

# 德州扒鸡关键挥发性风味物质分析

崔晓莹<sup>1</sup>, 张庆永<sup>2</sup>, 刘登勇<sup>1,3,\*</sup>, 顾明月<sup>1</sup>, 王欢<sup>1</sup>, 马勇<sup>1</sup>, 薄存美<sup>1</sup>

(1.渤海大学食品科学与工程学院, 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 辽宁 锦州 121013;  
2.山东德州扒鸡股份有限公司, 山东 德州 253003; 3.肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 对德州扒鸡的关键挥发性风味物质进行分析及鉴定。通过电子鼻和气相色谱-质谱联用 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 仪对德州扒鸡的挥发性风味物质进行分析, 并计算各物质的相对气味活度值 (relative odor activity value, ROAV)。结果表明: 电子鼻检测发现, 德州扒鸡中含有芳香烃化合物和含氮含硫化合物; GC-MS共检测出54种挥发性风味物质, 其中关键风味化合物 (ROAV $\geq$ 1) 包括壬醛 (100.00)、癸醛 (81.67)、己醛 (38.94)、辛醛 (19.29)、庚醛 (14.50)、柠檬烯 (14.08)、1-辛烯-3-醇 (11.50)、2-戊基呋喃 (10.14)、桉树脑 (9.71)、草蒿脑 (5.69)、丁香酚 (5.56)、芳樟醇 (3.86)、 $\alpha$ -蒎烯 (3.08) 和茴香脑 (2.01); 德州扒鸡挥发性风味物质中烯烃类物质种类最多, 关键风味化合物为醛类物质, 肉香味、五香味和药材香为德州扒鸡的关键风味。

**关键词:** 德州扒鸡; 电子鼻; 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用

## Analysis of Key Flavor Substances in Dezhou Braised Chicken

CUI Xiaoying<sup>1</sup>, ZHANG Qingyong<sup>2</sup>, LIU Dengyong<sup>1,3,\*</sup>, GU Mingyue<sup>1</sup>, WANG Huan<sup>1</sup>, MA Yong<sup>1</sup>, BO Cunmei<sup>1</sup>

(1.National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, College of Food Science and Technology, Bohai University, Jinzhou 121013, China;  
2.Shandong Dezhou Braised Chicken Co. Ltd., Dezhou 253003, China; 3.Collaborative Innovation Center for Quality and Safety Control of Meat Production and Processing, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** The key volatile flavor compounds of Dezhou braised chicken were analyzed and identified by electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and their relative odor activity values (ROAV) were calculated. Aromatic hydrocarbons and nitrogen-containing sulfur compounds were detected in Dezhou braised chicken by electronic nose; 54 volatile flavor compounds were detected by GC-MS, of which the key flavor compounds (ROAV  $\geq$  1) were nonanal (100.00), decanal (81.67), hexanal (38.94), octanal (19.29), heptanal (14.50), limonene (14.08), 1-octene-3-ol (11.50), 2-pentanyl furan (10.14), eucalyptol (9.71), estragole (5.69), eugenol (5.56), linalool (3.86),  $\alpha$ -pinene (3.08), and anethole (2.01). The number of olefins was the largest among the classes of volatile flavor compounds identified, and aldehydes were the key flavor compounds. The key flavor of Dezhou braised chicken included meaty, five-spice and medicinal herbal aroma.

**Keywords:** Dezhou braised chicken; electronic nose; headspace solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190819-185

中图分类号: TS251.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2019) 11-0050-05

引文格式:

崔晓莹, 张庆永, 刘登勇, 等. 德州扒鸡关键挥发性风味物质分析[J]. 肉类研究, 2019, 33(11): 50-54. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190819-185. <http://www.rlyj.net.cn>

CUI Xiaoying, ZHANG Qingyong, LIU Dengyong, et al. Analysis of key flavor substances in Dezhou braised chicken[J]. Meat Research, 2019, 33(11): 50-54. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190819-185. <http://www.rlyj.net.cn>

收稿日期: 2019-08-19

基金项目: 辽宁省自然科学基金面上项目 (2019-MS-006); 辽宁省“兴辽英才计划”项目 (XLYC1807100); 辽宁省高等学校产业技术研究院重大应用研究项目 (041804)

第一作者简介: 崔晓莹 (1993—) (ORCID: 0000-0001-6357-0295), 女, 硕士研究生, 研究方向为肉品加工与质量安全控制。

E-mail: xiaoyingc5@163.com

\*通信作者简介: 刘登勇 (1979—) (ORCID: 0000-0003-4588-9985), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉品加工与质量安全控制、食品风味与感官科学。E-mail: jz\_dyliu@126.com

德州扒鸡是我国著名的传统酱卤肉制品之一，其具有金黄透亮、爪入鸡膛、口衔双翅的外型，鲜香馥郁、细嫩多汁的口感以及丰富的营养价值，深得消费者喜爱。电子鼻是利用仿生学模仿人的鼻子，对目标物的气味进行快速识别，并通过软件进行分析处理，得到可靠的目标物信息，比人的嗅觉更加客观和真实<sup>[1-2]</sup>。顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法（headspace solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME/GC-MS）测定风味化合物有较高的准确度和灵敏度，可有效提取目标物中的挥发性风味物质。白娟等<sup>[3]</sup>利用电子鼻对鲜肉粉风味进行分析，很好地区分出鲜肉粉风味物质的变化。徐宝才等<sup>[2]</sup>利用电子鼻对盐水鸭风味进行详细分析，并探寻出一种可以快速辨别不同品牌、类型和优劣盐水鸭的方法。付勋等<sup>[4]</sup>利用HS-SPME/GC-MS分析玫瑰香橙果酒中的挥发性成分，并鉴定出52种挥发性物质。

目前，电子鼻多用于盐水鸭<sup>[2]</sup>、羊肉火腿<sup>[5]</sup>、鳕鱼<sup>[6]</sup>及黄酒<sup>[7]</sup>的风味研究。王学敬<sup>[8]</sup>通过电子鼻结合主成分分析，得出4种德州扒鸡间的风味差异。本研究以德州扒鸡为研究对象，利用电子鼻结合HS-SPME/GC-MS分析鉴定其挥发性物质，为德州扒鸡特征品质评价指标的建立提供理论借鉴。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

扒鸡 山东德州扒鸡股份有限公司。

环己酮、无水乙醇（均为色谱纯） 山东西亚化学工业有限公司。

### 1.2 仪器与设备

AL104电子天平 瑞士Mettler Toledo公司；HX-J3011绞肉机 佛山市海迅电器有限公司；PEN3电子鼻德国Airsense公司；7890A-5975C GC-MS仪 美国安捷伦公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 电子鼻测定

参照王当丰<sup>[9]</sup>、徐康<sup>[10]</sup>等方法并做适当修改。取5g绞碎混匀的鸡腿肉于25mL干净小烧杯中，并用保鲜膜密封，封口要求无褶皱，室温下静置0.5h后用电子鼻检测烧杯内部气体。设定检测时间120s、清洗时间120s、气体流量300mL/min。利用电子鼻自带的WinMuster软件对检测到的指标进行分析。PEN3便携式电子鼻标准传感器阵列及其性能描述如表1所示。

表1 PEN3便携式电子鼻标准传感器阵列及其性能

Table 1 Standard sensor arrays and performance of PEN3 portable electronic nose

编号	传感器名称	性能描述	备注
R1	W1C	对芳香成分灵敏	甲苯 (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> ), 进气量10 mL/m <sup>3</sup>
R2	W5S	灵敏度大, 对氮氧化物很灵敏	二氧化氮 (NO <sub>2</sub> ), 进气量1 mL/m <sup>3</sup>
R3	W3C	对芳香成分灵敏	苯 (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ), 进气量10 mL/m <sup>3</sup>
R4	W6S	主要对氢气有选择性	氢气 (H <sub>2</sub> ), 进气量100 mL/m <sup>3</sup>
R5	W5C	对烷烃灵敏	丙烷 (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ), 进气量1 mL/m <sup>3</sup>
R6	W1S	对甲烷灵敏	甲烷 (CH <sub>4</sub> ), 进气量100 mL/m <sup>3</sup>
R7	W1W	对硫化物灵敏	硫化氢 (H <sub>2</sub> S), 进气量1 mL/m <sup>3</sup>
R8	W2S	对乙醇灵敏, 对羰基也有响应	一氧化碳 (CO), 进气量100 mL/m <sup>3</sup>
R9	W2W	对芳香成分、有机硫化物灵敏	硫化氢 (H <sub>2</sub> S), 进气量1 mL/m <sup>3</sup>
R10	W3S	对烷烃灵敏	甲烷 (CH <sub>4</sub> ), 进气量10 mL/m <sup>3</sup>

#### 1.3.2 挥发性风味成分的提取及测定

参考相倩<sup>[11]</sup>、张春晖<sup>[12]</sup>等方法并作适当修改。称取4.5g绞碎混匀的鸡腿肉，置于顶空瓶中，加入0.01mL环己酮内标溶液（946μg/mL），密封，平衡10min后将SPME针管穿透顶空瓶隔垫，插入顶空瓶中，推动手柄使75μm CAR/PDMS萃取头伸至样品上部，以完成顶空吸附过程。75μm CAR/PDMS萃取头于45℃萃取50min，于250℃解吸5min，进行GC-MS分析。

GC-MS条件：HP-5MS毛细管柱（30m×0.32mm，0.25μm），载气为氦气，流速1.8mL/min，不分流，恒压35kPa；进样口温度250℃，接口温度250℃，初温40℃，保持10min，以4℃/min升温至120℃，以12℃/min升温至250℃，保持10min；离子源温度200℃，电子轰击电离，电子能量70eV，采用全扫描模式。

定性及定量分析方法：总离子流图中的各个峰经计算机质谱数据系统检索及NIST 11比对，确定挥发性风味物质成分匹配度大于80的化合物。按照峰面积归一化法计算各组分相对含量。用正构烷烃（C<sub>7</sub>~C<sub>30</sub>）测定各化合物的Kovats保留指数（retention index, RI），RI按式（1）计算。

$$RI = 100 \times n + 100 \times \frac{t - t_n}{t_{n+1} - t_n} \quad (1)$$

式中： $n$ 为正构烷烃的碳原子数； $t_{n+1}$ 为碳原子数为 $n+1$ 正构烷烃的保留时间/min； $t_n$ 为碳原子数为 $n$ 正构烷烃的保留时间/min； $t$ 为未知物的保留时间（ $t_n < t < t_{n+1}$ ）/min。

对于鸡肉中的主体香味物质，参照刘登勇等<sup>[13]</sup>的方法，采用相对气味活度值（relative odor activity value, ROAV）进行确定。ROAV的大小表示相应挥发性风味化合物对样品总体香气的贡献程度，所有组分ROAV≤100，且ROAV越大的组分对样品总体风味的贡献越大。定义ROAV≥1的组分为所分析样品的主体香味物质，0.1≤ROAV<1的组分对样品的总体风味具有重要的修饰作用。ROAV按式（2）计算。

$$ROAV \approx 100 \times C_i \times \frac{T_{\max}}{C_{\max} \times T_i} \quad (2)$$

式中： $C_i$ 、 $T_i$ 分别为各挥发性风味物质的相对含量/%和相应的感觉阈值/(ng/g)； $C_{\max}$ 、 $T_{\max}$ 分别为对样品总体风味贡献最大组分的相对含量/%和相应的感觉阈值/(ng/g)。

#### 1.4 数据处理

采用SPSS 19.0软件和Excel 2013软件进行数据分析，每个样品测定3个批次，每个批次至少3个样品，每个样品至少重复测定3次，结果以平均值±标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 德州扒鸡的电子鼻分析结果

电子鼻是一种模仿人和动物的鼻子，作为分析识别、检测复杂嗅味和挥发性成分的新型仪器，可有效规避人为评价误差，被广泛应用于食品研究过程<sup>[10]</sup>。电子鼻可用于肉制品感官质量、货架期、变质、异味、污染等样品不稳定性方面的研究，这使得电子鼻对样品的筛选更具真实性<sup>[14]</sup>。

表2 德州扒鸡电子鼻响应值结果 (n=27)

传感器编号	响应值
R1	1.071 ± 0.061 <sup>c</sup>
R2	2.356 ± 0.252 <sup>a</sup>
R3	1.144 ± 0.046 <sup>d</sup>
R4	1.081 ± 0.039 <sup>e</sup>
R5	1.497 ± 0.092 <sup>b</sup>
R6	1.364 ± 0.178 <sup>c</sup>
R7	0.242 ± 0.036 <sup>f</sup>
R8	0.874 ± 0.135 <sup>f</sup>
R9	1.170 ± 0.035 <sup>d</sup>
R10	1.290 ± 0.076 <sup>c</sup>

注：同列小写字母不同，表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

选取平稳后104 s处的响应值作为分析点。由表2可知：传感器R2（对氮氧化物较灵敏）响应值最大，且与其他传感器差异显著 ( $P < 0.05$ )，表明传感器R2对评价德州扒鸡挥发性风味物质有重要作用；传感器R3、R5、R6、R9和R10的响应值也较大，表明德州扒鸡挥发性风味物质中含有一定量的芳香烃化合物和含硫含氮化合物。为了进一步确定德州扒鸡中挥发性风味物质的具体成分，需采用GC-MS进行分析检测。

### 2.2 德州扒鸡挥发性风味成分分析

由表3可知，采用HS-SPME/GC-MS法在德州扒鸡中共检测出醛类、酮类、醇类、烯炔类、烷烃类、芳香烃类等54种挥发性风味物质，包括醇类6种、酮类4种、醛类8种、醚类4种、烷烃类5种、烯炔类15种、芳香烃类7种、酸类1种、其他化合物及含氮

含硫化合物4种。通过ROAV评价各挥发性风味化合物对德州扒鸡整体风味的贡献作用，发现关键风味化合物 (ROAV ≥ 1) 包括14种：壬醛 (100.00)、癸醛 (81.67)、己醛 (38.94)、辛醛 (19.29)、庚醛 (14.50)、柠檬烯 (14.08)、1-辛烯-3-醇 (11.50)、2-戊基呋喃 (10.14)、桉树脑 (9.71)、草蒿脑 (5.69)、丁香酚 (5.56)、芳樟醇 (3.86)、 $\alpha$ -蒎烯 (3.08) 和茴香脑 (2.01)，其中贡献较大的风味化合物是壬醛 (100.00)、癸醛 (81.67) 和己醛 (38.94)。同时，邻异丙基甲苯、戊醛、苯甲醛、(-)-4-萜品醇等 ( $0.1 \leq ROAV < 1$ ) 对德州扒鸡总体风味发挥着重要的修饰作用，这些成分可能对德州扒鸡风味有一定的辅助作用<sup>[13]</sup>。

表3 德州扒鸡中挥发性风味物质GC-MS测定结果

Table 3 GC-MS analysis results of volatile flavor components in Dezhou braised chicken

化合物类别	化合物	保留时间/min	鉴定方式	相对含量/%	阈值/(ng/g)	ROAV	
醛类	戊醛 (pentanal)	3.801	MS/RI	0.56 ± 0.27	12 <sup>[5]</sup>	0.78	
	乙缩醛 (acetal)	4.037	MS/RI	0.10 ± 0.00	40 <sup>[6]</sup>	0.04	
	己醛 (hexanal)	5.117	MS/RI	7.01 ± 3.10	3 <sup>[7]</sup>	38.94	
	庚醛 (heptanal)	8.928	MS/RI	0.87 ± 0.26	1 <sup>[6]</sup>	14.50	
	苯甲醛 (benzaldehyde)	11.485	MS/RI	5.09 ± 2.41	3 500 <sup>[6]</sup>	0.02	
	辛醛 (octanal)	13.585	MS/RI	1.81 ± 0.74	0.7 <sup>[7]</sup>	19.29	
	壬醛 (nonanal)	17.749	MS/RI	6.00 ± 0.73	1 <sup>[8]</sup>	100.00	
	癸醛 (decanal)	21.098	MS/RI	0.49 ± 0.40	0.1 <sup>[8]</sup>	81.67	
	酮类	羟基丙酮 (hydroxy-2-propanone)	2.819	MS/RI	0.08 ± 0.10	—	—
		2,5-辛二酮 (2,5-octanedione)	12.877	MS/RI	1.61 ± 0.39	—	—
樟脑 ( (+)-2-bornanone)		19.069	MS/RI	1.84 ± 0.20	1 150 <sup>[20]</sup>	0.03	
1-香芹酮 (carvone)		23.198	MS/RI	1.53 ± 0.24	—	—	
糠醇 (furfuryl alcohol)		7.850	MS/RI	0.19 ± 0.27	2 000 <sup>[21]</sup>	<0.01	
醇类	1-辛烯-3-醇 (1-octen-3-ol)	12.604	MS/RI	0.69 ± 0.16	1 <sup>[21]</sup>	11.50	
	桉树脑 (eucalyptol)	14.681	MS/RI	6.99 ± 1.91	12 <sup>[20]</sup>	9.71	
	芳樟醇 (linalol)	17.629	MS/RI	1.39 ± 0.12	6 <sup>[20]</sup>	3.86	
	(-)-4-萜品醇 ( (-)-4-terpineol)	20.197	MS/RI	7.33 ± 0.35	340 <sup>[17]</sup>	0.36	
	$\alpha$ -松油醇 ( $\alpha$ -terpineol)	20.738	MS/RI	2.58 ± 0.40	300 <sup>[18]</sup>	0.14	
	3-侧柏烯 (3-thujene)	10.497	MS/RI	0.53 ± 0.00	75 <sup>[17]</sup>	0.12	
	莰烯 (camphene)	11.408	MS/RI	0.04 ± 0.01	—	—	
	$\alpha$ -蒎烯 ( $\alpha$ -pinene)	12.016	MS/RI	1.11 ± 0.60	6 <sup>[22]</sup>	3.08	
	3-蒎烯 (3-carene)	13.471	MS/RI	0.47 ± 0.00	500 <sup>[23]</sup>	0.02	
	萜品油烯 (terpinolene)	14.051	MS/RI	1.21 ± 0.08	200 <sup>[22]</sup>	0.10	
烯炔类	$\alpha$ -水芹烯 ( $\alpha$ -phellandrene)	14.097	MS/RI	0.81 ± 0.20	200 <sup>[24]</sup>	0.07	
	$\alpha$ -松油烯 ( $\alpha$ -terpinene)	14.417	MS/RI	1.24 ± 0.32	200 <sup>[25]</sup>	0.09	
	柠檬烯 (D-limonene)	14.638	MS/RI	8.45 ± 1.75	10 <sup>[24]</sup>	14.08	
	反式- $\beta$ -罗勒烯 (trans- $\beta$ -ocimene)	15.669	MS/RI	2.55 ± 0.02	—	—	
	$\gamma$ -萜品烯 ( $\gamma$ -terpinene)	15.881	MS/RI	1.50 ± 0.45	260 <sup>[21]</sup>	0.10	
	罗勒烯 (ocimene)	17.034	MS/RI	0.32 ± 0.02	—	—	
	长叶烯 ( $\alpha$ -longifolene)	27.432	MS/RI	0.24 ± 0.22	—	—	
	$\alpha$ -石竹烯 (caryophyllene)	27.779	MS/RI	0.29 ± 0.25	64 <sup>[25]</sup>	0.08	
	$\alpha$ -姜黄烯 ( $\alpha$ -curcumene)	29.391	MS/RI	0.10 ± 0.02	—	—	
	$\alpha$ -衣兰油烯 ( $\alpha$ -muurolene)	30.402	MS/RI	0.08 ± 0.03	—	—	
烷烃类	癸烷 (decanal)	13.369	MS	0.22 ± 0.03	—	—	
	十一烷 (undecane)	17.531	MS	0.25 ± 0.02	—	—	
	十三烷 (tridecane)	24.444	MS	2.11 ± 1.04	—	—	
	十四烷 (tetradecane)	26.603	MS	0.55 ± 0.37	—	—	
	十六烷 (hexadecane)	32.503	MS	0.08 ± 0.01	—	—	

续表3

化合物类别	化合物	保留时间/min	鉴定方式	相对含量/%	阈值/(ng/g)	ROAV
芳香烃类	苯 (benzene)	2.677	MS/RI	0.06±0.00	8.8 <sup>[20]</sup>	0.11
	甲苯 (toluene)	4.093	MS/RI	0.30±0.13	1 550 <sup>[20]</sup>	<0.01
	乙基苯 (ethylbenzene)	7.171	MS/RI	0.17±0.04	29 <sup>[20]</sup>	0.09
	对二甲苯 (p-xylene)	7.494	MS/RI	1.57±0.28	450.23 <sup>[17]</sup>	0.06
	邻异丙基甲苯 (o-cymene)	14.577	MS/RI	3.01±0.54	150 <sup>[20]</sup>	0.33
	丁香酚 (eugenol)	25.721	MS/RI	10.01±4.20	30 <sup>[20]</sup>	5.56
醚类	2,6-二叔丁基对甲酚 (2,6-di-tert-butyl-methyl-phenol)	30.129	MS/RI	0.12±0.07	-	-
	草蒿脑 (estragole)	20.966	MS/RI	2.56±0.46	7.5 <sup>[20]</sup>	5.69
	茴香脑 (anethole)	23.668	MS/RI	8.80±1.28	73	2.01
	丁香酚甲醚 (methyl eugenol)	26.965	MS/RI	0.76±0.31	770 <sup>[20]</sup>	0.02
	肉豆蔻醚 (myristicin)	30.465	MS/RI	0.18±0.03	-	-
酸类	乙酸 (acetic acid)	2.832	MS/RI	0.27±0.03	22 000 <sup>[17]</sup>	<0.01
	3-甲基噻吩 (3-methylthiophene)	4.310	MS/RI	0.49±0.31	-	-
其他类	2,6-二甲基吡嗪 (2,6-dimethylpyrazine)	9.443	MS/RI	0.68±0.18	400	0.03
	2-戊基呋喃 (2-pentylfuran)	13.078	MS/RI	3.65±0.34	6 <sup>[20]</sup>	10.14
	3-乙基-2,5-二甲基吡嗪 (3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine)	17.349	MS/RI	0.11±0.01	-	-

注: MS. 由所得质谱图鉴定; RI. 由参考文献中RI鉴定; - . 未查到阈值而未作分析。

### 2.2.1 醛酮类化合物

醛类和酮类化合物大多来源于脂质氧化。醛类作为脂肪降解的主要产物之一, 阈值较低, 在肉类特征风味中起重要作用, 醛类被认为是鸡肉脂肪加热后所产生特征香气的主要成分, 具有脂肪香味<sup>[23]</sup>。德州扒鸡中壬醛ROAV最高, 可以确定是德州扒鸡特殊肉香的最主要来源, 对德州扒鸡的挥发性风味有重要贡献。癸醛气味清新微甜, 有似甜橙油与柠檬油的后韵; 苯甲醛是由氨基酸与还原糖之间发生美拉德反应产生的; 一定浓度的己醛具有令人愉快的草香味; 辛醛有水果香气; 壬醛主要来自于德州扒鸡中不饱和脂肪酸中的油酸, 有强烈的甜橙气味。酮类物质的ROAV均小于1, 对德州扒鸡的风味贡献较小。

### 2.2.2 醇类化合物

醇类化合物是主要的脂质氧化产物之一, 大多数醇类化合物是由脂质氧化和蛋白质水解产生的。1-辛烯-3-醇、桉树脑和芳樟醇是德州扒鸡中主要的风味物质。1-辛烯-3-醇为直链醇, 主要由脂质氧化产生。1-辛烯-3-醇有蘑菇和干草香气, 可赋予德州扒鸡药香味。桉树脑与芳樟醇味辛辣, 有清香味道, 像樟脑气味<sup>[28]</sup>, 二者主要来源于煮制过程中加入的八角、茴香等香辛料, 可赋予德州扒鸡浓郁的五香味、八角味。(一)-4-萜品醇和 $\alpha$ -松油醇对德州扒鸡的总体风味有重要的修饰作用。

### 2.2.3 烃类化合物

烯烃类化合物是德州扒鸡挥发性风味物质中种类及含量最多的物质, 烷烃和烯烃是由脂肪酸烷氧自由基均裂生成的<sup>[29]</sup>, 同时这两类化合物阈值较高, 对德州扒鸡的风味贡献不明显。 $\alpha$ -蒎烯、柠檬烯、丁香酚主要来源于

煮制过程中加入的香辛料及中草药物质。3-侧柏烯、蒎品油烯、 $\gamma$ -萜品烯、邻异丙基甲苯对德州扒鸡的总体风味有重要的修饰作用。此结果与电子鼻测定结果相一致。

### 2.2.4 醚酸类化合物

醚类化合物主要来源于天然香辛料, 如草蒿脑、茴香脑主要来源于八角茴香<sup>[30]</sup>。草蒿脑、茴香脑对德州扒鸡的挥发性风味有重要影响。醚类物质阈值较低且有浓郁的清香味, 可赋予德州扒鸡浓郁的香气。酸类化合物的阈值较高, 对德州扒鸡的风味贡献不明显 (ROAV<1)。

### 2.2.5 其他类化合物

其他类化合物主要包括噻吩类化合物、吡嗪类化合物和呋喃类化合物, 共4种。吡嗪类化合物主要由 $\alpha$ -氨基酮经美拉德反应生成。呋喃类化合物由氨基酸和还原糖经Strecker降解产生。2-戊基呋喃对德州扒鸡风味有较大影响, 其阈值较低, 是肉中重要的风味物质<sup>[31]</sup>。2-戊基呋喃有令人愉快的水果味和甜香味, 赋予德州扒鸡浓郁的肉香味。此结果与电子鼻测定结果相一致。

## 3 结论

通过电子鼻并结合HS-SPME/GC-MS对德州扒鸡的关键风味化合物进行研究, 结果表明: 德州扒鸡中含有一定量的含氮含硫化合物, 且鲜香馥郁, 德州扒鸡的关键风味化合物主要包括醛类、醇类、呋喃类、醚类和烃类物质, 其中醛类中的壬醛 (ROAV=100.00)、癸醛 (ROAV=81.67)、己醛 (ROAV=38.94) 是德州扒鸡特殊肉香味的主要来源, 2-戊基呋喃 (ROAV=6.08) 也是德州扒鸡中的主要风味物质; 香辛料的加入共同赋予德州扒鸡浓郁的肉香味、五香味和药材香等气味; 肉香味、五香味和药材香为德州扒鸡的特征气味。通过对德州扒鸡的风味进行研究, 为酱卤肉制品的发展提供了理论依据, 同时为企业工艺优化提供了借鉴。

### 参考文献:

- [1] DEISINGH A K, STONE D C, THOMPSON M. Applications of electronic nose and tongues in food analysis[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2010, 39(6): 587-604. DOI:10.1111/j.1365-2621.2004.00821.x.
- [2] 徐宝才, 李聪, 马倩, 等. 基于电子鼻和电子舌分析盐水鸭风味的差异性[J]. 中国食品学报, 2017, 17(12): 279-286. DOI:10.16429/j.1009-7848.2017.12.035.
- [3] 白娟, 张瑶, 汪雪瑞, 等. 基于电子舌和电子鼻的鲜肉风味分析[J]. 食品与发酵工业, 2019(3): 270-274. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.017848.
- [4] 付勋, 聂青玉. HS-SPME/GC-MS分析玫瑰香橙果酒中挥发性成分[J]. 中国酿造, 2019, 38(4): 188-191. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2019.04.037.

- [5] 王勇勤, 郭新, 黄笠原, 等. 基于电子鼻和气相色谱-质谱联用技术分析不同贮藏时间羊肉火腿香气成分[J]. 食品科学, 2019, 40(2): 215-221. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180612-193.
- [6] 郑舒文, 陈卫华. 基于电子鼻和电子舌技术的鲑鱼鲜度评定[J]. 中国调味品, 2019, 44(5): 164-169. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2019.05.038.
- [7] 葛东颖, 龙旭霞, 杨成聪, 等. 基于电子鼻和GC-MS联用技术对不同原料酿造黄酒风味品质的比较研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(9): 137-142. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2019.09.023.
- [8] 王学敬. 德州扒鸡风味成分分析及其工艺优化[D]. 南京: 南京农业大学, 2016: 36-44.
- [9] 王当丰, 李婷婷, 刘楠, 等. 顶空固相微萃取-气质联用法结合电子鼻分析鱼精蛋白对草鱼片挥发性气味的影响[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(10): 163-170. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201610027.
- [10] 徐康, 路遥, 宋英琇, 等. 基于GC-FID、HS-SPME-GC-MS与电子鼻技术评价不同水果发酵酒的香气特征[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(12): 229-236. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.017964.
- [11] 相倩. 德州扒鸡品质相关挥发性成分的鉴定及保鲜技术研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011: 16-17.
- [12] 张春晖. 发酵香肠成熟前后挥发性成分的固相微萃取-GC-MS分析[J]. 分析测试学报, 2004, 23(6): 40-43. DOI:10.3969/j.issn.1004-4957.2004.06.011.
- [13] 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, 29(7): 370-374. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2008.07.082.
- [14] GHASEMI-VARNAMKHAISTI M, MOHTASEBI S S, SIADAT M, et al. Meat quality assessment by electronic nose (machine olfaction technology)[J]. Sensors, 2009, 9(8): 6058-6083. DOI:10.3390/s90806058.
- [15] 王玉, 赵延宁, 薛勇, 等. 基于电子鼻与SPME-GC-MS法分析咸鲮鱼加工过程挥发性风味成分变化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(24): 266-272. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.24.045.
- [16] ROSARIO R, RAM N C. Volatile profiles of dry-cured meat products from three different Iberian × Duroc genotypes[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(5): 1923-1931. DOI:10.1021/jf062810i.
- [17] 童红甘, 王武, 张华锋, 等. 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[J]. 现代食品科技, 2018, 34(12): 228-238. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078-2018.12.034.
- [18] LARSEN M, POLL L. Odour thresholds of some important aroma compounds in raspberries[J]. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 1990, 191(2): 129-131. DOI:10.1007/bf01202638.
- [19] SCHIFFMAN S S, BENNETT J L, RAYMER J H. Quantification of odors and odorants from swine operations in North Carolina[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2001, 108(3): 213-240. DOI:10.1016/s0168-1923(01)00239-8.
- [20] SANSONE-LAND A, TAKEOKA G R, SHOEMAKER C F. Volatile constituents of commercial imported and domestic black-ripe table olives (*Olea europaea*)[J]. Food Chemistry, 2014, 149(8): 285-295. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.10.090.
- [21] 孔宇, 李娜, 薛丽丽, 等. HS-SMPE-GC-MS分析不同烧鸡中的挥发性风味物质[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(14): 164-168. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2017.14.035.
- [22] 丘芷柔, 陈彤, 贺丽苹, 等. 固相微萃取优化/GC-MS法分析不同年份陈皮的挥发性成分[J]. 现代食品科技, 2017, 33(7): 238-244. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.7.034.
- [23] GARCA-GONZALEZ D L, RAM N A, RAM N A R. Volatile and amino acid profiling of dry cured hams from different swine breeds and processing methods[J]. Molecules, 2013, 18(4): 327-347. DOI:10.3390/molecules18043927.
- [24] MURPHY C, GILMORE M M, SEERY C S, et al. Olfactory thresholds are associated with degree of dementia in Alzheimer's disease[J]. Neurobiology of Aging, 1990, 11(4): 465-479. DOI:10.1016/0197-4580(90)90014-Q.
- [25] GARCÍA-GONZÁLEZ D L, TENA N, APARICIO-RUIZ R, et al. Relationship between sensory attributes and volatile compounds qualifying dry-cured hams[J]. Meat Science, 2008, 80(2): 315-325. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.12.015.
- [26] GU Saiqi, WANG Xichang, TAO Ningping, et al. Characterization of volatile compounds in different edible parts of steamed Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Food Research International, 2013, 54(1): 81-92. DOI:10.1016/j.foodres.2013.05.018.
- [27] CZERNY M, CHRISTLBAUER M. Re-investigation on odour thresholds of key food aroma compounds and development of an aroma language based on odour qualities of defined aqueous odorant solutions[J]. European Food Research and Technology, 2008, 228(2): 265-273. DOI:10.1007/s00217-008-0931-x.
- [28] 李峰, 程侠, 叶荣飞. 在线热裂解/气相色谱-质谱联用技术研究八角茴香油的热裂解行为[J]. 分析测试学报, 2015, 34(4): 448-452. DOI:10.3969/j.issn.1004-4957.2015.04.013.
- [29] 武苏苏, 赵改名, 柳艳霞, 等. 草果对卤制鸡肉挥发性风味物质的影响[J]. 食品科技, 2014, 39(7): 112-117. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2014.07.023.
- [30] 韩云秀. 牛肉风味物质分析及其检测方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017: 9-19.
- [31] 孟君, 彭秀丽, 张峻松, 等. 3种香辛料提取物抑菌及挥发性成分的研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(1): 40-44. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2019.01.009.