

干腌火腿微生物研究进展

Research progress on microorganism of dry cured ham

鞠 铭¹ 刘 鑫¹ 李官浩¹ 郑乾坤²

JU Ming¹ LIU Xin¹ LI Guan-hao¹ ZHENG Qian-kun²

李 敏² 朴春香¹ 崔明勋¹

LI Min² PIAO Chun-xiang¹ CUI Ming-xun¹

(1. 延边大学食品研究中心, 吉林 延吉 133000; 2. 山东省得利斯集团有限公司, 山东 潍坊 262200)

(1. Food Research Center of Yanbian University, Yanji, Jilin 133000, China; 2. Shandong Delis Group Limited Company, Weifang, Shandong 262200, China)

摘要:文章综述了干腌火腿微生物研究的现状,概述了酵母菌、霉菌、细菌对火腿中微生物多样性的影响,阐述了真菌毒素、致病菌及腐败菌等有害微生物对火腿安全性的影响,并对干腌火腿发酵产业的发展方向进行了展望。

关键词:干腌火腿;发酵;微生物;食品安全

Abstract: This paper summarized the research status of microorganisms in dry cured ham, summarized the influence of yeast, mold and bacteria on the microbial diversity of ham, elaborated the influence of mycotoxins, pathogenic bacteria and spoilage bacteria on the safety of ham, and prospected the development direction of dry cured ham fermentation industry.

Keywords: Dry cured ham; fermentation; microorganism; food safety

用腌制和发酵来保存食物是人类历史上的一个重要发明^[1]。由此产生了大量的传统发酵制品,例如酱油、醋、奶酪、腐乳等^[2-3],这些产品通过微生物作用形成不同于原材料的特殊风味。关于肉制品的保存历史可追溯至公元前4 000多年的苏美尔文明^[4]。干腌火腿(Dry-cured ham),作为发酵肉制品中的典型代表物备受关注。一条品质较好的火腿,从屠宰到腌制、干燥、发酵,整个过程至少需经历18个月^[5],是发酵制品中最耗时的产品之一。在干腌火腿发酵过程中,蛋白质通过水解作用产生

大量的小肽和游离氨基酸;脂肪经水解和氧化作用生成高级脂肪酸、甘油、二酰甘油酯^[6],这些产物之间相互作用产生了400多种挥发性风味物质,包括大量的醛类和醇类^[7],这些形成了干腌火腿独特的风味。

由于地理位置以及原材料品种的差异,经过数百年的发展,东西方形形成了一些特征明显的产品,例如美国的乡村火腿、西班牙的Iberian火腿和Serrano火腿、意大利的Parma火腿、法国的Bayonne火腿等。中国比较著名的火腿有浙江金华火腿、江苏如皋火腿、云南宣威火腿和邓诺火腿等^[8]。不同风味火腿的形成与发酵过程中的优势菌群有着密切关系^[9]。在火腿长时间的发酵中,产品中的微生物种类和数量是一个不受控制的因素,直接影响着与风味形成有关的挥发性化合物的产生。在大多数火腿成熟过程中,微生物对火腿风味的形成有促进作用,并可以防止火腿的腐败变质,延长保质期。但同时,一些致病菌和腐败菌会在火腿表面产生毒素和黑斑,影响火腿的外观和消费者的安全,给火腿产业造成十分严重的损失^[10]。文章拟总结近年来有关火腿微生物的研究报道,综述对火腿中微生物的多样性以及有害微生物的研究进展,为火腿工业的现代化生产提供一些参考。

1 火腿微生物的多样性

火腿中的主要微生物一般包括酵母菌、霉菌、细菌。这些微生物可能源于猪肉本身、食盐^[11]等发酵剂中,或者来源于工具、设备、加工环境^[12],也包括工人手上携带的微生物。根据腌制火腿的种类、其特定的生产工艺和环境条件,火腿中微生物的相对丰度有很大程度的差异。如肉的水分活度、pH值和营养物质的可利用性,发酵室温度、压力、相对湿度等都会对最终产品的微生物数量造成影响。

基金项目:国家“十三五”重点研发计划课题(编号:2018YFD0401202)

作者简介:鞠铭,女,延边大学在读硕士研究生。

通信作者:朴春香(1979—),女,延边大学讲师,博士。

E-mail: cxpiao@ybu.edu.cn

崔明勋(1966—),男,延边大学副教授,博士。

E-mail: 1501967915@qq.com

收稿日期:2020-06-25

腌制火腿的微生物区系在不同加工阶段会发生变化。由于酶活性不同,微生物区系对产品的口味、风味和颜色有影响,如脂解、脂质氧化、蛋白质水解、氨基酸降解以及硝酸盐还原等。这些参数也很大程度上受到肉本身内源性酶的影响,如蛋白水解酶和脂解酶,其对火腿风味有很大影响。

1.1 酵母菌

由于加工环境的原因,新鲜猪腿肉中会在表面存在一些酵母菌,其数量随加工阶段发生变化。Núñez 等^[13]从制作 Iberian 火腿的猪腿肉中测得其表面酵母活菌数低于 10^4 CFU/g,在盐渍后阶段增加至最高,约 10^7 CFU/g。在发酵阶段,酵母菌种类进一步增加,涎沫假丝酵母菌(*C. zeylanoides*)在西班牙火腿成熟前期占主要地位,汉逊德巴利酵母(*Debaryomyces hansenii*)和深红酵母(*Rhodotorula rubra*)是成熟后期的优势菌种,同时还有少量的布朗克假丝酵母(*C. blankii*)、中间假丝酵母(*C. intermedia*)和卡氏毕赤酵母(*Pichia carsonii*)。在完全成熟的火腿中,德巴利酵母菌属和念珠菌属^[14]是优势菌群,其中包括马拉马氏酵母(*D. marama*)、汉逊德巴利酵母和涎沫假丝酵母^[15]。Simoncini 等^[16]在西班牙火腿中鉴定出了汉逊德巴利酵母、马拉马氏酵母和涎沫假丝酵母菌;在发酵过程中也检测出了少量的无名假丝酵母(*C. famata*)和生丝毕赤酵母(*Hyphopichia burtonii*);偶尔也检测出了链状假丝酵母(*C. catenulata*)、季也蒙假丝酵母(*C. guilliermondi*)和隐球菌(*Cryptococcus*)等。根据 Simoncini 等^[16]的试验结果,汉逊德巴利酵母在意大利火腿中并不是优势菌,与西班牙火腿相比,意大利火腿中有更多种类的酵母菌。

酵母微生物会对干腌火腿的风味产生影响。Martin 等^[17]将从干腌火腿上筛选分离得到的汉逊德巴利酵母接种至猪排上,采用固相微萃取(SPME)纤维收集挥发性化合物进行 GC/MS 分析,结果显示接种汉逊德巴利酵母更有利于复合醇的形成。Andrade 等^[18]从 Iberian 火腿中分离出 117 株酵母菌,其中大部分为汉逊德巴利酵母和涎沫假丝酵母菌;并比较了空白对照组和接种汉逊德巴利酵母和涎沫假丝酵母菌的试验组之间所产生的挥发性化合物的差异,结果显示支链醛、醇和酮有着明显的不同,其中接种汉逊德巴利酵母的试验组中与干腌风味有关的化合物含量最高,例如 3-甲基丁醛。黄艾祥^[19]将从云腿上筛选到的优势菌涎沫假丝酵母作为发酵菌种,发酵液中天冬氨酸和组氨酸含量增加,无内源酶的情况下,微生物能使火腿肌肉蛋白质降解,说明酵母微生物对火腿风味品质特征形成有促进作用。

1.2 霉菌

干腌火腿的真菌群落通常位于肉的表面,主要取决于发酵室中的空气、温度、相对湿度和肉的水分含量,生

肉中的原始微生物群的作用不大^[12],与细菌相反,霉菌在成熟过程中的多样性增加。Comi 等^[20]从 San Daniele 火腿中分离出的霉菌主要是曲霉属、青霉属和散囊菌属。Iberian 火腿上盐后,青霉属(*Penicillium*)是优势霉菌,特别是普通青霉菌(*P. Commune*)^[21]和产黄青霉菌(*P. chrysogenum*)^[22]。Battilani 等^[23]从意大利火腿表面和发酵室中同时检测出了大量的纳地青霉(*P. nalgiovense*),其占青霉属总量的 60%。Monte 等^[15]在干腌火腿中检测出了木霉,尤其是绿色木霉,同时在长期贮藏的火腿中检测出散囊菌属,包括蜡叶散囊菌(*E. herbariorum*)和匍匐散囊菌(*E. repens*)。母雨等^[24]通过对中国盘县火腿微生物多样性分析发现,曲霉属和青霉属是优势霉菌。贺雅非等^[25]从金华火腿表面分离出多种霉菌,所鉴定的优势霉菌均为半知菌类丛梗孢目,其中鉴定出青霉属中有意大利青霉、简单青霉,曲霉属中有米曲霉、灰绿曲霉和萨氏曲霉,还有卡地干酪青霉、柑橘青霉等。党喜军^[26]在研究邓诺火腿表面微生物多样性时发现,霉菌中分离的优势菌群为曲霉属,曲霉属在 3 年和 4 年火腿中最高,发酵后期对风味的形成及防腐起主要作用。

霉菌属于好氧菌,这类微生物往往存在于发酵食品的表面。霉菌繁殖会形成菌丝体,可在发酵肉制品表面形成一层“保护膜”,同时霉菌可以分泌蛋白酶与脂肪酶,在酶的作用下,蛋白质和脂肪生成游离的氨基酸和脂肪酸,为发酵肉制品增添芳香风味,同时菌丝体也可以阻止外界污染物的入侵。Alapont 等^[27]通过研究干腌火腿和发酵室中真菌的种类,检测出 74 株真菌,其中大多数具有脂解活性(94.59%),39 株(52.70%)表现出对酪蛋白的水解活性,表明真菌在干腌火腿发酵过程中发挥着重要作用。Ockerman 等^[28]从西班牙火腿表面分离出 5 株青霉属霉菌,用于制备西班牙传统肉制品发酵剂。通过试验验证,发现对风味品质的影响主要取决于接种的菌株和培养温度。当温度高于 3℃ 时,接种两株产黄青霉的火腿风味品质下降,但接种金黄色青霉(*P. Aurantigriseum*)和卡地干酪青霉(*P. Camemberti*)菌株的火腿在 3~8℃ 的温度下风味质量提高,但在温度高于 12℃ 时风味质量降低。以上结果均表明,火腿风味物质的形成与接种霉菌的种类是相关的,但也有学者认为霉菌与火腿风味之间并无直接关系。林克忠等^[29]研究发现,金华火腿的品质和火腿香气形成与火腿在发酵期所生长的各种霉菌没有直接关系,在发酵阶段采用人工方法严格控制霉菌生长的情况下同样可生产出色香味俱佳的优质火腿,但是许多霉菌对腐败细菌有抑制生长作用,表面霉菌可以防止火腿过度氧化,避免火腿在漫长的发酵阶段(3~7 月份)不会腐败变质和氧化变味,从而保证金华火腿能在自身腿肉中的各种固有酶类的催化下,分解肌肉中的蛋白质和脂肪,形成金华火腿所特有的色香味。因此霉菌对金华火腿的质量和香气的形成有着间接的作用。

1.3 细菌

细菌的种类和数量在干腌火腿成熟的过程中会发生很大的变化,并且随着成熟时间的延长,细菌数量和种类会减少。Hinrichsen 等^[30]在对 Parma 火腿的检测中发现,鲜肉中好氧活菌数大约为 10^7 CFU/g,发酵期结束后,好氧活菌数减少至 10^3 CFU/g。Rodríguez 等^[31]和 Lorenzo 等^[32]分别对意大利和西班牙火腿发酵过程中的细菌种类变化进行了研究,发酵初始阶段,意大利和西班牙火腿的表面微生物主要是革兰氏阴性菌、肠杆菌、微球菌和棒状杆菌;发酵过程中,微球菌(*Micrococcus*)和葡萄球菌(*Staphylococcus*)数急剧增加,125 d 后几乎占可培养菌群的 100%。氯化钠是火腿腌制过程中的重要添加剂,对火腿中微生物种类有很大影响。Cordero 等^[11]研究了西班牙火腿所使用的食盐中的微生物含量,发现分离出的微生物中 60% 为葡萄球菌,25% 为微球菌,6% 为考克氏菌(*Kocuria*),5.4% 为皮生球菌(*Dermacoccus*),0.5% 为口腔球菌(*Stomatococcus*)。出于对健康的考虑,世卫组织呼吁应减少食品中的钠含量,氯化物类复配盐(钾、钙、镁)是目前在火腿低盐研究中采用较多的食盐替代物^[33]。Blesa 等^[34]研究了低钠对火腿中微生物的影响(研究批次之间的好氧活菌和肠杆菌数无差异)。结果表明,随着贮藏时间的延长,乳酸菌数量增加更为明显,而对金黄色葡萄球菌的抑制作用则较低。

乳酸菌是火腿发酵过程中十分重要的菌种,其能产生乳酸、细菌素等,具有抑制火腿中病原微生物的生长和毒素的产生,并且可以减少发酵制品中亚硝胺的生成^[35],提高产品的安全性、缩短生产周期^[36]。葡萄球菌经常从肉制品中分离出来,通常被用作香肠生产中的发酵剂。通过对木糖葡萄球菌(*Staphylococcus xylosus*)基因组的分析以及在肉模型中的原位表达^[37],发现该菌可很好地利用不同的肉基质作为碳源和氮源,可以通过激活硝酸还原酶活性增加腌制肉制品的典型颜色,有助于提高产品感官特性;同时可促进丙酮酸和氨基酸的分解代谢,增加风味化合物含量,并且可以限制脂肪酸氧化,从而避免酸败。母雨等^[38]将木糖葡萄糖球菌和植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)作为发酵剂,考察不同微生物对火腿发酵的影响,通过 HS-SPME-GC-MS 技术检测到接种发酵剂火腿中醛、醇、酸、酚类物质的种类和含量均明显提高,而烃类和醚类物质含量显著降低,改善了火腿的风味品质。于海等^[39]在干腌肉块上接种表皮葡萄球菌(*Staphylococcus epidermidis*)、木糖葡萄糖球菌和耳氏葡萄球菌(*Staphylococcus auricularis*),通过固相微萃取(SPME)和气相色谱—质谱联用(GC-MS)对干腌肉块中挥发性风味化合物进行测定,发现接种表皮葡萄球菌的发酵肉块中杂环类化合物相对含量较高,接种木糖葡萄糖球菌的发酵肉块中醛类物质相对含量较高,接种耳氏葡

萄球菌的发酵肉块中酯类物质相对含量较高,表明接种优良的菌种对干腌肉制品风味的形成有良好的促进作用。

2 微生物对火腿安全性的影响

干腌火腿加工时间长,除食用盐外,不添加任何防腐剂,只在微生物的作用下成熟。在发酵室中,火腿表面和内部会有大量的微生物自然生长,对干腌火腿食用安全性具有很大的隐患。研究表明,部分霉菌的生长对火腿整体品质的提高发挥着积极作用^[40],但有些霉菌产生真菌毒素,对干腌火腿的安全性构成很大的威胁^[41]。除霉菌外,火腿表面也可能存在致病菌,如金黄色葡萄球菌、单核细胞增生李斯特菌,并在国外发生过食物中毒的事件^[42]。

2.1 真菌毒素

在大多数食品中霉菌被认为是产生腐败的原因^[43]。霉菌毒素是潜在的危害人体健康的次生代谢产物,其中毒性最强的真菌毒素之一——赭曲霉毒素 A(Ochratoxin A, OTA),被世卫组织列为 II 类致癌物^[44],脊椎动物食用后,表现出肾毒性、免疫毒性、遗传毒性和致畸作用^[45]。尽管植物性食品容易受到 OTA 的污染^[46],但某些来源于动物的食品,如干腌肉制品,也被证明是导致人类摄入 OTA 的原因。Comi 等^[20]研究了 San Daniele 干腌火腿成熟过程中霉菌的生态及其毒性,从分离出的霉菌中发现了黑曲霉产 OTA 的潜力。Andrade 等^[47]将 $6.45 \lg(\text{CFU}/\text{cm}^2)$ 青霉接种至干腌火腿切片上,在 $0.84 a_w$ 下发酵 15 d, OTA 积累量达到 $42.93 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。Alapont 等^[22]对西班牙火腿加工过程中的霉菌菌落进行了分析,发现产黄青霉、普通青霉、波兰青霉(*P. polonicum*)和疣孢青霉(*P. verrucosum*)可以产生 OTA; 74 株真菌中有 25 株(33.7%)可以产生产气荚膜梭菌 α 毒素(*Clostridium perfringens*, CPA)。CPA 能引起各种动物坏死性肠炎、肠毒血症以及人畜创伤性气性坏疽^[48]。Peromingo 等^[49]分别在干腌火腿和发酵香肠上接种了 $4.43 \lg(\text{CFU}/\text{cm}^2)$ 产 OTA 的疣孢青霉,21 d 后,火腿中 OTA 含量为 $1.09 \mu\text{g}/\text{kg}$,香肠中 OTA 含量为 $0.71 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。除 OTA 外,研究人员将分离出的霉菌接种至培养基中,发现能产生多种毒素。Martín 等^[50]采用胶束电动毛细管色谱法(MECC)对 20 株常见于干腌肉制品中的霉菌产生的次生代谢产物进行了分析,检测出 20 个霉菌中有 10 个产生霉菌毒素,包括环匹阿尼酸(cyclopiazonic acid)、霉酚酸(mycophenolic acid)、黄曲霉毒素 B₁(aflatoxin B₁)、杂色曲霉毒素(sterigmatocystin)和灰黄霉毒素(griseofulvin)等。以上这些毒素都会对人体健康造成危害,需及时采取有效措施进行防治。

2.2 致病菌和腐败菌

单核细胞增生李斯特菌是一种常见于食品加工环境

中的嗜冷微生物,其引起的李斯特菌病^[51]是最严重的食源性疾病之一,具有高发病率、住院率和死亡率的特点。尤其在老人、孕妇和婴儿中,这种细菌造成的危害更严重。Prencipe 等^[52]对帕尔马火腿生产线中的微生物进行了研究,在 3% 的猪胴体、12.5% 的生火腿和 2% 的最终产品中发现了单核细胞增生李斯特菌。Giovannini 等^[53]报告了干腌帕尔马火腿和 San Daniele 火腿的单核细胞增生李斯特菌的检出率为 4%。这种生物能在广泛的温度和 pH 值范围内生长,并且能耐受水分活度为 0.90~0.92 和 16% 的 NaCl 浓度;因此,如果存在生火腿中会影响最终产品的质量安全。

火腿上抹盐的目的是为了抑制微生物的生长,加快水分流失。但是,耐盐能力强的葡萄球菌常成为发酵火腿中的优势菌群,而金黄色葡萄球菌是人类化脓感染中最常见的致病菌,可引起食物中毒。Utumann 等^[54]曾在 1992 年报道德国由于食用烟熏的干腌火腿引发人食物中毒事件。Susana 等^[55]对美国传统干腌火腿进行了金黄色葡萄球菌的接种存活试验,金黄色葡萄球菌数随加工时间的增长而减少,但 95 d 后的存活数仍达 10^4 CFU/cm², 178 d 后才未检出。发酵阶段可检测出金黄色葡萄球菌,而成熟火腿中是否存在金黄色葡萄球菌有待进一步验证。金黄色葡萄球菌在 6.7~47.8 °C 能耐受的最低水分活度为 0.83~0.86,当水分活度高于 0.88 时,其在 10~46 °C 均可以产生肠毒素^[56]。

干腌火腿腐败变质最重要的原因之一是“骨污染”,或称为“深度变质”^[57]。这种现象最常见于邻近骨骼的大肌肉团,其内部产生难闻臭味。多数情况下,这种变化对火腿外观的影响较小,在发酵阶段常被忽视。Garcia 等^[58]对“骨污染”干腌火腿的微生物种群和挥发性化合物进行了评估,发现在“骨污染”火腿与正常火腿中,肠杆菌数存在极显著差异($P<0.01$),“骨污染”火腿中的挥发性物比未变质火腿中的酮类、醇类和酯类含量高,可能是由上述细菌的微生物代谢引起的。普通变形杆菌(*Proteus vulgaris*)和液化沙雷氏菌(*Serratia liquefaciens*)是导致干腌火腿腐败的最重要微生物。液化沙雷氏菌是肉类加工工业中在机械表面发现的最常见微生物之一^[59],说明虽在成品中检测到“骨污染”,但腐败本身在加工的第一阶段就开始了^[60]。这种缺陷的发生与切割、运输或修整、上盐阶段的温度过高有关^[61]。此外,高温发酵阶段,由于食盐渗透较低或者火腿水分活度过高,都会降低腐败菌的抑制作用。

3 干腌火腿微生物发酵剂

在古老的传统干腌火腿制作中,人们将一定量已用过的盐水转移到新盐水中,以保持不同批次火腿间保持一致的风味。然而,该方法的成功与否在很大程度上取决于

卫生情况,污染风险相当高。现代干腌火腿加工中的一项创新是使用发酵剂。发酵剂可以由单个菌株或不同种类微生物的多个菌株组成,使用发酵剂的优势是标准化发酵时间和标准化的产品质量。此外,发酵剂的加入可以抑制病原菌和腐败菌生长而不改变最终产品感官特性。

长时间发酵的火腿(如伊比利亚火腿)加工过程中的环境条件也适合有害微生物群落的生长,例如,赭曲霉毒素 A(OTA)常在西式发酵火腿中被发现,通常由青霉属菌株产生。Acosta 等^[62]致力于筛选能形成抑制产毒霉菌生长的抗真菌蛋白的青霉属菌株,从 281 株经筛选的菌株中鉴定出一株产黄青霉,该菌株能产生抗真菌蛋白,并且可作为抑制产毒霉菌生长的保护性发酵剂。Andrade 等^[47]筛选出作为发酵剂的适合酵母菌株,评估了 10 种汉逊德巴利酵母菌株在不同的 a_w 值下抑制北欧青霉生长和 OTA 产生的能力,发现汉逊德巴利酵母 FH-SCC 253H 可以作为保护性发酵剂,该菌株与北欧青霉共培养时可以降低北欧青霉产 OTA 的水平,在 a_w 值为 0.94 时观察到了最高的抑制作用,推测这种酵母发酵剂最好用于发酵的前期,因为此时火腿的水分活度较高,可以起到更好的抑制效果。Simoncini 等^[63]在西式发酵猪肉模型系统中研究了能产生 OTA 的北欧青霉和汉逊德巴利酵母、伯顿丝孢毕赤酵母(*Hyphopichia burtonii*)之间的竞争,发现其中一种酵母与北欧青霉同时接种,与对照组相比,北欧青霉减少了 1~3 lg(CFU/g)。此外,汉逊德巴利酵母 147 在模型系统中显示出最佳的拮抗活性,且能显著降低西式发酵火腿中 OTA 的水平。因此,这种菌株可能是一个很有前途的候选保护性发酵剂,可以提高干腌火腿的安全性。

4 结论

霉菌、酵母菌、细菌对火腿风味的产生起着重要的作用。不同品牌的火腿,微生物的种类和数量有着明显的不同,这可能是造成火腿不同风味特征的原因。加工环境或者原料腿本身,也会将有害微生物引入到发酵过程中。这些微生物中有害微生物会导致火腿腐败或在表面产生黑斑,影响火腿的质量,有些有害微生物还会产生真菌毒素,严重威胁到消费者的生命安全。火腿发酵剂是目前研究的热点,发酵剂可以保持产品风味的稳定,减少火腿中真菌毒素的积累,这对食品安全是特别必要的。但是目前中国火腿生产仍采用自然发酵,微生物发酵剂的应用并未普及,微生物的不确定性可能会给火腿企业造成严重的损失。因此,从火腿发酵的不同时期分离出优势微生物并不局限于成熟阶段,不同时期的优势微生物对有害菌的抑制和风味的促进作用不尽相同,不同时期有目的地针对使用微生物发酵剂可成为未来火腿行业突破的重要方向。

参考文献

- [1] MARCO M L, HEENEY D, BINDA S, et al. Health benefits of fermented foods: Microbiota and beyond[J]. *Curr Opin Biotechnol*, 2017, 44: 94-102.
- [2] WOLFE B E, DUTTON R J. Fermented foods as experimentally tractable microbial ecosystems[J]. *Cell*, 2015, 161(1): 49-55.
- [3] 任聪, 杜海, 徐岩. 中国传统发酵食品微生物组研究进展[J]. *微生物学报*, 2017, 57(6): 885-898.
- [4] PEGG R B. *Encyclopedia of meat sciences*[M]. Oxford: Elsevier, 2004: 349-360.
- [5] 张树敏. 西班牙伊比利亚黑猪考察报告[J]. *猪业科学*, 2018, 35(4): 132-134.
- [6] 党亚丽, 王璋, 许时婴. 干腌火腿的质量分析及改善方法[J]. *食品工业科技*, 2008(2): 308-312.
- [7] SHI Ya-nan, LI Xiang, HUANG Ai-xiang. A metabolomics-based approach investigates volatile flavor formation and characteristic compounds of the Dahe black pig dry-cured ham[J]. *Meat Science*, 2019, DOI: 10.1016/j.meatsci.2019.107904.
- [8] 黄盼盼, 蒋先芝, 田建卿. 火腿微生物研究进展[J]. *生物工程学报*, 2018, 34(9): 1 410-1 418.
- [9] ANDRADE M J, CORDOBA J J, SANCHEZ B, et al. Evaluation and selection of yeasts isolated from dry-cured Iberian ham by their volatile compound production[J]. *Food Chem*, 2009, 113: 457-463.
- [10] ANDRADE M J, RODAS E, DURBAN A, et al. Characterization and control of microbial black spot spoilage in dry-cured Iberian ham[J]. *Food Control*, 2012, 23: 128-136.
- [11] CORDERO M R, ZUMALACARREGUI J M. Characterization of Micrococccae isolated from salt used for Spanish dry-cured ham[J]. *Lett Appl Microbiol*, 2000, 31: 303-306.
- [12] COMI G, ORLIC S, REDZEPOVIC S, et al. Moulds isolated from Istrian dried ham at the pre-ripening and ripening level[J]. *Int J Food Microbiol*, 2004, 96(1): 29-34.
- [13] NUNEZ F, RODRIGUEZ M M, CORDOBA J J, et al. Yeast population during ripening of dry-cured Iberian ham[J]. *Int J Food Microbiol*, 1996, 29: 271-280.
- [14] SIMONCINI N, PINNA A, TOSCANI T, et al. Effect of added autochthonous yeasts on the volatile compounds of dry-cured hams[J]. *Int J Food Microbiol*, 2015, 212: 25-33.
- [15] MONTE E, VILLANUEVA J R, DOMINGUEZ A. Fungal profiles of Spanish country-cured hams[J]. *Int J Food Microbiol*, 1986, 3: 355-359.
- [16] SIMONCINI N, RROTELLI D, VIRGILI R, et al. Dynamics and characterization of yeasts during ripening of typical Italian dry-cured ham[J]. *Food Microbiol*, 2007, 24: 577-584.
- [17] MARTIN A, CORDOBA J J, BENITO M J, et al. Effect of *Penicillium chrysogenum* and *Debaryomyces hansenii* on the volatile compounds during controlled ripening of pork loins[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2003, 84(3): 327-338.
- [18] ANDRADE M J, RODRIGUEZ M, CASADO E, et al. Efficiency of mitochondrial DNA restriction analysis and RAPD-PCR to characterize yeasts growing on dry-cured Iberian ham at the different geographic areas of ripening[J]. *Meat Sci*, 2010, 84: 377-383.
- [19] 黄艾祥. 云南干腌火腿品质特征形成与微生物作用研究[D]. 重庆: 西南大学, 2006: 23-28.
- [20] COMI G, IACUMIN L. Ecology of moulds during the pre-ripening and ripening of San Daniele dry cured ham[J]. *Food Res Int*, 2013, 54(1): 1 113-1 119.
- [21] NUNEZ F, RODRIGUEZ M M, BERMUDEZ M E, et al. Composition and toxigenic potential of the mould population on dry-cured Iberian ham[J]. *Int J Food Microbiol*, 1996, 32: 185-197.
- [22] ALAPONT C, LOPEZ-MENDOZA M C, GIL J V, et al. Mycobiota and toxigenic *Penicillium* species on two Spanish dry-cured ham manufacturing plants[J]. *Food Addit Contam*, 2014, 31: 93-104.
- [23] BATTILANI P, PIETRI A, GIORNI P, et al. *Penicillium* populations in dry-cured ham manufacturing plants[J]. *J Food Protect*, 2007, 70: 975-980.
- [24] 母雨, 苏伟, 母应春. 盘县火腿微生物多样性及主体挥发性风味解析[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(15): 77-85.
- [25] 贺雅非, 甄宗圆, 李洪军, 等. 金华火腿发酵过程中微生物区系研究[J]. *食品科学*, 2008(1): 190-195.
- [26] 党喜军. 诺邓火腿化学成分测定及表面微生物多样性研究[D]. 昆明: 云南大学, 2018: 41-44.
- [27] ALAPONT C, MARTINEZ C P V, LOPEZ M M C. Determination of lipolytic and proteolytic activities of mycoflora isolated from dry-cured teruel ham[J]. *J Food Sci Technol*, 2015, 52(8): 5 250-5 256.
- [28] OCKERMAN H W, SANCHEZ F J C, CRESPO F L. Influence of mold on flavor quality of Spanish ham[J]. *Muscle Foods*, 2000, 11: 247-259.
- [29] 林克忠, 杨耀寰, 竺尚武, 等. 金华火腿的质量和色香味形成与霉菌关系的研究[J]. *肉类研究*, 1992(2): 10-16, 21.
- [30] HINRICHSSEN L, PEDERSEN S B. Relationship among flavor, volatile compounds, chemical changes, and microflora in Italian-type dry-cured ham during processing[J]. *J Agr Food Chem*, 1995, 43: 2 932-2 940.
- [31] RODRIGUEZ M, NUNEZ F, CORDOBA J J, et al. Special issue food safety assurance characterization of *Staphylococcus* spp. and *Micrococcus* spp. isolated from Iberian ham throughout the ripening process[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 1994, 24: 329-335.
- [32] LORENZO J M, GARCIA F M C, GOMEZ M, et al. Study of the micrococccae and staphylococccae throughout the manufacture of dry-cured lacón (a Spanish traditional meat product) made without or with additives[J]. *J Food Res*, 2012(1): 200-211.
- [33] 侯婷婷, 刘鑫, 崔福顺, 等. 低钠发酵肉制品理化特性及风

- 味分析[J]. 食品与机械, 2019, 35(10): 126-130, 205.
- [34] BLES A, ALINO M, BARAT J M, et al. Microbiology and physico-chemical changes of dry-cured ham during the post-salting stage as affected by partial replacement of NaCl by other salts[J]. Meat Sci, 2007, 8: 135-142.
- [35] TOSUKHOWONG A, VIESSAGUAN W, PUMPUANG L, et al. Biogenic amine formation in Nham, a Thai fermented sausage, and the reduction by commercial starter culture, *Lactobacillus plantarum* CC 9546[J]. Food Chemistry, 2011, 129: 8460853.
- [36] 李应华, 苏巧艳. 发酵香肠中乳酸菌的应用研究[J]. 肉类研究, 2009, 23(5): 21-23.
- [37] LEROY S, VERMASSEN A, RAS G, et al. Insight into the Genome of *Staphylococcus xylosus*, a Ubiquitous species well adapted to meat products[J]. Microorganisms 2017, 5 (3): 1-18.
- [38] 母雨, 苏伟, 母应春. 直投式发酵剂的优化及其对火腿风味的影响[J]. 现代科技, 2019, 35(11): 212-222.
- [39] 于海, 李想, 葛庆丰, 等. 不同微生物菌株对干腌肉块挥发性风味化合物的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 266-270.
- [40] 陈杰, 孟岳成. 金华火腿成熟过程中霉菌生长与其品质关系[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(8): 138-142.
- [41] 竺尚武. 干腌火腿中霉菌毒素研究的进展[J]. 食品与机械, 2006, 22(5): 112-114.
- [42] 任人栋. 金华火腿加工过程中部分致病菌安全性的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2007: 13-16.
- [43] DAGNAS S, MENBRE J M. Predicting and preventing mold spoilage of food products[J]. Food Prot, 2013, 76: 538-551.
- [44] PETZINDER E, ZIEGLER K. Ochratoxin A from a toxicological perspective[J]. Vet Pharmacol Ther, 2000, 23: 91-98.
- [45] AMEZQUETA S, SCHORR G S, MURILLO A M, et al. Guiraud OTA-producing fungi in foodstuffs: A review[J]. Food Control, 2012, 26: 259-268.
- [46] PERRONE G, GALLO A. Molecular detection of foodborne pathogens[M]. Boca Raton: CRC Press Taylor and Francis Group, 2010: 529-548.
- [47] ANDRADE M J, THORSEN L, RODRIGUEZ A, et al. Inhibition of ochratoxigenic moulds by *Debaryomyces hansenii* strains for biopreservation of dry-cured meat products[J]. Int J Food Microbiol, 2014, 170: 70-77.
- [48] 王玉建. 枯草芽孢杆菌表达产气荚膜梭菌 α , β 和 ϵ 毒素融合蛋白对小鼠的免疫保护作用[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019: 52-56.
- [49] PEROINGO B, NUNEZ F, RODRIGUEZ A, et al. Potential of yeasts isolated from dry-cured ham to control ochratoxin A production in meat models[J]. International Journal of Food Microbiology, 2018, 268: 73-80.
- [50] MARTIN A, JURADO M, RODRIGUEZ M, et al. Characterization of molds from dry-cured meat products and their metabolites by micellar electrokinetic capillary electrophoresis and random amplified polymorphic DNA PCR[J]. Journal of Food Protection, 2004, 67(10): 39-46.
- [51] RADOSHEVICH L, COSSART O P. *Listeria monocytogenes*: Towards a complete picture of its physiology and pathogenesis[J]. Nat Rev Microbiol, 2018, 16(1): 32-46.
- [52] PRENCIPE V A, RIZZI V, ACCIARI V, et al. *Listeria monocytogenes* prevalence, contamination levels and strains characterization throughout the Parma ham processing chain[J]. Food Control, 2012, 25: 150-158.
- [53] GIOVANNINI A, MIGLIORATI G, PRENCIPE V, et al. Risk assessment for listeriosis in consumers of Parma and San Daniele hams[J]. Food Control, 2007, 18: 789-799.
- [54] UTERMANN F, MULLER C. Influence of aw value and storage temperature on the multiplication and enterotoxin formation of staphylococci in dry-cured hams[J]. Int J Food Microbiology, 1992, 16: 109-115.
- [55] SUSANA M, MELISSA N, BENJY M. *Staphylococcus aureus* survival, staphylococcus enterotoxin production and shelf stability of country-cured hams manufactured under different processing procedures[J]. Meat Science, 2002, 62: 267-273.
- [56] LARA J A F, SENIGALIAS W B. Evaluation of survival of *Staphylococcus aureus* and *Clostridium botulinum* in charqui meats[J]. Meat Science, 2003, 65: 609-613.
- [57] BLANCO D, ARINO A, CONCHELLO P, et al. Physico-chemical characterization of 'bone taint' in Spanish dry-cured hams[J]. Journal of Food Protection, 1997, 60: 667-672.
- [58] GARCIA C, MARTIN A, TIMON M L, et al. Microbial populations and volatile compounds in the 'bone taint' spoilage of dry cured ham[J]. Letters in Applied Microbiology, 2000, 30: 61-66.
- [59] STILES M E, NG L K. Enterobacteriaceae associated with meats and meat handling[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1981, 41: 867-872.
- [60] CORDOBA J J, ANTEQUERA T, GARCIA C, et al. Evolution of free amino acids and amines during ripening of Iberian cured ham[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1994, 42: 2 296-2 301.
- [61] MARIN M E, CARRASCOSA A V, CORNEJO I. Characterization of Enterobacteriaceae strains isolated during industrial processing of dry-cured hams[J]. Food Microbiology, 1996, 13: 375-382.
- [62] ACOSTA R, RODRIGUEZ M A, MARTIN A, et al. Selection of antifungal protein-producing molds from dry-cured meat products[J]. Int J Food Microbiol, 2009, 135: 39-46.
- [63] SIMONCINI N, VIRGILI R, SPADOLA G, et al. Autochthonous yeasts as potential biocontrol agents in dry-cured meat products[J]. Food Control, 2014, 46: 160-167.