

基于离子选择性电极传感器阵列的白酒香型快速鉴别

邹小波¹, 刘泽宇¹, 郑悦², 张文¹, 石吉勇¹, 徐艺伟¹

(1. 江苏大学食品与生物工程学院, 江苏镇江 212013) (2. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100020)

摘要: 白酒是中国传统且独有的产品, 酿造原料和酿造工艺的不同产生了不同风味及口感的白酒, 现阶段白酒的香型主要分为 8 种。为了实现对不同香型白酒的快速鉴别, 本试验组建了由 12 个不同的离子选择性电极组成的味觉传感器阵列, 对 8 种不同香型的白酒进行检测。在数据分析过程中, 利用主成分分析法、聚类分析法和线性判别法对实验数据进行分析与识别。在主成分分析三维图中, 8 种不同香型的白酒能被很明显的区分开来, 前 3 个主成分的累计贡献率为 75.01%; 利用聚类分析进一步对数据进行分析, 其对 8 种不同香型白酒的识别率达到了 93.75%; 最后通过线性判别法对测试样本进行识别, 校正集和预测集的识别率均达到了 100%。研究表明: 此味觉传感器阵列对不同香型的白酒具有较好的鉴别能力。

关键词: 味觉传感器阵列; 白酒; 主成分分析; 系统聚类分析; 线性判别分析

文章编号: 1673-9078(2018)07-251-257

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.7.037

Rapid Identification of Liquor Fragrance using an Ion Selective Electrode Array

ZOU Xiao-bo¹, LIU Ze-yu¹, ZHENG Yue², ZHANG Wen¹, SHI Ji-yong¹, XU Yi-wei¹

(1.School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

(2.Chinese Academy of Agricultural Mechanization Science, Beijing 100020, China)

Abstract: Liquor is traditional and unique product of China. Because of different brewing materials and processes, Chinese liquor has different and flavor taste. At this stage, the scent of liquor fragrance is divided into eight kinds. In order to rapidly identify liquor flavor, a taste sensor array based on 12 ion selective electrodes was developed and used for analyzing eight kinds of scent liquor. In this paper, the principal component analysis, cluster analysis and linear discriminant analysis were used to analyze the experimental data. In the three-dimensional diagram of principal component analysis, eight different flavors of liquor can be clearly distinguished, and the cumulative contribution rate of the first three principal components was of 75.01%. Using cluster analysis to further analyze the data, the recognition percentages of the eight different types of spirits reached up to 93.75%. Finally, the linear discriminant analysis was used to identify the test samples, the discriminant percentage between the correction set and the prediction set was up to 100%. This study showed that the developed taste sensor array has good identification ability for different flavors of liquor.

Key words: taste sensor array; liquor; principal component analysis; system clustering analysis; linear discriminant analysis

白酒是以粮食谷物为主要原料, 以大曲、小曲或麸曲及酵母等作为发酵剂, 经蒸煮、糖化、发酵、蒸馏而制成的蒸馏酒^[1-4]。中国白酒种类繁多, 风格迥异, 市面上常见的白酒香型主要分为 8 种, 包括酱香型、浓香型、清香型、兼香型、米香型、凤香型、芝麻香

收稿日期: 2018-01-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31671844); 国家科技支撑项目 (2015BAD17B04); “十三五”国家重点研发计划 (2016YFD0401104); 江苏省自然科学基金项目 (BK20160506)

通讯作者: 邹小波 (1974-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品无损检测研究

型和馥郁香型^[5], 因此有必要对白酒的香型进行快速有效的鉴别。

传统的区分不同香型白酒方法主要分为两种, 一种是感官评价法, 另一种是理化分析法^[6-8]。感官评价法虽然简便快速, 但是人工评价容易受到品酒员的身体状况、心理因素和所处环境的影响, 因此人工品鉴的结果通常不稳定。而色谱等常规理化分析法, 主要依赖于气相色谱, 液相色谱和质谱等大型仪器, 虽然能准确检测出白酒中所含成分, 但是并不能实现对白酒香型的快速鉴别, 并且处理繁琐、价格昂贵、耗时较长。

传感器阵列技术是一种高集成化、高选择性、高通量的快速分析技术,在食品分析、环境检测和药物筛选等方面应用较为广泛^[9-11]。在食品工业中,常被用于分析、识别和检测食品中所包含的复杂呈味物质,使用较为广泛的是法国 AlphaMOS 公司所生产的电子舌,该电子舌能有效检测绿茶品质,区分红茶饮料,以及对肉制品的品质及新鲜度进行检测^[12-14]。虽然电子舌能够成功检测出样品的味觉品质,但是由于电子舌价格较高,检测周期较长,因此只能局限于专业实验室和大型企业当中,所以为了降低电子舌的成本,提高电子舌的实用性,本文组建了由 12 种不同的离子选择性电极组成的传感器阵列。离子选择性电极是一种能够利用膜电势测定溶液中离子浓度或活度的电化学传感器^[15-17]。根据伯德罗味觉理论,不同呈味物质

在味神经上去电荷形式的不同会引起脉冲数的变化,并且受到刺激的味神经纤维在去电荷时间上也会形成差异,从而在大脑中形成不同的味觉^[18,19]。因此可以选择能够测定溶液中离子浓度的离子选择性电极组成传感器阵列,并将传感器阵列测得的数据进行专业化的处理及分析,以此来鉴别白酒的不同香型。

1 材料与方法

1.1 实验材料

为了确保试验的准确度,本试验选取了市面上常见的 8 种不同香型的白酒进行试验(表 1),样品均购买于江苏大学凯源旅游超市。试验中所使用的水皆为去离子水。

表 1 白酒样品
Table 1 Liquor samples

序号	样品	香型	公司
1	景芝特级白干	芝麻香型	山东景芝酒业股份有限公司
2	酒鬼酒提升湘泉	馥郁香型	酒鬼酒股份有限公司
3	红星二锅头	清香型	北京红星股份有限公司
4	茅台迎宾酒	酱香型	贵州茅台酒股份有限公司
5	传奇黔酒	兼香型	贵州茅台集团
6	泸州老窖浓香源 N9	浓香型	泸州老窖股份有限公司
7	西凤酒	凤香型	陕西西凤酒股份有限公司
8	桂林三花酒	米香型	桂林三花股份有限公司

1.2 仪器与设备

CHI660D 电化学工作站,上海辰华仪器有限公司;SQP 型电子分析天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;101A-3 型电热鼓风干燥箱,上海实验仪器厂有限公司;KQ-300DE 型数控超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;试验中所用电极均购买于上海雷磁传感器科技有限公司,(电极型号如下,PF-1-01 型氟离子传感器、PBr-1-01 型溴离子传感器、PCa-1-01 型钙离子传感器、PNO³-1-01 型硝酸根离子传感器、PPb-1-01 型铅离子传感器、PI-1-01 型碘离子传感器、PNa-1-01 型钠离子传感器、PH-1-01 型氢离子传感器、PCl-1-01 型氯离子传感器、PK-1-01 型钾离子传感器、PCu-1-01 型铜离子传感器、PAg/S-1-01 型银硫酸根离子传感器、212 型饱和甘汞参比电极)。

1.3 试验方法

1.3.1 离子选择性电极味觉传感器阵列的构建

离子选择性电极是一种能够利用膜电势测定溶液中离子浓度或活度的电化学传感器,当离子选择性电极与参比电极组成电池时,包含待测离子的溶液与离子选择性电极接触,电极能对溶液中的特定离子选择性得产生 Nernst 响应,其电极电位是一种膜电位,当溶液中被测离子浓度不同时,其电极电位也会发生变化,因此可以通过离子选择性电极测量溶液中特定离子的浓度。

经过大量的前期试验筛选,本文选择对于不同离子敏感度而引起电位值差异的传感器构建阵列,包含 12 个工作电极和一个饱和甘汞参比电极。传感器阵列中的 12 个工作电极包含 2 个玻璃电极(传感器编号为: A1、A2); 3 个液膜电极(传感器编号为: B1、B2、B3); 7 个难溶盐(固态)膜电极(传感器编号为: C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7); 对于干燥保存的全部工作电极,需在去离子水中扫描电位-时间曲线,直至达到稳定状态,待用,传感器类型及活化参数如表 2 所示。

表2 传感器类型和活化参数

Table 2 Type of sensors and parameters of activation

传感器编号	工作电极薄膜类型	活化溶液	活化浓度/(mol/L)	活化时间/h
A1	Na ⁺	NaCl	1×10 ⁻⁴	8
A2	H ⁺	H ₂ O	-	4
B1	Ca ²⁺	CaCl ₂	1×10 ⁻³	6
B2	K ⁺	KCl	1×10 ⁻³	4
B3	NO ³⁻	NaNO ₃	1×10 ⁻³	6
C1	I ⁻	KI	1×10 ⁻³	12
C2	F ⁻	H ₂ O	-	6
C3	Cl ⁻	KCl	1×10 ⁻³	4
C4	Pb ²⁺	Pb(NO ₃) ₂	1×10 ⁻³	8
C5	Cu ²⁺	CuSO ₄ ·5H ₂ O	1×10 ⁻³	6
C6	Br ⁻	KBr	1×10 ⁻³	4
C7	Ag ⁺ /S ²⁻	AgNO ₃	1×10 ⁻³	5

1.3.2 传感器阵列的白酒香型检测方法



图1 实验装置图

Fig.1 Experimental device diagram

试验所用装置包括检测系统、数据采集系统和终端处理系统。分别为传感器阵列、CHI1660D 电化学工作站和计算机。如图1所示，图1左侧为实验原理示意图，右侧为实物图，图中 12 个工作电极以及 1 个参比电极分别置于电极架上（图中只画了两根作为

示意），电极连接至电化学工作站，再通过计算机进行数据的处理与分析。本试验中所有测量均在室温下进行，将活化后的传感器阵列与电化学工作站连接，传感器浸入去离子水面下 15 mm，在无搅动状态下浸泡 10 min 后扫描至信号平衡。扫描完成后用去离子水对传感器进行冲洗，并用滤纸擦干，然后将传感器工作电极浸入白酒液面下 15 mm 处，在无搅动状态下浸泡 10 min 后使用开路电位法（open circuit potential-time）进行检测。每次测量完成后均用去离子水对传感器测量端和浸入溶液部分进行冲洗，并再次在去离子水中扫描至信号平衡，然后进行下一次检测。每种香型的白酒取 6 个样本，8 种不同香型的白酒一共 48 组样本，每个样本平行测量 3 次，取 3 次的平均值作为每个样本的测量值，开路电位法的参数设定如下：运行时间 60 s，时间间隔 0.1 s，高电位 1 V，低电位-1 V。

2 结果与分析

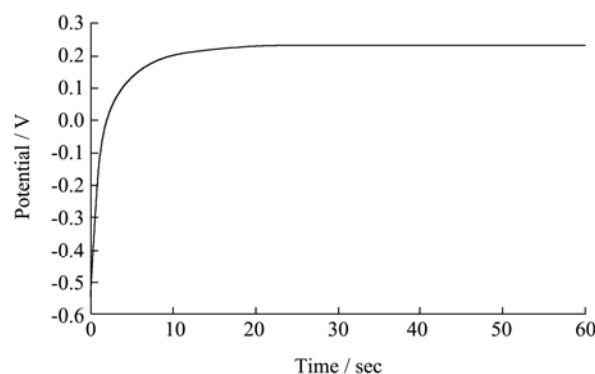


图2 C2 在去离子水中的响应信号图

Fig.2 C2 signal response in deionized water

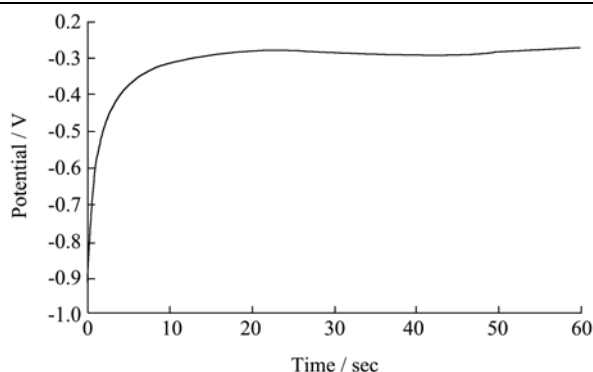


图3 C2 在白酒中的响应信号图

Fig.3 C2 signal response in liquor

通过试验得到12种传感器对8种不同香型白酒对应的响应信号，对响应信号进行分析，图2与图3是传感器在去离子水和白酒中的达到稳定时的响应信号

图(以C2传感器为例)，图中信号是电极在待测液体中浸泡15 min 中之后的响应信号图，由于白酒与去离子水中的离子浓度不同因此图中电极在两种液体中所测得的电位起始点不同，最终所得到的电位也不同。由图2和图3可得，在测量过程的前10 s，传感器的响应信号强度迅速增加，而后的10~60 s内，去离子水中的传感器信号强度趋于稳定，白酒中响应信号的变化比较小，达到了动态平衡。所以，为了减少电化学工作站使用过程中收到的设备干扰和人为干扰，本文提取了10.1~60 s的传感器的响应信号的平均值进行分析。

表3为实验结果数值表，试验中每种白酒有6个样品，表中数据为每种电极对于同一种白酒6个样品的测量数据平均值加减方差。

表3 实验结果数值表

Table 3 Numerical table of experimental results

	白干	二锅头	浓香源	三花酒
Ag ⁺ /S ²⁻	0.1627±5.60E-04	0.2071±4.57E-04	0.1673±5.21E-03	0.2233±6.27E-03
Br	0.0851±1.29E-04	0.1080±6.47E-04	0.1531±6.87E-04	0.2168±5.54E-03
Ca ²⁺	-0.0423±2.11E-04	0.0591±5.96E-04	0.0172±2.29E-03	0.0496±2.09E-03
Cl ⁻	0.1552±2.67E-04	0.1691±6.65E-04	0.1474±1.42E-03	0.1813±1.74E-02
Cu ²⁺	0.1571±2.13E-04	0.1744±5.89E-03	0.1733±1.02E-03	0.1753±3.05E-03
F ⁻	0.4102±2.67E-04	0.3452±5.40E-04	0.2824±8.60E-04	0.3616±1.47E-03
H ⁺	0.1517±2.13E-04	0.1106±3.65E-04	0.1039±2.43E-03	0.1296±4.63E-03
I ⁻	-0.0282±9.57E-05	0.0432±5.49E-04	0.0305±1.18E-03	0.0247±6.50E-04
K ⁺	-0.0355±6.87E-05	0.0682±3.67E-02	0.0247±8.44E-03	0.0346±2.46E-03
Na ⁺	-0.0375±2.39E-03	0.1254±1.53E-03	0.1813±5.50E-03	0.0680±1.04E-03
NO ³⁻	-0.5453±4.34E-04	1.3130±4.15E-04	0.2878±3.51E-03	1.3935±7.33E-04
Pb ²⁺	-0.1416±1.38E-03	0.1430±5.73E-04	0.1184±9.18E-04	0.0637±1.28E-03
	迎宾酒	黔酒	西凤酒	酒鬼酒
Ag ⁺ /S ²⁻	0.2018±6.60E-04	0.1764±6.55E-04	0.1627±4.22E-03	0.1854±2.32E-03
Br	0.2967±6.99E-04	0.1160±6.88E-03	0.1208±7.65E-04	0.3961±2.09E-03
Ca ²⁺	0.0037±3.09E-04	0.0217±3.86E-04	0.0055±9.25E-04	0.0757±4.77E-02
Cl ⁻	0.1728±4.49E-04	0.1736±4.85E-04	0.1447±2.87E-04	0.1657±1.73E-03
Cu ²⁺	0.1667±4.37E-04	0.1755±4.57E-04	0.1605±9.27E-04	0.1658±1.45E-03
F ⁻	0.2868±8.41E-04	0.4361±3.21E-04	0.3042±9.32E-04	0.3931±5.65E-03
H ⁺	0.0476±7.09E-04	0.1575±3.31E-03	0.1276±1.19E-03	0.1300±2.31E-02
I ⁻	0.0325±5.99E-04	0.0424±1.99E-03	0.0053±1.01E-03	0.0354±4.79E-03
K ⁺	0.0221±6.34E-04	0.0528±1.29E-02	0.0229±1.87E-03	0.0472±2.89E-03
Na ⁺	0.3099±3.97E-03	0.0708±9.93E-04	0.0092±8.69E-04	0.0036±3.96E-04
NO ³⁻	0.6671±1.28E-03	3.3182±8.73E-03	1.7526±5.51E-03	1.0256±2.91E-03
Pb ²⁺	0.1243±9.01E-04	0.1130±1.69E-03	0.1328±4.37E-03	0.1215±8.41E-03

2.1 主成分分析结果

主成分分析 (principal component analysis, PCA)

可以对数据进行降维，在数据分析中被广泛应用，此方法可以避免信息重叠，并且能够简化数据量，提取出最具代表性的变量子集^[20]。因为不同类的样本在主

成分空间中的分布有所不同,所以主成分得分图可以一定程度地反映样本的聚类趋势。每种白酒检测6次,8种不同香型的白酒共得到48组12维数据,用主成分分析法对数据进行分析,得到白酒样本的主成分三维分析图,如图4。

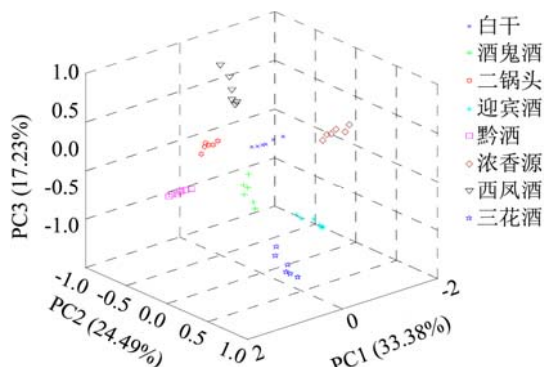


图4 不同香型白酒3维主成分得分图

Fig.4 3-dimensional principal component score map of different flavor types of liquor

图4为样本的3维主成分得分图,图中每个点代表一种白酒的1个样本点,彼此之间的距离一定程度上代表着样本的差异,从图中可以直观得到8种白酒的区分结果。图中每一种白酒所代表的6个点离散度较小,说明同种白酒不同样本之间的干扰较小,同种白酒的味觉特征非常相近。图中第一主成分得率为33.38%,第二主成分的得率为24.49%,第三主成分的得率为17.23%,前3个主成分累积贡献率75.01%。虽然前3个主成分并不能代表所有样本的主要特征信息,但是图中8种白酒还是能较为明显的区分开来。其中二锅头、白干和酒鬼酒在图中的离散程度不是很好,且8种酒在主成分分析图中整体的区分不是特别巨大,由此可见虽然酿造原料和酿造工艺等的不同造成了不同香型的白酒,但是不同香型白酒之间依然具有某些共性。基于主成分分析区别白酒的方法体现了白酒香型的典型性与相似性。但是区分不同香型白酒的准确率不是很高,为了得到更好的区分率采取了聚类分析对白酒进行区分。

2.2 系统聚类分析结果

系统聚类分析(system cluster analysis)是一门多元统计分类法,它可以将相似度高的数据聚到一簇,不同簇之间的数据相似度越高,在聚类分析的树状图上的距离就越接近,此方法可以考察检验数据之间的相似性^[21]。

对48个白酒样品数据进行聚类分析,将其编为1~48号,1~6号为白干,7~12号为酒鬼酒,13~18号为二锅头,19~24号为迎宾酒,25~30号为黔酒,31~36

号为泸州老窖,37~42号为西凤酒,43~48号为三花酒。类间聚合使用组间连接,个体之间的相似性使用欧式距离,能够得到白酒样品的聚类分析图,如图5。

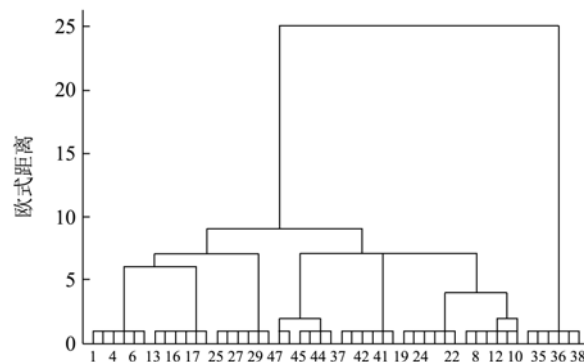


图5 不同香型白酒系统聚类分析树状图

Fig.5 Systemcluster analysis of different flavor types of liquor

通过聚类分析树状图谱可以看出,当欧式距离为4.0时,按照白酒的点位可以将48个样品聚为8类。其中,1~6号样品分为第一类,13~18号样品分为第二类,25~30号样品为第三类,43~48号样品为第四类,37~42号样品为第五类,19~24号样品为第六类,7~12号样品为第七类,31~36号样品为第八类。虽然8种白酒能被明显分类,但是也有部分样本的归类有误差,从图中可以看出10号样本,46号样本,47号样本被错误聚类。利用聚类分析对不同香型的白酒分类的正确率达到93.75%。由此说明,此传感器阵列可以根据不同味觉特征完成不同香型白酒的分类鉴别,并且识别率较高。

2.3 线性判别分析结果

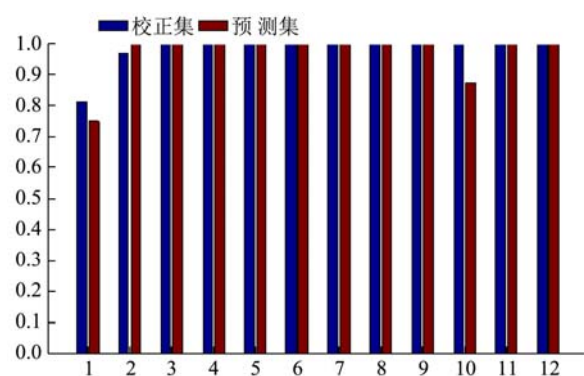


图6 不同香型白酒不同主成分下LDA建模结果

Fig.6 LDA modeling results for different flavor types of liquor under different principal components

线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)是统计学上一种经典的分析方法,它主要以样本的可分性为目标,在输入的样本自变量的基础上构建一个线性函数,然后寻求一种最合适的变换,使得在某种意义上,不同类之间的离散度达到最大,而同类之间

离散度最小的分类方法^[22]。线性判别分析属于一种有监督的数据空间维数约简的方法,能够实现不同模式的分类。本实验中,为了更好地区分不同香型得白酒,采用了 LDA 法对 8 种白酒,每种白酒 6 个样品一种 48 个样品进行判别分析,建立了白酒不同香型得鉴别模型,利用校正集建立模型,预测集验证模型。图 6 是选取不同主成分数建立 LDA 模型得结果。

从图中可以看出,模式识别率随着主成分的增加而增加,当主成分为 3 时,模型可以取得良好的识别效果,校正集和预测集种 LDA 模型区分 8 种白酒的准确率均为 100%。线性判别分析是一种监督学习的降维技术,较 PCA 能够更好得区分不用种类得样本,本文使用判别分析取得了令人满意的结果。

根据以上对试验结果的分析与讨论,可以准确了解到此传感器阵列的实际工作性能。相比于人工品鉴法和其他理化分析方法来检测白酒的香型,此方法检测速度更快,试验方法更加简便,识别能力也较为突出。同时相比于电子舌来说,此传感器阵列对样品的分析更加全面,准确率更高,并且此传感器阵列成本较低,安装方便,操作简单,实用性强,更加方便了对不同白酒的检测与分析。

3 结论

本试验采用了由离子选择性电极所组成的味觉传感器阵列对市场上所具有代表性的 8 种香型的白酒进行了检测,并且采用了不同的数据分析方法对数据进行了分析,均得到了满意的区分和鉴别效果,且线性判别法的准确率达到 100%,较系统聚类法更高。结果表明,此味觉传感器阵列可以准确区分不同香型的白酒,并且在整体应用方面具有良好的前景。

参考文献

- [1] 邵长军,李刚,李亮,等.白酒香型与香味成分探究[J].酿酒科技,2005,8:92-93
SHAO Chang-jun, LI Gang, LI Liang, et al. The study on liquor flavor and scent composition [J]. Liquor-making Science & Technology, 2005, 8: 92-93
- [2] 胡珂平,程劲松,杨屹,等.快速毛细管气相色谱分析白酒中的香味成分[J].分析科学学报,2008,3:323-326
HU Ke-ping, CHENG Jing-song, YANG Qi, et al. Analysis of flavor components in chinese liquor by fast capillary gas chromatography [J]. Journal of Analytical Science, 2008, 3: 323-326
- [3] 亓学奎,王欣欣,杨华.毛细管色谱法测定白酒中的甲醇、乙酸乙酯、乳酸乙酯和正丙醇[J].食品科技,2014,2:276-27

- QI Xue-kui, WANG Xin-xin, YANG Hua. Determination of methanol, ethyl acetate, ethyl lactate and n-propanol in white spirit by capillary gas chromatography [J]. Food Science and Technology, 2014, 2: 276-278
- [4] 吕丽.气相色谱法分析白酒中主要香味组分[J].酿酒,2008,35(2):88-89
LV Li. Analysis of main aroma components in liquor by gas chromatography [J]. Liquor Making, 2008, 35(2): 88-89
- [5] GUANG Yuan-jin, YANG Zhu, YAN Xu. Mystery behind Chinese liquor fermentation [J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 63: 18-28
- [6] 徐岩,范文来,王海燕,等.风味分析定向中国白酒技术研究的进展[J].酿酒科技,2010,11:73-78
XU Yan, FAN Wen-lai, WANG Hai-yan, et al. Advance in flavor-directed analytic technology for Chinese liquor (Baijiu) [J]. Liquor-making Science & Technology, 2010, 11: 73-78
- [7] 霍丹群,张苗苗,侯长军,等.基于主成分分析和判别分析的白酒品牌鉴别方法[J].农业工程学报,2011,27(S2):297-301
HUO Dan-qun, ZHANG Miao-miao, HOU Chang-jun, et al. Recognition method of liquor brands based on principal component and liner discriminant analysis [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(S2): 297-301
- [8] 周围,周小平,赵国宏,等.名优白酒质量指纹专家鉴别系统[J].分析化学,2004,32(6):735-740
ZHOU Wei, ZHOU Xiao-ping, ZHAO Guo-hong, et al. Quality fingerprint expert discriminating system of chinese famous white spirits [J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2004, 32(6): 735-740
- [9] LIMIN Zhu, YUANYIN Ni, Soffy Venzal, et al. Applications of sensor array fingerprint technology in food quality control [J]. The Processing of Agricultural Products, 2005
- [10] 邹小波,赵杰文.电子鼻快速检测谷物霉变的研究[J].农业工程学报,2004,20(4):121-124
ZOU Xiao-bo, ZHAO Jie-wen. Rapid identification of moldy corn by electronic nose [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(4): 121-124
- [11] Patrycja Ciosek, Tomasz Sobanski, Ewa Augustyniak, et al. ISE-based sensor array system for classification of foodstuffs [J]. Measurement Science & Technology, 2005, 17(1): 6-7
- [12] 姜莎,陈芹芹,胡雪芳,等.电子舌在红茶饮料区分辨中的应用[J].农业工程学报,2009,25(11):345-349
JIANG Sha, CHEN Qin-qin, HU Xue-fang, et al. Application of electronic tongue on black tea beverage discrimination [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural

- Engineering, 2009, 25(11): 345-349
- [13] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(11): 378-381
- [14] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(12): 141-144
- [15] K Toko. RETRACTED: Electronic tongue [J]. Biosensors & Bioelectronics, 1998, 13(6): 701
- [16] Charles J Battaglia, Jack C Chang, Daniel S Daniel. Ion-selective Electrode [P] US, 1980
- [17] D Ammann, W E Morf, P Anker, et al. Neutral carrier based ion-selective electrodes [J]. Ion-Selective Electrode Reviews, 1983, 5(1): 3-92
- [18] Herbert Stone, Shirley M Oliver. Beidler's theory and human taste stimulation [J]. Perception & Psychophysics, 1966, 1(10): 358-360
- [19] L M Beidler. A theory of taste stimulation [J]. Journal of General Physiology, 1954, 38(2): 133
- [20] Emmanuel J Candes, Xiaodong Li, Yi Ma, et al. Robust principal component analysis [J]. Journal of the Acm, 2009, 58(3): 11
- [21] 胡雷芳.五种常用系统聚类分析方法及其比较[J].统计科学与实践,2007,4:11-13
HU Lei-fang. Five common cluster analysis methods and their comparison [J]. Tatistical Science and Practice, 2007, 4: 11-13
- [22] Robert H Riffenburgh, Charles W Clunies-Ross. A new method for estimating parameters for the gompertz growth curve [J]. Chicago, 1960, 3(6): 27-33