

基于电子鼻检测五香调味油加工条件的优化

徐立荣, 孙培成, 于修焯*, 曲庆禄, 张志宇

(西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 为优化五香调味油加工工艺条件, 以五香调味料和大豆油为原料, 以电子鼻为检测手段, 通过单因素试验和响应面分析, 探讨油料比值、浸提温度、浸提时间和保温时间等因素对五香调味油风味的影响, 并对五香调味油的理化指标进行分析。结果表明: 选用配方1五香调味油最优工艺条件为油料比值4 (m/m)、浸提时间10 min、浸提温度150 ℃、保温时间18 h。五香调味油各项理化指标均符合三级大豆油国家标准, 表明基于电子鼻检测五香调味油的加工工艺优化是可行的。

关键词: 五香调味油; 电子鼻; 响应面; 工艺优化

Optimization of Processing Conditions for Five-Spice Condiment Oil Based on Electronic Nose Analysis

XU Li-rong, SUN Pei-cheng, YU Xiu-zhu*, QU Qing-lu, ZHANG Zhi-yu

(College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: This study aimed to optimize the processing conditions for five-spice condiment oil. The oil was prepared using five-spice powder and soybean oil as raw materials based on electronic nose analysis. The effects of ratio of soybean oil to five-spice powder, initial oil temperature, extraction time, and holding time (at 70 ℃) on the flavor were examined using single factor design and response surface methodology and physicochemical properties of five-spice condiment oil were investigated. The results demonstrated that the optimal five-spice powder consisted of 20% Sichuan pepper, 25% star anise, 25% fennel, 12.5% cinnamon, 12.5% dry ginger, and 5% clove, and the optimum processing conditions for five-spice condiment oil were as follows: mass ratio of oil to five-spice powder, 4:1; initial oil temperature, 150 ℃; extraction time, 10 min; and holding time, 18 h. All measured physiochemical indexes of five-spice condiment oil met the national standards of third-grade soybean oil. The results show that it is feasible to optimize the processing conditions for five-spice condiment oil based on electronic nose detection.

Key words: five-spice condiment oils; electronic nose; response surface methodology; process optimization

中图分类号: TS225.3

文献标志码: B

文章编号: 1002-6630 (2014) 20-0308-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201420060

调味油因食用便捷、性质稳定而深受广大消费者喜爱^[1-3]。高延等^[3]以五香调味料和大豆油为原料研制五香调味油并对其氧化稳定性进行研究, 为五香调味油的生产开发提供了有益的参考。但其研究是基于感官评定, 受限于主观因素, 其加工工艺有待进一步完善。

电子鼻技术是20世纪90年代发展起来的一种人工嗅觉技术, 是用气体传感器阵列对不同气味的响应信号来模拟人的鼻子嗅闻, 以获得样品挥发性气体成分的综合信息, 并应用化学计量学和统计学方法进行定性和定量分析^[4]。电子鼻技术在食用油气味及挥发性物质研究上取得一定进展^[5-10], Aparicio等^[6]利用电子鼻技术对原生橄榄油酸败进行分析, 发现检测结果与感官评价结果具有良好相关性。Yangm等^[7]使用便携式电子鼻检测大豆色拉油氧化酸败情

况; 电子鼻技术在食用油品质及安全性和食用油掺假检测方面也有一些报道^[8-10]。目前, 国内外利用电子鼻技术结合感官评定对产品加工工艺进行优化研究的报道较少。本研究利用电子鼻技术, 以五香调味料和食用油为原料, 以电子鼻相对电阻率值为考核指标并结合感官评定, 通过单因素试验和响应面分析对五香调味油加工工艺条件进行优化, 对五香调味油理化指标进行检测, 以期电子鼻技术在风味食品加工工艺优化应用方面提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

大料、干姜、小茴香、花椒、陈皮、砂仁、丁香、

收稿日期: 2013-06-25

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项 (QN2009074); 西北农林科技大学大学生科技创新项目 (1201210712119)

作者简介: 徐立荣 (1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工。E-mail: xingfude12cifang@163.com

*通信作者: 于修焯 (1974—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为功能性油脂及其安全检测。E-mail: xiuzhuyu1004@hotmail.com

豆蔻、肉桂、三奈、桂皮，均购于陕西省杨凌区大型农贸市场；金龙鱼牌一级大豆油 西安益海嘉里有限公司。

冰乙酸、异辛烷、碘化钾、硫代硫酸钠、无水乙醇、氢氧化钾（均为分析纯） 西安三浦化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

PEN3电子鼻 德国Airsense公司。电子鼻的传感器阵列由10个不同的金属氧化物传感器组成，不同传感器响应不同香气物质具体见表1^[8,11]。

表1 电子鼻不同传感器对应香气种类

阵列序号	传感器名称	响应香气种类
1	W1C	芳香苯类
2	W5S	灵敏度大，对氨氧化物很灵敏
3	W3C	氨类，对芳香成分灵敏
4	W6S	主要对氨气有选择性
5	W5C	烷烃芳香成分
6	W1S	对甲烷灵敏
7	W1W	对硫化氢灵敏
8	W2S	对醇类物质灵敏
9	W2W	芳香成分，对有机硫化物灵敏
10	W3S	对芳香烷烃灵敏

注：图1～7中数字序号对应此表10个传感器。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

所选调味料进行筛选、除杂，并用粉碎机对其进行粉碎，过40目筛，并干燥后备用。将大豆油加热至所需温度，加入五香料，浸提、搅拌、冷却、保温、过滤，得到调味油^[3]，利用电子鼻测定其相对电阻率值，并由评定小组对调味油进行品尝打分，考察五香调味料配方、油料比值、浸提温度、浸提时间和保温时间等因素对调味油风味的影响。

五香料→清理、去杂→粉碎→过筛（40目）→干燥除湿→浸提→保温→冷却→过滤→样品→检验分析

↑

大豆油

1.3.2 单因素试验

1.3.2.1 五香料配方对五香调味油风味的影响

分别对各种调味料筛选、除杂、干燥处理后，用粉碎机对其进行粉碎，按设计的3种不同配方进行混合。五香料配方如下：配方1：花椒20%、大料25%、小茴香25%、桂皮12.5%、干姜12.5%、丁香：5%；配方2：砂仁61.2%、丁香12.2%、豆蔻7.2%、肉桂7.2%、三奈12.2%；配方3：大料35.1%、干姜8.8%、小茴香14%、花椒31.6%、陈皮10.5%。

将100 g大豆油加热至120℃，各加入不同配方五香料20 g，浸提搅拌4 min，冷却至70℃，保温18 h后，过滤得到调味油，利用电子鼻测定其相对电阻率值，并由

评定小组对调味油进行品尝打分，考察五香调味料配方对调味油风味的影响。

1.3.2.2 保温时间对五香调味油风味的影响

将100 g大豆油加热至120℃，加入五香料20 g，浸提4 min，冷却到70℃，分别保温6、8、10、12、14、16、18、20、22、24 h后，过滤得到调味油，利用电子鼻测定其相对电阻率值，由评定小组对调味油进行品尝打分，考察保温时间对五香调味油风味的影响。

1.3.2.3 浸提温度对五香调味油风味的影响

将100 g大豆油分别设置不同的温度90、100、110、120、130、140、150℃，加入五香料20 g，浸提4 min，冷却到70℃，保温18 h后，过滤得到调味油，利用电子鼻测定其相对电阻率值，由评定小组对调味油进行品尝打分，考察浸提温度对五香调味油风味的影响。

1.3.2.4 浸提时间对五香调味油风味的影响

将100 g大豆油加热至120℃，加入五香料20 g，分别设置浸提时间2、4、6、8、10、12、14、16 min，浸提完将混合物冷却到70℃，保温18 h后，过滤得到调味油，利用电子鼻测定其相对电阻率值，由评定小组对调味油进行品尝打分，考察浸提时间对五香调味油风味的影响。

1.3.2.5 油料比值对五香调味油风味的影响

将100 g大豆油加热至120℃，分别设置油料比值（m/m）3、4、5、6、7、8、9、10，浸提4 min，冷却到70℃，保温18 h后，过滤得到调味油，利用电子鼻测定其相对电阻率值，由评定小组对调味油进行品尝打分，考察油料比值对五香调味油风味的影响。

1.3.3 响应面分析

在单因素试验的基础上，选取浸提温度、油料比值和浸提时间为主要因素，设计三因素Box-Behnken试验^[12]，因素水平编码见表2。

表2 响应面试验因素与水平编码

Table 2 Code and level of independent variables used for Box-Behnken experimental design

因素	编码	-1	0	1
浸提温度/℃	X_1	110	130	150
油料比值（m/m）	X_2	4	6	8
浸提时间/min	X_3	6	8	10

1.3.4 理化指标测定

酸价测定：参照GB/T 5530—2005《动植物油脂：酸值和酸度测定》^[13]；过氧化值测定：参照GB/T 5538—2005《动植物油脂：水分及挥发物含量测定》^[14]；水分测定：参照GB/T 5528—2008《动植物油脂：过氧化值测定》^[15]；色泽测定：参照GB/T 22460—2008《动植物油脂：罗维朋色泽的测定》^[16]。

1.3.5 五香调味油感官评分

五香调味油的感官评价标准分3项,香味满分30分,滋味满分40分,色泽满分30分,合计满分100分,五香调味油的感官评价标准参照参考文献[3]。由10人组成的评议组对其进行评价打分,取平均值。

1.3.6 电子鼻检测

PEN3型便携式电子鼻包含10个金属氧化物传感器阵列。根据气味标识利用化学计量学软件对不同气味进行快速鉴别,对每一样品进行数据计算和识别,可得到样品的气味图谱和气味标记^[17]。

样品气体采集方法:量取样品5 mL置于30 mL样品瓶中,用封口膜封口,于25℃平衡2 min后进行电子鼻分析,采用顶空吸气法,直接将进样针头插入样品瓶,完成一次检测后系统进行清零和标准化,然后再进行第二次顶空采样,每组实验重复3次。

电子鼻检测条件:样品准备时间5 s,检测时间120 s,测量计数1 s,零点计数100 s,自动调零时间5 s,清洗时间300 s,内部流量300 mL/min,进样流量300 mL/min。

1.4 数据处理

1.4.1 电子鼻传感器贡献率的Loadings分析

利用Loadings分析可以帮助区分当前模式下传感器的相对重要性,传感器贡献率越高,则该传感器的识别能力越强。如果某个传感器在模式识别中负载参数近乎零,那该传感器的识别能力可以忽略不计;如果响应值较高,则该传感器就是识别传感器^[18-19]。分别对油料比值、五香料配方、浸提时间、浸提温度和保温时间对五香调味油风味影响结果进行Loadings分析,选取识别传感器。

1.4.2 五香调味油对应传感器响应信号与感官评分关系

对选择出的识别传感器的响应信号值与感官评分值进行相关分析,考察传感器响应信号值与感官评分的一致性,从而判断利用电子鼻传感器响应的信号值来代替感官评分值进行五香调味油风味分析的可行性。

2 结果与分析

2.1 五香调味油对传感器响应信号的影响

图1为检测五香调味油时电子鼻的10个传感器相对电阻率值随时间变化的响应曲线图,每一条曲线为一个传感器响应。

由图1可知,电子鼻的7、9、10号传感器响应值较大,其响应曲线首先急剧升高,而后又迅速下降并最终趋于平稳。响应曲线在115~119 s达到平稳,因此实验选择115~119 s进行数据分析^[20]。电子鼻对五香调味油的芳香成分有明显响应,并且每一个传感器对五香调味油的响应各不相同,其中7、9、10号传感器较其他传感器有

较高的相对电阻率值。7号传感器对硫化氢类物质最为灵敏,9号传感器对有机硫化物类物质最为灵敏,10号传感器对烷烃类物质最为灵敏。因此,五香调味油以7、9、10号传感器所响应的香气成分为主^[21]。

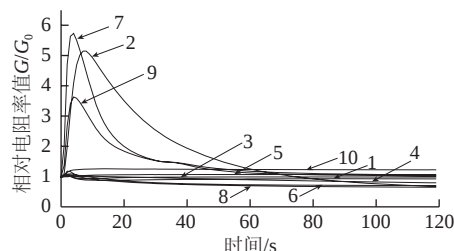


图1 电子鼻传感器对五香调味油的响应曲线

Fig.1 Electronic nose response curves of five-spice condiment oil

2.2 电子鼻传感器贡献率的Loadings分析

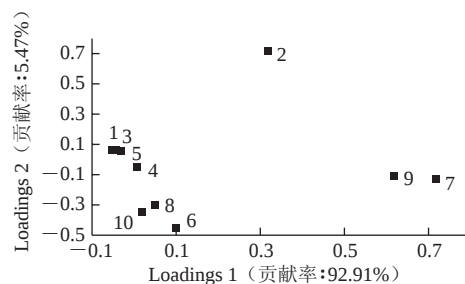


图2 Loadings分析

Fig.2 Loadings analysis of the first principal component (PC1) and the second principal component (PC2)

由图2可以看出,1、3、4、5号传感器分布接近于(0,0),并且位置接近,说明其信号变化比较弱,贡献率比较小,即芳香苯类、氨类、氢气、烷烃类物质对于主成分分析(principal component analysis, PCA)贡献率较小^[8];8号和10号传感器具有相似的负载因子,因此可以选择其中一个来代表其他的传感器^[22];2、6、7、9号传感器在当前条件下贡献率较大,即氨氧化合物、甲烷、硫化氢、有机硫化物类物质对于PCA贡献率较大^[21]。对五香料配方、浸提时间、浸提温度和保温时间对五香调味油风味影响结果进行Loadings分析,其结论与油料比值对风味影响的结论一致。结合响应曲线和Loadings分析,最终选取2、6、7、9、10号传感器在115~119 s时的平均相对电阻率值作为样品的特征数据。

2.3 五香调味油对应传感器响应信号与感官评分关系

对2、6、7、9、10号传感器响应信号值与感官评分值进行相关分析,结果见表3。

由表3可知,感官评分值与2、6、7、9、10号传感器响应的信号值均为正相关关系,其中与7号、9号达到极显著水平,与2号、6号达到显著水平。表明2、6、7、9号传感器响应信号值与感官评分相一致,可利用电子鼻

传感器响应的信号值来代替感官评分值进行五香调味油风味分析。

表3 传感器响应信号值与感官评分值的相关性

Table 3 Correlations between response signal values and sensory scores

传感器	相关系数	P值	显著性
2号	0.790	0.020	*
6号	0.788	0.020	*
7号	0.880	0.004	**
9号	0.911	0.002	**
10号	0.641	0.087	

注：*，显著（ $P < 0.050$ ）；**，极显著（ $P < 0.01$ ）。下同。

2.4 单因素试验

2.4.1 五香料配方对五香调味油风味的影响

浸提温度120℃、浸提时间4 min，冷却至70℃，保温18 h，考察不同五香料配方对五香调味油风味的影响，其结果如图3所示。

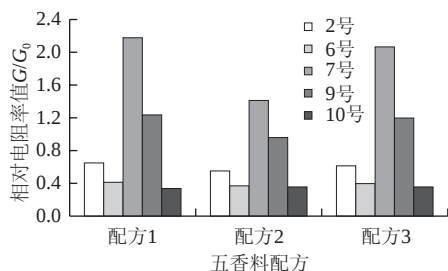


图3 五香料配方对五香调味油风味的影响

Fig.3 Effect of different formulations of five-spice powder on flavor of five-spice condiment oil

由图3可以看出，五香料配方对调味油的风味有一定影响。配方1制得的五香调味油2、6、7、9、10号传感器响应信号值均较高，且感官评定分值高于其他配方，品质最好。选用配方1作为五香调味油的五香料原料配方。

2.4.2 保温时间对五香调味油风味的影响

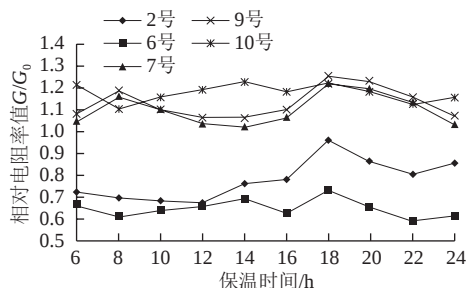


图4 保温时间对五香调味油风味的影响

Fig.4 Effect of holding time at 70℃ on flavor of five-spice condiment oil

由图4可知，五香调味油的风味与保温时间有密切关系，保温时间短可能会导致五香料中的香味和香辛物质浸提不充分，相对电阻率值较低，经感官评定调味油香味过淡；随保温时间的延长，相对电阻率值有缓慢增大

趋势，当保温时间大于18 h，五香调味油各传感器相对电阻率值减少，这可能与长时间的浸提，部分挥发性物质逸出损失有关。故保温时间确定为18 h。

2.4.3 浸提温度对五香调味油风味的影响

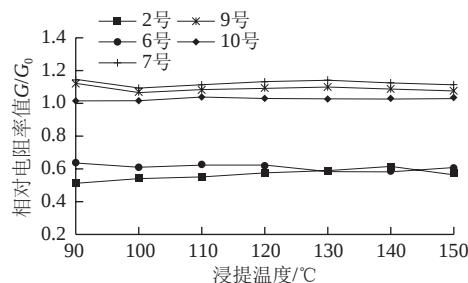


图5 浸提温度对五香调味油风味的影响

Fig.5 Effect of extraction temperature on flavor of five-spice condiment oil

由图5可知，五香调味油随浸提温度的升高，2号传感器相对电阻率值升高幅度较大，其余传感器相对电阻率值略有升高，当温度超过130℃，变化较为平缓，而温度过高会有焦糊异味。故浸提温度确定为130℃。

2.4.4 浸提时间对五香调味油风味的影响

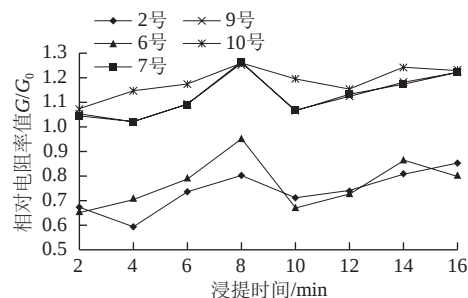


图6 浸提时间对五香调味油风味的影响

Fig.6 Effect of extraction time on flavor of five-spice condiment oil

由图6可以看出，浸提时间对五香调味油的风味有显著影响，浸提时间过短，五香料浸提不充分；时间过长，五香料又会焦化，产生糊味。当浸提时间为8 min时，除2号传感器外，其他传感器相对电阻率值均较高，五香调味油品质较好。因此，浸提时间确定为8 min。

2.4.5 油料比值对五香调味油风味的影响

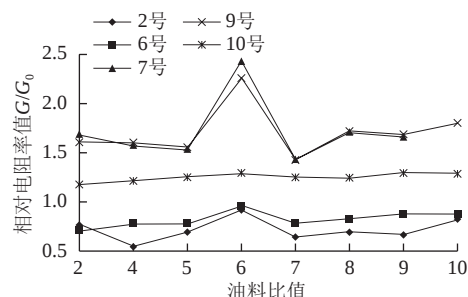


图7 油料比值对五香调味油风味的影响

Fig.7 Effect of ratio of soybean oil to five-spice powder on flavor of five-spice condiment oil

由图7可知,油料比值对五香调味油的风味有着较大影响。五香料用量较大,浸提不充分,五香调味油香味不足,各传感器的响应不明显;但用量太小,对五香调味油的香味、滋味增进作用不明显;当油料比值为6时,调味油的香味、滋味明显,而且对色泽影响较小,各传感器有明显的响应,相对电阻率值最高。因此,油料比值为6时效果较好。

2.5 响应面分析

为了简化响应分析指标,对2、6、7、9、10号传感器的相对电阻率值进行PCA分析^[23],获得简化指标PC1,其方差贡献率为65.2%,表明PC1在全部主成分中处于重要位置^[24],因此选取相对电阻率值的PC1值作为响应面分析的Y进行数据分析^[25]。以2、6、7、9、10号传感器在115~119 s的平均相对电阻率值分别为 z_1 、 z_2 、 z_3 、 z_4 、 z_5 , a_{ij} 为第1个变量 X_i 在第1个主成分Y的载荷。对应5个传感器有 a_{11} 、 a_{12} 、 a_{13} 、 a_{14} 、 a_{15} ,响应面分析时相应的 $Y=z_1 \times a_{11} + z_2 \times a_{12} + z_3 \times a_{13} + z_4 \times a_{14} + z_5 \times a_{15}$ ^[26-27]。

以2、6、7、9、10号传感器综合的PC1相对电阻率值作为响应值Y,结果见表4^[12]。

表4 响应面试验方案及结果

Table 4 Experimental design and results for response surface analysis

试验号	X_1 浸提温度	X_2 油料比值	X_3 浸提时间	Y相对电阻率
1	-1	-1	0	2.099 4
2	1	-1	0	2.323 4
3	-1	1	0	1.955 9
4	1	1	0	2.086 2
5	-1	0	-1	1.975 8
6	1	0	-1	2.218 2
7	-1	0	1	1.925 5
8	1	0	1	2.111 5
9	0	-1	-1	2.056 3
10	0	1	-1	2.011 7
11	0	-1	1	2.100 2
12	0	1	1	2.204 1
13	0	0	0	2.072 5
14	0	0	0	1.953 3
15	0	0	0	1.895 1
16	0	0	0	1.941 8
17	0	0	0	1.821 0

采用Design Expert 8.0.6软件对表4中的数据进行多元回归拟合,可得 X_1 、 X_2 、 X_3 与Y间的回归方程:

$$Y=1.94+0.098X_1-0.040X_2+0.009\ 927X_3+0.072X_1^2+0.11X_2^2+0.049X_3^2$$

由回归方程显著性检验可以看出(表5),模型的 $P=0.041\ 2<0.05$,显著,失拟项的 $P=0.509\ 1>0.05$,不显著,表明回归方程对试验的拟合较好,所建二次回归

模型有统计学意义,可用于预测和控制^[12]。回归系数检验表明,浸提温度一次项、油料比值二次项对相对电阻率值有显著影响,其余影响不显著。各因素对相对电阻率值影响主次顺序为浸提温度>油料比值>浸提时间。

表5 方差分析
Table 5 Analysis of variance

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	0.180	6	0.030	3.450	0.041 2	*
X_1	0.077	1	0.077	8.840	0.014 0	*
X_2	0.013	1	0.013	1.490	0.250 0	
X_3	0.000 8	1	0.000 8	0.091	0.769 0	
X_1^2	0.022	1	0.022	2.530	0.143 0	
X_2^2	0.049	1	0.049	5.610	0.039 4	*
X_3^2	0.010	1	0.010	1.160	0.305 8	
残差	0.087	10	0.008 7			
失拟项	0.053	6	0.008 8	1.040	0.509 1	
纯误差	0.034	4	0.008 5			
总离差	0.270	16				

对回归方程分析,五香调味油加工的最佳工艺参数为浸提温度150℃,油料比值为4,浸提时间10 min,所制五香油的相对电阻率值为2.313 0。经验证实验表明,实际测得的相对电阻率值与理论预测值的相对误差很小(0.5%),且五香调味油色泽金黄,香气浓郁,滋味突出。

2.6 理化指标检测

表6 五香调味油理化特性

Table 6 Physiochemical properties of five-spice condiment oil

特性	酸价(以KOH计)/(mg/g)	过氧化值/(mmol/kg)	水分及挥发物/%	色泽(25.4 mm槽)
值	0.610	2.36	0.03	Y20, R1.5

由表6可知,五香调味油的酸价、过氧化值和水份及挥发物指标均符合三级大豆油国家标准(GB 1535—2003《大豆油》^[28]),表明基于电子鼻检测手段来优化五香调味油加工工艺条件是可行的。

3 结 论

通过单因素试验和响应面分析,利用电子鼻技术与感官评定相结合,探讨了五香料配比及使用量、浸提温度、浸提时间和保温时间等因素对五香调味油风味的影响,选用配方1:花椒20%、大料25%、小茴香25%、桂皮12.5%、干姜12.5%、丁香:5%五香调味油的最优加工工艺条件为油料比值4(m/m)、浸提温度150℃、浸提时间10 min、保温时间18 h,同时五香调味油各项指标均符合三级大豆油国家标准,表明基于电子鼻检测对五香调味油的加工工艺进行优化是可行的。

参考文献:

- [1] 陈文学, 胡月英, 豆海港, 等. 胡椒调味油的研制[J]. 中国调味品, 2008, 33(6): 54-56.
- [2] 周书来, 刘学文. 香椿调味油制作工艺研究[J]. 中国调味品, 2011, 36(3): 80-83.
- [3] 高延, 万颖敏, 于修烛, 等. 五香调味油研制及其氧化稳定性研究[J]. 中国调味品, 2012, 37(10): 25-29.
- [4] GARDNER J W, BARTLETT P N. A brief history of electronic noses[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 1994, 18(1): 210-211.
- [5] MELTON S L, JAFAR S, SYKES D, et al. Review of stability measurements for frying oils and fried food flavor[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1994, 71(12): 1301-1308.
- [6] APARICIO R, ROCHA S M, DELGADILLO I, et al. Detection of rancid defect in virgin olive oil by the electronic nose[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(3): 853-860.
- [7] YANG M Y, HAN K Y, NOH B S. Analysis of lipid oxidation of soybean oil using the portable electronic nose[J]. Food Science and Biotechnology, 2000, 9(3): 146-150.
- [8] 李靖, 王成涛, 刘国荣, 等. 电子鼻快速检测煎炸油品质[J]. 食品科学, 2013, 34(8): 236-239.
- [9] GAN H L, CHE MAN Y B, TAN C P, et al. Characterisation of vegetable oils by surface acoustic wave sensing electronic nose[J]. Food Chemistry, 2005, 89(4): 507-518.
- [10] TAURINO A, CAPONE S, DISTANTE C, et al. Recognition of olive oils by means of an integrated sol-gel SnO_2 electronic nose[J]. Thin Solid Films, 2002, 418(1): 59-65.
- [11] BENEDETTI S, SUSANNA S, SPINARDI A, et al. Electronic nose as a non-destructive tool to characterise peach cultivars and to monitor their ripening stage during shelf-life[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47(2): 181-188.
- [12] 丁双华, 叶立斌, 陈卫, 等. 响应面优化提取桑叶多酚的研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(1): 52-58.
- [13] 国家粮食局西安油脂食品及饲料质量监督检验测试中心. GB/T 5530—2005 动植物油脂: 酸值和酸度测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [14] 中粮北海粮油工业(天津)有限公司. GB/T 5528—2008 动植物油脂: 水分及挥发物含量测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [15] 南京经济学院. GB/T 5538—2005 动植物油脂: 过氧化值测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [16] 国家粮食局科学研究院. GB/T 22460—2008 动植物油脂: 罗维朋色泽的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [17] 张拥军, 何杰民, 蒋家新, 等. 不同处理工艺杨梅果汁风味成分的电子鼻检测[J]. 农业机械学报, 2010, 41(12): 134-137.
- [18] 宋伟, 刘璐, 支永海, 等. 电子鼻判别不同储藏条件下糙米品质的研究[J]. 食品科学, 2010, 31(24): 360-365.
- [19] 赵丹, 张玉荣, 林家永, 等. 电子鼻在小麦品质控制中的应用研究[J]. 粮食与饲料工业, 2012(3): 10-15.
- [20] 赵梦醒, 丁晓敏, 曹荣, 等. 基于电子鼻技术的鲈鱼新鲜度评价[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 143-147.
- [21] 朱丽云, 张拥军, 何杰民, 等. 不同工艺热反应风味香料的电子鼻检测[J]. 中国食品学报, 2012, 12(2): 207-212.
- [22] 张红梅, 王俊. 电子鼻传感器阵列优化及其在小麦储藏年限检测中的应用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(12): 164-167.
- [23] 芦筱菲, 郑丽敏, 贾宗艳, 等. 电子鼻对干酪识别的数据预处理和特征提取[J]. 计算机应用, 2007, 27(增刊1): 65-67.
- [24] 袁志发, 周静芋. 多元统计分析[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 199.
- [25] 岳田利, 彭帮柱, 袁亚宏, 等. 基于主成分分析法的苹果酒香气质量评价模型的构建[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 223-227.
- [26] 李艳双, 曾珍香, 张闽, 等. 主成分分析法在多指标综合评价方法中的应用[J]. 河北工业大学学报, 1999, 28(1): 96-99.
- [27] 于秀林, 任雪松. 多元统计分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 1999: 162-168.
- [28] 国家粮食局标准质量中心. GB 1535—2003 大豆油[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.