

保鲜剂对恩施黑猪冷鲜肉真菌多样性的影响研究

杨江¹, 张莹^{1,2,3}, 廖鄂^{1,2,3}, 彭利娟^{1,2,3}, 路洪艳^{1,2,3}, 王海滨^{1,2,3*}

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 武汉 430023; 2. 农产品加工与转化湖北省重点实验室, 武汉 430023; 3. 武汉轻工大学肉类加工与安全研究所, 武汉 430023)

摘要: **目的** 探究保鲜剂对恩施黑猪冷鲜肉真菌多样性的影响。**方法** 采用高通量测序技术对腐败恩施黑猪冷鲜肉进行真菌多样性分析, 并使用欧氏距离评价其组间距离。**结果** 样品的优势真菌门主要为 Ascomycota(子囊菌门), 相对丰度达 99.00%。主要真菌属为 *Candida*(假丝酵母属)和 *Yarrowia*(耶氏酵母属), 相对含量分别为 95.39%和 0.20%。其中 *Candida* 为主要的优势真菌属, 其仅在丁香油和鱼精蛋白两个处理组的相对含量低于 85%, 其余处理组中均高于 95%。 β 多样性分析发现, 丁香油和鱼精蛋白处理组的菌群结构相似, 和其他 9 组菌群结构具有显著差异($P < 0.05$)。**结论** 丁香油与鱼精蛋白对恩施黑猪冷鲜肉中的优势真菌属具有一定的抑制作用。

关键词: 恩施黑猪; 冷鲜肉; 高通量测序; 真菌多样性; 保鲜剂

Effects of preservatives on fungal diversity of Enshi black pig chilled meat

YANG Jiang¹, ZHANG Ying^{1,2,3}, LIAO E^{1,2,3}, PENG Li-Juan^{1,2,3},
LU Hong-Yan^{1,2,3}, WANG Hai-Bin^{1,2,3*}

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;
2. Hubei Key Laboratory for Processing and Transformation of Agricultural Products, Wuhan 430023, China; 3. Institute of Meat Processing and Safety, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

ABSTRACT: Objective To explore the effects of preservatives on fungal diversity of Enshi black pig chilled meat. **Methods** High-throughput sequencing technology was used to analyze the fungal diversity of spoiled Enshi black pig chilled meat, and Euclidean distance was used to evaluate the distance between groups. **Results** The dominant fungal phylum in the all groups were mainly Ascomycota, with a relative abundance of 99.00%. The main fungal genera were *Candida* and *Yarrowia*, with abundant of 95.39% and 0.20%, respectively. *Candida* was the main dominant fungal genus, and its relative content was less than 85% in the clove essential oil and protamine treatment group, and was higher than 95% in the other treatment groups. The β diversity analysis showed that the bacterial community structure of clove essential oil and protamine treatment groups was similar, which was significantly different from the other 9 groups ($P < 0.05$). **Conclusion** Clove essential oil and protamine have a certain inhibitory effect on the dominant fungi in Enshi black pig chilled meat.

KEY WORDS: Enshi black pig; chilled meat; high-throughput sequencing; fungal diversity; preservative

基金项目: 2019 年恩施州科技计划项目(D20190022)、农产品加工与转化湖北省重点实验室开放课题项目(2020-01)

Fund: Supported by the Enshi Science and Technology Plan Project in 2019 (D20190022), and the Hubei Provincial Key Laboratory of Agricultural Products Processing and Transformation (2020-01)

*通信作者: 王海滨, 博士, 教授, 主要研究方向为肉制品加工与质量控制技术。E-mail: whb6412@163.com

*Corresponding author: WANG Hai-Bin, Ph.D, Professor, Wuhan Polytechnic University, Changqing Garden, Hankou, Wuhan 430023, China. E-mail: whb6412@163.com

0 引言

猪肉作为我国最受欢迎的肉类产品之一,在市场上占有极其重要的地位,其中恩施黑猪肉因具有独特的风味和丰富的营养物质而倍受消费者青睐,但也正因为丰富的营养物质而导致其易受到微生物、阳光和害虫等侵扰,从而导致品质下降,甚至产生腐败,这极大地造成了原料浪费^[1-2]。近年来,有研究发现微生物是导致肉类品质下降和腐败的主要因素,为达到肉类保鲜的目的,了解微生物在肉类中的多样性和丰度及选择合适的保鲜技术抑制其主要生理活动尤为重要^[3-4]。真菌作为微生物的一部分,在猪肉呼吸道、内脏和皮毛中均存在,并极易在生猪屠宰、运输和销售过程中发生侵扰,且来源十分广泛,同时有研究称真菌亦能导致猪肉品质下降和腐败^[5]。目前抑制真菌常用的技术主要有低温保藏技术、气调包装技术和保鲜剂保藏技术等,保鲜剂保藏技术因具有效率高、成本低、原料广泛和安全等优点而被广泛关注^[6]。其中,保鲜剂又分为化学保鲜剂和生物保鲜剂,化学保鲜剂主要以有机酸及其盐类为主;生物保鲜剂则主要分为植物源保鲜剂、动物源保鲜剂和微生物源保鲜剂^[7-9]。

高通量测序技术又称下一代测序技术,是目前常用的测序技术之一,具有通量高、成本低和效率高等特点。近年来,高通量测序技术在肉类产品中的应用较为广泛^[10]。王新惠等^[11]通过研究冷鲜肉在贮藏期间的菌群结构变化发现,贮藏期间(1~10 d)的主要菌属为假单胞菌属、不动杆菌属和泛菌属,其中假单胞菌属在贮藏第 7 d 达到最大占比,不动杆菌属在第 4 d 和 5 d 的相对含量较高,泛菌属的相对含量则在贮藏第 2 d 较高。车丽娜等^[12]通过比较不同贮藏期卤牛肉的真菌群落结构发现,不同贮藏期卤牛肉的真菌群落结构间均有显著变化,贮藏前期的群落结构以被孢霉科和散尾鬼笔属为主,贮藏中期以伊萨酵母属为主,贮藏后期又以枝孢菌属和散尾鬼笔属为主。刘婷婷等^[13]通过研究发现 0~10℃的贮藏条件下,随着贮藏温度升高,猪肉的菌群结构未发生明显改变,但其丰度产生了差异。WANG 等^[14]通过研究用百里香精油壳聚糖纳米乳和百里香酚壳聚糖纳米乳处理的猪肉菌群结构发现,两种纳米乳对假单胞菌属具有一定的抑制作用。目前,关于冷鲜肉细菌多样性的研究较多,但是关于恩施黑猪冷鲜肉真菌多样性及保鲜剂应用的研究则相对较少,故解析恩施黑猪冷鲜肉中真菌的多样性是极为重要的。

本研究以 11 种保鲜剂处理并腐败的恩施黑猪冷鲜肉为研究对象,以浸泡水溶液的黑猪冷鲜肉为对照组,通过高通量测序技术解析其真菌菌群结构,同时探究不同生物保鲜剂对真菌群落结构的影响,以期为后续黑猪冷鲜肉的抑菌和贮藏技术研究提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

恩施黑猪里脊肉(湖北省襄阳市襄城区超市); QIAGEN DNeasy maricon Food Kit 基因组提取试剂盒(德国 QIAGEN 公司); 5×Trans StartTM、FastPfu Buffer、FastPfu Fly DNA Polymerase、脱氧核糖核苷三磷酸 Mix(北京全式金生物技术有限公司); 姜汁、八角茴香油(安徽德威富香精工业有限公司); 丁香油(杭州天艺香精有限公司); 肉桂油(佛山市澳依隆香精香料有限公司); 壳聚糖(青岛弘海生物技术有限公司); 蜂胶(湖北随州鸿发蜂产品有限公司); 溶菌酶(广州新如荣生物科技有限公司); 鱼精蛋白(山东友言生物科技有限公司); 纳他霉素(佳禾食品工业股份有限公司); Nisin(洛阳奇泓生物科技有限公司); ε-聚赖氨酸(山东齐鲁生物科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

Vetiri 梯度基因扩增仪(美国 AB 公司); 5810R 台式高速冷冻离心机(德国 Eppendorf 公司); 2100 芯片生物分析仪(美国 Agilent 公司); ND-2000C 微量紫外分光光度计(美国 Nano Drop 公司); UVPCDS8000 凝胶成像分析系统(美国 BIO-RAD 公司); DYY-12 电泳仪(北京六一仪器厂); HR40-IIB2 生物安全柜(海尔集团电子商务有限公司); MiSeq 高通量测序平台(美国 Illumina 公司); R920 机架式服务器(美国 Dell 公司); AL204 型万分之一电子分析天平(上海梅特勒-托利多仪器有限公司); PGJ-10-AS 纯水仪(武汉品冠仪器设备有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理

保鲜剂配制: 壳聚糖(配制浓度为 0.5%, 下同)、蜂胶(1.5%)、溶菌酶(0.25%)、鱼精蛋白(0.3%)、纳他霉素(0.025%)、Nisin(0.03%)和 ε-聚赖氨酸(0.04%)等保鲜剂直接使用纯水进行溶解。姜汁(10.0%)、丁香油(0.1%)、肉桂油(0.2%)和八角茴香油(7.0%)等保鲜剂则先加入吐温 80 助溶, 而后再加纯水溶解。

恩施黑猪冷鲜肉样品经去除筋、膜和结缔等组织后进行分割, 分割大小为 8 cm×5 cm×2 cm 的块状, 分割完成后分别置于保鲜剂溶液中浸泡 15 s (CK 为对照组, 浸泡纯水溶液), 然后置于无菌采样袋中于 0~4℃条件下贮藏^[15]。经前期研究发现, 冷鲜肉在第 7 d 达到腐败条件(根据 GB/T 9959.2—2008《分割鲜、冻猪瘦肉》确定腐败条件为菌落总数≥10⁶ CFU/g 且挥发性盐基氮≥20 mg/100 g), 故从贮藏第 7 d 开始对其进行菌落总数和挥发性盐基氮的测定。经测定发现, 贮藏第 15 d 的样品菌落总数和挥发性盐基氮含量均已超过标准, 故将贮藏 15 d 的样品用于高通量测序。

1.3.2 基因提取及真菌 ITS 区聚合酶链反应扩增

根据基因组提取试剂盒的方法提取腐败肉样的基因,

并用 1%琼脂糖凝胶电泳检测 DNA 提取效果, 检测合格的基因置于-20°C中保存备用。

参考王玉荣等^[16]的方法进行 ITS 区聚合酶链反应 (polymerase chain reaction, PCR) 扩增, 正向引物为加入 7 个核苷酸通用标签的 SSU0817F (5'-TTAGCATGG AATAATRRRAATAGGA-3'), 反向引物为 SSU1196R (5'-TCTGGACCTGGTGTGATTTCC-3')。PCR 的扩增程序: 95°C预变性 3 min; 95°C变性 30 s, 55°C退火 30 s, 72°C延伸 45 s, 30 次循环; 72°C再延伸 10 min。扩增产物用 2%琼脂糖凝胶电泳进行检测。

1.3.3 高通量测序及生物信息学分析

使用 Illumina MiSeq PE250 检测合格的样品送至上海美吉生物医药科技有限公司, 进行高通量测序, 并对返回数据进行生物信息学分析。参照 HOU 等^[17]和 LIMA 等^[18]的方法使用 QIIME (v1.7.0) 对序列进行拼接和质控; 去除嵌合体后, 分别依据 97%和 100%相似度进行划分同时建立操作分类单元 (operational taxonomic units, OTU)^[19]; 使用 RDP (the Ribosomal Database) 数据库对 OTU 进行分类信

息分析^[20]; 基于 OTU 和物种注释对菌群多样性进行分析。

1.4 数据分析

使用 Origin 8.5 绘制稀释曲线图和香农指数曲线图; 使用 R (v4.1.3) 软件绘制气泡图和菌属相关性图; 使用 SPSS 19 进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 恩施黑猪冷鲜肉的真菌多样性分析

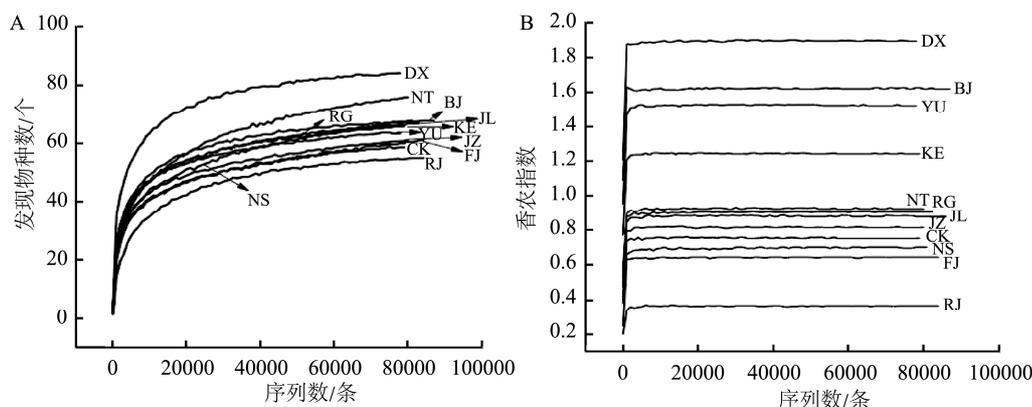
本研究以使用保鲜剂处理的恩施黑猪冷鲜肉为研究对象, 对其真菌多样性进行解析。其中, 测序和分类水平情况如表 1 所示。

由表 1 可知, 12 个冷鲜肉样品共产生 985577 条序列, 平均每个样品 82131 条。根据 100%和 97%相对度归类和嵌合体去除后共得到 108 个 OTU。经数据库比对共得到 2 个门、3 个纲、3 个目、9 个科和 10 个属, 无法鉴定到属水平的有 4.41%。进一步对样品的测序量进行评价, 其结果见图 1。

表 1 恩施黑猪冷鲜肉样品测序结果及各分类水平情况

Table 1 Sequencing results and classification levels of Enshi black pig chilled meat

样品编号	序列数	OTU 数/个	门/个	纲/个	目/个	科/个	属/个
纳他霉素	80329	80323	2	3	3	8	9
丁香油	78153	78144	1	1	1	4	3
肉桂油	83272	83272	1	1	1	3	2
蜂胶	84651	84650	1	1	1	3	2
壳聚糖	79927	79926	1	1	1	3	2
鱼精蛋白	78084	78083	1	1	1	3	2
ϵ -聚赖氨酸	86605	86603	1	1	1	3	2
姜汁	80282	80282	1	1	1	3	2
溶菌酶	84231	84231	1	1	1	3	2
Nisin	81371	81371	1	1	1	3	2
CK	79928	79927	1	1	1	3	2
八角茴香油	88744	88743	1	1	1	3	2



注: JZ 为姜汁; BJ 为八角茴香油; DX 为丁香油; RG 为肉桂油; KE 为壳聚糖; FJ 为蜂胶; RJ 为溶菌酶; YU 为鱼精蛋白; NT 为纳他霉素; NS 为 Nisin; JL 为 ϵ -聚赖氨酸。

图 1 恩施黑猪冷鲜肉菌群稀释曲线(A)和香农指数曲线(B)

Fig.1 Dilution curves (A) and Shannon index curves (B) of Enshi black pig chilled meat

由图 1A 可知,随着测序量的增加,在恩施黑猪冷鲜肉样品中发现的物种数也逐渐增加,但当测序量达到 80000 条的时候,发现物种数的变化逐渐趋于平缓。而香农指数则在测序量达 10000 条左右时达到平衡状态(图 1B)。由此可见,随着测序深度增加,虽被观测到的物种数在逐渐增加,但其物种多样性却没有增加,说明本研究的测序深度已足以满足后续相关分析。

2.2 恩施黑猪冷鲜肉 OTU 分析

花瓣图用来统计样本中共有和独有 OTU 的个数,可直观地展示样本 OTU 的情况,样品中真菌 OTU 数量情况见图 2。

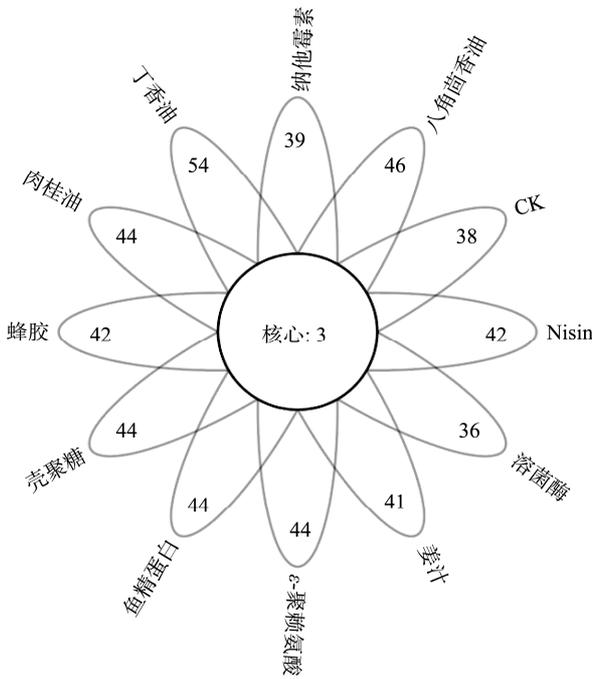


图 2 恩施黑猪冷鲜肉的 OTU 个数分析

Fig.2 Analysis of OTU number of Enshi black pig chilled meat

由图 2 可知,12 个样本中共有 OTU 为 3 个,占 OTU 总数的 2.8%,其中,丁香油处理组的独有 OTU 个数最多,共有 54 个,占 OTU 总数的 50.0%;溶菌酶处理组的独有 OTU 个数最少,为 36 个,占总数的 33.3%。

为便于进一步研究 OTU 的相对含量,本研究将样品中相对含量高于 0.5%的 OTU 定义为核心 OTU,其相对含量分布情况如图 3 所示。

由图 3 可知,核心 OTU 共有 6 个,分别为 OTU69 (0.72%)、OTU67 (0.91%)、OTU34 (1.55%)、OTU22 (2.80%)、OTU19 (4.44%)和 OTU124 (85.83%),累计相对含量达 96.24%,包含绝大多数序列。其中,OTU69、OTU67、OTU22 和 OTU124 均注释为 *Candida*(假丝酵母),而 OTU34 和 OTU19 则为 *Yarrowia*(耶氏酵母),由此说明了恩施黑猪冷鲜肉中主要微生物为假丝酵母和耶氏酵母。

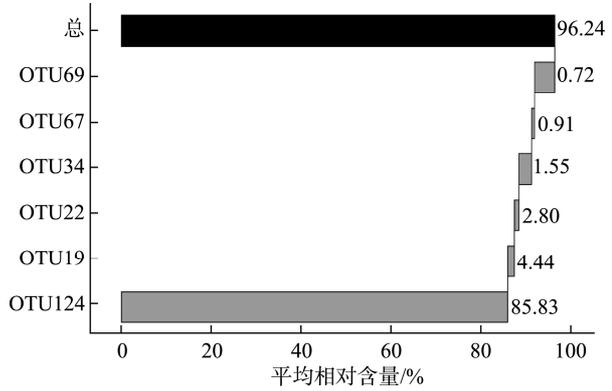


图 3 核心 OTU 相对含量分析

Fig.3 Relative content analysis of core OUT

2.3 恩施黑猪冷鲜肉真菌菌群结构分析

本研究进一步基于门和属水平对其进行分析,其结果如图 4 所示。

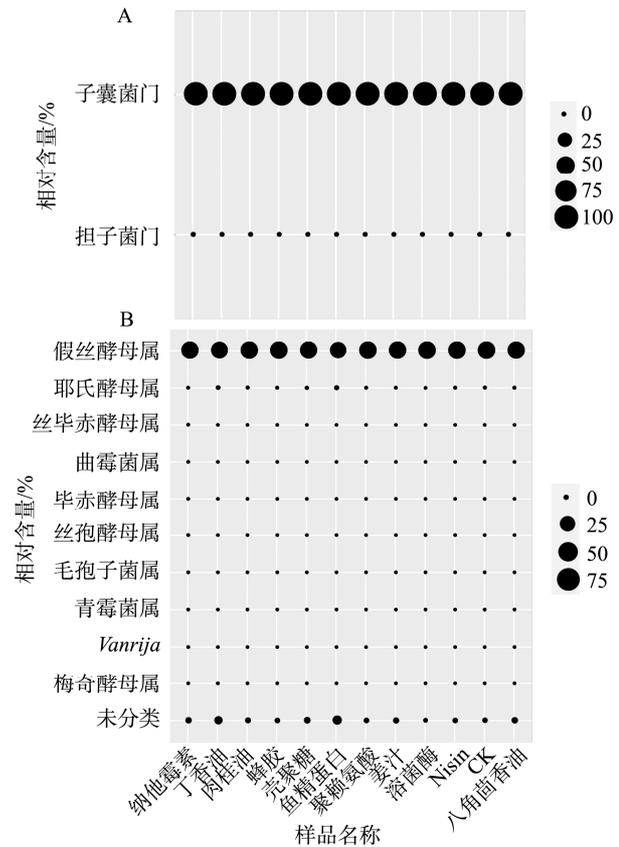


图 4 基于门(A)和属水平(B)真菌菌群结构分析

Fig.4 Analysis of fungal community structure in chilled meat samples based on phylum (A) and genus (B) levels

由图 4A 可知,12 个样品中的真菌门主要为 Ascomycota(子囊菌门)和 Basidiomycota(担子菌门),其中子囊菌门的平均相对含量高达 99.00%以上。由图 4B 可知,

恩施黑猪冷鲜肉中的真菌属主要有 10 种, 分别为 *Candida*(假丝酵母属)、*Yarrowia*(耶氏酵母属)、*Hyphopichia*(丝毕赤酵母属)、*Aspergillus*(曲霉菌属)、*Pichia*(毕赤酵母属)、*Trichosporon*(丝孢酵母属)、*Cutaneotrichosporon*(毛孢子菌属)、*Penicillium*(青霉菌属)、*Vanrija* 和 *Metschnikowia*(梅奇酵母属)。其中所有样品中均存在的菌属为 *Candida* 和 *Yarrowia*, 平均相对含量分别为 95.39% 和 0.20%, 由此说明冷鲜肉样品中的主要真菌属为 *Candida* 和 *Yarrowia*, 这也进一步证实了图 3 结果。假丝酵母是一类发酵能力较弱、能产生假菌丝和不产生子囊孢子的酵母, 多为圆形、卵形或长形, 少数为条件致病菌。部分菌株可利用氨氮化合物, 从而在家禽饲养中起到减少粪便中氨氮含量的作用, 以达到降低污染的目的^[21]。亦有菌株可影响发酵产品的发酵过程, 有研究发现假丝酵母在阻碍啤酒发酵的同时还能产生酚和酯等物质进而降低啤酒的风味品质^[22]。除此之外, 还有研究发现部分菌株可以产生蛋白质、乙醇、异戊醇和芳樟醇等化合物, 进而提升白酒和酱油等产品的风味品质^[23-25]。耶氏酵母属于半子囊菌类非常规酵母, 具有较强的抗逆性, 能耐受低温及酸碱环境, 在自然界中分布广泛, 因其能利用葡萄糖、甘油和醋酸盐等物质, 而被广泛应用于降低发酵的产泡特性、胡萝卜素合成和香料生产等产业中^[26]。研究表明, 耶氏酵母具有快速降低肉制品中水分, 分解肉制品中的蛋白质和脂肪, 为肉制品提供油酸、亚油酸和十五烷酸等游离脂肪酸, 进而提升肉制品的风味等作用^[27-28]。虽 *Candida* 可能对食品风味的提升具有一定作用, 但是对于冷鲜肉来说, 一些发酵风味的增加是不可接受的。例如, 有研究表明, 星形假丝酵母可产生乳酸丙酯、丁酸乙酯和辛酸乙酯等具有果香和奶酪香味物质, 赋予食品更多的风味^[29]。但据 GB 2707—2016《食品安全国家标准 鲜冻畜、禽产品》相关规定, 果香和奶酪等香味对冷鲜肉来说属于异味。

虽然 12 个样品中 *Candida* 均为主要的优势菌属, 但丁香油和鱼精蛋白两个处理组的假丝酵母相对含量均低于 85%, 其余处理组中均高于 95%, 由此说明, 丁香油和鱼精蛋白对 *Candida* 具有一定的抑制效果。此外, 纳他霉素处理组的菌群结构较其他组相对丰富, *Candida*、*Yarrowia*、*Hyphopichia*、*Aspergillus* 和 *Pichia* 等 10 种菌属在其中均有检出, 但除了假丝酵母外, 其余菌株的相对含量均较低。

2.4 恩施黑猪冷鲜肉中菌属 β 多样性分析

欧氏距离作为常用的距离度量指标之一, 能简单反映样品间的直线距离。本研究为分析 12 个组间差异, 选择欧氏距离作为度量评价组间距离, 结果如图 5 所示。

由图 5 可知, 第一主成分的方差贡献率为 86.52%, 第二主成分的方差贡献率为 12.19%, 总方差贡献率达

98.71%。此外, 丁香油和鱼精蛋白两处理组间的直线距离较近, 溶菌酶、蜂胶和 Nisin 等 9 组间的直线距离较近, 而八角茴香油则离以上组均较远。这说明丁香油和鱼精蛋白两组的真菌群落结构相似, 溶菌酶和蜂胶等 9 组的真菌群落结构相似。经 Monte Carlo 检验发现, 溶菌酶、蜂胶等 9 组和丁香油、鱼精蛋白两组具有显著性差异($P < 0.05$), 和八角茴香油组则为极显著差异($P < 0.01$)。由此也进一步验证了图 4B 的结论, 丁香油和鱼精蛋白可影响恩施黑猪冷鲜肉的真菌群落结构。

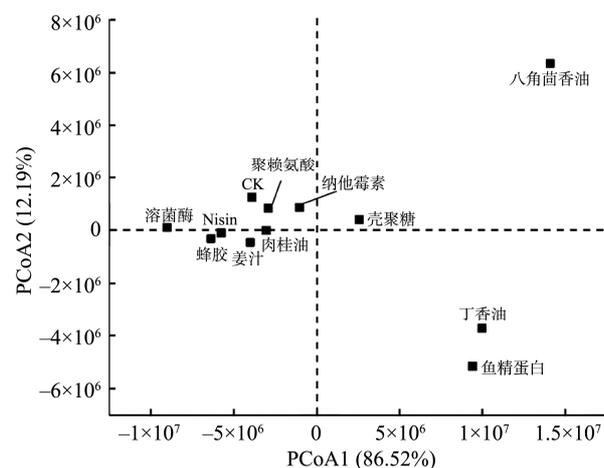


图 5 基于欧氏距离的恩施黑猪冷鲜肉真菌 β 多样性分析
Fig.5 β diversity analysis of fungi in Enshi black pig chilled meat based on Euclidean distance

3 讨论与结论

本研究通过高通量测序技术解析不同保鲜剂处理恩施黑猪冷鲜肉的真菌多样性, 研究发现腐败恩施黑猪冷鲜肉中主要真菌菌属为假丝酵母和耶氏酵母。保鲜剂研究发现, 丁香油和鱼精蛋白对假丝酵母具有一定抑制作用。

丁香油是一种提取自丁香的保鲜剂, 具有广谱、高效的抑菌活性, 目前关于其开展的相关性研究较多, 有研究表明其能有效地抑制鱼肉中的优势菌, 同时降低鱼肉产品的脂质氧化产物, 是一种具有潜力的天然防腐保鲜剂^[30-32]。鱼精蛋白作为一种提自鱼类精巢的抗菌肽, 其具有广谱和功能性抑菌活性, 是一种安全性高的天然保鲜剂, 有研究发现其对细菌、真菌和酵母均有一定的抑制效果, 是一种新型的天然保鲜剂, 其复配剂可较好地延长香肠和水产品等贮藏期^[33-34]。但目前关于其抑菌机制还需进一步的探究。微生物作为影响肉类产品贮藏期的主要因素, 了解其在肉类产品中的结构能为保鲜方法选择提供依据, 本研究就植物源、动物源和微生物源共 11 种保鲜剂进行研究, 拟为后续冷鲜肉的保鲜剂贮藏技术研究提供一定的理论依据。

参考文献

- [1] 庄齐斌, 郑晓春, 杨德勇, 等. 基于高光谱反射特性的猪肉新鲜度和腐败程度的对比分析[J]. 食品科学, 2021, 42(16): 254-260.
ZHUANG QB, ZHENG XC, YANG DY, *et al.* Comparative analysis of pork freshness and spoilage based on hyperspectral reflection characteristics [J]. Food Sci, 2021, 42(16): 254-260.
- [2] CHEN L, NIU X, FAN X, *et al.* Highly absorbent antibacterial chitosan-based aerogels for shelf-life extension of fresh pork [J]. Food Control, 2022, 136(6): 136-145.
- [3] 彭佳程. 冷鲜肉品质安全控制技术的研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2014.
PENG JC. Study on the technology of quality and safety control of chilled meat [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2014.
- [4] BAEK I, LEE H, CHO B, *et al.* Shortwave infrared hyperspectral imaging system coupled with multivariable method for TVB-N measurement in pork [J]. Food Control, 2021, 124(10): 107854.
- [5] 黄小龙. 冰鲜鸡肉腐败优势菌群及其化学抑菌剂的研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2017.
HUANG XL. The ice fresh chicken corruption advantage bacterium group and chemical bacteriostatic agent research [D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2017.
- [6] 王树庆, 范维江, 郭风军. 冷鲜猪肉新鲜度检测的特征性化合物[J]. 食品工业, 2015, 36(11): 40-42.
WANG SQ, FAN WJ, GUO FJ. The characteristic compounds of freshness of chilled pork [J]. Food Ind, 2015, 36(11): 40-42.
- [7] 崔欣悦, 任虹, 安磊. 植物源保鲜剂的研究进展[J]. 中国调味品, 2014, 39(9): 138-140.
CUI XY, REN H, AN L. Research progress of botanical natural food preservatives [J]. China Cond, 2014, 39(9): 138-140.
- [8] 魏子翔, 李兰杰, 张静静, 等. 肉类生物保鲜剂应用现状及前景[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(15): 219-224.
WEI ZX, LI LJ, ZHANG JJ, *et al.* Current application situations and prospects of meat biological preservatives [J]. Food Res Dev, 2020, 41(15): 219-224.
- [9] 李丹丹, 郑丽, 刘雨晗, 等. 猪肉生物保鲜技术研究进展[J]. 肉类研究, 2020, 34(11): 98-105.
LI DD, ZHENG L, LIU YH, *et al.* Recent progress in pork biopreservation technologies [J]. Meat Res, 2020, 34(11): 98-105.
- [10] 尹梦迪, 黄永震, 王周利, 等. 高通量转录组测序技术在猪肉品质研究中的应用进展[J]. 中国畜牧杂志, 2018, 54(2): 8-14.
YIN MD, HUANG YZ, WANG ZL, *et al.* Research progress on application of transcriptome sequencing techniques in pork quality [J]. China J Anim Husband, 2018, 54(2): 8-14.
- [11] 王新惠, 孙劲松, 赵芮, 等. 冷鲜猪肉贮藏过程中细菌群落结构演替规律分析[J]. 中国食品学报, 2021, 21(9): 233-240.
WANG XH, SUN JS, ZHAO R, *et al.* Analysis of the succession of bacterial community structure of chilled pork during storage [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2021, 21(9): 233-240.
- [12] 车丽娜, 赵良忠, 周晓洁. 基于高通量测序分析湘派卤牛肉冷藏过程中真菌多样性[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(4): 127-136.
CHE LN, ZHAO LZ, ZHOU XJ. High-throughput sequencing analysis of fungal diversity in Xiangpai dried beef during cold storage [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(4): 127-136.
- [13] 刘婷婷, 岳琪琪, 张毅, 等. 不同环境温度对冷鲜肉品质及菌群多样性影响[J]. 食品科技, 2021, 46(9): 116-123.
LIU TT, YUE QQ, ZHANG Y, *et al.* Effects of different environmental temperatures on quality and microbial diversity of chilled pork [J]. Food Sci Technol, 2021, 46(9): 116-123.
- [14] WANG L, LIU T, LIU L, *et al.* Impacts of chitosan nanoemulsions with thymol or thyme essential oil on volatile compounds and microbial diversity of refrigerated pork meat [J]. Meat Sci, 2021, 185(4): 108706.
- [15] 韩千慧, 岳琪琪, 吴忌, 等. 曲酸对冷鲜肉肉腐败微生物致腐能力的影响研究[J]. 食品科技, 2020, 45(4): 344-350.
HAN QH, YUE QQ, WU J, *et al.* Effect of kojic acid on spoilage ability of spoilage bacteria in chilled duck meat [J]. Food Sci Technol, 2020, 45(4): 344-350.
- [16] 王玉荣, 折米娜, 刘康玲, 等. 内蒙古鄂尔多斯地区酸粥真菌多样性研究[J]. 中国酿造, 2018, 37(8): 50-55.
WANG YR, SHE MN, LIU KL, *et al.* Fungal diversity in acidic-gruel from ordos area of inner Mongolia [J]. China Brew, 2018, 37(8): 50-55.
- [17] HOU QC, WANG YR, CAI WC, *et al.* Metagenomic and physicochemical analyses reveal microbial community and functional differences between three types of low-temperature Daqu [J]. Food Res Int, 2022, 156(1): 1-11.
- [18] LIMA J, MANNING T, RUTHERFORD KM, *et al.* Taxonomic annotation of 16S rRNA sequences of pig intestinal samples using MG-RAST and QIIME2 generated different microbiota compositions [J]. J Microbiol Method, 2021, 186(1): 1-12.
- [19] WEI ZG, ZHANG XD, CAO M, *et al.* Comparison of methods for picking the operational taxonomic units from amplicon sequences [J]. Front Microbiol, 2021, 12(4): 1-16.
- [20] LEE JK, PIERCE AR, SAMIR VD, *et al.* A ribosomal operon database and MegaBLAST settings for strain-level resolution of microbiomes [J]. FEMS Microbes, 2022, 3(1): 1-9.
- [21] 司彦培, 刘国华, 蔡辉益, 等. 克鲁假丝酵母对肉鸡生长性能、免疫功能、血液指标及粪尿除臭的影响[J]. 动物营养学报, 2016, 28(7): 2228-2234.
SI YP, LIU GH, CAI HY, *et al.* Effects of *Candida krusei* on growth performance, immune function, blood indices and manure deodorization of broilers [J]. Chin J Anim Nutr, 2016, 28(7): 2228-2234.
- [22] 马洁. 假丝酵母对啤酒及无酒精饮料的危害[J]. 现代食品, 2016, 18(12): 43-45.
MA J. *Candida* yeast in beer and non-alcoholic beverages harm [J]. Mod

- Food, 2016, 18(12): 43–45.
- [23] 韩冉, 张玲玲, 黄文焯, 等. 假丝酵母的添加对高盐稀态酱油有机酸含量影响[J]. 中国调味品, 2021, 46(5): 5–9.
- HAN R, ZHANG LL, HUANG WY, *et al.* Effect of the addition of *Candida* on the content of organic acids in high-salt liquid-state soy sauce [J]. China Cond, 2021, 46(5): 5–9.
- [24] 张建敏, 杨康卓, 刘芳, 等. 一株产香假丝酵母的筛选及其特征代谢风味物质分析[J]. 酿酒科技, 2020, 12(6): 34–37, 43.
- ZHANG JM, YANG KZ, LIU F, *et al.* Isolation of an aroma-producing *Candida pseudohumilis* strain and analysis of its typical flavoring metabolites [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2020, 12(6): 34–37, 43.
- [25] 石黎琳, 牟方婷, 李安, 等. 基于高通量测序技术分析腐乳自然发酵过程微生物多样性[J]. 中国酿造, 2021, 40(2): 144–149.
- SHI LL, MOU FT, LI AN, *et al.* Analysis of microbial diversity in sufu during natural fermentation using high-throughput sequencing technology [J]. China Brew, 2021, 40(2): 144–149.
- [26] GB A, GM A, RKBA B, *et al.* Production of human milk fat substitute by engineered strains of *Yarrowia lipolytica* [J]. Metab Eng Commun, 2022, 14(6): 1–10.
- [27] ZHONG A, CHEN W, DUAN Y, *et al.* The potential correlation between microbial communities and flavors in traditional fermented sour meat [J]. LWT-Food Sci Technol, 2021, 6(1): 1–15.
- [28] PATRIGNANI F, VANNINI L, GARDINI F, *et al.* Variability of the lipolytic activity in *Yarrowia lipolytica* strains in pork fat [J]. Meat Sci, 2011, 88(4): 689–693.
- [29] 刘文翰, 王斌, 姬茹婕, 等. 星形假丝酵母在强化赤霞珠葡萄酒玫瑰香气中的应用[J]. 中国酿造, 2021, 40(12): 45–51.
- LIU WH, WANG B, JI RJ, *et al.* Application of *Candida astrulatum* in enhancing the rose aroma of Cabernet Sauvignon wine [J]. China Brew, 2021, 40(12): 45–51.
- [30] BEN HD, KAMMOUN EES, RAHMANI R, *et al.* Clove buds essential oil: The impact of grinding on the chemical composition and its biological activities involved in consumer's health security [J]. BioMed Res Int, 2021, 4(8): 1–11.
- [31] EMIR CÖ, TUNA KG. Qualitative improvement of catfish burger using *Zataria multiflora* Boiss. essential oil [J]. J Food Meas Charact, 2017, 11(2): 530–537.
- [32] GÓMEZ-ESTACA J, LÓPEZ DLA, LÓPEZ-CABALLERO ME, *et al.* Biodegradable gelatin-chitosan films incorporated with essential oils as antimicrobial agents for fish preservation [J]. Food Microbiol, 2010, 27(7): 889–896.
- [33] 张青. 鱼精蛋白的抑菌特性及作为食品抑菌剂的应用[J]. 食品工业, 2022, 43(12): 253–257.
- ZHANG Q. Antibacterial properties of protamine and its application as food preservative [J]. Food Ind, 2022, 43(12): 253–257.
- [34] SEKOVA V, BOBROVA E, ISAKOVA E, *et al.* The antioxidant enzymes activity from the poly-extromophilic *Yarrowia lipolytica* yeast under oxidative stress during long-lasting cultivation [J]. Bull Sci Pract, 2020, 6(12): 23–35.

(责任编辑: 张晓寒 郑 丽)

作者简介



杨江, 硕士研究生, 主要研究方向为肉制品加工与质量控制技术。
E-mail: 2017746369@qq.com



王海滨, 博士, 教授, 主要研究方向为肉制品加工与质量控制技术。
E-mail: whb6412@163.com