

# HPLC、GC-MS 结合多元统计分析方法探究不同地区板鸭风味差异

童红甘, 王武, 张华锋, 李沛军, 陈从贵, 陈静

(合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽合肥 230001)

**摘要:** 为探究不同地区板鸭风味物质的差异, 采用高效液相色谱、顶空固相微萃取-气相色谱质谱技术 (SPME-GC-MS) 分析六种板鸭的肌苷酸含量和挥发性成分, 并结合多元统计方法对风味物质进行综合分析。结果表明: 肌苷酸含量有显著差异, 其中南安板鸭肌苷酸含量最高, 扬州板鸭含量较低。SPME-GC-MS 共检测 109 种风味物质, 在各板鸭中醛类是含量最多的物质; OAV 分析得出 11 种关键挥发性风味化合物, 其中苯甲醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛是板鸭共有的关键风味物质; 己醛、壬醛、萘、(Z)-2-庚烯醛、(E)-2-辛烯醛、(E)-2-癸烯醛、1-辛烯-3-醇、2-正戊基呋喃和芳樟醇是影响不同地区板鸭风味差异的主要物质。主成分分析提取 3 个成分累计贡献率达到 85.017%, 对不同地区板鸭区分明显, 醛类、肌苷酸和酯类在 PC1 上贡献最大, 是板鸭制品的主体风味物质; 聚类分析也将不同地区板鸭分为 3 大类, 将距离放大各板鸭聚为一类。通过 OAV、主成分分析和聚类分析可知不同地区板鸭因风味物质和关键挥发性风味物质种类和含量等因素的变化而具有各自的特色。

**关键词:** 板鸭; 风味物质; 主成分分析; 聚类分析

文章编号: 1673-9078(2018)12-228-238

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.12.034

## Comparative Analysis Flavor Components of Dry-cured Ducks from Different Regions by HPLC, GC-MS Combined with Multivariate Statistical Analysis

TONG Hong-gan, WANG Wu, ZHANG Hua-feng, LI Pei-jun, CHEN Cong-gui, CHEN Jing

(School of Food and Bioengineering Hefei University of Technology, Hefei 230001, China)

**Abstract:** The aim of this study was to characterize the flavor components of dry-cured ducks from different regions. High performance liquid chromatography and solid phase microextraction gas-chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS) were used to analyze the inosinic acid content and volatile constituents of six dry-cured ducks, and multivariate statistical methods were used to analyze flavor compounds comprehensively. The results showed that there were significant differences in inosinic acid content, among which the inosinic acid content of Nanan duck was the highest and the content of Yangzhou duck was relatively low content. SPME-GC-MS detected a total of 109 flavors compounds, and the aldehydes were the most abundant substances. OAV analysis showed that 11 key volatile flavor compounds were identified, of which benzaldehyde and (E,E)-2,4-nonadienal were the common key flavor substances; hexanal, nonanal, (E)-2-octenal, (Z)-2-Heptenal, naphthalene, (E)-2-decenal, 1-octen-3-ol, 2-pentylfuran, and linalool were the main substances causing the difference in flavor of dry-cured ducks from different regions. The cumulative contribution rate of the three components extracted by principal component analysis reached 85.017%, which was obvious to the dry-cured ducks from different regions. The aldehydes, inosines and esters contributed the most on PC1, which were the main flavor compounds of the dry-cured duck products. Cluster analysis also divided the dry-cured ducks from different regions into three categories, and the distinction was obvious. It can be seen that the dry-cured ducks from different regions have their own characteristics due to changes in flavor substances and the types and contents of key volatile flavor substances.

**Key words:** dry-cured duck; flavor components; principal components analysis; cluster analysis

收稿日期: 2018-08-27

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0400801); 安徽省重点研究和开发计划项目 (1804a07020132)

作者简介: 童红甘 (1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品现代加工工程化技术

通讯作者: 王武 (1968-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 畜禽产品加工

板鸭是我国传统腌腊肉制品,因其口感独特、风味浓郁而深受广大消费者喜爱,尤以南京板鸭、江西板鸭、福建板鸭等著名<sup>[1]</sup>。与其他肉制品相比,板鸭具有水分低、蛋白质含量高特点<sup>[2]</sup>。板鸭风味包括挥发性风味和非挥发性风味,即香味和滋味。肌苷酸(inosinic acid, IMP)是动物组织中重要的非挥发性风味物质,与食品的滋味(鲜味)密切相关。肌肉组织中肌苷酸含量被作为评定肉类品质的重要指标,已广泛应用于各种肉类产品中,其含量的多少可间接反映出肉类食品风味的优劣<sup>[3,4]</sup>。板鸭的香气主要来自加工成熟过程中蛋白质降解、脂质氧化和美拉德反应以及它们之间的交互作用产生的挥发性风味物质,如醛类、醇类、酯类、酮类化合物等<sup>[5-7]</sup>,且不同地区板鸭具有不同的特征性风味,由于地域、环境、工艺等改变造成某些或者某种风味成分缺少或含量改变,整个肉制品的香味轮廓就会偏离原有的呈香状态<sup>[8,9]</sup>,特征性风味物质也会随之改变。

目前,国外对风味的研究主要集中在发酵香肠、火腿等产品<sup>[10-12]</sup>,而在鸭肉腌腊制品风味方面研究较少。国内对鸭肉风味的研究主要关注原料鸭的品种、脂质降解、氧化和蛋白质的分解以及内源酶的改变对风味产生的影响<sup>[13-15]</sup>,而不同地区板鸭特征性风味的比较关注较少。徐为民等<sup>[16]</sup>通过主成分分析法研究了南京板鸭的风味成分,结果表明第一主成分主要由反式-2-甲基-环戊醇、庚醛、戊醛、和己酸组成,第二主成分主要由己醛、3,4-环氧基-3-乙基-2-丁酮、L-柠檬烯和壬醛组成。曲直等<sup>[1]</sup>对南京板鸭、四川樟茶板鸭和南安板鸭的理化特性和风味物质进行分析,共鉴定63种风味成分,主要的风味化合物为醇类、羧酸类、酮类、烃类、酯类和醛类,从风味组成看四川板鸭和南京板鸭及南安板鸭差异较大,尤其是酮类化合物差异明显。常海军等<sup>[17]</sup>研究了在相同的生产季节下,不同部位的白市驿板鸭样品中醇类和酯类相对含量变化明显,而醛类和烃类变化不明显;而对于相同的肉品部位,不同季节生产的板鸭样品中醇类和醛类相对含量变化明显,而酯类和烃类含量变化不明显。

本研究为探索不同地区板鸭的风味差异,通过对6种板鸭的肌苷酸和挥发性成分进行定性定量检测,结合关键香气成分的气味活度值(odor activity value, OAV)、主成分分析(principal components analysis, PCA)和聚类分析(Cluster Analysis)方法进行综合分析,找寻其关键风味物质,分析比较风味物质的差异性及其原因,为风味评价、改善板鸭加工工艺研究提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

南安板鸭购于江西南安板鸭有限公司;沙县竹炭板鸭购于三明绿康食品有限公司;重庆白市驿板鸭购于白市驿板鸭食品旗舰店;南京板鸭购于南京聚客维食品有限公司;扬州板鸭购于扬州口缘食品有限公司;雷官板鸭购于安徽雷官板鸭有限公司。每种板鸭各买六只,均为2018年春季生产,取腿部肌肉进行试验。

肌苷酸标准品、2-辛醇、正构烷烃(C<sub>6</sub>-C<sub>22</sub>,色谱级)美国Sigma公司;甲醇(色谱纯)、高氯酸合肥泓熙生物技术有限公司;其他试剂均为国产分析纯。

### 1.2 仪器与设备

SCION SQ 四级杆气质联用仪美国布鲁克公司;75 μm CAR/PDMS 固相微萃取针、57330U 固相微萃取手柄美国Supelco公司;高效液相色谱仪、2998 二极管阵列检测器美国Waters公司;MINI4-UV 实验室纯水机科尔顿中国有限公司;TDZ5-WS 高速离心机长沙平凡仪器仪表有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 肌苷酸的测定

##### 1.3.1.1 肌苷酸标准储备液

参考刘文惠等<sup>[4]</sup>的方法,并稍作修改。准确称取肌苷酸标准品1 mg,用流动相定容至2 mL,摇匀,逐级稀释成不同浓度梯度,绘制标准曲线。

##### 1.3.1.2 样品前处理

样品经绞碎混匀后,准确称取2.50 g,置于50 mL烧杯中,用20 mL 3.5%高氯酸溶液匀浆3次,匀浆液转入离心管中,并用少量3.5%高氯酸洗涤烧杯,洗液并入离心管中,以4000 r/min离心10 min,吸取上清液,沉淀物用3.5 mL 3.5%高氯酸溶液再次洗涤、离心,合并两次上清液作为提取液。用0.5 mol/L NaOH溶液调pH至6.5,用超纯水定容至25 mL,摇匀,过0.22 μm滤膜,进样分析。

##### 1.3.1.3 色谱条件

色谱柱:UltimateXB-C18柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm);流动相:甲醇-水(95:5, V/V);流速:1 mL/min;柱温:25 °C;进样量:10 μL;紫外检测波长:254 nm;在该色谱条件下标品与样品中的肌苷酸均被洗脱,达到基线分离,无干扰。

#### 1.3.2 挥发性风味物质的测定

## 1.3.2.1 样品处理

准确称取绞碎的样品 4 g 和 2-辛醇（最终在样品中的质量分数为 0.206  $\mu\text{g/g}$ ）置于 10 mL 聚四氟乙烯垫密封的螺口样品瓶中，将 75  $\mu\text{m}$  CAR/PDMS 固相微萃取针暴露在样品瓶中，60  $^{\circ}\text{C}$  水浴 40 min，将萃取头插入 GC-MS 气相色谱进样口，250  $^{\circ}\text{C}$  解析 2 min，取出萃取头，进行气相色谱质谱分析。

## 1.3.2.2 GC-MS 条件

GC 条件：DB-5MS 毛细管色谱柱（60  $\text{m}\times 0.32\text{ mm}\times 1\ \mu\text{m}$ ，Agilent 公司）；进样口温度与接口温度均为 250  $^{\circ}\text{C}$ ，程序升温：初始柱温 40  $^{\circ}\text{C}$ ，保持 2 min，以 5  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  上升至 60  $^{\circ}\text{C}$ ；再以 10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  上升至 100  $^{\circ}\text{C}$ ，再以 18  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  上升至 240，保持 6 分钟；检测温度 240  $^{\circ}\text{C}$ ；载气为 He，流速为 1  $\text{mL}/\text{min}$ ；恒压 35 kPa，不分流。

MS 条件：离子源温度为 200  $^{\circ}\text{C}$ ，电子电离离子源；电子能量为 70 eV，灯丝电流为 150  $\mu\text{A}$ ，扫描质量范围 33~450  $m/z$ 。

## 1.3.2.3 化合物定性定量

利用美国布鲁克 GC-MS 工作站与 NIST 11 Library 数据库检索比对，匹配度达到 800 以上，结合在相同测定条件下对系列烷烃标准品进行分析，并根据公式（1）计算保留指数（RI），与文献中的 RI 值比较来进行定性分析；各成分的含量采用内标法进行半定量分析，按公式（2）计算：

$$RI=100\times\left[n+\frac{t_i-t_n}{t_{(n+1)}-t_n}\right] \quad (1)$$

式中： $t_n$  和  $t_{(n+1)}$  分别为碳数为  $n$  和  $n+1$  的正构烷烃保留时间； $t_i$  待测化合物的保留时间。

挥发性风味物质质量分数（ $\mu\text{g/g}$ ）=（挥发性风味物质峰面积/内标物峰面积） $\times$ 内标物的质量分数（2）

## 1.3.2.4 气味活度值（OAV）测定

按公式（3）计算：

$$OAV_i = \frac{C_i}{T_i} \quad (3)$$

式中： $C_i$  为某个组分的质量分数（ $\mu\text{g/g}$ ）； $T_i$  为该组分的感觉阈值（ $\text{mg/kg}$ ）。

## 1.4 数据分析

采用 IBM SPSS 20 软件进行数据统计分析和主成分分析；R 语言软件进行聚类分析；Origin 8.5 软件绘图。

## 2 结果与分析

## 2.1 肌苷酸分析

以相应组分的色谱峰面积（Y）对肌苷酸浓度（X， $\text{mg/mL}$ ）进行线性回归，其标准曲线方程为  $y=10^7x-64060$ ， $R^2=0.9995$ 。不同地区板鸭样品的肌苷酸含量如表 1 所示，从表中可以看出南安板鸭含量最高，扬州板鸭含量较低，白市驿板鸭与扬州板鸭和雷官板鸭差异不显著（ $p>0.05$ ），南京板鸭与其他板鸭存在显著性差异（ $p<0.05$ ）。大量研究表明<sup>[18,19]</sup>，肉质鲜味特性的主要物质基础是由肌苷酸所决定，因品种、性别、日龄、饲料、屠宰的条件、肉类储存的时间和条件、肌肉类型、添加剂的类型以及热处理条件等存在明显的差异。关于影响肌苷酸含量差异性的原因，国内外主要集中在牛肉、羊肉等肉制品，而对鸭肉制品研究较少，但其研究成果可供参考。Dashdorj<sup>[20]</sup>研究表明每种品种的肉都有其独特的滋味，虽然母牛肉具有比公牛肉更强的特征风味，但公牛的肉具有强烈的鲜味。Melton 等人<sup>[21]</sup>发现高能量的谷物饲料比低能量牧草在肉产品中产生更可接受的鲜味。肌苷酸同时也是香味物质的前体物质，其含量的改变，香味物质也会随之改变，Lorenzen 等<sup>[22]</sup>表明 IMP、吡嗪和己醇之间存在明显的相关性。

## 2.2 挥发性风味物质分析

经 SPME-GC-MS 对不同地区板鸭的挥发性成分进行检测分析，如表 2 所示，共鉴定出 109 种风味物质，其中包括 21 种醛类、21 种醇类、38 种烃类、9 种酯类、9 种酚类、4 种酮类、7 种其他类化合物。不同地区板鸭的挥发性成分不仅种类繁多且复杂，挥发性风味物质种类和含量存在一定的差异。

在 6 种不同地区板鸭的挥发性物质种类中，醛类是含量最高的物质，主要来源于不饱和脂肪酸氧化降解的线性醛和 Strecker 降解的支链醛<sup>[23]</sup>。

表 1 不同地区板鸭的肌苷酸含量

Table 1 Inosinic acid content of dry-cured duck in different regions

序号	N	S	C	Y	J	L
肌苷酸含量/（ $\text{mg/g}$ ）	2.10 $\pm$ 0.06 <sup>d</sup>	2.03 $\pm$ 0.07 <sup>d</sup>	0.97 $\pm$ 0.04 <sup>ab</sup>	0.83 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	1.37 $\pm$ 0.09 <sup>c</sup>	1.05 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>

注：N：南安板鸭，S：沙县竹炭板鸭，C：重庆白市驿板鸭，Y：扬州板鸭，J：南京板鸭，L：雷官板鸭（下同）；同行不同字母表示差异显著（ $p<0.05$ ）。



表 2、图 2 显示醛类具有较低气味阈值，且含量较高，对板鸭的整体风味起着重要的作用，不同地区板鸭的含量在 0.5~2.75 μg/g，其中南安板鸭的含量最高，白市驿板鸭的含量最低，其含量低的原因可能是与其他板鸭相比酚类物质含量较高。癸醛具有柑橘香和蜡香<sup>[24]</sup>，但其含量低于其气味阈值，对板鸭香味贡献不大。

醇类化合物主要由甲基酮和醛类的还原、氨基酸的降解及脂肪分解氧化产生，直链醇可以通过脂质氧化生成，而支链醇由 Strecker 降解产生的支链醛还原得到<sup>[25,26]</sup>，直链低级醇一般无风味，但随碳链的增加而产生芳香和脂肪香等香味。低气味阈值的醇是板鸭制品香味的贡献者，具有令人愉快的水果味和花香<sup>[27]</sup>。各地区板鸭的醇类含量比例均较高，醇类属普遍性挥发性风味物质，其中南京板鸭的醇类含量最高，种类最多，与徐为民等<sup>[16]</sup>的研究一致。1-戊醇带有面包香、酒香和果香，只在沙县竹炭板鸭和雷官板鸭中检测；苯乙醇只存在于南京板鸭中，具有玫瑰香，广泛应用于酿酒工业、化妆品和香料中。

从表 2、图 2 中可以看出，烃类的种类最多，是其他风味物质种类的 2~10 倍，其含量仅次于醛类。碳氢化合物来源于脂质氧化，其可由血红蛋白和肌红蛋白等催化形成<sup>[8]</sup>，但是碳氢化合物的气味阈值很高而对板鸭制品的质量香气贡献很小<sup>[28]</sup>。

板鸭中的酯类是在腌制过程中主要通过微生物（如乳酸菌和微球菌）作用于脂肪酸和醇类的酶促酯化而形成<sup>[29]</sup>，短链酸形成的酯具有果味，如己酸乙酯能够增强肉制品的果香，长链酸形成的酯具有脂肪味<sup>[30]</sup>。各酯类挥发性风味物质的气味阈值低，但各板鸭的酯类含量很低且低于气味阈值，可以认为它们对板鸭的香气贡献很小。

酚类是由酚酸类和木质素在微生物降解或酶降解过程中形成的<sup>[31]</sup>，表 2 显示被定量的酚类化合物共有 9 种，其中重庆白市驿板鸭含有 8 种，而其他地区板鸭的酚类化合物只有 2~3 种。图 2 显示白市驿板鸭的酚类物质含量显著高于其他地区板鸭，因为白市驿板鸭制作工艺中经过了烟熏加工<sup>[32]</sup>，烟熏肉制品中含量最多的是 2-甲氧基苯酚，2-甲基苯酚，和 4-乙基-2-甲

氧基苯酚等酚类化合物<sup>[8]</sup>，且这些物质是烟熏肉制品的特征性风味物质，其中 4-乙基-2-甲氧基苯酚有辛辣味、2-甲氧基-4-乙烯基苯酚有淡淡的丁香味<sup>[31]</sup>。

相关研究表明酮类化合物的来源是多样的，大多数酮由脂质氧化产生，少数酮如 3-羟基丁-2-酮通过美拉德反应形成<sup>[33]</sup>，也可以通过脂质自动氧化和微生物代谢产生<sup>[34]</sup>。图 2 表明相比于其他风味化合物种类，酮类在 6 种板鸭中含量均很低。2-庚酮有辛辣、蓝芝士、橡子的香气<sup>[8]</sup>，并且在沙县竹炭板鸭中含量较高，表 2 显示 2-庚酮的含量在不同板鸭之间存在着显著性差异，但其含量低于气味阈值，对板鸭的香气贡献较小。

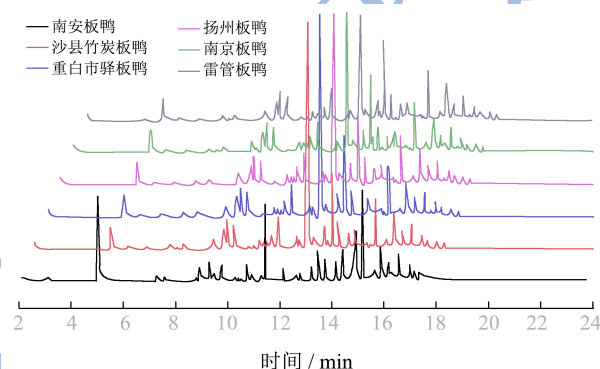


图 1 不同地区板鸭挥发性风味物质总离子流图

Fig.1 Total ion chromatograms for volatile components of dry-cured ducks in different regions

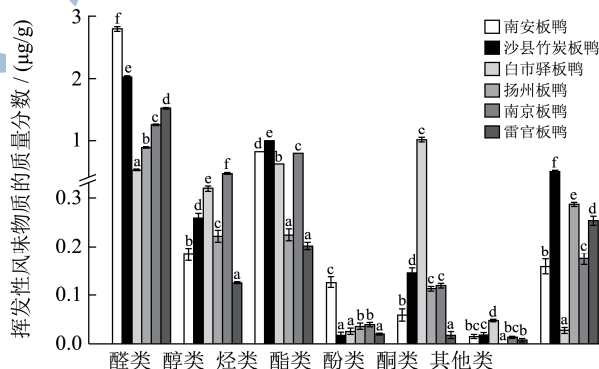


图 2 不同地区板鸭挥发性风味物质含量对比

Fig.2 Comparison of volatile flavor compounds of dry-cured ducks in different regions

表 2 不同地区板鸭挥发性风味组分的质量分数

Table 2 Relative concentrations of volatile flavor compounds of dry-cured ducks in different regions

NO	RI	挥发性风味物质/(μg/g)	N	S	C	Y	J	L	鉴定方式
<b>醛类</b>									
1	439	异戊醛	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.008±0.002 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0.003±0.001 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
2	461	2-甲基-庚醛	0 <sup>a</sup>	0.0142 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
3	840	己醛	1.531±0.12 <sup>f</sup>	1.212±0.09 <sup>e</sup>	0.043±0.021 <sup>a</sup>	0.301±0.035 <sup>b</sup>	0.522±0.074 <sup>c</sup>	0.715±0.068 <sup>d</sup>	MS/RI

转下页

接上页

4	542	丁二醛	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.027±0.002 <sup>b</sup>	MS
5	940	庚醛	0.026±0.009 <sup>e</sup>	0.022±0.004 <sup>de</sup>	0 <sup>a</sup>	0.008±0.004 <sup>b</sup>	0.010±0.008 <sup>bc</sup>	0.016±0.002 <sup>cd</sup>	MS/RI
6	664	(Z)-2-庚醛	0.256±0.037 <sup>e</sup>	0.017±0.008 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0.006±0.002 <sup>b</sup>	0.014±0.005 <sup>c</sup>	0.030±0.009 <sup>d</sup>	MS/RI
7	978	苯甲醛	0.131±0.021 <sup>c</sup>	0.141±0.018 <sup>d</sup>	0.163±0.011 <sup>e</sup>	0.099±0.024 <sup>b</sup>	0.160±0.032 <sup>e</sup>	0.062±0.009 <sup>a</sup>	MS/RI
8	889	苯乙醛	0.022±0.002 <sup>c</sup>	0.014±0.007 <sup>b</sup>	0.016±0.02 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0.017±0.004 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
9	920	(E)-2-辛烯醛	0.117±0.028 <sup>c</sup>	0.114±0.054 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0.188±0.011 <sup>e</sup>	0.074±0.009 <sup>b</sup>	0.122±0.017 <sup>d</sup>	MS/RI
10	957	3-羟基-2-甲基苯甲醛	0 <sup>a</sup>	0.049±0.007 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
11	990	十二醛	0.043±0.008 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.006±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
12	1009	壬醛	0.359±0.012 <sup>e</sup>	0.174±0.023 <sup>c</sup>	0.055±0.009 <sup>a</sup>	0.104±0.042 <sup>b</sup>	0.210±0.031 <sup>d</sup>	0.371±0.027 <sup>f</sup>	MS/R
13	1102	(E)-2-壬烯醛	0.060±0.006 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0.010±0.005 <sup>a</sup>	0.011±0.003 <sup>a</sup>	0.013±0.004 <sup>a</sup>	0.032±0.003 <sup>b</sup>	MS/RI
14	1169	葵醛	0.015±0.003 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.015±0.004 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
15	1185	(E,E)-2,4-壬二烯醛	0.056±0.007 <sup>c</sup>	0.034±0.005 <sup>a</sup>	0.054±0.004 <sup>c</sup>	0.056±0.003 <sup>c</sup>	0.049±0.005 <sup>b</sup>	0.036±0.006 <sup>a</sup>	MS/RI
16	1245	(E)-2-癸烯醛	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.002±0.001 <sup>b</sup>	0.013±0.003 <sup>d</sup>	0.011±0.002 <sup>c</sup>	0.014±0.004 <sup>c</sup>	MS/RI
17	1236	4-苯基丁醛	0 <sup>a</sup>	0.032±0.009 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
18	1314	(E,E)-2,4-癸二烯醛	0.111±0.065 <sup>c</sup>	0.169±0.013 <sup>e</sup>	0.119±0.016 <sup>c</sup>	0.084±0.008 <sup>a</sup>	0.160±0.017 <sup>d</sup>	0.098±0.012 <sup>b</sup>	MS/RI
19	1236	苯丁醛	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.032±0.006 <sup>c</sup>	0.018±0.003 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
20	1372	2-丁基-2-辛烯醛	0 <sup>a</sup>	0.040±0.008 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0.009±0.003 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
21	1775	十五烷醛	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.008±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
<b>醇类</b>									
22	826	1-戊醇	0 <sup>a</sup>	0.047±0.005 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.005±0.001 <sup>b</sup>	MS/RI
23	551	2-呋喃甲醇	0 <sup>a</sup>	0.073±0.006 <sup>c</sup>	0.165±0.004 <sup>d</sup>	0 <sup>a</sup>	0.004±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
24	901	正己醇	0.024±0.004 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
25	729	1-辛烯-3-醇	0.082±0.007 <sup>e</sup>	0.067±0.005 <sup>d</sup>	0 <sup>a</sup>	0.054±0.004 <sup>b</sup>	0.062±0.003 <sup>cd</sup>	0.058±0.004 <sup>bc</sup>	MS/RI
26	947	2-十五烷基-1-醇	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.015±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
27	943	(E)-2-辛烯-1-醇	0.016±0.003 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.21±0.004 <sup>b</sup>	0.017±0.003 <sup>b</sup>	MS
28	1030	苯乙醇	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.019±0.004 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
29	1139	萜品烯-4-醇	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.054±0.005 <sup>c</sup>	0.107±0.009 <sup>c</sup>	0.008±0.003 <sup>b</sup>	0.005±0.003 <sup>b</sup>	MS
30	1363	3-癸炔-2-醇	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.055±0.005 <sup>d</sup>	0 <sup>a</sup>	0.017±0.003 <sup>c</sup>	0.010±0.002 <sup>b</sup>	MS
31	1411	十三烷基二醇	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.007±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
32	1512	1-二十六醇	0.003±0.001 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.098±0.004 <sup>d</sup>	0.012±0.003 <sup>c</sup>	MS
33	1001	芳樟醇	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.029±0.003 <sup>c</sup>	0.039±0.004 <sup>d</sup>	0 <sup>a</sup>	0.017±0.002 <sup>b</sup>	MS/RI
34	1520	二十二醇	0.007±0.003 <sup>b</sup>	0.004±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
35	1364	2-癸烯-1-醇	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.019±0.003 <sup>b</sup>	0.021±0.004 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
36	1759	2-甲基-1-十六烷醇	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.003±0.001 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
37	1554	2-辛醇-1-癸醇	0.012±0.003 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
38	1577	3,7,11,15-四甲基-2-十六碳烯-1-醇	0.008±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
39	1599	2-己基-1-癸醇	0.024±0.003 <sup>d</sup>	0.009±0.003 <sup>c</sup>	0.008±0.002 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0.003±0.001 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
40	1641	2-辛基-1-十二烷醇	0 <sup>a</sup>	0.056±0.004 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
41	1662	3,7,11-三甲基-1-十二烷醇	0.005±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.017±0.003 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
42	1673	2-甲基-1-十六烷醇	0.002±0.001 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS

转下页

接上页

## 烃类

43	402	2-环丙基-丙烷	0 <sup>a</sup>	0.003±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.021±0.004 <sup>c</sup>	MS
44	628	三丙基己烯	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.003±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
45	703	甲苯	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.078±0.006 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
46	858	柠檬烯	0.002±0.001 <sup>a</sup>	0.012±0.002 <sup>b</sup>	0.021±0.004 <sup>cd</sup>	0.001±0.001 <sup>a</sup>	0.015±0.003 <sup>bc</sup>	0.027±0.003 <sup>d</sup>	MS/RI
47	1102	十一烷	0 <sup>a</sup>	0.011±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.018±0.003 <sup>c</sup>	MS/RI/S
48	1245	(Z)-2-十二烷	0.097±0.008 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.013±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
49	1252	1,3-二甲基-丁基苯	0 <sup>a</sup>	0.031±0.007 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
50	1363	1-十三炔	0 <sup>a</sup>	0.044±0.005 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
51	1392	(Z)-5-十一碳烯	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.007±0.003 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0.009±0.002 <sup>b</sup>	MS
52	1493	1-十五烯	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.021±0.003 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
53	1363	正十八炔	0.066±0.008 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
54	1472	2,6,10-三甲基十二烷	0.010±0.003 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.480±0.023 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
55	1400	十四烷	0.058±0.004 <sup>d</sup>	0.054±0.003 <sup>d</sup>	0.018±0.002 <sup>c</sup>	0.019±0.003 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0.009±0.002 <sup>b</sup>	MS/RI/S
56	1452	葵烷	0.014±0.003 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.021±0.003 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
57	1500	十五烷	0 <sup>a</sup>	0.204±0.021 <sup>d</sup>	0 <sup>a</sup>	0.005±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0.016±0.003 <sup>c</sup>	MS/RI/S
58	1483	2-甲基-1-十五碳烯	0.005±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
59	1493	1-十八烯	0.008±0.003 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.002±0.001 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
60	1599	1-十六碳烯	0 <sup>a</sup>	0.064±0.006 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
61	1600	十六烷	0.128±0.006 <sup>c</sup>	0.089±0.004 <sup>b</sup>	0.120±0.007 <sup>c</sup>	0.142±0.003 <sup>d</sup>	0.084±0.004 <sup>b</sup>	0.017±0.003 <sup>a</sup>	MS/RI/S
62	1532	5,8-二乙基-十二烷	0.004±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
63	1543	7-甲基-十五烷	0.016±0.003 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.006±0.002 <sup>b</sup>	MS
64	1548	2,6,10-三甲基-十四烷	0.023±0.004 <sup>c</sup>	0.003±0.002 <sup>b</sup>	0.002±0.001 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0.003±0.001 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
65	1678	十七烷	0 <sup>a</sup>	0.117±0.007 <sup>c</sup>	0.095±0.004 <sup>d</sup>	0 <sup>a</sup>	0.011±0.002 <sup>b</sup>	0.034±0.003 <sup>c</sup>	MS/RI/S
66	2059	二十一烷	0.061±0.006 <sup>c</sup>	0.010±0.004 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI/S
67	1566	3-甲基-十五烷	0.014±0.003 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.002±0.001 <sup>b</sup>	MS/RI
68	1582	3,5,24-三甲基-四十烷	0.005±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
69	1633	2,6,10-三甲基-十五烷	0.089±0.008 <sup>d</sup>	0.045±0.006 <sup>b</sup>	0.031±0.004 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0.003±0.001 <sup>a</sup>	0.001±0.001 <sup>a</sup>	MS
70	1650	癸基-环己烷	0.005±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
71	1878	十九烷	0.160±0.007 <sup>c</sup>	0.010±0.003 <sup>a</sup>	0.084±0.005 <sup>d</sup>	0.028±0.004 <sup>c</sup>	0.017±0.005 <sup>ab</sup>	0.020±0.004 <sup>bc</sup>	MS/RI/S
72	1765	2,6,10,14-四甲基-十六烷	0.037±0.006 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
73	1367	庚基苯	0 <sup>a</sup>	0.018±0.003 <sup>b</sup>	0.020±0.003 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
74	1101	戊基苯	0 <sup>a</sup>	0.097±0.008 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.003±0.001 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
75	1475	辛基苯	0 <sup>a</sup>	0.015±0.003 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.011±0.003 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
76	1245	乙基苯	0 <sup>a</sup>	0.091±0.007 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
77	992	月桂烯	0.009±0.003 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0.067±0.004 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0.042±0.003 <sup>d</sup>	0.018±0.0002 <sup>c</sup>	MS
78	1296	萜品烯	0 <sup>a</sup>	0.013±0.003 <sup>b</sup>	0.021±0.004 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
79	1104	松油烯	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.098±0.009 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0.002±0.001 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
80	1849	萘	0.010±0.002 <sup>b</sup>	0.016±0.003 <sup>cd</sup>	0.015±0.004 <sup>bcd</sup>	0.011±0.002 <sup>bc</sup>	0.018±0.003 <sup>d</sup>	0.003±0.001 <sup>a</sup>	MS/RI

## 酯类

81	831	正葵酸乙烯酯	0.077±0.007 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
82	1810	邻苯二甲酸二丁酯	0 <sup>a</sup>	0.015±0.003 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.005±0.002 <sup>b</sup>	0.006±0.002 <sup>b</sup>	MS

转下页

接上页

83	1236	乙酸-2-苯乙酯	0.021±0.003 <sup>d</sup>	0 <sup>a</sup>	0.003±0.002 <sup>a</sup>	0.001±0.001 <sup>a</sup>	0.016±0.002 <sup>c</sup>	0.009±0.004 <sup>b</sup>	MS/RI
84	1267	壬酸-2-丙烯酸酯	0.012±0.003 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
85	1392	癸酸乙酯	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.013±0.004 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
86	1737	十六烷酸乙酯	0 <sup>a</sup>	0.003±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
87	741	己酸乙酯	0.002±0.001 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0.018±0.004 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0.005±0.003 <sup>b</sup>	0.003±0.002 <sup>b</sup>	MS/RI
88	767	己酸苯酯	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.033±0.005 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
89	1392	5-甲基壬酸乙酯	0.011±0.004 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
<b>酚类</b>									
90	732	苯酚	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.394±0.087 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0.056±0.011 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
91	911	2-甲基-苯酚	0.045±0.012 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0.060±0.021 <sup>d</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.004±0.002 <sup>b</sup>	MS/RI
92	976	2-甲氧基-苯酚	0 <sup>a</sup>	0.102±0.034 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
93	956	3-甲基-苯酚	0 <sup>a</sup>	0.035±0.004 <sup>b</sup>	0.210±0.006 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0.034±0.003 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
94	1129	甲酚	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.029±0.007 <sup>b</sup>	0.087±0.006 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
95	1112	4-乙基-苯酚	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.086±0.004 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
96	1263	4-乙基-2-甲氧基-苯酚	0 <sup>a</sup>	0.009±0.002 <sup>b</sup>	0.176±0.023 <sup>c</sup>	0.024±0.003 <sup>d</sup>	0 <sup>a</sup>	0.014±0.002 <sup>c</sup>	MS/RI
97	1308	2-甲氧基-4-乙基苯酚	0.013±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0.026±0.003 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0.027±0.005 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
98	1355	2-甲氧基-3-(2-丙烯基)-苯酚	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.017±0.004 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
<b>酮类</b>									
99	937	苯乙酮	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.045±0.004 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
100	1404	3,5-二烯-2-壬酮	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.004±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
101	875	(E)-3-辛烯-2-酮	0.014±0.003 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.005±0.003 <sup>b</sup>	MS
102	667	2-庚酮	0 <sup>a</sup>	0.017±0.003 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.013±0.004 <sup>c</sup>	0.003±0.002 <sup>b</sup>	MS/RI
<b>其他类</b>									
103	433	吡啶	0 <sup>a</sup>	0.036±0.004 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.002±0.001 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	MS/RI
104	546	甲基-吡嗪	0 <sup>a</sup>	0.121±0.012 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
105	598	2,5-二甲基-吡嗪	0 <sup>a</sup>	0.107±0.023 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
106	1279	茴香脑	0.034±0.005 <sup>a</sup>	0.067±0.012 <sup>b</sup>	0.026±0.004 <sup>a</sup>	0.201±0.034 <sup>d</sup>	0.109±0.036 <sup>c</sup>	0.198±0.027 <sup>d</sup>	MS/RI
107	1668	顺式-13-二十碳烯酸	0.004±0.002 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS
108	955	2-正戊基呋喃	0.032±0.004 <sup>b</sup>	0.181±0.019 <sup>f</sup>	0 <sup>a</sup>	0.084±0.008 <sup>c</sup>	0.064±0.017 <sup>d</sup>	0.055±0.011 <sup>c</sup>	MS/RI
109	1162	4-烯丙基苯甲醚	0.088±0.012 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	MS

注: 同行不同字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

### 2.3 关键风味化合物分析

肉制品的香气是由数百种风味各异的挥发性物质混合而成, 然而只有少数的风味物质赋予食品特有的风味, 这些特征性风味化合物对于产品的最终感官特性是必不可少的<sup>[31]</sup>。采用 OAV 筛选对板鸭总体风味最大的组分, OAV>1 表示为板鸭的关键风味化合物, 对总体风味有直接影响。在一定范围内, OAV 越大表示对板鸭的总体风味贡献最大。

由表 3 可知, 不同地区板鸭关键风味物质 (OAV>1) 包括己醛、壬醛、萘、(Z)-2-庚烯醛、苯甲醛、(E)-2-辛烯醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛、(E)-2-癸烯

醛、1-辛烯-3-醇、2-正戊基呋喃和芳樟醇。各地区板鸭的关键风味物质数量和含量均不同, 其中苯甲醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛是 6 种不同地区板鸭共有的关键风味物质; 己醛、壬醛、萘、(Z)-2-庚烯醛、(E)-2-辛烯醛、(E)-2-癸烯醛、1-辛烯-3-醇、2-正戊基呋喃和芳樟醇是影响不同地区板鸭风味差异的主要物质。苯甲醛由氨基酸之间的反应产生, 也可以在脂质氧化过程中形成, 其气味阈值低且具有苦杏仁味<sup>[24]</sup>, 在 6 种板鸭中均有发现, OAV 为 1.03~2.71, 因此它对不同地区板鸭香气均有很大贡献。己醛作为评价氧化水平的一个指标, 低浓度的己醛具有令人愉悦的青香, 但浓度高会产生强烈的腐臭味<sup>[33]</sup>, 严重影响食品的风味。1-



辛烯-3-醇未在重庆白市驿板鸭中检测到,在其他板鸭中含量均很高,其气味阈值较低,且具有蘑菇香、泥土香<sup>[35]</sup>,出现在很多加热肉制品中,提高了肉类风味<sup>[36]</sup>。2-正戊基呋喃是沙县竹炭板鸭特有的风味物质,是与其他板鸭之间形成风味差异的主要成分,呋喃类

物质是氨基酸和糖通过美拉德反应及 Strecker 降解产生,通常具有甜香、豆香、果香等特征<sup>[33]</sup>,其存在可能对肉制品整体风味中起重要作用,同时也是脂质氧化的一个指标。

表3 不同地区板鸭特征性挥发性风味物质的气味活度值

Table 3 Odor activity value of key volatile flavor compound of dry-cured duck in different regions

No	名称	阈值/ (mg/kg)	OAV						风味描述	鉴定 方式
			N	S	C	Y	J	L		
1	己醛	0.08 <sup>[24,35]</sup>	19.12±0.12 <sup>f</sup>	15.16±0.21 <sup>e</sup>	0.53±0.02 <sup>a</sup>	3.76±0.09 <sup>b</sup>	6.52±0.12 <sup>c</sup>	8.93±0.13 <sup>d</sup>	青草香, 脂肪香 <sup>[24]</sup>	MS/RI
2	壬醛	0.15 <sup>[35]</sup>	2.39±0.03 <sup>e</sup>	1.16±0.05 <sup>c</sup>	0.36±0.04 <sup>a</sup>	0.69±0.02 <sup>b</sup>	1.4±0.06 <sup>d</sup>	2.47±0.12 <sup>e</sup>	青味, 油脂味 <sup>[35]</sup>	MS/RI
3	萘	0.014 <sup>[37]</sup>	1.28±0.02 <sup>e</sup>	0.42±0.02 <sup>b</sup>	1.07±0.04 <sup>d</sup>	0.78±0.02 <sup>c</sup>	1.28±0.04 <sup>e</sup>	0.21±0.01 <sup>a</sup>	樟脑丸味 <sup>[37]</sup>	MS/RI
4	(Z)-2-庚烯醛	0.034 <sup>[38]</sup>	7.53±0.13 <sup>f</sup>	0.5±0.03 <sup>d</sup>	0 <sup>a</sup>	0.17±0.02 <sup>b</sup>	0.41±0.03 <sup>c</sup>	0.88±0.02 <sup>e</sup>	烘烤, 蔬菜味 <sup>[38]</sup>	MS/RI
5	苯甲醛	0.06 <sup>[24]</sup>	2.17±0.05 <sup>c</sup>	2.35±0.06 <sup>d</sup>	2.71±0.08 <sup>e</sup>	1.65±0.04 <sup>b</sup>	2.66±0.05 <sup>e</sup>	1.03±0.05 <sup>a</sup>	苦杏仁味 <sup>[24]</sup>	MS/RI
6	(E)-2-辛烯醛	0.004 <sup>[35]</sup>	29.25±0.13 <sup>c</sup>	28.5±0.09 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	47±0.21 <sup>e</sup>	18.5±0.17 <sup>b</sup>	30.5±0.18 <sup>d</sup>	果香, 脂肪香 <sup>[35]</sup>	MS/RI
7	(E,E)-2,4- 壬二烯醛	0.00009 <sup>[37]</sup>	622±12.74 <sup>de</sup>	377±8.65 <sup>a</sup>	596±11.34 <sup>d</sup>	622±15.1d <sup>e</sup>	543±4.23 <sup>c</sup>	400±3.21 <sup>b</sup>	花果, 油脂香气 <sup>[37]</sup>	MS/RI
8	(E)-2-癸烯醛	0.0003 <sup>[37]</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	6.67±0.14 <sup>b</sup>	43±1.23 <sup>d</sup>	36.67±1.42 <sup>c</sup>	43.33±2.32 <sup>d</sup>	柑橘香 <sup>[37]</sup>	MS/RI
9	1-辛烯-3-醇	0.001 <sup>[35]</sup>	82±2.53 <sup>f</sup>	67±1.94 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	54±1.36 <sup>b</sup>	62±0.98 <sup>d</sup>	58±1.25 <sup>c</sup>	蘑菇, 泥土香 <sup>[24]</sup>	MS/RI
10	2-正戊基呋喃	0.1 <sup>[35]</sup>	0.32±0.04 <sup>b</sup>	1.81±0.58 <sup>e</sup>	0 <sup>a</sup>	0.84±0.05 <sup>d</sup>	0.64±0.07 <sup>c</sup>	0.55±0.06 <sup>c</sup>	豆香, 焦味 <sup>[35]</sup>	MS/RI
11	芳樟醇	0.006 <sup>[39]</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	4.83±0.19 <sup>c</sup>	6.5±0.45 <sup>d</sup>	0 <sup>a</sup>	2.83±0.18 <sup>b</sup>	花香, 柑橘, 铃兰香 <sup>[17,39]</sup>	MS/RI

注: 同行不同字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

## 2.4 主成分分析和聚类分析

对不同地区板鸭的肌苷酸、各种类挥发性风味物质和关键风味化合物进行主成分分析, 结果见表 4。取特征值大于 3, 得到 3 个主成分, PC1、PC2 和 PC3

累计方差贡献为 85.017%, 能够解释样本绝大部分信息。将样品各个特征向量标准化后, 取特征值大于 5, 不同地区板鸭的得分图和因子载荷得分图如图 3 所示。

表4 相关矩阵特征值

Table 4 The characteristic value of correlation matrix

成份	初始特征值			载荷抽出平方和		
	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
PC1	7.505	39.499	39.499	7.505	39.499	39.499
PC2	5.355	28.185	67.685	5.355	28.185	67.685
PC3	3.293	17.332	85.017	3.293	17.332	85.017
PC4	1.723	9.071	94.087	1.723	9.071	94.087
PC5	1.123	5.913	100	1.123	5.913	100

由图 3(a)可知, 不同地区板鸭在主成分空间上的分布较为分散, 各板鸭均处于相对独立的空间, 由此可见, 主成分分析方法对不同地区板鸭有较好的区分效果, 也说明各板鸭挥发性成分的相对含量有着一定程度的区别。由图 3(b)可知 2 个椭圆分别表示 50%和 100%的贡献率, 位于 2 个椭圆之间的香气物质与板鸭的总体风味有良好的相关性, 结合表 3 可知, 主成分的贡献率与 OAV>1 的关键风味化合物贡献率基本一

致。且 3(b)显示 PC1 将醛类、肌苷酸、酯类、烃类和酚类、酮类、醇类明显地区分开, 且醛类、肌苷酸和酯类在 PC1 上贡献最大, 说明这 3 类是板鸭制品的主体风味物质。

从图 3 可知沙县竹炭板鸭在 PC1 上得分较高, 白市驿板鸭在 PC2 上得分较高, 南安板鸭在 PC1 和 PC2 上的得分均较高, 原因可能是特征性风味物质种类多且含量较高。南京板鸭、扬州板鸭与雷官板鸭相隔较



近,说明其相关性较大。从图 3(b)中可以看出,己醛、壬醛与醛类距离很近,表明他们之间相关性很大,即己醛、壬醛可以反映大部分醛类在香气方面的贡献。脂质氧化产生的壬醛、己醛通常能在干腌肉制品中检测到,并且具有花香,青香和果香,有助于整体香味的形成。图 3(b)和图 4 显示 F1 (己醛)、F2 (壬醛)、F4 ((Z)-2-庚烯醛)和 F9 (1-辛烯-3-醇)相关性很大,说明在板鸭中含量较高。

为了进一步的分析不同地区板鸭的差异性,将 11 种关键风味物质进行层次聚类分析,生成的聚类热图如图 5 所示。根据组间平均距离法可以将板鸭分为 3 大类,其中南京板鸭、扬州板鸭和雷官板鸭距离较近,归为一类;白市驿板鸭为一类,其原因可能是白市驿板鸭苯甲醛和芳樟醇含量显著高于其他板鸭,而未检测出(E)-2-辛烯醛和 1-辛烯-3-醇;重庆白市驿板鸭和南安板鸭距离较近,归为一类;这与 PCA 结果一致。将距离放大各板鸭聚为一类,表明板鸭的起源可能相同,只是在长期的发展中,因地域、环境、鸭肉品种、日龄、性别、饲料和加工工艺等的改变而出现各种各样的地方特色板鸭。

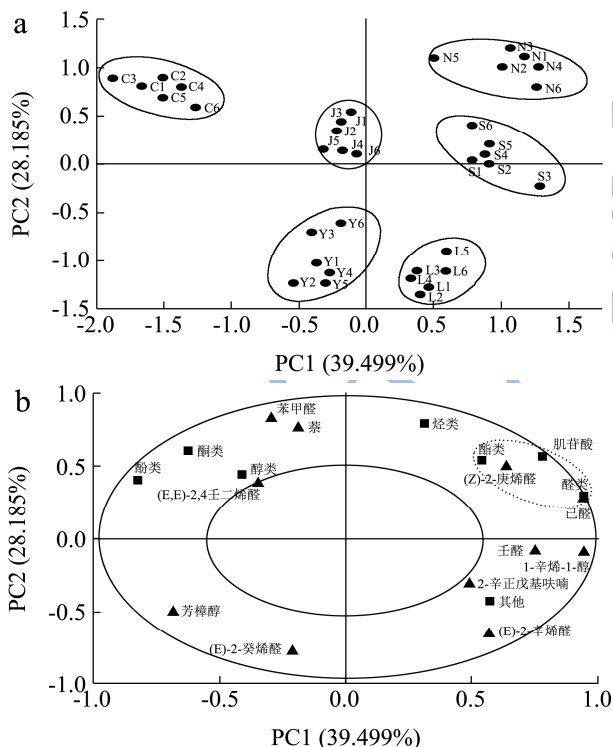


图 3 不同地区板鸭风味物质主成分分析图

Fig.3 Principal components analysis of flavor components of dry-cured duck in different regions

注: (a) 表示不同地区板鸭的得分图; (b) 表示载荷得分图; N1-N6: 南安板鸭, S1-S6: 沙县竹炭板鸭, C1-C6: 重庆白市驿板鸭, Y1-Y6: 扬州板鸭, J1-J6: 南京板鸭, L1-L6: 雷官板鸭(同下)。

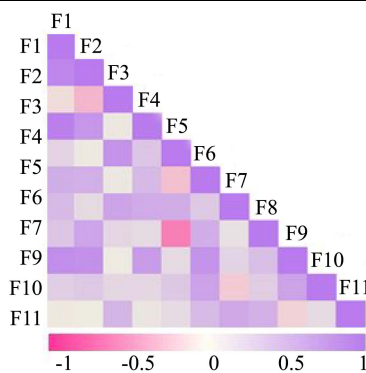


图 4 关键风味物质相关性热图

Fig.4 Related heat map of key flavor components

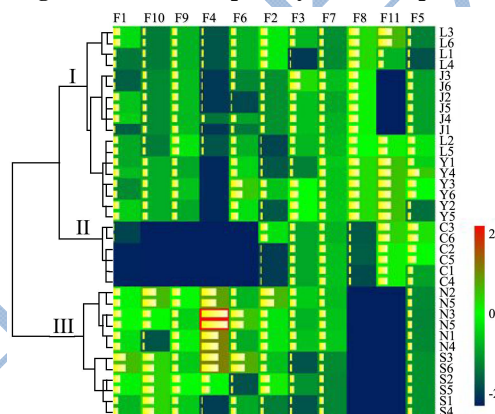


图 5 关键风味物质聚类分析热图

Fig.5 Cluster analysis heat map of key flavor components

注: F1: 己醛, F2: 壬醛, F3: 萘, F4: (Z)-2-庚烯醛, F5: 苯甲醛, F6: (E)-2-辛烯醛, F7: (E,E)-2,4-壬二烯醛, F8: (E)-2-癸烯醛, F9: 1-辛烯-3-醇, F10: 2-正戊基咪喃, F11: 芳樟醇。

### 3 结论

3.1 采用 HPLC 和 SPME-GC-MS 对不同地区板鸭的肌苷酸和挥发性成分进行定性定量检测分析。对不同地区板鸭肌苷酸含量而言, 南安板鸭含量最高, 扬州板鸭含量较低, 白市驿板鸭与扬州板鸭和雷官板鸭差异不显著 ( $p>0.05$ ), 南京板鸭和雷官板鸭与其他板鸭均存显著性差异 ( $p<0.05$ ); SPME-GC-MS 共检测 109 种风味物质, 其中醛类含量最多。由 OAV 分析得到 11 种关键风味化合物, 其中苯甲醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛是 6 种不同地区板鸭共有的特征性风味物质; 己醛、壬醛、萘、(Z)-2-庚烯醛、(E)-2-辛烯醛、(E)-2-癸烯醛、1-辛烯-3-醇、2-正戊基咪喃和芳樟醇是影响不同地区板鸭风味差异的主要物质。

3.2 由主成分分析可知, 不同地区板鸭分布较为分散, 主成分分析法将不同地区板鸭区分较好。醛类、肌苷酸和酯类在 PC1 上贡献最大, 是板鸭制品的主体风味物质。2-正戊基咪喃是沙县竹炭板鸭特有的风味

物质,是与其他板鸭之间形成风味差异的主要成分。聚类分析表明南京板鸭、扬州板鸭和雷官板鸭距离较近,归为一类;重庆白市驿板鸭和南安板鸭距离较近,归为一类;白市驿板鸭为一类。将距离放大各板鸭聚为一类,表明板鸭的起源可能相同,因地域、环境、鸭肉品种和加工工艺等因素的变化而出现各种各样的地方特色板鸭。本实验的研究结果为板鸭风味评价、工艺改良提供一定的参考价值。

## 参考文献

- [1] 曲直,林耀盛,唐道邦,等.不同品种板鸭的理化特性及风味物质比较[J].现代食品科技,2014,30(7):273-278  
QU Zhi, LIN Yao-sheng, TANG Dao-bang, et al. Physicochemical properties of different dry cured duck and differences of volatile compounds [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(7): 273-278
- [2] Lorenzo J M, Purrinos L, Temperan S, et al. Physicochemical and nutritional composition of dry-cured duck breast [J]. Poultry Science, 2011, 90(4): 931-940
- [3] Dashdorj D, Amna T, Hwang I. Influence of specific taste-active components on meat flavor as affected by intrinsic and extrinsic factors: an overview [J]. European Food Research and Technology, 2015, 241(2): 157-171
- [4] 刘文惠,星玉秀,董琦,等.青海藏系绵羊肉中肌苷酸,肌苷的含量测定 [J].食品科学,2009,30(8):238-240  
LIU Wen-hui, XING Yu-xiu, DONG Qi, et al. Quantitative determination of inosinic acid and inosine in tibetan sheep muscle by HPLC [J]. Food Science, 2009, 30(8): 238-240
- [5] Lorenzo J M. Changes on physico-chemical, textural, lipolysis and volatile compounds during the manufacture of dry-cured foal "cecina" [J]. Meat Sci, 2014, 96(1): 256-263
- [6] HUANG Y, LI H, HUANG T, et al. Lipolysis and lipid oxidation during processing of Chinese traditional smoke-cured bacon [J]. Food Chem, 2014, 149: 31-39
- [7] YING W, YA-TING J, JIN-XUAN C, et al. Study on lipolysis-oxidation and volatile flavour compounds of dry-cured goose with different curing salt content during production [J]. Food Chem, 2016, 190: 33-40
- [8] Petricevic S, Marusic Radoveic N, Lukic K, et al. Differentiation of dry-cured hams from different processing methods by means of volatile compounds, physico-chemical and sensory analysis [J]. Meat Sci, 2017, 137: 217-227
- [9] SONG S, TANG Q, FAN L, et al. Identification of pork flavour precursors from enzyme-treated lard using Maillard model system assessed by GC-MS and partial least squares regression [J]. Meat Sci, 2017, 124: 15-24
- [10] Cano-Garcia L, Rivera-Jimenez S, Belloch C, et al. Generation of aroma compounds in a fermented sausage meat model system by Debaryomyces hansenii strains [J]. Food Chem, 2014, 151: 364-373
- [11] Lorenzo J M, Gomez M, Purrinos L, et al. Effect of commercial starter cultures on volatile compound profile and sensory characteristics of dry-cured foal sausage [J]. J Sci Food Agric, 2016, 96(4): 1194-1201
- [12] Flores M. Understanding the implications of current health trends on the aroma of wet and dry cured meat products [J]. Meat Science, 2018, 144(10): 53-61
- [13] 徐为民,徐幸莲,周光宏,等.南京板鸭生产过程中脂肪酶和磷脂酶的活力变化研究[J].食品科学,2007,28(11):302-305  
XU Wei-min, XU Xing-lian, ZHOU Guang-hong, et al. Study on changes of lipase and phospholipase during processing nanjing dry-cured duck [J]. Food Science, 2007, 28(11): 302-305
- [14] XU W, XU X, ZHOU G, et al. Changes of intramuscular phospholipids and free fatty acids during the processing of Nanjing dry-cured duck [J]. Food Chem, 2008, 110(2): 279-284
- [15] WANG D Y, ZHANG M H, BIAN H, et al. Proteolysis and cathepsin activities in the processing of dry-cured duck [J]. Poultry Science, 2014, 93(3): 687-694
- [16] 徐为民,周光宏,徐幸莲,等.南京板鸭生产过程中风味成分组成及其变化[J].南京农业大学学报,2007,30(1):109-115  
XU Wei-min, ZHOU Guang-hong, XU Xing-lian, et al. Composition and changes of flavor composition in nanjing dry-cured duck production process [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2007, 30(1): 109-115
- [17] 常海军,谢娜娜,余艳.重庆白市驿板鸭挥发性物质及其风味特性分析[J].食品科学,2016,37(8):136-141  
CHANG Hai-jun, XIE Na-na, YU Yan. Analysis of volatile compounds and flavor characteristics of chongqing baishiyi salted duck [J]. Food Science, 2016, 37(8): 136-141
- [18] Kosowska M, A. Majcher M, Fortuna T. Volatile compounds in meat and meat products [J]. Food Science and Technology, 2017, 37(1): 1-7
- [19] Poojary M M, Orlie V, Passamonti P, et al. Improved extraction methods for simultaneous recovery of umami compounds from six different mushrooms [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2017, 63: 171-183
- [20] Gorraiz C, Beriain M J, Chasco J, et al. Effect of aging time on volatile compounds, odor, and flavor of cooked beef from

- pirenaica and friesian bulls and heifers [J]. *J Food Sci*, 2002, 67(3): 916-922
- [21] Melton S L, Black J M, Davis G W, et al. Flavor and selected chemical components of ground beef from steers backgrounded on pasture and fed corn up to 140 days [J]. *J Food Sci*, 2010, 47(3): 699-704
- [22] Lorenzen C L, Davuluri V K, Adhikari K, et al. Effect of end-point temperature and degree of doneness on sensory and instrumental flavor profile of beefsteaks [J]. *J Food Sci*, 2005, 70(2): S113-S118
- [23] Perez-Santaescolastica C, Carballo J, Fulladosa E, et al. Effect of proteolysis index level on instrumental adhesiveness, free amino acids content and volatile compounds profile of dry-cured ham [J]. *Food Res Int*, 2018, 107: 559-566
- [24] Garcíagonzález D L, Aparicio R, Aparicio Ruiz R. Volatile and amino acid profiling of dry cured hams from different swine breeds and processing methods [J]. *Molecules*, 2013, 18(4): 3927-3947
- [25] Pérez-Palacios T, Ruiz J, Martín D, et al. Influence of pre-cure freezing on the profile of volatile compounds during the processing of Iberian hams [J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2010, 90(5): 882-890
- [26] Gaspardo B, Procida G, Toso B, et al. Determination of volatile compounds in San Daniele ham using headspace GC-MS [J]. *Meat Science*, 2008, 80(2): 204-209
- [27] Sabio E, Vidal-Aragón M C, Bernalte M J, et al. Volatile compounds present in six types of dry-cured ham from south European countries [J]. *Food Chemistry*, 1998, 61(4): 493-503
- [28] WU H, ZHUANG H, ZHANG Y, et al. Influence of partial replacement of NaCl with KCl on profiles of volatile compounds in dry-cured bacon during processing [J]. *Food Chemistry*, 2015, 172: 391-399
- [29] Purrinos L, Bermudez R, Franco D, et al. Development of volatile compounds during the manufacture of dry-cured "lacon," a Spanish traditional meat product [J]. *J Food Sci*, 2011, 76(1): C89-C97
- [30] Pugliese C, Sirtori F, Skrlep M, et al. The effect of ripening time on the chemical, textural, volatile and sensorial traits of biceps femoris and Semimembranosus muscles of the Slovenian dry-cured ham Kraski prsut [J]. *Meat Sci*, 2015, 100: 58-68
- [31] Kosowska M, Majcher M A, Jelen H H, et al. Key Aroma Compounds in Smoked Cooked Loin [J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66(14): 3683-3690
- [32] 王卫,李俊霞,张佳敏,等.传统板鸭产品特性及其加工改进研究[J].*成都大学学报(自然科学版)*,2016,35(3):229-233  
WANG Wei, LI Jun-xia, ZHANG Jia-min, et al. Research on characteristics and processing improvement of traditional plate duck products [J]. *Journal of Chengdu University (Natural Science)*, 2016, 35(3): 229-233
- [33] Lorenzo J M, Carballo J, Franco D. Effect of the inclusion of chestnut in the finishing diet on volatile compounds of dry-cured ham from celta pig breed [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2013, 96(11): 211-223
- [34] And R R, Cava R. Volatile Profiles of dry-cured meat products from three different iberian x duroc genotypes [J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55(5): 1923-1931
- [35] Garcia-Gonzalez D L, Tena N, Aparicio-Ruiz R, et al. Relationship between sensory attributes and volatile compounds qualifying dry-cured hams [J]. *Meat Sci*, 2008, 80(2): 315-325
- [36] Nollet L, Boylston T, Chen F, et al. Handbook of meat, poultry and seafood quality [J]. *Handbook of Meat Poultry & Seafood Quality*, 2007, 37
- [37] 王永倩.油条风味分析评价及其形成机理初步研究 [D].合肥:合肥工业大学,2017  
WANG Yong-qian. Evaluation of youtiao flavor and preliminary studies on its formation mechanism [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2017
- [38] Corral S, Salvador A, Flores M. Elucidation of key aroma compounds in traditional dry fermented sausages using different extraction techniques [J]. *J Sci Food Agric*, 2015, 95(6): 1350-1361
- [39] Larsen M, Poll L. Odour thresholds of some important aroma compounds in strawberries [J]. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 1992, 195(2): 120-123