

基于智能仿生仪的发酵小米椒感官品质评价模型

Sensory quality evaluation model of fermented millet pepper based on intelligent sensory

易宇文¹ 陈刚² 彭毅秦¹ 张旭¹

YI Yu-wen¹ CHEN Gang² PENG Yi-qin¹ ZHANG Xu¹

邓静¹ 乔明锋¹ 刘阳¹ 王聪¹

DENG Jing¹ QIAO Ming-feng¹ LIU Yang¹ WANG Cong¹

(1. 四川旅游学院烹饪科学四川省高等学校重点实验室, 四川 成都 610100;

2. 四川广播电视大学德阳分校绵竹工作站, 四川 德阳 618000)

(1. Cuisine Science Key Laboratory of Sichuan Province, Sichuan Tourism University, Chengdu, Sichuan 610100, China; 2. Mianzhu Workstation, Deyang Branch, Sichuan Radio and TV University, Deyang, Sichuan 618000, China)

摘要:为利用智能感官分析技术评价小米椒发酵过程中感官品质的变化,以恒温条件发酵的小米椒为试验对象,利用电子鼻、电子舌等智能感官仪器结合感官评价,采用相关性分析、主成分分析、逐步回归分析及拟合检验等数学方法,建立发酵小米椒感官品质评价模型。结果表明:简化后的感官指标为滋味、香味及色泽,权重分别是 38.96%, 35.06%, 25.97%, 拟合检验 $R^2 = 0.998$, 表明模型可代替原始的人工感官评价法。以智能感官指标的 PCA 为自变量,感官评价模型结果为因变量,进行因子分析建立主成分回归方程: $Y = 67.672 + 8.296 \times X_1 PC1 - 1.571 \times X_2 PC1 - 3.431 \times X_3 PC1 + 0.288 \times X_4 PC1$, 方差扩大因子检验表明该模型无明显多重共线性 ($VIF < 10$)。新的品质评价模型能较好地拟合小米椒发酵过程中感官品质的变化,弥补了人工感官重现性及稳定性差的缺陷。

关键词:发酵小米椒;智能感官;评价模型;感官品质

Abstract: In order to study the quality change of fermented millet pepper, the sensory evaluation model of fermented millet pepper was established using the intelligent sensory instruments (electronic nose and electronic tongue) and sensory evaluation, combining with the method of correlation analysis, principal component analysis, stepwise regression analysis and fitting test. The results showed that

基金项目:四川省教育厅自然科学基金项目(编号:17ZB0325, 18TD0043);川菜发展研究中心项目(编号:CC17Z08);四川省科技厅科技支撑项目(编号:2015NZ0037)

作者简介:易宇文,男,四川旅游学院副研究员,硕士。

通信作者:乔明锋(1985-),男,四川旅游学院副研究员,博士。

E-mail: mjqiao@163.com

收稿日期:2018-04-04

the weight of the simplified sensory indicators were 38.96%, 35.06% and 25.97%, respectively, and the fitting test $R^2 = 0.998$ indicated that the model can replace the original evaluation method. Taking the PCA of the intelligent sensory index as the independent variable and the sensory evaluation model as the dependent variable, the principal component regression equation was established by factor analysis: Y (sensory score) = $67.672 + 8.296 \times \text{color PC1} - 1.571 \times \text{texture PC1} - 3.431 \times \text{PC1 electronic nose} + 0.288 \times \text{PC1 electronic tongue}$, and the variance inflation factor test showed that the model had no obvious multicollinearity ($VIF < 10$). The new quality evaluation model can fit the change of sensory quality during fermentation process of millet pepper, and offset the defect of the reproducibility and stability of the artificial sensory.

Keywords: fermented millet pepper; intelligent sensory; evaluation model; sensory quality

发酵小米椒是中国传统发酵调味食品,滋味酸辣,香味独特,能增进食欲、帮助消化,改善食品风味、防止腐败等作用,广泛应用于餐饮及休闲食品中^[1-2]。目前泡制小米椒的品质评价主要依靠人工感官。人工感官的优点在于操作简便无需较高投入,但易受环境、个人喜好、年龄及身体状况等因素影响,造成评价结果的稳定性、重现性及客观性差^[3-5],因此需要引入智能感官分析技术辅助人工对发酵小米椒进行品质评价。

智能感官通过模拟人感官以获得检测对象的品质特征信息,并通过现代的信息处理技术,模拟人对检测对象进行判别处理^[6]。目前电子鼻、电子舌、质构及色差仪等智能仿生仪器已广泛应用于食品检测与评价领域。如谢安国等^[7]

详细论述了电子鼻在食品风味分析中的应用进展;易宇文等^[8]利用电子鼻技术结合人工感官,分析了不同鱼香肉丝调料在加热前后的风味变化;林科等^[9]论述了电子舌在食品检测中的应用;王素霞等^[10]曾对花椒酰胺浓度与电子舌探头响应规律进行研究;国艳梅等^[11]利用色差仪估测番茄果实中番茄红素的含量;马庆华等^[12]利用质构仪对不同来源的冬枣进行穿刺分析,建立了一套相应的质地检测方法。综上,利用智能仿生仪器研究小米椒发酵过程的品质变化是可行的。

目前感官评价体系主要依靠人工感官评价指标为基础进行建立,利用智能感官全方位辅助人工感官建立发酵小米椒感官品质评价模型尚未见报道。李敬等^[13]以M值法结合主成分分析筛选出7个感官评价指标,建立泡椒牛皮感官评价指标体系;王莉等^[14]在建立泡椒牦牛黄喉感官评价描述词的过程中利用M值法对感官评价指标进行初选,再以主成分选出分别代表泡椒牦牛黄喉外观、质地、风味、色泽特征的观官品质描述词。

本试验通过智能感官分析与感官评价相结合,以相关性分析、主成分分析、逐步回归分析及拟合检验,简化感官评价指标;以泡椒的色差、质构、电子鼻及电子舌的主成分为自变量,以修正后的感官评价得分为因变量,进行多元线性回归和因子分析,研究小米椒发酵过程中的品质变化规律,建立一种客观的品质评价方法,以期发酵小米椒品质的客观性评价提供相关理论支撑。

1 材料与方法

1.1 原料与仪器

1.1.1 试验材料

小米椒、大蒜、白砂糖、盐、蒸馏水、白醋、味精;成都市龙泉驿平安菜市场。

1.1.2 主要仪器设备

电子鼻:FOX 4000型,法国Alpha MOS公司;

电子舌: α -ASTREE型,法国Alpha MOS公司;

高精度食品物性分析仪:TMS-PRO型,美国TFC公司;

超声波清洗机:SB-3200DTDM型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

水浴锅:HHS-8S型,北京中兴伟业仪器有限公司;

超纯水机:UPH-I-10T型,西安优普仪器有限公司;

电子天平:BT423S型,上海绿宇生物科技有限公司;

组织捣碎机:SD-1型,上海皖宁精密科学仪器有限公司;

恒温培养箱:ZG-150-S型,韶关市广智科技设备有限公司。

1.2 方法

1.2.1 发酵工艺

小米椒→挑选→清洗→称量→调味→调香→发酵→翻缸→成品

操作流程:挑选完整无破损的小米椒,清洗去除表面污垢,称量白糖20g、食盐100g、白醋60g、味精2g放入

1000g水中融化,将小米椒1000g、大蒜5g放入其中,在28℃恒温发酵。

1.2.2 试验方法

(1) 电子舌分析:将小米椒和水按1:10(质量比)进行捣碎,超声波90kHz,常温提取10min,取80mL滤液。传感器采集时间120s,清洗180s,平行测定5次。

(2) 电子鼻分析:将小米椒捣碎称取2g放置于顶空瓶中密封。顶空70℃,加热5min,载气流量150mL/s,进气量0.5mL,数据采集时间120s,数据采集延迟180s,平行测定5次。

(3) 色差分析:将小米椒搅碎,利用色差仪分别测定L、 a^* 、 b^* ,平行测定3次。

(4) 质构特性:挑选大小较均匀的小米椒,单刀复合式剪切探头,形变量80%,剪切速度1mm/s,返回速度1mm/s,最小感应力0.375N,平行测定7次。

(5) 感官评价:选择10名从事食品加工的人员组成评定小组,分别从色泽、体态、香味、质感、滋味进行感官评价,评定标准见表1。

表1 发酵小米椒感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standard of pickled peppers

项目	满分	评分标准
色泽	20	色泽自然(12~20分);色泽泛黑或泛白(9~11分);色泽发黑或发白(0~8分)
体态	10	体态自然完整(6~10分);有轻微变形、破损(3~5分);严重变形,破损程度较高(0~2分)
香味	30	发酵香味浓郁(24~30分);发酵香味较淡(12~23分);无发酵香味或有异味(0~11分)
质感	10	泡椒咀嚼脆度较好(6~10分);有一定脆度带有软绵感(3~5分);无脆度口感发软(0~2分)
滋味	30	酸度柔和、咸味适中、辣味协调(24~30分);轻微偏酸、咸、辣、苦(12~23分);滋味不柔和不协调(0~11分)

(6) 数据处理方法:数据处理分析采用Excel软件2010版,主成分、相关性及回归方程采用IBM SPSS 22.0。

2 结果与分析

2.1 发酵小米椒感官评价

2.1.1 感观分析 由表2可知,香味、滋味变异系数较高,分别为26.17%,23.37%;而体态、质感变异系数较小,分别为5.13%,6.35%,与体态、质感等指标相比,色泽、香味、滋味等指标更易区分。

2.1.2 感官指标间的相关性分析 发酵小米椒感官评价各指标相关性见表3。色泽与香味呈显著负相关($P<0.05$),与体态、质感呈正相关,与滋味、感官总分呈负相关;体态与香味、滋味、感官总分呈正相关,与质感呈负相关;香味与质感呈极显著负相关($P<0.01$),与感官总分呈极显著正相关($P<0.01$);质感与感官总分呈显著负相关($P<0.05$);滋味与感官总分呈极显著正相关($P<0.01$)。综上,各指标间存

表 2 发酵小米椒感官评价结果

Table 2 Interpretation of result in the sensory qualities of pickled peppers

指标	变幅	平均值	变异系数/%
色泽	13.0~16.6	14.37	10.12
体态	7.7~8.9	8.27	5.13
香味	10.8~26.6	22.43	26.17
质感	6.9~8.7	7.69	6.35
滋味	12.5~22.3	17.56	23.37
总分	56.9~78.9	70.31	11.41

表 3 感官指标间的相关性分析[†]

Table 3 Correlation analysis between sensory indicators

指标	色泽	体态	香味	质感	滋味	总分
色泽	1.000					
体态	0.075	1.000				
香味	-0.734*	0.107	1.000			
质感	0.621	-0.267	-0.822**	1.000		
滋味	-0.192	0.533	0.599	-0.519	1.000	
总分	-0.412	0.401	0.861**	-0.708*	0.912**	1.000

[†] ** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

在一定的相关性,说明各指标间存在信息重叠,为简化评价标准,可用部分指标代替其它指标。

2.1.3 指标筛选及权重分配 由相关性分析可知,各感官指标与感官总分之间存在一定的相关性^[15-16]。同时由于这些感官指标对发酵小米椒影响的显著程度不一,为筛选出对发酵小米椒感官品质影响显著的指标,采用逐步回归法对发酵小米椒的感官总分及其各指标得分构建回归方程,得式(1)、(2)、(3) 3 个模型:

$$Y = 39.011 + 1.783 \times A (R^2 = 0.832), \quad (1)$$

$$Y = 34.062 + 1.208 \times A + 0.671 \times B (R^2 = 0.986), \quad (2)$$

$$Y = 16.683 + 1.07 \times A + 0.91 \times B + 1.003 \times C (R^2 = 0.997), \quad (3)$$

式中:

Y——感官总分;

A——滋味;

B——香味;

C——色泽。

由式(1)可知,滋味的回归系数 1.783,与感官总分呈极显著正相关($P < 0.01$), $r = 0.912$,发酵小米椒的滋味对感官具有一定刺激性,因此是反映发酵小米椒品质的重要指标。式(2)中香味与感官总分呈极显著正相关($P < 0.01$), $r = 0.861$,香味能在一定程度上反应发酵小米椒的品质,因此香味是一项重要感官指标。式(3)中,引入了色泽指标,回归系数 1.003,色泽是评价发酵小米椒品质最直接的感官指标。综上,确定滋味、香味及色泽为发酵小米椒的品质评价指标,

对发酵小米椒感官总分与各指标再次进行回归分析, $R^2 = 0.998$,模型见式(4)。

$$Y = 16.683 + 1.07 \times A + 0.91 \times B + 1.003 \times C (R^2 = 0.998). \quad (4)$$

由表 4 可知,滋味、香味及色泽指标的权重比值为 3 : 3 : 2,模型 4 中各指标回归系数比 1 : 0.9 : 1。参照文献[17]筛选出 3 项指标的新权重,见式(5)。

$$C_i = (h_i \times m_i) \div \sum (h_i \times m_i), \quad (5)$$

式中:

C_i ——新权重;

h_i ——回归系数;

m_i ——初始权重。

其中,初始权重为初始满分与总分比值,各指标的新满分值为新权重与总分的乘积。滋味、香味、色泽的新权重及各指标的新分值见表 4。

表 4 发酵小米椒品质评价指标权重分析

Table 4 Weight percentages in quality indicators of pickled peppers

指标	初始权重/%	回归系数	新权重/%	新增分值
滋味	30	1.0	38.96	38
香味	30	0.9	35.06	35
色泽	20	1.0	25.97	25
总分	100		100.00	100

2.2 发酵小米椒智能感官模型建立

2.2.1 发酵小米椒智能感官主成分分析 主成分分析是通过降维将众多的指标转化为少数的综合性指标的一种统计分析方法,可将复杂的问题变得简单、直观,属于无监督模式识别^[18-19]。对发酵小米椒的智能感官指数进行主成分分析,详见表 5。色差、质构、电子鼻、电子舌的前 2 个主成分方差累积贡献率均大于 85%,已经包含了发酵小米椒品质绝大部分的信息,因此可以选用各指标的前 2 个主成分评价发酵小米椒的品质。

2.2.2 因子分析 对原变量进行因子分析,结果分析见表 6。前 3 个因子的累计贡献率为 86.768% > 85%,表明前 3 个因子已经可以描述发酵小米椒品质绝大部分的信息^[20-22]。其中,第 1 公因子的方差贡献率为 48.397%,特征值为 4.356,主要由电子鼻、电子舌及质构的 PC1 贡献。第 2 公因子的方差贡献率为 24.536%,特征值为 2.208,主要由质构的 PC1 贡献,第 3 公因子的方差贡献率为 13.835%,特征值为 1.245,主要有色差的 PC1 贡献。

2.2.3 模型的建立 对表 6 中的 3 个公因子进行线性回归,结果见表 7。由于表 6 中色差、质构、电子鼻、电子舌前 2 个主成分的荷载程度不一,因此需要挑选出高荷载、公因子决定系数大的变量建立回归方程。选择 X_1 PC1、 X_2 PC1、 X_3 PC1、 X_4 PC1 为新预测变量,并建立多元线性回归方程:

$$Y = 67.672 + 8.296 \times X_1 \text{ PC1} - 1.571 \times X_2 \text{ PC1} - 3.431 \times X_3 \text{ PC1} + 0.288 \times X_4 \text{ PC1}. \quad (6)$$

表 5 各主成分特征向量、特征值、贡献率及累积贡献率[†]

Table 5 Eigenvalues, eigenvectors and cumulative contribution rates of principal components

时间/d	X ₁ PC1	X ₁ PC2	X ₂ PC1	X ₂ PC2	X ₃ PC1	X ₃ PC2	X ₄ PC1	X ₄ PC2
0	-1.130 0	1.320 9	2.170 9	-0.365 76	0.479 49	-1.621 0	0.400 8	0.592 6
2	-1.182 0	-0.418 0	0.328 1	-0.627 18	0.711 29	-1.055 0	0.658 7	0.877 8
4	-0.519 0	-1.216 0	0.117 5	-0.141 06	-0.682 20	-0.943 0	0.734 9	1.002 7
6	-0.560 0	-1.118 0	0.027 5	-0.082 86	-0.218 60	-0.209 0	0.596 9	0.792 9
8	-0.187 0	-0.014 0	0.161 9	0.411 59	-0.549 10	0.313 8	-1.266 0	-0.078 3
10	0.347 2	1.638 1	-0.781 0	1.215 79	-0.462 30	0.670 3	-1.195 0	0.047 3
12	0.252 8	0.527 6	-1.306 0	0.042 90	-1.712 70	0.720 2	-1.206 0	0.001 2
14	1.274 1	-0.616 0	0.172 2	1.460 59	1.629 23	1.024 6	1.416 5	-1.621 1
16	1.703 4	-0.105 0	-0.891 0	-1.914 00	0.804 94	1.099 6	-0.142 0	-1.615 0
特征值	1.811	0.997	1.963	0.622	15.880	1.469	4.795	1.722
贡献率/%	60.362	33.238	65.430	20.717	88.223	8.160	68.498	24.594
累计贡献率/%	60.362	93.600	65.430	86.147	88.223	96.383	68.498	93.092

[†] X₁为色差;X₂为质构;X₃为电子鼻;X₄为电子舌。

表 6 旋转后的因子荷载[†]

Table 6 Loading of factor after rotation

指标	因子 1	因子 2	因子 3
X ₁ PC1	-0.933 71	-0.902 15	0.462 41
X ₁ PC2	-0.970 43	0.841 10	-1.570 70
X ₂ PC1	0.789 18	0.435 55	-0.958 37
X ₂ PC2	-0.484 29	0.665 63	0.732 23
X ₃ PC1	0.464 73	-1.181 43	-0.984 72
X ₃ PC2	-1.174 55	-0.345 51	0.915 32
X ₄ PC1	1.338 50	-1.023 92	0.512 75
X ₄ PC2	0.970 56	1.510 73	0.891 08
特征值	4.356	2.208	1.245
贡献率/%	48.397	24.536	13.835
累计贡献率/%	48.397	72.933	86.768

[†] X₁为色差;X₂为质构;X₃为电子鼻;X₄为电子舌。

表 7 经过因子分析后的多元线性回归拟合模型系数

Table 7 Coefficients of multiple linear regression models fitting after factor analysis

变量	常数	X ₁ PC1	X ₂ PC1	X ₃ PC1	X ₄ PC1
标准回归系数		-0.830	-0.157	-0.343	0.029
回归系数估计值	67.672	8.296	-1.571	-3.431	0.288
标准误差	1.736	3.352	3.399	3.586	2.798
方差扩大因子(VIF)		3.314	3.408	3.793	2.308

此模型残差正常,无明显多重共线性(VIF<10),结果稳定,容易解释。因此 X₁PC1、X₂PC1、X₃PC1、X₄PC1 为新的预测变量。

2.2.4 模型的验证 由表 8 可知,模型预测值和观测值之间误差最小为 0.47%,最大为 9.47%,平均误差为 3.70%,表明模型拟合度较高,可用于小米椒发酵过程品质的评价。

表 8 模型的检验

Table 8 Validation of the model

时间/d	模型预测值	感官评价观测值	误差/%	平均误差/%
0	53.36	50.80	5.04	
2	55.10	54.84	0.47	
4	65.74	64.36	2.14	
6	63.91	63.40	0.80	
8	67.38	70.97	5.05	3.7
10	73.02	74.33	1.76	
12	77.35	78.10	0.96	
14	72.79	78.81	7.64	
16	80.40	73.45	9.47	

3 结论

采用逐步回归分析及拟合检验,以发酵小米椒修正后的感官得分为因变量,智能感官指标 PCA 为自变量,进行因子分析,根据荷载和标准回归系数选择回归模型的预测变量,进行主成分回归分析后建立如下方程: $Y=67.672+8.296 \times X_1PC1-1.571 \times X_2PC1-3.431 \times X_3PC1+0.288 \times X_4PC1$ 。各变量系数在统计意义上显著,残差正常,VIF 检验无明显多重共线性,表明此线性模型与泡制小米椒感官品质拟合性良好。新的品质评价模型能更加客观真实地反映发酵过程中小米椒的品质变化,弥补了人工感官中的主观个体差异缺陷,可以为小米椒制品的生产提供相关理论支撑。试验设计中未涉及发酵过程中理化指标的动态变化,将在后续研究中将理化指标、人工感官与智能感官相结合,建立更加完善的综合品质评价模型。

参考文献

[1] 彭毅秦, 乔明峰, 易宇文, 等. 泡椒风味休闲食品的研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2017, 53(3): 106-108, 117.

(下转第 95 页)

表4 实际样品中糖醇

Table 4 Determination results of sugar alcohols in test samples g/100 g

样品	分析物	含量	
		HPLC-DRID	HPLC-ELSD
普通口香糖	木糖醇	ND	0.018
	山梨醇	ND	ND
	麦芽糖醇	ND	ND
无糖口香糖 1	木糖醇	4.507	4.712
	山梨醇	52.124	50.861
	麦芽糖醇	3.237	ND
无糖口香糖 2	木糖醇	0.039	0.041
	山梨醇	55.799	55.206
	麦芽糖醇	4.614	4.596
木糖醇口香糖	木糖醇	38.229	38.471
	山梨醇	ND	0.026
	麦芽糖醇	31.388	32.107
饮料	木糖醇	ND	ND
	山梨醇	0.039	0.040
	麦芽糖醇	ND	ND

脱,适合对糖醇含量低且基质复杂的样品进行检测,如常见的有饼干、糕点等样品;高效液相色谱法—示差折光检测法的回收率高于高效液相色谱法—蒸发光散射检测法,适用于糖醇含量较高及样品基质较简单的样品检测,如木糖醇口香糖、配方简单的饮料、成分较简单的保健品等产品检测,实际工作中

可根据具体情况选用相应的方法以提高检测结果的准确性。

参考文献

[1] 钟耀广. 功能性食品[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 215-219.

[2] 唐坤甜, 林立, 梁丽娜, 等. 无糖和低糖食品中的糖和糖醇同时分析的阴离子交换色谱-脉冲安培检测法研究[J]. 食品科学, 2008, 29(6): 327-331.

[3] 崔鹤, 李戈登. 离子色谱脉冲安培法测定蜂蜜中的葡萄糖、果糖、蔗糖[J]. 化学分析计量, 2001(1): 25-26.

[4] 于海云, 宋俊梅, 刘明明, 等. 采用气相色谱法测定木糖醇注射液的有关物质[J]. 亚太传统医药, 2012, 8(5): 29-30.

[5] 曹云龙, 刘红利, 李永利, 等. 食品中木糖醇含量的气相色谱法测定[J]. 河南预防医学杂志, 2000(5): 260-261.

[6] 吴蓉, 王文兰. 气相色谱法测定木糖醇方法探讨[J]. 浙江预防医学, 1994(6): 42-43.

[7] PATRICIA M M, SIMONEIT B R. Analysis of sugars in environmental samples by gas chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of Chromatograph A, 2007, 1 141: 271-278.

[8] 田强, 方春雷, 修秀红. 高效液相色谱法测定木糖醇产品中的木糖醇含量[J]. 中国食品添加剂, 2009(4): 164-168.

[9] 赵光辉, 王成福, 李俊萍. 采用高效液相色谱法测定木糖醇产品中各组分含量[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(7): 117-119.

[10] 秦振顺, 王平, 陈桂茹, 等. 高效液相色谱法测定木糖醇[J]. 中国卫生工程学, 2002(4): 227-228.

[11] 李黎, 刘玉峰, 唐华澄, 等. 高效液相色谱法测定食品中的糖醇[J]. 食品科学, 2007, 28(6): 278-280.

[12] 林慧, 颜春荣, 徐春祥, 等. HPLC-ELSD法同时测定食品中的10种糖和糖醇[J]. 食品科学, 2013, 34(12): 286-291.

[12] 马庆华, 王贵禧, 梁丽松, 等. 冬枣的穿刺质地及其影响因素[J]. 林业科学研究, 2011, 24(5): 596-601.

[13] 王莉, 张丽, 郭兆斌, 等. 泡椒耗牛黄喉感官评价描述词的建立[J]. 食品科学, 2015, 36(21): 74-78.

[14] 李敬, 崔繁荣, 叶治兵, 等. 泡椒牛皮感官评价指标体系的构建[J]. 食品工业科技, 2016, 37(13): 206-209, 214.

[15] 马雄威. 线性回归方程中多重共线性诊断方法及其实证分析[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2008(2): 78-81, 85.

[16] 金彪. 一元线性回归分析在处理实验数据中的应用[J]. 物理教师, 2009, 30(6): 24, 26.

[17] 杨炜, 蔺艳君, 刘丽娅, 等. 小麦馒头品质评价方法优化[J]. 食品科学技术学报, 2016, 34(2): 31-38.

[18] 刘雷, 曹柳, 杜玖珍, 等. 基于主成分及聚类分析的川产半夏产量与品质的综合评价[J]. 中草药, 2016, 47(14): 2 519-2 525.

[19] 刘景, 王荫榆, 郭本恒, 等. 发酵乳储存期内风味模型的建立与检验[J]. 食品科学, 2011, 32(12): 296-300.

[20] 张景阳, 潘光友. 多元线性回归与BP神经网络预测模型对比与运用研究[J]. 昆明理工大学学报, 2013, 38(6): 61-67.

[21] 吴玉红, 田霄鸿, 南雄雄, 等. 基于因子和聚类分析的保护性耕作土壤质量评价研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(20): 223-228.

[22] 钱丽丽, 李平惠, 杨义杰, 等. 不同产地芸豆中矿物元素的因子分析与聚类分析[J]. 食品科学, 2015, 36(14): 102-106.

(上接第57页)

[2] 杨峰, 巫朝华, 范大明, 等. 四川泡椒对鲢鱼鱼糜凝胶风味特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(16): 152-157.

[3] 赵雪梅, 廖诚成, 丁捷, 等. 挤压型速冻青裸鱼面品质评价模型的建立[J]. 食品科技, 2018, 43(2): 189-195.

[4] 易宇文, 范文教, 彭毅秦, 等. 鱼香调味汁人工感官评价与电子舌感官分析相关性研究[J]. 食品科技, 2017, 42(11): 290-294.

[5] 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.

[6] 许文方, 张海东, 李贵荣, 等. 仿生传感智能感官检测技术及其在云南特色农产品品质检测中的应用[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(10): 4 592-4 595.

[7] 谢安国, 王金水, 渠琛玲, 等. 电子鼻在食品风味分析中的应用研究进展[J]. 农产品加工: 学刊, 2011(1): 71-73, 87.

[8] 易宇文, 范文教, 乔明锋, 等. 7种鱼香肉丝调料智能嗅觉识别[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 27-31.

[9] 林科. 电子舌研究进展及其在食品检测中的应用研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(15): 6 602-6 604.

[10] 王素霞. 花椒酰胺电子舌响应规律及其应用研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2014: 24-31.

[11] 国艳梅, 杜永臣, 王孝宣, 等. 利用色差仪估测番茄果实番茄红素含量的研究[J]. 中国蔬菜, 2008, 1(11): 10-14.