

基于仿生学技术对中国十二大香型白酒品质差异的研究

黎婷玉^{1,2,3}, 李文鹏^{1,2,3}, 田龙新², 刘忠军^{3,4}, 郭 壮^{1,2,3}, 侯强川^{1,2,3*}

(1.湖北文理学院 食品科学技术学院·化学工程学院 湖北省食品配料工程技术研究中心, 湖北 襄阳 441053;
2.襄阳市酱香型白酒固态发酵企校联合创新中心, 湖北 襄阳 441600; 3.襄阳市酿酒生物技术与应用企校联合创新中心,
湖北 襄阳 441053; 4.襄阳市清香型白酒酿造重点实验室, 湖北 襄阳 441053)

摘 要:该研究利用电子鼻、电子舌、色度仪等设备对中国十二大香型白酒的香气、滋味和色泽进行测定和分析, 比较了不同香型白酒的特性和差异。结果表明, 相较于香气指标, 不同白酒滋味指标间的差异更大, 其中涩味、鲜味、咸味和苦味是差异最大的几种滋味。白酒香气的检测结果显示, 老白干香型、特香型、浓香型白酒相较于其他香型白酒而言, 芳香物质含量相对较高。聚类分析结果显示, 凤香型酒香气物质成分与其他11种香型白酒的差异最大。研究结果为不同香型白酒香气、滋味和色泽差异提供了一定的基础数据, 这对于后续通过仿生学技术区分不同香型的白酒和确定部分白酒的特征香气成分具有积极的意义。

关键词:白酒; 香型; 电子鼻; 电子舌; 色度仪; 品质差异

中图分类号: TS261.7

文章编号: 0254-5071(2022)11-0039-06

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2022.11.007

引文格式: 黎婷玉, 李文鹏, 田龙新, 等. 基于仿生学技术对中国十二大香型白酒品质差异的研究[J]. 中国酿造, 2022, 41(11): 39-44.

Quality difference of twelve flavor types Baijiu of China based on bionics technology

LI Tingyu^{1,2,3}, LI Wenpeng², TIAN Longxin², LIU Zhongjun^{3,4}, GUO Zhuang^{1,2,3}, HOU Qiangchuan^{1,2,3*}

(1.Hubei Provincial Engineering and Technology Research Center for Food Ingredients, School of Food Science and Technology & School of Chemical Engineering, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441053, China; 2.Xiangyang Sauce-Flavor Baijiu Solid-State Fermentation Enterprise-University Joint Innovation Center, Xiangyang 441600, China; 3.Xiangyang Liquor Brewing Biotechnology and Application Enterprise-University Joint Innovation Center, Xiangyang 441053, China;
4.Xiangyang Light-flavor Baijiu Biotechnology Key Laboratory, Xiangyang 441053, China)

Abstract: In this study, the aroma, taste and color of twelve flavor types Baijiu of China were measured and analyzed by electronic nose, electronic tongue, colorimeter and other equipment, and the characteristics and differences of different flavor types of Baijiu were compared. The results showed that compared with the aroma indexes, the differences of taste indexes of different types of Baijiu were greater, among which astringency, delicate, saltiness and bitterness were the most different taste. The results of Baijiu aroma test showed that the content of aromatic substances in Laobaigan-flavor Baijiu, Te-flavor Baijiu, strong-flavor Baijiu was relatively higher than that of other types of Baijiu. Cluster analysis result showed that the aroma components of Feng-flavor Baijiu were the most different from those of other eleven flavor types of Baijiu. The results of the study provided some basic data for the differences in aroma, taste and color of different flavor types of Baijiu, which had positive significance for distinguishing different types of Baijiu and determining the characteristic aroma components of some Baijiu by bionics technology.

Key words: Baijiu; flavor types; electronic nose; electronic tongue; colorimeter; quality difference

白酒又名烧酒, 是以曲类、酵母等为主要发酵剂, 利用粮谷为主要发酵原料, 经蒸煮、糖化发酵、蒸馏、贮存、勾兑等工艺制作而成的蒸馏酒。根据制曲方法与酿造工艺等因素的不同, 白酒目前分为十二大香型, 分别为清香型、浓香型、酱香型、米香型、兼香型、董香型、凤香型、特香型、芝麻香型、老白干香型、馥郁香型和豉香型^[1-2]。由于不同香型白酒的制作工艺以及所使用的原料有所不同, 导致香气物质的组成和含量在各香型白酒中存在一定的差异。这些香气物质以占不足白酒质量2%的含量赋予了不同香型白酒

独特的风格特征^[3]。虽然最新版的国家标准GB/T 15109—2021《白酒工业术语》对十二大香型白酒进行了定义, 但是各香型白酒在香气、滋味、色泽等方面的具体差异仍未被完全揭示。此外, 尽管一些香型白酒的主体香气化合物已被鉴定和分析, 如清香型白酒的主体香气物质为乙酸乙酯和乳酸乙酯^[4], 浓香型白酒的主体香气物质为己酸乙酯, 辅以适量的乳酸乙酯、乙酸乙酯、丁酸乙酯等^[5]。然而, 部分香型白酒如酱香型白酒的主体香气成分仍未明确。

目前对于不同香型白酒进行鉴评最常见的方法是感

收稿日期: 2022-04-05

修回日期: 2022-05-29

基金项目: 襄阳市重大科技计划项目(2020AAT002153); 湖北文理学院教师科研能力培育基金“科技创新团队”(2020kypyt009); 湖北文理学院科研启动费(kyqdt2020003)

作者简介: 黎婷玉(2003-), 女, 本科生, 研究方向为食品生物技术。

*通讯作者: 侯强川(1988-), 男, 讲师, 博士, 研究方向为食品生物技术。

官评定,然而人体感官的灵敏度容易受到个体及各种外界条件的干扰,导致评价结果存在一定的不确定性^[6]。因此,许多与白酒香气物质分析相关的实验会借助一些现在检测技术如气相色谱法^[7-8]、液相色谱法^[9]的协助。这类方法具有高分离性、高选择性和高灵敏性等优点,但同时存在使用费用较高,必须将色谱峰与已知的数据库进行对比才能获得确定的结果等问题,导致相关检测过程投入较大,测定周期较长,难以确定数据库中未收录的物质成分等。在此背景下,各类仿生学技术应运而生,其中的电子鼻技术和电子舌技术应用最为广泛。电子鼻是一种通过气敏元件模拟哺乳动物嗅觉过程以识别和检测不同气味的仿生传感器系统^[10]。其以特定的传感器和模式识别系统快速提供被检测样品的整体风味信息,揭示样品的香气特性。与电子鼻类似,电子舌应用人工味觉系统,可对样品中的不同滋味进行分析^[11]。这两种方法均具有响应速度快、操作简单等优点。目前已经在乳制品^[12]、调味料^[13]、鲑广椒^[14-15]、食醋^[16]、啤酒^[17]等各类发酵食品中得到了广泛应用,这在很大程度上提高了人们对样品中香气和滋味物质的检测范围和准确度^[18],同时节约了人力资源。除此之外,色度仪可对食品色泽进行快速、无破坏、无损伤检测^[19],折光仪可用于白酒中可溶性固形物含量的测定。基于上述设备可以完成对白酒中色泽和可溶性固形物的检测,这有利于更准确的对不同香型白酒品质进行评价比较和分析。

本研究通过采用电子鼻、电子舌、色度仪和折光仪分别对十二大香型白酒的香气、滋味、色泽和可溶性固形物进行分析。通过在研究中同时引入多种检测设备,可以避免单一方法导致的样品信息获取不全面、不充分等问题,同时也有利于保证分析结果和结论的准确性。以期为不同香型白酒香气、滋味、色泽等方面的差异提供一定的基础数据,这对于后续通过仿生学技术结合相关分析设备区分不同香型的白酒和确定部分白酒的特征香气成分具有积极的意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

十二种香型白酒:特香型(T)、凤香型(F)、董香型(D)、清香型(Q)、米香型(M)、老白干香型(LBG)、豉香型(C)、馥郁香型(FY)、芝麻香型(ZM)、浓香型(N)、酱香型(J)和兼香型(JN);采购于本地超市或在线商城官方旗舰店;阳离子溶液、阴离子溶液、参比溶液、内部溶液和预处理溶液:由本实验室配制。

1.2 仪器与设备

Ultra Scan PRO色度仪:美国Hunter Lab公司;PEN3型电子鼻:德国Airsense公司;SA 402B型电子舌:日本Insent公司;Abbemat 350 折光仪:德国Anton Paar公司。

1.3 试验方法

1.3.1 不同香型白酒的处理

本实验测试的白酒样品酒精度均在40%vol~60%vol之间。一方面,酒精度偏高可能损害电子鼻和电子舌传感器。另一方面,香气物质在不同酒精浓度中呈现出不同的检测阈值,随着酒精浓度的升高,阈值呈现递增趋势^[20]。因此本实验选择将不同种香型白酒样品均稀释至酒精度20%vol(在20℃时所对应的酒精度)以避免因酒精度不同而引起白酒香气测定结果的差异。酒精度的测定依据GB 5009.225—2016《食品安全国家标准,酒中乙醇浓度的测定》的酒精计法。

1.3.2 不同香型白酒可溶性固形物和色泽品质的测定

首先对折光仪进行预热,预热完成后用纯水对其进行校正,校正完毕后用脱脂棉轻轻将其擦干,而后进行正式测样,每次测量后使用脱脂棉将其擦干,再用清水洗净,记录数据。色度仪在使用时需提前进行自检,色度仪预热30 min后对仪器进行校正,校正完成后用比色皿(50 mm×10 mm)按正确使用方法装入样品并开始测样。色度仪测定的 L^* 值(明暗度)、 a^* 值(红绿度)、 b^* 值(黄蓝度)能反映出酒样的色彩空间。测样时采用透射模式,每个样品以正反两面测得结果的平均值记为一次的测定结果,每个样品分别进行3次取样和测定,记为平行样。

1.3.3 不同香型白酒香气品质的测定

每种香型酒各取15 mL于样品瓶中,将其密封并编号后在室温条件下放置12 h,待其香气物质挥发聚集于样品瓶上方后开始测样。电子鼻由10个对不同挥发性物质敏感性不同的金属氧化物紧凑传感器组成。在测定时,电子鼻采用手动方式进样,清洗时间120 s,样品准备时间5 s,数据采集时间60 s,在传感器数据达到平稳状态后记录数据,采用第60 s的数据进行数据分析,每份样品取3次测定数据的平均值作为最终的实验结果。

1.3.4 不同香型白酒滋味品质的测定

电子舌使用前需要用饱和KCl溶液对电极进行活化,活化24 h后将8组传感器组装到设备上。为保证传感器信号的稳定性和准确性,首先对电子舌系统进行自检,自检通过之后,取出两杯稀释至酒精度为20%vol的白酒样品各90 mL放入两个电子舌测样专用检测杯中。摆放好之后按摆放顺序于程序中进行编号和测定。每份样品取3次,测定数据的平均值作为最终的实验结果。

1.3.5 数据处理与分析

数据的处理与整合采用Excel 2016软件,主成分分析、方差分析和聚类分析等在R语言、Origin 2016和MATLAB (V2011b)软件中完成。

2 结果与分析

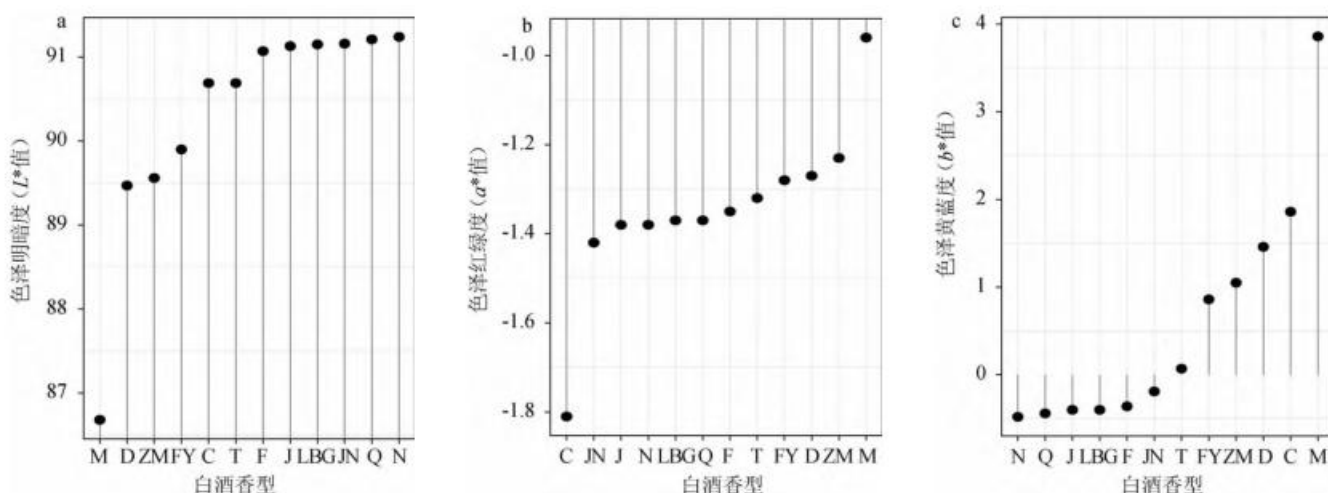
2.1 不同香型白酒可溶性固形物和色泽差异分析

本研究使用折光仪对各香型白酒中的可溶性固形物进行检测,结果显示除豉香型(C)白酒可溶性固形物为

13.93 g/L外,其余香型的白酒可溶性固形物均介于8.15~8.54 g/L范围内,显示出豉香型白酒拥有明显高于其他香型白酒的可溶性固形物含量。

使用色度仪对不同白酒色泽进行分析,结果见图1。由图1可知,白酒的颜色分为无色和微黄色两种,大多数白

酒是无色的,只有少部分酒呈现微黄色。具体而言,米香型白酒的明暗度值(L^* 值)最小,而红绿度值(a^* 值)与黄蓝度值(b^* 值)最大,即米香型白酒相较于其他白酒呈现出较暗的微黄色。而豉香型白酒红绿度值(a^* 值)最小,表明豉香型白酒相对于其他白酒更偏向于绿色。



(a) 色泽明暗度(L^* 值,0(黑色),100(白色)), (b) 色泽红绿度(a^* 值,-a(红色),+a(绿色)), (c) 色泽黄蓝度(b^* 值,-b(黄色),+b(蓝色))。

图1 不同香型白酒的色度差异

Fig. 1 Chromaticity difference of different flavor types of Baijiu

2.2 不同香型白酒滋味特征比较分析

不同香型白酒的滋味指标见表1。由表1可知,涩味、鲜味、咸味和苦味在不同香型白酒中的差异较大,其他指标的差异相对较小。在3种代表性香型白酒中,清香型白酒的苦味和后味B(苦的回味)最低、浓香型白酒丰度指标最高、酱

香型白酒的丰度指标最低。此外,豉香型白酒的咸味与后味A(涩的回味)和后味B(苦的回味)最高,酸味值最低。芝麻香型白酒中酸味和苦味指标最高;米香型白酒中的鲜味指标最高,而涩味和后味A(涩的回味)指标最低;老白干香型白酒中的咸味和鲜味值最低;馥郁香型白酒中涩味指标最高。

表1 基于电子舌的不同香型白酒滋味特征

Table 1 Taste characteristics of different flavor types of Baijiu based on electronic tongue

滋味指标	C	D	F	FY	J	JN	LBG	M	N	Q	T	ZM	变异系数
酸	6.050± 2.155c	10.620± 1.594ab	9.003± 4.416bc	12.040± 1.918ab	11.023± 1.015ab	10.64± 0ab	12.04± 0ab	6.173± 1.885c	12.280± 2.011ab	9.173± 1.105abc	6.730± 0.181c	12.597± 0.382a	0.25
苦	-1.387± 1.087ab	-2.657± 0.235cde	-0.927± 0.770ab	-0.260± 0.801a	-1.493± 0.115bc	-2.14± 0bcd	-1.29± 0ab	-2.187± 0.575de	-1.727± 0.33bcd	-3.590± 0.563c	-1.923± 0.839bcd	-0.250± 1.091a	0.53
涩	-2.967± 0.712a	-6.430± 0.544bc	-5.320± 0.763bc	-2.583± 0.885a	-5.703± 0.536bc	-5.69± 0bc	-2.64± 0a	-6.813± 1.108c	-4.763± 0.569b	-6.467± 1.14bc	-5.857± 1.651bc	-3.133± 1.424a	0.82
咸	-3.297± 1.668a	-3.450± 1.016a	-5.650± 1.199a	-9.233± 1.140b	-4.770± 0.579a	-4.41± 0a	-9.69± 0b	-4.753± 1.85a	-4.173± 0.486a	-4.170± 1.559a	-4.1283± 2.658a	-9.390± 2.116b	0.59
鲜	2.113± 0.208a	2.003± 0.155a	0.310± 1.635bc	-0.737± 1.449c	-0.067± 0.624c	1.81± 0a	-0.87± 0c	2.333± 0.110a	1.430± 0.132ab	1.973± 0.031a	2.073± 0.264a	-0.863± 0.432c	0.71
后味-A	0.850± 0.269a	0.607± 0.214abc	0.720± 0.171abc	0.803± 0.086ab	0.760± 0.061abc	0.62± 0abc	0.53± 0bc	0.490± 0.062c	0.800± 0.159ab	0.547± 0.045bc	0.763± 0.261abc	0.677± 0.021abc	0.18
后味-B	1.223± 0.319a	0.737± 0.086bcde	1.100± 0.288ab	0.983± 0.352abcd	1.073± 0.180abc	0.75±0b cde	0.83± 0abcd	0.580± 0.052de	0.677± 0.199cde	0.363± 0.114c	0.747± 0.006bcde	0.990± 0.4abcd	0.29
丰度	1.620± 0.456a	1.793± 0.345a	1.497± 0.693a	1.787± 0.698a	0.323± 0.290b	1.72± 0a	1.31± 0a	1.660± 0.217a	1.990± 0.335a	1.720± 0.115a	1.920± 0.347a	1.640± 0.521a	0.28

注:同行小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。下同。

为了比较不同香型白酒滋味品质的相似性和差异,本研究基于不同香型白酒滋味指标数据使用Manhattan距

离对各香型白酒进行了聚类分析,结果见图2。由图2可知,不同香型白酒在滋味方面可以聚为3个大类,其中老白干

香型(LBG)、馥郁香型(FY)和芝麻香型(ZM)聚为一类;米香型(M)、清香型(Q)、浓香型(N)、特香型(T)、董香型(D)和兼香型(JN)聚为一类;豉香型(C)、凤香型(F)和酱香型(J)聚为一类。

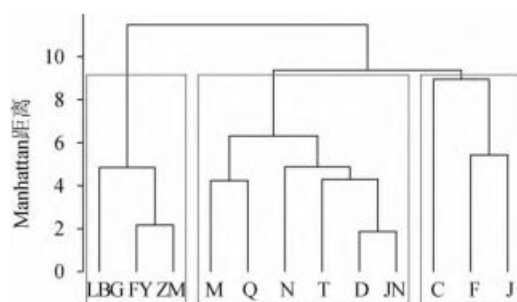


图2 基于滋味电子舌分析结果不同香型白酒的聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of different flavor types of Baijiu based on taste indexes by electronic tongue

滋味品质的上述结果可以通过部分香型白酒的制作工艺得到较好的解释。如芝麻香型白酒采用含蛋白质较高的原料(如小麦麸皮),为微生物生长繁殖提供主要的氮源物质^[21]。此外,其工艺中的高温堆积过程增加了耐高温微生物在样品中的相对含量,这些微生物有利于将原料中蛋白质高效水解成氨基酸等小分子物质,氨基酸经过伊里氏反应会生成白酒中的杂醇油,这是芝麻香型白酒苦涩味的重要来源^[22]。而在豉香型白酒发酵过程中,其大米原料和曲中的黄豆在酵母的作用下会产生高级脂肪酸乙酯。在豉香型白酒发酵蒸馏完毕后放入肉桂陈酿过程中,酒体中脂肪酸乙酯的含量会进一步增加,该成分对于延长豉香型白酒的后味具有重要作用^[23]。聚类分析发现馥郁香型、芝麻香型和老白干香型白酒在滋味上与其他香型存在一定

的差异。其中,馥郁香型白酒使用五种粮食进行糖化发酵,多种粮食混合形成了一个营养成分非常丰富的原料基质。此外,其采用立体制曲工艺,不同曲块理化品质及微生物群落组成差异较大。馥郁香型白酒的上述特点对于其形成独特的风味起着重要的作用^[24]。相比之下,芝麻香型白酒的酿造原料经过高温堆积、高温发酵后会产生大量高级脂肪酸类物质,其制作工艺中较高的馏酒温度也有利于充分收集这类风味成分,促使芝麻香型白酒特异风味更突出。老白干香型白酒虽为清香型的衍生香型,但其不同于清香型白酒的“二次清”工艺,老白干香型比清香型多了一轮发酵,导致其主体香味呈现出乳酸乙酯含量大于乙酸乙酯的独特特征。这可能是上述三种白酒在滋味品质方面与其他香型白酒存在较大差异的主要原因。

2.3 不同香型白酒香气特征的比较分析

通过电子鼻技术对不同香型白酒香气指标进行测定,结果见表2。由表2可知,W5S、W1S、W2S和W1W指标在不同香型中的差异相对较大,然而香气指标整体相较滋味指标在不同香型白酒中的差异较小。方差分析结果发现,凤香型白酒W1W(对有机硫化物和萜烯类敏感)、W1S(对甲烷灵敏)、W5S(对氮氧化物灵敏)指标最高,而其W1C(对芳香型化合物敏感)、W3C(对芳香成分、尤其是氨气敏感)、W5C(对烷烃、芳香成分敏感)指标最低;老白干香型白酒的W1C(对芳香型化合物敏感)传感器响应值最高;清香型白酒的W3C(对芳香成分、尤其是氨气敏感)、W5C(对烷烃、芳香成分敏感)传感器响应值最高;酱香型白酒W1W(对有机硫化物和萜烯类敏感)、W1S(对甲烷灵敏)、W2S(对乙醇灵敏)指标最低;芝麻香型白酒对W3S(对甲烷灵敏)的响应值最高。

表2 基于电子鼻的不同香型白酒香气特征

Table 2 Aroma characteristics of different flavor types of Baijiu based on electronic nose

香气指标	C	D	F	FY	J	JN	LBG	M	N	Q	T	ZM	变异系数
W1C	0.03±0.03g	0.03±0.03g	0.03±0.03g	0.03±0.03g	0.03±0.03g	0.03±0.03g	0.03±0.03g	0.03±0.03g	0.03±0.03g	0.03±0.03g	0.03±0.03g	0.03±0.03g	0.02
W5S	126.83±0.31h	184.60±0.49c	251.63±0.73a	171.73±1.35e	121.61±0.51i	178.09±0.38d	161.26±0.65f	199.82±0.46b	170.66±1.27e	184.11±0.23c	114.53±0.56j	132.49±0.64g	0.23
W3C	0.04±0.04f	0.05±0.05d	0.04±0.04f	0.05±0.05d	0.05±0.05d	0.04±0.04f	0.05±0.05d	0.05±0.05d	0.05±0.05d	0.05±0.05d	0.05±0.05d	0.05±0.05d	0.03
W6S	1.78±0.01c	1.73±0.01fg	1.87±0.01a	1.76±0.01de	1.71±0.01g	1.71±0.01g	1.72±0.01fg	1.84±0.08b	1.70±0.01h	1.73±0.01f	1.77±0.01cd	1.75±0.01e	0.03
W5C	0.03±0.03f	0.03±0.03d	0.03±0.03i	0.03±0.03g	0.03±0.03ab	0.03±0.03f	0.03±0.03d	0.03±0.03h	0.03±0.03b	0.03±0.03a	0.03±0.03ef	0.03±0.03g	0.03
W1S	163.20±0.77f	168.06±0.66e	202.86±0.28a	167.50±0.45e	148.66±0.29i	157.02±0.56h	158.62±0.20g	185.91±0.81c	157.53±0.39gh	193.52±0.28b	164.40±0.88f	173.96±1.24d	0.10
W1W	145.18±0.18h	154.79±0.24f	190.66±0.57a	159.40±0.35c	142.53±0.55f	161.46±0.57b	143.22±0.65f	157.45±0.72d	155.96±0.16e	157.28±0.31d	149.19±0.56g	159.04±0.47c	0.06
W2S	56.46±0.16f	57.47±0.22e	70.52±0.24a	58.14±0.29d	53.22±0.25j	58.06±0.17d	54.02±0.33i	60.69±0.16b	54.52±0.08h	58.53±0.06d	59.15±0.23c	55.75±0.23g	0.08
W2W	4.51±0.02e	4.63±0.01c	4.80±0.04a	4.60±0.02cd	4.57±0.01de	4.60±0.03c	4.55±0.06cd	4.68±0.01b	4.55±0.04cd	4.68±0.01b	4.51±0.01e	4.60±0.02cd	0.02
W3S	4.99±0.0ab	4.98±0.01abc	4.99±0.0ab	4.93±0.01f	4.93±0.02ef	4.98±0.0bc	4.92±0.02f	4.93±0.01f	4.95±0.02cd	4.93±0.01f	4.95±0.01de	5.00±0.01a	0.01

为了比较不同香型白酒香气品质的相似性和差异,本研究基于不同香型白酒香气指标使用Manhattan距离对各香型白酒进行了聚类分析,结果见图3。由图3可知,当距离为6时,不同香型白酒被分为五个聚类,这与基于滋味指标白酒香型的聚类结果有所不同,表明白酒的滋味品质与香气品质并非完全相关。具体而言,凤香型、米香型和豉香型白酒各为一类;清香型、特香型、浓香型、董香型、兼香型为一类;馥郁香型、芝麻香型、酱香型、老白干香型为一类。该结果显示,凤香型、米香型和豉香型白酒香气各成一派,与其香型的香气差异较大。

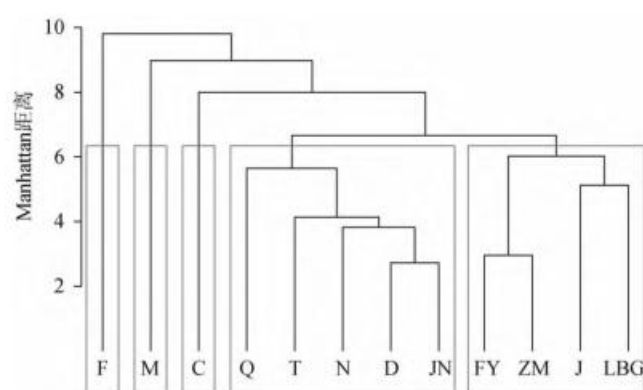


图3 基于香气电子鼻分析结果不同香型白酒的聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis of different flavor types of Baijiu based on aroma indexes by electronic nose

对于不同香型白酒在香气指标方面的差异特征,依然可以从其制作工艺中得到一定的解释。如凤香型白酒芳香类物质含量较低,这可能与其贮藏容器酒海有关。酒海的透气性较强,在贮藏新酒时酒体中的低沸点酯类物质易挥发,而高沸点酯类物质在贮藏过程中发生水解反应与降解作用,从而导致凤香型白酒的酯类物质含量降低。与此同时,经过酒海贮藏后酒体中的长链脂肪酸酯、己醇以及酸类物质含量增加^[29]。这为凤香型酒带来了新的香气特征,从而使之成为一种特异的香型。

2.4 基于主成分分析和冗余分析揭示不同香型白酒品质差异

依据本研究所测得的香气、滋味、可溶性固形物和色泽结果,在对各指标进行均一化处理的基础上进行主成分分析和冗余分析,结果见图4。由图4可知,清香型、米香型、凤香型白酒游离于其他9种香型之外,且彼此间的差异较大。冗余分析结果进一步发现导致上述3种香型白酒香气和滋味差异的因素并不完全一致。如W2S、W6S和W1W是凤香型白酒的优势香气物质;咸味和鲜味浓度较高,以及酒体颜色相对较红是米香型白酒的主要特征;而清香型白酒的主要特点是芳香类物质W3C(对芳香成分、尤其是氨气敏感)的浓度较高。除此之外,冗余结果表明,老白干香

型(LBG)、浓香型(N)、特香型(T)白酒的芳香类物质较多。白酒中的芳香类物质与微生物代谢产生的酯类物质含量存在密切的关系^[20]。其中老白干香型的混蒸混烧工艺保留了大部分酒醅,有利于微生物代谢产物的积累。浓香型白酒采用泥窖发酵,与酯类物质生成相关的己酸菌和甲烷菌在泥窖中富集,促进了酒醅中各种酯类物质的合成。而特香型白酒在浓香型白酒的基础上进一步改进了窖池池壁的原料,其窖池底部铺满窖泥,四周则使用质地疏松、空隙较多,吸水性强的红褚条石堆砌。这一方面为有益微生物的繁衍创造了独特环境,另一方面又保证了产酸和产酯的功效。这些改良措施对于特香型白酒芳香类物质的富集均具有积极的作用。由此也可知,不同香型白酒的酿造工艺与其最终产品的香气、滋味等品质之间均具有密切的联系。

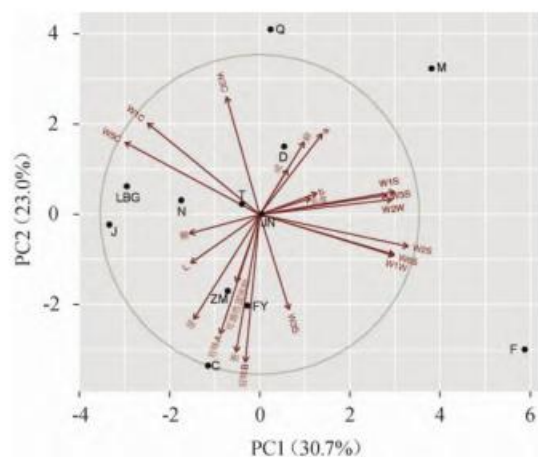


图4 不同香型白酒主成分分析结果

Fig. 4 Results of principal component analysis of different flavor types of Baijiu

3 结论

本研究通过电子鼻、电子舌以及色度仪等仪器对中国十二大香型白酒的香气、滋味、色度以及可溶性固形物含量进行分析。结果发现相较于风味指标,不同白酒滋味指标间的差异更大,其中涩味、鲜味、咸味和苦味是差异最大的几种滋味品质。白酒香气的检测结果显示老白干香型、特香型、浓香型白酒相较其他香型白酒而言,芳香物质含量相对较高。聚类分析结果显示凤香型酒香气物质成分与其他香型白酒的差异最大。这些差异往往可以通过不同香型白酒的发酵原料及工艺得到一定的解释。本研究的开展为后续通过仿生学技术结合相关设备区分不同香型的白酒和确定部分白酒的特征风味成分具有积极的意义。

参考文献:

[1] 张志刚,张彪,赵书民,等. 中国白酒香型演变及发展趋势[J]. 中国酿造,

- 2018, 37(2): 15-18.
- [2] 王励英, 史晓梅, 钱承敬. 白酒风味特征研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(21): 7212-7219.
- [3] 郭学武, 范恩帝, 马冰涛, 等. 中国白酒中微量成分研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(11): 267-276.
- [4] 陈志宏, 张余, 徐有山. 白酒中风味物质分析研究进展[J]. 中国酿造, 2020, 39(6): 13-16.
- [5] ZOU W, ZHAO C, LUO H. Diversity and function of microbial community in Chinese strong-flavor *Baijiu* ecosystem: a review[J]. *Front Microbiol*, 2018, 9: 671.
- [6] 王庆亮. 白酒品质分析及质量安全控制研究进展[J]. 酿酒科技, 2021(8): 97-101.
- [7] DU J, LI Y, XU J, et al. Characterization of key odorants in Langyatai *Baijiu* with Jian flavour by sensory-directed analysis[J]. *Food Chem*, 2021, 352: 129363.
- [8] HE X, JELEN H H. Comprehensive two-dimensional gas chromatography-time of flight mass spectrometry (GC×GC-TOFMS) in conventional and reversed column configuration for the investigation of *Baijiu* aroma types and regional origin[J]. *J Chromatogr A*, 2021, 1636: 461774.
- [9] WU Z, QIN D, DUAN J, et al. Characterization of benzenemethanethiol in sesame-flavour *Baijiu* by high-performance liquid chromatography-mass spectrometry and sensory science[J]. *Food Chem*, 2021, 364: 130345.
- [10] KARAKAYA D, ULUCAN O, TURKAN M. Electronic nose and its applications: A survey[J]. *Int J Automat Comput*, 2020, 17(2): 179-209.
- [11] JIANG H, ZHANG M, BHANDARI B, et al. Application of electronic tongue for fresh foods quality evaluation: A review[J]. *Food Rev Int*, 2018, 34(8): 746-769.
- [12] 马长路, 焦扬, 吴芸, 等. 富含低聚糖褐色酸奶的研制[J]. 中国乳品工业, 2019, 47(10): 59-64.
- [13] 吴晨燕, 马偲珍, 周伟, 等. 发酵时间和发酵剂种类对牛肉调味料风味的影响[J]. 肉类研究, 2019, 33(9): 42-47.
- [14] CAI W, WANG Y, HOU Q, et al. PacBio sequencing combined with metagenomic shotgun sequencing provides insight into the microbial diversity of Zha-chili[J]. *Food Biosci*, 2021, 40: 100884.
- [15] CAI W, TANG F, WANG Y, et al. Bacterial diversity and flavor profile of Zha-Chili, a traditional fermented food in China[J]. *Food Res Int*, 2021, 141: 110112.
- [16] 徐梦琦. 基于嗅觉味觉交互感知的香醋风味可视化表征方法研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2021.
- [17] CETÓ X, GUTIÉRREZ-CAPITÁN M, CALVO D, et al. Beer classification by means of a potentiometric electronic tongue [J]. *Food Chem*, 2013, 141(3): 2533-2540.
- [18] 孙文佳, 方毅斐, 汪廷彩, 等. 基于电子舌技术的豉香型白酒分类识别研究[J]. 中国酿造, 2020, 39(9): 182-185.
- [19] MILOVANOVIC B, TOMOVIC V, DJEKIC I, et al. Colour assessment of milk and milk products using computer vision system and colorimeter[J]. *Int Dairy J*, 2021, 120: 105084.
- [20] 范文来, 徐岩. 白酒79个风味化合物嗅觉阈值测定[J]. 酿酒, 2011, 38(4): 80-84.
- [21] 马健. 乳酸菌发酵麸皮对仔猪生产性能的影响[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2021.
- [22] 宋柯, 王大俊, 陈传青. 白酒味苦原因分析及防止措施研究[J]. 酿酒科技, 2021(12): 56-60.
- [23] 李学伟, 朱新贵, 梁姚顺, 等. 全大豆和脱脂大豆酿造酱油的差异化研究[J]. 中国酿造, 2015, 34(1): 22-26.
- [24] 赫立娟, 陈锦华, 邓丽颖, 等. 酒鬼酒成熟糖化料细菌的分离和系统发育多样性分析[J]. 酿酒科技, 2021(7): 22-28.
- [25] 刘丽丽, 杨辉, 荆雄, 等. 不同贮酒容器对白酒挥发性成分的影响[J/OL]. 食品科学: 1-12[2022-05-28] <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20211202.1732.006.html>.
- [26] 王新磊, 宋学博, 朱琳, 等. 老白干原酒主要风味物质含量批次间差异及变化规律[J]. 食品科学技术学报, 2021, 39(5): 125-134.