



吹扫/捕集-热脱附-气质联用比较分析长白山黑猪和瘦肉型猪肉的挥发性风味物质

周慧敏, 张顺亮, 赵冰, 李素, 潘晓倩, 任双, 王守伟*

(中国肉类食品综合研究中心, 国家肉类加工工程技术研究中心, 肉类加工技术北京市重点实验室, 北京 100068)

摘要: 为全面解析长白山黑猪和瘦肉型猪肉中挥发性风味物质的区别, 采用吹扫/捕集-热脱附-气质联用法对比分析这2种猪肉中挥发性风味物质的组成和差异。结果表明: 5种醛类和2种酮类物质在猪肉挥发性化合物中的气味活度值(odor activity value, OAV)较高, 且在长白山黑猪肉中的含量显著高于瘦肉型猪肉。其中, 己醛、庚醛、辛醛、癸醛和反式-2-壬烯醛的OAV较高, 是造成2种猪肉风味差异的重要原因; 苯乙酮和6-甲基-5-庚烯-2-酮的OAV相对较高, 对2种猪肉风味差异具有一定贡献。

关键词: 长白山黑猪肉; 瘦肉型猪肉; 挥发性风味化合物; 含量差异

Comparative Analysis of Volatile Compounds in Lean from Changbai Mountain Black Pig and Lean-type Pig Analyzed by Purge and Trap Thermal Desorption Combined with Gas Chromatography-Mass Spectrometry

ZHOU Huimin, ZHANG Shunliang, ZHAO Bing, LI Su, PAN Xiaoqian, REN Shuang, WANG Shouwei*

(Beijing Key Laboratory of Meat Processing Technology, State Meat Processing and Engineering Center, China Meat Research Center, Beijing 100068, China)

Abstract: The volatile flavor components of lean meat from Changbai Mountain black pig and lean-type pig were comparatively analyzed by purge and trap thermal desorption combined with gas chromatography-mass spectrometry (P&T-TDS-GC-MS). The results indicated that the odor activity values (OAVs) of five aldehydes and two ketone were higher, and their contents in lean meat from Changbai Mountain black pig were significantly higher than in lean meat from lean-type pig. The OAVs of hexanal, heptanal, octanal, decanal and (*E*)-2-nonenal were higher, which caused the flavor difference between the breeds. The OAVs of acetophenone and 6-methyl-5-hepten-2-one were also higher, which had a potential contribution to this difference.

Key words: Changbai mountain black pig meat; lean-type pig meat; volatile components; difference

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201703009

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123(2017)03-0045-06

引文格式:

周慧敏, 张顺亮, 赵冰, 等. 吹扫/捕集-热脱附-气质联用比较分析长白山黑猪和瘦肉型猪肉的挥发性风味物质[J]. 肉类研究, 2017, 31(3): 45-50. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201703009. <http://www.rlyj.pub>

ZHOU Huimin, ZHANG Shunliang, ZHAO Bing. Comparative analysis of volatile compounds in lean from Changbai mountain black pig and lean-type pig analyzed by purge and trap thermal desorption combined with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Meat Research, 2017, 31(3): 45-50. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201703009. <http://www.rlyj.pub>

随着社会发展和生活水平的提高, 人们不仅关心猪肉的营养和安全, 还对猪肉的品质提出了更高的要求, 于是, 高品质的猪肉愈来愈受到消费者的喜欢, 备受众多研究者的关注^[1-2]。目前, 国内外的学者对不同品种猪

肉的营养与食用品质、肌间脂肪、氨基酸和硫胺素含量等进行了多方面的研究^[2-9], 研究认为, 挥发性风味物质是猪肉食用品质的重要组成, 它主要由肌肉风味前体物质在受热时发生分解、氧化和还原等一系列化学反应

收稿日期: 2016-09-10

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAD28B01)

作者简介: 周慧敏(1990—), 女, 工程师, 硕士, 研究方向为肉类食品加工与安全。E-mail: zhouhuimin7630@163.com

*通信作者: 王守伟(1961—), 男, 教授级高级工程师, 硕士, 研究方向为肉品加工技术。E-mail: cmrcsw@126.com

所产生,如不饱和醛酮、含硫化合物以及一些杂环化合物。由于本土猪肉相较于市场售卖的大部分瘦肉型猪肉香气浓郁,受到学者们对其风味的广泛研究,如对豫南黑猪、定远黑猪、川藏黑猪等地方土猪肉中挥发性风味物质的组成及差异原因进行研究^[10-14]。而长白山山黑猪因其口感好、品质佳且香气浓郁,受到消费者的欢迎^[15],但其与瘦肉型猪肉风味差异主要由哪种挥发性风味物质所决定,至今尚未见到相关报道。

吹扫/捕集-热脱附法(purge/trap-thermal desorption system, P&T-TDS)是一种基于动态顶空原理对挥发性风味成分分析的前处理方法,该法常选用有机多孔聚合物吸附剂,具有快速准确、无需有机溶剂、灵敏度高,对痕量物质的检测有良好的优势,检测限可达到 10^{-9} 级,能较真实地反映样品中挥发性物质的组成^[16]。因此本研究采用P&T-TDS结合气-质联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)对长白山山黑猪与瘦肉型猪肉中挥发性风味物质进行对比分析,充分解析长白山山黑猪肉在挥发性风味物质方面的优势,为其深入研究及进一步开发利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

长白山山黑猪肉 吉林精气神有机农业股份有限公司;瘦肉型猪肉 北京第五肉联厂。取3个部位(五花肉、前腿肉和后腿肉)为测定材料,低温保温箱运到实验室。

2-甲基-3-庚酮 美国Sigma-Aldrich公司。

1.2 仪器与设备

Gerstel TDS半自动热脱附进样器、Tenax TA石英玻璃吸附管、TC-20型Tenax-TA吸附管自动净化仪 德国Gerstel公司;吹扫捕集器 自制;GC-MS联用仪、TG-5毛细管柱 美国赛默飞世尔科技(中国)有限公司。

1.3 方法

1.3.1 猪肉样品处理

分别取剔除可见脂肪、筋膜的前腿、后腿和五花3个部位的精瘦肉1 kg,用绞肉机绞碎,混匀待用。

1.3.2 P&T-TDS提取挥发性成分

准确称取10.00 g置于P&T样品瓶中,并加入1 μ L的2-甲基-3-庚酮(0.816 μ g/ μ L)作为内标化合物,样品瓶一端通氮气,氮气吹扫流速为50 mL/min,另一端接装有Tenax TA吸附剂的吸附管,55 $^{\circ}$ C保温,吸附40 min,然后将吸附管取出插入TDS进样器中进样,实验重复3次。

TDS条件:采用标准加热模式;氮气流速:10 mL/min;分流比100:1;初始温度40 $^{\circ}$ C,延迟0.5 min,保持1 min,然后以60 $^{\circ}$ C/min上升到230 $^{\circ}$ C,保

持2 min;传输线温度为230 $^{\circ}$ C。

冷进样(cold injection system, CIS)条件:采用标准加热模式;液氮冷却,初始温度-100 $^{\circ}$ C,平衡0.2 min,然后以10 $^{\circ}$ C/min上升到230 $^{\circ}$ C,保持3 min,分流比为50:1。

1.3.3 GC-MS测定挥发性风味成分

GC条件: TG-5非极性柱(30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μ m)进行GC分析;高纯氮气(纯度>99.99%)作为载气;流速1.0 mL/min;不分流模式。程序升温程序为:起始柱温40 $^{\circ}$ C保持3 min,以5 $^{\circ}$ C/min升温到200 $^{\circ}$ C,保持0 min,再以10 $^{\circ}$ C/min升到230 $^{\circ}$ C保持3 min。

MS条件:传输线温度250 $^{\circ}$ C,电子能量70 eV, EI离子源,离子源温度280 $^{\circ}$ C,质量扫描范围设定为40~600 u;采用全扫描模式。

1.3.4 挥发性风味物质定性定量分析

定性:通过NIST和Willey谱库检索,化合物的确定以SI和RSI均大于800为准。

定量:按面积归一化法计算各组分相对含量,以2-甲基-3-庚酮为标样,采用内标法进行绝对含量的定量分析。按式(1)计算:

$$C_x = \frac{1000 \times C_o \times S_x}{10 \times S_o} \quad (1)$$

式中: C_x 为未知挥发性化合物含量/(μ g/kg); C_o 为内标化合物含量/(μ g/kg); S_x 为未知挥发性化合物的峰面积/(AU $\cdot$ min); S_o 为添加的内标化合物峰面积/(AU $\cdot$ min)。

1.3.5 风味成分评价

采用气味活度值(odor activity value, OAV)评价各化合物对样品总体风味的贡献^[18]; $0.1 < OAV < 1$,说明该物质对总体风味有修饰作用; $OAV > 1$,说明该物质可能对总体风味有直接影响;在一定范围内, OAV越大说明该物质对总体风味贡献越大。按式(2)计算:

$$OAV = \frac{C}{T} \quad (2)$$

式中: C 为物质含量/(μ g/kg); T 为感觉阈值/(μ g/kg)。

1.4 数据处理

数据用SAS 9.0统计软件方差分析程序进行显著差异分析, $P < 0.05$ 为显著差异。

2 结果与分析

2.1 长白山山黑猪和瘦肉型猪肉中挥发性风味物质的测定结果

采用P&T-TDS-GC-MS检测方法对2种猪肉中挥发性风味物质定性定量对比分析结果如表1所示。



表1 长白山山黑猪和瘦肉型猪肉中挥发性风味物质的分析结果

Table 1 Analytical results of volatile compounds in lean from Changbai mountain black pig and lean-type pig

类别	化合物名称	阈值/ ($\mu\text{g/kg}$)	含量/ ($\mu\text{g/kg}$)	
			瘦肉型猪肉	长白山山黑猪肉
醛类	乙醛	15 ^[25]	3.28±0.40 ^a	5.81±0.69 ^b
	戊醛	12 ^[25]	0.35±0.04	ND
	己醛	4.5 ^[25]	9.19±1.13 ^a	21.7±2.59 ^b
	庚醛	3 ^[25]	9.82±1.21 ^a	15.81±1.88 ^b
	2-庚烯醛	13 ^[19]	2.27±0.28 ^a	3.18±0.38 ^a
	辛醛	0.7 ^[25]	19.9±2.44 ^a	32.35±3.86 ^b
	反式-4-壬烯醛	—	4.07±0.50 ^a	11.25±1.34 ^b
	壬醛	1 ^[25]	127.42±15.65 ^a	179.68±21.42 ^a
	反式-2-壬烯醛	0.08 ^[19]	6.42±0.79 ^a	11.08±1.32 ^b
	癸醛	0.1 ^[25]	70.07±8.61 ^a	105.48±12.57 ^b
	对异丙基苯甲醛	—	1.91±0.23 ^a	1.59±0.19 ^a
	7-十六烯醛	—	4.67±0.57 ^a	2.07±0.25 ^b
	间苯二甲醛	—	3.18±0.39 ^a	4.15±0.49 ^a
	4-甲氧基苯甲醛	—	7.33±0.90 ^a	9.84±1.17 ^a
	反式-2-癸烯醛	0.3 ^[18]	7.04±0.86 ^a	7.44±0.89 ^a
	合计	—	276.92±34.02 ^a	411.43±49.04 ^b
醇类	2-硝基乙醇	—	0.29±0.04 ^a	0.45±0.05 ^b
	3-氨基-1-丙醇	—	ND	0.49±0.06
	丁醇	500 ^[19]	0.17±0.02	ND
	丙二醇	—	0.30±0.04	ND
	异戊烯醇	—	0.49±0.06 ^a	0.55±0.07 ^a
	糠醇	5 000 ^[19]	2.50±0.31	ND
	2-十六烷醇	—	0.52±0.06 ^a	0.40±0.05 ^a
	2-乙基己醇	270 000 ^[19]	104.53±12.84 ^a	103.21±12.30 ^a
	2-苯基-2-丙醇	—	4.19±0.51 ^a	5.55±0.66 ^a
	1-十二烷醇-3,7,11-三甲基	—	13.01±1.60 ^a	3.16±0.38 ^b
	反-2-癸烯醇	—	14.76±0.81 ^a	17.87±1.13 ^a
	顺式-薄荷基-2,8-二烯醇	—	1.98±0.24 ^a	8.28±0.99 ^b
	2-乙基-2-丙基己醇	—	15.18±1.86 ^a	5.53±0.66 ^b
	2-辛基十二醇	—	31.46±3.86 ^a	9.71±1.16 ^b
	2-己基-1-癸醇	—	11.14±1.37 ^a	9.26±1.10 ^a
	合计	—	200.51±24.63 ^a	164.46±19.6 ^a
酸类	乙二酸	—	0.26±0.03	ND
	甲酸	20 ^[19]	0.57±0.07	ND
	乙酸	22 000 ^[25]	10.63±1.31 ^a	16.67±1.99 ^b
	异丁酸	—	0.51±0.06 ^a	0.14±0.02 ^b
	丁酸	240 ^[25]	1.52±0.19 ^a	20.79±2.48 ^b
	2-甲基丁酸	120 ^[25]	0.31±0.04 ^a	ND
	2-甲基己酸	—	ND	0.61±0.07
	戊酸	3 000 ^[25]	1.10±0.14 ^a	1.93±0.23 ^b
	己酸	3 000 ^[25]	4.97±0.61 ^a	15.79±1.88 ^b
	2-乙基己酸	—	9.66±1.19 ^a	26.17±3.12 ^b
	内消旋乳酸	—	4.67±0.57 ^a	4.6±0.55 ^a
	辛酸	3 000 ^[25]	1.38±0.17 ^a	10.14±1.21 ^b
	花生五烯酸	—	0.54±0.07 ^a	0.34±0.04 ^b
	壬酸	3 000 ^[25]	13.26±1.63 ^a	11.85±1.41 ^a
	3-羟基月桂酸	—	0.30±0.04 ^a	0.69±0.08 ^b
	13-二十二碳烯酸	—	2.96±0.36 ^a	3.81±0.45 ^a
	合计	—	52.64±6.47 ^a	113.53±13.53 ^b
酮类	羟丙酮	—	ND	0.91±0.11
	3-羟基-2-丁酮	800 ^[25]	18.14±2.23 ^a	66.3±7.90 ^b
	3-庚酮	—	0.77±0.09 ^a	1.58±0.19 ^b
	环己酮	—	0.51±0.06 ^a	4.76±0.57 ^b

续表1

类别	化合物名称	阈值/ ($\mu\text{g/kg}$)	含量/ ($\mu\text{g/kg}$)	
			瘦肉型猪肉	长白山山黑猪肉
酯类	2-甲基-2-环戊烯酮	—	0.28±0.03	ND
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	50 ^[25]	5.04±0.62 ^a	13.75±1.64 ^b
	苯乙酮	65 ^[25]	16.19±0.99 ^a	21.67±1.58 ^b
	合计	—	40.93±5.03 ^a	108.97±12.99 ^b
	甲酸甲酯	—	ND	0.15±0.02
	乙酸仲丁酯	—	1.42±0.17 ^a	0.81±0.10 ^b
	丁酸乙酯	1 ^[25]	0.32±0.04	ND
	乙酸丁酯	66 ^[25]	12.32±1.51 ^a	11.45±1.36 ^a
	丙二醇甲醚醋酸酯	—	3.29±0.40 ^a	6.38±0.76 ^b
	丁内酯	—	3.93±0.48 ^a	4.3±0.51 ^a
	戊酸十二酯	—	1.82±0.22 ^a	0.59±0.07 ^b
	二乙二醇丁醚醋酸酯	—	7.73±0.95 ^a	10.37±1.24 ^a
	2-甲基丙酸-2-乙基-3-羟基己酯	—	10.02±1.23 ^a	11.27±1.34 ^a
	邻苯二甲酸二甲酯	—	44.82±5.51 ^a	48.67±5.80 ^a
	邻酞酸二甲酯	—	23.13±2.84 ^a	68.42±8.15 ^a
	丁二酸二异丁酯	—	43.07±5.29 ^a	24.72±2.95 ^b
	异戊酸香叶酯	—	5.97±0.73 ^a	3.70±0.44 ^b
	戊二酸二异丁基酯	—	43.78±5.38 ^a	109.00±12.99 ^b
	2,4,4-三甲基戊烷-1,3-二(异丙酸酯)	—	210.04±25.80 ^a	473.22±56.40 ^b
饱和 烷烃类	戊二酸-1-丁基-2-甲基丁基酯	—	56.94±7.00 ^a	8.39±1.00 ^b
	己二酸异丁酯	—	23.74±2.92 ^a	41.05±4.89 ^b
	苯甲酸-2-乙基己酯	—	32.58±4.00 ^a	24.45±2.91 ^a
	十四酸甲酯	—	8.6±1.06 ^a	11.55±1.38 ^a
	苯甲酸苯酯	—	9.02±1.11 ^a	15.25±1.82 ^b
	对甲基苯甲酸-2-乙基己基酯	—	7.55±0.93 ^a	5.73±0.68 ^a
	邻苯二甲酸二异丁酯	—	71.25±8.75 ^a	81.66±9.73 ^a
	十六酸甲酯	—	20.05±2.46 ^a	19.01±2.27 ^a
	邻苯二甲酸二丁酯	—	91.32±11.22 ^a	119.97±14.30 ^a
	合计	—	732.71±90.01 ^a	1 100.11±131.12 ^b
	3-甲基-戊烷	—	0.24±0.03 ^a	0.17±0.02 ^a
	己烷	—	18.08±2.22 ^a	20.3±2.42 ^a
	1-甲氧基-己烷	—	ND	0.14±0.02 ^b
	辛烷	—	3.17±0.39 ^a	1.96±0.23 ^b
	壬烷	—	3.39±0.42 ^a	4.93±0.59 ^b
	3-甲基-壬烷	—	ND	2.09±0.25
	癸烷	—	8.19±1.01 ^a	13.30±1.59 ^b
	3-乙基-2-甲基-庚烷	—	4.06±0.5 ^a	10.94±1.30 ^b
	2-甲基-癸烷	—	5.74±0.71 ^a	5.70±0.68 ^a
	3,5-二甲基-辛烷	—	2.40±0.29 ^a	ND
饱和 烷烃类	十一烷	—	10.65±1.31 ^a	11.83±1.41 ^a
	2,6,10-三甲基-十二烷	—	2.78±0.34 ^a	1.30±0.15 ^b
	4-甲基-十一烷	—	2.20±0.27	ND
	2-甲基-十一烷	—	3.84±0.47	ND
	十二烷	—	25.86±3.18 ^a	33.3±3.97 ^a
	2,6-二甲基-十一烷	—	2.96±0.36 ^a	3.35±0.40 ^a
	5-甲基-十二烷	—	1.34±0.16 ^a	0.46±0.05 ^b
	3-甲基-十二烷	—	1.04±0.13 ^a	1.23±0.15 ^a
	2,3,5,8-四甲基-癸烷	—	9.27±1.14 ^a	11.81±1.31 ^a
	3-甲基-十二烷	—	3.01±0.37 ^a	3.57±0.43 ^a
	2,6,10-三甲基-十二烷	—	34.37±4.22 ^a	35.96±4.29 ^a
	十四烷	—	60.07±7.38 ^a	73.56±8.77 ^a
	3-甲基-十四烷	—	12.45±1.53 ^a	21.87±2.61 ^b
	十五烷	—	43.66±5.36 ^a	191.13±22.78 ^b
	2,6,10-三甲基-十四烷	—	27.26±3.35 ^a	18.33±2.18 ^b
	7-甲基-十五烷	—	8.14±1.00 ^a	20.9±2.49 ^b

续表1

类别	化合物名称	阈值/ ($\mu\text{g/kg}$)	含量/ ($\mu\text{g/kg}$)	
			瘦肉型猪肉	长白山黑猪肉
芳香族 化合物	4-甲基-十五烷	—	7.40 $\pm$ 0.91 ^a	9.33 $\pm$ 1.11 ^a
	2-甲基-十五烷	—	14.37 $\pm$ 1.77 ^a	8.59 $\pm$ 1.02 ^b
	3-甲基-十五烷	—	25.68 $\pm$ 3.15 ^a	27.22 $\pm$ 3.24 ^a
	十八烷	—	7.46 $\pm$ 0.92 ^a	21.67 $\pm$ 2.58 ^b
	2,6,10-三甲基-十四烷	—	40.60 $\pm$ 4.99 ^a	3.67 $\pm$ 0.44 ^b
	10-甲基-十九烷	—	12.31 $\pm$ 1.51 ^a	13.93 $\pm$ 1.66 ^a
	2,6,10-三甲基-十五烷	—	22.81 $\pm$ 2.80 ^a	57.63 $\pm$ 6.87 ^b
	十九烷基-环己烷	—	12.42 $\pm$ 1.53 ^a	19.86 $\pm$ 2.37 ^b
	3-甲基-十五烷	—	13.34 $\pm$ 1.64 ^a	23.22 $\pm$ 2.77 ^b
	十七烷	—	35.08 $\pm$ 4.31 ^a	73.01 $\pm$ 8.70 ^b
	2,6,10,14-四甲基-十五烷	—	42.69 $\pm$ 5.24 ^a	73.12 $\pm$ 8.72 ^b
	3-甲基-十七烷	—	5.77 $\pm$ 0.71 ^a	7.39 $\pm$ 0.88 ^a
	十八烷	—	19.37 $\pm$ 2.38 ^a	52.83 $\pm$ 6.30 ^b
	2,6,10,14-四甲基-十六烷	—	18.56 $\pm$ 2.28 ^a	31.05 $\pm$ 3.70 ^b
	正十九烷	—	7.73 $\pm$ 0.95 ^a	9.73 $\pm$ 1.16 ^a
	合计	—	585.55 $\pm$ 71.93 ^a	920.39 $\pm$ 109.70 ^b
	苯	30 000 ^[25]	ND	0.54 $\pm$ 0.06
	甲苯	200 ^[25]	6.34 $\pm$ 0.78 ^a	6.88 $\pm$ 0.82 ^a
	乙基苯	—	29.53 $\pm$ 3.63 ^a	32.94 $\pm$ 3.93 ^a
	邻二甲苯	—	59.1 $\pm$ 7.26 ^a	60.87 $\pm$ 7.26 ^a
	苯乙烯	—	2.45 $\pm$ 0.30 ^a	ND
	焦化二甲苯	—	36.21 $\pm$ 4.45 ^a	34.87 $\pm$ 4.16 ^a
	异丙苯	—	2.76 $\pm$ 0.34 ^a	1.16 $\pm$ 0.14 ^b
	丙苯	—	13.15 $\pm$ 1.62 ^a	14.01 $\pm$ 1.67 ^a
	3-乙基甲苯	—	50.35 $\pm$ 6.19 ^a	46.39 $\pm$ 5.53 ^a
	1,3,5-三甲基苯	—	8.68 $\pm$ 1.07 ^a	5.84 $\pm$ 0.70 ^b
	邻乙基甲苯	—	9.18 $\pm$ 1.13 ^a	7.45 $\pm$ 0.89 ^a
	连三甲苯	—	51.11 $\pm$ 6.28 ^a	49.19 $\pm$ 5.86 ^a
	苯酚	—	13.66 $\pm$ 1.68 ^a	29.04 $\pm$ 3.46 ^b
	2-异丙基甲苯	—	7.35 $\pm$ 0.90 ^a	9.46 $\pm$ 1.13 ^a
	4-正丙基甲苯	—	8.46 $\pm$ 1.04 ^a	6.72 $\pm$ 0.80 ^a
	邻甲基异丙基苯	—	16.55 $\pm$ 2.03 ^a	17.48 $\pm$ 2.08 ^a
	1-乙基-2,4-二甲苯	—	3.84 $\pm$ 0.47 ^a	3.20 $\pm$ 0.38 ^a
	4-乙基-1,2-二甲苯	—	22.66 $\pm$ 2.78 ^a	18.08 $\pm$ 2.15 ^a
	2-甲氧基-苯酚	—	9.51 $\pm$ 1.17	ND
	1,2,4,5-四甲苯	—	13.72 $\pm$ 1.69 ^a	8.78 $\pm$ 1.05 ^b
	1-乙基-3,5-二甲苯	—	14.46 $\pm$ 1.78 ^a	15.21 $\pm$ 1.81 ^a
	1-甲基茚满	—	3.00 $\pm$ 0.37 ^a	3.17 $\pm$ 0.38 ^a
	2-乙基-1,4-二甲苯	—	7.24 $\pm$ 0.89 ^a	8.07 $\pm$ 0.96 ^a
	萘	6 ^[19]	298.94 $\pm$ 36.72 ^a	430.35 $\pm$ 51.29 ^b
	β -甲基萘	—	142.80 $\pm$ 17.54 ^a	335.11 $\pm$ 39.94 ^b
	α -甲基萘	—	135.03 $\pm$ 16.59 ^a	183.74 $\pm$ 21.90 ^a
	联苯	—	100.34 $\pm$ 12.33 ^a	107.39 $\pm$ 12.80 ^a
	1-乙基萘	—	11.60 $\pm$ 1.43 ^a	12.79 $\pm$ 1.52 ^a
	2,6-二甲基萘	—	130.13 $\pm$ 15.99 ^a	157.35 $\pm$ 18.75 ^a
	1,7-二甲基萘	—	40.40 $\pm$ 4.96 ^a	43.81 $\pm$ 5.22 ^a
	蒽	—	144.06 $\pm$ 17.7 ^a	243.92 $\pm$ 29.07 ^b
	1, 3-二甲基-萘	—	18.41 $\pm$ 2.26 ^a	13.70 $\pm$ 1.63 ^a
	2,6-二叔丁基对甲基苯酚	—	2.18 $\pm$ 0.27	ND
	2,3,6-三甲基萘	—	11.20 $\pm$ 1.38 ^a	19.40 $\pm$ 2.31 ^b
	芴	—	111.45 $\pm$ 13.69 ^a	206.30 $\pm$ 24.59 ^b
	异丙烯基萘	—	35.88 $\pm$ 4.41 ^a	8.07 $\pm$ 0.96 ^b
	9-氧杂蒽	—	37.15 $\pm$ 4.56 ^a	49.54 $\pm$ 5.90 ^a
	3,4-二甲基-1,1-联苯	—	12.21 $\pm$ 1.50 ^a	12.64 $\pm$ 1.51 ^a
	9-甲基-芴	—	9.54 $\pm$ 1.17 ^a	12.15 $\pm$ 1.45 ^a
	菲	—	99.85 $\pm$ 12.27 ^a	146.53 $\pm$ 17.46 ^b

续表1

类别	化合物名称	阈值/ ($\mu\text{g/kg}$)	含量/ ($\mu\text{g/kg}$)	
			瘦肉型猪肉	长白山黑猪肉
芳香族 化合物	1-甲基萘	—	4.54 $\pm$ 0.56 ^a	4.49 $\pm$ 0.54 ^a
	合计	—	1 735.01 $\pm$ 213.15 ^a	2 366.63 $\pm$ 282.08 ^a
烯烃类	辛烯	—	0.31 $\pm$ 0.04 ^a	1.11 $\pm$ 0.13 ^b
	($\pm$)-柠檬烯	10 ^[19]	12.16 $\pm$ 1.49 ^a	10.09 $\pm$ 1.20 ^a
	四氢二聚环戊二烯	—	3.31 $\pm$ 0.41 ^a	9.98 $\pm$ 1.19 ^b
	2,5-二甲基苯乙烯	—	9.17 $\pm$ 1.13 ^a	ND
	长叶烯	—	7.32 $\pm$ 0.90 ^a	6.42 $\pm$ 0.77 ^a
醚类	2-甲基-4-十四碳烯	—	24.83 $\pm$ 3.05 ^a	43.57 $\pm$ 5.19 ^b
	合计	—	57.11 $\pm$ 7.02 ^a	71.16 $\pm$ 8.48 ^a
	丁醚	—	0.23 $\pm$ 0.03 ^a	0.57 $\pm$ 0.07 ^b
	乙二醇丁醚	—	5.67 $\pm$ 0.70 ^a	10.76 $\pm$ 1.28 ^b
	茴香醚	—	9.78 $\pm$ 1.20 ^a	9.89 $\pm$ 1.18 ^a
含硫 化合物	5,6-二甲-6-羟基-1,3-硫胺-2-硫酮	—	ND	0.80 $\pm$ 0.10 ^b
	苯并[b]噻吩	—	37.69 $\pm$ 4.63 ^a	52.26 $\pm$ 6.23 ^b
	苯并噻唑	80 ^[19]	156.35 $\pm$ 19.21 ^a	212.95 $\pm$ 25.38 ^a
	3-甲基苯并[b]噻吩	—	3.28 $\pm$ 0.40 ^a	1.26 $\pm$ 0.15 ^b
	二硫代甲酸-二乙基-甲酯	—	ND	12.68 $\pm$ 1.51 ^b
含氮 化合物	3,6-二甲基-苯并[b]噻吩	—	7.40 $\pm$ 0.91 ^a	9.05 $\pm$ 1.08 ^a
	叔十六硫醇	—	40.69 $\pm$ 5.00 ^a	10.81 $\pm$ 1.29 ^b
	二苯并噻吩	—	16.99 $\pm$ 2.09 ^a	29.28 $\pm$ 3.49 ^b
	合计	—	262.40 $\pm$ 22.24 ^a	329.09 $\pm$ 29.22 ^a
	喹啉	700 ^[19]	38.96 $\pm$ 4.79 ^a	39.78 $\pm$ 4.74 ^a
咪唑类	N,N-二丁基甲酰胺	—	26.08 $\pm$ 3.20 ^a	39.70 $\pm$ 4.73 ^b
	6-甲基-喹啉	—	1.91 $\pm$ 0.23 ^a	4.89 $\pm$ 0.58 ^b
	烟酰胺	—	1.59 $\pm$ 0.20 ^a	8.04 $\pm$ 0.96 ^b
	2,2,4-三甲基-1,2-二氢喹啉	—	38.53 $\pm$ 4.73 ^a	57.30 $\pm$ 6.83 ^b
	十二烯基丁二酸酐	—	34.17 $\pm$ 4.20 ^a	15.69 $\pm$ 1.87 ^b
其他	合计	—	107.07 $\pm$ 13.15 ^a	149.71 $\pm$ 17.84 ^a
	3-甲基咪唑	—	0.71 $\pm$ 0.09 ^a	ND
	二苯并咪唑	—	142.35 $\pm$ 17.49 ^a	197.98 $\pm$ 23.60 ^a
	合计	—	143.06 $\pm$ 17.57 ^a	197.98 $\pm$ 23.60 ^a
	四氯乙烯	—	0.44 $\pm$ 0.05	ND
总计	3-氯-2-丁醇	—	0.86 $\pm$ 0.11 ^a	1.03 $\pm$ 0.12 ^a
	1,4-二氯苯	18 ^[19]	21.92 $\pm$ 2.69 ^a	24.22 $\pm$ 2.89 ^a
	合计	—	23.21 $\pm$ 2.85 ^a	25.25 $\pm$ 3.01 ^a
总计		—	4 228.6 $\pm$ 319.48 ^a	5 979.93 $\pm$ 512.74 ^b

注: ND, 未检出; —, 无法查到该化合物的嗅觉阈值; 同行字母不同, 表示差异显著 ($P<0.05$)。

由表1可知, 长白山山黑猪肉和瘦肉型猪肉中分别检出169种和178种挥发性风味化合物, 虽然长白山山黑猪肌肉中挥发性化合物的数量比瘦肉型猪肉少9种, 但其挥发性风味物质的总含量比瘦肉型猪肉高1 751.33 $\mu\text{g/kg}$ 。2种猪肉的挥发性化合物中醛类、醇类、酸类、酮类和含硫化合物的含量差异明显, 因此本实验将对这几类化合物进行分析, 探究2种猪肉风味差别的原因。

2.2 不同种类风味化合物的比较分析

2.2.1 醛类化合物的比较分析

从种类分析, 长白山山黑猪肉中共检出14种醛类化合物, 包括6种饱和直链醛、5种烯醛和3种芳香醛, 比瘦肉型猪肉少一种戊醛, 而戊醛的阈值较高为12 $\mu\text{g/kg}$ ^[18],



OAV小于0.1, 对整体的香气不构成影响, 因此, 醛类化合物的种类不是造成2种猪肉风味差异的原因。从总量分析, 长白山山黑猪肉中醛类化合物的总含量显著高于瘦肉型猪肉, 分别为411.43 $\mu\text{g/kg}$ 和276.92 $\mu\text{g/kg}$ 。其中, 除2-庚烯醛、壬醛、对异丙基苯甲醛、间苯二甲醛、4-甲氧基苯甲醛和反式-2-癸烯醛之外, 其余醛类的含量在2种猪肉中都差异显著。有7种醛类(己醛、庚醛、辛醛、壬醛、癸醛和反式-2-癸烯醛)在2种猪肉中的OAV都远大于1, 对猪肉的整体风味具有重要的贡献, 这和潘见等^[19]的研究结果基本一致, 其中有5种醛类(己醛、庚醛、辛醛、癸醛和反式-2-壬烯醛)在长白山山黑猪肉中的含量显著高于瘦肉型猪肉, 其中OAV最高的是癸醛, 在瘦肉型猪和长白山山黑猪肉中分别为700.68、1 054.80, 具有甜香和柑橘香^[20]; 其次是壬醛, 在瘦肉型猪和长白山山黑猪肉中OAV值分别为127.42、179.68, 具有脂肪香味^[21]; 最后是反式-2-壬烯醛、辛醛、庚醛和己醛, 在瘦肉型猪肉中OAV分别为80.25、28.43、3.27和2.04, 在长白山山黑猪肉中OAV分别为138.5、46.22、5.27和4.82, 辛醛具有脂肪香气和水果气味, 己醛具有清香, 庚醛具有油脂香和果香^[20-22]。由此说明, 这5种醛类在长白山山黑猪肉挥发性风味成分中含量和OAV都较高, 是造成其风味浓郁的主要原因之一。这些醛类化合物主要来源于油酸、亚油酸、亚麻酸等这些不饱和脂肪酸的氧化^[22-23]。由此推测, 长白山山黑猪肉中肌内脂肪含量比瘦肉型猪肉更丰富, 尤其是不饱和脂肪酸的含量, 导致这些对猪肉风味具有重要贡献的醛类物质在山黑猪肉中的质量浓度显著高于瘦肉型猪肉。

2.2.2 醇类化合物的比较分析

从数量分析, 长白山山黑猪肉中醇类化合物的数量比瘦肉型猪肉少2种, 丁醇、糠醇和丙二醇是瘦肉型猪肉所特有的, 3-氨基-1-丙醇是长白山山黑猪所特有的, 但这几种物质含量较低且差异不显著, 所以对2种猪肉风味差异基本没有贡献。从含量分析, 长白山山黑猪肌肉中醇类化合物的总含量不显著低于瘦肉型猪肉。而2-硝基乙醇、反-2-癸烯醇和顺式-薄荷基-2,8-二烯醇在长白山山黑猪肉中的含量显著高于瘦肉型猪肉, 研究认为, 直链的低级一级醇总体是无风味的, 醇类化合物中对肉味做出贡献的主要是不饱和醇^[23-25], 因此推测, 反-2-癸烯醇含量的高低可能对这2种猪肉风味差异有一定贡献, 但因未能查知其风味阈值, 因此无法做定论。

2.2.3 酸类化合物的比较分析

从数量分析, 长白山山黑猪肉中酸类化合物比瘦肉型猪肉少2种, 乙二酸、甲酸、2-甲基丁酸是瘦肉型猪肉所特有的, 2-甲基己酸是长白山山黑猪所特有的。但从含量分析, 酸类物质在长白山山黑猪肉中的总含量显著高于瘦肉型猪肉。其中, 乙酸、辛酸、戊酸、丁酸、己酸、2-乙基己酸和3-羟基月桂酸在长白山山黑猪肉中的含

量显著高于瘦肉型猪肉, 尤其是丁酸在长白山山黑猪肉中的含量高达20.79 $\mu\text{g/kg}$, 比瘦肉型猪肉高12倍以上, 但这几种酸的阈值较高^[21-25], OAV小于0.1, 因此对猪肉的风味贡献不大。

2.2.4 酮类化合物的比较分析

从种类分析看, 长白山山黑猪和瘦肉型猪肉中共检出7种, 其中羟丙酮为长白山山黑猪肉所特有, 2-甲基-2-环戊烯酮是瘦肉型猪肉所特有, 但含量都较低, 对风味不构成明显的影响。从总量分析, 酮类化合物的总量是瘦肉型猪肉的2.66倍。其中, 3-羟基-2-丁酮、3-庚酮、苯乙酮、6-甲基-5-庚烯酮在长白山山黑猪肉中的含量显著高于瘦肉型猪肉。苯乙酮在山黑猪和瘦肉型猪肉中的OAV值分别为0.33和0.26, 具有杏仁气息, 稀释后具有水果味^[26]。6-甲基-5-庚烯酮在山黑猪和瘦肉型猪肉中的OAV分别为0.28和0.10, 具有柠檬草般的香气, 因此这2种酮类对肉香的形成起着不可忽视的作用。

2.2.5 含硫化合物的比较分析

长白山山黑猪肉中检出8种含硫化合物, 比瘦肉型猪肉多2种, 其中5,6-二甲基-6-羟基-1,3-硫胺-2-硫酮和二硫代甲酸-二乙基-甲酯是长白山山黑猪肉所特有的。从总量分析, 长白山山黑猪肉中含硫化合物的总量是瘦肉型猪肉的1.25倍。含硫化合物主要来源于氨基酸和还原糖之间的美拉德反应、氨基酸及硫胺素的热解^[27-28], 具有洋葱似的香气和肉香, 提供肉的总体风味, 且含硫化合物感觉阈值较低^[29], 因此这2种物质可能对长白山山黑猪肉香气具有潜在的贡献。

3 结论

综上所述, 采用P&T-TDS-GC-MS检测2种猪肉中挥发性风味成分, 结果表明: 2种猪肉中部分挥发性风味物质的含量差异明显, 其中, 5种醛类在长白山山黑猪肉中的含量显著高于瘦肉型猪肉, 且OAV值大于1, 是造成长白山山黑猪肉风味浓郁的重要原因, OAV值按从高到低依次为癸醛、壬醛、反式-2-壬烯醛、辛醛、庚醛和己醛, 这可能是由于2种猪肉中肌内脂肪含量差异所造成。2种酮类在长白山山黑猪肉中的含量也显著高于瘦肉型猪肉, 且OAV值大于0.1, 对长白山山黑猪风味丰富有一定的补充作用, 如苯乙酮、6-甲基-5-庚烯酮。7种酸类物质在长白山山黑猪肌肉中的含量显著高于瘦肉型猪肉, 尤其是丁酸, 可能是由于其饲料的差异, 但这几种酸的阈值较高, OAV值小于0.1, 所以对这2种猪肉的风味差异影响不明显。虽然含硫化合物在长白山山黑猪肉中的含量不显著高于瘦肉型猪肉, 其大多数阈值都较低, 且有2种含硫化合物是山黑猪肉所特有的, 可能对山黑猪风味具有潜在的贡献。因此, 这些醛类、酮类和含硫化合物的含量差异是造成长白山山黑猪肉风味浓郁的原因。

参考文献:

- [1] 李晓, 赵颖文, 陈春燕. 我国猪肉消费市场特征及发展趋势分析[J]. 软科学, 2011(3): 88-90.
- [2] KATJA R, HENRIK J A. Factors of significance for pork quality: a review[J]. Meat Science, 2003, 64(3): 219-237. DOI:10.1016/S0309-1740(02)00186-9.
- [3] 梁艳, 顾以韧, 陶璇, 等. 不同体重阶段川藏黑猪和杜长大猪肌肉中氨基酸含量研究[J]. 养猪, 2014(5): 63-64.
- [4] GINEVRA L B, SABINA L, ALTERO A. Aspects of meat quality: trace elements and B vitamins in raw and cooked meats[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2005, 18(1): 39-46. DOI:10.1016/j.jfca.2003.10.007.
- [5] 陈其美, 曾勇庆, 魏述东, 等. 不同猪种肌肉风味前体物质及其营养和食用品质特性研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2010, 36(3): 299-305. DOI:10.3785/j.issn.1008-9209.2010.03.010.
- [6] 李渤南, 孔凡虎, 徐文彬. 烟台黑猪胴体品质及肉质营养研究[J]. 现代畜牧兽医, 2013(9): 23-26. DOI:10.3969/j.issn.1672-9692.2013.09.010.
- [7] LLOVERAS M R, GOENAGA P R, IRURUETA M, et al. Meat quality traits of commercial hybrid pigs in Argentina[J]. Meat Science, 2008, 79(3): 458-462. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.10.033.
- [8] LEE S H, CHOE J H, CHOI Y M, et al. The influence of pork quality traits and muscle fiber characteristics on the eating quality of pork from various breeds[J]. Meat Science, 2012, 90(2): 284-291. DOI:10.1016/j.meatsci.2011.07.012.
- [9] 李华. 莱芜猪和鲁莱黑猪肌肉抗氧化性能及肉质特性的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009: 1-4.
- [10] LU P, LI D, YIN J, et al. Flavour differences of cooked longissimus muscle from Chinese indigenous pig breeds and hybrid pig breed (Duroc×Landrac×Large White)[J]. Food Chemistry, 2008, 107(4): 1529-1537. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.10.010.
- [11] 潘见, 杨俊杰, 邹英子. 不同涂层SPME与GC-MS联用比较分析两种猪肉挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 169-172.
- [12] 顾以韧, 梁艳, 杨雪梅, 等. 川藏黑猪和DLY猪肌肉中硫胺素沉积规律研究[J]. 西南农业学报, 2015, 28(6): 2829-2831. DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2015.06.089.
- [13] 吴妹英. 莆田黑猪肌肉风味化学物质的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2007: 1-6.
- [14] 豆成林, 周枫. 顶空气质联用法分析豫南黑猪肌肉中挥发性风味物质[J]. 食品工业, 2014(7): 258-260.
- [15] 吴雪. 长白山黑猪肉营养品质与食用品质的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2012: 1-6.
- [16] PREINININGER M, GIMELFARB L, LI H C, et al. Identification of dihydromaltol (2,3-dihydro-5-hydroxy-6-methyl-4 H-pyran-4-one) in Ryazhenka Kefir and comparative sensory impact assessment of related cycloenolones[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(21): 9902-9908. DOI:10.1021/jf901569f.
- [17] QIAN M, REINECCIUS G A. Quantification of aroma compounds in Parmigiano Reggiano cheese by a dynamic headspace gas chromatography-mass spectrometry technique and calculation of odor activity value[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86(3): 770-776. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(03)73658-3.
- [18] 孙宝国, 何坚. 香料化学与工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 23-28.
- [19] 潘见, 杨俊杰, 朱双杰, 等. 4种不同品质猪肉香气的差异[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 133-136. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201406028.
- [20] XIE J C, SUN B G, WANG S B. Aromatic constituents from Chinese traditional smoke-cured bacon of Mini-pig[J]. Food Science and Technology International, 2008, 14(4): 329-340. DOI:10.1177/1082013208098331.
- [21] MORALES M T, APARICIO R. Changes in the volatile composition of virgin olive oil during oxidation: flavor and off-flavor[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45: 2666-2673. DOI:10.1021/jf960585.
- [22] BREWERM S, VEGA J D. Detectable odor thresholds of selected lipid oxidation compounds in a meat model system[J]. Journal of Food Science, 1995, 60(3): 592-595. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(03)73658-3.
- [23] MURIEL E, ANTEQUERA T, PETRÓN M J, et al. Volatile compounds in Iberian dry-cured loin[J]. Meat Science, 2004, 68(3): 391-400. DOI:10.1016/j.meatsci.2004.04.006.
- [24] JOHN C. Flavor-base (demo) [EB/OL]. [2017-02-23]. <http://www.leffingwell.com/flavbase.htm>.
- [25] 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, 2011, 108(3): 213-240. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(03)73658-3.
- [26] YOUNG W F, HORTH H, CRANE R, et al. Taste and odour threshold concentrations of potential potable water contaminants[J]. Water Research, 1996, 30(2): 331-340. DOI:10.1016/0043-1354(95)00173-5.
- [27] 顾以韧, 梁艳, 杨雪梅, 等. 川藏黑猪和DLY猪肌肉中硫胺素沉积规律研究[J]. 西南农业学报, 2015(6): 2829-2831. DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2015.06.089.
- [28] VENTANAS S, MUSTONEN S, PUOLANNE E, et al. Odour and flavour perception in flavoured model systems: influence of sodium chloride, umami compounds and serving temperature[J]. Food Quality and Preference, 2010, 21(5): 453-462. DOI:10.1016/j.foodqual.2009.11.003.
- [29] PUGLIESE C, SIRTORI F, CALAMAI L, et al. The evolution of volatile compounds profile of "Toscana" dry-cured ham during ripening as revealed by SPME-GC-MS approach[J]. Journal of Mass Spectrometry, 2010, 45(9): 1056-1064. DOI:10.1002/jms.1805.