

# 不同蒸制时间条件下鸡胸肉挥发性成分比较

范婷婷<sup>1</sup>, 郑福平<sup>1,2,\*</sup>, 张逸君<sup>1</sup>, 张玉玉<sup>1,2</sup>, 陈海涛<sup>1,2</sup>, 黄明泉<sup>1,2</sup>, 刘玉平<sup>1,2</sup>, 谢建春<sup>1,2</sup>, 孙宝国<sup>1,2</sup>

(1.北京工商大学 北京市食品风味化学重点实验室, 北京 100048;

2.北京工商大学 食品质量与安全北京实验室, 北京 100048)

**摘要:** 采用加速溶剂萃取耦合溶剂辅助风味蒸发法, 提取不同蒸制时间下鸡胸肉挥发性成分, 利用气相色谱-质谱法结合保留指数定性分析, 共鉴定出90种化合物。其中, 在鸡胸肉蒸5、15 min和25 min后分别检出51、70种和53种挥发性成分。醛类、含氮、含硫及杂环类、酸类、醇类和烃类化合物的相对含量占绝对优势。鸡胸肉蒸15 min得到的挥发性成分在种类及数量上明显高于蒸5 min和25 min。

**关键词:** 鸡胸肉; 蒸制时间; 挥发性成分; 加速溶剂萃取耦合溶剂辅助风味蒸发; 气相色谱-质谱联用

## Comparison of Volatile Components in Chicken Breast Steamed for Different Periods

FAN Ting-ting<sup>1</sup>, ZHENG Fu-ping<sup>1,2,\*</sup>, ZHANG Yi-jun<sup>1</sup>, ZHANG Yu-yu<sup>1,2</sup>, CHEN Hai-tao<sup>1,2</sup>,  
HUANG Ming-quan<sup>1,2</sup>, LIU Yu-ping<sup>1,2</sup>, XIE Jian-chun<sup>1,2</sup>, SUN Bao-guo<sup>1,2</sup>

(1. Beijing Key Laboratory of Flavor Chemistry, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;

2. Beijing Laboratory for Food Quality and Safety, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

**Abstract:** Volatile components in chicken breast steamed for different periods were extracted by accelerated solvent extraction-solvent assisted flavor evaporation (ASE-SAFE), and determined by GC-MS based on retention index (RI). Totally 90 components were identified. Among these, 51, 70 and 53 volatile components were determined in chicken breast steamed for 5, 15 and 25 min, respectively. The relative content of aldehydes, nitrogenous compounds, sulfur-containing and heterocyclic compounds, acids, alcohols and hydrocarbons accounted for the majority of the total volatile compounds. Both the variety and quantity of volatile components in chicken breast steamed for 15 min were obviously higher than those in chicken breast steamed for 5 and 25 min.

**Key words:** chicken breast; steaming time; volatile compounds; accelerated solvent extraction dual solvent assisted flavor evaporation (ASE-SAFE); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

中图分类号: TS207.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)22-0115-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201422021

鸡肉以其细嫩多汁、味道鲜美、低脂高蛋白、低胆固醇等特点而深受人们的喜爱。生鲜肉淡而有微腥味, 香味很弱, 而在蒸制过程中, 一系列复杂的热诱导反应产生了大量的风味化合物, 包括非挥发性的滋味化合物和挥发性的香味化合物<sup>[1]</sup>。尽管滋味是肉品风味的重要组成部分, 但香味是决定肉品风味最重要的物质<sup>[2]</sup>。

1990年Gasser等<sup>[3]</sup>通过用芳香萃取物稀释分析法分析鸡汤中的风味化合物, 其中有31种化合物被确定出来, (*E,E*)-2,4-癸二烯醛、 $\gamma$ -十二碳内酯、2,5-二甲基-3-噻喃硫醇等是鸡肉区别于牛肉的特征风味化合物。2001年Wettasinghe等<sup>[4]</sup>采用同时蒸馏萃取-气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用分析煮

熟的鸡肉的挥发性成分, 鉴定出醛类、酮类、醇类、酯类、含氮、含硫化合物和杂环类共58种。目前, 国内的相关报道不多, 唐春红等<sup>[5]</sup>以不同卤制方法对鸡腿肉风味成分进行分析; 陈建良等<sup>[6]</sup>对不同鸡种的鸡肉利用固相微萃取-GC-MS联用对挥发性风味化合物进行相关报道; 段艳等<sup>[7]</sup>利用加速溶剂萃取耦合溶剂辅助风味蒸发法分析德州扒鸡的挥发性成分, 但在不同蒸制时间下鸡胸肉挥发性成分进行比较的未见报道。

加速溶剂萃取(accelerated solvent extraction, ASE)是Richter等<sup>[8]</sup>在1996年提出的新型样品处理方法, 具有快速、溶剂用量小、萃取效率高、安全的优点<sup>[9]</sup>, 其提取液中含有色素、脂肪等不挥发成分。目前加速溶剂萃取

收稿日期: 2014-06-30

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31171646)

作者简介: 范婷婷(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为香料化学。E-mail: girl123brave@163.com

\*通信作者: 郑福平(1969—), 男, 教授, 博士, 研究方向为香料化学。E-mail: zhengfp@th.btbu.edu.cn

在土壤、食品中的农药残留检测<sup>[10-13]</sup>和生物活性物质的提取<sup>[14-16]</sup>有诸多报道,但用于挥发性风味化合物萃取相对报道较少<sup>[7]</sup>。溶剂辅助风味蒸发(solvent assisted flavor evaporation, SAFE)法是由德国的Engel等<sup>[17]</sup>在1999年发明设计的,能在高真空条件下将液体样品中挥发性和不挥发性成分高效、温和地分离出来。本实验采用ASE-SAFE法对不同蒸制时间条件下(5、15 min和25 min)的鸡胸肉进行提取,并利用GC-MS对挥发性成分进行分析和比较,旨在确定鸡肉的主体香味成分及变化,并为其蒸制环节提供参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

华都冰鲜鸡大胸(白羽肉鸡,42 d出栏,宰后冷冻运输冷藏保存) 华都集团有限公司。

二氯甲烷(分析纯,重蒸后使用)、无水硫酸钠(分析纯) 国药集团化学试剂有限公司;C<sub>7</sub>~C<sub>30</sub>正构烷烃(色谱纯) 北京化学试剂有限公司;氮气(纯度99.9%) 北京氮普北分气体工业有限公司。

### 1.2 仪器与设备

SAFE装置 定制加工;ASE-100加速溶剂萃取仪 Dionex中国有限公司;粉碎机 天津市达康电器有限公司;不锈钢蒸锅 浙江苏泊尔股份有限公司;超级恒温水槽(DKB-501A型) 上海森信实验仪器有限公司;XDS5复合分子涡轮泵 英国Edwards公司;旋转蒸发仪 上海亚荣生化仪器厂;N-EVAP-12干浴氮吹仪 美国Organomation Associates公司;7890A-5975C气相色谱-质谱联用仪 美国Agilent公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品前处理

将华都冰鲜鸡大胸切成宽高约为7 cm×2 cm×1 cm大小,等蒸锅内的水煮沸后,将切好的华都冰鲜鸡大胸放蒸锅中分别蒸5(刚能被熟透)、15 min(鸡肉稍微蓬松,香气比较浓郁)和25 min(鸡肉蓬松微有裂痕),取出待冷却后切至颗粒状,液氮冷冻后用粉碎机粉碎至粉末,于-18℃条件下保存待用。

#### 1.3.2 挥发性成分提取

准确称取30 g华都冰鲜鸡大胸粉末,移入ASE的萃取池(66 mL)中,二氯甲烷在100℃条件下萃取5 min,冲洗体积120%,吹扫时间100 s,循环3次,得到200 mL左右的淡黄色萃取液。

将萃取液经滴液漏斗缓慢滴入SAFE蒸馏瓶(500 mL)内,蒸馏瓶和蒸馏头的温度均为50℃,冷阱中加入液氮,分子涡轮泵抽真空,使压力降至5×10<sup>-3</sup> Pa左右,萃取时间约为20 min。待收集瓶(500 mL)内二

氯甲烷提取液自然融化后,加无水Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>干燥,过滤,得澄清的二氯甲烷提取液。旋转蒸发至8 mL,再氮吹至0.5 mL,于-18℃冷冻备用。

#### 1.3.3 GC-MS分析条件

GC条件:DB-Wax毛细管柱(30 m×0.25 mm,0.25 μm);进样口温度250℃;升温程序:起始温度40℃,保持2 min,以5℃/min升到120℃,再以3℃/min升到150℃,再以6℃/min升到200℃,最后以8℃/min升到230℃,保持1 min;载气为氦气;流速1.0 mL/min;进样量1 μL;不分流。

MS条件:电子电离源;电子能量70 eV;四极杆温度150℃;离子源温度230℃;传输线温度250℃;溶剂延迟5 min;质量扫描范围m/z 50~500。

#### 1.3.4 定性定量

定性分析:运用NIST 11谱库检索,保留匹配度不小于70的化合物;再结合文献保留指数或标准品的保留指数与样品保留指数之间的定性,当它们之间相差在±20以内,认为可靠。

保留指数(retention index, RI)的计算公式<sup>[18]</sup>:

$$RI=100 \times [n + (t_i - t_n) / (t_{n+1} - t_n)]$$

式中:t<sub>i</sub>为待测组分的保留时间/min;t<sub>n</sub>为具有n个碳原子的正构烷烃的保留时间/min;t<sub>n+1</sub>为具有n+1个碳原子的正构烷烃的保留时间/min。

定量分析:采用面积归一化法对各组分进行定量分析,得到各组分的相对含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 检出成分的种类和数量

华都冰鲜鸡大胸分别蒸5、15 min和25 min,ASE-SAFE法得到提取液浓缩后,进行GC-MS分析,相应的质谱总离子流图如图1所示,各挥发性成分的分析结果见表1。

由表1可知,由ASE-SAFE法提取鸡胸肉的挥发性成分,经GC-MS分析,总共鉴定出90种挥发性风味化合物。蒸5 min的鸡胸肉中鉴定出51种化合物,其中,醛类(20.596%)10种、酮类(1.862%)1种、醇类(8.947%)5种、酚类(1.035%)1种、酸类(15.818%)8种、醚类(0.541%)1种、含氮、含硫及杂环类(36.385%)12种、烃类(14.816%)13种。蒸15 min的鸡胸肉中鉴定出70种化合物,其中,醛类(14.955%)14种、酮类(11.070%)3种、醇类(28.554%)7种、酚类(1.564%)3种、酸类(12.322%)9种、酯类(2.927%)3种、内酯类(3.765%)2种、醚类(0.766%)2种、含氮、含硫及杂环类(19.395%)18种、烃类(4.681%)9种。

表1 不同蒸制时间条件下鸡胸肉挥发性成分比较  
Table 1 Comparison of volatile components in chicken breast steamed for different durations

化合物名称	5 min		15 min		25 min		保留指数	标准品保留指数	文献保留指数	鉴定方式
	相对含量/%	匹配度	相对含量/%	匹配度	相对含量/%	匹配度				
己醛 hexanal	6.286	91	3.503	94	5.869	90	1 074	1 063	1 080	MS RI S
庚醛 heptanal	1.025	92	0.441	96			1 174	1 171	1 174	MS RI S
反-2-己烯醛 (E)-2-hexenal			0.044	91			1 200	1 202	1 200	MS RI S
辛醛 octanal	1.504	90	0.486	91	1.207	76	1 277	1 276	1 275	MS RI S
反-2-庚烯醛 (E)-2-heptenal	0.454	64	0.321	72			1 310	1 309	1 334	MS RI S
壬醛 nonanal	3.156	90	1.761	95			1 381	1383	1 380	MS RI S
反-2-十三烯醛 (E)-2-tridecenal					1.270	90	1 415			MS
反-2-辛烯醛 (E)-2-octenal	1.621	76	0.617	78			1 415	1 416	1 416	MS RI S
癸醛 decanal			0.411	91			1 479	1 488	1 483	MS RI S
苯甲醛 benzaldehyde	2.743	97	3.625	97	2.171	96	1 506	1 506	1 508	MS RI S
反-2-壬烯醛 (E)-2-nonenal	1.078	72	0.468	91	0.928	72	1 522	1 523	1 532	MS RI S
苯乙醛 benzeneacetaldehyde			0.769	83	0.426	83	1 619	1 620	1 618	MS RI S
反-2-癸烯醛 (E)-2-decenal			0.961	64			1 618	1 628	1 630	MS RI S
反,反-2,4-癸二烯醛 (E,E)-2,4-decadienal	2.079	93	0.961	95	1.304	97	1 790	1 790	1 789	MS RI S
十六醛 hexadecanal					6.236	97	2 113		2 137	MS RI
香兰素 vanillin	0.650	96	0.589	96	0.223	70	2 534		2 540	MS RI
小计	20.596		14.955		22.699					
3-羟基-2-丁酮 acetoin	1.862	80	9.245	78	7.286	56	1 269		1 273	MS RI
羟基丙酮 1-hydroxy-2-propanone					4.533	59	1 282		1 295	MS RI
3-甲基-2-环戊烯-1-酮 3-methyl-2-cyclopenten-1-one			0.136	64	0.435	87	1 504		1 507	MS RI
苯乙酮 acetophenone			1.689	93			1 622		1 627	MS RI
小计	1.862		11.070		12.254					
1-庚醇 1-heptanol	0.506	58					1 447		1 447	MS RI
2-乙基-1-己醇 2-ethyl-1-hexanol	1.017	72	5.415	72			1 482	1 483	1 484	MS RI S
2,3-丁二醇 2,3-butanediol	1.561	72	8.578	86	2.114	86	1 528	1 528	1 542	MS RI S
1-辛醇 1-octanol			0.356	86	0.585	86	1 547	1 548	1 550	MS RI S
(2R,3R) - (-) -2,3-丁二醇 [R-(R*,R*)]-2,3-butanediol	1.921	80	11.570	90	4.829	86	1 563	1 564	1 570	MS RI S
一缩二丙二醇 1,1'-oxybis-2-propanol			1.726	90			1 814			MS
苯甲醇 benzyl alcohol			0.358	97			1 851	1 856	1 854	MS RI S
苯乙醇 phenylethyl alcohol			0.552	90			1 883	1 891	1 890	MS RI S
十三醇 n-tridecan-1-ol	3.941	74			2.108	80	1 735			MS
小计	8.947		28.554		9.636					
2,6-二叔丁基对甲酚 butylated hydroxytoluene	1.035	98	0.524	97	0.296	97	1 893	1 897	1 911	MS RI S
苯酚 phenol			0.774	93			1 980		1 984	MS RI
对甲酚 p-cresol			0.267	93			2 057		2 057	MS RI
小计	1.035		1.564		0.296					
丙酸 propanoic acid			0.157	64			1 515	1 520	1 523	MS RI S
丁酸 butanoic acid	3.597	80	2.151	91			1 609		1 610	MS RI
己酸 hexanoic acid	4.481	90	2.913	83	2.307	90	1 826	1 831	1 827	MS RI S
异辛酸 2-ethyl-hexanoic acid	2.075	58	4.228	91			1 934		1 951	MS RI
辛酸 octanoic acid	1.364	72	0.729	86	0.683	86	2 039		2 038	MS RI
壬酸 nonanoic acid	1.720	91	0.920	93	0.481	81	2 142		2 144	MS RI
癸酸 n-decanoic acid	0.465	96	0.312	80	0.259	50	2 242	2 245	2 246	MS RI S
苯甲酸 benzoic acid	0.610	93	0.323	93	0.368	94	2 401		2 405	MS RI
月桂酸 dodecanoic acid	1.506	98	0.588	98	0.867	99	2 462	2 463	2 465	MS RI S
小计	15.818		12.322		4.965					
水杨酸甲酯 methyl salicylate			2.266	74			1 748		1 752	MS RI
肉豆蔻酸异丙酯 isopropyl myristate			0.398	81			2 019		2 017	MS RI
棕榈酸甲酯 hexadecanoic acid, methyl ester			0.262	96			2 194		2 202	MS RI
小计			2.927							
4-羟基丁酸内酯 butyrolactone			2.591	53			1 597		1 607	MS RI
DL-泛酰内酯										
(+/-)-dihydro-3-hydroxy-4,4-dimethyl-2(3H)-furanone					0.739	72	1 999			MS
(+/-) -3-羟基-γ-丁内酯 dihydro-4-hydroxy-2(3H)-furanone			1.173	72	3.240	72	2 564			MS
小计			3.765		3.979					

续表1

	化合物名称	5 min		15 min		25 min		保留 指数	标准品 保留指数	文献保留指数	鉴定方式
		相对含量/%	匹配度	相对含量/%	匹配度	相对含量/%	匹配度				
醚类	桉树脑 eucalyptol			0.308	78			1 194		1 194	MS RI
	茴香脑 anethole			0.458	95			1 803		1 815	MS RI
	乙二醇苯醚 2-phenoxy-ethanol	0.541	90					2 116		2 107	MS RI
	小计	0.541		0.766							
	2-正戊基呋喃 2-pentyl-furan	0.343	76	0.417	94			1 221	1 219	1 222	MS RI S
	N,N-二甲基甲酰胺 N,N-dimethyl-formamide	0.788	64					1 315	1 320	1 319	MS RI S
	2,3-二甲基吡嗪 2,3-dimethyl-pyrazine			0.138	81			1 327		1 326	MS RI
	3-甲基硫丙醛 methional	3.490	91	2.427	90	0.527	62	1 438	1 439	1 443	MS RI S
	乙酰氧基-2-丙酮 1-(acetyloxy)-2-propanone			0.535	59	1.633	59	1 450		1 469	MS RI
	二甲基亚砷 dimethyl sulfoxide			0.194	87	0.266	76	1 559		1 574	MS RI
	N-甲基吡咯烷酮 1-methyl-2-pyrrolidinone	1.826	70	0.622	50	0.649	76	1 661		1 665	MS
	二甲基砷 dimethyl sulfone	14.139	94	5.561	94	12.312	94	1 873			MS
N-甲基丁二酰胺 1-methyl-2,5-pyrrolidinedione					0.334	72	1 880			MS	
3-甲基-1-丁酰胺 3-methyl-butanamide			0.606	64			1 892		1 903	MS RI	
含氮含硫及杂环类	苯并噻唑 benzothiazole			0.346	58			1 921		1 942	MS RI
	1-甲基咪唑-5-甲醛 1-methylimidazole-5-carboxaldehyde	3.782	86	2.420	86	1.674	86	1 946			MS
	(R)-3-羟基-4,4-二甲基-二氢-2(3H)-呋喃酮 pantolactone			0.627	72			2 001		2 006	MS RI
	2-吡咯烷酮 2-pyrrolidinone	3.958	80	1.913	80	2.622	86	2 008		2 020	MS RI
	2-氮己环酮 2-piperidinone	4.311	92	1.539	87	6.028	70	2 103			MS
	1,6-己内酰胺 caprolactam	1.189	74	0.339	93			2 154			MS
	2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4(H)吡喃-4-酮 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one			0.791	81			2 236		2 240	MS RI
	4-甲基-5-羟乙基噻唑 4-methyl-5-thiazoleethanol	0.283	76	0.357	94	0.143	62	2 276	2 278	2 275	MS RI S
	4-甲基-3-乙炔基-1H-吡咯-2,5-二酮 3-ethenyl-4-methyl-1H-pyrrole-2,5-dione	0.457	80					2 381			MS
	吲哚 indole			0.295	90			2 404		2 412	MS RI
	5-羟甲基二氢呋喃-2-酮 5-hydroxymethyldihydrofuran-2-one	1.819	87	0.268	80	1.525	86	2 450			MS
	小计	36.385		19.395		27.712					
烃类	甲苯 toluene					2.167	80	1 029		1 033	MS RI
	乙苯 ethylbenzene	1.141	91			1.166	60	1 116	1 109	1 122	MS RI S
	对二甲苯 p-xylene	0.448	86	0.130	93			1 122		1 129	MS RI
	间二甲苯 1,3-dimethyl-benzene	0.870	95	0.184	95	1.374	86	1 129		1 134	MS RI
	邻二甲苯 o-xylene	0.492	70			0.698	80	1 171		1 176	MS RI
	D-柠檬烯 D-limonene	0.414	96	0.599	99	0.621	96	1 188		1 192	MS RI
	十二烷 dodecane	0.466	89	0.176	91	0.860	86	1 191		1 200	MS RI
	1-乙基-3-甲基苯 1-ethyl-3-methyl-benzene					1.402	94	1 213		1 216	MS RI
	苯乙烯 styrene	1.417	83	0.847	92			1 241	1 241	1 250	MS RI S
	十三烷 tridecane	0.634	93	0.259	95	1.242	59	1 289		1 300	MS RI
	1-乙基-2-甲基苯 1-ethyl-2-methyl-benzene					0.713	87	1 321		1 248	MS RI
	1-十三烯 1-tridecene	0.729	94			0.278	95	1 332	1 333		MS S
	邻异丙基甲苯 o-cymene					0.481	95	1 339			MS
	十四烷 tetradecane	0.990	96	0.576	98	1.028	96	1 388		1 400	MS RI
	对乙基苯乙烯 1-ethenyl-4-ethyl-benzene					0.792	94	1 461			MS
	1-苯基-1-丁烯 1-phenyl-1-butene					1.619	81	1 486			MS
	十五烷 pentadecane	1.974	97	0.565	98	1.508	96	1 489		1 500	MS RI
十五烯 1-pentadecene	1.195	98			0.451	97	1 533	1 536	1 512	MS RI S	
十六烷 hexadecane	4.047	98	1.346	99	2.060	99	1 585		1 600	MS RI	
小计	14.816		4.681		18.458						

注: MS.质谱分析法; RI.保留指数法; S.标准品法。

蒸25 min的鸡胸肉中鉴定出53种化合物,其中,醛类(22.699%)9种、酮类(12.254%)3种、醇类(9.636%)4种、酚类(0.296%)1种、酸类(4.965%)

6种、内酯类(3.979%)2种、含氮、含硫及杂环类(27.712%)11种、烃类(18.458%)17种。

由表1可看出,鸡胸肉在3种蒸制时间条件下,醛

类、含氮、含硫及杂环类、酸类、醇类和烃类化合物的相对含量较高, 占总量的绝大部分。鸡胸肉蒸15 min相对于蒸5 min和25 min发生主要变化的是醛类、含氮、含硫及杂环类、醇类、酚类、酸类和酯类, 它们在数量上有显著的增加。其中, 醛类和含氮、含硫及杂环类是对鸡肉有特殊贡献的香味化合物<sup>[19]</sup>。

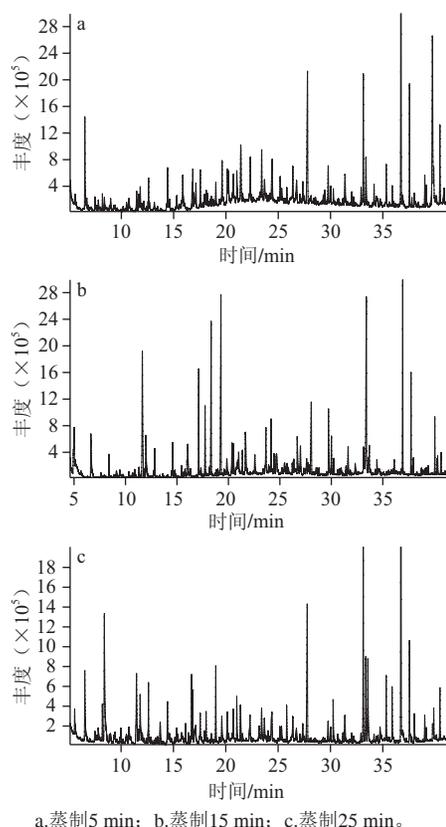


图1 不同蒸制时间下鸡胸肉挥发性化合物总离子流图  
Fig.1 Total ion chromatograms of volatile components in chicken breast steamed for different durations

## 2.2 鸡胸肉中挥发性化合物的比较

醛类、酮类主要来源于脂质氧化和降解, Strecker降解反应也是其重要来源之一<sup>[20]</sup>。醛的阈值一般很低, 具有脂肪香味, 是肉品香味的主要构成部分<sup>[2]</sup>。醛(特别是烯醛和二烯醛)是鸡肉脂肪受热时的特征香味物质, 若除去这些羰基化合物, 就失去鸡的特征香气而成为近似于牛肉的气味<sup>[21]</sup>。由表1可知, 鸡胸肉蒸5、15 min和25 min检出的醛类分别是10、14种和9种, 这些醛类主要是直链饱和醛和烯醛, 虽然烯醛的含量较低, 但由于其气味阈值极低, 对鸡肉的风味具有重要作用。反-2-己烯醛和反-2-癸烯醛只在鸡胸肉蒸15 min时才被检测到, 且含量都很低。反-2-己烯醛具有青香、脂肪香和鸡肉香, 反-2-癸烯醛具有脂肪及鸡、家禽肉香味。在不同蒸制时间下均含有的醛类化合物有己醛、辛醛、苯甲醛、反-2-壬烯醛、反,反-2,4-癸二烯醛和香兰素。其中, 己醛

的含量最高, 且阈值(4.4 μg/kg)较低, 具有青香, 来自ω-6不饱和脂肪酸, 是亚油酸氧化的基本产物<sup>[22]</sup>。虽然反,反-2,4-癸二烯醛的阈值(0.07 μg/kg)极低, 但对鸡肉整体风味影响很大, 且在其他肉品挥发性风味化合物中很少发现, 是鸡肉中的主体香成分。反-2-庚烯醛和反-2-辛烯醛只在蒸5 min和15 min时被检测到, 且蒸15 min时的含量低于蒸5 min, 说明随着蒸制时间的延长, 化合物的含量逐渐降低, 以致低于检测限。反-2-庚烯醛天然存在于土豆片、烤花生和青豆中, 具有油脂香、青香、果香; 反-2-辛烯醛呈脂肪和肉类香气, 阈值(0.07 μg/kg)也极低, 因此也是鸡肉的主体香气<sup>[6]</sup>。酮类化合物的阈值较醛类要高, 对鸡肉的风味特征贡献较小。鸡胸肉在蒸5、15 min和25 min检测出来的酮类化合物分别是1、3种和3种, 这说明随着蒸制时间的延长, 酮类化合物在含量上有所增加。其共同含有的化合物是3-羟基-2-丁酮, 高度稀释后有令人愉快的奶油香气。

醇类化合物主要来自于脂肪氧化。本实验测出的醇均为直链饱和醇, 其阈值较高, 对鸡肉的整体风味影响较弱。1-庚醇只在鸡胸肉蒸5 min时被检测到, 含量很低, 具有新鲜、清淡的油脂气息, 并带有酒香<sup>[23]</sup>。1-辛醇在鸡胸肉蒸15 min和25 min时被检测到, 相对含量分别为0.356%和0.585%, 具有饼干及强烈的油脂气味<sup>[24]</sup>。1-庚醇比1-辛醇少了一个-CH<sub>2</sub>, 这可能是稍低分子质量的1-庚醇会随着蒸制时间的延长而逐渐挥发至无法检测到, 稍高分子质量的1-辛醇随着蒸制时间的延长而相对含量有所增加。

在酚类物质中, 均能检测到的2,6-二叔丁基对甲酚是食品中常用的抗氧化剂。

本实验鉴定出的酸类化合物中, 鸡胸肉蒸5、15 min和25 min检测出来的酸类化合物分别是8、9种和6种, 大部分是低分子质量的酸, 对鸡肉特征风味贡献不大。酸、醇来源于脂肪的氧化降解, 脂肪酸和醇经缩合形成酯, 酯类具有油香气息<sup>[20,25]</sup>。本实验中检测到3种酯类, 仅在蒸15 min时出现, 它们分别为水杨酸甲酯、肉豆蔻酸异丙酯和棕榈酸甲酯。这可能是脂肪酸和醇在适宜的高温烹饪过程中缩合成酯类, 而鸡胸肉蒸15 min正有利于其酯类物质的形成。

内酯类相对于酯类化合物, 阈值较低, 对肉香味产生了一定的贡献。鸡胸肉蒸5 min没有检测到内酯类化合物, 而鸡胸肉蒸15 min和25 min各生成了2种内酯类化合物, 分别是4-羟基丁酸内酯, (+/-)-3-羟基-γ-丁内酯和DL-泛酰内酯, 其中(+/-)-3-羟基-γ-丁内酯是2个蒸制时间下共同含有的化合物。

含氮、含硫及杂环类化合物主要来源于氨基酸和还原糖之间的Maillard反应、氨基酸及硫胺素的热解, 阈值较低, 是肉品最重要的风味呈味物<sup>[26]</sup>。本实验检出的挥

发性成分中,含氮、含硫及杂环类化合物无论在数量和峰面积上都最多,鸡胸肉蒸5、15 min和25 min检测出的化合物分别是12、18种和11种,共同含有的化合物有8种,包括呋喃、吡咯、吡嗪、噻唑、含硫直链化合物等。一些具有肉香和鸡肉特征香气的挥发性成分也被检出,如2-正戊基呋喃、2,3-二甲基吡嗪、苯并噻唑、4-甲基-5-羟乙基噻唑、3-甲硫基丙醛等。烷基呋喃主要来源于不饱和脂肪酸的氧化,其中2-正戊基呋喃主要源于亚油酸或2-癸二烯醛的氧化,具有豆香、果香、泥土及类似蔬菜的香韵<sup>[27]</sup>。仅于鸡胸肉蒸15 min测出的2,3-二甲基吡嗪含量很低,其天然存在于焙烤肉品、咖啡、乳品、花生、大豆制干酪等中,具有类似杏仁香气。噻唑类化合物一般具有独特的坚果香、烘烤肉香、蔬菜香和焦香香气。苯并噻唑仅于鸡胸肉蒸15 min被检测到,具有炖肉味、肉汤味及烧烤味<sup>[28]</sup>。而4-甲基-5-羟乙基噻唑在3种不同蒸制时间下都被检测到,具有坚果香和焦糖味。鸡胸肉在3种不同蒸制时间下都被检测到的含硫直链化合物3-甲硫基丙醛,广泛存在于肉类、酒类及腐肉等食品中,具有土豆味、肉味、大豆酱油味。在含氮、含硫及杂环类化合物中,鸡胸肉蒸15 min所测出的化合物明显高于蒸5 min和25 min,这可能是鸡胸肉蒸15 min有利于Maillard反应的生成和氨基酸及硫胺素的热解,对鸡肉的香成分产生了整体的协调作用。

烃类物质主要来源于脂肪酸烷氧自由基的均裂。烷烃一般认为对鸡肉香气无特殊贡献,但有些可能是形成杂环化合物的重要中间体,有助于提高鸡肉的整体风味质量<sup>[22]</sup>。鸡胸肉蒸制不同时间下,烷烃和杂环化合物在数量上发生了相应的变化。蒸15 min时形成的杂环化合物最多,相比之下烷烃类物质在数量上相对减少;蒸5 min和蒸25 min时形成的杂环化合物比蒸15 min时在数量上有所减小,而烷烃类物质的数量有所增加。萜烯类化合物对鸡肉的香成分有一定的协同作用。如在不同蒸制时间下都含有的D-柠檬烯,存在于橙子、柠檬、胡椒等多种精油中,具有令人愉快的柠檬香气、柑橘味道。在鸡胸肉蒸5 min和蒸15 min被检测到的苯乙烯具有树脂香和花香。

### 3 结论

采用ASE-SAFE法对不同蒸制时间的鸡胸肉进行了提取分析,蒸5、15 min和25 min分别检测出51、70种和53种挥发性成分。鸡胸肉蒸15 min得到的挥发性风味化合物无论在种类还是数量上明显高于蒸5 min和蒸25 min。

随蒸制时间的延长,庚醛、反-2-庚烯醛、壬醛、反-2-辛烯醛、1,6-己内酰胺、苯乙烯等含量逐渐降低,1-辛醇、(+/-)-3-羟基- $\gamma$ -丁内酯、乙酰氧基-2-丙酮等

难挥发或经氧化还原成的化合物含量逐渐增大,反-2-己烯醛、癸醛、反-2-癸烯醛、苯乙酮、水杨酸甲酯、DL-泛酰内酯、2,3-二甲基吡嗪等仅在某一个蒸制时间下才被检测到。

### 参考文献:

- [1] 袁华根,高峰,徐骏,等. 鸡肉挥发性风味化合物分析[J]. 江西农业学报, 2006, 18(5): 139-141.
- [2] MOTTRAM D S. Flavour formation in meat and meat products: a review[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424.
- [3] GASSER U, GROSCH W. Primary odorants of chicken broth[J]. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 1990, 190(1): 3-8.
- [4] WETTASINGHE M, VASANTHAN T, TEMELLI F, et al. Volatile flavour composition of cooked by-product blends of chicken, beef and pork: a quantitative GC-MS investigation[J]. Food Research International, 2001, 34(2): 149-158.
- [5] 唐春红,陈旭华,张春晖,等. 不同卤制方法对鸡腿肉中挥发性风味化合物的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(14): 123-129.
- [6] 陈建良,芮汉明,陈号川. 不同鸡种的鸡肉挥发性风味特性的比较研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(10): 1129-1134.
- [7] 段艳,郑福平,杨梦云,等. ASE-SAFE/GC-MS/GC-O法分析德州扒鸡风味化合物[J]. 中国食品学报, 2014, 14(4): 222-230.
- [8] RICHTER B E, JONES B A, EZZELL J L, et al. Accelerated solvent extraction: a technique for sample preparation[J]. Analytical Chemistry, 1996, 68(6): 1033-1039.
- [9] 叶明立,朱岩. ASE加速溶剂萃取技术在食品、农残方面的分析应用[J]. 现代科学仪器, 2003(1): 35-37.
- [10] GAN J, PAPIERNIK S K, KOSKINEN W C, et al. Evaluation of accelerated solvent extraction (ASE) for analysis of pesticide residues in soil[J]. Environmental Science & Technology, 1999, 33(18): 3249-3253.
- [11] ZHU Xiaolan, CAI Jibao, YANG Jun, et al. Determination of organophosphate pesticide residues in soil by accelerated solvent extraction-gas chromatography[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2005, 33(6): 821-824.
- [12] WU G, BAO X, ZHAO S, et al. Analysis of multi-pesticide residues in the foods of animal origin by GC-MS coupled with accelerated solvent extraction and gel permeation chromatography cleanup[J]. Food Chemistry, 2011, 126(2): 646-654.
- [13] ADOU K, BONTOYAN W R, SWEENEY P J. Multiresidue method for the analysis of pesticide residues in fruits and vegetables by accelerated solvent extraction and capillary gas chromatography[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(9): 4153-4160.
- [14] SHEN J, SHAO X. A comparison of accelerated solvent extraction, Soxhlet extraction, and ultrasonic-assisted extraction for analysis of terpenoids and sterols in tobacco[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2005, 383(6): 1003-1008.
- [15] BRAGA M E M, MEIRELES M A A. Accelerated solvent extraction and fractionated extraction to obtain the *Curcuma longa* volatile oil and oleoresin[J]. Journal of Food Process Engineering, 2007, 30(4): 501-521.
- [16] 张玉,吴慧明,余建伟,等. 加速溶剂萃取技术提取柑橘皮中总黄酮的工艺研究[J]. 食品科学, 2008, 32(11): 213-215.
- [17] ENGEL W, BAHR W, SCHIEBERLE P. Solvent assisted flavor evaporation: a new and versatile technique for the careful and direct isolation of aroma compounds from complex food matrices[J]. European Food Research and Technology A, 1999, 209(3/4): 237-241.
- [18] 谢建春. 现代香味分析技术与应用[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 17-18.
- [19] 曾晓房. 鸡骨架酶解及其产物制备鸡肉香精研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2007.
- [20] 段艳,郑福平,王楠,等. MAE-SAFE/GC-MS分析酱牛肉挥发性成分[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 250-254.
- [21] NOLEAU I, TOULEMONDE B. Quantitative study of roast chicken fat[J]. Journal of Food Science and Technology, 1987, 2(1): 7-41.
- [22] 徐晓兰,陈海涛,慕艳梅,等. SDE-GC-MS分析胡同坊北京酱鸡的挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2012, 32(22): 237-242.
- [23] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [24] TIMÓN M L, CARRAPISO A I, JURADO Á, et al. A study of the aroma of fried bacon and fried pork loin[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2004, 84(8): 825-831.
- [25] 陈海涛,张宁,徐晓兰,等. SPME和SDE-GC-MS分析贾永信腊羊肉的挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 187-191.
- [26] LEO M L N, TERRI B, CHEN Feng, et al. Handbook of meat, poultry and seafood quality[M]. Ghent: Wiley Blackwell, 2007: 343-359.
- [27] SHAHIDI F. Flavor of meat and meat products[M]. Blackie Academic & Professional, 1994: 36-51.
- [28] XIE Jianchun, SUN Baoguo, ZHENG Fuping, et al. Volatile flavor constituents in roasted pork of mini-pig[J]. Food Chemistry, 2008, 109(3): 506-514.