

基于电子鼻的速冻青稞鱼面的货架期内 食品安全理化指标快速预测

肖 猛¹, 唐婷婷², 丁 捷^{1*}, 张雨薇¹, 王艺华¹, 张力丹¹, 毛永杰¹

(1. 四川旅游学院 食品学院, 四川 成都 610100; 2. 沈阳农业大学 食品学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘 要: 为探索通过气味分析无损快速判断速冻青稞鱼面贮藏品质的方法, 利用电子鼻对不同贮藏温度与贮藏时间下的挥发性气味进行分析, 将所获数据与理化品质指标值挥发性盐基氮(TVB-N)、pH值、过氧化值(POV)、硫代巴比妥酸(TBA)值相联系, 分别建立基于电子鼻预测理化指标(TVB-N、pH、POV、TBA)的反向传播-神经网络(BP-NN)预测模型。结果表明: 基于电子鼻响应信号建立的4个预测TVB-N、pH、POV、TBA含量的BP-NN模型结果均为 $18 \times 14 \times 1$, 各拟合值 R^2 均大于0.9; 通过对随机抽取训练集和验证集进行可靠性分析发现, 各模型最大的误差范围在15%以内, 平均误差范围在5%以内。说明基于电子鼻的速冻青稞鱼面货架期食品安全指标预测模型预测效果良好, 具备一定的可靠性。

关键词: 速冻青稞鱼面; 电子鼻; 反向传播-神经网络模型; 食品检测

中图分类号: TS 201.6

文献标志码: A

文章编号: 2095-8730(2019)04-0065-08

速冻青稞鱼面是以小麦粉、青稞粉和淡水鱼糜为主要原料, 采用单螺杆挤压制作而成,^[1]通过 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下快速冻结处理, 中心温度降至 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, 再包装和贮运。^[2]本课题组前期研究了麦芯粉对速冻面条的品质影响,^[3]运用主成分分析、因子和聚类分析淡水鱼品种对速冻青稞鱼面品质的影响,^[4]研发了采用压延法加工的速冻青稞鱼面^[1], 确定了复合改良剂的最佳配比在速冻青稞鱼面中的应用,^[5]利用响应面法对速冻青稞鱼面鱼糜加工工艺进行了优化,^[6]通过模糊综合评价法优化了挤压型速冻青稞鱼面的关键工艺,^[7]并建立了速冻青稞鱼面品质评价模型,^[8]该产品已申请国家发明专利。^[9]

速冻青稞鱼面作为一种新型鱼糜制品, 富含不饱和脂肪酸和蛋白质, 货架期品质变化主要原因是微生物生长繁殖, 其次是蛋白质分解及脂肪氧化。根据SC/T 3701—2003 冻鱼糜制品水产行业标准认为能直接反应其货架期品质的相关理化指标为挥发性盐基氮(TVB-N)值、过氧化值、pH值及TBA值。^[10-13]这些理化指标的测定界限值

是决定食品是否存在商业价值的主要因素之一, 常用的化学计量法存在方法繁琐、检测成本过高和耗时过长等问题,^[14]很难短时间内获得大量样品的理化指标信息, 生产贮运过程中在线控制及时反馈的实现难度较大。伴随着消费者对食品安全特性的高关注度, 生产企业和市场监管亟须产品理化指标的快检技术。

电子鼻是模拟人类的感官功能建立的仿生感官技术, 由传感器序列、信号处理系统和模式识别系统三大部分组成,^[15]与常规的仪器测定方法相比较, 样品无需复杂的前处理, 区别于人主观对食物的评价, 所测量的结果更加可靠和直观。^[16-21]有研究表明电子鼻能替代理化指标且有效地识别食品的品质变化信息,^[22]在具有明显气味特征的食品中应用广泛, 可用于生产过程的监控、货架寿命的研究等;^[23-27]也可应用于食品加工过程理化检测。^[28]人工神经网络(ANN, Artificial Neural Networks)是一种模拟人的神经系统而建立的信息处理系统, 具有较高的模拟、优化、预测和控制能力。^[28-29]BP神经网络(Back-Propagation

收稿日期: 2019-08-30 * 通信作者

基金项目: 四川省科技厅科技支撑计划(2016FZ0027); 四川旅游学院2018年科研创新团队(18SCTUTD04)

作者简介: 肖 猛(1967-), 男, 四川盐亭人, 四川旅游学院食品学院教授, 博士, 从事青稞种质资源保护与深加工利用研究;

丁 捷(1985-), 女, 重庆永川人, 四川旅游学院食品学院副教授, 博士, 从事食品分析研究。

Network) 是一种基于误差逆传播算法的多层前馈网络,是目前应用最广泛的神经网络模型之一,尤其适合无法用明确数学公式描述的输入输出映射关系。近年来, BP神经网络在稻米^[30]、肉制品^[31-33]、蔬果^[34-36]、可可豆^[37]、油脂加工^[38]等预测领域的成功应用,为食品贮藏品质快速检测提供了一条新的探索途径。于慧春^[39]等成功利用电子鼻融合 BP神经网络预测玉米赤霉烯酮和黄曲霉毒素 B1 含量,这证实将智能仿生感官与神经网络结合快速检测判断谷物品质具备可行性。目前关于电子鼻融合 BP神经网络快速预测速冻青稞鱼面货架期理化指标的研究未见报道。

本研究利用化学计量法定量测定速冻青稞鱼面在不同贮藏温度下的 TVB-N 值、过氧化值、pH 值及 TBA 值;再用电子鼻采集速冻青稞鱼面的气体信息后基于 BP神经网络,建立电子鼻与相应理化指标间的预测模型;通过对比分析基于不同数据库的反向传播-神经网络(BP-NN)模型对不同训练集与测试集的预测误差,确定所构建预测模型的稳定性。

1 材料与方法

1.1 产品原料

高筋小麦粉:大成良友食品(上海)有限公司;鱼:购自四川成都市龙泉驿菜市场;青稞:来自四川甘孜州农科所八美农场试验田种植;谷朊粉:河南枣花面业有限公司;羧甲基磷酸钠:重庆力宏精细化工有限公司;纯碱:河南省中源化学股份有限公司;复合磷酸盐:河南省柘城县耕道贸易有限公司;盐:市售。

1.2 仪器与设备

FOX 4000 电子鼻(传感器由 18 个金属氧化物传感器组成):法国 Alpha MOS 公司;YP-N 型电子天平:上海精密仪器仪表有限公司;DS-1 高速组织捣碎机:上海标本模型厂制造;XHF-D 高速分散器(内切式匀浆机):宁波新芝生物科技股份有限公司;HR2356 飞利浦自动面条机:飞利浦(中国)投资有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 青稞鱼面制作工艺

工艺流程:鲜活鱼→预处理→漂洗→匀浆→混合(改良剂+纯净水)→和面(青稞粉+麦芯粉+谷朊粉)→压面→单螺旋挤压出面→熟化→

冷却→称重包装→速冻→成品→冷冻贮藏。

参考丁捷^[5-8]等文献方法选取鲤鱼作为原料,将以 180 g 混粉(青稞粉:麦芯粉=1:9)为基础,配方为鱼糜 25%(盐水漂洗浓度为 0.09%、鱼糜与水的比例为 1:1.5、均质时间为 5.1 s)、谷朊粉 9%、纯净水 15.5%;将食盐 1.25%、食用碱 0.10%、复合磷酸盐 0.25%、CMC 0.20% 和纯净水 18.84% 在 95 °C 水浴锅中加热溶解,获得复合改良剂溶液;将青稞混粉、谷朊粉混和在匀浆机 10 000 r/s 的条件下匀浆 30 s 后,将鱼糜(含复合改良剂溶液)一起加入自动面条机中。采用孔径为 1 mm 的模具和面 12 min 后静置 25 min 单螺旋挤压制得生面条。将生面条经沸水糊化,冷水冷却后沥干,称重分袋包装,然后进行 -32 °C 速冻,即得成品。

1.3.2 试验设计

将速冻青稞鱼面分别置于 -18、-10、-5、5、20、0 °C 温度条件下进行贮藏。-18 °C 每 14 d 检测一次,-10 °C 每 15 d 检测一次,-5 °C 每 5 d 检测一次,20 °C 条件需要每天取样检测,5 °C 条件需要隔 2 d 取样检测,0 °C 每 3 d 取样检测一次。在上述条件下,使用电子鼻设备进行气味信息采集。

1.4 理化指标的测定

1.4.1 挥发性盐基氮

按照 GB5009.228—2016 挥发性盐基氮第二法自动凯氏定氮法测定。

1.4.2 过氧化值

按照 GB5009.227—016 过氧化值第一法滴定法测定。

1.4.3 pH 值

按照 GB5009.239—2016 第二法电位滴定法测定。

1.4.4 TBA 的测定

按照 GB5009.181—2016 测定第二法分光光度法测定。

1.5 电子鼻的检测

取待测样品,将其切碎,称取 1.00 g 样品装入相同体积规格的进样品中,人工封盖,进行标记,等待检验。电子鼻设备采用手动进样,顶空温度设定为 70 °C、加热时间 300 s、载气流量 150 mL/s、进样量 1 000 μ L、进样速度 500 μ L/s、数据采集时间 3 min,时间延迟 180 s。每个样品

平行测试 3 次。

1.6 BP - 神经网络模型构建

本研究总样本量为 195 组,随机选取 130 个样本作为训练集,剩余 65 个样本为验证集,由表 1 可知训练集与验证集分布比较均匀合理,可以用于模型的建立。分别通过化学计量法采集速冻青稞鱼面的理化指标(TVB-N、PH、POV、TBA),所得结果经归一化处理作为样品的化学性质描述值并作为该模型的期望输出值。因此,本研究构建的 BP-ANN 输入层神经元个数为 18,输出神经元的个数为 1。先将输入信号经隐含层处理之后,再传递到输出层,通过修改各层神经元的权重,使得误差信号最小。节点激励函数通常选用 S 型函数 $f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$,输出范围 [0 ~ 1]。采用试凑法,通过不断的调整网络参数(隐藏输入节点、最小训练速率、动态参数、SIGMOID、允许误差),隐含层采用 $f(x) = f(w_0 + w_1 \times X_1 + w_2 \times X_2 + \dots + w_n \times X_n)$ 。 X_n 表示 n 个输入值, w 表示每个输入值作用隐藏神经元的权重, w_0 输入值是 1 的偏置值 bias,这里的函数就是一个被称为激活函数的非线性函数,目的是给神经元的输出引入非线性。通过训练得到最佳的输出神经元函数 $f(x) = f(w_0 + w_1 \times X_1 + w_2 \times X_2 + \dots + w_n \times X_n)$,最后获取适宜的拟合残差和网络结构。

表 1 各个理化指标数据的统计分布

指标	样本集	数量	最小值	最大值	平均值	误差 /%
TVB-N	训练集	135	-1.453 8	2.035 9	0.000 0	12.41
	验证集	65	-1.453 8	2.031 6	0.005 8	12.51
TBA	训练集	135	-0.932 7	3.193 0	-0.002 9	12.29
	验证集	65	-0.948 3	3.178 6	0.005 8	11.92
pH	训练集	135	-1.735 1	1.480 0	-0.001 8	12.71
	验证集	65	-1.720 1	1.4650 5	0.003 6	7.73
POV	训练集	135	-1.138 9	3.099 9	-0.004 1	13.26
	验证集	65	-1.081 1	2.790 9	0.008 2	13.20

1.7 数据分析方法

每组样品测定 7 次取平均值,试验结果利用 DPS7.5 进行神经网络模型构建,画图采用的是 origin8.5。

2 结果与分析

2.1 流通过程中各理化性质的变化

2.1.1 TVB-N 值的变化

在流通过程中 TVB-N 值随着贮藏时间的延长和流通温度的增高,残留在鱼面中的细菌生长繁殖,在酶和细菌的作用下鱼面中的蛋白质发生分解产生氨和胺(R-NH₂)等碱性含氮物。这些碱性产物和鱼面中酸性物质结合形成盐基态氮。当盐基态氮积累超过国家限定标准(15 mg/100 g)此时食用该产品会带来一定食品安全风险,此时速冻青稞鱼面丧失商业价值。样品于 -18 ℃ 储藏于 294 d,鱼面的 TVB-N 值从 2.42 mg/100 g 增长至 15.03 mg/100 g; -10 ℃ 195 d 时 TVB 值为 19.35 mg/100 g; 0 ℃ 30 d 时 TVB 为 15.63 mg/100 g; 当其于 -5 ℃ 储存到 100 d,TVB 值为 19.35 mg/100 g; 5 ℃ 贮藏至 24 d 时样品 TVB 值为 14.8 mg/100 g; 在 20 ℃ 下贮藏 4 d 时 TVB 为 14.88 mg/100 g。由图 1 可知,贮藏温度越高,鱼面挥发性盐基氮积累速度越快,食品变质的速度越快。

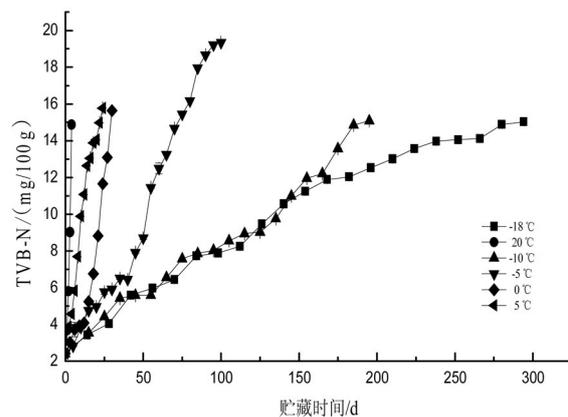


图 1 速冻青稞鱼面不同贮藏温度下 TVB-N 值的变化

2.1.2 POV 值的变化

不同温度下,随着贮藏时间的增长,速冻青稞鱼面的过氧化值增高,因为在储存的过程中,检样测定指标,会受到氧气及包装的影响,氧气和油脂发生氧化反应生成氢过氧化物,随着时间的增长,氢过氧化物累积量增加,会使食品腐败变质,由于高温会加速氢过氧化物的生成,其温度越高,变化趋势越明显。由图 2 可知,样品于 -18 ℃ 储藏于 294 d,鱼面的 POV 值上升到 0.174 g/100 g;

-10℃条件下流通195 d时POV值达到峰值为0.240 g/100 g; 当其于-5℃储存到100 d, 鱼面的POV值为0.190 g/100 g; 0℃储藏至30 d鱼面的POV值从0 g/100 g上升到0.222 g/100 g; 5℃贮藏至24 d时样品POV上升到0.248 g/100 g; 在20℃下贮藏4 d时, POV值为0.250 g/100 g。

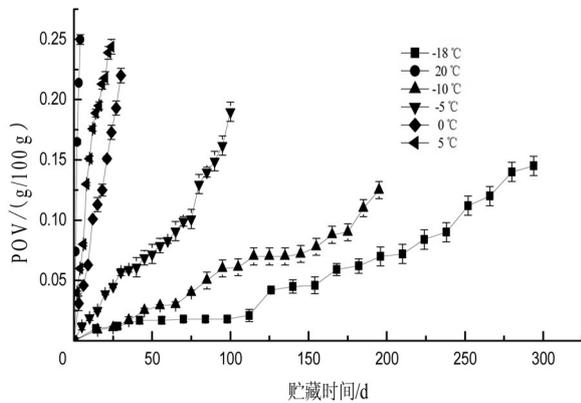


图2 速冻青稞鱼面不同贮藏温度下POV值的变化

2.1.3 pH值的变化

速冻青稞鱼面在贮藏过程中, 有害微生物繁殖产酸的同时, 鱼面中丰富的不饱和脂肪酸也会逐渐发生氧化酸败进一步降低pH。由图3可知速冻青稞鱼面的pH值随货架期延长呈逐渐下降趋势, 其中贮藏温度越高, pH下降趋势越明显; 由图4可知样品于-18℃储藏至294 d, pH下降到4.91; -10℃条件下储藏195 d时pH值下降为4.98; 当其于-5℃储存到100 d, 鱼面的pH值为4.52 (pH < 5.00); 0℃储藏至30 d, 鱼面的pH值为5.03; 5℃贮藏至24 d时样品pH值为5.24; 在20℃下贮藏4 d时, pH值从7.19下降到4.46。pH低于5.00, 出现感官腐败, 达到货架期终点, 与前期研究发现一致。^[10]

2.1.4 TBA值的变化

随着贮藏时间的增加, 鱼面内的脂质在微生物和氧气的作用下发生酸败, 鱼面中丙二醛积累量逐渐增加。由图4可知, 在整个贮运过程中TBA值呈上升趋势; 贮藏温度越高, 丙二醛的积累速度越快, 其TBA的变化趋势越明显。样品于-18℃储藏至294 d, 鱼面的TBA值从0.160 mg/kg达到了1.246 mg/kg; -10℃条件下储藏195 d时TBA值为1.150 mg/kg; 当其于-5℃储存到100 d, TBA值为0.916 mg/kg; 0℃储藏至30 d TBA值为0.358 mg/kg; 5℃贮藏至

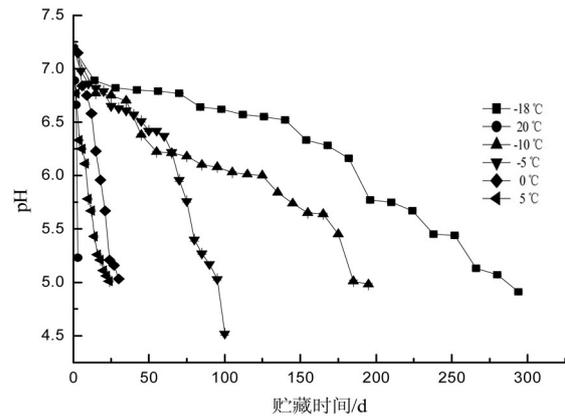


图3 速冻青稞鱼面不同贮藏温度下pH值的变化

24 d时样品TBA从0.160 mg/kg上升到0.420 mg/kg; 在20℃下贮藏4 d时, TBA值为0.276 mg/kg。

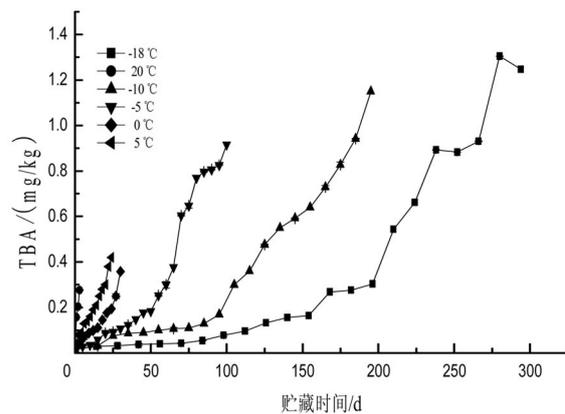


图4 速冻青稞鱼面不同贮藏温度下TBA值的变化

2.2 理化指标预测模型的构建

2.2.1 TVB-N

通过试凑法可以确定TVB-N-BP-NN模型隐含层数为1, 隐含层神经元个数为14, 经过999步的训练, 最小训练速率0.1, 动态参数0.6, SIGMOID为0.9, 允许误差0.0001, 网络结构的拟合残差为0.009。所以BP-NN的结构为18 × 14 × 1, 利用上述的神经网络结构, 对训练集中TVB-N值的进行预测, 以检验模型质量, 结果见图5和图6, 训练集130个样本误差控制在10%内的共101个, 验证集的预测值和实测值的相关系数R²为0.9231。

2.2.2 TBA

通过试凑法可以确定TBA-BP-ANN模型隐含层数为1, 隐含层神经元个数为14, 经过966次学习训练, 最小训练速率0.2, 动态参数0.6, SIGMOID为0.9, 允许误差0.0001, 得到最

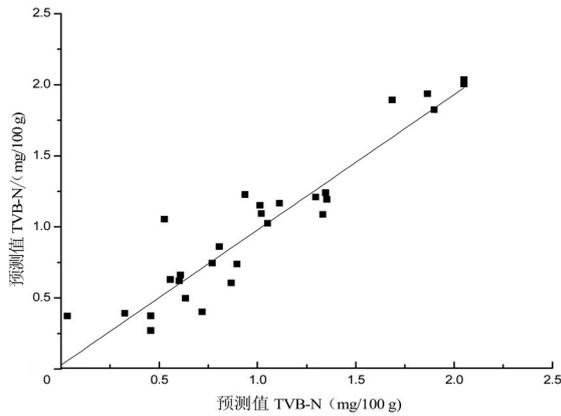


图5 BP-ANN 模型预测值与实测值相关性

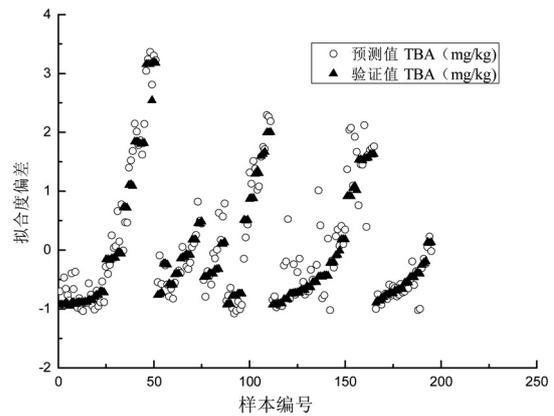


图8 预测集和验证集的分布情况

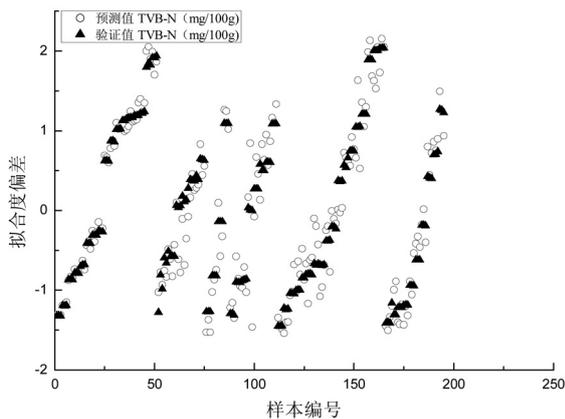


图6 预测集和验证集的分布情况

优的拟合残差为 0.002 ,所以 BP-ANN 的结构为 $18 \times 14 \times 1$ 。检验模型质量 ,结果如图 7 和图 8 ,训练集 130 个样本误差控制在 10% 内的共有 64 个 ,验证集的预测值和实测值的相关系数 R^2 为 0.967 7。

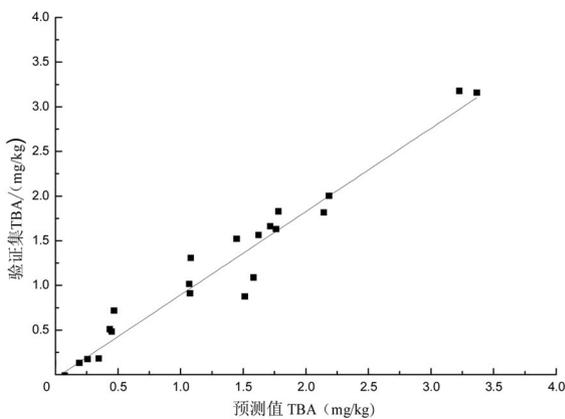


图7 BP-ANN 模型预测值与实测值相关性

速率 0.3 动态参数 0.6 SIGMOID 为 0.9 ,允许误差 0.000 1 经过 978 次的训练 ,使得网络结构的拟合残差为 0.009 4 ,所以 BP-ANN 的结构为 $18 \times 14 \times 1$ 。通过验证集检验模型的质量 ,图 9 和图 10 表明训练集 130 个样本误差控制在 15% 内的共 66 个 ,验证集的预测值和实测值的相关系数 R^2 为 0.947 2。

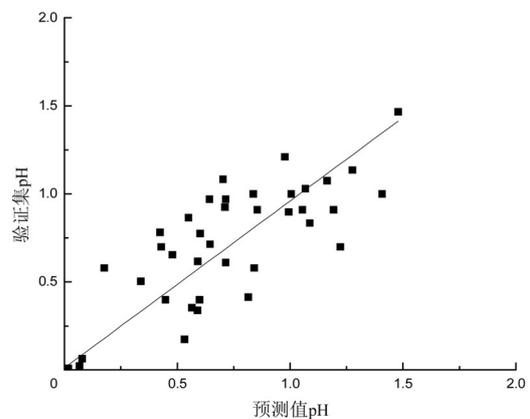


图9 BP-ANN 模型预测值与实测值相关性

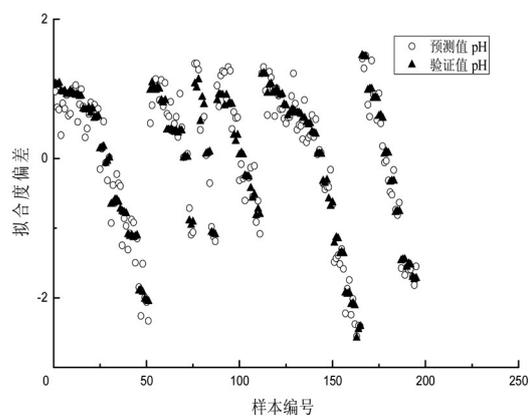


图10 预测集和验证集的分布情况

2.2.3 PH

通过试凑法可以确定 PH-BP-ANN 模型隐含层层数为 1 隐含层神经元个数为 14 最小训练

2.2.4 POV

通过试凑法确定 POV - BP - ANN 模型隐含层层数为 1 隐含层神经元个数为 14 最小训练速率 0.3 动态参数 0.6 SIGMOID 为 0.9 允许误差 0.000 1 ,经过 978 次的训练 ,使得网络结构的拟合残差为 0.009 4 ,所以 BP - ANN 的结构为 18 × 14 × 1。利用上述的神经网络结构 ,对验证集中 POV 值的进行预测 结果如图 11 和图 12 ,由图可知 ,验证集的预测值和实测值的相关系数的 R^2 为 0.947 9。

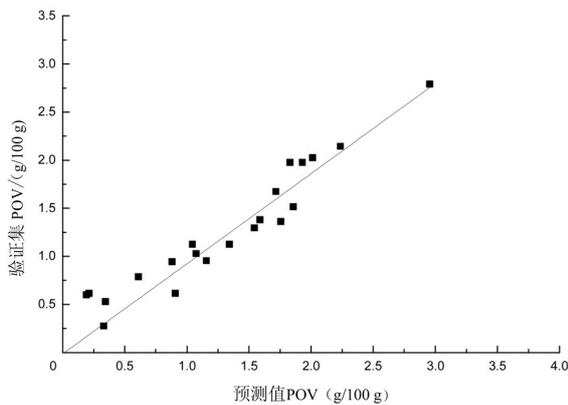


图 11 BP - ANN 模型预测值与实测值相关性

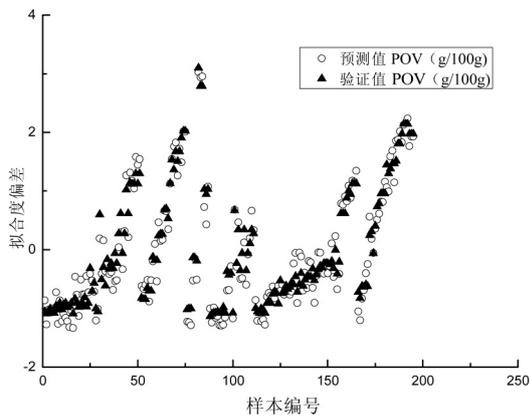


图 12 预测集和验证集的分布情况

2.2.5 模型可靠性验证

随机抽取 5 次 构建 5 个不同的样本组成训练集和测试集。在 BP - ANN 模型参数不变的情况下 ,进行训练 ,所获取 TVB - N、TBA、PH、POV 值的预测值与实测值的相对误差为表 2。通过测试结果的比对 ,可知虽然每次的训练集和验证集是随机选择 ,但是神经网络对各理化指标的预测结果趋于一致 ,变化波动不大。TVB - N 值预测模型的 130 组样本中 ,训练集的平均范围为 2.07% ~ 5.04% ,TBA 值预测模型的 130 组样本

中 ,训练集的平均值为 1.07% ~ 3.59%。POV 值预测模型的 130 组样本中 ,训练集的平均值为 1.11% ~ 3.63% ,平均相对误差是控制在 5% 内。pH 值预测模型的 130 组样本中 ,训练集的平均值为 3.22% ~ 4.39% ;理化指标误差都控制在 15% 以内。通过以上说明该模型有较高的稳定性和可靠性。

表 2 模型可靠性分析

指标	样本组成	平均相对误差 / %	最大相对误差 / %
TVB - N	1	5.04	10.69
	2	2.84	4.61
	3	3.70	9.62
	4	2.07	2.80
	5	4.05	6.25
TBA	1	3.15	8.75
	2	3.59	6.65
	3	1.07	10.77
	4	2.45	6.30
	5	3.92	7.74
POV	1	3.63	13.40
	2	1.11	2.68
	3	1.91	5.64
	4	1.98	3.83
	5	1.31	3.86
PH	1	4.39	10.40
	2	3.22	6.35
	3	3.27	7.85
	4	4.66	7.51
	5	4.16	8.36

3 结论

本研究通过电子鼻对速冻青稞鱼面在货架期的气味响应信号进行分析 ,基于传感器与理化指标 (TVB - N、PH、POV、TBA) 分别建立神经网络模型 ,各 BP - ANN 预测模型相关系数 R^2 都大于 0.9 对其进行验证分析发现 4 组理化指标值预测模型的 5 组随机训练集的平均范围控制在 5% 内 ,最大误差控制在 15% 以内 ,模型有稳定性且可靠性较高 ,可在一定程度内描述和判断货架期速冻青稞鱼面的理化品质 ,为基于气味轮廓的无损快速判断速冻食品贮藏品质的检测技术提供参考依据。

参考文献:

- [1] 乔明锋,彭毅秦,丁捷,等. 速冻青稞鱼面的研发及配方优化[J]. 食品科技, 2017, 42(3): 162-168.
- [2] 唐艳,丁捷,何江红,等. 速冻食品货架期研究现状及发展趋势[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(4): 14-16.
- [3] 丁捷,唐艳,黄益前,等. 青稞粉对速冻面条品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2016, 24(4): 27-32.
- [4] 丁捷,赵雪梅,朱金艳,等. 基于主成分、因子和聚类分析淡水鱼品种对速冻青稞鱼面品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(1): 34-41.
- [5] 丁捷,李晓梅,黄益前,等. 复合改良剂在速冻青稞鱼面加工中的应用[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(5): 95-99.
- [6] 何江红,丁捷,黄益前,等. 响应面法优化速冻青稞鱼面鱼糜加工工艺[J]. 美食研究, 2017, 34(4): 42-47.
- [7] 胡欣洁,赵雪梅,丁捷,等. 基于模糊综合评价法优化挤压型速冻青稞鱼面关键工艺[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 164-171.
- [8] 赵雪梅,廖诚成,丁捷,等. 挤压型速冻青稞鱼面品质评价模型的建立[J]. 粮食与油脂, 2018, 43(2): 189-197.
- [9] 丁捷,何江红,肖猛,等. 一种速冻青稞鱼面及其制作方法[P]. 专利: CN105767886A, 2016-07-20.
- [10] 丁捷,唐艳,刘春燕,等. 速冻青稞鱼面储运过程中货架期预测模型构建[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(2): 25-33.
- [11] EMILIA S D, RZEDZICHI Z, ZARZYCK P, et al. Distribution of (1,3)-(1,4)- β -D-glucans in grains of Polish oat cultivars and lines (*Avena sativa* L.) - short report. [J]. Polish Journal of Food & Nutrition Sciences, 2016, 66(1): 51-56.
- [12] WAKAO T, KOMBA S, EIICHI K N, et al. The unique compositions of steryl ferulates in foxtail millet, barnyard millet and naked barley[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 81: 153-160.
- [13] YONG Z, TONG L, XIONG F, et al. Phenolics content, antioxidant and antiproliferative activities of dehulled highland barley (*Hordeum vulgare* L.) [J]. Journal of Functional Foods, 2015, 19(9): 439-450.
- [14] 张胡彬,何健叶,王志耕,等. 基于电子鼻的中式发酵香肠理化品质指标检测方法[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(7): 205-211.
- [15] 田晓静. 基于电子鼻和电子舌的羊肉品质检测[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [16] LUIS G S, JUAN S, RAMON M, et al. A novel humid electronic nose combined with an electronic tongue for assessing deterioration of wine[J]. Sensors & Actuators: A. Physical, 2011, 171(2): 152-158.
- [17] RODRIGUES N, DIAS L G, VELOSO A C, et al. Monitoring olive oils quality and oxidative resistance during storage using an electronic tongue[J]. LWT - Food Science and Technology, 2016, 73(2): 683-692.
- [18] WEI Z, ZHANG W, WANG Y, et al. Monitoring the fermentation, post-ripeness and storage processes of set yogurt using voltammetric electronic tongue[J]. Journal of Food Engineering, 2017, 203(22): 41-52.
- [19] RAMIREZ H L, SORIANO A, GOMEZ S, et al. Evaluation of the Food Sniffer electronic nose for assessing the shelf life of fresh pork meat compared to physico-chemical measurements of meat quality[J]. European Food Research & Technology, 2018, 244(6): 1047-1055.
- [20] SANAEIFAR A, MOHTASEBIS S, GHASEMI-VARNAMKHAHI M, et al. Application of MOS based electronic nose for the prediction of banana quality properties[J]. Measurement, 2016, 82: 105-114.
- [21] QIU S, WANG J, GAO L. Qualification and quantisation of processed strawberry juice based on electronic nose and tongue[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 60(1): 115-123.
- [22] 徐赛,陆华忠,周志艳,等. 基于理化指标和电子鼻的果园荔枝成熟度识别方法[J]. 农业机械学报, 2015, 46(12): 226-232.
- [23] PINHEIRO C, RODRIGUES C M, SCHAFFER T, et al. Monitoring the aroma production during wine-must fermentation with an electronic nose[J]. Biotechnology & Bioengineering, 2002, 77(6): 632-640.
- [24] OLAFSDOTTIR G, HOGNADOTTIR A, MARTINSDOTTIR E, et al. Application of an electronic nose to predict total volatile bases in capelin (*Mallotus villosus*) for fishmeal production[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2000, 48(6): 2353-2359.
- [25] LI Z F, WANG N, VIGNEAULT C. Electronic nose and electronic tongue in food production and processing[J]. Stewart Postharvest Review, 2006, 2(4): 1-5.
- [26] QUARTO A, SOLDI D, LECCE F D, et al. Electronic nose for evaluating water use in beer production[J]. Isocs/IEEE International Symposium on Olfaction and Electronic Nose, 2017(7): 1-3.
- [27] ZHANG H, WANG J, YE S, et al. Application of electronic nose and statistical analysis to predict quality indices of peach[J]. Food & Bioprocess Technology,

- 2012 5(1): 65-72.
- [28] 潘治利, 黄忠民, 王娜, 等. BP神经网络结合有效积温预测速冻水饺变温冷藏货架期[J]. 农业工程学报, 2012 28(22): 276-281.
- [29] 陈炎. 基于BP人工神经网络的烟熏香肠的多元品质预测研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.
- [30] 曹冬梅, 张东杰, 鹿保鑫, 等. BP人工神经网络在稻米储藏质量评估中的应用[J]. 中国粮油学报, 2014 29(4): 108-112.
- [31] 董庆利, 罗欣, 李保国, 等. 应用BP神经网络改进熏煮香肠质构的感官评定预测[J]. 食品科学, 2008, 29(12): 74-79.
- [32] RAMANA G, AJIT K M, XUAN L L, et al. Application of artificial neural network to predict Escherichia coli O157: H7 inactivation on beef surfaces [J]. Food Control, 2015 47(8): 606-614.
- [33] CHANDRARATNE M R, SAMARASINGHE S, KULASIRI D, et al. Prediction of lamb tenderness using image surface texture features [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(3): 492-499.
- [34] SOLTANI M, OMID M, ALIMARDANI R. Egg Quality Prediction Using Dielectric and Visual Properties Based on Artificial Neural Network [J]. Food Analytical Methods, 2015, 8(3): 710-717.
- [35] MOSTAFA S N, MEHDI K, RAZIEH N. Modeling of oxidation stability of canola oil using artificial neural networks during deep fat frying of potatoes [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2015, 39(9): 1006-1015.
- [36] MILAD F, MOHEBBI M, SEYED M A. Application of Image Analysis and Artificial Neural Network to Predict Mass Transfer Kinetics and Color Changes of Osmotically Dehydrated Kiwifruit [J]. Food Bioprocess Technology, 2011 4(8): 1357-1366.
- [37] ROQUE N L, MOHAMED A, LUIS N A, et al. Prediction of fermentation index of cocoa beans (Theobroma cacao L.) based on color measurement and artificial neural networks [J]. Talanta, 2016, 161(22): 31-39.
- [38] SIMONE F S, CARLOS A R A, RODRIGO N C, et al. Evaluation of extra virgin olive oil stability by artificial neural network [J]. Food Chemistry, 2015, 179(1): 35-43.
- [39] 于慧春, 彭盼盼, 殷勇, 等. 电子鼻融合BP神经网络预测玉米赤霉烯酮和黄曲霉毒素B1含量模型研究[J]. 中国粮油学报, 2017 32(5): 117-121.
- [40] 易宇文, 刘阳, 彭毅秦, 等. 东坡肘子风味电子鼻分析与感官评价相关性探究[J]. 食品与发酵工业, 2018 44(1): 238-244.

Rapid prediction of food safety physicochemical index of quick-frozen highland barley fish noodles within shelf life with e-nose

XIAO Meng¹, TANG Tingting², DING Jie¹, ZHANG Yuwei¹,
WANG Yihua¹, ZHANG Lidan¹, MAO Yongjie¹

(1. College of Food Science, Sichuan Tourism University, Chengdu, Sichuan 610100, China;

2. College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161, China)

Abstract: In order to explore the method of non-destructive rapid evaluation of the storage quality of quick-frozen noodles of fish and highland barley by odor analysis, the electronic nose was used to analyze the volatile odor under different storage temperature and duration. The obtained data was correlated to build up prediction models of physical and chemical quality indices of volatile base nitrogen (TVB-N) values, pH value, peroxide value (POV), and thiobarbituric acid (TBA) values based on propagation-neural network (BP-NN). The four BP-NN models for predicting TVB-N, pH, POV and TBA signal were all $18 \times 14 \times 1$, and all with R^2 bigger than 0.9, the maximum error range within 15%, and the average error range within 5%.

Key words: quick-frozen fish noodles; electronic nose; back propagation-neural network model; food detection

(责任编辑: 赵勇)