

# 不同三穗鸭蛋的挥发性风味成分比较分析

于沛<sup>1</sup>, 王修俊<sup>1</sup>, 刘林新<sup>1</sup>, 杨丽平<sup>1</sup>, 陈颜红<sup>1</sup>, 聂黔丽<sup>1</sup>, 杨万云<sup>2</sup>, 姚碧琼<sup>2</sup>

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州省发酵工程与生物制药重点实验室, 贵州贵阳 550025)

(2. 三穗县农业农村局, 贵州三穗 556500)

**摘要:** 为研究两种养殖方式及品种对贵州三穗鸭蛋挥发性风味成分的影响。采用固相微萃取-气相色谱-质谱 (SPME-GC-MS) 联用技术分析比较三种鸭蛋 (农户散养的三穗麻鸭蛋、企业规模养殖的三穗麻鸭蛋、企业规模养殖的纯白鸭蛋) 的风味物质组成及差异, 并结合相对气味活度值 (ROAV) 方法分析不同风味物质对整体风味的贡献程度。结果表明: 三种鸭蛋中分别检出 33 种、29 种、24 种风味物质。三穗麻鸭蛋 (农户散养) 与纯白鸭蛋 (企业规模养殖) 的烷烃类物质相对含量最高, 三穗麻鸭蛋 (企业规模养殖) 的酮类物质相对含量最高。乙醇、3-甲基丁醛、戊醛、己醛、庚醛、苯甲醛、辛醛、壬醛、癸醛乙醚、丁醚、2-戊酮、2-庚酮、2-壬酮、苯乙烯、十二烷、十三烷、1-辛烯、甲基环戊烷为三种鸭蛋共有的风味物质。结合 ROAV 分析得到: 对三种鸭蛋的整体风味贡献程度较大的风味物质均为壬醛、3-甲基丁醛、戊醛、己醛、庚醛、辛醛、癸醛、2-壬酮。以农户散养的方式养殖的三穗麻鸭蛋的风味成分最丰富, 风味品质要好于三穗麻鸭蛋 (企业规模养殖), 其脂香味和蛋腥味较突出。两种品种相同的三穗麻鸭蛋的整体风味好于纯白鸭蛋 (企业规模养殖)。

**关键词:** 养殖方式; 品种; 三穗麻鸭蛋; 纯白鸭蛋; ROAV; 挥发性风味成分

文章编号: 1673-9078(2021)01-216-222

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.01.0721

## Comparative Analysis of Volatile Flavor Components of Different Sansui Duck Eggs

YU Pei<sup>1</sup>, WANG Xiu-jun<sup>1</sup>, LIU Lin-xin<sup>1</sup>, YANG Li-ping<sup>1</sup>, CHEN Yan-hong<sup>1</sup>, NIE Qian-li<sup>1</sup>, YANG Wan-yun<sup>2</sup>,  
YAO Bi-qiong<sup>2</sup>

(1. School of Liquor and Food Engineering, Guizhou Provincial Key Laboratory of Fermentation Engineering and Biopharmacy, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

(2. Agricultural and rural Bureau of Sansui County, Sansui 556500, China)

**Abstract:** To study the effects of two breeding methods and varieties on the volatile flavor components of Guizhou Sansui duck eggs, solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS) technology was used to analyze and compare three kinds of duck eggs (farmers free-raising Sansui Ma duck eggs, enterprise-scale breeding Sansui Ma duck eggs, enterprise-scale breeding pure white duck eggs). The composition and difference of flavor substances of duck and duck eggs, and the relative odor activity value (ROAV) method were applied to analyze the contribution of different flavor substances to the overall flavor. The results showed that 33 kinds, 29 kinds and 24 kinds of flavor substances were detected in the three kinds of duck eggs, respectively. The relative content of alkanes is the highest in Sansui Ma duck eggs (farmer-raised) and pure white duck eggs (corporate-scale breeding), and the relative content of ketones in Sansui Ma duck eggs (business-scale breeding) is the highest. Ethanol, 3-methylbutanal, valeraldehyde, hexanal, heptanal, benzaldehyde, octyl aldehyde, nonanal,

引文格式:

于沛,王修俊,刘林新,等.不同三穗鸭蛋的挥发性风味成分比较分析[J].现代食品科技,2021,37(1): 216-222

YU Pei, WANG Xiu-jun, LIU Lin-xin, et al. Comparative analysis of volatile flavor components of different sansui duck eggs [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(1): 216-222

收稿日期: 2020-07-31

基金项目: 中央引导地方科技发展专项(黔科中引地[2018]4020号); 贵州省科技计划项目([2017]2555); 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2016]2537号); 三穗县科技项目([2016]003); 三穗县鸭产业化建设管理办公室委托项目(K19-0115-005)

作者简介: 于沛(1995-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程

通讯作者: 王修俊(1965-), 男, 教授, 研究方向: 食品安全、食品发酵技术

decanal ether, butyl ether, 2-pentanone, 2-heptanone, 2-nonanone, benzene Ethylene, dodecane, tridecane, 1-octene, and methylcyclopentane are the flavor substances shared by the three duck eggs. Combined with ROAV analysis, it is obtained that the flavor substances that have a greater degree of contribution to the overall flavor of the three duck eggs are nonanal, 3-methylbutanal, valeraldehyde, hexanal, heptanal, octanal, decanal, and 2-nonanone. Sansui Ma duck eggs raised by farmers in a free-range manner have the richest flavor components, and their flavor quality is better than Sansui Ma duck eggs (corporate-scale breeding), and their fat flavor and egg smell are more prominent. The overall flavor of the two species of the same Sansui Ma duck eggs is better than the pure white duck eggs (corporate-scale breeding).

**Key words:** breeding method; species; Sansui ma duck egg; pure white duck duck egg; ROAV; volatile flavor components

三穗鸭是中国地方优良麻鸭品种,具有产蛋量大,营养物质含量丰富,肉制细嫩等特点。三穗麻鸭蛋具有高品质的蛋白质和均衡的矿物质与维生素<sup>[1]</sup>,目前对于三穗麻鸭蛋产品的加工技术和其营养成分的分析都有涉及研究,沈畅萱等<sup>[2]</sup>对贵州三穗特色麻鸭蛋进行成分分析及营养评价,徐雯等<sup>[3]</sup>探究了三穗皮蛋的腌制工艺,得出了  $\text{CuSO}_4$  对皮蛋腌制过程的影响,但是关于挥发性风味物质的分析与评价仍然是空白。关于鸭蛋产品风味的研究较少,主要是加工方法对于鸭蛋产品风味品质的影响,普蕊<sup>[4]</sup>等研究了天然香料对咸鸭蛋品质、风味与脂质氧化的影响研究,得出在腌制过程中添加大蒜油、丁香提取液等天然香辛料可明显提高咸鸭蛋的风味品质。余平莲<sup>[5]</sup>研究了咸鸭蛋加工过程中风味物质的变化。目前国内对于不同品种,不同养殖方式及品种的鸭蛋风味品质差异的研究鲜有报道。为系统的分析两种不同养殖方式的三穗麻鸭蛋的风味成分,并与三穗大规模养殖的纯白鸭鸭蛋做对比,以三穗麻鸭蛋(农户散养),三穗麻鸭蛋(企业规模养殖),纯白鸭鸭蛋(企业规模养殖)为研究对象,采用固相微萃取-气质联用仪(solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry, SPME-GC-MS)方法检测三种鸭蛋的挥发性风味物质,并结合刘登勇等<sup>[6]</sup>提出的相对气味活度值(relative odor activity value, ROAV)方法判断挥发性风味成分对整体风味的贡献程度。为三穗麻鸭蛋产业的发展提供更全面更系统的科学依据,为鸭蛋产业养殖方式的选择,鸭蛋副产品原料的选择及生产加工过程中其香气品质的调控提供更全面的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

三穗麻鸭蛋(农户散养)主要以杂粮喂养,购于贵州三穗县吊洞村;三穗麻鸭蛋(企业规模养殖)主要以饲料喂养,购于贵州三穗鸭业翼宇有限公司;纯白鸭鸭蛋(企业规模养殖),购于贵州三穗鸭业翼宇有限公司。

### 1.2 仪器与设备

HP6890/5975C 气相-质谱联用仪,美国安捷伦公司;2 cm-50/30  $\mu\text{m}$ DVB/CAR/PDMS StableFlex 手动固相微萃取装置,美国 Supelco 公司;HP6890/5975C GC/MS 联用仪,美国安捷伦公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 样品处理

取混匀样品 5 g,置于 50 mL 固相微萃取仪采样瓶中,插入装有 2 cm-50/30  $\mu\text{m}$  DVB/CAR/PDMS StableFlex 纤维头的手动进样器,在 60 °C 的平板加热条件下,顶空萃取 50 min 时间后,移出萃取头并立即插入气相色谱仪进样口(温度 250 °C)中,热解析 6 min 进样。

#### 1.3.2 试验方法

色谱条件:色谱柱为 HP-5MS (60 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ ) 弹性石英毛细管柱,柱温 40 °C (保留 2 min),以 3 °C/min 升温至 157 °C,再以 8 °C/min 升温至 213 °C,运行时间:48 min;汽化室温度 250 °C;载气为高纯 He (99.999%);柱前压 7.07 psi,载气流速 1.0 mL/min;不分流进样;溶剂延迟时间:3 min。

离子源为 EI 源;离子源温度 230 °C;四极杆温度 150 °C;电子能量 70 eV;发射电流 34.6  $\mu\text{A}$ ;倍增器电压 1718 V;接口温度 280 °C;质量范围 29~500 u。

#### 1.3.3 数据处理

对总离子流图中的各峰经质谱计算机数据系统检索及核对 Nist 14 和 Wiley275 标准质谱图,确定挥发性化学成分的种类,用峰面积归一化法测定各化学成分的相对质量分数。每组实验做三个平行,计算平均值和标准偏差,数据以平均值 $\pm$ SD 的形式表示;且用 SPSS 23.0 软件对数据进行 ANOVA 差异性分析( $p < 0.05$ )。

#### 1.3.4 ROAV 分析

利用 ROAV 对鸭蛋的风味物质进行分析,筛选样品总体风味贡献最大的风味物质计算公式<sup>[7]</sup>如下:

$$ROAV = \frac{C\%_A}{C\%_{stan}} \times \frac{T\%_{stan}}{T\%_A} \times 100$$

式中:  $C\%_A$ : 所测风味物质的相对含量;  $T\%_A$ : 所测风味物质的阈值;  $C\%_{stan}$ : 样品整体风味贡献最大的组分的相对含量;  $T\%_{stan}$ : 对样品整体风味贡献最大的组分的阈值。

## 2 结果与分析

三种鸭蛋的挥发性风味物质总离子流图参考图1~3。

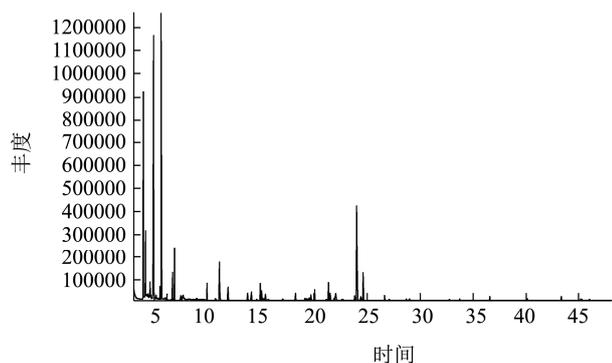


图1 三穗麻鸭蛋(农户散养) 60 °C下的TIC总离子流图  
Fig.1 TIC Total Ion Current Diagram of Sansui Ma Duck Eggs (Free-range Farmers) at 60 °C

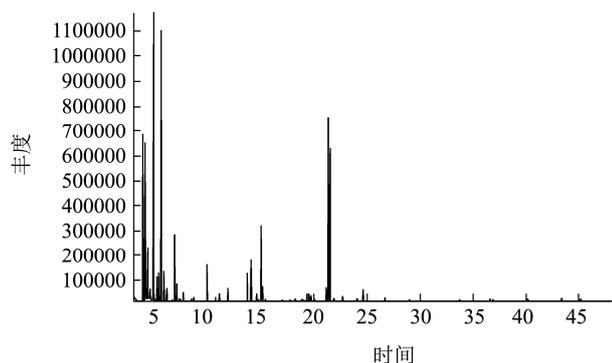


图2 三穗麻鸭蛋(企业规模养殖) 60 °C下的TIC总离子流图  
Fig.2 TIC total ion current diagram of Sansui Ma Duck eggs (enterprise-scale breeding) at 60 °C

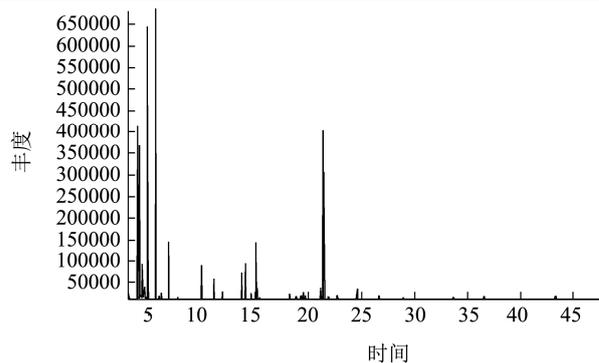


图3 纯白鸭蛋(企业规模养殖) 60 °C下的TIC总离子流图  
Fig.3 TIC total ion current diagram of pure white duck eggs (enterprise scale breeding) at 60 °C

### 2.1.1 三种鸭蛋的醇类风味物质分析

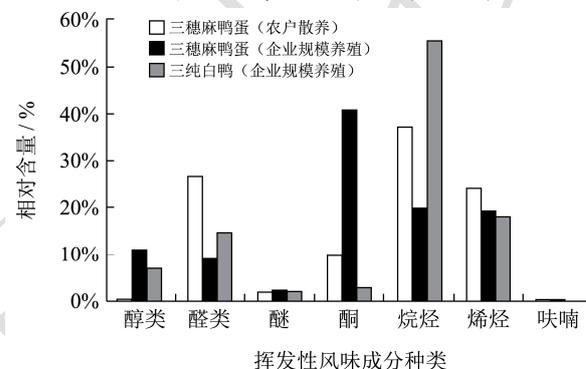


图4 三种鸭蛋的挥发性各风味物质相对含量比较

Fig.4 Comparison of the relative content of volatile flavor substances in three duck eggs

由表1可知,在三种鸭蛋中均只检测到1种醇类:乙醇,且相对含量存在显著差异( $p < 0.05$ )。三穗麻鸭蛋(企业规模养殖)检测出的挥发性醇类物质相对含量最高,占其总挥发物的8.83%,其次是纯白鸭蛋(企业规模养殖)为6.97%,最低的是三穗麻鸭蛋(农户散养)为0.289%。

表1 三种鸭蛋的挥发性风味物质含量

Table 1 Volatile flavor content of three duck eggs

化合物类别	保留时间/min	化合物英文名称	化合物中文名称	分子式	分子量	相对含量/%		
						三穗麻鸭蛋(农户散养)	三穗麻鸭蛋(企业规模养殖)	纯白鸭蛋(企业规模养殖)
醇类	4.45	Ethanol	乙醇	$C_2H_6O$	46	$0.29 \pm 0.02^c$	$8.83 \pm 0.67^a$	$6.97 \pm 0.43^b$
	5.23	Isobutanal	异丁醛	$C_4H_8O$	72	$0.41 \pm 0.10$	-	-
	6.74	3-Methylbutanal	3-甲基丁醛	$C_5H_{10}O$	86	$4.06 \pm 0.05^a$	$0.26 \pm 0.04^b$	$0.28 \pm 0.01^b$
	7.76	Pentanal	戊醛	$C_5H_{10}O$	86	$0.85 \pm 0.02^b$	$1.30 \pm 0.06^a$	$0.83 \pm 0.01^b$
醛类	11.16	Hexanal	己醛	$C_6H_{12}O$	100	$7.54 \pm 0.83^a$	$1.95 \pm 0.12^c$	$5.94 \pm 0.27^b$
	15.50	Heptanal	庚醛	$C_7H_{14}O$	114	$1.35 \pm 0.36^a$	$0.48 \pm 0.05^b$	$0.65 \pm 0.01^b$
	15.76	Methional	甲硫基丙醛	$C_4H_8OS$	104	$0.22 \pm 0.27$	-	-
	18.31	Benzaldehyde	苯甲醛	$C_7H_6O$	106	$2.01 \pm 0.50^b$	$0.96 \pm 0.01^c$	$2.70 \pm 0.14^a$

转下页

接上页

	20.13	Octanal	辛醛	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	128	2.17±0.12 <sup>a</sup>	0.59±0.02 <sup>b</sup>	0.73±0.12 <sup>b</sup>
	22.11	Phenylethanal	苯基乙醛	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	120	1.67±0.10	-	-
	24.69	Nonanal	壬醛	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	142	5.90±0.19 <sup>a</sup>	2.81±0.07 <sup>b</sup>	2.99±1.45 <sup>b</sup>
	29.05	Decanal	癸醛	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	156	0.32±0.03 <sup>b</sup>	0.43±0.08 <sup>ab</sup>	0.55±0.06 <sup>a</sup>
醚类	4.88	Dimethyl sulfide	二甲基硫醚	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S	62	1.17±0.24	-	-
	4.75	Ethyl ether	乙醚	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	74	0.40±0.02 <sup>b</sup>	0.58±0.01 <sup>a</sup>	0.30±0.02 <sup>c</sup>
	14.68	Butyl ether	丁醚	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	130	0.24±0.01 <sup>c</sup>	1.64±0.07 <sup>b</sup>	1.84±0.06 <sup>a</sup>
酮类	5.57	2,3-Butanedione	2,3-丁二酮	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	86	1.70±0.10	38.80±0.19	-
	7.50	2-Pentanone	2-戊酮	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	86	0.65±0.04 <sup>a</sup>	0.40±0.05 <sup>b</sup>	0.12±0.01 <sup>c</sup>
	15.01	2-Heptanone	2-庚酮	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	114	3.69±0.14 <sup>a</sup>	0.45±0.03 <sup>b</sup>	0.46±0.00 <sup>b</sup>
	19.23	2,3-Octanedione	2,3-辛二酮	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	142	0.37±0.03	-	0.36±0.06
	19.39	3-Octanone	3-辛酮	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	128	0.38±0.06	-	1.17±0.03
	24.14	2-Nonanone	2-壬酮	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	142	2.85±0.05 <sup>a</sup>	0.70±0.01 <sup>b</sup>	0.33±0.04 <sup>c</sup>
	32.61	2-Undecanone	2-十一烷酮	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O	170	0.12±0.01	-	-
	14.84	3-Heptanone	3-庚酮	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	114	0	0.44±0.12	0.46±0.03
烷类	5.71	Octane	辛烷	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114	35.34±2.05	4.80±0.43	-
	6.24	Methylcyclopentane	甲基环戊烷	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84	0.69±0.04 <sup>c</sup>	2.17±0.17 <sup>a</sup>	1.25±0.09 <sup>b</sup>
	15.40	Nonane	壬烷	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	128	0.22±0.02	-	-
	24.46	Undecane	十一烷	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	156	0.74±0.01	-	-
	28.75	Dodecane	十二烷	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	170	0.21±0.02 <sup>b</sup>	0.20±0.03 <sup>b</sup>	0.31±0.01 <sup>a</sup>
	32.80	Tridecane	十三烷	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	184	0.17±0.05 <sup>b</sup>	0.09±0.01 <sup>b</sup>	0.26±0.05 <sup>a</sup>
	5.30	2-Methylpentane	2-甲基戊烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86	0	3.37±0.46	-
	5.48	3-Methylpentane	3-甲基戊烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86	-	4.29±0.06	0.25±0.06
	6.18	2,4-Dimethylpentane	2,4-二甲基戊烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100	-	0.75±0.02	-
	7.03	2,3-Dimethylpentane	2,3-二甲基戊烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100	-	0.54±0.02	-
	7.17	3-Methylhexane	3-甲基己烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100	-	2.98±0.12	-
	7.76	Heptane	庚烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100	-	0.62±0.01	-
	5.71	Hexane	己烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86	-	-	53.26±3.16
烯类	10.81	1-Octene	1-辛烯	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	112	0.25±0.05 <sup>c</sup>	0.84±0.00 <sup>a</sup>	0.54±0.02 <sup>b</sup>
	15.11	Styrene	苯乙烯	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	104	2.16±0.17 <sup>b</sup>	18.32±0.80 <sup>a</sup>	17.48±1.16 <sup>a</sup>
	23.92	1,10-Undecadiene	1,10-十一碳二烯	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub>	152	0.89±0.00	-	-
	24.10	1-Undecene	1-十一碳烯	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	154	20.71±1.82	-	-
呋喃类	19.63	2-Amylfuran	2-戊基呋喃	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O	138	0.26±0.02	0.34±0.01	-

注：“-”表示未检出；同一行数据后面不同字母表示差异性显著 ( $p<0.05$ )。

### 2.1.2 三种鸭蛋的醛类风味物质分析

醛类物质是不饱和脂肪酸经氧化作用产生<sup>[8]</sup>，其阈值较低，赋予香气能力强，对鸭蛋的整体风味影响较突出<sup>[9,10]</sup>。在三穗麻鸭蛋（农户散养）中检测到醛类物质 11 种、三穗麻鸭蛋（企业规模养殖）8 种、纯白鸭蛋（企业规模养殖）8 种。3-甲基丁醛、戊醛、己醛、庚醛、苯甲醛、辛醛、壬醛为三种鸭蛋共有的风味成分。异丁醛、甲硫基丙醛、苯基乙醛只在三穗麻鸭蛋（农户散养）中检出。由表 1 可知，三种鸭蛋的醛类物质相对含量均因为养殖方式不同，品种不同

存在显著差异 ( $p<0.05$ )。三穗麻鸭蛋（农户散养）检测出的醛类物质相对含量最高，占其总挥发物质的 26.49%，显著高于三穗麻鸭蛋（企业规模养殖）的 8.84%和纯白鸭蛋（企业规模养殖）的 14.66%。三种鸭蛋中相对含量最高的醛类物质均是己醛，其次是壬醛。己醛是评价蛋类和蛋类产品氧化状态和风味品质的可靠指标，与鸭蛋的腥味与脂肪味有关<sup>[11,12]</sup>，由表 1 可知，两种不同养殖方式的三穗麻鸭蛋己醛物质相对含量存在显著差异 ( $p<0.05$ )，三穗麻鸭蛋（农户散养）为 7.54%，明显高于三穗麻鸭蛋（企业规模养

醛)。壬醛(2.74%~5.78%)一般呈现清香、油脂香气味,三穗麻鸭蛋(农户散养)的壬醛相对含量为5.90%,高于另外两种鸭蛋。

### 2.1.3 三种鸭蛋的酮类风味物质分析

酮类物质是脂肪氧化的另一主要产物,酮类物质具有特别的清香和花香风味,且呈味较持久<sup>[13]</sup>。由表1可知,三种鸭蛋的酮类物质相对含量均因为养殖方式不同,品种不同存在显著差异( $p<0.05$ )。在三种鸭蛋中检测出的酮类物质共有8种。其中三穗麻鸭蛋(农户散养)的酮类物质种类最丰富为7种、三穗麻鸭蛋(企业规模养殖)5种、纯白鸭鸭蛋(企业规模养殖)6种。2-戊酮、2-庚酮、2-壬酮为三种鸭蛋共有的酮类风味成分,2-十一烷酮只在三穗麻鸭蛋(农户散养)中检出。两种三穗麻鸭蛋均检出2,3-丁二酮,在纯白鸭鸭蛋(企业规模养殖)中未检出,2,3-丁二酮在蛋品中呈现清香味,脂肪味<sup>[14]</sup>,一般用于制作食品香料。2,3-辛二酮和3-辛酮只在三穗麻鸭蛋(农户散养)和纯白鸭鸭蛋(企业规模养殖)中检出。3-庚酮均只在三穗麻鸭蛋(企业规模养殖)和纯白鸭鸭蛋(企业规模养殖)中检出。三穗麻鸭蛋(农户散养)的酮类物质占总挥发物的9.77%,三穗麻鸭蛋(企业规模养殖)为41%,纯白鸭鸭蛋(企业规模养殖)为2.87%。

### 2.1.4 三种鸭蛋的醚类风味物质分析

在三种鸭蛋中检测出的醚类物质共有3种:二甲基硫醚、乙醚、丁醚。其中,乙醚、丁醚是三种鸭蛋共有的风味物质。二甲基硫醚只在三穗麻鸭蛋(农户散养)中检出。三穗麻鸭蛋(农户散养)检测出的醚类物质是二甲基硫醚、乙醚、丁醚,共占总挥发物的1.81%,分别占总挥发物的1.17%、0.40%、0.24%。三穗麻鸭蛋(企业规模养殖)检测出的醚类物质是乙醚、丁醚,共占总挥发物的2.23%,分别占总挥发物的0.58%、1.65%。纯白鸭鸭蛋(企业规模养殖)检测出的醚类物质是乙醚、丁醚,共占总挥发物的2.14%,分别占总挥发物的0.29%、1.85%。由图1可知,三穗麻鸭蛋(企业规模养殖)的醚类物质相对含量较高。

### 2.1.5 三种鸭蛋的烷烃和烯烃类风味物质分析

烷烃类物质主要来源于脂肪酸烷氧自由基的均裂,烷烃类物质感觉阈值非常高,一般认为对食品的整体风味贡献不大<sup>[15]</sup>。由表1可知,在三种鸭蛋中共检测出13种烷烃类风味物质,其中三穗麻鸭蛋(农户散养)6种,三穗麻鸭蛋(企业规模养殖)10种,纯白鸭鸭蛋(企业规模养殖)5种。三穗麻鸭蛋(农户散养)检测出的烷烃类物质占其总挥发物的37.37%,三穗麻鸭蛋(企业规模养殖)为19.81%,纯白鸭鸭蛋

(企业规模养殖)55.34%。甲基环戊烷、十二烷、十三烷为三种鸭蛋共有,壬烷、十一烷均只在三穗麻鸭蛋(农户散养)中检出,2-甲基戊烷仅在三穗麻鸭蛋(企业规模养殖)中检出,己烷仅在纯白鸭鸭蛋(企业规模养殖)中检出。2-甲基戊烷、2,4-二甲基戊烷、2,3-二甲基戊烷、3-甲基己烷、庚烷均只存在于三穗麻鸭蛋(企业规模养殖)。

三穗麻鸭蛋(农户散养)检测出的烯烃类物质占其总挥发物的24.01%,三穗麻鸭蛋(企业规模养殖)为19.16%,纯白鸭鸭蛋(企业规模养殖)18.03%。相对于烷烃类化合物,三种鸭蛋中的烯烃类化合物种类较少为4种,分别是1-辛烯、苯乙烯、1,10-十一碳二烯、1,十一碳烯。其中,1-辛烯、苯乙烯、1,10-十一碳二烯、1,十一碳烯为三种鸭蛋共有的成分。1,10-十一碳二烯和1,十一碳烯均只在三穗麻鸭蛋(农户散养)中检出。

### 2.1.6 呋喃类风味物质分析

呋喃类物质是最丰富的美拉德反应的挥发性产物,是各种高档肉味香精中必不可少的关键性香料<sup>[16]</sup>。2-戊基呋喃通常呈现豆香、果香、泥土、青香及类似蔬菜的香韵<sup>[17]</sup>。由表1可知,三穗麻鸭蛋(企业规模养殖)检测出的2-戊基呋喃占其总挥发物的0.35%,三穗麻鸭蛋(农户散养)为0.26%,纯白鸭鸭蛋(企业规模养殖)未检出。

## 2.2 三种鸭蛋的风味物质的 ROAV 分析

挥发性风味化合物相对含量的高低并不能说明其对风味的贡献度大小,还需结合各挥发性成分香味阈值,进行 ROAV 分析。本实验只对查询到阈值<sup>[18-25]</sup>的风味物质做出分析。

对所设定的对样品整体风味贡献最大的组分的 ROAV=100。用 ROAV 量化评价不同挥发性物质对总体风味的贡献程度,进而确定对总体风味贡献较大的风味成分。ROAV 值越大的组分对样品总体风味的贡献也就越大,且 ROAV $\geq 1$  的组分为所分析样品的关键风味化合物,0.1 $\leq$ ROAV $< 1$  的组分对样品的总体风味具有重要的修饰作用。壬醛的阈值较低为1.00,且各品种的壬醛相对含量较高,对风味贡献较大,故将三种鸭蛋的壬醛 ROAV 设定为100。表中对各相关组分的 ROAV 分析结果如表2。

由表2可知,三种鸭蛋中对风味的贡献程度较大的化合物(ROAV $\geq 1$ )有7种醛类:壬醛、3-甲基丁醛、戊醛、己醛、庚醛、辛醛、癸醛,且3-甲基丁醛是对风味贡献最大。结合醛类物质相对含量和 ROAV 分析可以得出三穗麻鸭蛋(农户散养)的脂香味和蛋腥味

较突出。在纯白鸭鸭蛋（企业规模养殖）中苯甲醛对总体风味发挥着重要的修饰作用( $0.1 \leq \text{ROAV} < 1$ )。酮类物质的阈值高，但因相对含量较高，故也能对鸭肉风味起到贡献作用。结合 ROAV 分析得到，2-壬酮为三种鸭蛋共有且均对总体风味有重要的贡献作用( $\text{ROAV} \geq 1$ )。2-庚酮在三种鸭蛋中对总体风味发挥着重要的修饰作用( $0.1 \leq \text{ROAV} < 1$ )。2,3-丁二酮对两种三穗麻鸭蛋的总体风味贡献大，且结合 2.1.3 分析得出，两种三穗麻鸭蛋相较于纯白鸭鸭蛋（企业规模养殖）清

香味和脂肪味较突出。3-辛酮在三穗麻鸭蛋（农户散养）中对总体风味有修饰作用，在纯白鸭鸭蛋（企业规模养殖）中对总体风味贡献较大。烃类化合物的阈值高，ROAV 值远小于 0.1，故对鸭蛋的风味贡献程度很小。2-戊基呋喃在三穗麻鸭蛋（农户散养）中对总体风味发挥着重要的修饰作用 ( $0.1 \leq \text{ROAV} < 1$ )，而在三穗麻鸭蛋（企业规模养殖）中对总体风味有重要贡献作用。

表 2 三种鸭蛋中挥发性风味物质的阈值与 ROAV

Table 2 Threshold and ROAV of volatile flavor compounds in three duck eggs

化合物 中文名称	分子式	阈值/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	三穗麻鸭蛋 (农户散养) ROAV	三穗麻鸭蛋 (企业规模养殖) ROAV	纯白鸭鸭蛋 (企业规模养殖) ROAV
3-甲基丁醛	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$	0.20	78.65	47.44	45.76
戊醛	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$	12.00	1.20	3.89	2.32
己醛	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$	4.50	28.45	15.82	44.07
庚醛	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}$	3.00	7.67	5.84	7.23
苯甲醛	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$	350.00	<0.1	<0.1	0.26
辛醛	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	7.00	5.26	3.02	3.49
壬醛	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}$	1.00	100	100	100
癸醛	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}$	1.00	5.36	15.55	18.31
2,3-丁二酮	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$	4.37	6.61	12.78	-
2-戊酮	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$	2800.00	<0.1	<0.1	<0.1
2-庚酮	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}$	140.00	0.45	0.11	0.10
2,3-辛二酮	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$	2.52	2.47	-	4.84
3-辛酮	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	28.00	0.23	-	1.39
2-壬酮	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}$	5.00	9.69	5.03	2.24
十二烷	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}$	2040.00	<0.1	<0.1	<0.1
十三烷	$\text{C}_{13}\text{H}_{28}$	2140.00	<0.1	<0.1	<0.1
2-戊基呋喃	$\text{C}_9\text{H}_{14}\text{O}$	6.00	0.75	2.07	-
总 ROAV			246.79	209.48	230.01

### 3 结论

三种鸭蛋中检测出醇类 1 种、醛类 11 种、醚类 3 种、酮类 8 种、烃类 17 种、呋喃类 1 种。三穗麻鸭蛋（农户散养）的挥发性风味成分种类数最多为 33 种，三穗麻鸭蛋（企业规模养殖）检出 29 种，纯白鸭鸭蛋（企业规模养殖）检出 24 种。乙醇、3-甲基丁醛、戊醛、己醛、庚醛、苯甲醛、辛醛、壬醛、癸醛乙醚、丁醚、2-戊酮、2-庚酮、2-壬酮、苯乙烯、十二烷、十三烷、1-辛烯、甲基环戊烷为三种鸭蛋共有的风味物质。异丁醛、甲硫基丙醛、苯基乙醛、二甲基硫醚、壬烷、十一烷、1,10 十一碳二烯、1,十一碳烯均为三穗麻鸭蛋（农户散养）独有的风味物质。三穗麻鸭蛋（农户散养）与纯白鸭鸭蛋（企业规模养殖）的烷烃

类物质相对含量最高，分别为 37.37%、55.34%，三穗麻鸭蛋（企业规模养殖）的酮类物质相对含量最高为 41.00%。结合 ROAV 分析，确定了 8 种挥发性风味物质（壬醛、3-甲基丁醛、戊醛、己醛、庚醛、辛醛、癸醛、2-壬酮）均对三种鸭蛋的整体风味有重要贡献。2,3-丁二酮对两种三穗麻鸭蛋的总体风味贡献大，清香味和脂肪味较突出。2-戊基呋喃只在三穗麻鸭蛋（企业规模养殖）中对总体风味有重要贡献作用。综上所述，结合风味物质相对含量和 ROAV 分析可以得出以农户散养的方式养殖的三穗麻鸭蛋的风味成分最丰富，风味品质要好于三穗麻鸭蛋（企业规模养殖），其脂香味和蛋腥味较突出。两种品种相同的三穗麻鸭蛋的整体风味好于纯白鸭鸭蛋（企业规模养殖）。研究结果为鸭蛋产业养殖方式的选择，鸭蛋副产品原料的选

择及其香气品质的调控提供更全面的理论依据。

## 参考文献

- [1] 顾永江.优良地方鸭品种-三穗鸭[J].农村百事通,2019,3: 36  
GU Yong-jiang. Excellent local duck breed - Sansui duck [J]. Rural Know-how, 2019, 3: 36
- [2] 沈畅萱,王修俊,黄珊.贵州三穗特色麻鸭蛋成分分析及营养评价[J].食品与机械,2017,33(12):55-60  
SHEN Chang-xuan, WANG Xiu-jun, HUANG Shan. Analysis and nutritional evaluation of Guizhou Sansui featured mottled duck eggs [J]. Food and Machinery, 2017, 33(12): 55-60
- [3] 徐雯,王修俊,沈畅萱,等.CuSO<sub>4</sub> 对皮蛋腌制过程的影响[J].食品工业,2019,40(8):106-109  
XU Wen, WANG Xiu-jun, SHEN Chang-xuan, et al. The effect of CuSO<sub>4</sub> on the pickling process of preserved eggs [J]. Food Industry, 2019, 40(8): 106-109
- [4] 普蕊(Putri Widyanti Harlina).几种天然香料对咸鸭蛋品质、风味与脂质氧化的影响研究[D].武汉:华中农业大学,2018  
Putri Widyanti Harlina. The effect of several natural spices on the quality, flavor and lipid oxidation of salted duck eggs [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2018
- [5] 余平莲.咸蛋黄加工中风味物质的变化及其成因初探[D].天津:天津科技大学,2017  
YU Ping-lian. The changes of flavor compounds in the processing of salted egg yolks and their causes [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2017
- [6] 刘登勇,周光宏,徐幸莲.确定食品关键风味化合物的一种新方法:“ROAV”法[J].食品科学,2008,7:370-374  
LIU Deng-yong, ZHOU Guang-hong, XU Xing-lian. A new method for determining key flavor compounds in food: "ROAV" method [J]. Food Science, 2008, 7: 370-374
- [7] 刘登勇,赵志南,吴金城,等.基于 SPME-GC-MS 分析熏制材料对熏鸡腿挥发性风味物质的影响[J].食品科学,2019,40(24):220-227  
LIU Deng-yong, ZHAO Zhi-nan, WU Jin-cheng, et al. Analysis of the effects of smoked materials on volatile flavor compounds of smoked chicken legs based on SPME-GC-MS [J]. Food Science, 2019, 40(24): 220-227
- [8] GE Shuai, CHEN Yu-yu, DING Sheng-hua, et al. Changes in volatile flavor compounds of peppers during hot air drying process based on headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(7): 3087-3098
- [9] 蔡健,王薇.蛋品风味物质研究[J].食品科技,2003,4:31-33  
CAI Jian, WANG Wei. Study on flavor substances of eggs [J]. Food Science and Technology, 2003, 4: 31-33
- [10] 肖润.鸡蛋香气成分的顶空 GC/MS 分析[J].食品研究与开发,2003,6:142-143  
XIAO Run. Headspace GC/MS analysis of egg aroma components [J]. Food Research and Development, 2003, 6: 142-143
- [11] 余秀芳,杜新武,马美湖.卤蛋营养成分及风味物质测定与评价[J].营养学报,2012,34(2):196-198  
YU Xiu-fang, DU Xin-wu, MA Mei-hu. Determination and evaluation of nutrient components and flavor substances of marinated eggs [J]. Acta Nutrition, 2012, 34(2): 196-198
- [12] 刘文龙,晏宸然,张娇,等.四种饲养模式下固始鸡蛋挥发性风味物质的检测比较[J].四川畜牧兽医,2018,45(2):34-36  
LIU Wen-long, YAN Chen-ran, ZHANG Jiao, et al. Detection and comparison of volatile flavor compounds in Gushi chicken eggs under four feeding modes [J]. Sichuan Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2018, 45(2): 34-36
- [13] Mina K Kim, Yun-Yeol Lee, Kwang-geun Lee, et al. Instrumental volatile flavor analysis of omija (*Schisandra chinensis* Baillon ) using headspace stir-bar sorptive extraction-gas chromatography-mass spectrometry and its relationship to human sensory perceptions [J]. Food Research International, 2019, 120: 650-655
- [14] 冯月超,刘美玉,任发政,等.不同蛋黄组分对蛋黄风味的影响[J].食品科学,2006,12:58-62  
FENG Yue-chao, LIU Mei-yu, REN Fa-zheng, et al. The effect of different egg yolk components on the flavor of egg yolk [J]. Food Science, 2006, 12: 58-62
- [15] 季玲,刘会平,曹春玲,等.皮蛋风味物质的测定[J].现代食品科技,2012,28(2):233-236  
JI Ling, LIU Hui-ping, CAO Chun-ling, et al. Determination of flavor substances in preserved eggs [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(2): 233-236
- [16] Donglu Fang, Wenjian Yang, Kimatu Benard Muinde, et al. Comparison of flavour qualities of mushrooms (*Flammulina velutipes*) packed with different packaging materials [J]. Food chemistry, 2017, 232(1): 1-9

(下转第 242 页)