

基于HS-SPME-GC-MS和PCA的不同萃取头对鸡肉香精香气成分萃取效果比较

于亚辉,陈沁雯,李晓婷,方婷*

(福建农林大学 食品科学学院,福建 福州 350002)

摘要:为提高鸡肉香精香气成分分析的可靠性,比较不同纤维涂层萃取头萃取鸡肉香精香气成分的效果,采用顶空固相微萃取(headspace solid-phase micro-extraction, HS-SPME)结合气相色谱质谱联用仪(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)检测技术对热反应鸡肉香精中的挥发性风味物质种类和组成进行提取分析,通过灵敏性及主成分分析(principal component analysis, PCA)法比较香气成分数量及含量建立香气品质评价模型,研究不同纤维涂层萃取头(75 μm CAR/PDMS、65 μm DVB/PDMS、85 μm PA、50/30 μm DVB/CAR/PDMS)与所萃取挥发性物质间的相关性。结果表明,75 μm CAR/PDMS 萃取头为萃取鸡肉香精样品挥发性物质的最优萃取头,萃取得到样品中共含有 146 种挥发性物质,包括醇类 24 种(16.44%)、醛类 16 种(10.96%)、吡嗪类 12 种(8.22%)、呋喃(酮)类 13 种(8.91%),含硫化合物 10 种(6.85%)等多种香气物质,检测到 2-甲基-3-呋喃硫醇、2-甲基-3-戊烷硫醇、(E,E)-2,4-癸二烯醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛及反式-2-壬烯醛等关键肉香味化合物。

关键词:鸡肉香精;不同萃取头;顶空固相微萃取;气相色谱质谱联用;主成分分析法

Comparison of the Extraction Effect of Chicken Flavors by Different Extraction Heads Based on HS-SPME-GC-MS and PCA

YU Ya-hui, CHEN Qin-wen, LI Xiao-ting, FANG Ting*

(College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China)

Abstract: In order to improve the reliability of the aroma component analysis of chicken flavours and compare the effect of extracted chicken flavour components with different fiber coating extraction heads, headspace solid-phase micro-extraction (HS-SPME) combined with gas chromatography mass spectrometry was used. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) detection technology was used to extract and analyze the types and composition of volatile flavor substances in thermally-reactive chicken flavors. The optimal extraction head was selected. In this paper, the sensitivity and principal component analysis (PCA) methods were used to compare the amount and content of aroma components to establish an aroma quality evaluation model. The correlations between different fiber coating extraction heads (75 μm CAR / PDMS, 65 μm DVB / PDMS, 85 μm PA, 50/30 μm DVB / CAR / PDMS) and the extracted volatile substances were studied. The results showed that the 75 μm CAR / PDMS extraction head was the optimal extraction head for extracted volatile substances from chicken flavor samples. The extracted sample contained a total of 146 volatile substances, including 24 alcohols (16.44%) and 16 aldehydes (10.96%), 12 kinds of pyrazines (8.22%), 13 kinds of furans (ketones) (8.91%), 10 kinds of sulfur compounds (6.85%) and other aroma substances, 2-methyl-3-furanthiol, 2-methyl-3-pentanethiol, (E, E)-2,4-decadienal, (E, E)-2,4-heptadienal and trans-2-nonenal scented compounds were detected.

作者简介:于亚辉(1993—),男(汉),硕士,研究方向:食品风味化学。

* 通信作者:方婷(1981—),女(汉),教授,博士,研究方向:食品加工理论与应用。

Key words: chicken flavor; different extraction heads; headspace solid phase micro-extraction; gas chromatography mass spectrometry; principal component analysis (PCA)

引文格式:

于亚辉,陈沁雯,李晓婷,等.基于HS-SPME-GC-MS和PCA的不同萃取头对鸡肉香精香气成分萃取效果比较[J].食品研究与开发,2021,42(1):159-165.

YU Yahui, CHEN Qinwen, LI Xiaoting, et al. Comparison of the Extraction Effect of Chicken Flavors by Different Extraction Heads Based on HS-SPME-GC-MS and PCA[J]. Food Research and Development, 2021, 42(1): 159-165.

鸡肉香精是以鸡肉蛋白酶解物、糖类、氨基酸等两种或两种以上风味前体物质为原料,通过美拉德反应制备的一种咸味香精^[1]。因其能够较好地保持食品原有的天然风味,香气柔和持久且具有多样性而备受大众青睐^[2]。香气是评价咸味香精品质的关键性指标之一,但在提取过程中由于挥发性香气物质组成成分复杂、含量较低、不稳定极易被破坏,因此选择合适的提取条件显得极为重要^[3]。

顶空固相微萃取(headspace solid-phase micro-extraction, HS-SPME)是一种较为常用的样本采集技术,通过选择性吸附富集样品中挥发性及半挥发性成分,具有无需有机溶剂、样品量少、灵敏度高及重现性好等优点,因其能够较好的提取及评价样品中的香气成分^[4],故被广泛应用于食品风味分析中^[5],但因萃取头表面涂层的不同对各挥发物的萃取效果影响不同,所以选择合适涂层的萃取头也是进行挥发性物质分析的关键^[6]。目前研究者多以挥发性物质的色谱峰面积及物质种类作为固相微萃取条件优化指标,钱敏等^[7]采用不同萃取头萃取猪肉香精样品并经过(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分析后,以峰面积及峰个数的差异选择75 μm CAR/PDMS萃取头为最适猪肉香精的萃取头;董琪等^[8]采用不同萃取头萃取发酵牛肉肠样品并经过GC-MS分析后,以总峰面积和物质总数为指标选择50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取头为发酵牛肉肠的最适萃取头;王学敬等^[9]采用不同萃取头萃取德州扒鸡样品并经过GC-MS分析后,以总峰面积和风味成分种类数为指标选择75 μm CAR/PDMS萃取头为最适德州扒鸡的最优萃取头。但由于在不同样品中关键风味物质不同、阈值不同,对萃取条件的要求也不同,故仅以色谱总峰的大小及萃取物质的种类多少来判定萃取效果的好坏,不太可靠。为此,对固相微萃取方法的优化改进及如何采用多角度分析挥发性物质也引起了相关学者的关注,席嘉佩等^[10]以烤羊肉为样品结合主成分分析法研究了不

同萃取头与所萃取的挥发性物质之间的相关性,以灵敏度及共有香气物质含量为指标,选择出最适萃取烤羊肉的萃取头;张德莉等^[10]以香葱油为样品通过建立样本间挥发性物质间的相关性分析模型,并结合聚类分析初步确定香葱油的主要挥发性成分。

本研究采用常用的4种萃取头对鸡肉香精香气成分进行萃取研究,探讨不同萃取头对萃取鸡肉香精挥发性组成成分的影响,以分析出的总峰面积及物质种类含量及灵敏度为萃取头选择指标,结合主成分分析(principal component analysis, PCA)法建立鸡肉香精香气品质的评价模型,从而选择出最优的萃取条件,为后续咸味香精香气物质的分析及萃取条件优化提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料、仪器与设备

鸡胸肉:福州永辉超市;复合蛋白酶(10万U/g,食品级):索莱宝试剂公司;动物蛋白酶(30万U/g,食品级):南宁庞博生物工程有限公司;葡萄糖、甘氨酸、硫酸素、半胱氨酸(均为分析纯):西格玛试剂公司;牛磺酸(分析纯):潜江永安药业股份有限公司。

AX523ZH型精密电子天平:奥豪斯公司;雷磁PHS-3C型pH计:上海仪电科学仪器股份有限公司;Centrifuge 5430R小型高速冷冻式离心机:德国艾本德股份公司;YXQ-LS-100SII立式压力蒸汽灭菌器:上海博迅实业有限公司;DK-S22电热恒温水浴锅:上海精宏实验设备有限公司;JYL-Y99高速破壁调理机:九阳股份有限公司;手动SPME进样器:美国supelco公司;PerkinElmer GC680-SQ8T-HS4气质联用仪:美国珀金埃尔默公司。固相微萃取萃取头型号见表1^[11]。

1.2 方法

1.2.1 鸡肉香精的制备

鸡肉酶解液:鸡胸肉绞碎至肉糜,料液比1:4.4(g/mL),总加酶量0.82%,NaCl添加量0.8%,总时长7.3h,分

表1 固相微萃取萃取头型号及使用条件

Table 1 Model and conditions of solid-phase micro-extraction extraction head				
萃取头	萃取头材料	最高温度/℃	老化温度/℃	老化时间/h
CAR/PDMS (75 μm)	碳分子筛/聚二甲基硅氧烷	320	300	1
DVB/CAR/PDMS (50/30 μm)	聚二乙烯基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷	270	270	1
PDMS/DVB (65 μm)	聚二乙烯基苯/聚二甲基硅氧烷	270	250	0.5
PA(85 μm)	聚丙烯酸酯	320	280	1

别在动物蛋白酶及复合蛋白酶最佳的 pH 值及最佳酶解温度下进行分步酶解。

鸡肉香精的制备:取 50 mL 鸡肉酶解液,依次按比例加入葡萄糖 6%、甘氨酸 2%、半胱氨酸 0.09%、牛磺酸 1%、硫胺素 0.04%搅拌均匀,并使用磷酸缓冲溶液 (pH 6.0)调节至 pH 6.5,反应时间为 55 min,反应温度为 100 ℃,60 r/min 条件下进行反应。

1.2.2 SPME-GC/MS 测定条件

采用顶空固相微萃取的方法进行风味物质提取,并利用气质联用仪进行挥发性物质成分分析。具体方法为:称取鸡肉香精 5 g 于 20 mL 顶空瓶中,将老化后的 4 种不同的萃取头分别插入顶空瓶中,在 55 ℃条件下萃取 20 min,移至 GC 进样口中解析 5 min。

气相色谱条件:色谱柱为 RTX-5MS 石英毛细管柱,30 m×25 mm×0.25 mm;柱温:初始温度 40 ℃,保持 2 min,以 10 ℃/min 升至 260 ℃,保持 10 min;进样口温度:280 ℃;载气:氮气;流量:1.0 mL/min;分流比:10:1;质谱条件:采集方式:全扫描;质谱质量扫描范围:35 amu ~450 amu;电离方式:电子轰击;发射能量:70 eV;离子源温度:250 ℃;接口温度:260 ℃。

将检测到的质谱信息与 NIST 和 Wiley 这 2 个质谱数据库进行匹配,正反相匹配指数均大于 800(最大为 1 000)或单个大于 850 的化合物进行选择确定,结合手动检索进行定性,采用面积归一法进行定量,并对挥发性成分的相对含量进行计算。

1.2.3 不同萃取头萃取化合物灵敏度的比较

使用累积峰面积标准化值^[3,11](cumulative area normalization value, CANV)对鸡肉香精挥发性化合物的萃取灵敏度进行评价。

1.3 数据分析

挥发性含量表示为峰面积,采用 Excel 2016 进行数据处理计算,使用 SPSS 21.0 和 origin 2017 进行相关统计分析 & 主成分分析。

2 结果与分析

2.1 4 种萃取头对鸡肉香精中挥发性成分 GC-MS 分析

剔除硅氧烷类杂质峰,对不同萃取头萃取鸡肉香精得到的挥发性化合物根据保留时间及峰面积重新作图,结果见图 1。

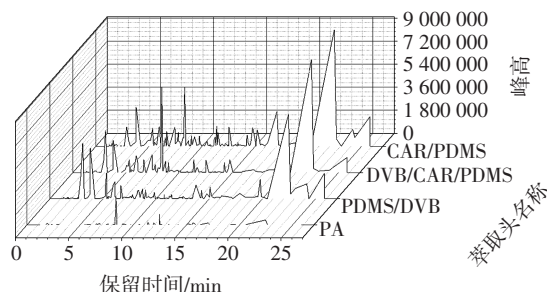


图1 4种萃取头萃取鸡肉香精中挥发性物质总离子流色谱图比较

Fig.1 Comparison of total ion chromatograms of volatile substances extracted from chicken flavors with 4 kinds of extraction heads

结合气质分析结果对比发现,75 μm CAR/PDMS 萃取头对鸡肉香精的萃取效果明显高于其它 3 种,共萃取得到 138 种挥发性化合物,其次是 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头(129 种)和 65 μm PDMS/DVB 萃取头(123 种),而 85 μm PA 萃取头萃取得到化合物最少为 52 种,4 种萃取头一共得到 146 种挥发性物质,其中 75 μm CAR/PDMS 萃取头萃取到了 94.5% 的化合物。不同萃取头萃取得到的化合物总峰面积与化合物数量也有着类似趋势, CAR/PDMS(6.7×10^7) > DVB/CAR/PDMS(5.0×10^7) > PDMS/DVB(4.6×10^7) > PA(6.0×10^6),与复合涂层材料的萃取头相比单一涂层的萃取效率较低。

2.2 不同萃取头萃取挥发性物质数量及相对含量比较

萃取头萃取鸡肉香精香气成分数量及相对含量比较见图 2 和图 3。

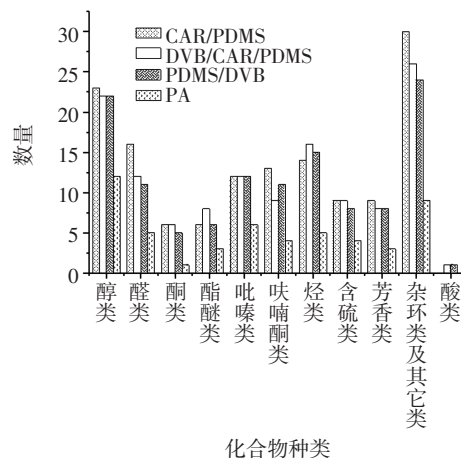


图2 4种萃取头萃取鸡肉香精香气成分数量比较

Fig.2 Comparison of aromatic components in chicken flavor extracted by 4 kinds of extraction heads

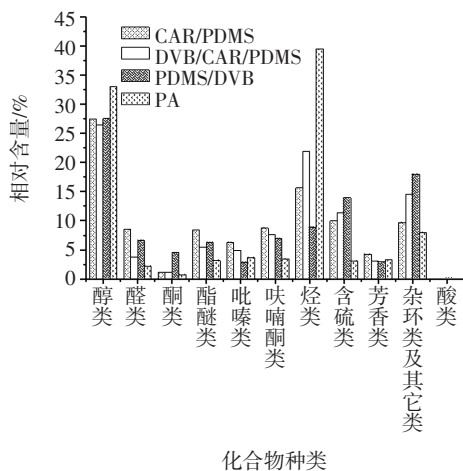


图3 4种萃取头萃取鸡肉香精香气成分相对含量比较

Fig.3 Comparison of relative contents of aroma components extracted from chicken flavors with 4 kinds of extraction heads

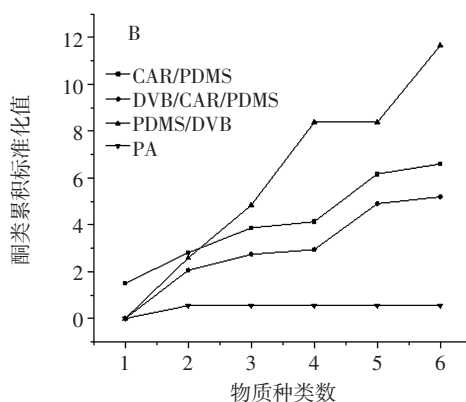
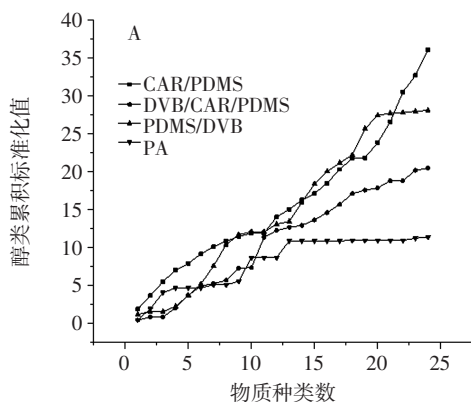
加热过程中的化学反应产生了各种赋予样品风味的化合物,目前已报道的鸡肉风味中存在的挥发性风味物质已经超过600种,包括醇、醛、酮、吡嗪、呋喃等^[12-13]。通过质谱软件TurboMass Ver6.1.0对4种萃取头萃取到的挥发性物质进行定性及定量分析,并根据化合物种类的不同将挥发性物质分为醇类、醛类、酮类等11类。由图2可以看出,CAR/PDMS的萃取头对醇类、醛类、呋喃(酮)类、芳香类化合物、杂环类及其它化合物的萃取效果明显优于其它3种萃取头;DVB/CAR/PDMS的萃取头对酯类、炔类化合物的萃取效果优于其它3种萃取头;CAR/PDMS和DVB/CAR/PDMS的萃取头均萃取出6种酮类化合物、9种含硫化合物、12种吡嗪类化合物,其中PDMS/DVB的萃取头也萃取出12种吡嗪类化合物,均强于PA的萃取头。结合图1就分析对象来看,PDMS/DVB、CAR/PDMS和DVB/CAR/PDMS的萃取头均适用于双极性挥发性物质,特别是对低沸点物质的萃取效果较强,在保留时间15 min之前萃取出的峰较为尖锐,具有较好的萃取效果,PA的萃取头多用于萃取极性或非极性的物质,对萃取鸡

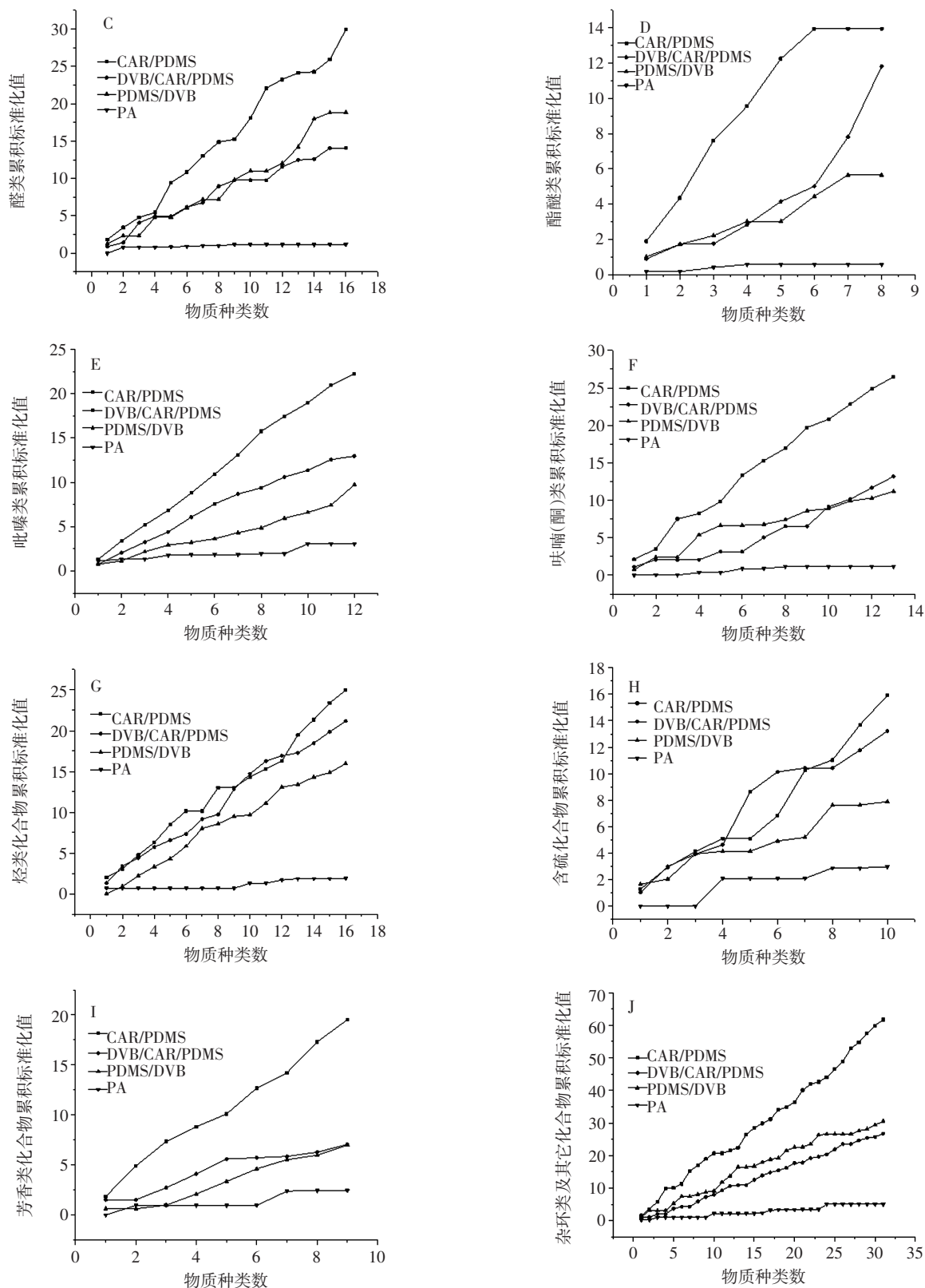
肉香精中的挥发性物质不占有优势。就相对含量(图3)来看,CAR/PDMS萃取头萃取的醇类化合物相对含量较高为27.48%,其次为炔类化合物(15.61%)、含硫化合物(9.95%)和杂环类及其它化合物(9.71%)等;DVB/CAR/PDMS萃取头萃取的醇类化合物相对含量也较高为26.39%、炔类化合物(21.87%)、杂环类及其它化合物(14.5%)、含硫化合物(11.33%)等;PDMS/DVB萃取头萃取的醇类化合物最高为27.51%、杂环类及其它化合物(17.95%)、含硫化合物(13.95%)、炔类化合物(8.88%)等;PA萃取头萃取的炔类化合物(39.48%)和醇类化合物(32.99%)共计72.47%,是其最主要的两类化合物。使用传统方法对比分析4种萃取头的萃取效果时发现,4种萃取头对各挥发性物质的萃取能力具有差异性,但就整体呈现性来看,除PA萃取头外其余三者的萃取结果具有一定的相似性,不能很好地选择出最优的萃取头。

2.3 不同萃取头灵敏度比较

同一化合物应在同一时间或一定时间范围内出峰,根据萃取头不同的吸附能力及各化合物极性或非极性性质,会导致同一化合物对应的峰面积不同,在同一保留时间下化合物的累积峰面积标准化值越大,则认为该萃取头对此化合物的萃取灵敏度越高,萃取效果越好,灵敏度的高低可能与峰的分离效果有关^[14]。根据公式^[3,11]计算不同萃取头对应不同种类化合物的累积标准化值,4种萃取头对不同种类化合物的萃取灵敏度见图4。

由图4可知,CAR/PDMS的萃取头对醇类、酮类、醛类、酯类、吡嗪类、呋喃(酮)类、炔类化合物、含硫化合物、芳香类化合物、杂环类及其它化合物均具有最大的CANV值,萃取效果较为明显,而PA的萃取头萃取鸡肉香精中挥发性成分的CANV值均较小,萃取效果不明显。且随着时间的延长,除醇类外CAR/PDMS的萃取头对其它种类化合物的CANV值的增长趋势明显高于其它种类萃取头,表明CAR/PDMS的萃





A.醇类;B.酮类;C.醛类;D.酯类;E.吡嗪类;F.呋喃(酮)类;G.烃类;H.含硫类;I.芳香类;J.杂环类及其它类。

图4 不同萃取头不同种类物质的累积标准化值

Fig.4 CANV of different types of substances in different extraction heads

取头对鸡肉香精中挥发性物质的萃取效果优于其它萃取头。

2.4 主成分分析

主成分分析是一种重要的降维分析方法,可使用

包含主要信息的主成分来替代原始数据进行分析^[15],并反映出较多的样本信息。首先,对4种萃取头所萃取鸡肉香精中挥发性成分的相对含量作KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)和Bartlett球形检验,发现系数为0.637>0.5, P 值<0.05,数据呈球形分布,说明4种萃取头萃取得到的各种类挥发性物质相对含量间相关度较高,可以进一步进行主成分分析研究不同萃取头与各种类挥发性物质间的相关关系。

2.4.1 鸡肉香精香气成分主成分分析

利用SPSS 21.0软件对4种萃取头所萃取的鸡肉香精中挥发性香气成分相对含量进行主成分分析,选取特征值>1的成分为主成分,主成分分析结果见表2。

表2 2个主成分的特征值及贡献率

Table 2 Eigenvalues and contribution rates of the 2 principal components

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	6.116	55.599	55.599
2	3.921	35.641	91.24

根据表2可知,前2个主成分的累计贡献率达到91.24%,基本可以有效地解释所有变量的原有信息。

鸡肉香精香气成分的主成分特征向量及载荷矩阵见表3。

表3 主成分的特征向量和载荷矩阵

Table 3 Eigenvectors and load matrices of principal components

香气成分	第一主成分		第二主成分	
	特征向量	载荷	特征向量	载荷
醇类(X_1)	-0.372	-0.92	-0.062	-0.122
醛类(X_2)	0.301	0.745	0.269	0.533
酮类(X_3)	0.262	0.647	-0.287	-0.569
酯醚类(X_4)	0.311	0.768	0.316	0.625
吡嗪类(X_5)	0.043	0.106	0.467	0.924
呋喃(酮)类(X_6)	0.346	0.855	0.237	0.47
烃类化合物(X_7)	-0.397	-0.983	-0.017	-0.033
含硫化合物(X_8)	0.398	0.984	-0.085	-0.169
芳香类化合物(X_9)	-0.030	-0.073	0.495	0.981
杂环类及其它化合物(X_{10})	0.319	0.788	-0.310	-0.614
酸类(X_{11})	0.257	0.635	-0.344	-0.681

由表2和表3可知,第一主成分的贡献率为55.599%,主要反映的是醇类、呋喃(酮)类、烃类化合物和含硫化合物4类香气成分的变异信息,且第一主成分与醇类和烃类化合物呈负相关关系,与呋喃(酮)类和含硫化合物呈正相关关系;第二主成分的贡献率为35.641%。各个主成分在各变量因子之间的载荷值表示该主成分对该因子所能反映的真实程度,主要反映的是吡嗪类和芳香类化合物2种香气成分的变异信

息,且均呈正相关关系。

2.4.2 基于主成分分析建立鸡肉香精香气品质评价模型

根据表2和表3,两个主成分可以解释4种萃取头11类香气成分91.24%的变异信息,并根据其特征向量,以 F_1 和 F_2 两个新的综合指标来代替原来的11类香气成分所表达的信息,建立鸡肉香精香气成分的评价模型,进行香气品质综合评价,并得到线性关系式分别为: $F_1 = -0.372X_1 + 0.301X_2 + 0.262X_3 + 0.311X_4 + 0.043X_5 + 0.346X_6 - 0.397X_7 + 0.398X_8 - 0.03X_9 + 0.319X_{10} + 0.257X_{11}$, $F_2 = -0.062X_1 + 0.269X_2 - 0.287X_3 + 0.316X_4 + 0.467X_5 + 0.237X_6 - 0.017X_7 - 0.085X_8 + 0.495X_9 - 0.31X_{10} - 0.344X_{11}$ 。

式中: F_1 和 F_2 分别代表综合主成分值得分,得分值越大,代表萃取头萃取效果越好。对表3中的特征向量进行标准化处理,并与所对应的两个主成分的贡献率做内积,得到综合香气品质的评价函数表达式为: $F = 0.55599F_1 + 0.35641F_2$ 。

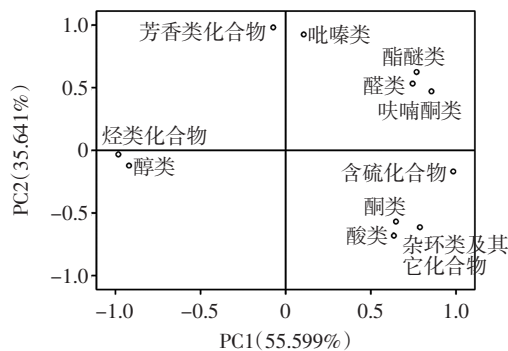
根据评价函数表达式得到综合得分值及排序,见表4。主成分分析结果见图5。

表4 标准化后主成分综合得分表

Table 4 Comprehensive scores of principal components after standardization

萃取头种类	香气成分质量评价模型			排序
	F_1	F_2	F	
CAR/PDMS	-0.747 9	5.892 41	5.144 51	1
DVB/CAR/PDMS	-3.517 5	0.533 343	-2.984 157	3
PDMS/DVB	5.062 6	-1.752 3	3.310 3	2
PA	-21.148	0.148 76	-20.999 24	4

第一主成分得分最高的是PDMS/DVB萃取头,第二主成分得分最高的是CAR/PDMS萃取头,结合图5来看,4种萃取头萃取的香气成分经过主成分分析表现出了明显的差异,综合评分中CAR/PDMS萃取头得分最高,萃取效果最好,其次为PDMS/DVB、DVB/CAR/PDMS及PA萃取头。



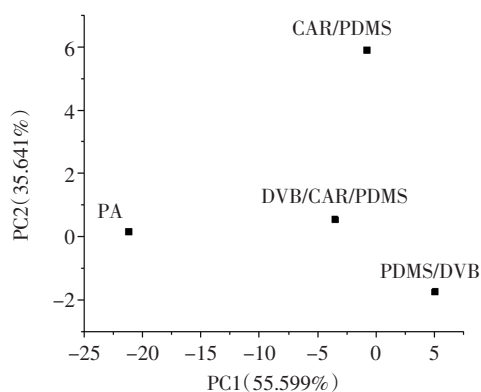


图5 主成分分析结果

Fig.5 Principal component analysis results

3 结论

1)通过 GC-MS 分析,比较研究 4 种常用的 SPME 涂层萃取头(75 μm CAR/PDMS、65 μm DVB/PDMS、85 μm PA、50/30 μm DVB/CAR/PDMS)对鸡肉香精有效挥发性成分的提取性能,研究发现仅比较萃取得到的物质峰面积及数量难以有效筛选出最优萃取头;经过萃取头灵敏度检验、主成分分析建立鸡肉香精风味评价模型后发现 75 μm CAR/PDMS 萃取头综合得分最高,是萃取鸡肉香精挥发性物质的最优萃取头。

2)经检测后发现 4 种萃取头共从鸡肉香精中萃取出 146 种挥发性物质,物质成分复杂丰富,包括醇类、醛类、吡嗪类、呋喃(酮)类、含硫化合物、杂环类及其它化合物等香气物质,萃取到 2-甲基-3-呋喃硫醇、2-甲基-3-戊烷硫醇、反式-2,4-癸二烯醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛及反式-2-壬烯醛等多种关键肉香味化合物。

3)通过建立鸡肉香精风味评价模型筛选出最优萃取头,对其它样品香气物质的萃取及条件优化提供了一定的借鉴,可继续探索建立模糊数学评判法、主成分分析法等不同评价模型对挥发性物质萃取条件的优化。

参考文献:

[1] ZHUANG Mingzhu, LIN Lianzhu, ZHAO Mouming, et al. Sequence,

taste and umami-enhancing effect of the peptides separated from soy sauce[J]. Food Chemistry, 2016, 206 (3):174-181.

- [2] 于亚辉,谢昭鹏,张帆,等.鸡肉酶解产物制备热反应型风味基料的研究[J].中国调味品,2019(6):60-64.
- [3] 顾苑婷,彭邦远,丁筑红.基于 SPME-GC-MS 与 PCA 的不同萃取头萃取刺梨汁香气成分效果比较[J].食品与机械,2019(1):47-53
- [4] 冯云子. 高盐稀态酱油关键香气物质的变化规律及形成机理的研究[D].广州:华南理工大学,2015:15-17.
- [5] 傅若农.固相微萃取(SPME)近几年的发展[J].分析试验室,2015 (5):602-620.
- [6] 席嘉佩,詹萍,田洪磊,等.基于 SPME-GC-MS 和 PCA 的不同萃取头对新疆烤羊肉香气成分萃取效果比较 [J]. 食品科学,2018,9 (10):234-241.
- [7] 钱敏,白卫东,赵文红,等. SPME-GC-MS 法分析猪肉味香精中的挥发性成分[J].中国食品添加剂,2011(6):141-147.
- [8] 董琪,王武,陈从贵,等.发酵牛肉肠挥发性成分固相微萃取条件优化分析[J].食品科学,2014,35(12):174-178.
- [9] 王学敬,李聪,王玉峰,等. SPME-GC-MS 法分析德州扒鸡挥发性风味成分的条件优化及成分分析[J].南京农业大学学报,2016,39 (3):495-501.
- [10] 张德莉,田洪磊,詹萍,等. 基于 HS- SPME- GC- MS 技术的香葱油挥发性成分解析[J].食品研究与开发,2018,39(17):111-115.
- [11] TARA T, PIERGIORGIO C, IVA S, et al. Optimization of wine head-space analysis by solid-phase microextraction capillary gas chromatography with mass spectrometric and flame ionization detection[J]. Food Chemistry, 2005, 93: 361-369.
- [12] 蔡宇. 鸡汤中关键香气物质的鉴定及其鸡肉香精的制备[D].广州:华南理工大学,2015:4-6.
- [13] 于亚辉,杨亚平,方婷.肉香味物质研究进展[J].中国调味品,2019, 44(10):173-177.
- [14] 高琦,韩昊廷,李加恒,等.基于主成分分析法综合评价四种干燥方式对茼蒿脆片香气品质的影响[J].食品工业科技, 2018,39(22): 212-218,224.
- [15] WANG Y, SHENG H F, HE Y, et al. Comparison of the Levels of Bacterial Diversity in Freshwater, Intertidal Wetland, and Marine Sediments by Using Millions of Illumina Tags[J]. Applied & Environmental Microbiology, 2012, 78(23): 8264-8671.

加工编辑:王艳

收稿日期:2020-02-04