

# 发酵肉制品中微生物的代谢作用及其对风味物质形成的影响研究进展

扈莹莹, 巴音巴特·巴依尔塔, 刘跃, 徐宝才\*

(合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽 合肥 230009)

**摘要:** 发酵肉制品是传统肉制品的代表, 因其独特的风味、质地和营养价值深受消费者喜爱。传统发酵肉制品多通过自然发酵而成, 不同发酵环境使发酵肉制品的风味不尽相同。微生物在发酵肉制品风味形成中扮演着关键角色, 尤其是乳酸菌、葡萄球菌、酵母菌和霉菌等常见微生物, 对风味形成至关重要。这些微生物可通过蛋白质水解、氨基酸和脂质代谢、脂肪酸及碳水化合物代谢等途径促进风味物质的形成。本文综述了发酵肉制品中挥发性风味物质的种类及形成机制, 重点探讨了主要微生物(乳酸菌、葡萄球菌、酵母菌和霉菌)及其代谢途径, 旨在为调控发酵肉制品的风味品质提供理论支持。

**关键词:** 发酵肉制品; 微生物; 代谢途径; 风味

Microbial Metabolism in Fermented Meat Products and Its Influence on the Formation of Flavor Compounds: An Update

HU Yingying, BAYINBATE Bayiarta, LIU Yue, XU Baocai\*

(School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** Fermented meat products are a typical representative of traditional meat products, which are highly appreciated by consumers for their unique flavor, texture, and nutritional value. Traditional fermented meat products are often produced by natural fermentation, and different fermentation environments lead to variability in the flavor of fermented meat products. Microorganisms, especially common ones such as lactic acid bacteria, staphylococci, yeasts and molds, play a crucial role in the flavor formation of fermented meat products. Microorganisms in fermented meat products can promote the formation of flavor compounds through protein hydrolysis, amino acid and lipid metabolism, fatty acid metabolism, and carbohydrate metabolism. Herein, we review the types and formation mechanism of volatile flavor compounds in fermented meat products, focusing on the metabolic pathways of the major microorganisms (lactic acid bacteria, staphylococci, yeasts and molds) affecting the flavor formation of fermented meat products. Through this review, we hope to provide a theoretical basis for regulating the flavor properties of fermented meat products.

**Keywords:** fermented meat products; microorganism; metabolic pathway; flavor

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20240409-073

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2024) 22-0322-07

引文格式:

扈莹莹, 巴音巴特·巴依尔塔, 刘跃, 等. 发酵肉制品中微生物的代谢作用及其对风味物质形成的影响研究进展[J]. 食品科学, 2024, 45(22): 322-328. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20240409-073. <http://www.spkx.net.cn>

HU Yingying, BAYINBATE Bayiarta, LIU Yue, et al. Microbial metabolism in fermented meat products and its influence on the formation of flavor compounds: an update[J]. Food Science, 2024, 45(22): 322-328. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20240409-073. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2024-04-09

基金项目: 安徽省科技重大专项 (2021d06050001); 中央高校基本科研业务费专项 (JZ2024HGQA0126)

第一作者简介: 扈莹莹 (1996—) (ORCID: 0000-0002-8754-9885), 女, 讲师, 博士, 研究方向为畜产品加工。

E-mail: huying0925@126.com

\*通信作者简介: 徐宝才 (1973—) (ORCID: 0000-0002-0706-8863), 男, 研究员, 博士, 研究方向为畜产品加工。

E-mail: baocaixu@163.com

作为传统肉制品的典型代表, 发酵肉制品因其风味独特、营养价值丰富等特点, 深受广大消费者青睐。我国发酵肉制品的种类繁多, 主要包括腊肉(湖南腊肉、四川腊肉、广式腊肉)、香肠(四川腊肠、哈尔滨风干肠)、火腿(宣威火腿、金华火腿、如皋火腿)、酸肉(贵州酸肉、湖南酸肉、云南酸肉)<sup>[1]</sup>。发酵肉制品通常是以新鲜肉类为原料, 经微生物或酶的发酵作用, 在自然或人工控制条件下制成。发酵肉制品多为自然发酵, 因此不同的发酵环境也使得发酵肉制品的风味具有较大差异。近年来, 许多学者一直在研究发酵肉制品风味形成的机制, 发现微生物在风味形成的过程中起着至关重要的作用。乳酸菌、葡萄球菌、酵母菌和霉菌是发酵肉制品中较为常见的微生物, 在发酵肉制品风味形成方面发挥着重要的作用<sup>[2]</sup>。米瑞芳等<sup>[3]</sup>研究发现, 乳杆菌和魏斯氏菌有助于促进酸肉中挥发性风味物质如醇类、酯类和酸类的生成, 从而改善其风味品质。Hinrichsen等<sup>[4]</sup>发现微球菌、乳酸杆菌、酵母菌能促进帕尔玛火腿中仲醇、乙酯和二甲基三硫化物等特征性风味物质的生成。然而, 目前对发酵肉制品中微生物与风味之间关系的了解尚有不足, 对微生物影响风味物质形成机制的研究并不深入。因此, 本文从发酵肉制品中挥发性风味物质种类及其形成途径出发, 重点阐述发酵肉制品中常见微生物及其产生挥发性风味物质的代谢途径, 旨在为提升发酵肉制品的风味品质奠定基础。

## 1 发酵肉制品风味及其形成途径

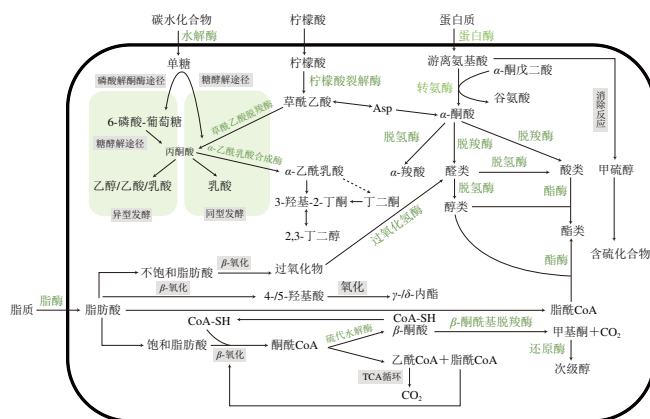
### 1.1 风味物质种类

发酵肉制品的风味物质有挥发性（香气）和非挥发性（滋味）两类，其中对整体风味有重要贡献的是挥发性风味物质，主要有醇类、醛类、酮类、酸类、酯类、烃类和酚醚类等多种物质。醇类物质源于脂肪族碳链的断裂、烯烃的氧化及微生物的代谢，常见的有1-辛烯-3-醇、异戊醇、乙醇等。醛类物质在发酵肉制品中的阈值通常较低，对整体风味贡献较大<sup>[5]</sup>。醛类物质多由脂质的氧化和分解形成，短链醛也可以由Strecker降解或微生物代谢产生，常见的有壬醛、己醛和苯甲醛等。酮类物质主要源于氨基酸的降解或不饱和脂肪酸的氧化，可以赋予发酵肉制品花香和果香味<sup>[6]</sup>。酸类物质能赋予发酵肉制品独特的酸味，也是形成酯类物质的必要前体物质，如辛酸、己酸和乙酸等。酯类物质主要源于醇类和有机酸的非酶促酯化以及微生物的酶催化，可赋予发酵肉制品芳香味及水果味，常见的有乙酸辛酯、庚酸乙酯、乳酸乙酯等。烃类物质具有较高的气味阈值，对发酵肉制品的整体风味贡献较小。酚醚类物质主要源于发酵肉制品

加工过程中添加的香辛料,其气味阈值与碳链的组成密切相关,可赋予发酵肉制品花香味、蘑菇味等<sup>[7]</sup>。

## 1.2 风味形成途径

发酵肉制品风味物质的形成途径较多,主要包括蛋白质与脂质水解、氨基酸及脂肪酸代谢以及碳水化合物代谢<sup>[8]</sup>(图1)。蛋白质可在组织蛋白酶和钙激活蛋白酶等内源性蛋白酶的作用下水解形成多肽。多肽在微生物酶(如肽酶和氨肽酶)的作用下释放短肽和游离氨基酸,这些物质是重要的滋味物质和气味前体物质,有利于发酵肉制品风味的形成<sup>[9]</sup>。氨基酸主要可通过两种代谢途径产生风味物质:第1种途径主要是通过氨基酸裂解酶催化的消除反应,利用酪氨酸、色氨酸和甲硫氨酸等的侧链释放苯酚、吲哚和甲基硫醇;第2种途径是氨基酸在微生物的转氨酶作用下生成 $\alpha$ -酮酸,再在脱羧酶、脱氢酶和裂解酶的作用下生成风味物质,如醇类、醛类和酸类物质等<sup>[10]</sup>。在酯酶和酰基转移酶的作用下,氨基酸代谢产生的醇类和酸类物质可以作为底物生成酯类物质<sup>[11]</sup>。



Asp.天冬氨酸 (aspartic acid); CoA.辅酶A (coenzyme A); TCA.三羧酸 (tricarboxylic acid)。

图1 发酵肉制品中风味物质的形成途径

**Fig. 1** Formation pathways of flavor compounds in fermented meat products

在发酵肉制品中, 脂质主要以甘油酯和磷脂的形态存在。在内源酶和脂肪酶的作用下, 甘油酯和磷脂能够发生水解反应, 生成甘油二酯、甘油单酯以及游离脂肪酸<sup>[10]</sup>。脂肪酸作为发酵肉制品中风味形成的关键前体, 对其风味的形成和积累起到了积极作用<sup>[12]</sup>。根据碳链长度的不同, 脂肪酸可以分为短链、中链和长链脂肪酸3类。其中, 短链脂肪酸( $C < 6$ )和中链脂肪酸( $C_6 \sim C_{12}$ )由于气味阈值低, 对发酵肉制品的风味贡献显著。而长链脂肪酸( $C > 12$ )虽然气味阈值较高, 但可以作为风味物质的前体, 促进风味物质的形成, 从而对发酵肉制品的整体风味产生影响<sup>[13]</sup>。脂肪酸根据其饱和程度可分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸两大类。饱和脂肪酸经过 $\beta$ -氧化过程会产生 $\beta$ -酮酸, 进一步脱羧形成甲

基酮, 再在还原酶的作用下转化为次级醇<sup>[14]</sup>。而不饱和脂肪酸可通过 $\beta$ -氧化生成过氧化物。这些过氧化物非常不稳定, 除了会生成自由基(如烷氧基和过氧基), 还可以在脂氧合酶和过氧化氢裂解酶的作用下生成醇类、酸类和酯类等风味物质。此外, 脂肪酸可直接生成4-/5-羟基酸, 再经脱水 and 环化进一步转化为 $\gamma$ -/ $\delta$ -内酯, 赋予发酵肉制品独特的肉香味; 脂肪酸还能直接生成脂酰基CoA, 进一步在酯酶的作用下生成酯类物质, 使发酵后的肉制品具有浓郁的果香<sup>[15]</sup>。

发酵肉制品中的碳水化合物经过微生物的发酵作用能够产生酸类、醛类和醇类等多种风味物质。乳酸菌主要通过糖酵解途径, 生成丙酮酸和乳酸等风味前体物质, 同时伴随乙酸和双乙酰等物质的生成, 赋予发酵肉制品独特的酸味和芳香味<sup>[16]</sup>。丙酮酸是碳水化合物分解代谢的中间产物, 也是风味前体物质。丙酮酸在乳酸脱氢酶的作用下可转化为乳酸, 而在丙酮酸脱羧酶的作用下则脱羧生成乙醇。另外, 丙酮酸在丙酮酸脱氢酶系的作用下氧化脱羧形成乙酰CoA, 随后在乙醛脱氢酶的作用下转变为乙醛, 并在醇脱氢酶的作用下最终生成乙醇。此外, 柠檬酸在柠檬酸裂解酶的作用下可转化为草酰乙酸, 随后在草酰乙酸脱羧酶的作用下生成丙酮酸, 再在 $\alpha$ -乙酰乳酸合成酶的作用下会生成 $\alpha$ -乙酰乳酸。在酸性条件下,  $\alpha$ -乙酰乳酸通过氧化脱羧形成丁二酮, 进一步转化为2,3-丁二醇和3-羟基-2-丁酮等化合物, 进而影响发酵肉制品的风味<sup>[17-18]</sup>。

## 2 发酵肉制品中微生物及其代谢产生风味物质途径

发酵肉制品具有复杂的微生物生态系统, 主要涉及细菌和真菌。其中, 细菌主要包括乳酸菌、葡萄球菌和微球菌; 真菌主要包括酵母菌和霉菌。它们通常作为发酵剂添加到肉制品中, 以提升发酵肉制品的风味<sup>[19-20]</sup>。

### 2.1 乳酸菌

乳酸菌是一类革兰氏阳性、不产芽孢的微生物。乳酸菌作为一种不可缺少的发酵菌, 被认为是一种益生菌, 这是因为它们具有抗菌活性和抗氧化活性。此外, 乳酸菌还是发酵肉制品中的一种风味菌, 这是因为它们可分解发酵肉制品中的碳水化合物, 产生有机酸, 如甲酸、乙酸及乳酸等, 赋予发酵肉制品特有的酸味。有机酸还能与醇类反应生成酯类物质, 使发酵肉制品具有浓郁的芳香气味<sup>[21-23]</sup>。乳酸菌有助于蛋白质降解, 产生肽和游离氨基酸。这些氨基酸通过脱羧、转氨等反应, 转化为醛类、醇类和酯类等化合物, 使发酵肉制品具有独特的风味<sup>[24]</sup>。乳酸菌产生的脂肪酶能促使脂肪分解产生游离脂肪酸, 而游离脂肪酸会经氧化产生风味物质, 如醇类、醛类、酸类、烷类等<sup>[24]</sup>。韦友兵等<sup>[25]</sup>

发现乳酸菌是萨拉米香肠中的优势菌株, 与风味的形成密切相关, 使发酵香肠具有微酸、醇香的风味特征。Hu Yingying等<sup>[19]</sup>分析了传统发酵香肠中的菌群结构, 发现*Lactococcus lactis*、*Lactiplantibacillus plantarum*、*Companilactobacillus alimentarius*、*Latilactobacillus sakei*和*Weissella hellenica*是发酵香肠中的优势菌种, 这些菌种与大多数酯类、醛类和酮类物质的生成有关。Zhong Aiai等<sup>[26]</sup>研究了酸肉中微生物群落与风味的相关性, 发现*Lactobacillus*和*Weissella*等乳酸菌是酸肉的优势菌属, 与大多数风味物质的形成相关。Li Chunsheng等<sup>[27]</sup>分别接种*L. plantarum* H30-2和*Pediococcus acidilactici* H30-21到发酵鱼糜中, 发现接种*L. plantarum* H30-2能够促进1-戊醇、1-辛醇和1-壬醇等风味物质的产生, *P. acidilactici* H30-211有利于醛类物质的产生。Hu Yingying等<sup>[28]</sup>对比了接种不同乳酸菌对发酵香肠风味品质的影响, 发现接种*L. sakei* HRB10和*W. hellenica* HRB6能够促进酮类、醇类和酯类等风味物质的生成。Zheng Shasha等<sup>[29]</sup>研究了接种*L. plantarum* YR07、*L. sakei* L.48、*Staphylococcus xylosus* S.14和*Mammaliicoccus sciuri* S.18对发酵香肠风味的影响, 发现接种*L. sakei* L.48能促进3-羟基-2-丁酮、己醛和1-辛烯-3-醇等特征风味质的生成。Zhang Di等<sup>[30]</sup>发现接种*L. paracasei*维持了发酵香肠中微生物多样性, 有利于醛类和酯类物质的生成。综上可知, 发酵肉制品中产风味的乳酸菌主要以*L. plantarum*、*L. sakei*、*P. acidilactici*、*Limosilactobacillus fermentum*等为主, 这些乳酸菌主要存在于发酵香肠、发酵鱼糜、发酵兔肉中, 促进酸类、醛类、醇类和酯类等物质的生成, 赋予发酵肉制品花香、果香味。

### 2.2 葡萄球菌

根据产生凝固酶的能力, 葡萄球菌分为凝固酶阳性和凝固酶阴性。凝固酶阳性葡萄球菌一般具有致病性, 可引起肺炎等疾病, 而凝固酶阴性葡萄球菌一般被认为是良性的, 可作为食品发酵剂。凝固酶阴性葡萄球菌在发酵肉制品的风味形成中扮演重要角色。尽管其代谢碳水化合物的能力有限, 但仍能将其转化为乳酸、乙酸等有机酸, 使发酵肉制品具有独特的酸味<sup>[31-32]</sup>。葡萄球菌具有较强的蛋白酶活性, 其氨基转移酶能够参与支链、芳香族和含硫氨基酸的转氨和脱羧过程, 形成多种支链醛、羧酸和醇类化合物<sup>[33-34]</sup>。另一方面, 部分葡萄球菌具有较强的脂肪酶活性, 它们能够分解脂质产生游离脂肪酸, 再进一步反应形成醛类、酮类和酯类等风味物质<sup>[35-36]</sup>。Hu Yingying等<sup>[9]</sup>发现*S. xylosus*与*P. pentosaceus*、*L. curvatus*和*L. sakei*共接种能够提高发酵香肠中2-甲基丙醛、3-羟基-2-丁酮、2,3-丁二醇和苯乙醇等风味物质的含量, 进而改善发酵香肠风味。Ravyts等<sup>[33]</sup>研究了*S. xylosus*和*S. carnosus*作为发酵剂对不同类型(南欧型和北欧型)



发酵香肠风味的影响,发现*S. xylosus* 3PA6和*S. carnosus* 833能够提升3-甲基丁醇和3-羟基-2-丁酮的水平,进而改善发酵香肠的风味品质。Stahnke等<sup>[37]</sup>研究*S. carnosus*对意大利发酵香肠风味的影响时发现,*S. carnosus* 833能够加速脂肪酸 $\beta$ -氧化,促进2-戊酮、2-己酮和2-辛酮等风味物质的形成,改善了发酵香肠的风味品质。Yang Li等<sup>[38]</sup>发现*S. cohnii* WX-M8和*S. saprophyticus* MY-A10的混合发酵可改善腊肉的风味品质。综上可知,发酵肉制品中常见的产风味葡萄球菌主要以*S. xylosus*、*S. carnosus*、*S. cohnii*为主,能够促进产品中酯类、酮类、醇类等物质的生成。

### 2.3 酵母菌

酵母菌利用糖酵解途径分解碳水化合物,生成醇类和二氧化碳。醇类进一步与酸类发生酯化反应,形成酯类物质,使发酵肉制品具有酯香味<sup>[39]</sup>。此外,酵母菌通过氨基酸代谢途径影响发酵肉制品的风味品质。一方面,酵母菌能将氨基酸转化为 $\alpha$ -酮酸,随后降解生成醛类、醇类和羧酸类等风味物质<sup>[40]</sup>;另一方面,酵母菌利用氨基酸裂解酶断开氨基酸的侧链,进而反应生成酚、吡啶和甲硫醇等风味物质<sup>[41]</sup>。酵母菌还能够分解发酵肉制品中乳酸菌代谢产生的乳酸,提高某些游离氨基酸的脱氨酶或脱酰胺酶活性,降低发酵肉制品浓烈的酸味<sup>[42]</sup>。目前,*Debaryomyces*、*Candida*和*Pichia*等通常作为发酵剂用来提升发酵肉制品的风味品质<sup>[43]</sup>。Corral等<sup>[44]</sup>将*D. hansenii*接种到发酵香肠中,发现接种酵母可抑制香肠的脂质氧化,进而减少香肠的哈败味,同时赋予香肠水果香气。Flores等<sup>[45]</sup>通过研究*D. hansenii*对发酵香肠成熟过程中挥发性风味物质的影响,发现*D. hansenii*能促进乙酯类风味物质的生成,对特征风味的形成具有积极作用。Ramos-Moreno等<sup>[46]</sup>通过研究*D. hansenii*对伊比利干腌猪背脊品质特性的影响,发现*D. hansenii*能促进酯类和醇类物质的形成。Gong Xiaohui等<sup>[47]</sup>研究了*D. hansenii*作为发酵剂对干腌五花肉的营养和感官品质的影响,发现接种酵母发酵剂能促进干腌五花肉中己醛、己酸、(Z)-2-庚醛和(E)-2-辛烯醛等风味物质的形成。Cano-García等<sup>[48]</sup>将两株*D. hansenii*接种到发酵香肠中,发现酵母菌抑制了脂质氧化,降低了脂质氧化衍生醛的含量,同时促进了甲基支链乙酯类物质的生成,显著提升了发酵香肠的风味品质。

### 2.4 霉菌

霉菌作为一种好氧型真菌,能在发酵肉制品表面形成一层“保护膜”,有效防止外来微生物的污染,减少水分流失,防止脂肪氧化,并保持产品色泽稳定<sup>[2]</sup>。它不仅能抑制杂菌的生长,降低脂肪和蛋白质的氧化程度,还能在长时间的发酵过程中将蛋白质和脂肪分解为游离氨基酸和脂肪酸,进而转化为小分子的醇类、酮类、醛类等物质,从而改善发酵肉制品的风味品质<sup>[49]</sup>。Comi等<sup>[50]</sup>研究了干腌火腿成熟过程中霉菌的演

替规律,结果发现青霉菌和曲霉菌是干腌火腿的优势菌株,它们能抑制有害微生物的生长,并改善干腌火腿的风味品质。Li Zimu等<sup>[51]</sup>研究了不同品质等级干腌火腿中微生物群落与风味品质的相关性,发现青霉菌和曲霉菌是干腌火腿中的优势菌属,它们能通过脂肪 $\beta$ -氧化和Strecker降解促进挥发性风味物质的形成。Perrone等<sup>[52]</sup>发现*P. salamii*能够定植在萨拉米香肠中,可改善其风味且认为该菌种可用作发酵肉制品的真菌发酵剂。Bruna等<sup>[53]</sup>发现接种*Penicillium camemberti*能促进蛋白质和脂质水解,还能促进氨基酸代谢产生支链醛和相应的醇类、酸类和酯类,使发酵香肠具有“成熟的风味”。刘功明等<sup>[54]</sup>将*P. nalgiovense*接种到鸡肉中,发现鸡肉经*P. nalgiovense*发酵后,产生具有特征风味的醛类、醇类及酯类物质,明显改善了发酵鸡肉的风味品质。程燕<sup>[55]</sup>将*P. chrysogenum*作为发酵剂加入香肠中,发现*P. chrysogenum*在四川香肠发酵过程中能降低香肠水分含量,改善香肠的色泽、质构及滋味。Yu Jing等<sup>[56]</sup>研究了霉菌发酵对干鲢鱼风味品质的影响,结果发现经霉菌发酵会产生更多类型和更高含量的风味物质。霉菌发酵主要能促进3-甲基-1-丁醇、2,5-二甲基吡啶和 $\alpha$ -蒎烯等风味物质的生成,赋予产品特殊的麦芽、坚果和烘焙香气。Benito等<sup>[57]</sup>从干腌火腿的*P. chrysogenum* Pg222分离出具有较强活性的蛋白酶,发现该蛋白酶可用于提升干腌肉制品的风味品质。Garcia等<sup>[58]</sup>研究了*Penicillium*-3和*Penicillium*-6对发酵香肠感官特性的影响,结果表明接种*Penicillium*-3和*Penicillium*-6具有较好的感官特性,这两株菌可作为潜在发酵剂用于提升发酵肉制品的感官品质。表1总结了发酵肉制品中的优势菌株及主要风味物质。

表1 发酵肉制品中的优势菌株及主要风味物质  
Table 1 Dominant strains and major flavor compounds in fermented meat products

微生物类别	菌株	风味物质	发酵肉制品类别	参考文献
乳酸菌	<i>L. fermentum</i> PCC	乙酸己酯、2-苯乙基乙酸酯和乙酸等	发酵猪肉水解物	[59]
	<i>L. paracasei</i>	己醛、壬醛、苯甲醛、苯乙醛、乙醇、乙酸乙酯和正己酸乙酯等	发酵兔肉	[60]
	<i>L. plantarum</i> C7	$\beta$ -桉叶油醇、橙花叔醇、己酸乙酯和香茅醛等	发酵肉饭	[61]
	<i>L. plantarum</i> SJ-4	壬醛和3-羟基-2-丁酮等	里脊火腿	[62]
	<i>L. plantarum</i> H30-2	1-戊醇、1-辛醇、1-壬醇、1-辛烯-3-醇、己醛、壬醛、庚醛、辛醛和戊醛等	发酵鱼糜	[27]
	<i>P. acidilactici</i> H30-21	1-辛烯-3-醇和癸酸等	发酵鱼糜	[27]
	<i>L. plantarum</i> MS22	1-辛烯-3-醇、辛醛、(E)-2-辛烯醛、1-壬醛和(Z)-庚-2-烯等	发酵香肠	[63]
	<i>L. sakei</i> 205	正戊醇、正己醇、1-庚醇、1-辛烯-3-醇、己醛和己酸等	干腌发酵香肠	[64]
	<i>L. sakei</i> HRB10	苯甲醛、苯乙醛、乙酸、丁酸、酸甲酯、乙酸乙酯、3-苯基丙酸乙酯、戊酸乙酯和乳酸乙酯等	发酵香肠	[28]
	<i>L. curvatus</i> SYS29	苯甲醛、苯乙醛、乙酸、丁酸、酸甲酯、3-苯基丙酸乙酯、庚酸乙酯、壬酸乙酯和乳酸乙酯等	发酵香肠	[28]
霉菌	<i>L. plantarum</i> YR07	3-羟基-2-丁酮、己醛和1-辛烯-3-醇等	发酵香肠	[29]
	<i>L. paracasei</i>	苯乙醛、正辛醛、2-甲基丁酸乙酯、3-甲基丁酸乙酯、丁酸乙酯和己酸乙酯等	发酵香肠	[30]

续表1

微生物类别	菌株	风味物质	发酵肉制品类别	参考文献
葡萄球菌	<i>S. xylosus</i> 135	乙酸乙酯、苯乙醇、癸醛、1-辛烯-3-醇、己酸、亚油酸乙酯等	发酵草鱼	[65]
	<i>S. xylosus</i> 和 <i>S. carnosus</i>	3-甲基丁醛、3-甲基丁酸、2-甲基丁酸乙酯和己酸乙酯等	腊肉	[66]
	<i>S. warneri</i> S6	异戊酸、3-甲基戊酸、柠檬醛、2,2-二甲基-3,4-辛二烯醛、桉叶油醇和1-辛醇等	发酵肉饭	[61]
	<i>S. cohnii</i> WX-M8	油酸、(E,E)-2,4-癸二烯醛、(Z)-13-十八烯醛、十六烷酸乙酯和己酸乙酯等	腊肉	[38]
	<i>S. epidermidis</i> N30	己酸乙酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯、壬醛和1-辛烯-3-醇等	酸肉	[67]
	<i>S. carnosus</i>	己酸乙酯、丁酸甲酯、乙酸乙酯和丁酸乙酯等	发酵香肠	[68]
	<i>S. carnosus</i> 833	2-戊酮、2-己酮、2-庚酮和2-辛酮等	发酵香肠	[37]
	<i>S. xylosus</i> A2	2-甲基丙醛、2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、3-羟基-2-丁酮、3-苯基丙醇、乙酸、乙酯和苯甲酸乙酯等	发酵香肠	[9]
	<i>S. xylosus</i> YCC3	反式-2-己烯醛、庚醛、(E)-2-辛烯醛、1-壬醛和(Z)-2-庚烯醛等	发酵香肠	[63]
	<i>S. saprophyticus</i>	丙醇、2,3-丁二醇、3-羟基-2-丁酮、2-丁酮、乙酸乙酯和异丁酸乙酯等	发酵香肠	[69]
酵母菌	<i>S. xylosus</i> 3PA6和 <i>S. carnosus</i> 833	3-甲基-1-丁醛和3-羟基-2-丁酮等	发酵香肠	[33]
	<i>Yarrowia lipolytica</i> C11	丁酸乙酯、庚酸乙酯、辛酸乙酯、己酸丁酯、辛酸丙酯、癸酸乙酯、庚醛和1-辛烯-3-醇等	酸肉	[67]
	<i>Pichia kluyveri</i>	乙酸乙酯、乙酸异戊酯、乙酸戊酯、己酸乙酯、乙醇和辛酸等	发酵猪肉水解物	[59]
	<i>D. hansenii</i> Lr1	异丁酸甲酯、丁酸甲酯、异戊酸甲酯和乙酸甲酯等	干腌猪里脊肉	[46]
	<i>D. hansenii</i> S20和 <i>D. hansenii</i> S26	己醛、己酸、(Z)-2-庚醛和(E)-2-辛烯醛等	干腌五花肉	[47]
	<i>S. cerevisiae</i> 22	乳酸乙酯、棕榈酸、癸酸、3-甲基丁醇、乙酸乙酯、癸醛、1-辛烯-3-醇和亚油酸乙酯等	发酵草鱼	[65]
	<i>D. hansenii</i> S25	苯甲醛、发酵香肠、苯甲醇、苯乙醇和3-甲基丁醇等	发酵香肠	[70]
	<i>D. hansenii</i> P2	3-甲基丁酸、2-甲基丁酸、己酸、癸酸、己酸乙酯、乙酸乙酯、乙酸丁酯和辛酸乙酯等	发酵香肠	[71]
	<i>D. hansenii</i>	丙醇、2,3-丁二醇、反-3-己烯醇、2-甲基丁醛、3-羟基-2-丁酮、乙酸乙酯和异丁酸乙酯等	发酵香肠	[69]
	<i>D. hansenii</i>	乙酸甲酯、乙酸乙酯、丙酸乙酯和2-甲基丙酸乙酯等	发酵香肠	[45]
霉菌	<i>D. hansenii</i> M4和 <i>D. hansenii</i> P2	3-甲基乙酸丁酯、3-甲基丁酸乙酯、2,4-己二烯酸乙酯和2-甲基丙酸乙酯等	发酵香肠	[48]
	<i>P. rubens</i>	己醛、辛醛、壬醛、1-辛烯-3-醇和1-庚醇等	干腌火腿	[72]
	<i>P. nalgiovense</i>	乙醛、庚醛、苯甲醇和辛酸乙酯等	发酵鸡肉	[54]
	<i>P. camemberti</i>	2-甲基-1-丁醇、2-甲基-1-丙醇和3-甲基丁醛等	发酵香肠	[53]
	<i>P. chrysogenum</i>	丙二醇、3-甲基丁酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯和丁酸乙酯等	发酵香肠	[55]
	<i>Cladosporium cladosporioides</i> P27	己酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、3-羟基丁酮和乙酸乙酯等	发酵香肠	[49]

3 结 语

发酵肉制品中风味物质种类繁多，主要包括醇类、醛类、酯类、酸类、酮类和烃类等。发酵肉制品风味的形成主要与*L. plantarum*、*L. sakei*、*L. fermentum*、*S. xylosus*、*S. carnosus*、*D. hansenii*和*P. narcissus*等优势菌的代谢有关。这些微生物主要通过蛋白质和脂质水解、氨基酸和脂肪酸代谢及碳水化合物代谢等途径促进发酵肉制品中风味的形成。然而，固态发酵微生物群落具有高度的复杂性，了解微生物群体代谢机制仍是一个

巨大的挑战。解析微生物群落代谢行为需要以整体发酵任务为研究基础，通过系统生物学、多组学技术和生物信息技术构建发酵菌群表型与基因型的交互关系，从多维度解析微生物群落功能。目前，在发酵肉制品中微生物代谢与风味形成的研究主要集中在优势微生物的分离筛选、优势微生物与风味形成的相关性以及接种发酵剂对风味的提升作用等方面。然而，发酵肉制品中微生物之间的相互作用、风味物质之间的相互作用以及微生物对发酵肉制品中风味的调控机理等仍缺乏深入研究。此外，仍需要在实践中从原料多元化、智能发酵装备、新型发酵剂、发酵方式与接种策略以及产品质量的标准化等多个领域展开技术攻关研究。这将为我国的肉制品发酵行业注入新的活力与科技理念，大力促进发酵肉制品产业的可持续发展，并提高市场核心竞争力。

参考文献：

[1] 扈莹莹, 温荣欣, 陈佳新, 等. 低盐对发酵肉制品品质形成影响及减盐手段研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(16): 324-328; 335. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2019.16.054.

[2] 葛芮茵, 罗玉龙, 剧柠. 传统发酵肉制品中微生物菌群对风味形成的研究进展[J]. 微生物学通报, 2022, 49(6): 2295-2307. DOI:10.13344/j.microbiol.china.210563.

[3] 米瑞芳, 陈曦, 熊苏玥, 等. 传统自然发酵酸肉中细菌群落多样性与风味品质分析[J]. 食品科学, 2019, 40(2): 85-92. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180521-282.

[4] HINRICHSSEN L, PEDERSEN S B. Relationship among flavor, volatile compounds, chemical changes, and microflora in Italian-type dry-cured ham during processing[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1995, 43(11): 2932-2940. DOI:10.1021/jf00059a030.

[5] 郑志颖, 周晶, 袁丽, 等. 混合菌株和外源赖氨酸对鱼酱发酵品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(12): 108-114. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180709-119.

[6] YANG Y, ZHANG X, WANG Y, et al. Study on the volatile compounds generated from lipid oxidation of Chinese bacon (unsmoked) during processing[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2017, 119(10): 1600512. DOI:10.1002/ejlt.201600512.

[7] CASABURI A, DI MONACO R, CAVELLA S, et al. Proteolytic and lipolytic starter cultures and their effect on traditional fermented sausages ripening and sensory traits[J]. Food Microbiology, 2008, 25(2): 335-347. DOI:10.1016/j.fm.2007.10.006.

[8] 张根生, 潘雷, 岳晓霞, 等. 发酵肉制品加工过程中风味物质形成和影响因素研究进展[J]. 中国调味品, 2022, 47(1): 200-205. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2022.01.039.

[9] HU Y Y, CHEN Q, WEN R X, et al. Quality characteristics and flavor profile of Harbin dry sausages inoculated with lactic acid bacteria and *Staphylococcus xylosus*[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 114: 108392. DOI:10.1016/j.lwt.2019.108392.

[10] 王德宝, 胡冠华, 苏日娜, 等. 发酵剂对羊肉香肠中蛋白、脂质代谢与风味物质的影响[J]. 农业机械学报, 2019, 50(3): 336-344. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.03.038.

[11] OLIVARES A, NAVARRO J L, FLORES M. Establishment of the contribution of volatile compounds to the aroma of fermented sausages at different stages of processing and storage[J]. Food Chemistry, 2009, 115(4): 1464-1472. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.01.083.

- [12] HAN J R, KONG T, WANG Q, et al. Regulation of microbial metabolism on the formation of characteristic flavor and quality formation in the traditional fish sauce during fermentation: a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2023, 63(25): 7564-7583. DOI:10.1080/10408398.2022.2047884.
- [13] ASHAOLU T J, KHALIFA I, MESAK M A, et al. A comprehensive review of the role of microorganisms on texture change, flavor and biogenic amines formation in fermented meat with their action mechanisms and safety[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2023, 63(19): 3538-3555. DOI:10.1080/10408398.2021.1929059.
- [14] CHENG H F. Volatile flavor compounds in yogurt: a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2010, 50(10): 938-950. DOI:10.1080/10408390903044081.
- [15] 卜宁霞, 陈娟, 李永琴. 发酵肉制品风味物质的研究进展[J]. 宁夏农林科技, 2020, 61(11): 65-68. DOI:10.3969/j.issn.1002-204x.2020.11.022.
- [16] SHARMA A, GUPTA G, AHMAD T, et al. Tailoring cellular metabolism in lactic acid bacteria through metabolic engineering[J]. Journal of Microbiological Methods, 2020, 170: 105862. DOI:10.1016/j.mimet.2020.105862.
- [17] SIDIRA M, KANDYLIS P, KANELAKI M, et al. Effect of immobilized *Lactobacillus casei* on volatile compounds of heat treated probiotic dry-fermented sausages[J]. Food Chemistry, 2015, 178: 201-207. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.01.068.
- [18] LO R, HO V T T, BANSAL N, et al. The genetic basis underlying variation in production of the flavour compound diacetyl by *Lactobacillus rhamnosus* strains in milk[J]. International Journal of Food Microbiology, 2018, 265: 30-39. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2017.10.029.
- [19] HU Y Y, ZHANG L, LIU Q, et al. The potential correlation between bacterial diversity and the characteristic volatile flavour of traditional dry sausages from Northeast China[J]. Food Microbiology, 2020, 91: 103505. DOI:10.1016/j.fm.2020.103505.
- [20] ZHANG Y L, HU P, LOU L J, et al. Antioxidant activities of lactic acid bacteria for quality improvement of fermented sausage[J]. Journal of Food Science, 2017, 82(12): 2960-2967. DOI:10.1111/1750-3841.13975.
- [21] HUA Q, GAO P, XU Y S, et al. Effect of commercial starter cultures on the quality characteristics of fermented fish-chili paste[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 122: 109016. DOI:10.1016/j.lwt.2020.109016.
- [22] 张新斌, 胡炜东, 李君冉, 等. 植物乳杆菌对发酵肉制品风味影响研究进展[J]. 肉类研究, 2023, 37(9): 70-75. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20230529-052.
- [23] 孔保华, 李悦欣, 张欢, 等. 乳酸菌抗氧化活性及其在发酵肉制品中的应用研究进展[J]. 肉类研究, 2022, 36(10): 35-42. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220801-089.
- [24] CHEN X, LI J P, ZHOU T, et al. Two efficient nitrite-reducing *Lactobacillus* strains isolated from traditional fermented pork (Nanx Wudl) as competitive starter cultures for Chinese fermented dry sausage[J]. Meat Science, 2016, 121: 302-309. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.06.007.
- [25] 韦友兵, 吴香, 周辉, 等. 萨拉米发酵成熟过程中微生物菌群变化及对风味的影响[J]. 肉类研究, 2018, 32(12): 48-54. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201812009.
- [26] ZHONG A A, CHEN W, DUAN Y F, et al. The potential correlation between microbial communities and flavors in traditional fermented sour meat[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 149: 111873. DOI:10.1016/j.lwt.2021.111873.
- [27] LI C S, CUI Q Y, LI L H, et al. Formation and improvement mechanism of physical property and volatile flavor of fermented tilapia surimi by newly isolated lactic acid bacteria based on two dimensional correlation networks[J]. Food Chemistry, 2024, 440: 138260. DOI:10.1016/j.foodchem.2023.138260.
- [28] HU Y Y, WANG J W, LIU Q, et al. Unraveling the difference in flavor characteristics of dry sausages inoculated with different autochthonous lactic acid bacteria[J]. Food Bioscience, 2022, 47: 101778. DOI:10.1016/j.fbio.2022.101778.
- [29] ZHENG S S, WANG C Y, HU Y Y, et al. Enhancement of fermented sausage quality driven by mixed starter cultures: elucidating the perspective of flavor profile and microbial communities[J]. Food Research International, 2024, 178: 113951. DOI:10.1016/j.foodres.2024.113951.
- [30] ZHANG D, YANG P, LIU K H, et al. The effective of bacterial community dynamics driven by different starter cultures on the flavor development of Chinese fermented sausages[J]. Food Chemistry: X, 2023, 19: 100838. DOI:10.1016/j.fochx.2023.100838.
- [31] TOLDRÁ F. Biotechnology of flavor generation in fermented meats[M]//TOLDRÁ F. Meat biotechnology. New York: Springer, 2008: 199-215. DOI:10.1007/978-0-387-79382-5\_9.
- [32] BUSCAILLON S, BERDAGUÉ J L, BOUSSET J, et al. Relations between compositional traits and sensory qualities of French dry-cured ham[J]. Meat Science, 1994, 37(2): 229-243. DOI:10.1016/0309-1740(94)90083-3.
- [33] RAVYTS F, STEEN L, GOEMAERE O, et al. The application of staphylococci with flavour-generating potential is affected by acidification in fermented dry sausages[J]. Food Microbiology, 2010, 27(7): 945-954. DOI:10.1016/j.fm.2010.05.030.
- [34] RAVYTS F, VRANCKEN G, D'HONDT K, et al. Kinetics of growth and 3-methyl-1-butanol production by meat-borne, coagulase-negative staphylococci in view of sausage fermentation[J]. International Journal of Food Microbiology, 2009, 134(1/2): 89-95. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2009.02.006.
- [35] MAINAR M S, STAVROPOULOU D A, LEROY F. Exploring the metabolic heterogeneity of coagulase-negative staphylococci to improve the quality and safety of fermented meats: a review[J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 247: 24-37. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2016.05.021.
- [36] 段雨帆, 钟媛媛, 朱霄, 等. 葡萄球菌对发酵肉制品中生物胺降解机制研究进展[J]. 肉类研究, 2022, 36(1): 49-55. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210803-196.
- [37] STAHNKE L H, HOLCK A, JENSEN A, et al. Maturity acceleration of Italian dried sausage by *Staphylococcus carnosus*-relationship between maturity and flavor compounds[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(5): 1914-1921. DOI:10.1111/j.1365-2621.2002.tb08746.x.
- [38] YANG L, LI H J, WU H, et al. *Staphylococcus* inoculation enhances the sensorial attributes of Chinese bacon by coordinating the composition of flavor compounds through amino acid metabolism[J]. Food Research International, 2024, 178: 113936. DOI:10.1016/j.foodres.2024.113936.
- [39] 任利平, 汪建明. 发酵酶解法制备干腌火腿风味基料过程中酶解条件的优化[J]. 天津科技大学学报, 2015, 30(5): 26-31. DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20140141.
- [40] MARTÍNEZ-ONANDI N, SÁNCHEZ C, NUÑEZ M, et al. Microbiota of Iberian dry-cured ham as influenced by chemical composition, high pressure processing and prolonged refrigerated storage[J]. Food Microbiology, 2019, 80: 62-69. DOI:10.1016/j.fm.2019.01.002.



- [41] 王蔚新. 酸鱼发酵过程中蛋白质降解及其风味形成机制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 2-7.
- [42] HAMMES W P, KNAUF H J. Starters in the processing of meat products[J]. Meat Science, 1994, 36(1/2): 155-168. DOI:10.1016/0309-1740(94)90039-6.
- [43] SIMONCINI N, ROTELLI D, VIRGILI R, et al. Dynamics and characterization of yeasts during ripening of typical Italian dry-cured ham[J]. Food Microbiology, 2007, 24(6): 577-584. DOI:10.1016/j.fm.2007.01.003.
- [44] CORRAL S, BELLOCH C, LÓPEZ-DÍEZ J J, et al. Yeast inoculation as a strategy to improve the physico-chemical and sensory properties of reduced salt fermented sausages produced with entire male fat[J]. Meat Science, 2017, 123: 1-7. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.08.007.
- [45] FLORES M, DURÁ M A, MARCO A, et al. Effect of *Debaryomyces* spp. on aroma formation and sensory quality of dry-fermented sausages[J]. Meat Science, 2004, 68(3): 439-446. DOI:10.1016/j.meatsci.2003.04.001.
- [46] RAMOS-MORENO L, RUIZ-CASTILLA F J, BRAVO C, et al. Inoculation with a terroir selected *Debaryomyces hansenii* strain changes physico-chemical characteristics of Iberian cured pork loin[J]. Meat Science, 2019, 157: 107875. DOI:10.1016/j.meatsci.2019.107875.
- [47] GONG X H, CHEN X, MI R F, et al. Two *Debaryomyces hansenii* strains as starter cultures for improving the nutritional and sensory quality of dry-cured pork belly[J]. Food Research International, 2024, 183: 114227. DOI:10.1016/j.foodres.2024.114227.
- [48] CANO-GARCÍA L, BELLOCH C, FLORES M. Impact of *Debaryomyces hansenii* strains inoculation on the quality of slow dry-cured fermented sausages[J]. Meat Science, 2014, 96(4): 1469-1477. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.12.011.
- [49] 蔡嘉铭, 王际辉, 陶冶, 等. 霉菌发酵剂对干发酵香肠的理化指标、氧化程度及风味的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(5): 17-22. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.022880.
- [50] COMI G, IACUMIN L. Ecology of moulds during the pre-ripening and ripening of San Daniele dry cured ham[J]. Food Research International, 2013, 54(1): 1113-1119. DOI:10.1016/j.foodres.2013.01.031.
- [51] LI Z M, WANG Y, PAN D D, et al. Insight into the relationship between microorganism communities and flavor quality of Chinese dry-cured boneless ham with different quality grades[J]. Food Bioscience, 2022, 50: 102174. DOI:10.1016/j.fbio.2022.102174.
- [52] PERRONE G, SAMSON R A, FRISVAD J C, et al. *Penicillium salamii*, a new species occurring during seasoning of dry-cured meat[J]. International Journal of Food Microbiology, 2015, 193: 91-98. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2014.10.023.
- [53] BRUNA J M, HIERRO E M, DE LA HOZ L, et al. Changes in selected biochemical and sensory parameters as affected by the superficial inoculation of *Penicillium camemberti* on dry fermented sausages[J]. International Journal of Food Microbiology, 2003, 85(1/2): 111-125. DOI:10.1016/S0168-1605(02)00505-6.
- [54] 刘功明, 孙京新, 李鹏, 等. 纳地青霉发酵对鸡肉质构、游离氨基酸及挥发性物质变化的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(9): 289-295. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.9.047.
- [55] 程燕. 四川香肠中产蛋白酶和脂肪酶霉菌菌株的分离、鉴定及其初步应用[D]. 雅安: 四川农业大学, 2012: 17-25.
- [56] YU J, YANG L W, MA Z H, et al. Exploring the effect of mold fermentation on the taste and flavor properties of traditional Japanese smoked-dried bonito (katsubushi)[J]. Food Bioscience, 2023, 56: 103366. DOI:10.1016/j.fbio.2023.103366.
- [57] BENITO M J, RODRÍGUEZ M, NÚÑEZ F, et al. Purification and characterization of an extracellular protease from *Penicillium chrysogenum* Pg222 active against meat proteins[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2002, 68(7): 3532-3536. DOI:10.1128/AEM.68.7.3532-3536.2002.
- [58] GARCIA M L, CASAS C, TOLEDO V M, et al. Effect of selected mould strains on the sensory properties of dry fermented sausages[J]. European Food Research and Technology, 2001, 212(3): 287-291. DOI:10.1007/s002170000258.
- [59] LI X Z, LIU S Q. Effect of co-inoculation and sequential inoculation of *Lactobacillus fermentum* and *Pichia kluyveri* on pork hydrolysates fermentation[J]. Food Bioscience, 2021, 44: 101400. DOI:10.1016/j.fbio.2021.101400.
- [60] ZHAO X X, LI S L, LIU Y H, et al. Production of fermented spicy rabbit meat using *Lactobacillus paracasei*[J]. Bioprocess and Biosystems Engineering, 2022, 45(1): 87-95. DOI:10.1007/s00449-021-02642-3.
- [61] WANG M, WANG C M, YANG C, et al. Effects of *Lactobacillus plantarum* C7 and *Staphylococcus warneri* S6 on flavor quality and bacterial diversity of fermented meat rice, a traditional Chinese food[J]. Food Research International, 2021, 150: 110745. DOI:10.1016/j.foodres.2021.110745.
- [62] 周洁, 李洪英, 朱秋劲, 等. 贵式肉品中乳酸菌的选育及其对发酵里脊火腿风味品质的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(8): 175-183. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20210528-346.
- [63] WANG J, HOU J N, ZHANG X, et al. Improving the flavor of fermented sausage by increasing its bacterial quality via inoculation with *Lactobacillus plantarum* MSZ2 and *Staphylococcus xylosus* YCC3[J]. Foods, 2022, 11(5): 736. DOI:10.3390/foods11050736.
- [64] MARTÍN I, GARCÍA C, RODRÍGUEZ A, et al. Effect of a selected protective culture of *Lactilactobacillus sakei* on the evolution of volatile compounds and on the final sensorial characteristics of traditional dry-cured fermented salchichón[J]. Biology, 2023, 12(1): 88. DOI:10.3390/biology12010088.
- [65] GAO P, CAO X, JIANG Q X, et al. Improving the quality characteristics of rice mash grass carp using different microbial inoculation strategies[J]. Food Bioscience, 2021, 44: 101443. DOI:10.1016/j.fbio.2021.101443.
- [66] 周慧敏, 张顺亮, 赵冰, 等. 木糖葡萄球菌和肉葡萄球菌混合发酵剂对腊肉品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(22): 32-38. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201822006.
- [67] 蒋翠翠, 尚昊, 张素芳, 等. 产脂肪酶菌株的筛选、酶学特性及其接种对酸肉风味物质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(10): 106-113. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220427-360.
- [68] WANG H, XU J H, LIU Q, et al. Effect of the protease from *Staphylococcus carnosus* on the proteolysis, quality characteristics, and flavor development of Harbin dry sausage[J]. Meat Science, 2022, 189: 108827. DOI:10.1016/j.meatsci.2022.108827.
- [69] 杨小莹, 肖珊, 庞煜, 等. 不同发酵剂对发酵香肠品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(18): 242-249. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.034113.
- [70] 龚小会. 酵母产香特性及其对发酵肉制品风味品质的影响研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2022.
- [71] CORRAL S, SALVADOR A, BELLOCH C, et al. Improvement the aroma of reduced fat and salt fermented sausages by *Debaromyces hansenii* inoculation[J]. Food Control, 2015, 47: 526-535. DOI:10.1016/j.foodcont.2014.08.001.
- [72] 臧立萍, 魏建平, 何厚德, 等. 霉菌发酵剂的制备及其对干腌肉块品质的影响[J/OL]. 食品与发酵工业(2023-12-22)[2024-02-08]. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.038345.