

国内黑猪肉风味研究进展

刘浩悦^{1,2}, 李聪², 王颖², 廖鲜艳¹, 黄俊逸¹, 杨晗³, 徐宝才^{2*}

(1. 上海大学生命科学学院, 上海 200444) (2. 合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽合肥 230601)

(3. 江苏雨润肉食品有限公司, 江苏南京 211806)

摘要: 黑猪肉是市场上非常受欢迎的一种猪肉消费品。不同于普通大白猪, 黑猪肉营养价值高, 含有丰富的不饱和脂肪酸、高含量的肌苷酸和蛋白质等, 具有口感丰富、风味独特等优点而深受消费者喜爱。我国黑猪品种丰富, 不同地区猪种之间的风味存在差异。该研究在总结肉制品风味物质分析一般程序的基础上以白猪作为参考, 重点对定远、河北(宝蓄)、莱芜、云南、北京、山西及青海(八眉猪) 7个地区黑猪的挥发性风味物质和滋味物质进行了分析总结, 确定了不同地区黑猪肉关键性风味物质。同时基于黑猪肉的呈香、呈味物质形成途径, 分析了导致不同地区黑猪风味差异的主要原因, 并提出了未来研究方向, 为人们选择性开发黑猪肉的特定加工产品、挖掘地区特定品种黑猪肉的价值提供理论参考。

关键词: 肉; 黑猪; 品种; 风味; 香气; 滋味

文章编号: 1673-9078(2023)09-337-352

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.9.1095

Research Progress on the Flavor of Black Pork in China

LIU Haoyue^{1,2}, LI Cong², WANG Ying², LIAO Xianyan¹, HUANG Junyi¹, YANG Han³, XU Baocai^{2*}

(1. School of Life Sciences, Shanghai University, Shanghai 200444, China) (2. School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China) (3. Jiangsu Yurun Meat Food Co. Ltd., Nanjing 211806, China)

Abstract: Black pork is a very popular pork product in the market. Differing from ordinary large white pigs, black pork has high nutritional value, abundant unsaturated fatty acids, and high contents of inosinic acid and proteins, etc., exhibiting advantages such as rich mouthfeel and unique flavor thereby gaining high consumer popularity. There are many black pig breeds in China, and the flavors of pig breeds vary with different regions. On the basis of summarizing the general procedure for analyzing the flavor substances of meat products, the volatile flavor substances and tasting substances of the black pigs from seven regions, Dingyuan, Hebei (Baoyu), Laiwu, Yunnan, Beijing, Shanxi and Qinghai (Bamei), were analyzed and summarized in this paper, with the white pig as a reference. The key flavor substances of the black pork samples from different regions were determined. Based on the formation pathways of aroma-active and taste-active substances of the black pork, the main reasons responsible for the flavor differences among the black pigs from different regions were analyzed. Future research directions were put forward, so as to provide a theoretical reference for selective development of specific black pork processed products and value exploration of specific black pork varieties in certain regions.

Key words: meat; black pig; varieties; flavor; aroma; taste

引文格式:

刘浩悦, 李聪, 王颖, 等. 国内黑猪肉风味研究进展[J]. 现代食品科技, 2023, 39(9): 337-352

LIU Haoyue, LI Cong, WANG Ying, et al. Research progress on the flavor of black pork in China [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(9): 337-352

随着全球经济的不断发展, 消费者对食品质量的

收稿日期: 2022-09-01

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD2100803); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(JZ2022HG7B0263; JZ2021HGQB0278; JZ2021HGQB0277); 安徽省自然科学基金项目(2008085QC144)

作者简介: 刘浩悦(1999-), 女, 硕士生, 研究方向: 肉品加工与质量控制, E-mail: 969676775@qq.com

通讯作者: 徐宝才(1973-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 肉品加工与营养健康, E-mail: baocaiyu@163.com

要求正在发生变化, 对鲜肉食品和肉制品的需求也在逐渐增加^[1]。人们从有肉吃转变为对肉品质的高要求。风味作为衡量猪肉品质的重要指标受到了人们的重视^[2], 是影响消费者购买意愿的重要标准^[3]。肉的风味包括肉的滋味和气味。肉的风味物质是风味前体物质在烹调过程中发生一系列化学反应产生的, 包括滋味活性化合物(Taste-Active Compounds)和气味活性化合物(Aroma-Active Compounds)^[4]。肉的风味感知往往是人的味觉系统和嗅觉系统共同作用的结果。滋

味主要靠人的舌面味蕾感觉滋味活性物质,再经神经传导到大脑反映出味觉;气味主要靠人的嗅觉细胞感觉挥发性成分,再经神经传导到大脑产生气味感^[5]。

2019年,中国肉类协会制定的T/CMATB 1001-2019《中国黑猪肉》明确了我国黑猪的范畴,即经过国家畜禽遗传资源委员会鉴定通过的地方品种或审定通过的培育品种,同群猪背毛以黑色为主,但不限于黑色的生猪,均可称为中国黑猪^[6]。我国地方黑猪的种质特征明显,耐粗饲、抗逆性强、肉质优良、生长速度缓慢和饲养周期较长等。黑猪肉的营养价值也较高,含有丰富的不饱和脂肪酸、高含量的肌苷酸和蛋白质等^[6]。因其饲养周期长、猪肉品质高及其特殊风味,深受广大消费者的喜爱。目前市面上黑猪肉售价是普通猪肉的两至三倍,但黑猪肉仍供不应求^[7]。近年来,为了探索不同品种黑猪肉风味化合物的组成、来源和形成机理,科研工作者做了大量研究^[8]。然而,我国黑猪品种众多,其风味差异很大,风味物质成分组成复杂。本文基于肉制品风味物质的分析程序、形成途径,以白猪作为参考,重点对黑猪肉挥发性风味物质和滋味物质进行总结,并分析导致不同地区黑猪肉风味差异的主要原因,以期对黑猪肉的营养价值开发和加工适用性研究提供理论和技术基础。

1 肉制品风味物质分析概述

肉制品风味物质的分析通常包含4个步骤:对样品中的风味物质进行萃取、富集;将萃取得到的风味物质进行检测分析;对分离出的风味物质进行定性定量分析^[9];风味测量与评价。

1.1 风味物质分析方法

常用的挥发性风味成分提取方法有顶空固相微萃取法(Headspace Solid-Phase Microextraction, HS-SPME)^[10]、同时蒸馏萃取法(Simultaneous Distillation and Solvent Extraction, SDE)^[11]、静态顶空萃取法(Static Headspace Extraction, SHS)、水蒸汽-有机溶剂萃取法、动态顶空萃取法^[12]、热脱附法、超临界流体萃取法(Supercritical Fluid Extraction, SFE)、溶剂辅助蒸发法^[13]等。常用的挥发性风味成分检测技术有:气相色谱-质谱联用(Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS)^[14]、气相色谱-离子迁移谱(Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry, GC-IMS)^[15]、气相色谱-质谱-嗅觉测量(Gas Chromatography-Mass Spectrometry-Olfaction, GC-MS-O)^[16]、气相色谱-嗅觉技术联用(Gas Chromatography-Olfactometry, GC-O)^[17]等。HS-SPME

提取结合GC-MS、GC-IMS、GC-O-MS检测技术是目前对风味物质进行分析应用相对广泛的技术。如Wu等^[17]曾采用HS-SPME结合GC-O-MS和GC-IMS技术对北京黑猪和莱芜黑猪的香气化合物进行分析,共鉴定出79种挥发性物质。Han等^[8]采用GC-MS和GC-O技术对藏香黑猪、三门峡黑猪的熟肉挥发性成分进行表征和鉴别,共鉴定出61种挥发性化合物,检测结果准确,灵敏度高。

常见的滋味物质测定方法有分光光度法、离子交换色谱法、毛细管电泳法、高效液相色谱法(High Performance Liquid Chromatography, HPLC)^[18]、液相色谱-质谱联用法、核磁共振技术(Nuclear Magnetic Resonance, NMR)^[19]、反向离子对高效液相色谱法^[20]等。郭金英等^[21]曾利用HPLC技术测定游离藏香猪、三门峡黑猪的氨基酸和呈味核苷酸的含量,得出藏香猪肉的5'-腺苷酸和5'-肌苷酸的含量最高,三门峡黑猪肉的游离谷氨酸含量最高。Lou等^[22]曾用分光光度法检测卤鸭中还原糖的含量,检测结果真实可靠。

1.2 风味测量与评价

气味活性值(Odor Activity Value, OAV)是化合物浓度与其气味阈值之比,是用于评估挥发性化合物对香气贡献的重要指标,该指标可简单地判断挥发性化合物对整体香气的贡献^[23]。一般 $OA \geq 1$ 的化合物被认为是关键香气化合物,对整体香气的贡献较大^[24]。 $0 < OA < 1$ 的化合物被认为是整体风味具有修饰作用。考察物质对滋味的贡献大小不仅取决于其含量的高低,还取决于其呈味强度值(Taste Activity Value, TAV),即呈味物质在样品中的含量与该化合物的味道阈值之比^[25]。当 $TAV \geq 1$ 时,该物质被视为对食物味道贡献很大^[26]。

样品整体气味或滋味的快速评价通常采用电子鼻和电子舌技术。电子鼻(E-nose)是模拟人的鼻子作为一个整体来评价和区分挥发性风味物质,这是一种成功应用于不同样品分析和分类的方法^[27]。电子舌是一种称为敏感膜的生物材料,具有传感器的作用,当滋味物质与敏感膜接触时,就会产生膜电势差,进而检测滋味物质间的相互作用^[21]。Han等^[8]通过电子鼻评价四种品牌卤猪蹄香气特征的差异,对数据进行主成分分析(Principal Component Analysis, PCA),结果表明电子鼻技术可以准确区分不同品牌卤猪蹄的香气成分。Yao等^[26]用电子舌评价猪肉红烧加工过程中肉汤的整体口感,结果分析表明不同加工程度的肉汤样品具有较好的鉴别性。

香气重组和遗漏实验用于进一步确定主要香气成

分^[27]。重组实验模型体系由 OAV ≥ 1 的香气物质、冻干后无香气样本和超纯水组成；遗漏实验模型系统与重组模型系统相似，但缺少重组模型的香气成分^[27]。评价员需要分别对重组样品与实验样品的香气进行相似性评价，对重组样品与遗漏实验的香气进行差异性评价。Li 等^[27]通过香气重组与遗漏实验明确盐水鸭中的关键香气成分，结果表明香气重组实验品的整体香气与样品相似。

综上，挥发性风味物质检测技术发展较迅速，开发出诸多重现性好、灵敏性强、操作便捷的先进技术，而非挥发性风味物质的检测技术还较少。此外，对于不同条件下肉品挥发性特征风味物质的前体物质、产生途径仍需结合非挥发风味成分的结构特征及含量变化进行分析研究，以确定其分子形成机制，有利于进一步对这些特征风味物质开展人工合成研究^[13]。因此未来需要深入探讨滋味物质的检测技术，尤其是涉及非挥发性风味物质结构变化的研究。

2 不同品种黑猪肉风味物质分析现状

我国黑猪种类颇多，如定远黑猪、北京黑猪、宝蓄黑猪，黑猪肉普遍具有优良的肉质，表现在肉色鲜红^[28]、肉质鲜嫩、瘦肉率高^[29]、系水力强^[30]、大理石纹适中、肌纤维直径小、肌内脂肪含量高的特点^[6]。关于黑猪品种特性的研究也有很多，但是风味方面的研究还有待完善。通过查阅已报道资料，结合地区代表性品种，现对定远、河北（宝蓄）、莱芜、云南、北京、山西及青海（八眉猪）7 个地区黑猪肉的风味进行比较分析。

2.1 黑猪肉挥发性风味物质及差异性分析

表 1 总结了采用 HS-SPME-GC-MS 技术检测经过水煮加热的白猪肉与 7 种黑猪肉的挥发性风味物质组成，挥发性化合物主要分为醛类、醇类、酮类和酸类。7 种黑猪分别鉴定出挥发性化合物 48 种、29 种、66 种、102 种、31 种、29 种和 60 种，白猪鉴定出 26 种，其中庚醛、壬醛、辛醇为共有物质。由此可见，黑猪肉检测出的挥发性化合物种类均多于白猪肉，表明其风味丰富。2-甲基庚醛、14-十八碳烯醛、n-十六酸、9-十六碳烯酸、(E)-13-十八碳烯酸、4,6-二氧代庚酸等化合物为定远黑猪特有挥发性化合物。莱芜黑猪中特有的挥发性化合物包括 4-苯基-2-丁酮、1-乙酰氧基-2-丙酮、2-壬酮、2-癸酮、3-辛酮和二氢-2-甲基-3(2H)-呋喃酮等。2-甲基-2-丁烯醛、丁醇、3-甲基-3-丁烯-1-醇、3-甲基-2-丁烯-1-醇、十五醇、2-十五酮、丙酸、戊酸、十五烷酸及一些脂肪族烃类为云南黑猪特有挥

发性化合物。山西黑猪和北京黑猪中检测出的挥发性成分较少，仅 4-甲基-5-噻唑乙醇为山西黑猪特有，北京黑猪中未检测出特有挥发性物质。

醛类物质中，云南黑猪的种类最多达到 18 种，莱芜黑猪次之为 16 种，山西和北京黑猪同为 15 种，定远黑猪为 14 种，宝蓄黑猪为 10 种，八眉猪最少仅有 8 种。由表 1 可知，庚醛和壬醛是 7 种黑猪共有醛。宝蓄黑猪的庚醛相对含量最高，为 6.12%；云南黑猪最低，仅为 0.29%。山西黑猪中的壬醛相对含量最高，为 28.24%；仍是云南黑猪最低，为 2.27%。云南黑猪中特有的醛类物质最多，如(E)-2-己烯醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛，均为反式结构，所占比例很少，可能对风味的影响很小^[14]。2-甲基庚醛为定远黑猪特有物质，但相对含量较低。山西黑猪和北京黑猪含有醛的种类和含量差异较小，北京黑猪中己醛含量最高，为 27.26%。4-乙基-苯甲醛仅在八眉猪中检出，相对含量为 1.32%，在醛类物质所占较高比例，可能也会对风味产生一定的影响。醇类物质中，云南黑猪的种类最多达到 15 种，依次为山西、北京黑猪，分别为 9 种、8 种，莱芜、定远、宝蓄均为 7 种，八眉猪最少为 6 种。辛醇是 7 种黑猪共有醇，宝蓄黑猪的相对含量最高为 1.93%，莱芜黑猪最低为 0.62%。云南黑猪中特有的醇类化合物最多，如丁醇、2,3-丁二醇、3-甲基-2-丁醇等，可能对其风味具有协同或修饰作用。定远黑猪特有醇类物质包括 2-癸烯-1-醇、(E)-2-十一碳烯-1-醇、2-十四碳烯酸-1-醇等，其中(E)-十四碳烯酸-1-醇的相对含量高达 6.22%，可能对其风味独特性发挥重要作用。八眉猪中特有的 3-甲基-2-丁醇，相对含量为 3.47%，所占醇类的比例最高，可能对其特征性风味有突出贡献。酮类物质中，莱芜黑猪的种类最多达到 11 种，依次为定远、八眉猪、云南黑猪，分别为 8 种、6 种、5 种，山西和北京黑猪同为 2 种，宝蓄黑猪仅为 1 种。莱芜黑猪中特有的酮类化合物如 4-苯基-2-丁酮、2-壬酮、3-辛酮等，其中 4-苯基-2-丁酮所占比例最大为 0.72%。定远黑猪中特有的(Z)-四氢-6-(2-戊烯基)-2H-吡喃-2-酮、2,4-二硝基苯肼-2-十九烷酮相对含量分别为 0.18%、0.19%。八眉猪特有酮类化合物有 4 种，可能是与其他品种黑猪的风味产生差异的物质。山西黑猪和北京黑猪所含酮类化合物一致，即香叶丙酮和 2,3-辛二酮，且香叶丙酮是两者特有物质。宝蓄黑猪中仅检测出一种酮，即苯乙酮，相对含量为 1.13%，可能是鉴别宝蓄黑猪与其他品种的重要指标。酸类物质中，云南黑猪的种类最多达到 18 种，八眉猪次之为 12 种，定远黑猪为 7 种，宝蓄黑猪为 2 种，莱芜、北京和山西黑猪中未检测出酸类物质，其原因尚

不清楚。云南黑猪中的乙酸、丙酸是区别于其他品种的酸,可能对其肉风味独特性发挥重要作用。八眉猪中含量最高的是丁酸,为 2.60%; 2-壬炔酸、十六烯碳酸、6-十八烯碳酸是其特有酸。定远黑猪中有 5 种特有酸,相对含量均在 0.13%~0.26%之间,可能与其

肉香气联系紧密。宝蓄黑猪中仅检测出己酸和壬酸两种酸,其中己酸相对含量为 2.48%,可能对其风味贡献很大。其他类化合物如酯类、烃类、酚类、呋喃类等具有较高阈值,对肉制品风味贡献较小。

表 1 白猪与不同品种黑猪挥发性化合物成分对比分析(%)

Table 1 Comparative analysis of volatile compounds in white pig and black pigs of different breeds (%)

黑猪品种	定远 ^[31,32]	宝蓄 ^[33]	莱芜 ^[34]	云南 ^[7]	山西 ^[35]	北京 ^[36]	八眉 ^[37]	白猪 ^[32]
己醛	10.00	20.24	11.86	10.16	10.69	27.26	-	20.30
庚醛	2.20	6.12	2.32	0.29	2.57	2.12	1.13	6.60
(E)-2-庚烯醛	-	-	0.29	0.06	-	-	-	-
2-甲基庚醛	0.17	-	-	-	-	-	-	0.41
辛醛	8.65	2.79	3.68	-	7.17	4.31	-	-
(E)-2-辛烯醛	2.17	1.60	0.50	0.32	0.97	0.85	-	-
苯甲醛	8.39	1.16	13.90	3.56	5.44	3.22	-	-
苯乙醛	-	-	0.32	0.46	-	-	1.05	-
4-乙基-苯甲醛	-	-	-	-	-	-	1.32	-
2-甲基-2-丁烯醛	-	-	-	0.59	-	-	-	-
壬醛	17.26	10.17	8.64	2.77	28.24	24.59	8.41	42.41
(E)-2-壬烯醛	-	-	0.34	0.10	-	-	-	-
癸醛	3.71	2.20	0.86	-	1.86	0.85	1.74	-
(E)-2-癸烯醛	1.79	2.05	0.67	0.07	0.89	0.48	-	-
戊醛	-	0.64	0.90	1.25	-	-	-	-
糠醛	-	4.05	0.58	0.08	-	-	-	-
(E)-2-己烯醛	-	-	-	0.06	-	-	-	-
(E,E)-2,4-癸二烯醛	-	-	0.21	0.02	0.61	1.45	0.44	-
(E,E)-2,4-壬二烯醛	-	-	-	0.34	-	-	-	-
十一醛	0.91	-	-	-	0.28	0.05	-	0.33
十二醛	1.49	-	-	-	0.72	0.54	-	-
十四醛	-	-	-	0.10	0.56	0.50	-	-
十五醛	-	-	-	-	0.77	0.72	-	-
十六醛	0.73	-	0.36	2.99	13.38	1.87	1.45	0.20
十八醛	-	-	-	2.19	-	-	1.63	-
14-十八碳烯醛	0.55	-	-	-	-	-	-	-
2-十一碳烯醛	1.63	-	0.32	-	0.55	0.30	-	3.18
1-辛烯-3-醇	3.82	6.47	1.20	1.92	3.94	7.73	-	6.36
(Z)-2-辛烯-1-醇	-	-	0.02	-	0.44	0.90	-	-
2-癸烯-1-醇	0.89	-	-	-	-	-	-	-
(E)-2-十一碳烯-1-醇	0.55	-	-	-	-	-	-	-
2-十四碳烯酸-1-醇	0.40	-	-	-	-	-	-	0.47
(E)-十四碳烯-1-醇	6.22	-	-	-	-	-	-	-
13-七肽-1-醇	0.63	-	-	-	-	-	-	-
丁醇	-	-	-	0.19	-	-	-	-
苯甲醇	-	0.36	-	0.73	-	-	-	-
苯乙醇	-	-	-	0.39	0.56	-	-	-

续表 1

黑猪品种	定远 ^[31,32]	宝蓄 ^[33]	莱芜 ^[34]	云南 ^[7]	山西 ^[35]	北京 ^[36]	八眉 ^[37]	白猪 ^[32]
1-苯乙基乙醇	-	-	-	0.63	-	-	-	-
2,3-丁二醇	-	-	-	1.30	-	-	0.74	-
2-乙基-1-己醇	-	2.19	10.69	0.14	-	-	0.32	-
3-甲基-2-丁醇	-	-	-	-	-	-	3.47	-
3-甲基-3-丁烯-1-醇	-	-	-	0.15	-	-	-	-
3-甲基-2-丁烯-1-醇	-	-	-	0.28	-	-	-	-
辛醇	1.12	1.93	0.62	1.30	1.85	1.39	0.79	1.83
2-甲基-庚-4-醇	-	-	-	-	0.68	0.46	-	-
庚醇	-	1.66	0.43	0.10	1.04	0.64	0.37	-
戊醇	-	-	0.44	1.59	0.19	0.69	0.57	-
己醇	-	-	-	-	0.45	0.36	-	-
十三醇	-	-	-	-	7.75	2.35	-	-
十五醇	-	-	-	0.25	-	-	-	-
1-二十醇	-	-	-	-	-	-	0.16	-
糠醇	-	2.38	-	0.21	-	-	-	-
庚酮	1.03	-	-	0.17	-	-	-	-
1-(4-吡啶基)-乙酮	-	-	-	-	-	-	1.49	-
1-(4-乙基苯基)-乙酮	-	-	-	-	-	-	1.28	-
1-(2,4-二甲苯基)-乙酮	-	-	-	-	-	-	0.33	-
苯乙酮	-	1.13	-	-	-	-	-	-
香叶丙酮	-	-	-	-	0.29	0.12	-	-
2-丁酮	1.07	-	1.30	-	-	-	-	-
3-羟基-2-丁酮	0.13	-	0.69	-	-	-	-	-
4-苯基-2-丁酮	-	-	0.72	-	-	-	1.04	-
(Z)-四氢-6-(2-戊烯基)-2H-吡喃-2-酮	0.18	-	-	-	-	-	-	0.39
6,10-二甲基-5,9-十一双烯-2-酮	0.10	-	-	-	-	-	1.17	0.34
2,4-二硝基苯肼-2-十九烷酮	0.19	-	-	-	-	-	-	0.41
3-甲基-2-环戊烯-1-酮	-	-	-	0.41	-	-	-	-
1-甲基-2-吡咯烷酮	-	-	-	0.68	-	-	-	-
3,5-二(1,1-甲基乙基)-3,5-环己二烯-1,2-二酮	-	-	-	-	-	-	1.13	-
2,5-环己二烯-1,4-二酮	-	-	0.04	-	-	-	-	-
1-乙酰氧基-2-丙酮	-	-	0.37	-	-	-	-	-
1-羟基-2-丙酮	0.38	-	1.32	-	-	-	-	-
2,3-辛二酮	-	-	0.54	0.22	4.65	14.03	-	-
2-庚酮	0.46	-	0.83	-	-	-	-	0.67
2-壬酮	-	-	0.21	-	-	-	-	-
2-癸酮	-	-	0.27	-	-	-	-	-
3-辛酮	-	-	0.06	-	-	-	-	-
2-十五酮	-	-	-	0.42	-	-	-	-
乙酸	-	-	-	0.63	-	-	-	-
丙酸	-	-	-	0.35	-	-	-	-
丁酸	-	-	-	2.16	-	-	2.60	-
戊酸	-	-	-	1.79	-	-	-	-

续表 1

黑猪品种	定远 ^[31,32]	宝蓄 ^[33]	莱芜 ^[34]	云南 ^[7]	山西 ^[35]	北京 ^[36]	八眉 ^[37]	白猪 ^[32]
己酸	-	2.48	-	0.95	-	-	0.78	-
庚酸	-	-	-	0.27	-	-	0.23	-
辛酸	-	-	-	0.37	-	-	0.76	-
壬酸	-	0.53	-	0.39	-	-	0.44	-
癸酸	-	-	-	0.19	-	-	0.74	-
n-十六酸	0.23	-	-	-	-	-	-	1.10
2-壬炔酸	-	-	-	-	-	-	0.08	-
十二烷酸	-	-	-	0.48	-	-	0.46	-
十四烷酸	0.16	-	-	5.22	-	-	1.20	0.63
十五烷酸	-	-	-	0.48	-	-	-	-
十六烷酸	0.18	-	-	5.22	-	-	-	-
(Z)-9-十六烯酸	-	-	-	0.49	-	-	-	-
9-十六碳烯酸	0.18	-	-	-	-	-	-	0.88
(Z)-11-十六烯酸	-	-	-	1.14	-	-	-	-
十六烯碳酸	-	-	-	-	-	-	1.09	-
十七烷酸	-	-	-	1.57	-	-	-	-
(E)-9-十八烯酸	-	-	-	6.56	-	-	-	-
6-十八烯碳酸	-	-	-	-	-	-	1.95	-
(E)-13-十八碳烯酸	0.16	-	-	-	-	-	-	0.46
十八烷酸	-	-	-	5.06	-	-	0.46	-
3-(4-甲氧基苯基丙酮)-2-丙烯酸	0.26	-	-	-	-	-	-	0.78
4,6-二氧代庚酸	0.13	-	-	-	-	-	-	0.41
乙酸丁酯	-	-	-	0.02	-	-	-	-
甲酸辛酯	-	-	-	0.11	-	-	-	-
c-丁内酯	-	-	-	0.33	-	-	-	-
c-己内酯	-	-	-	0.26	-	-	-	-
d-己内酯	-	-	-	0.38	-	-	-	-
十六酸甲酯	-	-	-	0.79	-	-	-	-
15-十八烯酸甲酯	-	-	-	0.48	-	-	-	-
氨基甲酸甲酯	-	-	-	-	-	-	0.67	-
正己酸乙酯	1.32	-	-	-	-	-	-	2.72
甲酸庚基酯	0.44	-	-	-	-	-	-	2.54
苯二甲酸癸基异丁基酯	0.45	-	-	-	-	-	-	2.09
邻苯二甲酸乙基二(2C 己基酯)	0.39	-	-	-	-	-	-	2.62
(E)-2-乙基己基甲氧基肉桂酸酯	0.31	-	-	-	-	-	-	1.38
十六烷酸丁酯	-	-	-	-	-	-	0.21	-
α -氨基丙酸乙酯	-	-	-	-	-	-	0.10	-
2-戊基呋喃	12.23	0.95	4.71	0.60	0.88	1.55	-	-
2-甲基呋喃	-	-	0.18	-	-	-	-	-
2-乙基呋喃	1.24	-	-	-	-	-	-	-
2-己基呋喃	0.10	-	-	-	-	-	-	-
2-呋喃甲醇	-	-	1.17	-	-	-	-	-
二氢-2-甲基-3(2H)-呋喃酮	-	-	0.13	-	-	-	-	-

续表 1

黑猪品种	定远 ^[31,32]	宝蓄 ^[33]	莱芜 ^[34]	云南 ^[7]	山西 ^[35]	北京 ^[36]	八眉 ^[37]	白猪 ^[32]
二氢-5-戊基-2(3H)-呋喃	-	-	-	-	-	-	0.37	-
萜类	-	-	2.10	-	-	-	-	-
柠檬烯	1.21	0.71	2.10	0.7	-	-	-	-
正癸烯	-	0.28	-	-	-	-	-	-
苯乙烯	-	0.45	0.21	0.05	1.96	0.58	-	-
1-七烯	-	-	-	0.26	-	-	-	-
2,4-二甲基-1-庚烯	1.14	-	3.46	0.11	-	-	-	-
环辛四烯	-	0.20	-	-	-	-	-	-
1,3-辛二烯	-	-	0.10	-	-	-	-	-
十一碳烯	-	-	0.14	-	-	-	-	-
3-二十烯	-	-	-	-	-	-	1.07	-
2,3,5-三甲基己烷	-	-	-	0.51	-	-	-	-
2,4-二甲基庚烷	-	-	-	0.12	-	-	-	-
庚烷	-	-	0.70	-	-	-	-	-
4-甲基庚烷	-	-	0.92	-	-	-	-	-
2,3-二甲基庚烷	-	-	0.12	-	-	-	-	-
辛烷	1.62	-	4.37	-	-	-	-	-
4-甲基辛烷	1.01	-	1.67	0.62	-	-	-	-
壬烷	-	-	0.23	0.18	-	-	-	-
2,6-二甲基壬烷	-	-	1.84	-	-	-	-	-
癸烷	-	-	1.22	0.53	-	-	-	-
3,7-二甲基癸烷	-	-	-	0.89	-	-	-	-
壬基-环戊烷	-	-	-	-	-	-	1.15	-
1-乙基-2-甲基-环戊烷	-	-	-	-	-	-	1.19	-
十二烷	-	5.04	0.31	1.10	0.10	0.03	1.60	-
十三烷	-	-	0.17	0.51	-	-	-	-
十四烷	-	-	-	0.16	-	-	-	-
十五烷	-	-	0.67	0.18	-	-	2.30	-
14-四甲基十五烷	-	-	-	0.12	-	-	-	-
十六烷	-	-	-	0.12	0.32	0.04	2.37	-
十七烷	-	-	-	-	-	-	2.28	-
十八烷	-	-	-	0.13	-	-	1.63	-
十九烷	-	-	-	0.34	-	-	1.50	-
二十烷	-	-	-	0.59	-	-	-	-
二十二烷	-	-	-	4.16	-	-	-	-
二十三烷	-	-	-	6.74	-	-	-	-
二十四烷	-	-	-	6.58	-	-	-	-
甲苯	-	-	1.71	-	-	-	-	-
对二甲苯	-	-	0.39	0.28	-	-	-	-
邻二甲苯	-	-	-	0.06	-	-	-	-
丁基羟基甲苯	-	-	0.58	0.22	-	-	-	-
1,2,3,4-四甲基苯	-	-	-	0.10	-	-	-	-
乙苯	-	-	-	0.06	-	-	-	-

续表 1

黑猪品种	定远 ^[31,32]	宝蓄 ^[33]	莱芜 ^[34]	云南 ^[7]	山西 ^[35]	北京 ^[36]	八眉 ^[37]	白猪 ^[32]
乙酰苯	-	-	-	-	-	-	0.04	-
1-乙烯基-3-乙基-苯	-	-	-	-	-	-	2.45	-
1-(1,1-二甲基乙基)-4-乙氧基-苯	-	-	-	-	-	-	0.07	-
1-异氧基-2-甲氧基-苯	-	-	-	-	-	-	0.23	-
丁基羟基甲基	-	-	-	-	-	-	0.35	-
萘	-	2.22	-	-	-	-	-	-
1,2,3-三甲基-4-丙烯基-萘	-	-	-	-	-	-	1.30	-
1-乙缩醛-1H-茚	-	-	-	-	-	-	1.12	-
2,3,4,7,8,8a-六氢-3,6,8,8-四甲基-1H-3a,7-亚甲基奥	-	-	-	-	-	-	1.17	-
对甲酚	-	-	-	0.58	-	-	-	-
苯酚	-	0.25	-	-	-	-	-	-
2-(2-甲基-2-丙烯基)-苯酚	-	-	-	-	-	-	0.27	-
2,4-双(1,1-二甲基乙基)-苯酚	-	-	-	0.58	-	-	-	-
间醋酐	-	-	-	-	-	-	0.23	-
十四烷基环氧乙烷	-	-	-	-	-	-	0.09	-
甲基丙烯酰胺	-	-	-	-	-	-	0.05	-
N-苯基-N-乙基-p-异丙基苯甲酰胺	-	-	-	-	-	-	5.34	-
甲氧基-苯基-脲	-	-	-	-	-	-	8.00	-
茴香脑	-	0.58	-	-	-	-	-	-
二甲基二硫	-	-	-	0.11	-	-	-	-
3-(甲硫基)丙醛	-	-	0.13	0.35	-	-	-	-
2-(甲硫基)乙醇	-	-	-	0.15	-	-	-	-
二甲基三硫化物	-	-	0.11	-	-	-	-	-
2-甲基噻吩	-	-	0.56	-	-	-	-	-
2-噻吩甲醛	-	-	0.75	-	-	-	-	-
2-乙酰噻唑	-	-	-	0.92	-	-	-	-
2-噻吩甲氧基甲醛	-	-	-	0.10	-	-	-	-
3-甲基-2-噻吩甲醛	-	-	0.21	-	-	-	-	-
苯并噻唑	-	-	-	0.10	-	-	-	-
4-甲基-5-噻唑乙醇	-	-	-	-	0.18	-	-	-
吡嗪	-	-	0.27	0.08	-	-	-	-
甲基吡嗪	-	-	1.89	-	-	-	-	-
2,6-二甲基吡嗪	-	-	1.20	-	-	-	-	-
2-乙基-3-甲基吡嗪	-	-	-	1.86	-	-	-	-
吡啶	-	-	-	0.59	-	-	-	-

经过计算,总结不同品种黑猪挥发性化合物成分的 OAV 值(如表 2 所示),可得出如下结论。定远黑猪的关键性风味物质包括己醛(青草味)、庚醛(油脂香、果香)、辛醛(果香、油脂香)、(*E*)-2-辛烯醛(水果香)、壬醛(清香)、癸醛(柑橘味)、(*E*)-2-癸烯醛(肉香、脂肪香)和 1-辛烯-3-醇(蘑菇香);宝蓄黑猪的关键风味物质包括壬醛、己醛、辛醛、庚醛、癸醛、(*E*)-2-癸烯醛、(*E*)-2-辛烯醛和 1-辛烯-3-醇;莱芜

黑猪的关键性风味物质有己醛、癸醛、壬醛、(*E*)-2-癸烯醛、(*E,E*)-2,4-癸二烯醛(石膏味、脂香)、1-辛烯-3-醇和二甲基三硫化物(焖菜叶香);云南黑猪肉中酸类化合物含量最高,酮类化合物的含量较低,己醛、壬醛、(*E,E*)-2,4-壬二烯醛(石膏味、脂香)和糠醇对其风味起关键性作用;北京黑猪肉的风味与己醛、庚醛、辛醛、(*E*)-2-辛烯醛、苯甲醛、壬醛、癸醛、(*E*)-2-癸烯醛、(*E,E*)-2,4-癸二烯醛和 1-辛烯-3-醇密切相关;

山西黑猪肉中,己醛、庚醛、辛醛、(E)-2-辛烯醛、壬醛(哈密瓜味)、苯甲醛、(E)-2-癸烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛和1-辛烯-3-醇的OAV值均大于1,是影响风味的重要化合物;八眉猪的关键性风味物质包括壬醛、癸醛、2,4-癸二烯醛(石膏味、蜡味)、十二醛、十四醛、十六醛、辛醇、1-辛烯-3-醇和2-庚醇(新鲜、绿

色味)。普通白猪肉的关键风味物质有己醛、庚醛、壬醛、(E)-2-癸烯醛和1-辛烯-3-醇。上述差异物质可成为区分不同品种猪肉的潜在标志。但是仍有部分品种的风味物质尚未检出,部分风味物质的阈值尚不可知,关于不同品种黑猪的关键风味物质的鉴定及气味描述性分析还需进一步研究。

表2 白猪与不同品种黑猪挥发性化合物成分的OAV值

Table 2 OAV values of volatile compounds in whitepig and black pigs of different breeds								
物质	阈值/(μg/kg)	定远	宝蓄	莱芜	云南	山西	北京	白猪
己醛	4.50	5.46	20.49	2.47	7.32	81.80	204.47	4.03
庚醛	3.00	1.80	9.29	0.72	0.31	29.51	23.83	1.97
(E)-2-庚烯醛	13.00	-	-	0.02	0.01	-	-	-
辛醛	8.00	2.26	18.15	0.43	-	30.85	18.20	-
(E)-2-辛烯醛	3.00	1.67	2.42	0.16	0.35	11.18	9.57	-
苯甲醛	35.00	0.68	0.02	0.37	0.33	5.36	3.10	-
苯乙醛	4.00	-	-	0.08	0.37	-	-	-
壬醛	1.00	42.39	46.35	8.09	8.97	971.90	830.00	37.90
(E)-2-壬烯醛	0.80	-	-	0.40	-	-	-	-
癸醛	0.10	91.24	100.00	8.10	-	639.70	285.90	-
(E)-2-癸烯醛	0.40	2.52	9.34	1.58	0.60	76.23	40.55	1.08
戊醛	12.00	-	0.15	0.07	0.34	-	-	-
糠醛	5 000.00	-	0.01	-	-	-	-	-
(E)-2-己烯醛	27.00	-	-	-	0.01	-	-	-
(E,E)-2,4-癸二烯醛	0.07	-	-	2.86	0.71	300.00	697.57	-
(E,E)-2,4-壬二烯醛	0.09	-	-	-	12.33	-	-	-
1-辛烯-3-醇	1.00	9.38	29.45	1.12	6.22	135.50	260.90	5.69
苯乙醇	390.00	-	-	-	-	0.05	-	-
辛醇	110.00	0.03	0.08	0.01	0.04	0.58	0.43	0.01
戊醇	730.00	-	-	-	0.01	0.01	0.03	-
糠醇	0.40	-	-	-	1.73	-	-	-
2-庚酮	140.00	0.01	-	0.01	-	-	-	-
丁酸	240.00	-	-	-	0.03	-	-	-
乙酸丁酯	1.00	-	-	-	0.07	-	-	-
柠檬烯	200.00	0.01	0.32	0.01	0.01	-	-	-
二甲基三硫化物	0.01	-	-	10.00	-	-	-	-
2-乙酰噻唑	10.00	-	-	-	0.30	-	-	-
2,6-二甲基吡嗪	200.00	-	-	0.01	-	-	-	-

2.2 黑猪肉滋味物质及差异性分析

不同品种黑猪滋味物质的研究报道较少,表3呈现了白猪与6种黑猪的特征性滋味物质含量比较。肌苷酸(IMP)、鸟苷酸(GMP)和鲜味氨基酸是肉类主要的鲜味物质,其物质间还会发生鲜味协同作用^[37]。肌肉中氨基酸含量及组成受品种等因素影响^[38]。Meelis等^[39]和Huang等^[40]研究表明,肌苷酸、鸟苷酸

在不同品种猪肉中的含量差异明显,对猪肉滋味差异的影响较显著。还原糖在猪肉中呈现甜味,能与游离氨基酸发生美拉德反应,生成大量的杂环化合物。含硫化合物和含氮杂环类化合物具有硫磺味和洋葱香气。含氮挥发性化合物在熟肉中主要有吡咯类和吡嗪类化合物,呈现出坚果味和烘烤香味^[41]。因此,猪肉中总还原糖含量的差异不仅对猪肉滋味的不同有影响,还对猪肉香味差异发挥非常重要的作用。

表3 白猪与代表性黑猪品种特征性滋味物质含量比较(mg/100 g)

Table 3 Comparison of characteristic flavor substance content of whitepig and representative black pigs of different breeds (mg/100 g)

黑猪品种	氨基酸总量	鲜味氨基酸	肌苷酸	鸟苷酸	总还原糖
定远 ^[37]	162.81	79.51	4.11	0.85	2.11
宝蓄 ^[33]	175.39	-	-	-	-
鲁莱 ^[30]	88.94	33.53	1.34	-	1.50
莱芜 ^[30]	83.87	31.56	1.45	-	1.49
云南 ^[7]	144.54	41.06	-	-	-
北京 ^[35]	-	-	1.99	-	-
白猪 ^[43]	24.80	12.27	-	-	-

由表3可知,宝蓄黑猪的氨基酸总量最高,为175.39 mg/100 g;据贾金玉等^[33]分析可知,宝蓄黑猪氨基酸种类丰富,包含8种必需氨基酸和11种非必需氨基酸。定远黑猪的丙氨酸、谷氨酸、甘氨酸、天冬氨酸和精氨酸等鲜味氨基酸含量最高达到79.51 mg/100 g,对其滋味复杂性及鲜度起到增强作用^[37];其肌苷酸含量最高达到4.11 mg/100 g;总还原糖含量最高为2.11 mg/100 g,高于鲁莱、莱芜和北京黑猪。鲁莱黑猪的总氨基酸、鲜味氨基酸含量高于莱芜黑猪,但是肌苷酸含量低于莱芜黑猪。因此,定远黑猪可能比其他品种有更加丰富的滋味。相关研究表明,定远黑猪肉的滋味物质中苏氨酸含量最高,组氨酸最低^[37];宝蓄黑猪肉的滋味物质中,谷氨酸含量最高,胱氨酸最低^[33];莱芜黑猪肉的滋味物质中谷氨酸含量最高,胱氨酸最低,与鲁莱黑猪一致^[30];八眉猪肉的滋味物质中,谷氨酸含量最高,胱氨酸最低^[42]。

综上可得出,黑猪肉中不仅氨基酸总量高于普通白猪肉,其鲜味氨基酸含量也高于白猪肉,这与Zhao等^[7]所得研究结论相同。氨基酸和核苷酸是重要的滋味物质,对肉的风味发挥重要作用。目前研究尚有不足,如宝蓄、云南等品种黑猪的肌苷酸、鸟苷酸含量尚未有资料证明。因此各个品种黑猪的特征滋味物质仍需进一步分析鉴定。

3 黑猪肉风味形成途径及风味前体物质对比

肉风味前体物质是风味品质形成的物质基础,包括低分子量的水溶性化合物和脂质。熟化过程中的美拉德反应、脂质氧化和维生素降解都是形成风味的主要途径。因此从该角度着手,进一步分析不同品种黑猪肉风味物质存在差异的影响因素。

3.1 黑猪肉呈味物质概述及其形成途径

与白猪肉类似,生黑猪肉的挥发性风味非常弱,通常只表现为轻微的血腥气味^[35],黑猪风味大多都通过烹调产生。黑猪肉中的挥发性化合物主要包括醛类、

醇类、酮类、酸类、酯类、醚类、呋喃类、碳氢化合物、酚类^[44]、杂环化合物^[7]以及含N和S的化合物,这些物质均在加工过程中产生。肉制品风味物质的形成需要经过一系列复杂的过程,涉及多种风味前体物质、中间产物以及它们之间相互作用的产物。主要涉及风味前体物质降解(蛋白质降解、油脂降解、糖降解^[1]、硫胺素降解^[45])、脂质氧化、美拉德反应以及美拉德反应产物与脂质氧化产物相互作用^[19]。

醛类是黑猪肉重要的挥发性香气物质,是脂质氧化的主要降解产物,美拉德诱导的氨基酸降解也会产生一些醛类物质,由于其气味阈值较低,通常对风味有很大影响^[14]。图1为Sohail等^[46]总结了几种脂肪酸(油酸、亚油酸)降解生成醛的途径。如图1所示,油酸降解后分别生成辛醛和癸醛,亚油酸降解生成(E,E)-2,4-十二醛和己醛,亚麻酸降解生成(E)-2-戊烯醛和(E,E)-2,4-庚烯醛。图2为Sam等^[47]总结了花生四烯酸降解生成挥发性化合物的途径。花生四烯酸的氧化可以产生15-氢过氧化物,随后通过均裂降解生成己醛。图3为Hou等^[48]总结了美拉德反应初始阶段形成的中间体示意图。由半胱氨酸、木糖和甘氨酸组成的复杂反应体系,在美拉德反应的初始阶段,形成三种可能的中间产物,并提出两种产生肉风味的主要途径。醇类也是黑猪肉重要的风味物质,可通过还原醛类或分解脂肪酸中的氢过氧化物形成^[49]。如图2所示,花生四烯酸降解可以生成1-辛烯-3-醇。酮类是由多不饱和脂肪酸的热氧化或降解产生的^[12]。含氮化合物来源于蛋白质、游离氨基酸和核酸的分解;含硫化合物通常有肉腥味,来源于含硫氨基酸(半胱氨酸和蛋氨酸)的美拉德反应^[50]。酯类有甜味和典型的水果味,这是由酸和醇发生酯化作用而形成的^[7]。碳氢化合物来源于脂肪酸中烷氧基的裂解^[44],因其气味阈值较高,对整体香气的影响微乎其微。呋喃主要由烯醇类产生,其次是美拉德反应,并在肉类风味的形成中发挥重要作用^[45]。

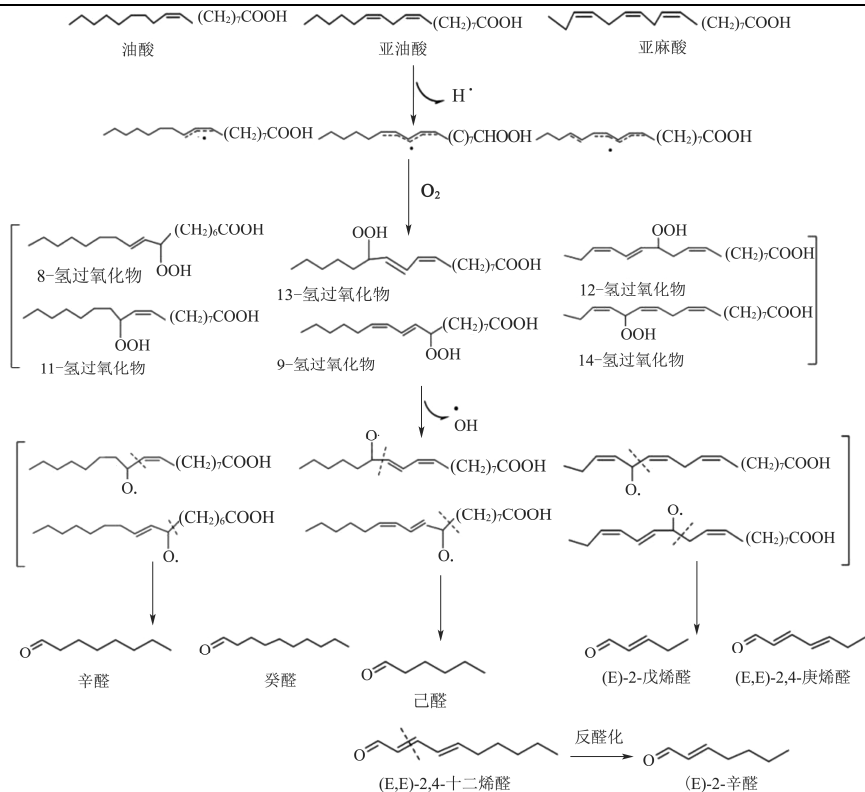


图 1 几种脂肪酸降解生成醛的途径

Fig.1 Pathways of degradation of several fatty acids to aldehydes

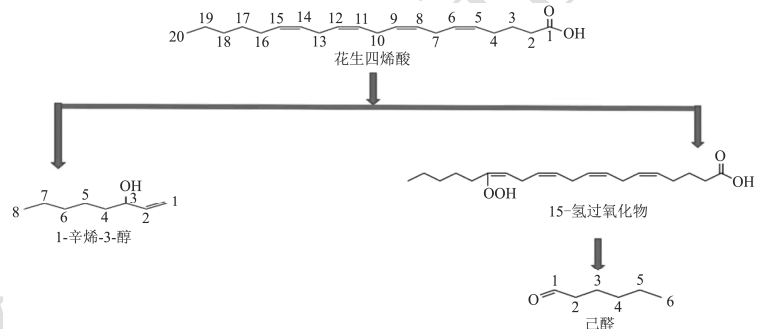


图 2 花生四烯酸降解生成挥发性化合物的途径

Fig.2 Pathways of arachidonic acid degradation to volatile compounds

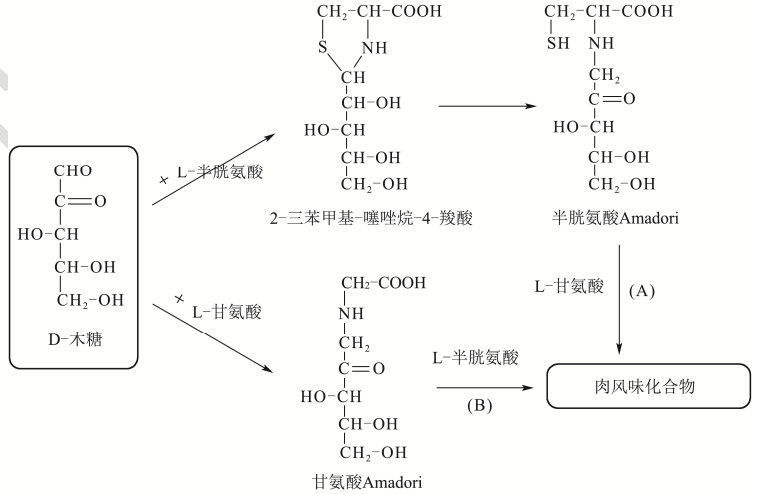


图 3 美拉德反应初始阶段形成中间体的途径

Fig.3 The formation of intermediate in the initial stage of Maillard reaction

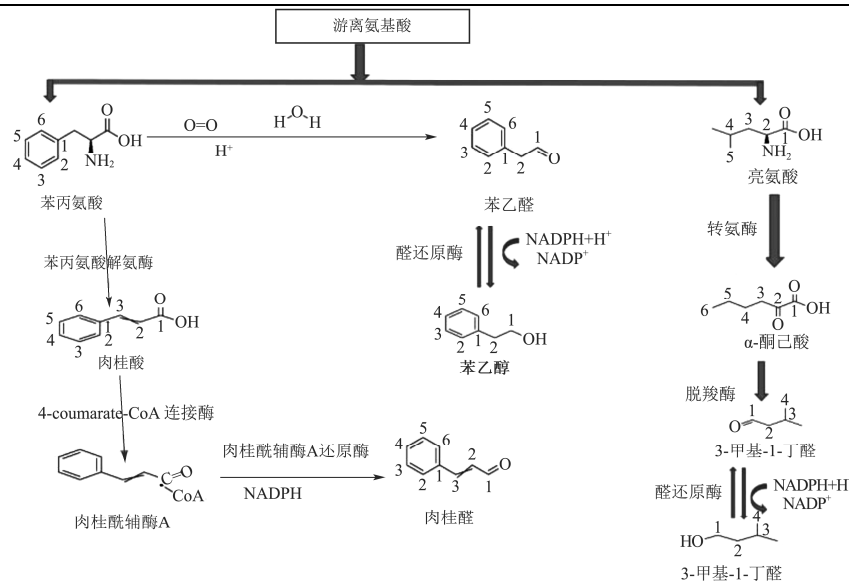


图4 苯丙氨酸和亮氨酸降解生成挥发性风味化合物的途径

Fig.4 Pathways of phenylalanine and leucine degradation to volatile flavor compounds

猪肉中的滋味化合物主要包括游离氨基酸、游离核苷酸、肽^[51]、还原糖、无机盐^[41]等。滋味分为酸、甜、苦、咸、鲜，肉类的鲜味主要来自两类化合物，即氨基酸和核苷酸^[18]。还原糖在猪肉中呈现甜味，能与游离氨基酸在熟制过程中发生美拉德反应，生成大量的杂环化合物^[41]。游离 5'-核苷酸对肉味感知非常重要，可以提供强烈的鲜味特征^[26]。游离氨基酸提供的感官味觉特征包括鲜味(天冬氨酸和谷氨酸)、甜味(丙氨酸、甘氨酸、丝氨酸、苏氨酸、脯氨酸和赖氨酸)和苦味(精氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、色氨酸、酪氨酸和缬氨酸)，谷氨酸是对良好风味影响最大的氨基酸^[25]。图4为 Sam 等^[47]总结了苯丙氨酸和亮氨酸降解生成挥发性风味化合物的途径。如图所示，转氨酶将亮氨酸降解为α-酮己酸，再通过脱羧酶进一步降解为3-甲基-1-丁醛，部分还原为3-甲基-1-丁醇；苯丙氨酸经过脱氨反应生成肉桂酸，肉桂酸被转化为肉桂酰辅酶A，后者被还原为肉桂醛，同时苯丙氨酸降解还可生成苯乙醛，部分还原为苯乙醇。

3.2 黑猪肉风味前体物质对比分析

脂肪酸^[52]和硫胺素是与风味相关的重要前体物质。据 Huang 等^[53]研究表明，肌内脂肪是影响肉类食用品质和风味的最重要因素之一。因为肌内脂肪主要成分为磷脂，磷脂主要是由十六碳和十八碳脂肪酸组成，脂肪酸是构成肉类特有风味的基础，尤其多不饱和脂肪酸是肉食香味的重要前体物质^[30]。硫胺素是一种含硫和氮的双环化合物，黑猪肉中含量较高，在中性和碱性条件下容易降解，是肉香味形成的途径之

一^[1]。其降解产生的硫化氢能与呋喃酮反应产生强烈的肉香风味。硫胺素也能水解形成具有熟猪肉香味的噻唑^[41]。图5为 Shi 等^[54]总结了基于 KEGG 的三种风味前体(脂肪酸、氨基酸和糖原)通路中代表性风味化合物醛、醇、酮和酸的示意图。风味前体主要分为三类(如图5)，肌肉中的糖原通过与氨基酸、多肽、蛋白质反应，形成了乙醇、丙酮等少于6个碳的脂肪族化合物，以及其他杂环风味化合物，构成了复杂的风味形成途径。

地方品种黑猪脂肪酸组成及含量存在显著差异，表4为白猪与7种黑猪后腿肉的脂肪酸含量比较。除八眉猪外，其余品种的不饱和脂肪酸含量都高于饱和脂肪酸。山西黑猪的不饱和脂肪酸含量最高，为65.49 mg/100 g。八眉猪的饱和脂肪酸含量最高，为48.79 mg/100 g。云南黑猪的不饱和脂肪酸、饱和脂肪酸含量均最低，分别为33.68 mg/100 g、18.65 mg/100 g。因此，云南黑猪肉的风味和口感可能略差于其他品种。有研究表明，莱芜猪肉^[55]的单不饱和脂肪酸的总含量以及棕榈烯酸、银杏酸、油酸和花生烯酸的含量显著高于其他品种。北京黑猪^[18]的不饱和脂肪酸和二十二碳六烯酸含量显著高于普通白猪。山西黑猪^[35]单不饱和脂肪酸中油酸含量最高，硬脂酸含量最低。八眉猪^[42]中共测出14种脂肪酸，主要由油酸、硬脂酸、棕榈酸和亚油酸组成。总结表4的数据可得出，有些黑猪品种的脂肪酸含量高于白猪，如山西、北京、莱芜；也有些黑猪品种的脂肪酸含量低于白猪。朱宏等^[6]研究结果表明，黑猪五花肉的饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸均高于普通白猪；黑猪排骨的饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸与普通白猪差距不显著。

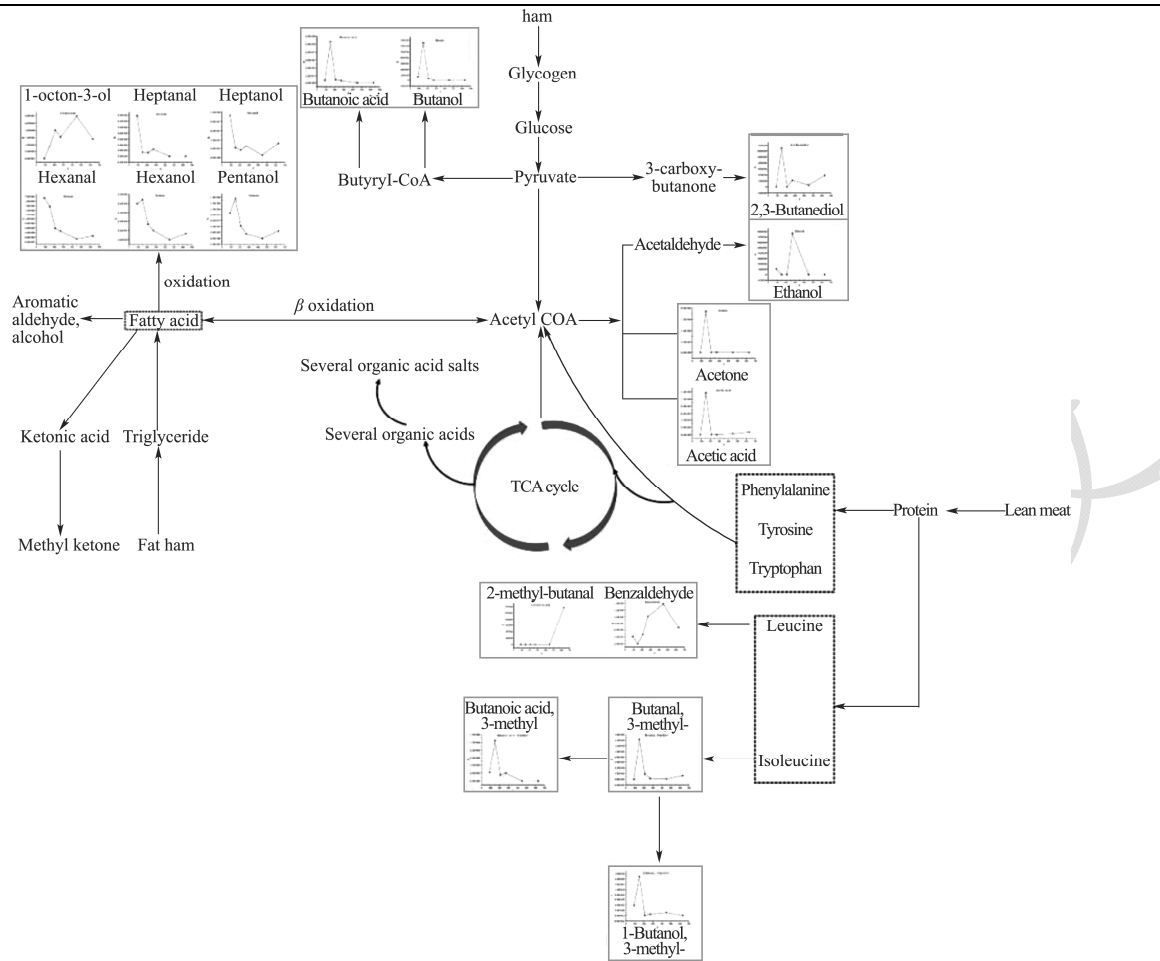


图 5 基于 KEGG 的三种风味前体(脂肪酸、氨基酸和糖原)通路中代表性风味化合物的示意图

Fig.5 Schematic representation of representative flavor compounds in the three flavor precursors (fatty acids, amino acids, and glycogen) pathway based on KEGG

表 4 白猪与代表性黑猪品种脂肪酸含量比较 (mg/100 g)

Table 4 Comparison of fatty acid content of whitepig and representative black pigs of different breeds (mg/100 g)

黑猪品种	不饱和脂肪酸	单不饱和脂肪酸	多不饱和脂肪酸	饱和脂肪酸
定远 ^[51]	55.10	49.90	5.20	42.90
鲁莱 ^[30]	56.33	50.72	5.61	41.00
莱芜 ^[30,55]	57.75	52.12	5.63	42.32
云南 ^[7]	33.68	30.32	3.36	18.65
北京 ^[35]	57.80	49.13	8.67	42.20
山西 ^[35]	65.49	58.22	7.27	34.51
八眉 ^[42]	42.97	35.19	7.78	48.79
白猪 ^[61]	57.01	44.91	12.10	41.43

研究发现在肉类成分中有 600 多种香味物质, 在这些香味物质的生成过程中磷脂显得尤为重要, 占肌内脂肪的 60%~70%^[56]。由此可见肌内脂肪是对风味产生巨大贡献的脂质, 是重要的风味前体物质。我国地方品种黑猪因其肌间脂肪含量较高而具有独特风味、肉质细嫩的特点。已报道的黑猪品种肌内脂肪含量皆是瘦肉型猪的数倍^[57]。此外, 不同黑猪品种之间肌内脂肪含量差异显著^[58]。宝蓄黑猪^[33]的肌内脂肪含

量是瘦肉型猪肉的 18 倍。莱芜黑猪^[30]的肌内脂肪含量约为瘦肉型猪肉的 11 倍^[34]。鲁莱黑猪的肌内脂肪含量约为瘦肉型猪肉的 7 倍。定远黑猪^[37]和川藏黑猪^[59]的肌内脂肪含量约为瘦肉型猪肉的 4 倍。松辽黑猪^[60]的肌内脂肪含量也显著高于瘦肉型猪。

综上, 与其它品种相比, 莱芜黑猪肉的不饱和脂肪酸和肌内脂肪含量皆较高, 其中棕榈酸、油酸和花生四烯酸含量突出; 检测出 66 种挥发性化合物仅次于

云南黑猪,其中醛类物质多达16种,所含酮类物质是7个品种中最多的为11种。油酸降解生成的己醛、辛醛、癸醛、(E)-2-辛烯醛,花生四烯酸降解生成的1-辛烯-3-醇均在莱芜黑猪肉中检出较高含量。但是,莱芜黑猪的氨基酸、核苷酸和还原糖等滋味物质含量并不高,关于其滋味物质与风味前体物质的关系还需进一步研究。相反,定远黑猪肉的滋味物质(氨基酸、核苷酸、还原糖)含量相对较高,仅次于宝蓄黑猪;但是风味前体物质(不饱和脂肪酸和肌内脂肪)和挥发性风味物质的种类和含量均不高,尤其是肌内脂肪含量。由此看见,风味前体物质的种类和含量与挥发性风味物质种类和含量关系密切。

猪肉风味的形成不能归因于某一种化合物,它是挥发性和非挥发性化合物的共同作用结果,因此能影响风味前体物质和风味形成过程的因素都对猪肉风味有不同程度的影响^[41]。黑猪肉风味前体物质的含量和种类受多种因素的影响,包括遗传背景^[44]、品种、年龄^[45]、性别^[62]、饲料^[63]、饲养条件^[64]、环境因素等,其中品种起到最重要作用^[65]。

4 结论与展望

综上所述,关于黑猪肉风味的呈味物质及其形成途径已有清晰的研究,检测方法不断完善,但是对于滋味物质的检测技术还需进一步开拓,快速和非破坏性分析实时风味的新技术也同样需要发展。黑猪肉的特征挥发性风味物质主要是醛类、醇类、酮类和酸类化合物,诸多黑猪品种中的谷氨酸、苏氨酸、天冬氨酸和肌苷酸表现为特征性滋味物质,对鲜味差异影响极大。对于不同品种的黑猪,在生长、屠宰及加工过程中,影响风味形成的因素很多,形成机制也十分复杂,应作进一步深入探讨。今后的研究尚有如下问题有待解决:(1)完善更多品种黑猪肉的关键性风味物质;(2)比较不同地区品种黑猪肉的气味描述差异性;(3)分析相同饲养条件下的不同品种黑猪肉风味是否存在显著差异;(4)同一种方式加工对不同品种黑猪肉风味的影响。此研究方向将为阐释不同品种黑猪肉适用于开发特定产品提供理论依据,以至于发挥黑猪肉的价值,推动肉品风味领域更深一步发展。

参考文献

- [1] Sun A, Wu W, Soladoye O P, et al. Maillard reaction of food-derived peptides as a potential route to generate meat flavor compounds: A review [J]. Food Research International, 2022, 151: 110823.
- [2] Yang F, Gao H, Zhang Y, et al. Optimizing conditions of electronic nose for rapid detection of flavor substances in Ningxiang pork [J]. Journal of Food Process Engineering, 2021, 44(8): 10.
- [3] Navarro M, Dunshea F R, Lisle A, et al. Feeding a high oleic acid (C18:1) diet improves pleasing flavor attributes in pork [J]. Food Chemistry, 2021, 357: 129770.
- [4] 李敬,杨媛媛,赵青余,等.肉风味前体物质与风味品质的关系研究进展[J].中国畜牧杂志,2019,55(11):1-7.
- [5] 李婷婷.超高压结合热处理对猪肉滋味物质及风味的影响[D].绵阳:西南科技大学,2017.
- [6] 朱宏,梁克红,郭子轩,等.黑猪肉与普通猪肉的营养成分对比[J].食品工业,2021,42(3):342-346.
- [7] Zhao J, Wang M, Xie J, et al. Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig [J]. Food Chemistry, 2017, 226: 51-60.
- [8] Han D, Zhang C H, Fauconier M L, et al. Characterization and differentiation of boiled pork from Tibetan, Sanmenxia and Duroc × (Landrac × Yorkshire) pigs by volatiles profiling and chemometrics analysis [J]. Food Research International, 2020, 130: 108910.
- [9] Liu H, Wang Z, Zhang D, et al. Characterization of key aroma compounds in Beijing roasted duck by gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry, odor-activity values, and aroma-recombination experiments [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(20): 5847-5856.
- [10] Li H, Geng W, Haruna S A, et al. Identification of characteristic volatiles and metabolomic pathway during pork storage using HS-SPME-GC/MS coupled with multivariate analysis [J]. Food Chemistry, 2022, 373(PtA): 131431.
- [11] 王蒙,侯莉,梁晶晶,等.采用同时蒸馏萃取方法分析猪肉炖煮过程产生的风味物质[J].食品与发酵工业,2016,2(9):184-191.
- [12] Zang M, Wang L, Zhang Z, et al. Changes in flavour compound profiles of precooked pork after reheating (warmed-over flavour) using gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry with chromatographic feature extraction [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2019, 55(3): 978-987.
- [13] 胡子璇,徐乐,梁小慧,等.肉制品挥发性风味物质研究进展[J].食品研究与开发,2020,41(19):219-224.
- [14] 许宇振.肉品中挥发性与非挥发性风味成分检测技术研究进展[J].肉类工业,2021,9:40-45.
- [15] Li W, Chen Y P, Blank I, et al. GC × GC-ToF-MS and GC-IMS based volatile profile characterization of the Chinese dry-cured hams from different regions [J]. Food

- Research International, 2021, 142: 110222.
- [16] 周慧敏,张顺亮,郝艳芳,等.HS-SPME-GC-MS-O 结合电子鼻对坨坨猪肉主体风味评价分析[J].食品科学,2021,42(2): 218-226.
- [17] Wu W, Zhan J, Tang X, et al. Characterization and identification of pork flavor compounds and their precursors in Chinese indigenous pig breeds by volatile profiling and multivariate analysis [J]. Food Chemistry, 2022, 385: 132543.
- [18] Tu T, Wu W, Tang X, et al. Screening out important substances for distinguishing Chinese indigenous pork and hybrid pork and identifying different pork muscles by analyzing the fatty acid and nucleotide contents [J]. Food Chemistry, 2021, 350: 129219.
- [19] 吴婷,何健.提高猪肉风味的营养调控策略[J].养猪,2021,3: 61-64.
- [20] 赵艳,汪泓吉,张凤枰,等.反相离子对高效液相色谱法测定猪肉中呈味核苷酸[J].食品工业科技,2016,37(2):64-67.
- [21] 郭金英,李杰,吴影,等.基于电子舌和色谱技术分析蒸煮猪肉滋味物质[J].食品与机械,2019,35(8):32-36.
- [22] Lou X W, Zhang Y B, Sun Y Y, et al. The change of volatile compounds of two kinds of vinasse-cured ducks during processing [J]. Poult Science, 2018, 97(7): 2607-2617.
- [23] Nicolotti L, Mall V, Schieberle P. Characterization of key aroma compounds in a commercial rum and an Australian red wine by means of a new sensomics-based expert system (SEBES) - An approach to use artificial intelligence in determining food odor codes [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(14): 4011-4022.
- [24] Wang L, Li C, Al-dalali S, et al. Characterization of key aroma compounds in traditional beef soup [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2022, 114: 104839.
- [25] Kang D R, Belal S A, Cho E S R, et al. Meat quality and chemical assessment of porcine longissimus dorsi within different muscle pH [J]. Animal Production Science, 2019, 59(6): 1155-1160.
- [26] Yao H, Xu Y L, Liu W, et al. Taste compounds generation and variation of broth in pork meat braised processing by chemical analysis and an electronic tongue system [J]. Journal of Food Biochemistry, 2021, 31: e13766.
- [27] Li C, Al-dalali S, Wang Z, et al. Investigation of volatile flavor compounds and characterization of aroma-active compounds of water-boiled salted duck using GC-MS-O, GC-IMS, and E-nose [J]. Food Chemistry, 2022, 386: 132728.
- [28] 邹醒月,柳禄灵,丁鹏,等.地方品种猪肉品质及其膳食营养论述[J].猪业科学,2021,38(4):58-62.
- [29] 高从艳,漆亮.不同黑猪品种的特征、选育与疫病防治研究[J].现代畜牧科技,2021,8:23-24,6.
- [30] 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.
- [31] Yang J, Pan J, Zhu S, et al. Application of Pca and Slda methods for the classification and differentiation of cooked pork from Chinese indigenous pig breeds and a hybrid pig breed [J]. International Journal of Food Properties, 2014, 17(7): 1518-1528.
- [32] 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.
- [33] 贾金玉,张慧芳,孟宪华,等.宝蓄黑猪肉品质评价及关键风味物质分析[J].黑龙江畜牧兽医,2020,22:50-54.
- [34] Lu P, Li D, Yin J, et al. Flavour differences of cooked longissimus muscle from Chinese indigenous pig breeds and hybrid pig breed (Duroc×Landrace×Large White) [J]. Food Chemistry, 2008, 107(4): 1529-1537.
- [35] Zhang K, Li D, Zang M, et al. Comparative characterization of fatty acids, reheating volatile compounds, and warmed-over flavor (WOF) of Chinese indigenous pork and hybrid pork [J]. LWT, 2022, 155: 112981.
- [36] 王克晨,黄文颖,周继平,等.青海八眉猪及其杂交猪肉挥发性成分分析[J].肉类研究,2020,34(5):64-69.
- [37] 潘见,杨俊杰,朱双杰,等.四种不同品种猪肉滋味成分差异研究[J].食品工业科技,2015,36(14):161-264,74.
- [38] 葛倩倩,汤晓艳,涂婷,等.不同品种猪肉鲜味特征比较研究[J].肉类研究,2020,34(9):1-5.
- [39] Tikk M, Tikk K, Torngrén M A, et al. Development of inosine monophosphate and its degradation products during aging of pork of different qualities in relation to basic taste and retronasal flavor perception of the meat [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(20): 7769-7777.
- [40] Huang C, Zheng M, Huang Y, et al. The effect of purine content on sensory quality of pork [J]. Meat Science, 2021, 172: 108346.
- [41] 崔艺燕,马现永.猪肉风味研究进展[J].肉类研究,2017,31(6): 55-60.
- [42] 席斌,郭天芬,杨晓玲,等.对不同品种猪肉中脂肪酸、氨基酸及肌苷酸的比较研究[J].饲料研究,2019,42(7):31-34.
- [43] 李志勋,翁亚烦,杨圳超,等.云南两个地方猪和杜洛克猪的营养成分比较[J].食品工业,2020,41(4):341-345.
- [44] Chen G, Su Y, He L, et al. Analysis of volatile compounds in

- pork from four different pig breeds using headspace solid-phase micro-extraction/gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Science Nutrition, 2019, 7(4): 1261-1273.
- [45] Aaslyng M D, Meinert L. Meat flavour in pork and beef - From animal to meal [J]. Meat Science, 2017, 132: 112-117.
- [46] Sohail A, Al-dalali S, Wang J, et al. Aroma compounds identified in cooked meat: A review [J]. Food Research International, 2022, 157: 111385.
- [47] Al-dalali S, Li C, Xu B. Insight into the effect of frozen storage on the changes in volatile aldehydes and alcohols of marinated roasted beef meat: Potential mechanisms of their formation [J]. Food Chemistry, 2022, 385: 132629.
- [48] Hou L, Xie J, Zhao J, et al. Roles of different initial Maillard intermediates and pathways in meat flavor formation for cysteine-xylose-glycine model reaction systems [J]. Food Chemistry, 2017, 232: 135-144.
- [49] Chang Y, Wang S, Chen H, et al. Characterization of the key aroma compounds in pork broth by sensory-directed flavor analysis [J]. Journal of Food Science, 2021, 86(11): 4932-4945.
- [50] Lotfy S N, Fadel H H, El-ghorab A H, et al. Stability of encapsulated beef-like flavourings prepared from enzymatically hydrolysed mushroom proteins with other precursors under conventional and microwave heating [J]. Food Chemistry, 2015, 187: 7-13.
- [51] 杨俊杰.三种中国地方猪肉与瘦肉型猪肉的风味品质比较和鉴别研究[D].合肥:合肥工业大学,2015.
- [52] 黄业传,李婷婷,李凤,等.高压结合热处理对猪肉滋味的影响[J].食品工业科技,2017,38(20): 54-61,7.
- [53] Huang Y, Zhou L, Zhang J, et al. A large-scale comparison of meat quality and intramuscular fatty acid composition among three Chinese indigenous pig breeds [J]. Meat Science, 2020, 168: 108182.
- [54] Shi Y, Li X, Huang A. A metabolomics-based approach investigates volatile flavor formation and characteristic compounds of the Dahe black pig dry-cured ham [J]. Meat Science, 2019, 158: 107904.
- [55] Li J, Zhang J, Yang Y, et al. Comparative characterization of lipids and volatile compounds of Beijing Heiliu and Laiwu Chinese black pork as markers [J]. Food Research International, 2021, 146: 110433.
- [56] 宿甲子,孙肖明,孟宪梅.肌肉脂肪对猪肉品质的影响及研究进展[J].畜牧兽医科技信息,2020,10:19-20.
- [57] 李文刚,焦福林,吴志娟,等.猪肉肉质和风味的提高与改善[J].食品工程,2011,4:19-21,34.
- [58] 吴婷,敖翔,何健.肌肉脂肪与肉品质关系及其营养调控策略[J].养猪,2021,4:50-54.
- [59] 陶璇,何志平,钟志君,等.川藏黑猪猪肉风味物质沉积规律研究[J].养猪,2021,6:55-58.
- [60] 于永生,张志彬,罗晓彤,等.三个猪种肌肉脂肪酸含量分析[J].黑龙江畜牧兽医,2016,1:115-117.
- [61] 彭汝艳,孟宪华,周彤,等.直隶黑猪与杜长大三元猪肉肉质性状对比分析[J].食品工业科技,2022,43(18):262-271.
- [62] Buttinger G, Wenzl T. Validation by collaborative trial of a method for the determination by GC-MS and LC-MS/MS of boar taint marker compounds in pork tissue [J]. Food Chem X, 2020, 6: 100083.
- [63] Ellis M, Lympny C, Haley C S, et al. The eating quality of pork from Meishan and Large White pigs and their reciprocal crosses [J]. Animal Science, 2010, 60(1): 125-131.
- [64] 赵素娟,刘林,郭登峰,等.不同饲喂方式对猪肉品质和风味的影响[J].食品与发酵工业,2018,44(5):194-200.
- [65] 豆成林,周枫.淮南猪、豫南黑猪和长白猪氨基酸组成及含量的分析与比较[J].食品工业,2013,34(9):200-202.