据 Hornik 提出的公式(1)求得隐含层节点数的范围.再采用网络结构增长型方法,即先设置较少的节点数,对网络进行训练,测试学习误差,然后逐渐增加节点数,直到学习误差不再有明显减少为止.

$$n_1 = \left[\sqrt{2n+m}, 2n+m \right] \quad (1)$$

式中: n 为输入层节点数; m 为输出层节点数.

在面包配方改良实验中,实验点是根据课题组长期经验和实验结果决定的.所选影响因素有 12 项,即奶粉、白砂糖、果葡糖浆、无水酥油、糖醇、保鲜酶、淀粉酶、脂肪酶、木聚糖酶、卡拉胶、黄原胶、瓜尔豆胶的添加量,分别用 X_1, X_2, \dots, X_{12} 表示^[5].实验参数见表 3.用保存 15 d 的观测值与保存 1 d 的观测值进行对比,考察面包在保存 15 d 内的变化趋势,并以此来确定出炉时品质好,且最耐储存的配方.

表 3 26 次实验的实验参数

Tab.3 Parameters of 26 experiment

序号	X_1 /%	X_2 /%	X_3 /%	X_4 /%	X_5 /%	X_6 /%	X_7 /%	X_8 /%	X_9 /%	X_{10} /%	X_{11} /%	X_{12} /%
1	8	0	26	12	4	0.06	0	0	0	0	0.1	0
2	8	16	0	10	4	0.05	0	0	0	0.1	0	0
3	8	18	0	12	2	0.03	0	0.003	0	0	0.1	0
4	8	0	26	12	2	0.03	0	0.003	0	0	0.1	0
5	4	18	0	15	3	0.03	0	0.003	0	0.1	0	0

续表

序号	$X_1/\%$	$X_2/\%$	$X_3/\%$	$X_4/\%$	$X_5/\%$	$X_6/\%$	$X_7/\%$	$X_8/\%$	$X_9/\%$	$X_{10}/\%$	$X_{11}/\%$	$X_{12}/\%$
6	4	0	26	15	3	0.03	0	0.003	0	0.1	0	0
7	6	18	0	18	2	0.03	0	0.003	0.005	0	0.8	0
8	6	0	26	18	2	0	0.002	0.003	0	0	0.1	0
9	6	18	0	18	2	0.03	0	0.003	0.005	0	0.1	0
10	6	18	0	18	2	0.03	0	0.003	0.005	0.1	0	0
11	6	18	0	18	4	0.03	0	0.003	0.005	0.1	0	0
12	8	0	26	18	2	0	0.002	0.003	0	0	1	0
13	8	0	26	18	4	0	0.002	0.003	0	0	1	0
14	8	0	26	18	2	0	0.002	0.003	0	0	1	0
15	8	0	26	18	2	0	0.002	0.003	0	0	2	0
16	8	18	0	18	2	0.03	0	0.003	0.005	0	3	0
17	8	18	0	16	2	0	0.002	0.003	0.005	0.5	1	0
18	8	0	26	17	3	0	0.001	0.002	0.004	0.8	0.8	0
19	8	18	0	16	3	0	0.002	0.002	0.003	1	0.5	0
20	8	20	0	16	3	0.03	0	0.003	0.003	0	0.3	0
21	8	0	26	17	3	0	0.001	0.002	0.004	0.8	0.8	0
22	8	22	0	16	3	0	0.002	0.002	0.003	0.5	0	0.5
23	8	18	0	16	3	0	0.002	0.002	0.003	1	0.5	0
24	8	18	0	16	3	0	0.002	0.002	0.003	0.5	0	0.5
25	8	0	26	18	4	0	0.002	0.003	0	0	1	0
26	8	0	26	17	3	0	0.001	0.002	0.004	0.1	0.1	0

2 结果与讨论

2.1 运用神经网络建模与模型验证的结果

运用神经网络建模的结果见表 4. 实验结果品质

检测有 6 项,分别为室温保存 1 d 的面包感官评定、面包表皮硬度和面包心硬度,以及室温保存 15 d 时面包感官评定、面包表皮硬度和面包心硬度,分别用 Y_1, Y_2, \dots, Y_6 表示. 其中 Y_1 和 Y_4 为分值,其理想值为 100; Y_2 和 Y_5 的理想值为 20; Y_3 和 Y_6 的理想值为 60.

表 4 26 次实验的实验结果
Tab.4 Results of 26 experiments

序号	$Y_1/\text{分}$	Y_2/g	Y_3/g	$Y_4/\text{分}$	Y_5/g	Y_6/g	序号	$Y_1/\text{分}$	Y_2/g	Y_3/g	$Y_4/\text{分}$	Y_5/g	Y_6/g
1	90	8.87	133.50	71	52.77	238.63	14	87	17.53	112.37	67	30.17	169.53
2	79	16.23	299.30	65	242.07	1 685.60	15	71	40.57	252.20	69	93.57	431.03
3	93	38.57	102.87	80	54.80	231.67	16	60	63.37	234.50	54	246.30	578.60
4	92	49.70	147.10	75	78.73	370.67	17	75	33.00	141.17	76	52.77	325.40
5	90	36.27	137.10	81	64.90	231.10	18	75	29.43	112.93	73	61.00	291.20
6	92	37.60	148.97	71	56.97	251.30	19	92	27.90	71.57	85	54.60	149.30
7	78	49.97	129.60	64	105.73	389.60	20	73	61.20	208.03	56	164.87	615.57
8	69	45.70	132.43	62	97.43	334.83	21	78	62.80	120.47	64	62.80	359.90
9	75	45.13	188.50	71	71.77	273.23	22	93	38.70	67.43	80	32.83	102.67
10	81	47.20	179.27	72	104.17	413.20	23	94	28.00	70.57	86	55.50	148.10
11	86	32.70	119.17	78	44.33	184.13	24	95	39.20	65.34	87	34.83	100.50
12	94	29.17	97.63	78	44.70	178.80	25	88	32.10	120.47	80	50.50	256.75
13	83	33.10	125.47	78	52.33	265.23	26	93	27.53	102.93	81	60.00	279.20

由上述实验过程采集的数据,利用 Matlab 神经网络工具箱,用一定数量的学习样本对带有动量项和自适应学习率的 BP 神经网络进行训练^[6-7]. 通过调整隐含层的神经元数和训练次数,使网络误差满足工

作要求,得到输入层、隐含层和输出层的权系数及各个节点的阈值. 然后就可以利用训练好的 BP 神经网络优化实验参数,达到产品最佳的效果.

根据公式(1)确定隐含层节点数的取值范围为

6~30,再根据网络增长型方法确定出该网络的隐含层节点数.本实验采用 Matlab 7.0 的 BP 神经网络工具箱进行仿真实验,经过多次实验对比,发现在本实验输入层为 12 个节点、输出层为 6 个节点的前提下,中间两个隐含层的节点分别为 11 和 9 时的 3 层前向网络的训练误差和测试误差均达到满意效果.其学习过程如图 1 所示.

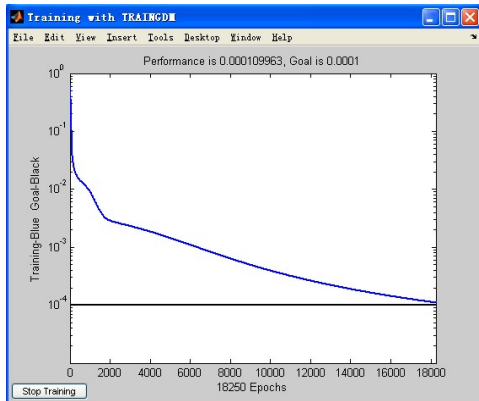


图 1 神经网络学习过程图
Fig.1 Learning process of ANN

为了检验拟合数据与计算的精度,首先在 26 组数据中采用随机数法选取 22 组(不包括第 2、9、17、25 组)作为神经网络的教师信号,采用自适应学习率算法对网络进行训练.经过 100 000 次的学习以后得出结果,再用经训练后的神经网络对第 2、9、17、25 组数据进行计算,以检查网络外推性能,计算结果及误差见表 5.经统计,4 个预测样本的平均误差为 0.82%,小于 1%,总体效果说明该模型能较好地对面包配方进行优化.

表 5 网络计算结果及误差
Tab.5 Results and errors of ANN

实验号	Y_1 /分	Y_2 /g	Y_3 /g	Y_4 /分	Y_5 /g	Y_6 /g
实际值	79	16.23	299.30	65	242.07	1 685.60
2 计算值	78.99	16.24	298.35	65.02	244.91	1 661.41
误差/%	0.01	0.06	0.32	0.02	1.17	1.44
实际值	75	45.13	188.50	71	71.77	273.23
9 计算值	75.42	44.84	188.68	70.89	72.29	279.11
误差/%	0.55	0.64	0.10	0.15	0.73	2.15
实际值	75	33.00	141.17	76	52.77	325.40
17 计算值	74.99	33.01	141.22	76.01	52.65	323.79
误差/%	0.02	0.01	0.04	0.00	0.23	0.49
实际值	88	32.1	120.47	80	50.5	256.75
25 计算值	85.51	32.60	122.97	78.99	51.33	262.47
误差/%	2.83	1.55	2.08	1.27	1.64	2.23

2.2 应用神经网络模型优化面包配方

2.2.1 建立描述实验结果的目标函数

实验结果是由 6 项参数组成.为了便于对不同配方实验的结果进行比较,即将每次实验的各项结果的实际值(Y_i)和理想值(S_i) ($i = 1, 2, \dots, 6$)用目标函数将其转换实数值 P ($P > 0$);实际结果与理想值越接近则 P 越小.将 Y_i 分别在区间 $[0, 100]$ 、 $[0, 100]$ 、 $[0, 400]$ 、 $[0, 100]$ 、 $[0, 400]$ 、 $[0, 2 000]$ 上归一化处理^[8]到 $[0, 1]$ 区间,其中理想值 S_i 分别为 $S_1 = 1, S_2 = 0.2, S_3 = 0.15, S_4 = 1, S_5 = 0.05, S_6 = 0.03$.

目标函数的形式如下:

$$P = \sum_{i=1}^6 K_i (Y_i - S_i)^2 \quad (2)$$

其中 K_i 为项的权值,根据各项在总体评判中的权重定值.根据实验目的与各个因素在实验中的重要性,这里设定 $K_1 = 2.5, K_2 = 1, K_3 = 1, K_4 = 3.5, K_5 = 1, K_6 = 1$.

2.2.2 指定模拟实验的参数(条件)取值

依据经验和实验结果对配方中的各项实验参数 (X_1, X_2, \dots, X_{12}) 的取值区间和水平间隔做指定,如表 6.

表 6 模拟实验参数取值表

Tab.6 Parameter values of modelling experiment

输入参数	参数值/g	间隔/g
X_1	0 ~ 16	1
X_2	10 ~ 30	1
X_3	15 ~ 36	1
X_4	8 ~ 30	1
X_5	0 ~ 8	1
X_6	0 ~ 0.06	0.005
X_7	0 ~ 0.002	0.001
X_8	0 ~ 0.003	0.001
X_9	0 ~ 0.005	0.001
X_{10}	0 ~ 3	0.1
X_{11}	0 ~ 3	0.1
X_{12}	0 ~ 3	0.1

注:其中 X_2 和 X_3 不同时取值.

2.2.3 利用训练好的神经网络模型进行模拟实验

按照表 5 的参数取值要求,使用此模型进行全面优化实验.利用 Matlab 调用经上述训练后的 BP 网络.根据循环中指定的每组输入参数计算实验的结果;“目标值计算”程序则使用公式(1)求取 1 次实验的目标值(P).最后将当前最优(P 值最小)的输入参数组和 P 值存入文件供选用.

用该模型计算和优化,从模拟实验结果中选取最小的3个P值对应的3组配方来进行实验验证.这3个P值及对应的3组配方及结果见表7和表8.

表7 模拟实验所得3组可能的最优参数

Tab.7 Three possible best values from modeling experiment

实验号	A	B	C
P值	$P_1 = 0.1129$	$P_2 = 0.0988$	$P_3 = 0.0981$
$X_1/\%$	10	8	8
$X_2/\%$	23	16	0
$X_3/\%$	0	10	30
$X_4/\%$	20	19	18
$X_5/\%$	4	4	3
$X_6/\%$	0	0.06	0.03
$X_7/\%$	0.002	0	0.001
$X_8/\%$	0.003	3	0.002
$X_9/\%$	0.004	0.004	0.005
$X_{10}/\%$	1	0	0.5
$X_{11}/\%$	0.6	0.5	0.5
$X_{12}/\%$	0	0.5	0

表8 模拟实验所得3组可能的最优实验结果

Tab.8 Three possible best values from modeling experiment

实验号	A	B	C
P值	$P_1 = 0.1129$	$P_2 = 0.0988$	$P_3 = 0.0981$
$Y_1/\text{分}$	98	97	96
Y_2/g	23.13	19.12	20.13
Y_3/g	71.79	60.24	70.01
$Y_4/\text{分}$	85	86	84
Y_5/g	76.25	86.45	71.63
Y_6/g	110.21	90.53	101.81

用这3组配方进行实际实验的结果表明:该神经网络模型推荐的数据确实很准确.3组配方效果都很好,其中以 P_3 对应的配方C所得结果最优,故最后选用 P_3 对应的配方C作为最终结果.

3 结论

引进BP神经网络算法设计实验优化面包配方,同时考虑12个影响因素并观察6项指标,得到了最优原料组合,加上基本配方,便得到了口感好且储存效果好的最优面包配方,即:面粉32%,水7%,盐0.962%,奶粉8%,果葡糖浆30%,无水酥油18%,糖醇3%,保鲜酶0.03%,淀粉酶0.001%,脂肪酶0.002%,木聚糖酶0.005%,卡拉胶0.5%,黄原胶0.5%.

参考文献:

[1] 李浩明. 法式软面包生产工艺[J]. 食品工业科技, 1997(4):67-68.

[2] 纪建海,王彦霞. 对影响面包质量两个因素的探讨[J]. 粮油加工与食品机械,2006(5):73-74.

[3] 闵惜琳,刘国华. 人工神经网络结合遗传算法在建模和优化中的应用[J]. 计算机应用研究,2002,19(1):79-80.

[4] LU Hong-tao, Chung F L, HE Zhen-ya. Some sufficient conditions for global exponential stability of delayed Hopfield neural networks[J]. Neural Networks, 2004, 17(4):537-544.

[5] Arik S, Tavsanoğlu V. On the global asymptotic stability of delayed cellular neural networks[J]. IEEE Trans CAS I, 2000, 47(4):571-574.

[6] The Math Works Inc. Neural Network Toolbox [EB/OL]. [2011-05-01] <http://www.mathworks.com/products/neuralnet>.

[7] ZHAO Hong-yong. Exponential stability and periodic oscillatory of bi-directional associative memory neural network involving delays[J]. Neurocomputing, 2006, 69(4/5/6):424-448.

[8] 飞思科技产品研发中心. 神经网络理论与MATLAB7实现[M]. 北京:电子工业出版社,2005:44.