

基于电子鼻技术对云南普洱熟茶的香气品质判别

陈婷¹, 蒋明忠², 彭文¹, 冯博¹, 王白娟^{1*}

(1. 云南农业大学, 云南昆明 650201; 2. 云南警官学院, 云南昆明 650223)

摘要:利用电子鼻技术对云南普洱熟茶进行香气分析及判别,为普洱熟茶的品质分级及筛选提供理论依据,促进普洱熟茶品质判别的数字化。采用电子鼻技术对具有典型代表的9个云南普洱熟茶进行了检测。通过Winnuster软件,利用主成分分析法PCA、线性判别法LDA和传感器区别贡献率分析法(Loadings)对样品进行分析。PCA分析结果显示,可以将同品牌不同年份的普洱熟茶香气完全区分开,且效果较好,区分度可达99.9%。LDA分析结果显示,通过线性判别,选择合适的判别式,可以较好地将对同一品牌不同年份的普洱熟茶区分开,说明不同年份的普洱熟茶其挥发物成分存在较大差异,可以被电子鼻检测区别开。Loadings分析结果显示,10个传感器中,7、2和9号作为此次分析的关键传感器,对茶叶香气的响应明显,对区分贡献率最大。研究结果表明,电子鼻这种快速无损的新方法是一种有效的通过气味来评价茶叶品质的技术,可以用于云南普洱熟茶香气品质判别,对于不同年份的普洱熟茶有非常好的区分度。

关键词:电子鼻;普洱熟茶;香气;品质判别

中图分类号:S24 文献标识码:A

Aroma Quality Discrimination of Yunnan Pu'er Ripe Tea Based on Electronic Nose

CHEN Ting¹, JIANG Ming-zhong², PENG Wen¹, FENG Bo¹, WANG Bai-juan^{1*}

(1. Yunnan Agricultural University, Yunnan Kunming 650201, China; 2. Yunnan Police College, Yunnan Kunming 650201, China)

Abstract:The aroma of Yunnan Pu'er ripe tea was analyzed and identified by using electronic nose technology, which provided theoretical basis of quality classification and screening for Pu'er ripe tea, promoted the digitization of quality classification for Pu'er tea. In this paper, 9 typical Yunnan Pu'er ripe teas had been detected by electronic nose technology, and the samples were analyzed with the methods of Principal Component Analysis (PCA), Linear Discriminant Analysis (LDA) and Loadings Analysis (Loadings) by using system-provided Winnuster software. PCA analysis showed that aroma of Pu'er ripe tea of the same brand of different years could be completely separated, and better distinction of up to 99.9%. LDA analysis showed that selecting the appropriate discriminant, could better distinguish different years Pu'er ripe tea of the same brand, it illustrated there were differences among the volatile components in different years of Pu'er ripe tea which could be detected by electronic nose. Loadings analysis showed that in the 10 sensors, No. 7, 2 and 9 were the key sensors of the analysis, and their responses to the tea aroma were obvious, and the contribution rate was the biggest. The research shows that the rapid and non-destructive method of electronic nose is an effective method to evaluate the quality of tea by the smell, which can be used for discrimination of aroma quality of Yunnan Pu'er ripe tea, and it can better distinguish Pu'er ripe tea of different years.

Key words:Electronic nose technology; Pu'er ripe tea; Aroma; Quality discrimination

中国具有历史悠久的茶文化,历经几千年的传承和发展,现在已经形成了以地理为特色,种类繁多,品质不一的中国名茶系列。在众多的茶叶中,普

洱茶作为云南地理标志性产物,一直以历史悠久、品质独特、功效显著而蜚声中外。普洱茶是云南滇西南地区的大叶种茶树鲜叶经杀青、揉捻、日晒、渥堆、干燥等工序而制成的产品。广义的普洱茶包括:晒青茶、熟茶和陈茶三大系列,其中晒青茶分为青饼、青沱、青砖和晒青毛茶^[1];其外形色泽褐红,内质汤色红浓明亮,香气独特陈香,滋味醇厚回甘^[2]。普洱茶因其对人体健康具有特殊的保健功效^[3]和“越

收稿日期:2015-12-06

基金项目:国家自然科学基金(61561054)

作者简介:陈婷(1990-),女,重庆人,硕士研究生,研究方向为农业信息化技术, E-mail: 840897617@qq.com, *为通讯作者,王白娟(1979-),女,白族,副教授,研究方向为生物物理学, E-mail: wangbaijuan123@126.com。

陈越香”的存储方式,备受国内外饮茶者的喜爱。根据前人对普洱茶的研究发现其独特的香气是在渥堆工序中形成的,而普洱茶内含物质成分则是在一定的湿热、酶促、微生物作用下形成^[4-6]。普洱茶的香气成分直接影响其品质的高低和市场的认可。因此,深入研究普洱茶独特的香气成分,成为普洱茶研究工作者的研究焦点。目前茶叶的香气成分定性分析方法有超临界 CO₂ 萃取法(SFE)、同时蒸馏萃取法(SDE)、气相色谱质谱(GC/MS)、减压蒸馏法(VDE)、固相微萃取(SPME)、顶空吸附法(HAS)^[7]。根据气相色谱等分析,茶叶芳香物质的组成包括碳氢化合物、醇类、酮类、酸类、醛类、脂类、内酯类、过氧化合物类、含硫化合物类、吡啶类、芳胺类等^[8]。电子鼻是一种新颖的分析、识别和检测复杂气味和大多数挥发性成分的仪器^[9]。其工作原理是模拟人的嗅觉器官对气味进行感知、分析和判断,由气体采集流向控制系统、气敏传感器阵列、信号处理子系统 and 模式识别子系统等四大部分组成。运用电子鼻技术进行气味分析,可以客观、准确、快捷地评价气味及样本,并且具有较好的重复性,这是常规气体分析方法所不及的。苏明申等^[10]应用电子鼻研究了不同品种的桃果实的香气差异,表明采用 DFA 和 SQC 方法能较好呈现桃果实香气品质的差异;江津津等^[11]为了识别鱼露的品质,利用电子鼻对鱼露香气进行检测分析,结果与 GC-MS 数据和感官分析结果一致,可为鱼露速酿工艺的优选提供参考;史波林等^[12]采用电子鼻技术判别西湖龙井茶的香气品质,建立了不同茶叶等级的批判别模型,实现了西湖龙井茶的智能分等分级。电子鼻技术的兴起让人们看到综合评价气味整体信息的巨大潜力^[13]。近年来,电子鼻得到了广泛的研究和应用,尤其在食品和饮料工业方面^[14-19]。其中,最主要的

一个方面就是根据各样品的不同挥发物进行识别分类。目前利用电子鼻技术分析判别普洱熟茶香气品质的研究还处于萌芽阶段。本研究以普洱茶中具有典型代表的大益熟茶 7572 和三星熟茶为研究对象,运用传感器型电子鼻进行气味“指纹”分析,对样品进行区分分析,本研究提取 10 个传感器的特征值,然后采用主成分分析法(PCA),线性判别法(LDA)^[20]和传感器区别贡献率分析法(Loadings)作为主要区别分析方法,依此来判别同种品牌不同年份的普洱熟茶的气味品质,为普洱熟茶的品质分级及筛选提供理论依据,促进普洱熟茶品质判别的数字化。

1 材料与方法

1.1 试验样品

文章选用了云南主要产茶区勐海地区和临沧地区的茶叶为原料,供试样品为大益 7572 熟茶和福元昌品牌三星熟茶,具体茶样见表 1。

1.2 主要仪器与设备

本次检测使用由德国 Airsens 公司生产的 PEN3 型电子鼻,它由是 10 个不同的气味传感器、信号处理模块以及模式识别系统等功能模块构成。其中传感器阵列包含 10 个对不同类别气体挥发物敏感的金属氧化物气敏传感器,使得整个电子鼻系统能够识别不同的气味。电子鼻不同传感器检测到的样品的信息代表了样品中全部挥发物的总体分布,检测过程中的数据是由电子鼻的关键部件 10 个不同金属氧化物传感器提供。当茶叶样品经沸水浸泡后,茶叶香气物质挥发,经过传感器时其电导率为 G ,经活性炭过滤的标准气体经过传感器时其电导率为 G_0 ,电子鼻系统获得数据即为 2 个电导率的比值,即 G/G_0 ^[21]。 G/G_0 值的变化即代表了香气物质含量的相对变化。

表 1 茶样信息

Table 1 Tea sample information

| 编号 No. | 品名 Product name | 类型 Type | 等级 Grade | 生产年份 Production year | 产地 Place |
|-----------|--------------------|------------|-------------|-------------------------|-------------|
| 1 | 大益 7572 | 熟茶 | 7 | 2002 | 勐海 |
| 2 | 大益 7572 | 熟茶 | 7 | 2007 | 勐海 |
| 3 | 大益 7572 | 熟茶 | 7 | 2009 | 勐海 |
| 4 | 大益 7572 | 熟茶 | 7 | 2011 | 勐海 |
| 5 | 大益 7572 | 熟茶 | 7 | 2012 | 勐海 |
| 6 | 三星熟茶 | 熟茶 | 5 | 2006 | 临沧 |
| 7 | 三星熟茶 | 熟茶 | 5 | 2007 | 临沧 |
| 8 | 三星熟茶 | 熟茶 | 5 | 2008 | 临沧 |
| 9 | 三星熟茶 | 熟茶 | 5 | 2010 | 临沧 |

1.3 试验方法

制样:称取 5 g 普洱熟茶茶叶样品,置入固定容器中,注入沸水 100 mL 并迅速盖上保鲜膜,浸泡 10 min 后进行检测。传感器容易因为污染而导致检测误差的产生,为保证样品检测的准确性,按照顺序逐组进行电子鼻测试,直至完成 9 个样品。

电子鼻测定条件:采样时间为 1 s/组;传感器自清洗时间为 60 s;传感器归零时间为 10 s;样品准备时间为 5 s;进样流量为 300 mL/min;分析采样时间为 60 s。

1.4 数据处理方法

本实验在对每个样品的数据采集过程中,通过查看每个传感器响应信号的变化曲线、每个时间点的信号值及星型雷达图或柱状指纹图,可以清晰考察各个传感器在实验分析过程中的响应情况。并通过传感器选择设置可以查看在不同数量的传感器情况下的响应情况。由于每个传感器对某一类特征气体响应剧烈,可以确定样品分析过程中样品主要挥发出了哪一类特征气体。

对于样品区分分析,本实验提取 10 个传感器的特征值,然后采用主成分分析法(PCA),线性判别法(LDA)和传感器区别贡献率分析法(Loadings)作为主要区别分析方法。在用 PCA 进行分析时,可以查看在每个主成分下样品区分的状况,并可以分析样品之间主要是由哪一类组分起主要区分作用;LDA 是 DFA(识别因子法)的第一步,LDA 分析注重类别的分类以及各种组之间的距离分析;Loadings 分析与 PCA 是相关的,它们都基于同一种算法,但不同的是,本实验中 Loadings 算法主要是对传感器进

行研究,利用该方法可以确认特定实验样品下各传感器对样品区分的贡献率大小,从而可以考察在样品区分过程中哪一类气体起了主要区分作用。

2 结果与分析

2.1 电子鼻传感器特征响应曲线分析

各传感器的主要性能:传感器 W1C(R1)对芳香成分敏感,传感器 W5S(R2)对氮氧化物敏感,传感器 W3C(R3)对氨水和芳香成分敏感,传感器 W6S(R4)对氢气敏感,传感器 W5C(R5)对烷烃芳香成分敏感,传感器 W1S(R6)对甲烷敏感,传感器 W1W(R7)对硫化物敏感,传感器 W2S(R8)对乙醇敏感,传感器 W2W(R9)对芳香成分和有机硫化物敏感,传感器 W3S(R10)对烷烃敏感^[22]。根据传感器响应曲线图,在响应曲线平稳后,提取各组样品的电子鼻各个传感器的电导率比值(G/G_0 值的变化即代表了香气物质含量的相对变化)。在 $T=40s$ 左右各传感器响应曲线逐渐趋于平稳。表 2~3 分别是大益 7572 五种熟茶、三星熟茶在 $T=40s$ 时的电导率比值(R1~R10 分别是电子鼻的 10 个金属传感器)。

从表 2~3 中可以看出,7 号传感器的 G/G_0 最大,其次是 2、9 号传感器,也即传感器 R7 对茶样香气成分中的硫化物反应最灵敏、响应值有所增加,其次是传感器 R2 对氮氧化物的反应、传感器 R9 对芳香成分的反应。通过 PEN3 型电子鼻对普洱熟茶香气成分的检测分析,结果表明普洱熟茶香气成分中含硫化物类含量最大,其次是氮氧化物类含量和芳香成分含量。

表 2 大益 7572 熟茶电导率 G/G_0 比值

Table 2 The conductivity ratio (G/G_0) of 7572

| 样品组别 Sample (year) | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | R9 | R10 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 2002 | 1.575 | 8.553 | 1.343 | 1.052 | 1.181 | 1.988 | 10.708 | 1.724 | 3.253 | 1.232 |
| 2007 | 1.494 | 8.537 | 1.308 | 1.042 | 1.163 | 1.883 | 10.649 | 1.620 | 3.227 | 1.215 |
| 2009 | 1.513 | 7.597 | 1.317 | 1.042 | 1.165 | 1.901 | 9.795 | 1.648 | 3.088 | 1.202 |
| 2011 | 1.493 | 6.310 | 1.281 | 1.041 | 1.150 | 1.864 | 8.459 | 1.606 | 2.872 | 1.211 |
| 2012 | 1.433 | 7.259 | 1.266 | 1.037 | 1.144 | 1.779 | 9.704 | 1.533 | 3.044 | 1.201 |

表 3 三星熟茶电导率 G/G_0 比值

Table 3 The conductivity ratio (G/G_0) of Sanxing ripe tea

| 样品组别 Sample (year) | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | R9 | R10 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 2006 | 1.542 | 8.862 | 1.334 | 1.044 | 1.173 | 1.920 | 11.661 | 1.645 | 3.458 | 1.198 |
| 2007 | 1.483 | 8.092 | 1.299 | 1.040 | 1.157 | 1.867 | 9.955 | 1.610 | 3.070 | 1.220 |
| 2008 | 1.464 | 5.457 | 1.280 | 1.037 | 1.150 | 1.806 | 7.555 | 1.552 | 2.682 | 1.199 |
| 2010 | 1.493 | 7.781 | 1.305 | 1.029 | 1.157 | 1.802 | 10.511 | 1.553 | 3.178 | 1.154 |

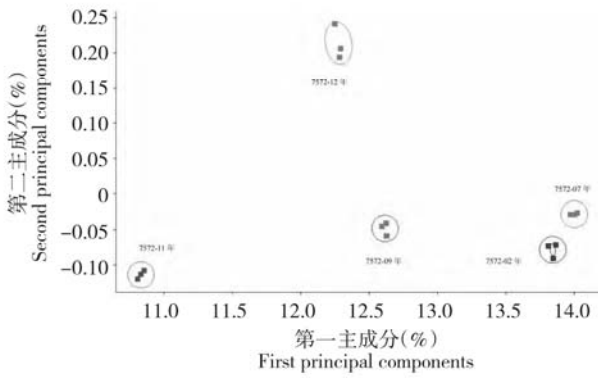


图1 茶样的PCA分析

Fig.1 Principal component analysis of tea samples

2.2 不同年份7572熟茶的分析

2.2.1 不同年份7572熟茶PCA分析 大益7572熟茶的PCA分析结果如图1~2所示,在CORRELATION相关性矩阵模式下:第一主成分贡献率为98.933%,第二主成分贡献率为1.0122%,2个主成分贡献率和为99.945%,只要大于90%就可以表示两个主成分已经基本代表了样品的主要信息特征,同时PCA的区分度达到了99.945%。由图1~2可以看出,2009、2011、2012年大益7572熟茶与2002、2007年大益7572熟茶的分布区域较远,差别非常明显;2002与2007年茶种等级比较接近,电子鼻检测时期PCA分布区域不是非常大,但仍可以区分开来。这是因为传感器对不同茶叶挥发物质的响应区别相当明显。通过PCA分析可以将不同年份的大益7572普洱熟茶较好地地区分开。

2.2.2 不同年份7572熟茶LDA(线性判别分析)分析 线性判别分析结果如图3所示,通过线性判别,选择合适的判别式,可以较好地将5种同一厂家、不同年份的大益7572熟茶区分开。说明同品牌不同年份的普洱熟茶其挥发物成分存在一定差异,可以被电子鼻检测到并被判别区别开。从图3可以看出,LDA分析结果明显优于PCA分析,可以将样品完全分开。而且年份差别越大,分离效果越好。

PCA-Analysis

normalization : PCA :
 Matrix : Correlation-M.
 Algorithm: PCA
 Variance : 99.945 %
 1. main axis: 98.933 %
 2. main axis: 1.0122 %
 Pattern File: C:\Users\Administrator\Desktop\茶\7572.mus

Discrimination power:

| | 7572-02年 | 7572-07年 | 7572-09年 | 7572-11年 | 7572-12年 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 7572-02年 | | 0.952 | 0.999 | 1.000 | 0.999 |
| 7572-07年 | 0.952 | | 0.999 | 1.000 | 0.999 |
| 7572-09年 | 0.999 | 0.999 | | 1.000 | 0.991 |
| 7572-11年 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | | 0.999 |
| 7572-12年 | 0.999 | 0.999 | 0.991 | 0.999 | |

图2 茶样的PCA区分度分析

Fig.2 PCA differentiation analysis and principal component contribution rate of tea samples

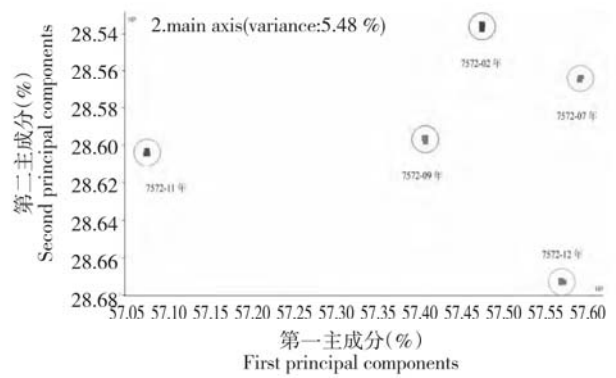


图3 茶样的LDA分析

Fig.3 Linear discriminant analysis of tea samples

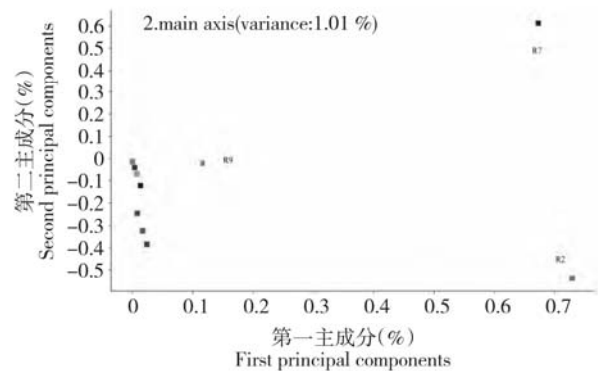


图4 茶样的Loadings分析

Fig.4 Loadings analysis of tea samples

2.2.3 不同年份7572熟茶Loadings分析 Loadings分析:在CORRELATION相关性矩阵模式图中传感器R2对第一主成分贡献率最大,其次是R7号和R9号,R7号传感器对第二主成分贡献率最大;也即氮氧化合物在大益7572熟茶第一主成分中的贡献率最大、其次是硫化物和有机硫化物,而硫化物在茶叶香气成分第二主成分中的贡献率最大。

2.3 不同年份三星熟茶的分析

2.3.1 不同年份三星熟茶PCA分析 三星熟茶的PCA分析结果如图5~6所示,在CORRELATION



图5 茶样的PCA分析

Fig.5 Principal component analysis of tea samples

PCA-Analysis

normalization : PCA :
 Matrix : Correlation-M.
 Algorithm: PCA
 Variance : 99.945 %
 1. main axis: 98.895 %
 2. main axis: 1.0498 %
 Pattern File: C:\Users\Administrator\Desktop\三星熟茶.mus
 Discrimination power:

| | 三星熟-06年 | 三星熟-07年 | 三星熟-08年 | 三星熟-10年 |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 三星熟-06年 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| 三星熟-07年 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.999 |
| 三星熟-08年 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 三星熟-10年 | 0.998 | 0.999 | 1.000 | 1.000 |

图 6 茶样的 PCA 区分度分析

Fig. 6 PCA differentiation analysis and principal component contribution rate

相关性矩阵模式下:第一主成分区分贡献率为 98.895%,第二主成分区分贡献率为 1.0498%,2 个主成分区分贡献率和为 99.945%,只要大于 90%就可以表示 2 个主成分已经基本代表了样品的主要信息特征,同时 PCA 的区分度达到了 99.945%,大于 90%,所以这两个主成分已经基本代表了样品的主要信息特征。由图 5~6 可以看出,4 种熟茶样品的分布区域较远,差别非常明显,通过 PCA 分析可以将不同年份的三星普洱熟茶较好地区分开。

2.3.2 不同年份三星熟茶 LDA(线性判别分析)分析 线性判别分析结果如图 7 结果表示,通过线性判别,选择合适的判别式,可以较好地 4 种同一厂家、不同年份的三星熟茶区分开。说明同品牌不同年份的普洱熟茶其挥发物成分存在一定差异,可以被电子鼻检测到并判别区别开。从图 7 可以看出,LDA 分析结果明显优于 PCA 分析,可以将类样品完全分开。而且年份差别越大,分离效果越好。

2.3.3 不同年份三星熟茶 Loadings 分析 PEN3 电子鼻的 10 个金属传感器在分析中的颜色表示同大益 7572。

Loadings 分析见图 8:在 CORRELATION 相关性矩阵模式图中传感器 R2 对第一主成分区分贡献率最大,其次是 R7 号和 R9 号,R7 号传感器对第二主成分区分贡献率最大;也即氮氧化物在三星熟茶

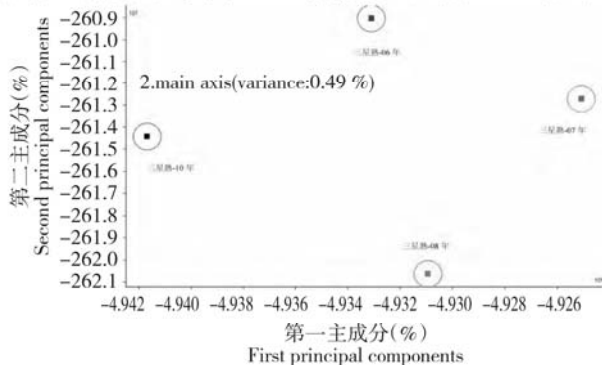


图 7 茶样的 LDA 分析

Fig. 7 Linear discriminant analysis of tea samples

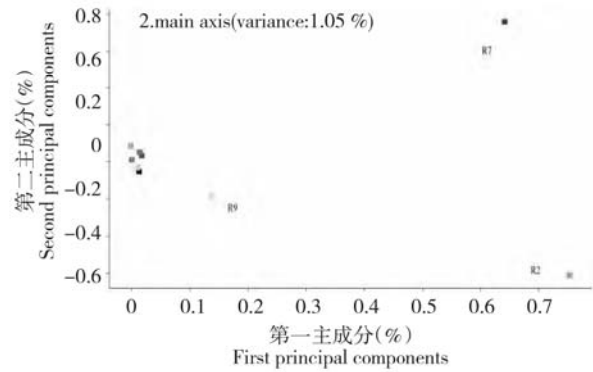


图 8 茶样的 Loadings 分析图

Fig. 8 Loadings analysis of tea samples

第一主成分中的贡献率最大、其次是硫化物和有机硫化物,而硫化物在茶叶香气成分第二主成分中的贡献率最大。

3 讨论

文章中使用的样品大益 7572 和福元昌三星熟茶分别代表云南 2 个重要产茶区勐海和临沧的普洱茶,其中大益 7572 被称为云南普洱熟茶的标杆,对这 2 个茶样进行香气成分分析具有代表性。生产年份对于普洱茶的香气来说至关重要,普洱茶特殊的存储方式使其具有“越陈越香”的特点,香气是影响品质和市场价的重要因素,因此对普洱茶的香气进行检查分析一直是专家学者研究的热点和重点。目前普洱茶的香气成分定性分析主要采用气相色谱-质谱法,然而在实际的样品分析过程中,发现普洱茶的香气成分往往含有多种同分异构化合物,因结构相似,质谱图差别也不大,采用常规质谱检索方法不易准确定性,需要结合其他定性方法进行鉴定^[23]。电子鼻技术在普洱茶的香气分析中的研究鲜有报道,文章采用电子鼻对 9 个不同生产日期的大益 7572 和福元昌熟茶进行检测,探讨了茶叶各香气成分含量的变化与相应电子鼻信号的变化之间的关系。使用 Winmuster 软件进行分析,采用主成分分析法 PCA、线性判别法 LDA 和传感器区别贡献率分析法 Loading 分析方法。研究结果表明,以电子鼻作为检测方法,利用德国 AIRSENSE 公司的 PEN3 电子鼻可以显著地区分判定同一厂家、不同年代的普洱熟茶,茶叶香气区分度高。其中传感器 R7、R2、R9 对茶叶香气的响应明显,对区分贡献率最大。PCA 分析可以将年份差别明显的样品区分开,而对于年份差别较小的样品不能很好地实现分类,存在一定的局限;LDA 分析可以将各个等级的样品完全分开,效果优于 PCA 分析。本研究结果表明:电子鼻可快速判别茶样品的香气品质差异,建立电

子鼻对云南普洱熟茶香气检测研究方法可以使电子鼻广泛地应用到云南普洱熟茶香气成分的研究中。这种判别方法可以区别同品牌不同年份的普洱茶,为普洱熟茶的品质分级及筛选提供理论依据,促进普洱熟茶品质判别的数字化。

参考文献:

- [1] 王白娟,张贵景. 云南普洱茶的引用与品鉴 [M]. 昆明:云南科技出版社,2015.
- [2] 吴礼辉. 普洱茶概述 [J]. 茶叶科学技术, 2005 (3):44-45.
- [3] 周红杰,秘 鸣,韩 俊,等. 普洱茶的功效及品质形成机理研究进展 [J]. 茶叶, 2003,29 (2):75-77.
- [4] 赵龙飞,周红杰,安文杰. 云南普洱茶保健功效的研究 [J]. 食品研究与开发, 2005,26 (2):114-118.
- [5] 陈 颖,周芳梅,杨秀莲,等. 高压脉冲电场对云南普洱茶总灰分含量的影响研究 [J]. 西南农业学报, 2015,28 (3):1278-1282.
- [6] 任洪涛,周 斌,夏凯国,等. 不同发酵程度普洱茶香气成分的比较分析 [J]. 食品研究与开发, 2011, 32 (11):23-26.
- [7] 王道平,甘秀海,梁志远,等. 固相萃取法与同时蒸馏萃取法提取茶叶香气成分 [J]. 西南农业学报,2013,26 (1):131-135.
- [8] 宛晓春. 茶叶生物化学 [M]. 北京:中国农业出版社,2003.
- [9] 程绍明,王 俊,王永维,等. 基于电子鼻信号判别番茄苗机械损伤程度 [J]. 农业工程学报,2012,28 (15):102-106.
- [10] 苏明申,张 波,叶正文,等. 基于电子鼻无损检测技术的桃果实香气研究 [J]. 果树学报,2012,29 (5):809-813.
- [11] 江津津,陈丽花,黎海彬,等. 基于电子鼻的鱼露香气品质识别 [J]. 农业工程学报,2011,27 (12):374-377.
- [12] 史波林,赵 镭,支瑞聪,等. 应用电子鼻判别西湖龙井茶香气品质 [J]. 农业工程学报, 2011,27 (12):302-306.
- [13] 于 勇,王 俊,周 鸣. 电子鼻的研究进展及其在农产品加工中的应用 [J]. 浙江大学学报, 2003, 29 (5): 579-584.
- [14] 邹小波,赵杰文,潘胤飞,等. 基于遗传 RBF 网络的电子鼻对苹果质量的评定 [J]. 农业机械学报, 2005, 36 (1): 61-64.
- [15] 石志标,左春怪,杨长明. 仿生鼻系统的试验研究 [J]. 农业机械学报, 2005, 36 (2): 70-72.
- [16] Said L, Sandrine B, Sonia. Shelf life determination by electronic nose: application to milk [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2005, 106 (1): 199-206.
- [17] Rajamabki T, Alakomi H L, Ritvanen T. Application of an electronic nose for quality assessment of modified atmosphere packaged poultry meat [J]. Food Control, 2006, 17 (1): 5-13.
- [18] Panigrahi S, Balasubramanian S, Gu H. Neural-network-integrated electronic nose system for identification of spoiled beef [J]. LW T-Food Science and Technology, 2006, 39 (2):135-145.
- [19] Brezmes J, Cabré P, Rojo S. Discrimination between different samples of olive oil using variable select ion techniques and modified fuzzy artmap neural networks [J]. IEEE Sensors Journal, 2005, 5 (3): 463-470.
- [20] 于慧春,王 俊,张红梅,等. 龙井茶叶品质的电子鼻检测方法 [J]. 农业机械学报, 2007, 38 (7):103-106.
- [21] 张红梅,王 俊,余泳昌,等. 基于电子鼻技术的信阳毛尖茶咖啡碱检测方法 [J]. 传感技术学报, 2011, 24 (8):1223-1227.
- [22] 徐 赛,陆华忠,周志艳,等. 基于电子鼻的果园荔枝成熟阶段监测 [J]. 农业工程学报, 2015, 31 (18):240-246.
- [23] Zhou F M, Chen T, Liu Y J, et al. Detection of Different Technology on Yunnan Pu'er Tea Aroma Using an Electronic Nose [J]. Asian Journal of Agricultural Sciences, 2015,7 (2): 11-23.

(责任编辑 王家银)