

杨书林高工主持“小麦加工及其制品品质提升”专栏文章之三

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.06.003

黄序, 杜昱蒙, 陈艳, 等. 基于不同小麦原粮的面包感官评价结果预测模型研究[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(6): 17-25.

HUANG X, DU Y M, CHEN Y, et al. Established prediction models of bread sensory evaluation results based on data analysis methods[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(6): 17-25.

基于不同小麦原粮的面包感官评价结果预测模型研究

黄序¹, 杜昱蒙¹, 陈艳², 祝洁², 崔朝阳², 张瑞雪³✉

- (1. 中粮营养健康研究院有限公司, 营养健康与食品北京市重点实验室, 老年营养食品研究北京市工程实验室, 北京 102209;
2. 中粮海嘉(厦门)面业有限公司, 福建 厦门 361000;
3. 中粮粮谷控股有限公司, 北京 100020)

摘要: 收集了66个2021年国产高筋优质小麦样品(涉及12个品种), 分析其理化指标及面包的感官属性。对不同品种小麦进行主成分分析, 结果显示, 面包感官评分的高低与面筋指数、最大拉伸阻力、搅拌时间、拉伸面积以及稳定时间等存在较强的相关性; 同时, 通过聚类分析筛选相似度较高的小麦品种, 可对烘焙专用面粉的开发和维持生产稳定性起到关键指导作用。对比逐步回归、偏最小二乘和神经网络模型三个方法建立的面包感官评分预测模型拟合质量, 结果表明, 使用神经网络建立的模型拟合性明显优于其他模型。使用神经网络模型, 可快速预测不同品种小麦的烘焙特性, 保证产品稳定性, 也为开发更具有针对性的烘焙专用面粉提供参考。

关键词: 感官评价; 主成分分析; 聚类分析; 人工神经网络; 预测建模

中图分类号: TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)06-0017-09

网络首发时间: 2022-11-07 15:24:36

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20221107.1431.008.html>

Established Prediction Models of Bread Sensory Evaluation Results Based on Data Analysis Methods

HUANG Xu¹, DU Yu-meng¹, CHEN Yan², ZHU Jie², CUI Chao-yang², ZHANG Rui-xue³✉

- (1. Beijing Key Laboratory of Nutrition & Health and Food Safety, Beijing Engineering Laboratory for Geriatric Nutrition Food Research, COFCO Nutrition & Health Research Institute Co., Ltd., Beijing 102209, China;
2. COFCO Haijia (Xiamen) Flour Milling Co., Ltd., Xiamen, Fujian 361000, China;
3. COFCO Grains Holdings Limited, Beijing 100020, China)

Abstract: In this paper, 66 samples belonging to 12 varieties of domestic high-gluten wheat in 2021 were collected, and their physicochemical, rheological and bread sensory properties were analyzed. The results of

收稿日期: 2022-09-02

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD2100901)

Supported by: National Key Research and Development Project of China (No. 2021YFD2100901)

作者简介: 黄序, 女, 1976年出生, 硕士, 高级工程师, 研究方向为食品感官科学研究。E-mail: huang-xu@cofco.com.

通讯作者: 张瑞雪, 女, 1974年出生, 硕士, 工程师, 研究方向为面粉加工及管理。E-mail: zhangrx@cofco.com.

the main component analysis showed that the total sensory score of bread had a strong correlation with gluten index, maximum tensile resistance, mixing time, stretching area and stabilization time, etc. At the same time, the screening of wheat varieties with high similarity through cluster analysis could play a key guiding role in the development and maintenance of production stability of baking special flour. Comparing the fitting quality of the bread total sensory score prediction model established by the three methods of stepwise regression, partial least squares and neural network model, the model built using artificial neural network was significantly better than other models. Using neural network models, the baking characteristics of different varieties of wheat could be quickly predicted, ensuring product stability, while also facilitating the development of more targeted baking special flours.

Key words: sensory evaluation; principal component analysis; cluster analysis; neural network; predictive modeling

小麦原料的品质是影响面粉应用特性的关键因素之一,近年来国产优质小麦的品质完全可与部分进口麦媲美^[1],但是不同品种小麦中淀粉颗粒大小、直支链淀粉比例、蛋白质的含量和成分存在较大差异^[2-3],导致制作的烘焙产品其质构及感官特性间存在较大的差异。因此合理评估小麦原粮的理化及应用特性对面粉(尤其是烘焙专用粉)的生产能起到关键的指导作用。利用感官评价的方法对面包进行评价,可以有效地对小麦原料的品质状况做出判断。但由于面包制作工艺复杂,影响因素较多^[4],感官评价的方法在日常使用时对于工厂的生产效率和人工成本均有不利影响。众多学者的研究表明,小麦的理化及流变学指标对其制作面包的烘焙感官品质有重要影响。王美芳等^[5]测定了30个小麦品种的面团流变学特性,结果表明大多数品质指标之间存在显著相关性,并与面包烘焙感官品质存在极显著相关性。张强涛通过对小麦粉品质特性与吐司面包感官总评分的回归分析,得出小麦粉的湿面筋、稳定时间、弱化度、拉伸面积、延伸度、最大拉伸阻力均对吐司面包的感官总评分有显著影响^[6]。因此,通过建立烘焙感官特性与理化及流变指标间的关系模型,快速评估不同小麦制作面包的优劣情况,可大力节约人工及时间成本,提高生产效能。但目前的研究以相关性分析为主,模型建立的方法也比较单一,未进行筛选和优化。

本文收集了66个2021年国产高筋优质小麦样品(涉及12个品种),并对其理化指标分析以及制作的面包感官属性进行评价。感官评价方法采用以定量描述分析法为基础的感官评价体系,

该方法既可获得样本的感官描述,又能鉴定样本成分、过程变化等的感官特性及其强度之间具体的差异^[7],最大限度描述不同品种小麦的应用特性差异,更加准确表达各差异的强度。基于理化及感官评价的数据,对小麦品种进行主成分和聚类分析,主成分分析可将无量纲标准化处理的数据进行降维,以各主成分的方差贡献率为权重,将这些品质指标进行合理的简化^[8],而聚类分析则是根据数据间的内在联系对其进行分类,将较大的样品分成相对同质群组,聚到同一类则表示其性质彼此相似^[9]。隋勇^[10]等通过主成分和聚类分析方法综合评价小麦次粉品质特性,为其食品化高值利用提供参考。以不同品种小麦制粉制作面包的感官评分为响应值,对各项理化指标进行建模分析,对比三种不同建模方法,筛选出更加准确且有效的面包烘焙品质预测模型。

1 方法与材料

1.1 实验材料

测试样品:JS(3个);FDC(3个);JN(16个);JQ(3个);NM(1个);SL(4个);WL(2个);XN(19个);XM(3个);ZMJ(5个);ZMH(1个);ZMQ(6个)。

参比样品:加拿大小麦(蛋白含量:13.0%);立陶宛小麦(蛋白含量:12%)。

1.2 仪器与设备

实验用磨粉机(三皮三心):布勒(中国)机械制造有限公司;自动和面机:日本株式会社;醒发箱(FZH—32)、烤箱(WSK—23T—R):无锡祥靖机械有限公司;粉制仪(Mixer S 300 N)、

拉伸仪 (Extensograph-E): 德国布拉本德公司。

1.3 实验方法

1.3.1 小麦制粉

称取小麦样品 3 kg, 经过挑选去除杂质, 根据近红外检测仪水分测定结果, 加水调节小麦水分至 15% 左右, 润麦 24 h 后通过实验用磨粉机(三皮三心)磨粉, 出粉率为 70%±3%。

1.3.2 理化指标测试

面筋含量: 根据 GB/T 5506.2—2008 小麦和小麦粉 面筋含量 第 2 部分: 仪器法测定湿面筋。

面筋指数: 根据 LS/T 6102—1995 小麦粉湿面筋质量测定法面筋指数法。

水分含量: 根据 GB 5009.3—2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定。

杂质含量: 根据 GB/T 5494—2019 粮油检验 粮食、油料的杂质、不完善粒检验。

容重: 根据 GB/T 5498—2013 粮油检验 容重测定。

吸水率、形成时间、稳定时间: 根据 GB/T 14614—2019 粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 粉质仪法。

延伸、最大阻力、拉伸面积: 根据 GB/T 14615—2019 粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 拉伸仪法。

1.3.3 面包制作

(1) 配方为小麦粉: 200 g, 水: 100~120 g, 白砂糖: 40 g, 盐: 2 g, 酵母: 2 g, 黄油: 20 g。

(2) 实验方法: 将除黄油外所有的原料倒入打面缸搅拌至面筋六成; 加入黄油, 打面至完全扩展, 记录从面团开始搅拌至面团搅拌完成所需的总时间; 静置 10 min 后将面团进行分割: 2 个 80 g 圆包和 1 个 120 g 方包, 松弛 10 min; 圆包搓圆排气收底, 放入烤盘, 方包擀平成型, 放入方包盒, 一起放进 36~38 °C 醒发箱。圆包发酵至约原来 2.5 倍大小, 方包发酵至高出模具 1.5 cm 左右, 即可进行烘烤。圆包烘烤温度上火 170 °C, 下火 190 °C, 烘烤 12~14 min。方包烘烤温度上火 160 °C, 下火 210 °C, 烘烤 16~18 min。

(3) 样品数量: 每种面粉制作两组平行样品待测。

1.3.4 烘焙制品感官评价

(1) 建立专家评价小组: 选择具有 2~5 年烘焙产品制作及评价相关工作经验的专家评价员 5 人, 选拔、培训及管理方法参考《GB/T 16291.2—2010 感官分析 选拔、培训和管理评价员一般导则 第 2 部分: 专家评价员》。

(2) 感官评价方法: 评价方法见表 1。最后将所有的属性评价加和算总分, 均值再进行方差分析。

表 1 面包感官评价评分表

Table 1 Sensory evaluation scale of bread

项目	打面手感	方包高度	方包纹理	圆包组织	圆包色泽	总分
评分标准	粘手→干爽	低→高	纹理不清→纹理清晰	组织粗糙→组织细腻	灰暗→黄亮	
评价标度	0→15	0→20	0→25	0→15	0→25	
评分结果						

1.4 数据分析

使用 JMP 16 进行主成分分析, 聚类分析以及建模分析, 建模分析包括逐步回归, 偏最小二乘以及记忆学习神经网络法。

2 结果与分析

2.1 不同品种小麦理化指标和感官评分结果

设置稳定性较好的参比样, 根据参比样小麦粉制作面包的分数, 评估待测样品的各项指标得分。参比样评价结果见表 2。参比样品 1: 加拿大小麦 (蛋白含量: 13.0%); 参比样品 2: 立陶宛

小麦 (蛋白含量: 12%)。

表 2 参照样品感官评价结果

Table 2 Sensory evaluation scale of reference sample 分

项目	打面手感	方包高度	方包纹理	圆包组织	圆包色泽	总分
参照样品 1	13	18	23	13	24	91
参照样品 2	12	16	21	12	22	83

12 个品种, 66 个 2021 年国产高筋优质小麦样品经磨粉后制作面包, 面粉的 12 个理化及流变指标均值和面包的感官评价总分均值结果如表 3a~b 所示。

表 3a 不同品种小麦理化指标及面包感官评分

Table 3a Physical and chemical indexes and bread sensory evaluation of different wheat varieties

品种	面筋含量/(g/100g)	面筋指数/%	水分含量/(g/100g)	杂质含量/(g/100g)	容重/(g/L)
JS	35.4±0.2	50.3±1.4	10.5±0.1	0.6±0.1	808.0±23.1
FDC	34.0±0.3	59.3±1.2	10.6±0.3	0.8±0.0	805.0±15.3
JN	34.3±0.7	51.8±0.7	11.2±0.4	0.8±0.2	780.9±9.6
JQ	28.3±0.4	98.3±0.4	12.0±0.0	0.8±0.2	792.3±15.9
NM	34.8±0.9	87.0±0.8	11.6±0.2	0.5±0.0	807.0±18.9
SL	31.5±0.1	94.5±1.3	10.6±0.3	0.6±0.1	799.5±11.7
WL	33.6±1.0	66.5±0.5	10.1±0.0	0.6±0.0	814.0±14.6
XN	36.5±1.5	58.9±1.6	10.6±0.5	0.7±0.1	791.4±19.2
XM	32.0±0.5	88.7±0.9	9.2±0.8	0.6±0.1	814.0±4.3
ZMJ	33.5±0.3	67.2±1.3	11.2±0.1	0.6±0.0	790.4±13.0
ZMH	36.8±0.1	27.0±0.8	9.7±0.4	0.8±0.2	813.0±23.1
ZMQ	32.7±1.5	86.8±2.4	11.1±0.2	0.7±0.1	802.5±29.6

表 3b 不同品种小麦理化指标及面包感官评分

Table 3b Physical and chemical indexes and bread sensory evaluation of different wheat varieties

品种	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	延伸/cm	最大阻力/g	拉伸面积/cm ²	搅拌时间/min	面包评分/分
JS	67.0±0.4	4.3±0.1	9.7±0.8	16.9±0.3	484.3±9.4	107.0±3.6	6.8±0.6	75.7±0.8
FDC	65.4±0.8	6.9±0.8	9.6±1.1	16.6±1.1	631.3±18.9	135.7±7.8	7.2±0.5	78.5±2.9
JN	67.4±1.4	4.2±0.1	10.1±0.5	16.4±0.1	524.3±8.5	108.4±5.3	6.9±1.0	76.1±1.1
JQ	66.4±2.1	12.5±1.2	26.7±2.1	16.4±0.9	810.3±7.2	169.0±14.6	9.7±0.7	83.7±6.8
NM	66.4±3.5	13.3±0.8	20.8±1.3	15.8±0.1	854.0±5.8	176.0±6.9	7.5±0.3	83.0±2.4
SL	65.1±0.7	5.1±0.4	19.3±0.7	17.2±0.7	793.8±18.9	170.0±3.2	7.7±0.4	81.3±3.3
WL	64.8±1.8	16.0±3.1	22.0±3.6	14.7±2.4	686.0±10.7	127.5±8.2	7.8±1.5	79.0±1.5
XN	69.7±2.4	6.9±0.8	15.9±1.9	16.7±1.2	633.8±8.2	134.6±11.4	7.4±0.9	79.2±3.1
XM	70.4±4.9	18.2±4.2	23.9±4.1	16.4±0.2	812.0±11.6	159.0±10.2	10.0±1.2	83.0±1.7
ZMJ	65.9±1.4	4.2±0.4	16.2±3.7	15.5±1.8	677.0±3.4	133.0±16.5	8.1±1.4	80.6±3.6
ZMH	60.8±0.6	1.9±0.1	2.5±0.1	17.5±0.6	238.0±4.8	59.0±1.9	5.4±0.8	73.4±5.8
ZMQ	64.0±2.8	12.5±0.8	20.9±2.3	16.6±1.3	718.2±13.9	151.0±5.2	7.6±0.6	80.3±1.9

面筋蛋白与水在水合和剪切作用的共同影响下,形成面筋网络结构^[11],面筋网络支撑起的均一且细腻的气室结构是衡量发酵面制品品质优劣的关键因素^[12]。而相比起面筋含量,面筋指数,即面筋质量,对于面包评分的影响更为明显。有研究表明,对面包体积的影响最显著的因素为湿面筋指数^[13]。另外一项研究表明,不同小麦品种的面筋质量、湿面筋含量和稳定时间共同决定了面包体积变异的 90.0%^[14]。稳定时间、最大拉伸阻力、拉伸面积、搅拌时间等指标也与面筋质量息息相关,因此对面包品质优劣也有较大的影响。张强涛等的研究表明,拉伸面积、延伸度与面包感官总评分呈极显著正相关,相关系数分别为 0.738、0.768,最大拉伸阻力与面包感官总评分

呈显著正相关,相关系数为 0.635^[6]。

利用 12 个品种,66 个不同小麦的 12 个理化指标及面包感官评价指标进行主成分分析,通过二维分布图,可以直观表达出不同品种小麦样品之间的分类关系以及小麦品种与各项理化指标之间的关系,如图 1 所示。通过该方法共提取 2 个主成分,第 1 主成分为 56.3%,第 2 主成分为 16.8%。面包感官评分的高低与面筋指数、最大拉伸阻力、搅拌时间、拉伸面积以及稳定时间等关系密切。

由表 3a、b 及图 1 可以看出,JQ, XM 和 NM 更接近拉伸面积、面筋指数、最大阻力、搅拌时间及稳定时间这几个指标,因此面包感官评分也较高;SL, ZMQ 和 ZMJ 各项指标较为接近,SL 略优,故面包感官评分也处于中等偏上水平。WL

和 XN 和 FDC 虽然与面包感官评分接近,均处于中等水平,但 WL 的其他理化性质相差较远。ZMH、JN 和 JS 的面包感官评分均较低,JN 和

JS 比较接近,而 ZMH 的面包感官评分最低,各项品质也相对较差,它们在图 1 中的位置距离上述几个理化指标也最远,相关性不高。

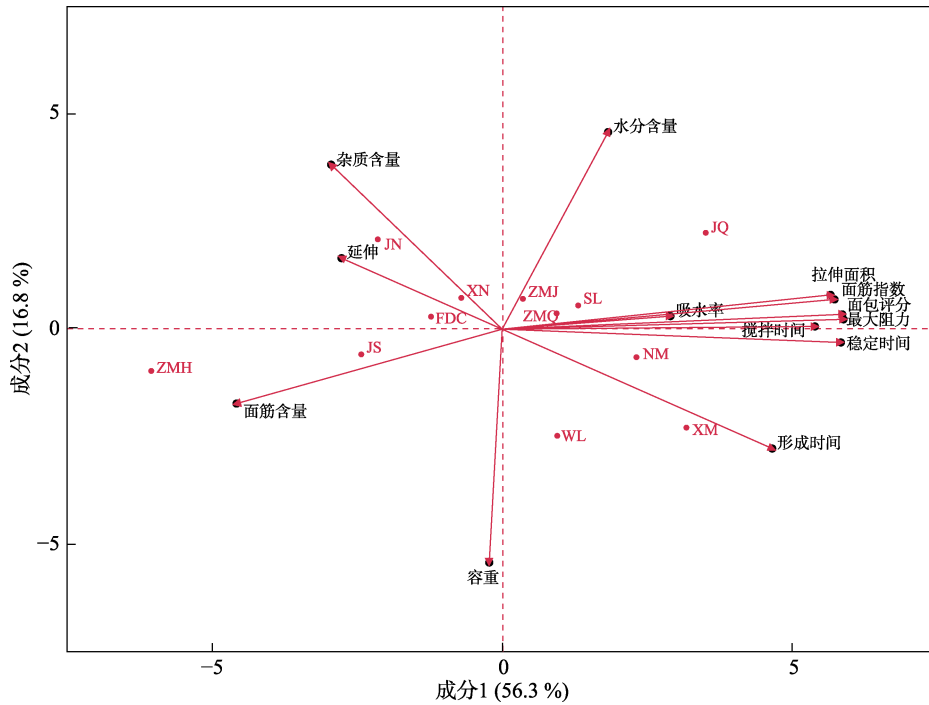


图 1 不同品种小麦理化指标和感官评分的主成分分析

Fig.1 Principal component analysis of physical and chemical indexes and sensory scores of different wheat varieties

2.2 不同品种小麦聚类分析结果

如图 2 所示,可将 12 个品种的小麦理化指标及感官评价结果通过 JMP16 进行聚类分析,结果显示细分可分成 6 类,粗分可分为两类。细分结果中,ZMH, JQ, WL 和 XM 均为单独一类,与其他小麦品种综合品质差异较大,在实际生产过程中,需要根据具体需求进行专门采购。而其他两类,一类为 JS, FDC, JN 和 XN,另一类为 SL, NM, ZMQ 和 ZMJ,整体小麦品质和评分接近,

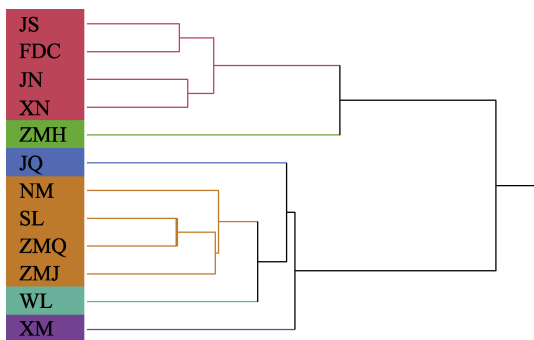


图 2 不同品种小麦聚类分析图

Fig.2 Cluster analysis diagram of different varieties of wheat

在实际生产中可根据具体情况做配麦及配粉的参考。

2.3 使用不同建模方法进行面包感官评分预测

以面包感官评分为 Y 值,面筋含量、面筋指数、水分含量、容重、吸水率、形成时间、稳定时间、延伸距离、最大阻力、拉伸面积分别为 $X_1 \sim X_{10}$,分别使用 JMP16 进行逐步回归分析,偏最小二乘分析和神经网络建模分析。结果如下。

2.3.1 逐步回归分析

使用逐步回归法,得到拟合公式为 $Y=0.134 * X_2 + 0.382 * X_5 + 44.487$ 。其 R^2 为 0.478,调整 R^2 为 0.462,整体模型拟合质量不高。10 个 X 值中,仅有面筋指数和吸水率与面包感官评分呈现强相关性(见表 4),因此,拟合公式中仅使用了两个参数。

2.3.2 偏最小二乘分析

使用偏最小二乘 NIPALS 模型分析,如表 5 所示,即使当引入因子数达到 10 时,模型对 Y

表 4 模型估计值
Table 4 Model estimates

参数	估计值	平方和	"F 比"	"概率>F"
截距	44.577	0	0.000	1
X ₁	0	5.841	0.777	0.382
X ₂	0.134	407.523	54.387	4.4e-10
X ₃	0	3.074	0.406	0.526
X ₄	0	0.001	0.000	0.991
X ₅	0.380	75.740	10.108	0.002
X ₆	0	0.399	0.052	0.820
X ₇	0	0.166	0.022	0.883
X ₈	0	15.422	2.094	0.153
X ₉	0	8.781	1.175	0.283
X ₁₀	0	0.004	0.000	0.983

表 5 模型比较汇总
Table 5 Model comparison summary

方法	因子数	针对累积 X	针对累积 Y	VIP 数目 > 0.8
		解释的变异的 百分比/%	解释的变异的 百分比/%	
NIPALS	1	42.247	40.525	6
NIPALS	2	53.622	47.228	7
NIPALS	3	66.996	48.932	7
NIPALS	4	74.524	49.693	7
NIPALS	5	77.565	50.274	7
NIPALS	6	86.077	50.352	7
NIPALS	7	89.794	50.392	7
NIPALS	8	94.439	50.397	7
NIPALS	9	99.594	50.400	7
NIPALS	10	100.000	50.417	7

的解释程度也较低(仅为 50.417%),说明使用偏最小二乘法拟合的模型效果不理想。

当引入因子数为 6 时,模型对 X 的解释程度可以达到 85%以上,对 Y 的解释程度也相对较高(与引入 10 个因子时接近),此时得到拟合公式为: $Y = -0.133 * X_1 + 0.106 * X_2 - 0.033 * X_3 + 0.008 * X_4 + 0.435 * X_5 - 0.066 * X_6 + 0.011 * X_7 - 0.277 * X_8 + 0.003 * X_9 + 0.002 * X_{10} + 44.468$ 。

使用该模型,选取了 7 个重要变量,如表 6 所示,按其重要程度排序由高到低分别为面筋指数、最大拉伸阻力、拉伸面积、稳定时间、吸水率、形成时间、面筋含量。由于偏最小二乘法是基于主成分分析建立的预测模型,因此主成分分析中的重要指标与偏最小二乘模型中的变量重要程度吻合。

表 6 变量重要性表
Table 6 Variable importance table

指标	面筋含量 (g/100g)	面筋指数/%	水分含量 (g/100g)	容重/(g/L)	吸水率/%	形成时间 /min	稳定时间 /min	延伸距离 /cm	最大阻力/g	拉伸面积 /cm ²
VIP	0.919 4	1.441 4	0.310 6	0.590 9	0.989 3	0.938 3	1.073 5	0.451 7	1.370 3	1.240 2

2.3.3 神经网络模型

使用神经网络 NTANH 模型,得到拟合公式为: $Y = 1.055 * H_1 - 9.838 * H_2 - 7.073 * H_3 + 78.048$ (随机种子数 8, 2/3 样本进行训练, 1/3 样本验证)。

$$H_1 = \text{TanH}[0.5 * (120.130 - 1.211 * X_1 - 0.028 * X_2 + 0.237 * X_3 - 0.121 * X_4 + 0.050 * X_5 - 0.056 * X_6 - 0.034 * X_7 + 0.918 * X_8 + 0.003 * X_9 - 0.016 * X_{10})]$$

$$H_2 = \text{TanH}[0.5 * (286.012 - 0.667 * X_1 - 0.509 * X_2 - 2.271 * X_3 - 0.188 * X_4 - 0.767 * X_5 + 0.902 * X_6 + 0.433 * X_7 + 1.760 * X_8 - 0.040 * X_9 - 0.207 * X_{10})]$$

$$H_3 = \text{TanH}[0.5 * (-127.065 - 0.769 * X_1 - 0.168 * X_2 + 3.102 * X_3 + 0.030 * X_4 + 0.535 * X_5 + 0.194 * X_6 + 0.194 * X_7 + 0.857 * X_8 + 0.041 * X_9 + 0.219 * X_{10})]$$

使用该模型,由表 7 可知,其训练和验证的 R² 都可达到 0.8 以上,整体拟合效果较好。

人工神经网络,是通过模仿生物神经网络的

表 7 模型质量评价

Table 7 Model quality evaluation

训练		验证	
R ²	0.802	R ²	0.811
RASE	1.662	RASE	1.572
绝对偏差的均值	1.136	绝对偏差的均值	1.223
误差平方和	121.543	误差平方和	54.335
频数总和	44.000	频数总和	22.000

行为特征,进行分布式并行信息处理的数学模型^[15]。近几年,人工神经网络在各个领域都是非常热门的话题,并且在图像处理、医学、生物学等领域均取得了非常多的成就^[16]。

2.3.4 模型对比

以面包评分为 X 值,预测公式预测结果为 Y 值,绘制散点图,其点分布越趋于一条直线,说明其预测效果越好。由图 3 可知,逐步回归和偏

最小二乘法的模型预测程度相似，因为上述 2 个方法依然是进行一次方程的建模，其原理相似。而神经网络模型其模型质量明显提升，数据集中度更强，更加接近线性关系。

对逐步回归、偏最小二乘和神经网络模型的三个散点图分别拟合方程（如图 4），其 R^2 分别为 0.478、0.489、0.806，这也验证神经网络模型拟合情况最优的结论。

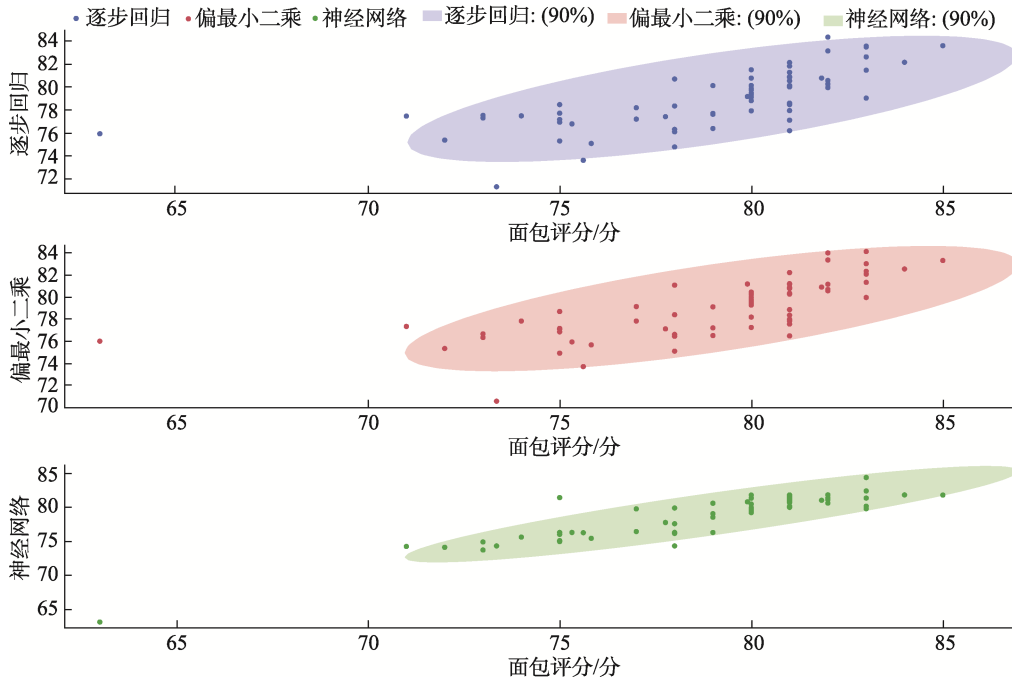


图 3 不同模型预测效果对比图

Fig.3 Comparison charts of prediction effect of different models

注：阴影区域为 90%数据分布区域。

Note: The shaded area is the 90% data distribution area.

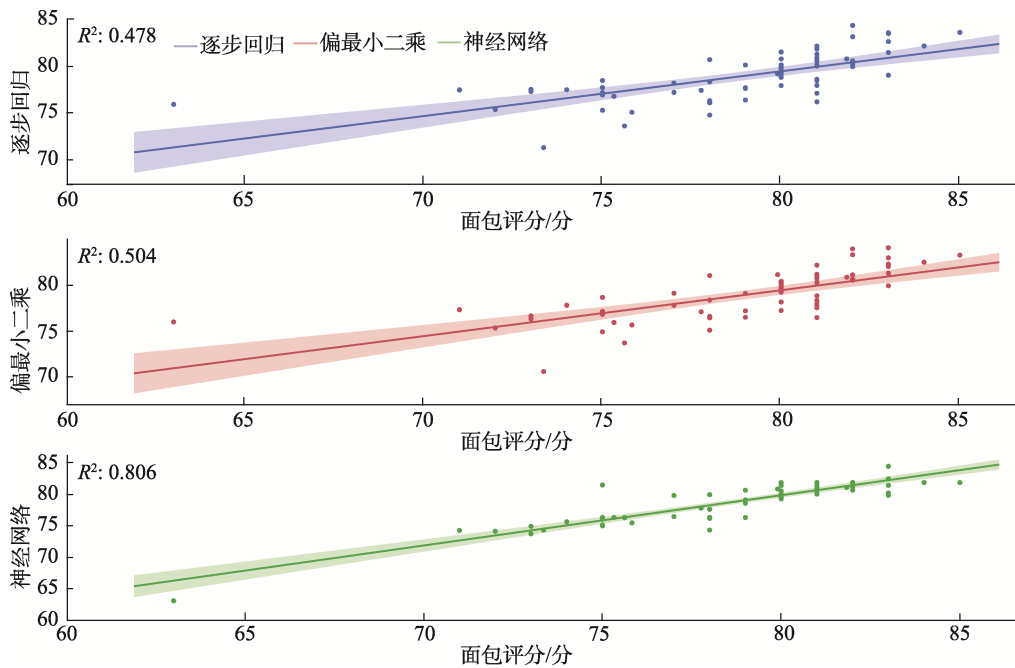


图 4 不同模型拟合方程对比图

Fig.4 Comparison charts of fitting equations of different models

从以上三个预测模型的对比可以看出, 逐步回归法可采用的强相关的理化参数仅有两个, 模拟度不高, 预测结果存在很大误差。偏最小二乘法也类似, 即便选取 10 个理化参数进行模拟, 其线性程度不高, 得到的 R^2 也未能提升, 对预测结果的贡献度不大。对于面粉和面制品这样影响因素多、制作工艺复杂的样品, 采用人工神经网络模型进行拟合, 通过对所有影响因子进行拟合, 所有样品的试验值与预测值吻合度良好, 其 R^2 均可达 0.8 以上, 表明该模型更加适用于运用面粉的理化指标对感官评价结果进行预测。

3 结论

通过对 66 个小麦样品 (涉及 12 个品种) 的面粉各项理化指标及制成的面包的感官评价指标进行主成分分析, 其结果显示, 面包感官评分的高低与面筋指数、最大拉伸阻力、搅拌时间、拉伸面积以及稳定时间等关系密切。聚类分析可将多品种的小麦进行分类, 从而对面粉生产过程中的配麦、配粉提供参考依据, 同时可根据麦源行情进行小麦品种的替代, 提升生产效率或者节约生产成本。在本研究中提及的小麦, 相似度较高的有两类, 一类为 JS, FDC, JN 和 XN, 这类小麦制成的面粉延展性更好、易操作, 比较适合制作对体积要求不高、但更需要延展性的产品, 如开酥类面包。另一类为 SL, NM, ZMQ 和 ZMJ, 其面筋质量更好, 制作面包体积更大, 比较适合制作体积大、耐操作性强、口感较劲道的面包产品。聚类分析对烘焙专用面粉的原粮采购、生产研发起到一定的指导作用。

对比逐步回归、偏最小二乘和神经网络模型三个方法建立的预测模型, 使用人工神经网络建立的模型拟合性明显优于其他模型。由于小麦的品质受天气和地域的影响较大, 因此批次间存在一定的波动, 对面粉终产品的品质稳定性有一定的不利影响。使用神经网络模型, 能够将所有影响因素包含于一个网络模型中, 具有便捷性和准确性等优势, 可快速预测不同品种小麦的烘焙特性, 实时调整配麦、配粉方案, 保证产品稳定性, 开发更具有针对性的烘焙专用面粉, 在相关领域

的研究中进行广泛的应用。此研究结果, 可以为面粉粉质及面包感官评价相关性方面提供一些研究思路和技术参考。

参考文献:

- [1] 杨成. 国产优质小麦代替进口小麦生产面包专用面粉的技术研究[J]. 农业机械, 2011(23): 91-95.
YANG C. Study on the technology of producing special bread flour with domestic high quality wheat instead of imported wheat [J]. Farm Machinery, 2011(23): 91-95.
- [2] WANG S, COPELAND L. Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review [J]. Food & Function, 2013, 4(11): 1564-1580.
- [3] 王远辉, 宋燕燕, 陈洁, 等. 不同粒度区间小麦粉组分、颗粒形态及面片动力学研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2018, 39(4): 26-32.
WANG Y H, SONG Y Y, CHEN J, et al. Study on the composition, particle morphology and surface dynamics of wheat flour at different particle size intervals [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2018, 39(4): 26-32.
- [4] 杨剑婷. 添加淀粉和面筋蛋白及小麦籽粒不同层次配粉对面粉加工品质的影响[D]. 南京农业大学, 2017.
YANG J T. Effects of starch gluten addition and different pearling fractions mixed on processing quality of wheat flour[D]. Nanjing Agricultural University, 2017.
- [5] 王美芳, 雷振生, 吴政卿, 等. 不同仪器品质指标与面包烘焙品质关系研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(10): 6-11.
WANG M F, LEI Z S, WU Z Q, et al. Study on the relationship between different instrument quality indexes and bread baking quality[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2009, 24(10): 6-11.
- [6] 张强涛, 丁卫星, 王圣宝, 等. 小麦粉品质指标与面包感官品质的相关性分析[J]. 粮油食品科技, 2017, 25(1): 44-47.
ZHANG Q T, DING W X, WANG S B, et al. Analysis of relativity between wheat flour quality indicators and bread sensory quality[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2017, 25(1): 44-47.
- [7] 丛懿洁, 王磊. Friedman 检验和定量描述分析法 (QDA) 在风味酸奶感官评定中的应用[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(4): 121-127.
CONG Y J, WANG L. Application of friedman test and quantitative descriptive analysis (qda) in sensory evaluation of flavoured yoghurt[J]. Storage and Process, 2021, 21(4): 121-127.
- [8] 喻华平, 赵志常, 高爱平, 等. 基于主成分分析和聚类分析的 23 份黄皮种质资源的品质评价[J]. 热带作物学报, 2022, 43(7): 1357-1364.

- YU H P, ZHAO Z C, GAO A P, et al. Quality evaluation of 23 species of clausena lansium (Lour.) skeels germplasm resources based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2022, 43(7): 1357-1364.
- [9] PATRAS A, BRUNTON N P, DOWNEY G, et al. Application of principal component and hierarchical cluster analysis to classify fruits and vegetables commonly consumed in Ireland based on in vitro antioxidant activity[J]. Journal of Food Composition & Analysis, 2011, 24(2): 250-256.
- [10] 隋勇, 施建斌, 蔡沙, 等. 基于主成分与聚类分析的不同粉路小麦次粉品质综合评价[J]. 现代食品科技, 2022, 38(2): 164-171+244.
- SUI Y, SHI J B, CAI S, et al. Comprehensive quality evaluation of different wheat middlings by principal component analysis and cluster analysis[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(2): 164-171+244.
- [11] VERBAUWHEDE A E, LAMBRECHT M A, JEKLE M, et al. Microscopic investigation of the formation of a thermoset wheat gluten network in a model system relevant for bread making[J]. International journal of food science & technology, 2020, 55(2): 891-898.
- [12] MILLS E, SALT L J, WILDE P J. Bubble formation and stabilisation in bread dough[J]. Understanding and Controlling the Microstructure of Complex Foods, 2007: 691-705.
- [13] 王美芳, 赵石磊, 雷振生, 等. 小麦蛋白淀粉品质指标与面包品质关系的研究[J]. 核农学报, 2013, 27(6): 792-799.
- WANG M F, ZHAO S L, LEI Z S, et al. Study on the relationship between wheat protein starch quality index and bread quality[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2013, 27(6): 792-799.
- [14] 刘东军, 宋维富, 杨雪峰, 等. 面筋仪指标在强筋小麦育种及食品加工中的应用[J]. 黑龙江农业科学, 2020, (10): 120-123.
- LIU D J, SONG W F, YANG X F, et al. Application of gluten meter index in strong gluten wheat breeding and food processing[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2020, (10): 120-123.
- [15] 朱凯阳, 任广跃, 段续, 等. 基于BP神经网络预测红外-喷动干燥带壳花生水分比[J]. 食品科学, 2022, 43(11): 9-18.
- ZHU K Y, REN G Y, DUAN X, et al. Prediction of moisture content of fresh flowers with shell in infrared spouting drying based on BP neural network[J]. Food Science, 2022, 43(11): 9-18.
- [16] 张驰, 郭媛, 黎明. 人工神经网络模型发展及应用综述[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(11): 57-69.
- ZHANG C, GUO Y, LI M. Review of development and application of artificial neural network models[J]. Computer Engineering and Applications, 2021, 57(11): 57-69.
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。完