电子舌对橙汁感官品质定量评价研究

黄星奕，戴煌，徐富斌，姚丽娅，韩方凯
（江苏大学食品与生物工程学院，江苏镇江 212013）

摘要：尝试采用电子舌技术对橙汁感官品质进行快速定量评价。试验以 3 类 20 种品牌橙汁为研究对象，以人工感官评价结合模糊数学评价橙汁感官品质，获得各个感官指标得分值；同时采集样本的电子舌传感器数据。利用因子分析法确定橙汁各感官指标的权重，根据权重得出橙汁感官品质的总得分。然后对比采用偏最小二乘法和 BP 神经网络建立电子舌传感器响应值与感官品质总得分值之间的定量预测模型。结果显示，因子分析法可以有效分析不同类型橙汁的感官指标，得到色泽、香气、酸度、甜度、苦涩味、体态的权重分别为 0.15、0.06、0.20、0.24、0.15、0.20。当采用主成分数为 3，建立的 BP 神经网络模型效果最优。模型预测集中预测值与参考值的相关系数为 0.93；预测集均方根误差为 0.20。研究结果可为橙汁感官品质的智能化评价提供参考。

关键词：电子舌；感官品质；橙汁；模糊数学；因子分析法；偏最小二乘法；支持向量机
文章篇号：1673-9078(2014)5-172-177

Quantitative Evaluation of Orange Juice Sensory Quality using Electronic Tongue

HUANG Xing-yi, DAI Huang, XU Fu-bin, YAO Li-ya, HAN Fang-kai
(School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: The sensory quality of three kinds of commercial available juice samples (20 brands) was evaluated by sensory evaluation combined with fuzzy mathematics. The samples were also analyzed by using the electronic tongue to obtain the corresponding electronic tongue data. The weight of each sensory indicator of the orange juice was determined using factor analysis method. The total score of the sensory quality was derived based on the weight of each sensory indicator. Subsequently, partial least squares (PLS) and back propagation neural network(BPNN) methods were contradistinctively used to establish the quantitative prediction model between sensor signals and the total score of sensory quality. The results showed that, sensory indicators of different types of orange juice could be effectively analyzed through factor analysis which accurately reflected the quality of the orange juice by the sensory evaluation results. The weights of color, aroma, acidity, sweetness, bitterness, body were 0.15, 0.06, 0.20, 0.24, 0.15 and 0.20, respectively. When the number of principal component was 3, the performance of BPNN model was better than PLS. The correlation coefficient (Rp) between the value predicted by the BPNN model and the reference value in the prediction set was 0.93 and the root mean square error of prediction (RMSEP) was 0.20. The results could provide a reference for intelligently evaluation of the sensory quality of orange juice.

Key words: electronic tongue; sensory quality; orange juice; fuzzy mathematics; factor analysis; partial least square; support vector machines

橙汁具有新鲜水果香味和滋味，营养丰富，深受广大消费者喜爱。随着橙汁工业质量控制过程发展和完善，橙汁品质决定其受欢迎程度，其中感官品质起着非常重要的作用。研究发现，橙汁感官品质直接影响消费者的购买意向[1]。目前，橙汁的感官评价是先观察感官指标形成一个评分系统，之后用该评分系统对橙汁感官品质进行评价和预测。感官评价需要专门培训的测评小组，检测步骤烦琐，结果重复性差，难以准确判断橙汁感官品质。

电子舌是根据生物仿生学原理，模仿人体味觉机理研制成的一种分析、识别物质整体信息的新型分析仪器，由传感器阵列获取待测液信息，通过适当的分析方法对传感器输出信号进行处理，实现对待测液整体品质进行客观、可靠分析。电子舌具有快速、准确、重复性好等优点[2]，在肉品新鲜度检测[3]、酒的老化[4]、茶叶滋味[5]、水质污染[6]等方面得到广泛应用。电子舌在果汁品质评价中的研究有：不同种类果汁的区分[7]，不同口味果汁的区分[8]，不同果汁含量的区分[9]，而用

收稿日期：2013-11-07
基金项目：江苏省高校优势学科建设工程资助项目
作者简介：黄星奕(1963-)，女，教授，博士生导师，主要研究方向：农产品检测技术

来定量评价橙汁感官品质还未见相关报道。

我国现行 GB/T 21731-2008《橙汁及橙汁饮料标准》只是对橙汁感官要求进行描述，没有相应评分规则和方法，存在缺陷。近年来模糊数学开始逐步应用于果汁感官质量的综合评价[10]，以获得准确的检验结果。在用模糊数学来评价食品的感官质量时，权重分配方案通常由拥有精深专业知识的参加评分人员制定，实际上由于评委们专业知识往往会造成某种偏差，需要利用更恰当的方法合理地确定各感官指标的权重。橙汁感官品质是橙汁内各种成分相互配合、彼此协调后的综合反映，而电子舌系统的交叉敏感性传感器阵列输出的响应信号是待测液的综合信息，不是某成分单一的信息。因此，可利用电子舌对橙汁感官品质进行定性定量研究。本研究以市售的非浓缩还原橙汁、浓缩还原橙汁和橙汁饮料作为研究对象，利用模糊数学七度标度法建立橙汁感官评价方法，由 10 位评价人员组成的评审小组按照建立的方法进行评审打分。研究采用因子分析法确定橙汁各个感官指标的权重，根据各感官指标的权重得出橙汁感官品质的总得分。然后对比采用偏最小二乘法（partial least square，PLS）和 BP 神经网络（back propagation neural network，BPNN）建立电子舌传感器响应值与感官品质总得分值之间的相关模型。旨在建立一种准确、快速、重复性好的橙汁感官品质评价方法，为橙汁感官评价提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 橙汁样本

橙汁样本来源见表 1。样本包括 3 种非浓缩还原橙汁（Not From Concentration，NFC），4 种浓缩还原橙汁（Reconstituted From Concentration，RFC），13 种橙汁饮料，每种橙汁取 6 个样本。所有样本购于江苏镇江当地超市。从 120 个样本中随机选用 80 个作为校正集，用于建立校正模型，剩余 40 个作为预测集，用于验证模型性能。

1.2 电子舌数据采集

采用的 α-ASTREE Ⅱ 电子舌分析仪（法国 Alpha M O S 公司）由 16 位自动进样器、传感器阵列、数据采集和控制器、模式识别软件等部分组成。传感器阵列由 7 根具有交叉敏感性的传感器（ZZ、BA、BB、CA、GA、HA 和 JB）和 1 个 Ag/AgCl 参比电极组成。数据采集前，电子舌系统需完成自检、初始化、校正和诊断等环节，环境温度控制在 25 ℃左右。

表 1 橙汁样本

Table 1 orange juice sample

类型	品牌	果汁含量(来自标签)	生产日期
非浓缩还原橙汁	派森百	100%	2013.04-2013.05
	臻富纯主义	100%	2013.04-2013.05
	扬雅	100%	2013.04-2013.05
浓缩还原橙汁	汇源 100%	100%	2012.12-20130.4
	大湖	100%	2013.02-2013.04
	味全	100%	2013.04-2013.05
	乐购 100%	100%	2013.03-2013.04
橙汁饮料	统一鲜橙多	≥10%	2013.03-2013.05
	康师傅鲜果橙	≥10%	2013.04-2013.06
	鲜果橙每日 C	≥10%	2013.03-2013.05
	乐源果粒橙	≥10%	2013.03-2013.05
	美汁源酷儿	≥10%	2013.03-2013.05
	美汁源果粒橙	≥10%	2013.03-2013.05
	纯果乐鲜果粒	≥10%	2013.03-2013.05
	乐购橙汁饮料	≥10%	2013.04-2013.05
	娃哈哈橙汁饮料	≥10%	2013.04-2013.05
	汇源鲜果饮	≥10%	2013.03-2013.05
	四洲粒粒橙	≥15%	2012.08-2013.05
	汇源橙汁系列	≥30%	2013.03-2013.05
	欧尚橙汁	55%	2012.08-2012.12

将橙汁样本离心、过滤，取 85 mL 倒入容量为 150 mL 的电子舌配套烧杯中，数据采集序列为清洗液（蒸馏水）和待测橙汁交替排列进行。为确保电子舌传感器响应信号的准确性和稳定性，每个样品数据采集时间为 120 s，样品测量后清洗时间为 20 s。样品数据每隔 1 s 采集一次数据，取后 5 s 测量值的平均值作为每个样本一次测量的数据。为减少测量误差，每个样本重复测量 7 次，取后 3 次测量的各传感器平均值作为一个样本数据进行后续处理数据。

1.3 橙汁感官评价及总得分值计算

参考《橙汁及橙汁饮料标准》中感官要求项目并结合橙汁特性，选择色泽、香气、酸度、甜度、苦涩味和体态共 6 个最能反应橙汁感官品质的指标作为评价指标。采用模糊数学中的七度标度法[11]对橙汁感官指标进行分析，评语论域为 V=1、2、3、4、5、6、7 分别对应于①最难接受；②较难接受；③稍难接受；④勉强接受；⑤稍易接受；⑥容易接受；⑦最易接受。在对果汁风味敏感的专业人员中选取 10 人，按照定量描述分析法[12]将评审人员培训后组成评价小组，对橙汁的 6 个感官品质指标按照七度标度法进行感官评

定。橙汁的评定领域 U=（色泽、香气、酸度、甜度、苦涩味、体态），对应的权重值 ω_i 根据因子分析法来确定。将所有评审人员的各样本感官指标评分对应取平均值进行分析。

1.4 分析方法

采用因子分析法确定橙汁各个感官指标的权重，根据各感官指标的权重得出橙汁感官品质的总得分；采用单因素方差分析（one-way ANOVA）确定试验因素对试验结果是否有显著性影响；分别采用 PLS 和 BP 神经网络方法建立电子舌评价橙汁品质的定量模型，并进行比较。模型建立过程中，采用交互验证均方根误差（Root Mean Square Error of Cross-Validation，RMSECV）值确定模型所需的最佳主成分因子数。采用校正集的相关系数（correlation coefficient of calibration，Rc）、校正集均方根误差（RMSECV）和预测集的相关系数（correlation coefficient of prediction，Rp）、预测集均方根误差（Root Mean Square Error of Prediction，RMSEP）评价模型效果。电子舌传感器数据获取由 α-ASTREE Ⅱ Version 3.0.1 软件（电子舌系统自带）完成，因子分析和单因素方差分析采用 SPSS 15.0 统计分析软件完成，其他数据分析基于 Matlab 7.8 平台完成。

2 结果与分析

2.1 因子分析

因子分析是根据相关性大小把变量分组，使得同组内的变量之间的相关性较高，而不同组的变量之间的相关性较低，最终用少数几个公共因子来表达原变量，以达到合理地解释存在于原始变量间的相关性和简化变量个数的目的[13~14]。

表 2 主因子特征值、贡献率和累积贡献率

Table 2 Eigenvalues, contribution rates and cumulative contribution rates of principal components

主因子	因子提取结果			旋转后的因子提取结果		
	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
F_1	3.45	57.54	57.54	2.60	43.39	43.39
F_2	1.72	28.65	86.19	2.05	34.12	77.51
F_3	0.43	7.13	93.32	0.95	15.81	93.32

将橙汁感官各指标得分原始数据进行标准化处理后，对原始数据进行 KMO 检验和 Bartlett 球度检验。检验结果的 KMO 值为 0.72，这说明各个感官指标变量之间有相关性。Bartlett 值为 618.86，显著性系数 Sig 为 0.00<0.05，这说明变量相关矩阵不是一个单位矩阵，故进行因子分析。为了更直观地分析各感官指标在感官品质因子空间中的分布，对原始因子荷载矩阵进行最大方差旋转，并计算各主要感官因子的特征值、贡献率、累积贡献率、因子载荷矩阵和因子得分系数矩阵其结果见表 2、表 3 和表 4。

累积贡献率表明主因子所包含全部指标信息的百分比。由表 2 可以看出，本研究根据评价指标，从 6 个指标中可以提取 3 个因子，这 3 个公共因子包含 93.32%原变量信息，反映了原始数据绝大部分的信息。因此可以利用 3 个主因子对橙汁感官品质进行对比研究。因子旋转后累计方差比没有改变，即没有影响原变量的共同度，只是重新分配各个因子解释原有变量的方差，即改变了各因子的方差贡献，从而使得因子更易于解释。因子旋转前公共因子贡献率集中于 F_1（占 57.54%），贡献率最大，包含的信息最多，表明其对橙汁感官品质的影响最大。旋转后这 3 个因子的累积贡献率分别为 43.39%、77.51%和 93.32%。

表 3 因子载荷矩阵

Table 3 Loading matrix of factors

指标	因子载荷矩阵			旋转后的因子载荷矩阵		
	F_1	F_2	F_3	F_1	F_2	F_3
色泽	0.75	0.61	0.08	0.14	0.89	0.36
香气	0.77	0.32	-0.55	0.26	0.43	0.86
酸度	0.80	-0.52	0.08	0.94	0.11	0.13
甜度	0.88	-0.33	0.18	0.88	0.34	0.11
苦涩味	0.68	-0.64	-0.05	0.91	-0.09	0.18
体态	0.65	0.68	0.28	0.06	0.97	0.15

从表 3 可以看出因子旋转前后每个主因子所表征的指标含义发生显著性变化。未进行因子正交旋转时初始因子负荷矩阵中各个原始指标在第一个主因子 F_1 上的载荷较大，F_1 由指标体系中的全部 6 个原始指标表征，因子的意义含糊不清，无法进行合理解释，不能反映 F_1 在橙汁感官品质中的实质特征。第三个主因子 F_3 在每个原始指标上的载荷均较小，也无法进行恰当解释，故需要进行因子旋转。经过因子正交旋转后，因子载荷矩阵有很大改变：6 个橙汁感官指标在 3 个主因子的因子载荷矩阵中的分布有明显的区别。各主因子所代表的含义解释如下：

F_1（第一主因子）：橙汁滋味品质指标，贡献率为 43.39%，与之载荷较高的主要指标是酸度、甜度和苦涩味。这些指标贡献率最大，是橙汁感官品质评价中的最重要的评价指标，反映橙汁滋味品质。

F_2（第二主因子）：橙汁外观品质指标，贡献率为 34.12%，与之载荷较高的主要指标是色泽和体态。这些指标是橙汁感官品质评价中重要的评价指标，反

映橙汁外观品质。

F_3（第三主因子）：橙汁气味品质指标，贡献率最小，为 15.81%，与之载荷较高的主要指标是香气。这些指标是橙汁感官品质评价中的气味品质，反映橙汁气味品质。

表 4 因子得分系数矩阵

Table 4 Coefficient matrix of factor scores

指标	成分		
	F_1	F_2	F_3
色泽	-0.05	0.45	0.01
香气	-0.16	-0.28	1.28
酸度	0.40	-0.01	-0.14
甜度	0.38	0.18	-0.31
苦涩味	0.37	-0.20	0.11
体态	-0.02	0.66	-0.43

根据回归法求得因子得分系数矩阵，见表 4。由因子得分系数的含义可知，因子得分系数与相应方差贡献率的乘积即为各指标在样本中的贡献，用各指标的贡献除以所有指标的贡献之和即得各指标的权重，求得色泽、香气、酸度、甜度、苦涩味、体态的权重分别为 0.15、0.06、0.20、0.24、0.15、0.20。根据模糊数学中的规定计算橙汁感官总得分值=$U*\omega_i$，可以得出橙汁感官总得分值。

2.2 单因素方差分析

对橙汁样本感官总得分值进单因素方差分析，考察品牌对感官总得分值的影响，结果见表 5。比较组内均方根误差和组间内均方根误差，1.74>0.02，即不同品牌橙汁感官得分的差异远大于同一品牌不同样本橙汁感官得分的差异。说明试验样本橙汁感官总得分值差异主要来源于不同品牌；F 值为 98.12，显著性水平小于 0.001，表明试验样本中不同品牌橙汁感官品质差异极显著。

表 5 橙汁感官总得分值的单因素方差分析结果

Table 5 Results of one-way analysis of variance for total score values of orange juice sensory

	平方和	自由度	均方根误差	F 值	显著性水平
组间	31.23	18	1.74	98.12	
组内	1.79	101	0.02		<0.001
总数	33.02	119			

注：α=0.01。

2.3 PLS 模型建立及预测

研究建立橙汁的电子舌传感器响应值与人工感官品质总得分值间的相关模型，以实现橙汁感官品质的快速评价。首先采用 PLS 线性方法建立模型。

由于电子舌的传感器具有选择性、非特异性又具有交互敏感性，而橙汁成分复杂，造成各传感器的响应值间存在一定相关性，从而使变量间产生冗余信息；这些冗余信息参与模型建立，会降低模型性能。所以在 PLS 模型建立过程中，需对 PLS 主因子数进行优化。采用 10 折交互验证法确定最佳主因子数，校正集中最小 RMSECV 值所对应使用的主因子数即是模型最佳主因子数。图 1 显示不同主因子数所建模型对应的 RMSECV 值。由图可看出，当主因子数为 6 时，所建模型的 RMSECV 值最小，因此使用前 6 个主因子建立模型，此时模型结果如图 2 所示。PLS 模型校正集和预测集的相关系数分别为 0.67，0.44。

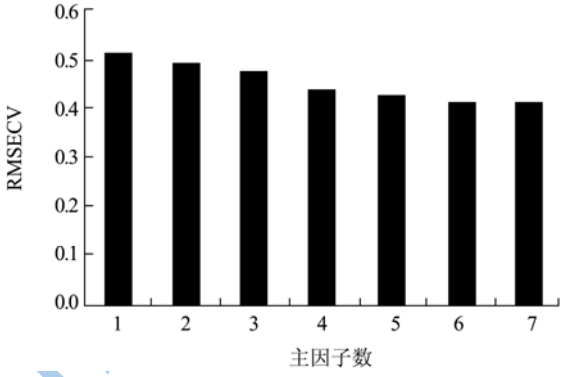


图 1 在不同主因子建立偏最小二乘回归模型的对应交互验证均方根误差

Fig.1 RMSECV values of PLS models based on different PLS factors

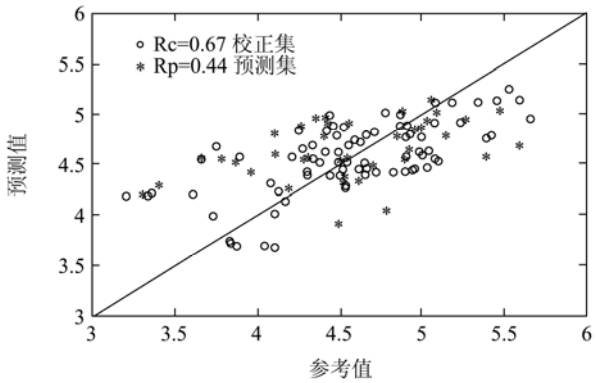


图 2 偏最小二乘回归模型预测结果

Fig.2 Results of PLS model

2.4 BPNN 模型建立及预测

由 2.3 中结果可以看出 PLS 建立的线性相关模型效果不好，本研究试图采用非线性方法。大量研究表明，神经网络算法中 BP 神经网络算法是一种很好的非线性函数逼近方法，具有很好的自学习、自适应能力以及鲁棒性和泛化性，已被广泛运用于预测领域。本研究选用 BP 神经网络算法建立模型。

BP 神经网络模型采用三层网络结构，分别为输入层、隐含层和输出层。以电子舌传感器信息作为输入，对应的感官总得分值作为输出；其中隐含层的传递函数采用双曲正切函数 tansig，输出层的传递函数采用线性变换函数 purelin，网络的学习算法采用 Levenberg-Marquardt 反向传播算法。为了提高 BP 网络训练效果及增强网络的泛化能力，需要将原始数据（电子舌传感器数据和感官总得分值）进行归一化预处理。在 Matalb 软件中运用 mapminmax 函数将原始数据归一化到[-1, 1]。根据电子舌的特点，7 个传感器所获得到的数据之间存在一定的相关性，采用主成分分析将传感器数据在高维空间向低维空间投影，所得的各主成分向量相互正交。与 PLS 模型类似，主成分数会影响 BPNN 模型的稳定性，同样在校正集中采用 10 折交互验证法确定最佳主成分数。图 3 表明不同主成分数所建模型的 RMSECV 值，从图可看出当主成分数为 3 时，所对应的 RMSECV 值最小。前 3 个主成分的累计贡献率为 95.17%，即样本的前 3 个主成分可以表达样本传感器数据 90%以上的信息。因此，使用传感器数据的前 3 个主成分作为输入建立 BP 神经网络模型。

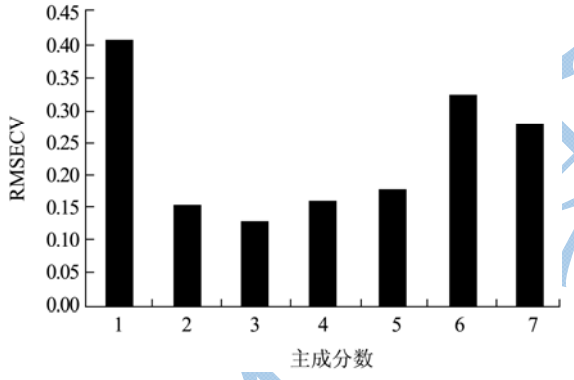


图3 在不同主成分下建立BP神经网络模型的对应交互验证均方根误差

Fig.3 RMSECV values of BPNN models based on different PCs

在 BP 神经网络训练过程中，动量因子取为 0.70，学习速率取为 0.03，训练的最大迭代次数设为 10000，网络性能目标误差为 0.0001。隐含层神经元数目的确定尚无明确的理论依据，一般是根据经验或反复实验来确定的。本研究采用 10 折交互验证法优化隐含层神经元数目，在优化过程中，隐含层神经元分别取 3~20 之间的不同数目，以模型校正集中的 RMSECV 最小值为目标，重复计算 20 次取平均值。通过计算得到最优隐含层神经元数目为 5，使用最优参数建立模型，此时模型结果如图 4 所示。BPNN 模型校正集和预测集的相关系数分别为 0.97，0.93。

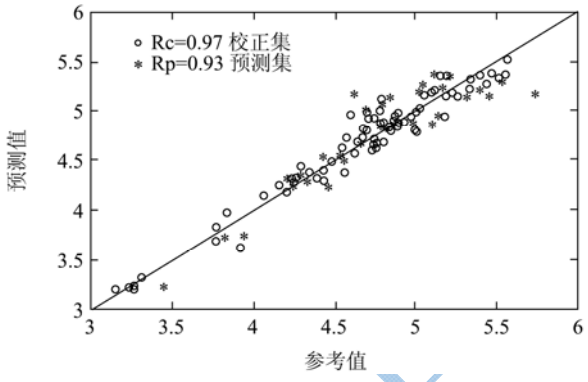


图 4 BP 神经网络模型预测结果

Fig.4 Results of BPNN model

2.5 模型预测感官总得分结果比较

表 6 PLS 与 BP 神经网络模型结果比较

Table 6 Comparison of results based on PLS and BPNN regression models

模型	主成分因子数	校正集		预测集	
		Rc	RMSECV	Rp	RMSEP
PLS	6	0.67	0.39	0.57	0.48
BPNN	3	0.97	0.12	0.93	0.20

由表 6 可看出，BP 神经网络模型性能明显优于 PLS 模型，校正集和预测集的相关系数均大于 0.90；BP 神经网络模型的 RMSECV 和 RMSEP 均小于 PLS 模型对应的 RMSECV 和 RMSEP。BP 神经网络模型准确性和精确性均优于 PLS 模型，BP 神经网络模型能更好地评价橙汁的感官品质。其原因是橙汁感官品质主要由专业评审员完成，人体感官机理复杂，评判是橙汁对人体的综合刺激效应；且橙汁感官品质是橙汁各成分相互配合、彼此协调后的综合反映，导致橙汁中的成分与其感官得分之间倾向于非线性关系。电子舌传感器的膜是由既具有选择性，又具有交互敏感性的有机膜组成，因而传感器也并不只是对某单一成分有响应，而是有选择性的各种成分的综合响应，这样导致橙汁的感官属性与电子舌的各传感器响应值之间是非线性关系。PLS 方法长于分析仪器响应值与参考测量值之间的线性问题，采用线性方法难以解决复杂非线性问题，BP 神经网络方法是模仿大脑神经网络结构和功能而建立的一种信息处理系统，能很好的解决复杂的非线性问题，因此获得更好的预测结果。

3 结论

3.1 采用模糊七度标度法作为果汁感官品质评价方法。为合理确定橙汁各感官评价指标的权重，提出了基于因子分析法确定权重的方法，进而形成一种新的

橙汁感官评价模型。该模型能得出橙汁各感官评价指标的权重，找到影响橙汁感官品质的综合指标，得到各橙汁样本的接受程度，且原理清晰，计算简单、方便，结果合理。

3.2 品牌对橙汁感官品质具有极显著影响。BP神经网络方法建立的电子舌传感器响应值与人工感官品质总得分值间模型最优，说明传感器响应值与橙汁感官品质之间是非线性的。用独立样本检验模型精度，其预测值与参考值间的相关系数为0.93，预测均方根误差为0.20。

3.3 电子舌结合BP神经网络算法能够快速、准确评价橙汁感官品质。研究结果为橙汁感官品质智能化评价提供参考。

参考文献

[1] Nisida A, Tocchini R, Berbari S, et al. Stability of unpasteurized orange juice stored at 4 ℃ [J]. Coletanea-Instituto De Tecnologia De Alimentos, 1993, 23: 173-173

[2] Tian S Y, Deng S P, Chen Z X. Multifrequency large amplitude pulse voltammetry: a novel electrochemical method for electronic tongue [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2007, 123(2): 1049-1056

[3] 韩剑众,黄丽娟,顾振宇,等.基于电子舌的鱼肉品质及新鲜度评价[J].农业工程学报,2008,24(12):141-144
HAN Jian-zhong, HUANG Li-juan, GU Zhen-yu, et al. Evaluation of fish quality and freshness based on the electronic tongue [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 141-144

[4] Ghasemi-Varnamkhasti M, Rodríguez-Méndez M L, Mohtasebi S S, et al. Monitoring the aging of beers using a bioelectronic tongue [J]. Food Control, 2012, 25(1): 216-224

[5] 吴瑞梅,赵杰文,陈全胜,等.基于电子舌技术的绿茶滋味品质评价[J].农业工程学报,2011,27(11):378-381
WU Rui-mei, ZHAO Jie-wen, CHEN Quan-sheng, et al. Quality assessment of green tea taste by using electronic tongue [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(11): 378-381

[6] Chang C C, Saad B, Surif M, et al. Disposable e-tongue for the assessment of water quality in fish tanks [J]. Sensors, 2008, 8(6): 3665-3677

[7] 滕炯华,王磊,袁朝辉.基于电子舌技术的果汁饮料识别[J].测控技术, 2004,23(11):4-5
TENG Giong-hua, WANG Lei, YUAN Chao-hui. Recognition of several fruit juice beverages using an electronic tongue [J]. Measurement and Control Technology, 2004, 23(11): 4-5

[8] Bleibaum R N, Stone H, Tan T, et al. Comparison of sensory and consumer results with electronic nose and tongue sensors for apple juices [J]. Food Quality and Preference, 2002, 13(6): 409-422

[9] Peres A M, Dias L G, Barcelos T P, et al. An electronic tongue for juice level evaluation in non-alcoholic beverages [J]. Procedia Chemistry, 2009, 1(1): 1023-1026

[10] Gao H, Nan H J, Fu S F, et al. Using fuzzy mathematics in sensory evaluation of composite auricularia auricula-jujube beverages [A]. In: Hu, J. Advances in Biomedical Engineering [C]. Hong Kong, PEOPLES R CHINA, 2011: 346-349

[11] 杨纶标,高英仪.模糊数学原理及应用,第三版[M].广州:华南理工大学出版社,2001
YANG Lun-biao, GAO Ying-yi. Principle and application of fuzzy mathematics, third edition [M], Guangzhou: South China University of Technology Press, 2001

[12] 韩北忠,童华荣.食品感官评价[M].北京:中国林业出版社,2009
HAN Bei-zhong, TONG Hua-rong. Food sensory evaluation [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2009

[13] Gao C, Yan J Z, Yang S H, et al. Applying factor analysis to water quality assessment: a study case of wenyu river. In nonlinear mathematics for uncertainty and its applications [M]. Springer: 2011

[14] Jeng D J F. Evaluating intertwined effects of team internal factors on project success: a hybrid method combining exploratory factor analysis and the dematel technique [J]. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 2012, 8(8): 7451-7465