

SPME/GC-MS 法结合电子鼻技术测定茶叶中的香气成分

范霞¹ 陈荣顺²

(1.南京农业大学食品科技学院 江苏南京 210095;2.南京农业大学理学院)

摘要 采用固相微萃取与气相色谱-质谱联用(SPME/GC-MS)技术,对茶叶的特征香气成分进行分析研究。5种不同种类的茶叶共检测出42种香气成分,相对含量较高的主要成分有肉豆蔻酸异丙酯、 β -紫罗兰酮、(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮,香气成分含量的差异造成了不同茶叶品种的风味特征。利用带有10个不同金属氧化物传感器的电子鼻对5种茶叶进行品种分类,采用主成分分析(PCA)、线性判别分析(LDA)和负荷加载分析(Loadings analysis)对样品进行分析。PCA和LDA分析得到了较好的结果,识别率分别为97.99%和97.69%。测量响应值表明,传感器S1(W1C,芳香族化合物,苯类)、S3(W3C,芳香族化合物,氨)、S6(W1S,甲烷)对5种不同茶叶的区分有较好的贡献率。本研究结果表明,SPME/GCMS结合电子鼻技术能有效分析茶叶的主要香气成分。

关键词 茶叶;固相微萃取与气相色谱-质谱联用技术;香气成分;主成分分析;电子鼻

中图分类号 TS201.2

Determination of Aromatic Components in Tea by SPME/GC-MS Combined with Electronic Nose Technology

FAN Xia¹, CHEN Rongshun²

(1.College of Food Science and Technology of Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu, 210095, China; 2.College of Science of Nanjing Agricultural University)

Abstract: The aromatic components of five kinds of tea were analyzed by solid-phase microextraction (SPME) and gas chromatography-mass spectroscopy (GC-MS). 42 kinds of aromatic components were detected and the relatively high content were isopropyl myristate, β -ionone, and (E,E)-3,5-octadien-2-one. The difference in the contents of these aromatic components forms the flavor characteristics of different tea varieties. An investigation was made to evaluate the capacity of an electronic nose to classify five different kinds of tea, using a specific electronic nose device with 10 different metal oxide sensors. Principal component analysis (PCA), linear discriminant analysis (LDA) and loadings analysis were used to identify the classification ability of electronic nose. Good classification results were obtained by PCA and LDA analysis. The recognition rates were 97.99% and 97.69%, respectively. The response values showed that the sensors S1 (W1C, aromatic compounds, benzene), S3 (W3C, aromatic compounds, ammonia) and S6 (W1S, methane) had a good contribution to the differentiation of five different tea leaves. The results of this research indicate that SPME/GC-MS combined with electronic nose technology can effectively analyze the main aromatic components of tea.

Key Words: Tea; SPME/GC-MS; Aromatic Components; Principal Component Analysis; Electronic Nose

1 前言

目前,茶作为天然保健品是世界上最受欢迎的饮料之一。由于茶叶中含有多种抗氧化物质,对于

消除自由基有一定的效果,因此,喝茶有助于延缓衰老,具有养生保健的功能^[1]。茶叶中的香气物质十分复杂,主要包括醇类、酯类、醛酮类、酸类、碳氢化合

第一作者 E-mail: fanxia@njau.edu.cn

项目基金:中央高校基本科研业务费科技平台实验技术人才基金项目(KJSY201706);中央高校基本科研业务费(KYZ201749)

收稿日期:2018-09-05

物、胺类物质等。中国茶叶品种繁多,不同品种茶叶中所含香气成分^[2-5]的不同会导致其在品质上有明显的差异。固相微萃取与气相色谱-质谱联用(SPME/GC-MS)技术作为一种高效的萃取、分离检测方法,由于无需使用有机溶剂、绿色环保、前处理简单、分析快速、定性准确等特点,目前广泛应用于茶叶香气成分分析领域^[6-9]。

气味在茶叶品质鉴定中占有重要地位。对于茶叶品质的评价,感官评价法由于受品茶师的个人经验及身体、情绪等多方面因素的影响,存在一定的局限性。于是,电子鼻作为一种模仿生物嗅觉的电子系统应运而生,它主要利用气体传感器阵列的响应信号来识别气味,从而可以快速获得被测样品的整体特征信息^[10-17],其工作原理包括以下 4 部分:(1)气体采样系统。(2)传感器阵列。传感器阵列是整个系统的基础,金属氧化物气体传感器是目前电子鼻系统应用较为广泛的一种导电型传感器,其主要功能是把不同的气味分子在其表面作用下转化为可测的物理信号。(3)主控制系统。包括采样量、采样时间、清洗传感器时间等。(4)软件分析系统。提取有效数据进行建模分析。

本文采用 SPME/GCMS 结合电子鼻技术^[8],对 5 种不同种类的茶叶进行香气成分分析,利用气质联用仪检测出的挥发性风味物质与电子鼻所测得的整体指纹信息作为茶叶品质评定的论依据。

2 材料与仪器

2.1 实验材料

雨花茶(南京天观茶叶有限公司);铁观音(福建安溪天月盛世茶厂);碧螺春(南京天绿工贸有限公司);龙井茶(杭州西湖名茶有限公司);金寨翠绿(南京天绿工贸有限公司);水(蒸馏水)。

2.2 仪器

本研究使用的德国 Airsense 公司便携式电子鼻 PEN3 包含 10 个金属传感器阵列,它们所对应的香气类型见表 1。

表 1 电子鼻传感器所对应的香气类型

阵列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分、苯类
2	W5S	氮氧化合物
3	W3C	芳香成分、氨类
4	W6S	氢化物
5	W5C	短链烷烃、芳香成分
6	W1S	甲烷
7	W1W	对硫化物灵敏

(续表 1)

阵列序号	传感器名称	性能描述
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	芳香成分、有机硫化物
10	W3S	长链烷烃

气质联用仪 GC 7890A-5975C MSD(美国 Agilent 公司);手动 SPME 进样器 65 μm PDMS/DVB 57310-U 固相微萃取头(美国 Supelco 公司);DK-S22 型电热恒温水浴锅;分析天平(美国梅特勒-托利多公司)。

3 实验方法

3.1 电子鼻对茶叶香气成分分析

分别准确称取 3.000 g 不同品种的茶叶样品,置于 100 mL 烧杯中,加入沸水 50 mL,用双层保鲜膜封口,浸泡 60 min 后开始用电子鼻检测,实验重复 5 次。

电子鼻测定条件:传感器清洗时间为 60 s;传感器归零时间为 10 s;样品准备时间为 5 s;分析采样时间为 80 s,内部流量 300 mL/min,进样流量 200 mL/min。

3.2 电子鼻数据分析方法

使用电子鼻设备自带的 Win Muster 软件对数据进行采集、测量和分析。选取 78 s 处的数据进行主成分分析(PCA)、线性判别分析(LDA)和负荷加载分析>Loading analysis)。)

3.3 GC-MS 法对茶叶香气成分分析

准确称取茶叶样品 0.3000 g,放入 20 mL 的顶空瓶中,加入沸水 10 mL,室温下静置 5 min,使茶叶香气充分挥发。将顶空瓶置于 80°C 恒温水浴锅中,把 250°C 下预先老化 5 min 的固相微萃取头插入顶空瓶内茶汤的上方,固定好 SPME 手柄,推出纤维头吸附 60 min 后取出,立即插入 GC-MS 仪器进样口,在 250°C 条件下解吸附 5 min,实验重复 3 次。

气相色谱条件:色谱柱:HP-5MS 石英毛细管柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm);进样口温度 250°C;程序升温:初始温度 40°C,保持 3 min,先以 4°C/min 升温至 80°C,保持 2 min,再以 2°C/min 升温至 160°C,最后以 12°C/min 升温至 250°C,保持 5 min;载气为 99.999% 的高纯氮气,流量为 1.0 mL/min;采用不分流模式进样。质谱检测条件:电子轰击(EI)电离源,电子能量 70 eV;质量扫描范围 50~550 aum,离子源温度 230°C;四级杆温度 150°C;辅助加热温度为 250°C。

3.4 GC-MS 数据分析

利用 Agilent 7890/5975 型气质联用仪 NIST08.L

谱库对所得到的质谱图进行检索和人工解析,从而确定茶叶中的香气成分,以各色谱峰的峰面积与总峰面积之比为各香气成分的相对含量。

4 结果与分析

4.1 茶叶的主要香气成分

采用 SPME/GC-MS 对茶叶进行香气成分检测,图 1 是 5 种茶叶的香气成分总离子流色谱图,其中,主要香气化合物的保留时间及其相对含量如表 2 所示。碧螺春相对含量最高的香气成分为(*E,E*)-3,5 辛二烯-2-酮、肉豆蔻酸异丙酯和 β -紫罗兰酮,这 3 种化合物的相对含量占其所有香气成分的 32.31%。相关研究^[9]表明,酮类化合物常带有花果香味,其中带有紫罗兰香气的 β -紫罗兰酮是由茶叶中的胡萝卜素降解产生的;龙井相对含量最高的香气成分为(*E,E*)-3,5 辛二烯-2-酮、3,4-二甲基环己醇和芳樟醇,

这 3 种化合物的相对含量占其所有香气成分的 31.35%,醇类化合物通常带有特殊的花香和果香^[20],芳樟醇呈玉兰花香型;铁观音相对含量最高的香气成分为肉豆蔻酸异丙酯、(*E,E*)-3,5 辛二烯-2-酮、反-2,4-庚二烯醛,占总含量的 29.83%;雨花茶相对含量最高的香气成分为肉豆蔻酸异丙酯、苯甲醛、2-甲基-1-庚烯-6-酮,占总含量的 37.18%,苯甲醛具有苦杏仁气味^[21];金寨翠绿相对含量较高的香气成分为肉豆蔻酸异丙酯、反-2,4-庚二烯醛、蘑菇醇、香叶基丙酮,占总含量的 35.99%,香叶基丙酮呈清香型。茶叶中的主要香气成分构成不同的茶叶品质,从而赋予茶叶不同的香气。相对含量较少的物质未必对香气的贡献低,任何一种茶叶的香气都是其所含不同芳香物质以不同浓度组合的综合体现。

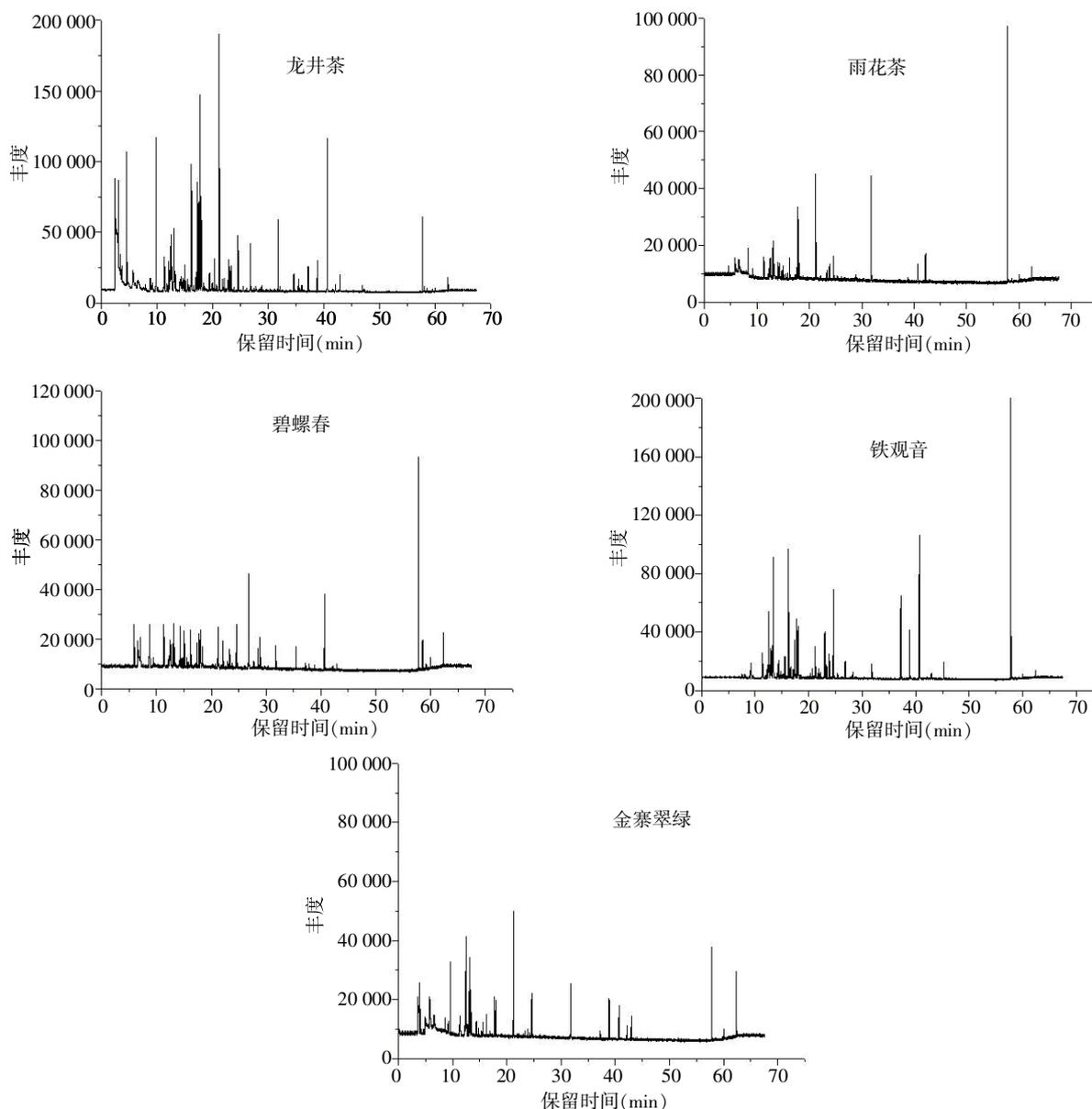


图 1 不同品种茶叶香气成分总离子流色谱图

表2 茶叶香气成分及相对含量

序号	化合物名称	保留时间(min)	相对含量(%)				
			碧螺春	龙井茶	铁观音	雨花茶	金寨翠绿
1	乙酸	3.67	-	0.34	-	-	0.44
2	正己醛	5.68	-	0.90	3.92	-	1.02
3	2-庚酮	8.81	-	1.60	-	-	-
4	庚醛	9.15	-	0.27	1.74	0.67	3.96
5	甲氧基苯基肼	9.91	-	8.09	-	-	6.04
6	苯甲醛	11.35	6.28	3.70	1.81	5.59	3.46
7	蘑菇醇	12.16	0.63	2.28	-	3.16	5.70
8	2-甲基-1-庚烯-6-酮	12.46	2.91	3.74	3.79	4.78	4.48
9	2-正戊基呋喃	12.63	2.75	4.04	0.81	4.73	3.22
10	反-2,4-庚二烯醛	13.35	2.70	1.90	9.16	3.22	6.64
11	柠檬烯	14.08	-	0.48	-	3.31	1.79
12	2,2,6-三甲基环己酮	14.32	5.34	0.88	1.05	3.25	2.13
13	苯乙醛	14.77	1.09	0.89	3.96	1.43	0.68
14	2-甲基-4-氨基苯酚	15.04	4.70	1.98	-	-	-
15	3-甲基吡啶	15.54	1.09	0.87	1.41	0.80	3.24
16	苯乙酮	15.86	-	0.15	-	0.92	-
17	(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮	16.20	7.88	9.53	10.55	3.38	4.90
18	3-庚炔	16.63	-	0.36	-	-	-
19	芳樟醇	17.71	3.56	11.08	3.25	13.40	4.37
20	3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇	17.98	4.24	5.33	2.99	12.96	0.58
21	3,4-二甲基环己醇	18.09	1.50	10.74	7.58	1.94	-
22	苯乙醇	18.34	2.59	0.53	-	-	-
23	5-甲基-3-己烯-2-酮	20.34	-	1.77	-	-	-
24	2,4-己二烯-1-醇	20.70	-	0.48	5.99	-	0.97
25	萘	22.15	3.17	0.79	3.10	-	-
26	月桂烯醇	22.82	-	0.64	-	-	-
27	水杨酸甲酯	23.01	-	2.08	2.64	-	-
28	4-乙基-3,4-二甲基-2,5-环己二烯-1-酮	23.33	1.91	1.59	0.78	4.41	6.00
29	β -环柠檬醛	24.61	4.62	3.08	5.21	0.68	4.82
30	3-己炔 3-hexyne	25.51	-	0.15	-	-	-
31	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	26.80	6.07	2.76	1.87	-	-
32	茴香脑	28.55	1.95	-	-	-	-
33	吡啶	28.92	3.61	0.30	-	-	-
34	2-甲基-2-丁烯醛	32.09	-	0.28	-	-	-
35	(Z)-己酸-3-己烯酯	34.64	-	1.04	-	-	3.79
36	3-环己烯甲醛	35.48	2.26	0.60	-	-	-

(续表 2)

序号	化合物名称	保留时间(min)	相对含量(%)				
			碧螺春	龙井茶	铁观音	雨花茶	金寨翠绿
37	α -紫罗兰酮	37.22	-	1.42	4.90	-	-
38	香叶基丙酮	38.85	-	1.73	2.91	-	5.30
39	β -紫罗兰酮	40.69	10.17	9.08	8.92	3.05	4.38
40	肉豆蔻酸异丙酯	57.77	14.26	2.18	10.12	26.81	18.01
41	邻苯二甲酸二异丁酯	58.55	3.27	-	-	-	-
42	2,2-双对羟基丙烷 propane	62.39	1.45	0.34	1.55	1.51	3.36

注:“-”表示未检出。

5种茶叶共检测出香气成分42种,根据官能团分类分为醛类、酮类、酯类、酸类、醇类、酚类、碳氢化合物、含氮化合物8类。不同茶叶各香气成分的种类及其相对含量有一定区别,其中,碧螺春、龙井茶、铁观音、雨花茶、金寨翠绿分别检测出香气物质25、40、24、20、23种,各类香气物质的数量与相对含量如表3所示。碧螺春、铁观音和金寨翠绿所含的醛类和酮类化合物最多,龙井含有的醇类和酮类化合物最多,雨花茶所含的醇类和酯类化合物最多。5种茶叶共同含有的香气物质有15种,其中醛类4种,包括苯甲醛、苯乙醛、反-2,4-庚二烯醛、 β -环柠檬

醛,苯乙醛呈风信子型香气;酮类5种,分别是2-甲基-1-庚烯-6-酮、 β -紫罗兰酮、2,2,6-三甲基环己酮、4-乙基-3,4-二甲基-2,5-环己二烯-1-酮、(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮;醇类2种,分别是芳樟醇、3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇;酯类1种,肉豆蔻酸异丙酯;芳香类化合物1种,2,2-双对羟基丙烷;含氮化合物1种,3-甲基吡啶。由于受产地、环境、茶树种植遗传特性、加工工艺等因素的影响,不同品种的茶叶所含的香气组分差别较大,这些成分对构成茶叶的特征风味具有重要作用。

表3 茶叶中所含香气物质分类

名称	相对含量(%)				
	碧螺春	龙井	铁观音	雨花茶	金寨翠绿
醛类	23.02	14.38	27.67	11.59	20.58
酮类	28.21	29.90	32.90	19.79	27.19
酯类	17.53	5.30	12.76	26.81	18.01
醇类	16.08	31.08	19.81	31.46	11.96
酚类	6.15	2.32	1.55	1.51	3.36
含氮化合物	4.70	9.26	1.41	0.80	8.94
碳氢化合物	3.17	1.78	3.10	3.31	1.79
酸类	-	0.34	-	-	0.44

注:“-”表示未检出。

4.2 主成分分析

主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)也称主分量分析,旨在利用降维的思想^[22],把多指标转化为少数几个综合指标,这个转化把数据变换到一个新的坐标系统中,使得任何数据投影的第一大方差在第一个坐标(称为第一主成分)上,第二大方差在第二个坐标(第二主成分)上,依次类推。主成分分析用减少数据集的维数,同时保持数据集对方差贡献最大的特征。

使用电子鼻自带的 Win Muster 软件对数据进

行分析,茶叶的主成分分析见图2,2个主成分的总贡献率高达97.99%,所提取的信息能有效反映原始数据的绝大部分信息。一般情况下,总贡献率只要达到70%~85%,该方法就可以使用。5个品种的茶叶存在一定的差异,其中,雨花茶与其他4种茶叶相距较远,区分明显。线性判别分析结果见图3,其总贡献率达97.69%,只有碧螺春与金寨翠绿有小部分重叠,说明运用LDA方法能很好地对5种茶叶进行区分。利用Loading分析法可以确定当前模式下传感器的相对重要性。如果某一传感器横、纵坐标的

对应值接近 0,则该传感器的识别作用可以忽略,若单个传感器的响应值越偏离于 0,则说明该传感器的识别作用就越大。负荷加载分析的总贡献率为

97.99%,其中,1号、3号和6号传感器对茶叶香气的响应明显,对区分贡献率最大,具体见图4。

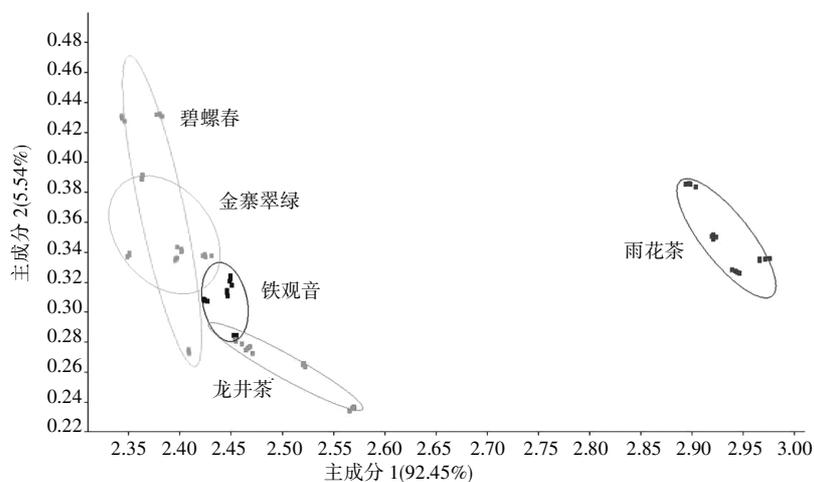


图2 不同品种茶叶的PCA分析图

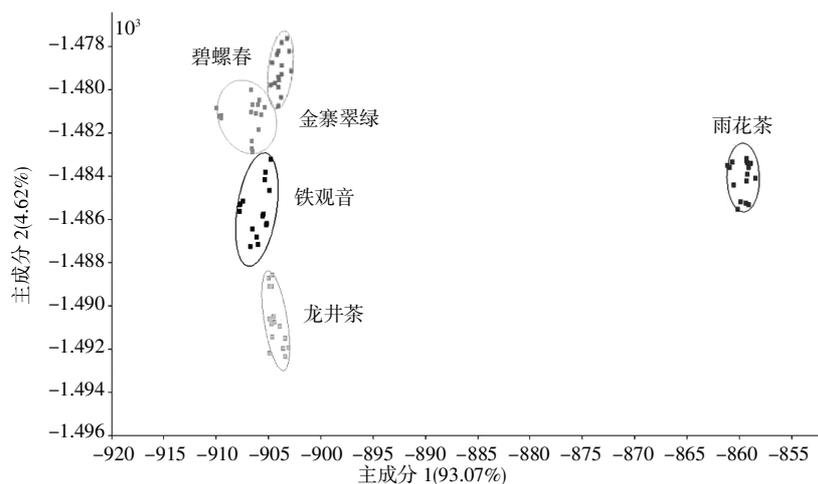


图3 不同品种茶叶的LDA分析图

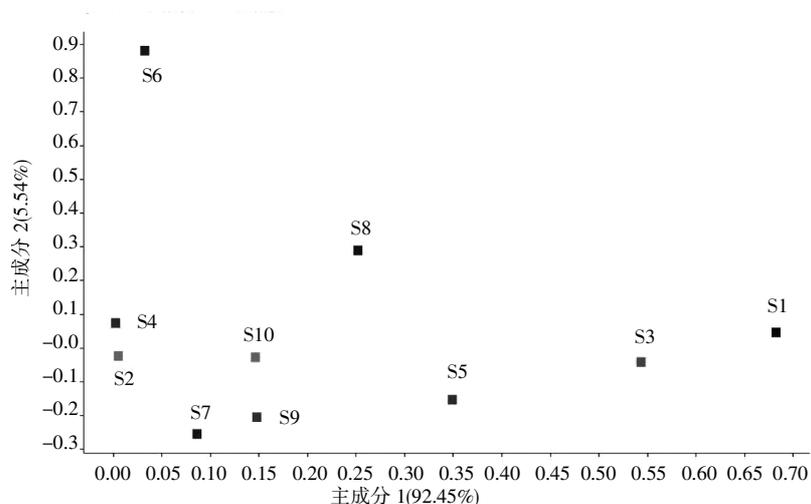


图4 茶叶的Loading分析图

5 结论

本文采用 SPME/GC-MS 结合电子鼻技术对

5 种茶叶的香气成分进行研究,根据其特征香气成

(下转第 12 页)

面达到国家有关标准的卫生质量要求,提高消费者舌尖上的安全系数。

参考文献

- [1] 钟凯,伍竟成,牛凯龙,等.食品安全风险监测与监督抽检相关问题的探讨[J].中国食品卫生杂志,2012,24(2):148-151.
- [2] 朱效兵,徐瑞年,安文贵.浅谈膨化食品[J].河套大学学报,2011,8(4):59-66.
- [3] 刘文婷.那些年,被我们“误解”的膨化食品[J].食品安全,2009(8):43.
- [4] GB 4789 系列 食品微生物学检验标准汇编[S].
- [5] GB/T 23495—2009 食品中苯甲酸、山梨酸和糖精钠的测定 高效液相色谱法[S].
- [6] GB/T 23373—2009 食品中抗氧化剂丁基羟基茴香醚(BHA)、二丁基羟基甲苯(BHT)与特丁基对苯二酚(TBHQ)的测定[S].
- [7] GB 17401—2014 食品安全国家标准 膨化食品[S].
- [8] GB 2760—2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S].
- [9] SN/T 2014—2014 番茄黑环病毒检疫鉴定方法[S].
- [10] GB 2761—2017 食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量[S].
- [11] GB 2762—2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].
- [12] QB/T 2686—2005 马铃薯片[S].
- [13] GB 29921—2013 食品安全国家标准食品中致病菌限量[S].
- [14] GB/T 21912—2008 食品中二氧化钛的测定[S].
- [15] GB 5009 系列 食品中某一物质的测定[S].
- [16] GB/T 23374—2009 食品中铝的测定 电感耦合等离子体质谱

- 法[S].
- [17] GB/T 18979—2003 食品中黄曲霉毒素的测定 免疫亲和层析净化高效液相色谱法和荧光光度法[S].
- [18] 刘荔,李天荣.膨化食品中菌落总数测定的不确定度评价[J].食品安全质量检测学报,2018,9(5):1158-1162.
- [19] 李颖怡,孔令梁,林长钦.膨化食品质量安全的影响因素探讨[J].佛山科学技术学院学报(自然科学版),2004,32(4):83-86.
- [20] 刘福胜,刘毅.膨化食品的安全性问题[J].食品科技,2006(7):143-145.
- [21] 候晓梅.膨化及油炸小食品标准解读[J].质量报告专刊,2006(2):65.
- [22] 孙宝国.正确认识食品添加剂,促进食品产业健康发展[J].科技导报,2018,36(23):1.
- [23] 候辉.我国食品防腐剂行业发展现状与问题分析[J].品牌与标准化,2018(2):63-65.
- [24] 候辉.我国主要食品防腐剂安全性分析[J].品牌与标准化,2018(4):86-88.
- [25] 郭少英.膨化食品生产现状和发展趋势[J].河北企业,2009(8):43.
- [26] 方萍.膨化食品中铝超标的原因分析及对儿童造成的危害[J].江苏食品与发酵,2007(1):24-25.
- [27] 程晓平,董方,赵晓霞,等.某校周边热卖小食品重金属铅镉含量测定[J].济南医学院学报,2015,38(6):424-426.
- [28] 田丽娜.膨化食品的安全性和发展方向[J].河北企业,2011(7):91.

(上接第6页)

分含量差异及主成分分析法可以很好地实现对不同茶叶种类的区别,这对于茶叶品质真伪鉴别有重要的意义。SPME/GC-MS 共检测出 42 种香气物质,其中碧螺春、龙井茶、铁观音、雨花茶、金寨翠绿分别测出 25、40、24、20、23 种。利用电子鼻技术,通过主成分分析,提取茶叶中的整体指纹信息,5 种茶叶香气成分有很好的区分度。由于前处理操作简单、检测灵敏度高、分析速度快,SPME/GC-MS 结合电子鼻技术将广泛用于食品中香气成分分析。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 马军辉.HS-SPME-GC-MS 检测茶叶内挥发性组分方法的建立及应用[D].杭州:浙江大学,2008.
- [3] 陈梅春,陈峥,史怀,等.陈年普洱茶特征风味成分分析[J].茶叶科学,2014,34(1):45-54.
- [4] 孙彦,陈倩,郭雯飞.龙井茶的香气成分分析与比较[J].浙江大学学报(理学版),2013,40(2):186-190.
- [5] 刘晓慧,张丽霞,王日为,等.顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析黄茶香气成分[J].食品科学,2010,31(16):239-243.
- [6] 兰欣,汪东风,张莉,等.HS-SPME 法结合 GC-MS 分析崂山绿茶的香气成分[J].食品与机械,2012,28(5):96-101.
- [7] 叶红,周春宏,王克其.直接进样气相色谱/质谱法对茶叶香气的分析[J].食品研究与开发,2007,28(12):138-140.
- [8] 肖丹.顶空固相微萃取技术的应用与展望[J].中国卫生工程学,2015,14(1):88-92.
- [9] 道平,甘秀海,梁志远,等.固相微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.
- [10] 俞慧红,崔晓红,刘平.电子鼻在酱油气味识别中的应用[J].中国调味品,2016,41(2):121-125.
- [11] 刘莎莎,张宝善,孙肖园,等.红枣香味物质的主成分分析[J].食品工业科技,2015,36(20):72-76.
- [12] 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.
- [13] 陈婷,蒋明忠,彭文,等.基于电子鼻技术对云南普洱熟茶的香气品质判别[J].西南农业学报,2017,30(2):339-344.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Huichun Yu, Jun Wang, Hong Xiao, et al. Quality Grade Identification of Green Tea Using the Eigenvalues of PCA Based on the E-Nose Signals [J].Sensors and Actuators B: Chemical,2009,140(2):378-382.
- [17] Liu Ming, Han Xiaomin, Tu Kang, et al. Application of Electronic Nose in Chinese Spirits Quality Control and Flavour Assessment[J].Food Control,2012,26(2):564-570.
- [18] 王霞,黄健,侯云丹,等.电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析黄鳍金枪鱼肉的挥发性成分[J].食品科学,2012,33(12):268-272.
- [19] 郭嘉懿,雷雨,郑鹏程,等.茶树新品系 80-53-34 制作工夫红茶香气分析[J].茶叶学报,2016,57(1):42-48.
- [20] 孙慕芳,郭桂义.著名信阳毛尖产地茶叶香气成分的 GC-MS 分析[J].江苏农业科学,2014,42(7):319-321.
- [21] 龙立梅,宋沙沙,李森,等.3 种名优绿茶特征香气成分的比较及种类判别分析[J].食品科学,2015,36(2):114-119.
- [22] 史文青,薛雅琳,何东平.花生挥发性香味识别的研究[J].中国粮油学报,2012,27(7):58-62.