

电子鼻结合化学计量法用于检测黄酒酒龄

Detection and classification of Chinese rice wine with different wine age by zNose

张 振¹ 李臻锋^{1,2,3} 宋飞虎^{1,2} 李 静^{1,2} 徐晚秀¹

ZHANG Zhen¹ LI Zhen-feng^{1,2,3} SONG Fei-hu^{1,2} LI Jing^{1,2} XU Wan-xiu¹

(1. 江南大学机械工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 江苏 无锡 214122;
3. 绍兴县魁联机电科技有限公司, 浙江 绍兴 312030)

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Wuxi,

Jiangsu 214122, China; 3. Shaoxing Queland Mechatronics Technology Co. Ltd, Shaoxing, Zhejiang 312030, China)

摘要:黄酒的酒龄是其品质的主要标志之一。针对使用光谱仪、色谱仪等大型仪器检测黄酒受时间地点限制, 试验采用表面声波型电子鼻 zNose 对 4 个年份的古越龙山黄酒样品进行采样分析, 实现实时、实地的在线检测。结果表明, 采用主成分分析法和典型判别分析进行数据分析, 区分率达到 100%。对黄酒样品不同特征峰进行回归分析, 其中, 用于鉴别不同酒龄的特征峰 4 面积、峰 5 面积、8 个峰的面积总和与对应回归方程间的相关系数较好, 相关系数分别为 0.990 2, 0.994 3, 0.987 6, 能够对所选的不同酒龄的古越龙山黄酒正确区分。研究结果显示: 表面声波型电子鼻 zNose 结合化学计量方法适用于古越龙山黄酒酒龄鉴别。

关键词:电子鼻; 黄酒; 酒龄; 化学计量法; 分类

Abstract: Wine age is one of the main indicators of Chinese rice wine in quality. There are many limits in time and place about chromatograph and spectrograph. Surface Acoustic Wave zNose can distinguish Chinese rice wine of different wine age real time, on-the-spot and on-line monitoring. GuYueLongShan Chinese rice wines which belong to different category were sampled. Data were analyzed by principal component analysis and discriminant function analysis, where 100% classification was achieved. The correlation coefficient of characteristic peak area and regression equation were better, which were 0.990 2, 0.994 3, 0.987 6 respectively. The linear regression model could also distinguish different GuYueLongShan Chinese rice wine based on wine age. It could be concluded zNose combined with chemical analysis methods could be used for discriminating wine age of Chinese rice wine.

Keywords: zNose; Chinese rice wine; wine age; chemometrics; classification

基金项目:江苏省产学研联合创新资金(编号:BY20130155-22)

作者简介:张振(1987-), 男, 江南大学在读硕士研究生。

E-mail: zifeng19871203@sina.com

通讯作者:李臻锋

收稿日期:2014-12-15

sification

黄酒历史悠久, 被誉为中国的“国粹酒”, 是中华民族特有酒种, 具有香气浓郁、口味醇厚、营养丰富的特点, 深受广大消费者喜爱。黄酒的风味和质量随着年份的增加而相应提高, 在工厂中是按照年限跟风味质量对黄酒进行分类, 它的酒龄(即几年陈)成为其重要标志, 进而在黄酒行业内常以酒龄来评定黄酒品质。

研究^[1-3]表明, 酒龄对黄酒中的挥发性风味物质的影响比较大。近年来, 大部分研究是采用气相色谱^[4,5]、GC-MS^[6-9]、高效液相色谱^[10]、近红外光谱^[11,12]、电子鼻^[13,14]等分析技术, 实现对黄酒的品质、酿造年份及产地的鉴别。

色谱与光谱方法的优点是可以定性定量测定黄酒中的风味成分, 但在不同程度上存在不足之处。GC、GC-MS 检测黄酒气味中不同化学成分时需准备各种内标物, 工作量极大。采用光谱法检测时, 样品状态、测量条件、水的存在等会掩盖其他成分吸收光谱的信号^[15]。色谱与光谱方法所需要的常规精密仪器, 分析过程复杂、耗时耗力且分析成本高, 受限制较多。

电子鼻分析法, 即人工嗅觉技术, 近年来在食品检测中应用广泛, 它通过特定传感器的交叉特性联合模式识别检测混合气体, 得到样品挥发物的综合信息, 进而从整体上对样品进行检测判别^[16]。电子鼻已经在食品及添加剂方面^[17-20]发挥出重要作用。对于酒精类饮料检测中, 电子鼻技术在葡萄酒、黄酒、白酒的鉴定和分类方面也有相关应用。Li Zhen-feng 等^[21]总结了电子鼻在葡萄酒方面的应用进展。曾金红等^[22]采用金属氧化物型电子鼻对不同产地的黄酒采样分析, 利用数理统计方法建模, 成功区分了绍兴原产地、绍

兴非原产地及绍兴以外地区的黄酒样品。江涛等^[23]使用 Flash GC 型电子鼻对不同酒龄的黄酒采样分析,建立数学模型对酒龄预测,发现 PLS 模型对不同酒龄的塔牌黄酒预测结果较好,对其他厂家的则毫无准确性和规律性。Zhang Qin-yi 等^[24]则使用金属氧化物型电子鼻成功区分了 5 种不同的白酒。

从 2002 年开始,一种叫 zNose 的新型的电子鼻被研制出来并且开始商业化应用。从原理上讲,zNose 作为一种独特的微型高速气相色谱仪,主要由一个短色谱分离柱(DB-5)、声表面波传感器和电路系统组成。zNose 的检测器是一个未涂覆的高质量的压电石英晶体。石英晶体工作时,表面保持高频率的声波。待测物质到达并粘在传感器表面,传感器频率发生变化^[25]。频率变化(单位是 Counts)通过微型控制器获得,根据频率变化可以表征气体的浓度。进一步经软件处理,对待测物进行定性和定量测定。在挥发物到达传感器之前,它们被短色谱分离柱分离,这个短分离柱含结合液相的内部涂层。挥发物溶解在液相中,在不同的时刻挥发出分离柱,这种分离通过一个可编程的温度控制柱加热进一步增强。一种化学物质停留在分离柱的时间成为该种物质的停留时间,对每一种分离物质,停留时间都是独一的。每个峰的面积被当作挥发量的度量。zNose 能在数秒钟检测出化学物质。蜂蜜中的挥发物^[24],苹果气味的挥发物^[26],蔬菜油的挥发物^[27]已经通过 zNose 检测出来。

本研究拟通过表面声波型电子鼻 zNose 分析古越龙山黄酒挥发性气味的特征变化,找出不同年份黄酒之间的差异,快速实时判断古越龙山黄酒的酒龄。

1 材料和方法

1.1 样品准备

试验选用浙江古越龙山有限公司提供的 3 年陈,5 年陈,8 年陈,10 年陈不同生产日期黄酒样品,每个年份各取 6 瓶。

1.2 仪器设备

电子鼻:Model 4200 型,Electronic Sensor Technology, USA;

Transferpette 移液器:5 mL,德国普兰德公司。

1.3 试验过程

电子鼻对 4 种不同年份的古越龙山黄酒进行检测,采用顶空和鼓泡技术。侧式针作为样本的气味注入工具,火花针为气泡发生器。旋转阀用于取样位置和注射位置的转换,分离器用于挥发物的预浓缩和保持,高纯氮(99.999%)作为运载气体。

采样时,用 40 mL 的顶空瓶(高度 98 mm,直径 28 mm)对每种检测的黄酒样品,取样 10 mL。在室温下放置 1 h,顶空进样。用侧式针取样(10 s),挥发性物质在运载气体(高纯氮)作用下进入短色谱分离柱内进行分离(14 s),在 20 s 内每隔 0.02 s 一次数据采集,测量得到气味图谱后,焙烤传感器 30 s,清理本次酒样挥发物在传感器上的残留。为修正电

子鼻停留时间偏移这一问题,在每次测量前须预热电子鼻,并用正构烷烃标准溶液对其进行标定。

电子鼻每次采样的过程设置为 90 s,试验采用的电子鼻为分体式,分为采样器和底架,采样器尺寸为 31.8 cm × 10.9 cm × 17.3 cm,底架尺寸为 31.8 cm × 26.4 cm × 14.5 cm,两者通过一根电缆线连接,两者重量之和为 11.1 kg 左右。仪器整体尺寸较小,重量较轻,一次充气之后,可以持续运行 5 h 左右,便于实时实地检测。

2 结果与分析

2.1 一阶导数图谱

电子鼻的传感器检测到的原始频率信号通过电脑采集,然后得到它们的一阶导数。一阶导数的正数部分,经过平滑化,用来绘制样品的图谱,这一点与气相色谱仪类似。从每个文件的一阶导数图谱中选取 8 种特征峰,每个峰的峰面积代表黄酒中相应挥发性物质的数量。通过电子鼻系统软件(MicroSense 4.0)预处理后,得到的数据进行统计分析。

图 1 展示了正构烷烃标准液跟 4 种不同年份古越龙山黄酒的气味图谱。在图 1 中,为了方便比对,每条图谱均进行了纵向的偏移,即各图谱的基线均进行了一定程度的偏移。正构烷烃的数字 6~14 代表 C₆~C₁₄(碳原子数目),样品图谱中的数字编号 1~8 代表特征峰 1~8,是从中选取出来用于酒龄鉴别的特征峰。选取的原则是:在某一年份的样品中,某一特征峰的峰面积在面积总和中所占百分率较大。在不同年份的黄酒中,筛选出来的 8 个特征峰的峰面积之和占相应年份所有峰的峰面积和的百分数分别为 96%,95%,95%,96%,且 8 个峰的峰面积和与所有峰的峰面积之和随酒龄的变化趋势非常吻合,见图 2。而在峰 4 与峰 5 之间、峰 5 与峰 6 之间某些图谱存在一些较小的峰,将它们去除的原因是在不同年份的黄酒中,该特征峰有时会缺失,或峰面积值很小(小于 100 Counts)。通过比对正构烷烃的图谱,黄酒中大部分的挥发物是在 C₆~C₁₄(6 至 14 个碳原子的化合物)。实际上通过 zNose 得到的每个峰代表的是一组物质,即具有相同碳原子数目的化合物,给予的是一个综合的整体响应,不能精确到是哪一种化合物。由于不同酒龄的黄酒挥发性成分含量存在一定的差异,图 2 各图谱特征峰的峰面积值也有所不同。

对图 1 所示气味图谱进行分析,将各年份黄酒气味图谱中的 8 个峰面积加和,结果见表 1。由表 1 可知,面积总和数值的顺序跟黄酒年份及价格的顺序一致,这表明总体来看价格高的高酒龄黄酒在挥发物上含量更高,这一结论与黄酒年份越高,香气更浓郁,口味更醇厚是一致的^[4]。

2.2 统计分析

2.2.1 主成分分析结果 图 3 为主成分分析分类图,展示了 4 种不同酒龄黄酒的区分情况。前 3 个主成分占据了累计方差贡献率的 100%,其中第一主成分为 58.688%,第二主成分为 25.133%。由图 3 可知,4 种不同年份的黄酒可以区

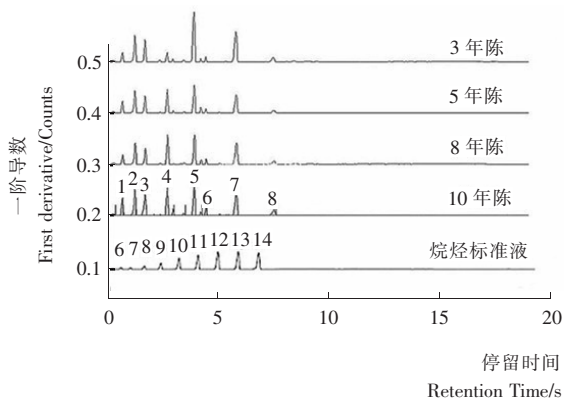


图 1 正构烷烃($C_6 \sim C_{14}$)和 4 种黄酒样品的一阶导数图谱
10 年陈的数字编号 1~8 代表特征峰;烷烃标准液的数字 6~14 代表 $C_6 \sim C_{14}$, 即含 6~14 碳原子数的化合物在电子鼻的一阶导数图谱上出现的位置

图 1 正构烷烃($C_6 \sim C_{14}$)和 4 种黄酒样品的一阶导数图谱

Figure 1 First derivatives of n-alkanes ($C_6 \sim C_{14}$) and four samples

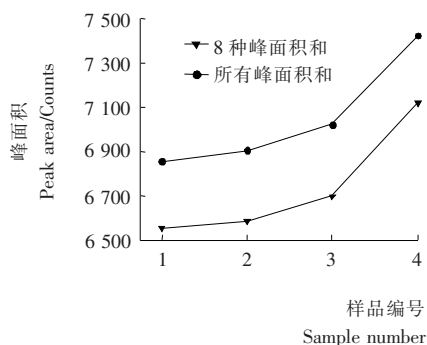


图 2 8 种峰的峰面积和与所有峰的峰面积和的变化趋势

Figure 2 Variation trend of sum of eight peaks and all peaks in area

表 1 4 种黄酒酒样 8 种峰的峰面积总和

Table 1 Sum of the peak areas of four samples

样品	样品编号	价格次序	8 种峰的峰面积/ Counts	面积次序
10 年陈	4	1	7 123.000	1
8 年陈	3	2	6 699.000	2
5 年陈	2	3	6 585.667	3
3 年陈	1	4	6 557.167	4

分开来,说明可使用主成分分析区分不同酒龄的黄酒。

2.2.2 判别因子分析结果 利用判别因子分析法对不同酒龄黄酒电子鼻数据建立数学模型,进而对不同酒龄的黄酒样品进行区分鉴别,结果见表 2。由表 2 可知,对于每种年份样品的 6 次重复试验中均没有出现判别错误的情况,4 种不同年份黄酒的鉴别正确率均为 100%。

2.2.3 回归分析 对选出的 8 种特征峰进行回归分析,相关峰的散点图、回归线及回归方程见图 4~10。

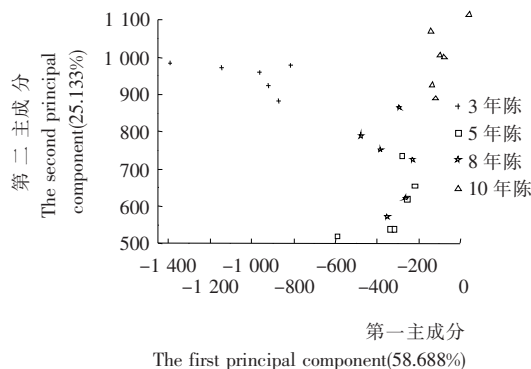


图 3 主成分分析分类图

Figure 3 Classification sketch of principal component analysis

表 2 黄酒酒龄鉴别模型的分析结果

Table 2 Result of discriminant function analysis

样品	样品数	分类错误的样品数	正确分类的百分比/%
3 年陈	6×6	0	100
5 年陈	6×6	0	100
8 年陈	6×6	0	100
10 年陈	6×6	0	100

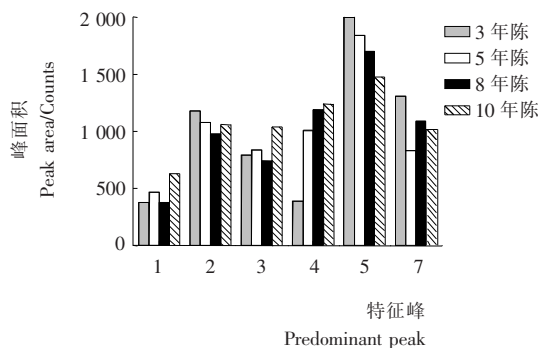


图 4 峰 1、峰 2、峰 3、峰 4、峰 5、峰 7 的峰面积值的变化趋势

Figure 4 Variation trend of peak1, peak2, peak3, peak4, peak5, peak7 in area

图 4 展示峰 1、峰 2、峰 3、峰 4、峰 5、峰 7 的峰面积值的变化趋势,峰 6 与峰 8 的面积值较小,不列在其中。峰 1 面积的平均值为 468.625 Counts,峰 2 面积的平均值为 1 074.75 Counts,峰 3 面积的平均值为 852.166 7 Counts,峰 4 面积的平均值为 956 Counts,峰 5 面积的平均值为 1 764 Counts,峰 7 面积的平均值为 1 060.625 Counts。

峰 1 呈现上升、下降再上升的趋势。峰 2 呈现下降再上升的趋势。峰 3 呈现上升、下降再上升的趋势。峰 4 呈现上升的趋势。峰 5 呈现下降的趋势。峰 7 呈现下降、上升再下降的趋势。

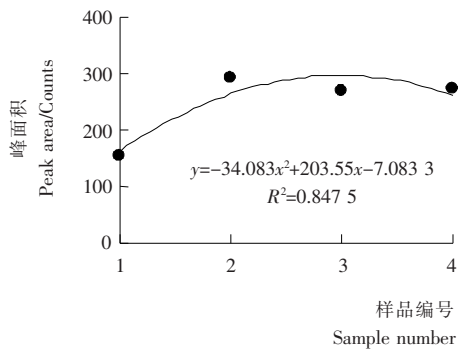


图5 峰6的峰面积值散点图及回归线

Figure 5 Scatter figure and regression line of peak6 in area

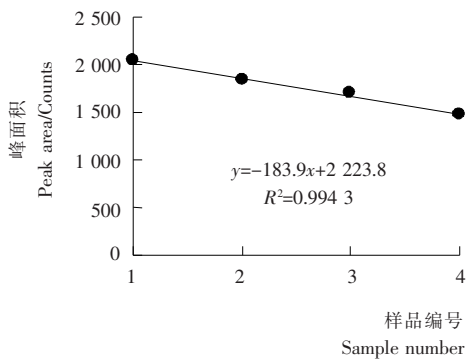


图9 峰5的峰面积值散点图及回归线

Figure 9 Scatter figure and regression line of peak5 in area

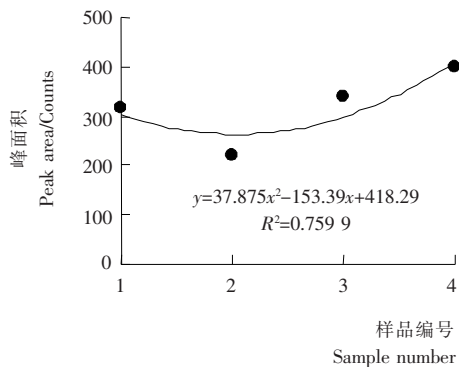


图6 峰8的峰面积值散点图及回归线

Figure 6 Scatter figure and regression line of peak8 in area

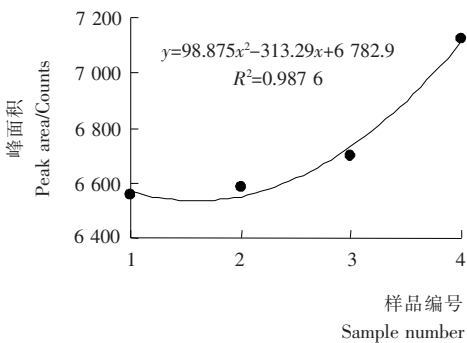


图10 8个峰的峰面积和的散点图及回归线

Figure 10 Scatter figure and regression line of sum of eight peaks in area

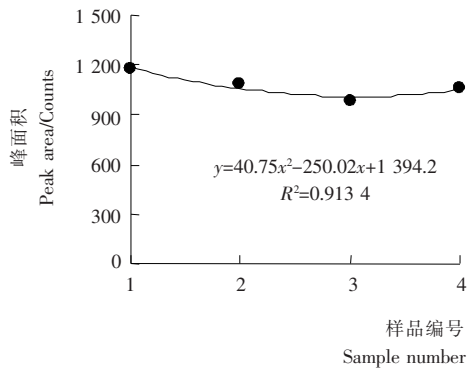


图7 峰2的峰面积值散点图及回归线

Figure 7 Scatter figure and regression line of peak2 in area

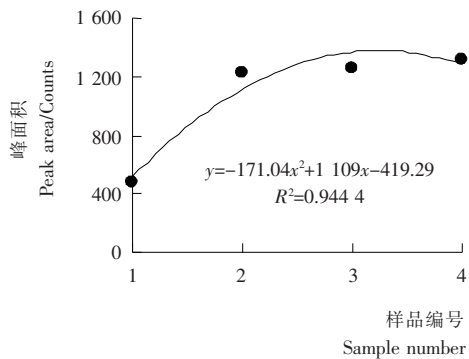


图8 峰4的峰面积值散点图及回归线

Figure 8 Scatter figure and regression line of peak4 in area

从分析结果可以看出,峰4、峰5的增长或减小的变化趋势较为明显。峰1、峰2、峰3、峰7的面积值较大,呈现不稳定的变化趋势,可能是在陈酿过程中,在不同的阶段,醇、醛、酸、酯类发生了化学反应,引起某些变化。黄酒的香气是一种复合香气,在多种成分相互作用下产生。其中,醇酯类是构成黄酒芳香成分的主要物质。研究^[4-9]表明,黄酒的风味物质由大量的微量成分构成,包括醇类、醛类、酸类、酯类及杂环类化合物,这些微量成分种类繁多但含量极少,共同作用形成黄酒独特的风味。这些风味成分主要来自两个方面,一是发酵过程,一是陈酿过程。黄酒在陈酿过程中,许多物理及化学反应会在不同风味成分之间发生,因此黄酒挥发性物质会发生一些改变,进一步引起黄酒风味的改变,使得黄酒随着陈酿时间的增加,不同组分之间逐渐协调,风味变得更好。

对于峰6,4种年份黄酒面积的平均值较小,仅为246.1667 Counts,从3年到5年呈现上升的趋势,之后基本保持不变(图5)。根据峰6可以将3年陈与其他年份的黄酒区分开来。而峰8,4种年份黄酒面积的平均值保持在320 Counts左右,且从3年到5年呈现下降的趋势,之后上升(图6),8年陈和10年陈的面积值略高于3年陈,5年陈最小,根据峰8可以将5年陈与其他年份的黄酒区分开来。

虽然电子鼻给出的是黄酒挥发性气味的整体信息,而不是黄酒中某特定成分的定性定量信息,通过电子鼻得到的特征峰仍能与其他仪器测得的化学物质找到一些对应关系。

峰 2(图 7)呈现下降再上升的趋势。酯类物质在黄酒中种类最多,随着黄酒陈酿时间的增加,其中的酯类物质含量先下降再上升。在黄酒的陈酿初期,酒体不稳定,由酵母菌生成的酯类物质会不断地水解,出现含量下降的情况。随着陈酿时间的增加,黄酒中的醇类与酯类发生酯化反应或者酯交换反应,使得酯类物质的含量不断增加^[6,9]。峰 2 的变化趋势与酯类的变化趋势一致。

峰 4 随着年限的增加,呈现递增的趋势(图 8)。醛类物质属于羰基化合物,在黄酒中,醛类物质的含量远远低于酯类和醇类物质,只占风味物质总量的 2%,但醛类物质与黄酒的风味老化非常相关,是形成其独特风味的重要组分。随着陈酿时间的增加,黄酒中醛类物质的含量不断上升,此现象说明醛类物质产生于黄酒的陈酿过程^[6,8]。峰 4 的变化趋势与醛类的变化趋势一致。

峰 5 则呈现递减的趋势(图 9)。在陈酿过程中,虽然黄酒中的醇类物质含量会发生变化,总体来讲随着年限的增加,黄酒的醇类物质含量逐渐下降,产生这种变化的主要原因是醇类物质被不断氧化成酸所致^[6,9]。峰 5 的变化趋势与醇类的变化趋势一致。

8 个峰的面积总和也呈现递增的趋势(图 10)。

总的来讲,峰 4、峰 5、8 个峰的面积总和的回归线,随着年限的增加,接近线性分布,因此,可以通过峰 4、峰 5、8 个峰的面积总和对 4 种不同年份的古越龙山黄酒进行区分。特征峰 4 跟特征峰 5 的面积以及两者之和所占百分比比较大(表 3),峰 4、峰 5、8 个峰的面积总和通过距离分析(表 4),判断三者的相关性,峰 5 与峰 4、8 个峰的面积总和为强相关,

表 3 峰 4、峰 5 占峰面积总和的百分率

Table 3 Percentage of peak4, peak5 in area %

样品	峰 4	峰 5
3 年陈	5.91	31.14
5 年陈	15.30	27.95
8 年陈	17.78	25.32
10 年陈	17.37	20.74
均值	14.09	26.17
累计	14.09	40.26

表 4 近似矩阵

Table 4 Approximate matrix

特征峰	峰 4	峰 5	8 个峰的面积总和
峰 4	1.000	-0.839	0.577
峰 5	-0.839	1.000	-0.897
峰总面积	0.577	-0.897	1.000

峰 4 与 8 个峰的面积总和为中等相关。根据峰 4、峰 5 在 8 个峰的面积总和中的百分率及其三者之间的相关性判断,采用峰 4、峰 5、8 个峰的面积总和来区分不同酒龄的黄酒比较合理。

3 结论

本研究为不同年份黄酒的分类提供了一个新的思路和方法。通过挥发性信号,4 种不同年份的古越龙山黄酒可以很好地区分开来。不同酒龄黄酒之间的差异可以通过电子鼻检测到的气味信息加以分辨。电子鼻检测到的不同峰的峰面积在黄酒的鉴别和分类中可作为有用的参数。化学计量方法结合电子鼻传感器信息可较好地用于黄酒酒龄鉴别。

在这项研究中,通过特征峰 4、峰 5、8 个峰的面积总和,可简单快速地区分 4 种不同年份的古越龙山黄酒。主成分分析法、判别因子分析法以及回归分析都是非常有用的工具。然而,在这项研究中,只有很有限的黄酒应用其中,这一限制也可以解释为什么通过判别因子分析时结果能达到 100%。在企业中,需要用更多的样品来进行试验,来验证其分类能力。

参考文献

- 范怀德,乔自林. 黄酒营养价值的研究[J]. 西北民族学院学报(自然科学版),2000(6): 47~49.
- 江涛,李博斌,郑云峰,等. 黄酒品质评价方法的研究进展[J]. 酿酒科技,2012(5): 17~19.
- 王家林,张颖,于秦峰. 黄酒风味物质成分的研究进展[J]. 酿酒科技,2011(8): 96~98,103.
- 严冬霞,高红波. 静态顶空一气相色谱法分析不同年份黄酒中主要香气成分[J]. 酿酒科技,2011(7): 114~117,120.
- 胡健,池国红,吴苗叶,等. 利用风味物质鉴别黄酒产地[J]. 酿酒科技,2009(6): 17~19.
- 江伟,兰玉倩,黄毅,等. 固相微萃取与气相色谱一质谱联用法对不同酒龄黄酒的微量风味分析与应用[J]. 食品与发酵工业,2011,37(2): 144~148.
- 李博斌,李祖光,刘兴泉,等. 黄酒风味物质与黄酒香气感官评分的定量关系[J]. 酿酒科技,2008(11): 90~92,96.
- 鲍忠定,孙培龙,许荣年. 动态顶空进样 GC/MS 法测定不同酒龄绍兴酒的挥发性醛类化合物[J]. 酿酒科技,2007(1): 97~98.
- 鲍忠定,孙培龙,许荣年. 吹扫捕集与气相色谱一质谱联用测定不同酒龄绍兴酒的挥发性醇酯类化合物[J]. 酿酒科技,2008(9): 104~107.
- 诸葛庆,李博斌,郑云峰,等. 反相高效液相色谱法测定黄酒中的 β -苯乙醇[J]. 食品科学,2009,30(14): 175~177.
- 刘飞,王莉,何勇,等. 应用可见/近红外光谱进行黄酒品种的判别[J]. 光谱学与光谱分析,2008,28(3): 587~588.
- 于海燕,应义斌,傅霞萍,等. 近红外透射光谱应用于黄酒酒龄的定性分析[J]. 光谱学与光谱分析,2007,27(5): 921~922.
- 鲁小利,张秋菊,蔡小庆. 实用仿生电子鼻在黄酒检测中的应用[J]. 酿酒科技,2014(3): 53~55.

(下转第 118 页)

表3 旋转速度单因素试验结果

Table 3 The single factor test results of rotating speed

转速/(r·min ⁻¹)	感官评分	虾仁损失率/%
15	4.57	7.5
30	4.50	7.9
45	4.88	4.3
60	4.78	5.7

3.3 旋转角度单因素试验结果与分析

辊组旋转角度单因素试验结果见表4。试验表明随着旋转角度的增大,虾仁损失率也随之增大;旋转角度太小,虾肉与虾皮粘连严重,剥壳失败。因此确定旋转角度270°/234°,使对虾剥壳成功的前提下,虾仁损失率最低。

表4 旋转角度单因素试验结果

Table 4 The single factor test results of rotating angle

正转/反转	感官评分	虾仁损失率/%
90°/54°	1.00	1.5
180°/144°	2.00	2.0
270°/234°	4.88	3.4
360°/324°	4.78	5.7
450°/414°	4.50	7.1

4 结论

(1) 连续式对虾剥壳方案,避免了对虾剥壳前需定向、排序的难题,为今后对虾剥壳装置的研制提供了新的思路。

(2) 通过前期大量试验得到了辊式对虾剥壳的理论公式。试验表明对于同一分级级别的对虾,对辊啮角越小虾肉损失越严重;对辊啮角太大,对虾剥壳难度加大;对于不同厚度的对虾,当辊径组合和对辊间隙一定时,其对应不同的啮角,啮

角不同直接影响剥壳的效果。

(3) 试验表明随着对虾厚度的减小,虾仁损失率逐渐增加,而代表剥壳成功率和剥壳难易程度的感官评分逐渐增大,因此选择对虾分级级别为82~100只/kg,充分保证剥壳成功率;随着旋转速度的增大,虾仁损失率和感官评分都是先逐渐降低后又有所增长,因此确定最佳转速为45 r/min;随着旋转角度的增大,虾仁损失率也随之增大,旋转角度太小,虾肉与虾皮粘连严重,剥壳失败,因此确定旋转角度270°/234°,使对虾剥壳成功的前提下,虾仁损失率最低。将经去头开背分级级别82~100只/kg的对虾送入辊径组合25 mm/20 mm,对辊间隙0.5 mm,旋转角度270°/234°,旋转速度45 r/min的辊组,得到虾仁损失率为2.6%,感官评分4.9分。

参考文献

- 郭南麟,陈雪忠,陈思行,等. 发展我国南极磷虾渔业的探讨[J]. 海洋渔业,1996,18(2):58~66.
- 张进疆,张林泉,赵锡和,等. 虾剥壳装备研究与设计[J]. 现代农业装备,2011(7):50~52.
- 王泽河,张丽丽,张秀花,等. 双辊式对虾粗定向方法的试验与研究[J]. 食品与机械,2013,29(6):99~101.
- 张丽丽,王泽河,张秀花,等. 对虾开背工艺方案的设计与研究[J]. 食品与机械,2013,29(5):138~140.
- 郑晓伟,沈建,蔡淑君,等. 南极磷虾等径滚轴挤压剥壳工艺优化[J]. 农业工程学报,2013,29(增刊1):286~293.
- 张秀花,赵庆龙,赵玉达,等. 对虾对辊挤压式剥壳工艺参数及预处理条件优化[J]. 农业工程学报,2014,30(14):308~314.
- 李学英,迟海,杨宪时,等. 南极磷虾冷藏过程中的品质变化[J]. 食品科学,2010,31(20):464~468.
- 常耀光,李兆杰,薛长湖,等. 超高压处理对南美白对虾在冷藏过程中贮藏特性的影响[J]. 农业工程学报,2008,24(12):230~237.
- 曾金红,江涛,郑云峰,等. 基于仿生嗅觉特征的黄酒产地判别研究[J]. 酿酒科技,2012(2):23~26.
- 江涛,李博斌,郑云峰,等. 电子鼻对绍兴黄酒酒龄的定量判别研究[J]. 酿酒科技,2012(1):39~41,46.
- Zhang Qin-yi, Xie Chang-sheng, Zhang Shun-ping, et al. Identification and pattern recognition analysis of Chinese liquors doped nano ZnO gas sensor array[J]. Sensors Actuators B, 2005,2(110):370~376.
- Jeroen Lammertyn, Els A Veraverbeke, Joseph Irudayaraj. zNose technology for the classification of honey based on rapid aroma profiling[J]. Sensors Actuators B, 2004(98):54~62.
- Li Chang-ying, Paul Heinemann, Richard Sherry. Neural network and Bayesian network fusion models to fuse electronic nose and surface acoustic wave sensor data for apple defect detection[J]. Sensors and Actuators. B, Chemical, 2007(125):301~310.
- H L Gan, Y B Che Man, C P Tan, et al. Characterization of vegetable oils by surface acoustic wave sensing electronic nose[J]. Food Chemistry, 2004(89):507~518.
- 顾海锋,张世庆,孙力,等. 黄酒识别的电子鼻系统设计[J]. 食品科技,2014,39(4):248~251.
- 尹猛猛. 基于可视化阵列传感器的白酒鉴别系统设计及应用研究[D]. 重庆:重庆大学,2010.
- 闫李慧,王金水,渠琛玲,等. 仿生电子鼻及其在食品工业中的应用研究[J]. 食品与机械,2010,26(6):156~159.
- 王宠,梁琪,甘伯中,等. 电子鼻在干酪风味检测中的应用[J]. 食品与机械,2012,28(2):250~253.
- 张燕燕,蔡静平,蒋澎. 储粮微生物危害检测技术研究进展[J]. 食品与机械,2013,29(6):267~270,272.
- 张瑶,丁武. 利用电子鼻区分羊奶中不同浓度抗生素[J]. 食品与机械,2011,27(6):144~146,156.
- 秦蓝,李风华,田怀香,等. 鸡精调味料人工感官评价与电子鼻感官分析的相关性研究[J]. 食品与机械,2014,30(4):11~13,42.
- Li Zhen-feng, Wang Ning, Vigneault C. Electronic nose and e-lectronic tongue in food production and processing[J]. Stewart Postharvest Review,2006(4):1~6.

(上接第61页)