

# 猪肉风味研究进展

崔艺燕, 马现永\*

(广东省农业科学院动物科学研究所, 畜禽育种国家重点实验室, 农业部华南动物营养与饲料重点实验室,  
广东省畜禽育种与营养研究重点实验室, 广东省动物育种与营养公共实验室, 广东 广州 510640)

**摘要:** 我国养猪生产高度追求肉产量和产肉效率, 应用快速肥育技术, 极大程度地提高了猪肉产量, 却使得猪肉品质不断下降, 风味变差。本文从猪肉品质的风味指标出发, 总结了猪肉的风味前体、特征风味、风味形成途径以及影响猪肉风味的因素, 以期为高品质猪肉的生产提供科学的理论依据。

**关键词:** 猪肉; 风味; 风味前体; 香味; 滋味

## Recent Advances in the Research on Pork Flavor Compounds

CUI Yiyang, MA Xianyong\*

(Guangdong Public Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Guangdong Key Laboratory of Livestock and Poultry Breeding and Nutrition Research, The Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science (South China) of Ministry of Agriculture, State Key Laboratory of Livestock and Poultry Breeding, Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Nowadays, China's pig industry highly pursues high meat yield and meat production efficiency. The application of rapid fattening technology has greatly improved pork production efficiency but at the same time has resulted in a decline in pork quality and flavor deterioration. This paper summarizes the flavor precursors and characteristic flavor compounds in pork, reaction pathways for flavor formation and the factors that affect pork flavor with the aim to provide a theoretical basis for the production of high quality pork.

**Key words:** pork; flavor; flavor precursors; aroma; taste

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201706011

中图分类号: S828

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2017) 06-0055-06

引文格式:

崔艺燕, 马现永. 猪肉风味研究进展[J]. 肉类研究, 2017, 31(6): 55-60. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201706011. <http://www.rlyj.pub>

CUI Yiyang, MA Xianyong. Recent advances in the research on pork flavor compounds[J]. Meat Research, 2017, 31(6): 55-60. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201706011. <http://www.rlyj.pub>

长期以来, 猪肉都是中国肉类生产和消费的主要组成部分。国家统计局数据分析报告表明, 2015年度我国猪肉产量为5 486.55 万t, 占肉类总产量的63.61%; 2012年度我国农村居民人均猪肉消费量为14.4 kg, 城镇居民人均猪肉购买量为21.2 kg<sup>[1]</sup>。近年来, 随着生活水平的提高和食品安全意识的增强, 消费者对猪肉品质提出了更高的要求。我国生猪养殖高度追求肉产量和产肉效率, 目前应用快速肥育技术使猪的生长周期变短, 极大程度地提高了猪肉的生产效率, 然而猪肉品质却不断下降,

味道淡薄、口感一般、风味较差。相比之下, 我国的土猪肉品质较高, 风味浓郁。健康、安全和营养丰富的高品质猪肉越来越受到消费者的青睐, 尤其是滋味鲜美、香味浓郁的风味猪肉更加受消费者喜爱。

风味是肉类品质的重要组成部分, 主要由滋味和香味构成。目前的研究主要集中在肉类产生风味的原因及过程方面, 且以牛肉风味研究为主, 针对猪肉风味的研究较少。猪肉风味的研究集中在理论及检测方面, 将风味应用于养殖中改善猪肉品质方面的研究并不多。本文总结了猪肉的

收稿日期: 2017-01-13

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2012CB124706-5); 国家农业(生猪)产业技术体系建设专项(CARS-36); 广东省科技计划项目(2014A030311010, 2013A061401020); 广东省产业技术体系项目(2016LM1080)

作者简介: 崔艺燕(1987—), 女, 本科, 研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: 958117076@qq.com

\*通信作者: 马现永(1972—), 女, 研究员, 博士, 研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: 407986619@qq.com

风味前体、特征风味、风味形成途径以及猪肉风味的影响因素，以期为高品质猪肉的生产提供科学的理论依据。

## 1 猪肉的风味前体

### 1.1 滋味呈味物质

猪肉的成分非常复杂，主要包括水、蛋白质、氨基酸、糖类和脂类等，这些成分对猪肉风味具有重要作用，可作为呈味物质、香味前体及风味增强剂等。滋味主要来自于肉中的呈味物质，如无机盐、氨基酸、多肽、酸类和糖类等，这些物质被舌上的味蕾感受后，经神经传导到大脑，从而呈现出甜、咸、酸、苦、鲜等味道<sup>[2]</sup>。

肉中的咸味主要由氯化钠和其他钠盐引起，甜味则由糖类和氨基酸引起，苦味一般来自于氨基酸和多肽，如肌肽、鹅肌肽是苦味的前体<sup>[3]</sup>，酸味由乳酸、无机酸和酸性磷酸盐引起，鲜味则由肉中的肌苷酸、鸟苷酸和谷氨酸单钠盐以及部分二肽所赋予<sup>[4]</sup>。肌肉中的肌苷酸及其降解产物是肉香味形成的重要组成部分。在屠宰后72 h，猪肉肌苷酸和次黄嘌呤的浓度达到最大，烹饪后肌苷酸含量随次黄嘌呤浓度的增加而降低<sup>[5]</sup>。除了呈现特有的鲜味，鲜味化合物还具有风味增强特性<sup>[4-5]</sup>。

氨基酸对猪肉滋味有十分重要的贡献。肽类和游离氨基酸在猪肉成熟过程中有促进滋味的作用<sup>[6]</sup>，谷氨酸是猪肉中的重要鲜味物质<sup>[4]</sup>，异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸有苦味<sup>[3]</sup>，丙氨酸、丝氨酸、苏氨酸、甘氨酸、脯氨酸和羟脯氨酸有甜味<sup>[4]</sup>，谷氨酰胺有咸苦味<sup>[3]</sup>。一般来说，地方猪肉中总游离氨基酸、丙氨酸、谷氨酸、甘氨酸、天冬氨酸、精氨酸和肌苷酸等鲜味物质的含量高于瘦肉型猪肉<sup>[7]</sup>。

同时，滋味物质也是重要的香气前体。氨基酸和糖类可通过美拉德反应和Strecker降解使熟肉产生特定的味道和香味<sup>[3]</sup>。

### 1.2 香味前体

猪肉香味物质大部分都是挥发性的。生肉一般没有香味，只有血腥的味道。香味是在肉类加工过程中由特定前体产生的。肉类香味前体主要分为水溶性化合物和脂溶性化合物。

#### 1.2.1 水溶性化合物

水溶性化合物包括糖类、游离氨基酸、肽类、核苷酸及硫胺素等<sup>[8]</sup>。葡萄糖、葡萄糖-6-磷酸、核糖、磷酸核糖和果糖可以增加烤焦糖的香味，猪肉中加入核糖和葡萄糖可以提高挥发性物质的水平，其中烷基吡嗪含量最丰富<sup>[9]</sup>。

含硫氨基酸加热分解产生的氨气、硫化氢、甲硫醇和甲硫醛等降解产物具有非常低的气味阈值，极低数量便能增加熟肉香气<sup>[8]</sup>。含硫氨基酸的存在可以产生高气味

阈值的含硫化合物，如硫醇和噻吩，而影响吡嗪和含氮化合物的形成<sup>[10]</sup>，因此，含硫氨基酸是挥发性香味化合物的重要前体。

猪肉中硫胺素含量较高，硫胺素能降解产生肉香化合物<sup>[4]</sup>。烤猪肉典型的香味物质为硫胺素产生的呋喃酮和呋喃硫醇等<sup>[2]</sup>。硫胺素热分解产生的硫化氢、噻吩、噻唑类物质是形成含氮和含硫杂环化合物的重要前体<sup>[11]</sup>。

#### 1.2.2 脂溶性化合物

脂肪是形成特征肉香的重要成分。脂类在加工过程中作为溶剂能够产生挥发性化合物，脂质热氧化的产物与瘦肉组织的成分反应后，可产生鲜明风味<sup>[6]</sup>。

脂肪酸组成对风味成分的影响很大<sup>[12-13]</sup>，同时脂质的不饱和度也很重要，一小部分氧化的脂肪酸能显著改变肉类风味<sup>[6]</sup>。由于不同品种猪肉的脂肪酸组成不同，氧化程度、产物含量不同，因此产生的风味也有所差别。各品种猪的肌肉脂肪酸含量有相似趋势，均以油酸、棕榈酸含量较高，亚油酸、硬脂酸含量次之，豆蔻酸、亚麻酸含量较低<sup>[8]</sup>。猪肉中的油酸在猪肉脂肪酸中占33.33%~36.67%，而亚油酸和亚麻酸是最丰富的多不饱和脂肪酸<sup>[11]</sup>，油酸、亚油酸、十七碳烯酸、亚麻油酸、硬脂酸和棕榈酸可能是猪肉风味的前体物质<sup>[13]</sup>。油酸含量对猪肉风味有很大影响，醛类含量与油酸含量呈负相关，高油酸含量的猪肉产生较少的脂肪气味，较少改变受氨基酸影响的气味<sup>[12]</sup>。脂肪酸中的亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸、二十碳五烯酸、二十二碳五烯酸和二十二碳六烯酸含量与猪肉风味呈负相关，而棕榈一烯酸含量与猪肉风味呈正相关<sup>[14]</sup>。如果猪肉烹调后很快被食用，则猪肉中的多不饱和脂肪酸不会对风味产生任何负面影响<sup>[12]</sup>。

除脂肪酸外，其他脂溶性成分在受热后也会发生各种变化而生成风味物质。磷脂是肌肉脂肪的主要组成成分，因其富含多不饱和脂肪酸，极易被氧化，因而能直接影响风味成分<sup>[4]</sup>。瘦肉组织中的甘油三酯也是重要的风味前体<sup>[11]</sup>，有研究认为甘油三酯的去除对熟肉香气影响不大<sup>[15]</sup>，但是，脂肪组织和瘦肉组织中的甘油三酯和磷脂的作用似乎并不一致，早期研究认为瘦肉组织中的甘油三酯和磷脂是挥发性物质的主要来源，脂肪组织中的甘油三酯和磷脂则不是<sup>[4]</sup>。

一般认为脂溶性物质对于不同物种是具有特征性的<sup>[4]</sup>。猪肉中大部分的挥发性风味成分，如直链醛、醇、烃和酮类，主要是由肌肉脂肪加热产生的<sup>[16]</sup>。皮下脂肪，无论熟肉或生肉中，通过美拉德反应都可以产生大量的脂质衍生挥发性物质<sup>[6]</sup>。有研究<sup>[17]</sup>认为，增加猪皮下脂肪能够改善猪瘦肉的风味。而黄业传等<sup>[16]</sup>的研究表明，增加猪皮下脂肪不会引起太大的风味变化。对于猪皮下脂肪作用的研究结果并不一致，这可能受到皮下脂肪的添加量、烹调方式和检测技术的影响。

## 2 猪肉的特征风味

生猪肉中最丰富的挥发性物质为羧酸,其次是酮、醇、碳氢化合物、氮化合物和一些酚类化合物,2-乙基-1-己醇是生肉中最丰富的醇<sup>[18]</sup>。猪肉经过热处理后,挥发性化合物主要是醛、酮、醇、酯,其次是酸、呋喃并吡喃衍生物、吡嗪、吡咯并吡啶衍生物、苯衍生物等<sup>[19]</sup>。而猪肉汤的主要香气化合物为丙酮醇、辛酸、 $\delta$ -癸内酯、癸酸<sup>[20]</sup>、乙酸乙酯、3-(甲硫基)丙醛、己醛、2-丁酮、二甲基二硫化物及二甲基三硫化物<sup>[21]</sup>。

### 2.1 醛类化合物

醛类化合物是熟猪肉的主要挥发性成分,是最丰富的风味物质<sup>[12]</sup>,大部分醛类化合物来自脂肪酸的氧化降解。猪肉中主要的醛为己醛<sup>[16,18-20]</sup>,这是由于猪肉中丰富的亚油酸氧化后可生成己醛<sup>[18]</sup>。己醛具有清香的青草气味,主要来自 $\omega$ -6不饱和脂肪酸<sup>[22]</sup>,它是评价肉类氧化状态和风味的可靠指标<sup>[19]</sup>。

烹调后猪肉产生的挥发性醛类主要是不饱和醛、短链醛、烯醛(如(*E*)-2-壬烯醛和(*E,E*)-2,4-癸二烯醛)、己醛、庚醛、辛醛、壬醛、十一烯醛和(*E*)-2-癸烯醛<sup>[23]</sup>。而猪油中的醛类为戊醛、己醛、庚醛、(*E*)-2-庚烯醛、辛醛、(*E*)-辛烯醛、壬醛、癸醛、(*Z*)-2-癸醛、十一醛和(*E,E*)-2,4-癸二烯醛<sup>[13]</sup>。猪肉香气的特有成分为(*E,E*)-2,4-癸二烯醛,它是亚油酸氧化的主要产物之一<sup>[4]</sup>,具有油炸食品的脂香,对猪肉风味贡献较大<sup>[22]</sup>。猪肉中其他醛类物质的香味也不尽相同,苯甲醛具有杏仁香、坚果香和水果香<sup>[24]</sup>,(*Z*)-2-庚烯醛具有油脂香<sup>[22]</sup>,壬醛有清香,庚醛有油脂香和果香<sup>[25]</sup>。

一般认为土猪肉风味比商品猪肉好,不同品种猪肉中所含的醛类化合物种类不一致。杜洛克猪肉中的醛类化合物主要为己醛、庚醛、辛醛、2-辛烯醛、癸醛、(*E*)-2-癸烯醛、(*E,E*)-2,4-癸二烯醛和十四醛<sup>[12]</sup>;藏麻猪肉中的醛类主要为己醛、(*E,E*)-2,4-癸二烯醛和苯甲醛<sup>[24]</sup>;半野血藏猪肉中的醛类物质与藏麻猪相似,其中己醛、辛醛、庚醛、壬醛和(*Z*)-2-庚烯醛的含量高于普通猪肉,而含量较高的2-甲基-2-戊烯醛和(*E*)-2-己烯醛等均未在普通猪肉中检出<sup>[22]</sup>。杨俊杰<sup>[7]</sup>认为,造成瘦肉型猪肉与地方猪肉挥发性风味成分差异的醛类物质有月桂酸、己醛、庚醛、辛醛、(*E*)-2-辛烯醛、14-十八碳烯醛,其中后三者对风味差异的影响最大。从上述研究可知,地方猪肉和瘦肉型猪肉中主要的醛类化合物种类是一致的,但是含量有所差异,地方猪肉中醛类化合物的种类和含量比较丰富,瘦肉型猪肉中缺少与地方猪肉风味密切相关的醛类化合物。

### 2.2 醇类化合物

醇类化合物对肉香气的影响不如醛类明显,但在肉

类整体风味的形成中也发挥着关键作用<sup>[22]</sup>。猪肉中的醇类多为不饱和醇,如1-辛烯-3-醇和1-戊烯-3-醇,而饱和醇中的戊醇、己醇和庚醇等含量较高<sup>[23]</sup>。猪肉中含量较高的1-辛烯-3-醇具有熟蘑菇的味道,其由花生四烯酸热降解产生,对猪肉风味有重要贡献<sup>[16]</sup>,而1-戊烯-3-醇具有熟肉香<sup>[22]</sup>,戊醇、己醇和庚醇等具有果香<sup>[23]</sup>。

杜洛克猪肉中的醇类化合物主要为1-戊醇、2-呋喃甲醇、1-己醇、1-辛烯-3-醇和1-辛醇<sup>[21]</sup>。定远黑猪肉的1-辛烯-3-醇、1-辛醇和2-十四碳烯-1-醇含量高于瘦肉型猪肉<sup>[25]</sup>。2-癸烯-1-醇、1-辛烯-3-醇、1-辛醇对瘦肉型猪肉和地方猪肉的挥发性风味有较大影响,而(*E*)-2-十一碳烯-1-醇、(*E*)-2-十四碳烯-1-醇和13-十七碳烯-1-醇对地方猪肉挥发性风味成分有较大影响<sup>[7]</sup>。半野血藏猪肉中醇类化合物种类多但相对含量较低,主要有1-戊烯-3-醇、1-辛烯-3-醇和棕榈醇等<sup>[22]</sup>。可见,猪肉中主要的醇类化合物是1-辛烯-3-醇、1-辛醇、戊醇和己醇。其他醇类在不同种类猪肉中的含量和种类均存在一定差异,这可能是影响猪肉风味的重要因素。

### 2.3 酮类化合物

猪肉中的酮类化合物也是由不饱和脂肪酸热氧化或降解以及氨基酸降解而产生的<sup>[22]</sup>。一部分酮类化合物有甜的花香和果香,而二酮一般有肉香和奶油香<sup>[24]</sup>,随着碳链的增长,酮类会呈现出更强的花香特征<sup>[25]</sup>。猪肉香气的特有成分为2,3-辛二酮<sup>[6]</sup>,它是亚油酸经脂加氧酶氧化的产物<sup>[19]</sup>。甲基酮主要为脂肪氧化产物,而羟基酮、呋喃酮和二酮大部分由美拉德反应产生<sup>[16]</sup>。2-丁酮有醚香、果香和清香,2-庚酮具有水果香<sup>[23]</sup>。猪肉中酮类化合物比醛类少,含量较低,对猪肉风味起增强作用<sup>[24]</sup>。

猪肉中主要的风味酮类化合物为2,3-辛二酮、2-丁酮和2-庚酮,猪油中则为2-十三烷酮<sup>[13]</sup>。杜洛克猪肉中2-丙酮、2-丁酮和2-庚酮为主要的酮类<sup>[12]</sup>;定远黑猪肉中2-庚酮、*Z*-四氢-6-(2-戊烯基)-2*H*-吡喃-2-酮、6,10-二甲基-5,9-十一双烯-2-酮、2,4-二硝基苯胂-2-十九烷酮的含量高于瘦肉型猪肉<sup>[25]</sup>。2-丁酮对瘦肉型猪肉与地方猪肉的挥发性风味成分的差异有较大作用,而1-羟基-2-丙酮和2-庚酮对地方猪肉中挥发性风味成分的影响较大<sup>[7]</sup>。半野血藏猪肉的2-丁酮-2-庚酮、2,3-辛二酮含量较高,但酮类化合物总量低于普通猪肉<sup>[22]</sup>。

### 2.4 酯类化合物

猪肉中的酯类化合物是由肌肉组织中脂质氧化所产生的醇和游离脂肪酸相互作用所产生的,其中乙酸酯类、C4~C10脂肪酸酯、 $\gamma$ -内酯和 $\delta$ -内酯等有奶油、脂肪气味<sup>[24]</sup>,正己酸乙酯、甲酸庚基酯具有果香、甜味<sup>[25]</sup>。

热处理使得酯类的产生主要集中在烤猪肉表面,主要是乙酸丁酯<sup>[19]</sup>。猪油中的酯类为棕榈油酸甲酯和邻

苯二甲酸二乙酯<sup>[13]</sup>。瘦肉型猪肉中甲酸庚基酯、邻苯二甲酸乙基己基酯和苯二甲酸癸基异丁基酯等的含量高于定远黑猪肉，而正己酸乙酯在定远黑猪肉中的含量要高于瘦肉型猪肉<sup>[25]</sup>。半野血藏猪肉中棕榈酸乙酯和亚油酸甲酯的相对含量较高<sup>[22]</sup>。猪肉中检测出的酯类碳链较长、阈值较高，对猪肉风味的影响不是很大。各种猪肉的酯类物质种类不一，没有普遍存在的、能体现猪肉特征风味的酯类化合物。

### 2.5 其他化合物

瘦肉型猪肉中碳氢化合物<sup>[23]</sup>和酸类<sup>[25]</sup>的含量较地方猪肉高。碳氢化合物主要来自脂肪酸烷氧自由基的均裂，而酸类主要来自脂肪的水解和脂肪氧化过程产生的小分子脂肪酸<sup>[22]</sup>，二者的香气阈值一般较高，对肉类风味的直接贡献不大，但碳氢化合物可以形成杂环化合物的重要中间体<sup>[24]</sup>，对提高猪肉整体风味有重要作用。2-戊基呋喃具有豆香和蔬菜芳香，可能对猪肉整体风味有重要作用<sup>[21,26]</sup>。

含硫化合物和含氮杂环类化合物在肉类中的含量较低，具有硫磺味和洋葱香气，有时具有肉香<sup>[24]</sup>，阈值很低，是影响肉类风味的重要物质<sup>[16]</sup>。熟猪肉中含氮挥发性化合物主要有吡咯类和吡嗪类化合物，其风味阈值较低，有坚果味和烘烤香味<sup>[21]</sup>。

## 3 猪肉风味形成途径

加热处理时，猪肉发生的初级反应包括脂质热降解、糖和氨基酸（或肽）之间的相互作用、硫胺素降解、核糖核苷酸的降解、氨基酸和肽的热降解以及碳水化合物的焦糖化等<sup>[8]</sup>。以下简要介绍形成肉香味的3种途径：脂质降解、美拉德反应和硫胺素降解。

### 3.1 脂质降解

大部分熟肉的挥发性芳香化合物是通过脂质降解产生的。猪肉中的碳氢化合物、醛、酮、酯和杂环化合物是通过脂质降解、氧化作用或进一步反应产生的<sup>[4]</sup>。脂肪酸的热降解和氧化是肉烹调过程中形成挥发性香味化合物的主要反应之一，同时不饱和脂肪酸的自氧化作用会产生与酸败相关的味道<sup>[8]</sup>。

脂质降解受烹饪温度和烹饪时间的影响，猪肉在80℃煮制5h可产生最多的挥发性化合物，而煮制12h产生的挥发性化合物最少<sup>[27]</sup>。在烹饪条件下，猪肉肌内或肌间脂肪中的甘油三酯和磷脂可发生热降解和氧化降解，形成各种醛类芳香物质<sup>[28]</sup>。辛醛、壬醛和2-十一烷醛是油酸氧化的产物，己醛<sup>[4,12]</sup>、2-壬烯醛和2,4-癸二烯醛是亚油酸的主要氧化产物<sup>[4]</sup>。亦有研究表明，庚醛、辛醛、(E)-2-辛烯醛、(E)-2-癸烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛和十四烷醛更可能来自于多不饱和亚油酸，其中

十四烷醛含量与油酸呈负相关，与棕榈油酸呈正相关，而癸醛含量与亚麻酸呈正相关<sup>[12]</sup>。而2-戊基呋喃是亚油酸自氧化所生成的产物<sup>[28]</sup>。

### 3.2 美拉德反应

美拉德反应是熟肉制品生成大量挥发性香气化合物的主要途径，反应的初始步骤可产生呋喃、二羰基和羧基酮，这些化合物对肉香味有直接贡献<sup>[8]</sup>，它们也可与脂类降解产物、含硫氨基酸降解产物反应<sup>[28]</sup>，生成许多重要的挥发性香味化合物，如噻吩、噻唑、吡嗪和其他杂环化合物<sup>[8]</sup>。

猪肉的挥发性物质中许多杂环、芳香化合物和一些醛、酮类物质一般都是由还原糖和氨基酸之间的美拉德反应生成的<sup>[4]</sup>。半胱氨酸和糖反应会产生猪肉特征风味<sup>[29]</sup>，半胱氨酸和葡萄糖反应主要产生含硫化合物，而半胱氨酸和葡萄糖在氧化条件下产生更多的吡嗪和呋喃<sup>[22]</sup>。

### 3.3 硫胺素降解

硫胺素降解产生一系列的含硫肉香味化合物。硫化氢是一种重要的风味化合物，能与呋喃酮反应产生强烈的肉香风味<sup>[4]</sup>。猪肉中硫胺素含量丰富，其产生的呋喃酮、呋喃硫醇和二甲基二硫等物质是烤猪肉的典型香味物质，硫胺素也能水解形成具有熟猪肉香味的噻唑<sup>[28]</sup>。

## 4 猪肉风味的影响因素

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相互作用形成的，因此能影响生肉的组成、从而影响风味前体数量的因素（动物品种、饲料、饲养条件等）或者影响风味形成反应过程的各种因素（屠宰方式、温度、pH值、成熟方式、烹调方法等）都对猪肉风味有不同程度的影响。

### 4.1 猪的品种

肌肉的风味化合物与猪的品种密切相关。不同品种的猪遗传因素不同，机体成分组成有所差异，从而使得猪肉风味不一。Lu Ping等<sup>[30]</sup>认为猪肉中有23种挥发性化合物受品种的显著影响，与我国品种相比，杜长大猪的背最长肌具有最低的猪肉风味强度和风味喜好，莱芜猪和大花白猪则有最高的猪肉风味强度和风味喜好。Chen等<sup>[31]</sup>比较了4种杂交猪猪肉的风味物质，发现野猪-八眉猪杂交猪的猪肉中风味物质种类最多，而野猪-野猪、八眉猪-大白猪杂交猪的猪肉中风味物质最少，只有64种风味物质以不同的相对含量存在于4种猪肉中。地方猪肉与瘦肉型猪肉间的游离氨基酸和肌苷酸含量有明显差异<sup>[7]</sup>。姜曲海猪肉与杜长大杂种猪肉相比，肌内脂肪、亚麻酸、肌苷酸、谷氨酸、脯氨酸以及部分风味物质的含量较为丰富<sup>[32]</sup>。莱芜猪猪肉的肌内脂肪、饱和脂肪酸、

棕榈油酸及油酸含量显著高于大约克夏猪肉，总多不饱和脂肪酸含量则显著低于大约克夏猪肉<sup>[33]</sup>。Zhao Jian等<sup>[34]</sup>发现炖黑猪肉中的主要挥发物是脂肪醛、脂肪酸、醇、酯，而有效芳香化合物是2-甲基-3-呋喃硫醇、3-(甲硫基)丙醛、 $\gamma$ -癸内酯和2-糠基硫醇等。野猪肉和商品猪肉的味道取决于不同的烈性芳香挥发物质的含量，其中苯乙醛和甲硫基丙醛可能起到至关重要的作用<sup>[35]</sup>。

#### 4.2 动物年龄

肌肉组织随着动物年龄增长的重要变化是肌肉组织的肌内脂肪含量增加。通常，肉香味与动物年龄差异的关系可以归因于肉香味前体含量随年龄的变化而增加，已有研究表明，牛肉香味随着动物年龄的不同而有所差异<sup>[8]</sup>，但对猪肉并未有研究。

#### 4.3 动物性别

雌性动物的肉中通常含有更多的肌内脂肪<sup>[6]</sup>，雄性动物肉中通常有含量较高的多不饱和脂肪酸<sup>[9]</sup>。如前所述，猪肉脂肪酸组成可影响挥发性香味化合物的形成，因此由性别导致的脂质差异可以影响不同性别动物肉的风味。阉猪肉和母猪肉的风味类似，公猪体内高水平的雄烯酮、粪臭素能够引起异味，进而引起不良的猪肉风味<sup>[9]</sup>。但也有研究认为猪的性别对猪肉半膜肌风味无明显影响<sup>[36]</sup>，这可能由肌肉解剖位置的不同所引起，肌肉的解剖位置也将影响猪肉的化学成分、感官品质和挥发性芳香化合物<sup>[9]</sup>。

#### 4.4 饲料

饲料对猪肉风味具有重要影响，它可以影响猪肉的化学成分，而这些物质与猪肉风味具有一定关系。饲喂乳酸菌液能够明显提高猪肉中总氨基酸、鲜味氨基酸、总单不饱和脂肪酸、总多不饱和脂肪酸的含量<sup>[37]</sup>；而饲喂枯草芽孢杆菌纳豆可显著降低脂肪中粪臭素的含量<sup>[38]</sup>；饲喂亚麻油和豆油能够显著提高背最长肌和肱二头肌中亚麻酸和亚油酸的含量，饲喂3%亚麻油不会对背最长肌的风味产生有害影响，但会显著降低肱二头肌的肉风味、产生较大异味<sup>[39]</sup>。

#### 4.5 成熟方式

成熟通常作为改善肉类嫩度的一种方法，可分为干法成熟和湿法成熟<sup>[9]</sup>。成熟过程中的主要变化是细胞死亡和内源性蛋白酶对结构蛋白的降解<sup>[4]</sup>，肌原纤维蛋白结构被破坏而产生氨基酸和多肽<sup>[3]</sup>。这些变化涉及肉类风味前体，因此成熟方式除了能改善嫩度外，还影响着肉香味的产生及肉类风味前体的含量。干法成熟的猪背最长肌中总游离氨基酸、嘌呤和肌苷含量均高于对照组，但肌苷酸和鸟苷酸含量低于对照组<sup>[3]</sup>。

#### 4.6 烹饪方式

烹饪过程中，生肉风味前体的数量和比例将决定风味形成的反应。此外，盐、糖、酸和其他可溶性物质能

改善熟猪肉的滋味。烹调能够促进猪肉的脂质氧化，烤制猪肉的脂质氧化程度最高，其次为微波、水煮猪肉，炸制猪肉的氧化程度最低，煮制猪肉总挥发性风味成分的含量最高，而炸制猪肉的含量最低<sup>[40]</sup>。向小乐等<sup>[41]</sup>研究了微波加热、高温烘烤、常压水煮和高压蒸煮4种熟化工艺，在4种工艺处理过的湘味乳猪肉中分别检出风味组分36、37、58、51种，烘烤所产生的醛类物质种类多、含量高，猪肉风味佳。猪肉的烹饪前处理不同，风味也有所差异。加入葡萄糖比不添加葡萄糖、用食用醋酸腌制的烤猪颈肉产生更多的挥发性醛、羧酸、酯、呋喃、吡喃、吡嗪、吡咯并吡啶衍生物<sup>[19]</sup>。生猪里脊肉中检出33种挥发性物质，橄榄油、葵花油、黄油、猪油炸猪里脊肉中分别检测出32、41、35、41种挥发性物质<sup>[18]</sup>。不同的烹饪过程有着不同的温度、水分，使得形成挥发性化合物的反应条件不同，从而改变挥发性化合物的组成和含量。

#### 4.7 其他因素

在一定范围内，随肉类pH值的下降，总挥发性物质含量增加，特别是呋喃醇及其氧化产物在低pH值下大量生成，杂环化合物在较高pH值下产生较多<sup>[2]</sup>。van Ba等<sup>[11]</sup>认为肉类形成理想挥发性香气化合物的pH值为5.5，但亦有研究认为猪肉风味不受pH值的影响<sup>[5]</sup>，这可能是由于烹饪方式、温度不同，导致结果有所不同。

温度也是影响猪肉风味的重要因素，温度的升高有利于美拉德反应和脂类氧化的发生。较高的温度不仅能够加快化学反应速率，而且能够提高肉中风味前体的释放速度<sup>[22]</sup>。猪肉汤在96℃的空气中加热有更强烈的肉香味<sup>[21]</sup>。

## 5 结语

综上所述，在猪的生长、屠宰及猪肉加工过程中，影响猪肉风味的物质和前体很多，造成了猪肉滋味和香味的多样性。目前猪肉风味方面的研究较少，应作进一步深入研究，例如影响猪肉风味的关键物质有哪些？这些风味物质的含量之间是否具有相关性？哪些风味是猪肉所独有的？前体是什么？前体如何转换？生猪肉与熟猪肉之间的风味物质存在哪些差异？滋味物质如何影响香味？地方猪肉特色风味有哪些？随着研究的深入，分离鉴定出的猪肉风味化合物会越来越多，对猪肉风味的认识也将更加清晰。今后应该进一步研究调控、沉积风味物质的代谢通路，通过营养手段来靶向调控、改善商品猪肉风味，生产风味浓郁的猪肉，满足人们对高品质猪肉的消费需求。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 国家数据[EB/OL]. (2016-12-13) [2017-01-13]. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>.
- [2] 顾媛. 荣昌猪肉品质理化特性及膻味物质研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010: 6-10.
- [3] LEE C W, LEE J R, KIM M K, et al. Quality improvement of pork loin by dry aging[J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2016, 36(3): 369-376. DOI:10.5851/kosfa.2016.36.3.369.
- [4] SHAHIDI F. 肉制品与水产品的风味[M]. 2版. 北京: 中国轻工业出版社, 2001: 1-10; 54-69.
- [5] TIKK M, TIKK K, TORNGREN 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. DOI:10.1021/jf060145a.
- [6] KHAN M I, JO C, TARIQ M R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors: a systematic review[J]. *Meat Science*, 2015, 110: 278-284. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.08.002.
- [7] 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, 2014: 42-62.
- [8] 张福娟. 甘南藏麻猪肉用品质特性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2007: 2-10.
- [9] NEETHLING J, HOFFMAN L C, MULLER M. Factors influencing the flavour of game meat: a review[J]. *Meat Science*, 2016, 113: 139-153. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.11.022.
- [10] LAURIDSEN L, MIKLOS R, SCHÄFER A, et al. Influence of added carbohydrates on the aroma profile of cooked pork[J]. *Weurman Flavour Research Symposium*, 2006, 43: 355-358. DOI:10.1016/S0167-4501(06)80084-1.
- [11] van BA H, AMNA T, HWANG I. Significant influence of particular unsaturated fatty acids and pH on the volatile compounds in meat-like modelsystems[J]. *Meat Science*, 2013, 94(4): 480-488. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.04.029.
- [12] DASHMAA D, CHO B W, ODKHUU G, et al. Meat quality and volatile flavor traits of Duroc, Berkshire And Yorksire breeds[J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2011, 31(6): 807-816. DOI:10.5851/kosfa.2011.31.6.807.
- [13] SONG S, TANG Q, FAN L, et al. Identification of pork flavour precursors from enzyme-treated lard using Maillard model system assessed by GC-MS and partial least squares regression[J]. *Meat Science*, 2017, 124: 15-24. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.10.009.
- [14] CAMERON N D, ENSER M, NUTE G R, et al. Genotype with nutrition interaction on fatty acid composition of intramuscular fat and the relationship with flavour of pig meat[J]. *Meat Science*, 2000, 55(2): 187-195. DOI:10.1016/S0309-1740(99)00142-4.
- [15] HUANG Y C, LI H J, HE Z F, et al. Study on the flavor contribution of phospholipids and triglycerides to pork[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2010, 19(5): 1267-1276. DOI:10.1007/s10068-010-0181-0.
- [16] 黄业传, 贺稚非, 李洪军, 等. 皮下脂肪和肌内脂肪对猪肉风味的作用[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(10): 2118-2130. DOI:10.3846/j.issn.0578-175.2011.10.017.
- [17] MYERS A J, SCRAMLIN S M, DILGER A C, et al. Contribution of lean, fat, muscle color and degree of doneness to pork and beef species flavor[J]. *Meat Science*, 2009, 82(1): 59-63. DOI:10.1016/j.meatsci.2008.12.004.
- [18] RAMIREZ M R, ESTEVEZ M, MORCUENDE D, et al. Effect of the type of frying culinary fat on volatile compounds isolated in fried pork loin chops by using SPME-GC-MS[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52(25): 7637-7643. DOI:10.1021/jf049207s.
- [19] BILLER E, BOSELLI E, OBIEDZINSKI M, et al. The profile of volatile compounds in the outer and inner parts of broiled pork neck is strongly influenced by the acetic-acid marination conditions[J]. *Meat Science*, 2016, 121: 292-301. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.06.029.
- [20] TAKAKURA Y, OSANAI H, MASUZAWA T, et al. Characterization of the key aroma compounds in pork soup stock by using an aroma extract dilution analysis[J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2014, 78(1): 124-129. DOI:10.1080/09168451.2014.877184.
- [21] WANG Y, SONG H L, ZHANG Y, et al. Determination of aroma compounds in pork broth produced by different processing methods[J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2016, 31(4): 319-328. DOI:10.1002/ffj.3320.
- [22] 李铁志, 王明, 雷激. 阿坝州半野血藏猪肉挥发性风味物质的研究[J]. *食品科技*, 2015, 40(10): 124-130. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2015.10.026.
- [23] 邹英子. 传统良种猪肉与瘦肉型猪肉挥发性风味成分的差异分析[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012: 17-27.
- [24] 王玉涛, 王世锋, 刘孟洲, 等. 应用HS-SPME和GC-MS技术检测舍饲合作猪肌肉中的风味物质[J]. *核农学报*, 2008, 22(5): 654-660.
- [25] 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.
- [26] CALIINS C R, HODGEN J M. A fresh look at meat flavor[J]. *Meat Science*, 2007, 77(1): 63-80. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.04.016.
- [27] del PULGAR J S, ROLDAN M, RUIZ-CARRASCAL J, et al. Volatile compounds profile of sous-vide cooked pork cheeks as affected by cooking conditions (vacuum packaging, temperature and time)[J]. *Molecules*, 2013, 18(10): 12538-12547. DOI:10.3390/molecules181012538.
- [28] 贾晓旭. 猪肉的风味及影响因素[J]. *猪业科学*, 2007, 24(8): 78-80. DOI:10.3969/j.issn.1673-5358.2007.08.023.
- [29] JAYASENA D D, AHN D U, NAM K C, et al. Flavour chemistry of chicken meat: a review[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2013, 26(5): 732-742. DOI:10.5713/ajas.2012.12619.
- [30] LU Ping, LI Defa, YIN Jingdong, 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. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.10.010.
- [31] CHEN G, SUI Y, CHEN S. Detection of flavor compounds in longissimus muscle from four hybrid pig breeds of *Sus scrofa*, Bamei pig, and Large White[J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2014, 78(11): 1910-1916. DOI:10.1080/09168451.2014.936348.
- [32] 朱淑斌, 赵旭庭, 周春宝, 等. 姜曲海猪肉营养成分组成及风味物质的研究[J]. *中国畜牧杂志*, 2013, 49(15): 16-19. DOI: 10.3969/j.issn.0258-7033.2013.15.004.
- [33] 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.
- [34] ZHAO Jian, WANG Meng, XIE Jianchun, et al. Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig[J]. *Food Chemistry*, 2017, 226: 51-60. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.01.011.
- [35] LAMMERS M, DIETZE K, TERNES W, et al. A comparison of the volatile profiles of frying European and Australian wide boar meat with industrial genotype pork by dynamic headspace-GC/MS analysis[J]. *Journal of Muscle Foods*, 2009, 20(3): 255-274. DOI:10.1111/j.1745-4573.2009.00146.x.
- [36] LENE M, KAJA T, MEELIS T, et al. Flavour formation in pork semimembranosus: combination of pan-temperature and raw meat quality[J]. *Meat Science*, 2008, 80(2): 249-258. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.11.029.
- [37] 相伟, 张天阳, 曾勇庆, 等. 乳酸菌对育肥猪肌肉风味前体物质及营养特性的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2014, 50(17): 72-76. DOI:10.3969/j.issn.0258-7033.2014.17.017.
- [38] SHENG Q K, ZHOU K F, HU H M, et al. Effect of *Bacillus subtilis* natto on meat quality and skatole content in TOPIGS pigs[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2016, 29(5): 716-721. DOI:10.5713/ajas.15.0478.
- [39] LU P, ZHANG L Y, YIN J D, et al. Effects of soybean oil and linseed oil on fatty acid compositions of muscle lipids and cooked pork flavour[J]. *Meat Science*, 2008, 80(3): 910-918. DOI:10.1016/j.meatsci.2008.04.010.
- [40] 王瑞花, 姜万舟, 汪倩, 等. 烹制方法对猪肉脂质氧化和挥发性风味物质的作用研究[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(1): 175-182. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.1.028.
- [41] 向小乐, 余估, 杨万根, 等. 不同加热熟化工艺对湘味烤乳猪风味的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2015, 41(5): 128-134. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201505023.