不同贮藏温度下稻花鸡肉的品质及细菌组成多样性变化

刘梦竹[1,2,3]，向蓉[2]，魏琦麟[2]，康桦华[2]，涂杜[2]，田雅[2]，吴俊仪[2]，徐志宏[1,2,3*]

（1.岭南现代农业科学与技术广东省实验室肇庆分中心,广东肇庆 526238）

（2.广东省农业科学院动物卫生研究所,农业农村部兽用药物与诊断技术广东科学观测实验站,广东省畜禽疫病防治研究重点实验室,广东广州 510640）（3.华中农业大学食品科学技术学院，湖北武汉 430070）

摘要：本文研究了 25 ℃常温、4 ℃冷藏、0 ℃冰温贮藏下稻花鸡肉 pH 值、水分含量、菌落总数、挥发性盐基氮（Total Volatile Basic Nitrogen，TVB-N）及感官评价；基于 16S rRNA，研究货架期前后鸡肉细菌群落结构、演替规律及相对丰度。结果表明：结果表明：25 ℃常温 12 h 菌落总数和 TVB-N 均超过国家标准规定，水分含量和 pH 第 12 h 后变化趋势极大；4 ℃冷藏 4 d 菌落总数超过国家标准规定，TVB-N 为 13.64 mg/100 g，水分含量和 pH 第 4 天后均呈显著性差异；0 ℃冰温 8 d 菌落总数为 8.90×10^5 CFU/g，未超过国家标准规定，但 TVB-N 为 15.25 mg/100 g，超过国标限值，水分含量和 pH 第 8 天后变化趋势极大。综合各品质指标，三种贮藏温度下货架期分别为 12 h、4 d、8 d，感官评分均在可接受范围内。25 ℃贮藏末期以不动杆菌属、沙雷氏菌属、多源菌属、泛菌属、肠杆菌科未分类属细菌为主。4 ℃与 0 ℃贮藏末期优势腐败菌均以假单胞菌属、不动杆菌属、沙雷氏菌属、肠杆菌科未分类属为主，但丰度占比有较大差异。不同贮藏温度下稻花鸡肉品质、货架期及细菌群落多样性为研究延长鸡肉保鲜提供相应的理论参考。

关键词：稻花鸡肉；贮藏温度；菌群多样性；高通量测序；优势腐败菌；品质；货架期

文章编号：1673-9078(2023)08-112-123 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.8.1034

Changes in Quality and Bacterial Composition Diversity of Daohua Chicken Stored at Different Temperatures

LIU Mengzhu[1,2,3], XIANG Rong[2], WEI Qiling[2], KANG Huahua[2], TU Du[2], TIAN YA[2], WU Junyi[2], XU Zhihong[1,2,3*]

(1.Zhaoqing Branch, Guangdong Laboratory for Lingnan Modern Agriculture, Zhaoqing 526238, China) (2.Institute of Animal Health, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Scientific Observation and Experiment Station of Veterinary Drugs and Diagnostic Techniques of Guangdong Province, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P.R.China, Key Laboratory of Livestock Disease Prevention of Guangdong Province, Guangzhou 510640, China)

(3.College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural Univercity, Wuhan 430070, China)

Abstract: The pH value, water content, total bacterial count, total volatile basic nitrogen (TVB-N) and sensory score of Daohua chicken meat were studied during the storage at 25 ℃ room temperature, 4 ℃ (cold storage) and 0 ℃ (ice temperature storage). Based on 16S rRNA, the bacterial community structure, succession and relative abundance of chicken meat before and after the shelf life were studied. The results showed that the total number of colonies and TVB-N exceeded the national standard for 12 h at 25 ℃, and the change trend of water content and pH was great after 12 h. The total number of colonies at 4 ℃ for 4 days exceeded the national standard, TVB-N was 13.64 mg/100 g, and the water content and pH showed significant differences after 4 days. The total number of colonies at 8 days of 0 ℃ ice temperature was 8.90×10^5 CFU/g, which did not exceed the national standard, but the TVB-N was 15.25 mg/100 g, which exceeded the national standard limit.

引文格式：

刘梦竹,向蓉,魏琦麟,等.不同贮藏温度下稻花鸡肉的品质及细菌组成多样性变化[J].现代食品科技,2023,39(8):112-123

LIU Mengzhu, XIANG Rong, WEI Qiling, et al. Changes in quality and bacterial composition diversity of daohua chicken stored at different temperatures [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(8): 112-123

收稿日期：2022-08-18

基金项目：广东省科技计划项目（2019B020217002；2019B020225001；2021B1212050021）；广东省现代农业产业园项目（GDSCYY2021-024）；广东省农业科学院学科团队建设（202122TD）

作者简介：刘梦竹（1994-），女，硕士，研究方向：食品加工与安全，E-mail：1824924342@qq.com

通讯作者：徐志宏（1965-），男，硕士，研究员，研究方向：兽医食品卫生，E-mail：xuzhihong@gdaas.com

The moisture content and pH showed a great change trend after 8 days. According to the quality indexes, the shelf life of the three storage temperatures was 12 h, 4 d and 8 d, respectively, and the sensory scores were all within the acceptable range. At the end of storage at 25 ℃, *Acinetobacter*, *Serratia,* multisource bacteria, panomycete and unclassified Enterobacteriaceae were the dominant species. The dominant spoilage bacteria at the end of the storages at 4 ℃ and 0 ℃ were mainly *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Serratia* and Enterobacteriaceae, though the abundance ratios differed significantly. The results of the quality, shelf life and bacterial community diversity of Daohua chicken meat stored at different temperatures provide corresponding theoretical references for the study of chicken meat preservation.

Key words: Daohua chicken; storage temperature; microbial diversity; high-throughput sequencing; dominant putrefying bacteria; quality; the shelf life

稻花鸡又名雪花鸡，属灵山彩凤鸡种，因其耐寒性较差，适合在南方养殖，在广东江门五邑、广西等地养殖较多。稻花鸡是用灵山香鸡与野鸡经过 30 多年杂交驯化而成的品种，白色羽毛间夹杂着一些黑色的斑点，在鸡群中的辨识度很高，公鸡 28 日龄左右开始开啼，80~90 日龄性成熟，150~170 日龄体成熟，体质量 1.30~1.60 kg，母鸡 140~150 日龄体成熟，体质量 1.00~1.20 kg，脂肪含量低，肌肉组织发达[1]，煮熟后皮脆，脂肪少，吃起来口感细腻，鸡味浓郁，是广东地区制作白切鸡菜肴的重要原料，市场销售量也日趋增大[2]。广东等南方省份习惯用热鲜鸡肉制作食品，但在生鲜鸡上市的政策下，有关不同贮藏温度下品质研究较少，贮藏期微生物的组成与变化未见研究报道。

鸡肉在加工、运输、贮藏及销售等环节中保持良好品质和防止其腐败变质的因素备受关注[3]，贮藏时间、贮藏温度、包装气体组成是影响肉制品腐败变质主要因素[4-6]，直接导致食品腐败变质的微生物即腐败菌是影响肉制品腐败变质的根本因素[7,8]。食品中微生物通过相互竞争或协同作用等种群关系对食品腐败变质产生至关重要的影响[9]，鸡肉中微生物多样性变化是探索其腐败变质的重要方法和途径[10,11]。基于 16S rRNA 的高通量测序[12-15]，变性梯度凝胶电泳（DGCE）[16]和基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱法（MALDI-TOF-MS）[17]等技术在研究微生物多样性中得到广泛应用，其中高通量测序具有测样品量大，工作流程集约化、用时短、可检测尚未培养的细菌、可检测微生物群落特征、能对微生物进行功能分析等特点[18,19]，在研究食品腐败微生物变化规律中得到广泛应用[20]。宋相宇等[21]采用高通量测序技术对不同包装方式和贮藏温度下白切鸡优势腐败微生物进行了研究，得出在不同贮藏方式下优势腐败微生物有显著差异性。丛筠格等[12]通过高通量测序分析出德州扒鸡的优势腐败菌，针对优势腐败菌的抑制效果筛选保鲜剂。高通量测序技术检测到的菌属更具多样性，可检测出对环境要求苛刻且丰度低的微生物，能有效弥补传统培养基对腐败菌鉴定方法的不足之处，能为研究肉制品优势腐败菌群变化以及研究鸡肉贮藏保鲜技术提供技术支持。

因此，本文以新鲜稻花鸡为研究对象，研究鸡肉在三种不同贮藏温度下的货架期及品质变化。基于 16S rRNA 高通量测序方法，研究鸡肉在贮藏初期，腐败期及腐败后期微生物组成变化情况，探究影响鸡肉腐败变质的优势腐败菌及腐败过程中微生物变化规律，为研究稻花鸡肉贮藏保鲜技术提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

生鲜稻花鸡，购于恩平兴宇生态农业有限公司。生鲜托盘，购于桐城市阳光塑业有限公司。聚乙烯保鲜膜，佳能食品级保鲜膜 25 m×20 cm。550 mL 瓶装饮用水，购于农夫山泉股份有限公司。黑麦面包、橡皮糖、花生粘糖、鲜柠檬、纸杯子、塑料杯等，购于家乐福超市。平板计数琼脂，购于广东环凯生物科技有限公司。分析纯氯化钠，购于广州化学试剂厂。分析纯氧化镁、硼酸、盐酸、氢氧化钠、乙醇、甲基红指示剂等，购于国药集团化学试剂有限公司。DNA 抽提试剂盒，购于 FastDNA® Spin Kit for Soil 美国 MP Biomedicals 公司。

1.2 仪器与设备

FJ300-SH 均质机，上海标本模型厂；DHG-9042A 电热鼓风干燥箱，上海一恒科学仪器有限公司；ALC-210.4 电子分析天平，赛多利斯爱科勒公司；PB-10 pH 计，广州市深华生物技术有限公司；LRH 生化培养箱，上海一恒科学仪器有限公司；SW-CJ-1F 超净工作台，苏州安泰空气技术有限公司；K8400 自动凯氏定氮仪，瑞典福斯公司；Eppendorf N13462C 移液器，德国 Eppendorf 公司；Eppendorf 5424 高速台式离心机，德国 Eppendorf 公司；DYY-6C 电泳仪，北京市六一仪器厂；ABI GeneAmp®9700PCR 仪，美国 ABI 公司；Illumina Miseq 测序仪，美国 Illumina 公司；K 型热电偶、LK-1048U 多路温度巡检仪，常

州市蓝光电子有限公司；GQZ60-02XG控温型保鲜箱，天津捷胜东辉保鲜科技有限公司定制；HWS 智能型恒温箱，宁波江南仪器厂制造；5Q6892 威玛德温湿度检测仪，广州威德玛环境仪器有限公司。

1.3 实验方法

购买于恩平兴宇生态农业有限公司的稻花鸡为当天凌晨屠宰的生鲜稻花鸡，均已度过僵直期，预先消毒托盘覆盖包装，外包装酒精消毒后迅速放入超净台中，用灭菌后的手术刀无菌分割取完整鸡胸和鸡腿肉，每个预先消毒的生鲜托盘放置一块完整鸡胸肉和一只鸡腿，用保鲜膜覆盖托盘包装[22]。将包装后的 3 份样品用于冰点测定，22 份鸡肉样品置于 25 ℃常温保存，30 份鸡肉样品置于 4 ℃冷藏保鲜，通过冰点测定实验得知，稻花鸡胸肉和鸡腿肉的冰点分别为-0.7 ℃和-0.5 ℃，40 份样品冰温贮藏在定制的控温型保鲜箱中，经温湿度仪测定其温度在 0 ℃至-0.5 ℃之间波动，确保稻花鸡肉保持冰温贮藏。

1.3.1 样品采集

1.3.1.1 25 ℃常温保存

0、0.50、1、1.5、2、3 d 取鸡胸肉与鸡腿肉 1:1 混合样本测定 pH 值、水分含量、菌落总数、挥发性盐基氮，一个托盘里完整生鲜鸡胸肉和鸡腿作为一份生鸡肉感官评定样本，每份鸡胸肉和鸡腿肉加 500 mL 纯净水煮 12 min 待温度降到 45 ℃作为熟鸡肉感官评定样本。根据货架期选 0、0.50、2 d 即贮藏初期、腐败期、腐败后期进行 16S rRNA 高通量测序，试验周期 3 d。

1.3.1.2 4 ℃冷藏保鲜

0、0.50、1、1.5、2、3、4、6、10 d 取鸡胸肉与鸡腿肉 1:1 混合样本进行 pH 值、水分含量、菌落总数、挥发性盐基氮实验，一个托盘里完整生鲜鸡胸肉和鸡腿作为一份生鸡肉感官评定样本，每份鸡胸肉和鸡腿肉加 500 mL 纯净水煮 12 min 待温度降到 45 ℃作为熟鸡肉感官评定样本。根据货架期选 0、4、8 d 即贮藏初期、腐败期、腐败后期进行 16S rRNA 高通量测序，试验周期 10 d。

1.3.1.3 0 ℃冰温贮藏

0、0.50、1、1.5、2、3、4、6、10、12、14、16 d 取鸡胸肉与鸡腿肉 1:1 混合样本进行 pH 值、水分含量、菌落总数、挥发性盐基氮实验，一个托盘里完整生鲜鸡胸肉和鸡腿作为一份生鸡肉感官评定样本，每份鸡胸肉和鸡腿肉加 500 mL 纯净水煮 12 min 待温度降到 45 ℃作为熟鸡肉感官评定样本。根据货架期选 0、8、16 d 即贮藏初期、腐败期、腐败后期进行 16S rRNA 高通量测序，试验周期 16 d。

1.3.2 稻花鸡肉冰点的测定

参照谢菲菲[23]的方法稍作修改，将鸡胸肉和鸡腿肉分别切成 2 cm×2 cm×1 cm 的肉块，K 型热电偶探头插入肉块的深度约 0.5 cm，托盘盛装放到-5 ℃恒温恒湿培养箱中降温，开启多路温度巡检仪测定并记录温度变化，读数精准度为 0.1 ℃，每 1 s 记录一次数据，鸡胸和鸡腿肉分别测定三次取平均值。

1.3.3 pH 值的测定

参考 GB 5009.237-2016《食品安全国家标准食品 pH 值的测定》。

1.3.4 水分含量的测定

参考 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》中直接干燥法。

1.3.5 细菌总数测定

参考 GB 4789.2-2016《食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数》。

1.3.6 挥发性盐基氮（TVB-N）测定

参考 GB 5009.228-2016《食品安全国家标准食品中挥发性盐基氮的自动凯氏定氮仪法》。

1.3.7 感官评价

参考 GB/T 16860-1997《感官分析方法质地剖面检验》和 GB/T 16291.1-2012《感官分析选拔、培训与管理评价员一般导则第 1 部分：优选评价员》中内部招募方式，招募 30 人组建候选评价小组，进行评定选拔和培训出 10 名优选评价员参与本实验感官评价。参考 GB/T 22210-2008《肉与肉制品感官评定规范》和 GB 2707-2016《食品安全国家标准鲜（冻）畜、禽产品》等方法进行感官评价试验。采用九点评分法进行生鸡肉和熟鸡肉评分，生鸡肉从色泽、气味、弹性三方面进行评分，各权重系数分别为 15%、20%、15%，熟鸡肉从香味、滋味、咀嚼型三方面进行评分、各权重系数分别为 15%、20%、15%。分别对鸡胸和鸡腿肉进行评分，最后将鸡胸肉和鸡腿肉感官评分之和作为每一份稻花鸡样本最终感官评分，感官评分表见表 1 和表 2。

1.3.8 微生物多样性分析

（1）总 DNA 提取和检测：FastDNA® Spin Kit for Soil DNA 提取试剂盒。

（2）PCR 扩增：16S rDNA V3-V4 区扩增上游引物 338F：ACTCCTACGGGAGGCAGCAG。

下游引物 806R：GGACTACHVGGGTWTCTAAT。PCR 反应体系为：4 μL 5×FastPfu Buffer、2 μL 2.50 mmol/L dNTPs、0.80 μL Forward Primer（5 μmol/L）、0.40 μL FastPfu Polymerase、0.20 μL

BSA、10 ng Template DNA，补 ddH_2O 至 20 μL。反应参数：95 ℃预变性 3 min；循环 27×95 ℃变性 30 s；55 ℃退火 30 s；72 ℃延伸 45 s；72 ℃延伸 10 min，10 ℃保持。

（3）PCR 产物鉴定、纯化及定量：样本 3 个 PCR 重复，将重复的 PCR 产物混合，使用 2%琼脂糖凝胶电泳检测产物。使用 AxyPrep DNA Gel Extraction Kit 纯化 PCR 产物，将 PCR 产物用 Quantus™ Fluorometer 进行检测定量。

（4）构建 PE 文库及 Illumina 测序：使用 NEXTFLEX®Rapid DNA-Seq Kit 进行建库，利用 Illumina 公司的 Miseq PE300/NovaSeq PE250 平台进行测序（上海美吉生物医药科技有限公司）。

（5）数据分析：依托上海美吉生物医药科技有限公司提供的美吉生信云平台进行数据分析（www.majorbio.com）。

1.4 数据处理与分析

通过 Microsoft Office Excel 2010 软件、SPSS 19.0 软件进行数据处理和统计分析，采用 Prism 软件作图。微生物多样性分析依托上海美吉生物医药科技有限公司提供的美吉生信云平台进行数据分析（www.majorbio.com）。

表 1 鸡胸肉感官评分

Table 1 Sensory score of chicken breast

	分值	1~3	4~6	7~9
生鸡胸肉感官评分	色泽（0.15）	鸡肉呈现黄白色，毫无光泽	鸡肉呈现粉白色，几乎无光泽，发暗	鸡胸肉呈现粉红色，有光泽。
	气味（0.2）	几乎无鸡的味道，有令人不愉快的腥臭味	略有鸡的腥味、金属味严重	具有鸡正常的腥味、略有金属味
	弹性（0.15） 食指按压鸡肉，到指甲一半，松开手，3 min 看恢复状态和程度。	手指按压后恢复较慢（能恢复 0~1/3）	手指按压后恢复较慢（能恢复 1/3~2/3）	手指按压后恢复快（能恢复 2/3~1）
熟鸡胸肉感官评分（无法食用 1 分）	香味（0.15）	无肉香味，腥臭味浓郁	肉香味甜香但不浓郁持久	肉香味浓郁香甜
	滋味（0.2）	无鸡肉味，鸡汤无香甜味	鸡肉味清淡，鸡汤略带香甜	鸡肉味浓郁，鸡汤香甜可口
	咀嚼性（0.15）	鸡肉软粘无嚼劲	鸡肉偏软略带嚼劲	肉质有弹性，嚼劲好

表 2 鸡腿肉感官评分

Table 2 Sensory score of chicken thigh meat

	分值	1~3	4~6	7~9
生鸡腿肉感官评分	色泽（0.15）	鸡肉呈现褐色，毫无光泽	鸡肉呈现红褐色，几乎无光泽，发暗	鸡肉呈现鲜樱桃红色，有光泽。
	气味（0.2）	几乎无鸡的味道，有令人不愉快的腥臭味道	略有鸡的腥味、金属味	具有鸡正常的腥味、金属味
	弹性（0.15） 食指按压鸡肉，到指甲一半，松开手，3 min 看恢复状态和程度。	手指按压后恢复较慢（能恢复 0~1/3）	手指按压后恢复较慢（能恢复 1/3~2/3）	手指按压后恢复快(能恢复 2/3~1)
熟鸡腿肉感官评分（无法食用 1 分）	香味（0.15）	无肉香味较，腥臭味浓郁	肉香味甜香但不浓郁持久，	肉香味浓郁香甜
	滋味（0.2）	无鸡肉味，鸡汤无香甜味	鸡肉味清淡，鸡汤略带香甜	鸡肉味浓郁，鸡汤香甜可口
	咀嚼性（0.15）	鸡肉软粘无嚼劲	鸡肉偏软略带嚼劲	肉质有弹性，嚼劲好

2 结果与讨论

2.1 稻花鸡肉冰点的测定结果

如图 1 所示，稻花鸡胸肉和鸡腿肉的降温曲线均呈现先下降后上升再下降的变化趋势，当鸡肉的温度降到冰点时没有即刻冻结，而是轻微升温后再下降，直至终温。鸡肉降温至过冷点时需要跨越一个能量栅栏，形成晶核，释放潜热，导致鸡肉温度回升至冰点，开始形成冰晶体。稻花鸡胸肉的冰点温度为-0.7 ℃，过冷点温度为-1.5 ℃，稻花鸡腿肉冰点温度为-0.5 ℃，过冷点温度为-1.1 ℃。鸡胸肉与鸡腿肉的冰点和过冷点均不相同，这是因为鸡胸肉与鸡腿肉的水分含量，脂肪，蛋白质等营养成分存在差异，因此不同部位其冰点和过冷点也有所差异[23-26]。

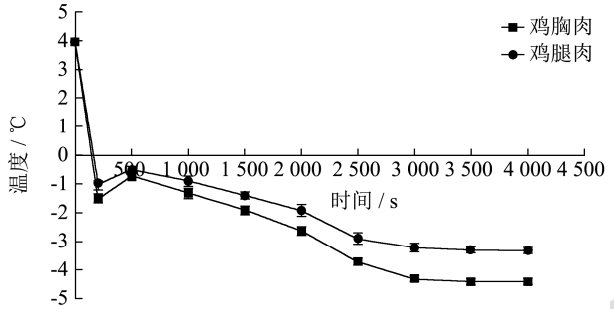

图 1 稻花鸡肉降温曲线

Fig.1 Temperature drop curve of Daohua chicken

2.2 不同贮藏温度下稻花鸡肉 pH 值变化

pH 值可以直接影响鸡肉的颜色、嫩度、蒸煮时间的损失和营养物质的保存[27]，pH 值过高对肌肉转为可食用肉的过程不利，其值过低则会引起异常肉的形成[28]。因此 pH 值是判断鸡肉品质的重要指标。稻花鸡在不同贮藏温度下 pH 值变化如图 2 所示。

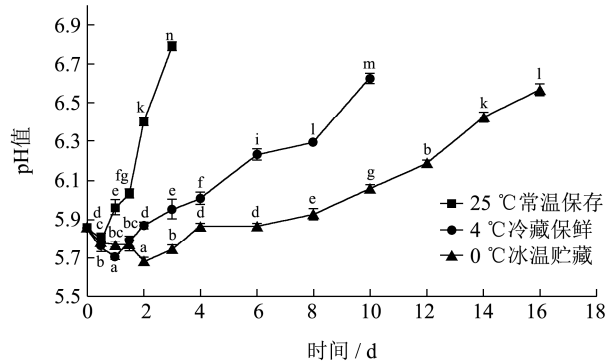

图 2 稻花鸡在贮藏过程中 pH 值的变化

Fig.2 pH value changes of Daohua chicken during storage

注：图中不同字母表示组间差异性显著（P<0.05），下同。

从图 2 可知，三种温度下，pH 值的变化趋势均是先下降后上升，与刘茵茵等[29]的研究结果一致。整个贮藏期间，25 ℃常温保存条件下鸡肉的 pH 值与 4 ℃冷藏保鲜和 0 ℃冰温贮藏均有显著性差异（P<0.05），4 ℃冷藏保鲜和 0 ℃冰温贮藏条件下鸡肉的 pH 值没有显著性差异（P>0.05）；新鲜稻花鸡肉的 pH 值为 5.85，25 ℃常温保存条件下第 0.50 天的 pH 值为 5.79，此后呈显著上升趋势，在贮藏后期急剧上升；4 ℃冷藏保鲜条件下的鸡肉第 1 天的 pH 值为 5.70，此后开始缓慢上升，第 4 天的 pH 值为 6.06，且 4 d~10 d 的 pH 值大幅上升；而 0 ℃冰温贮藏条件下的鸡肉，贮藏前期 pH 值缓慢下降，在第 2 天呈现上升明显趋势，第 8 天的 pH 值为 5.93，第 8 天后的 pH 值呈大幅上升趋势。活鸡屠宰后，细胞在酶的催化作用下仍然进行新陈代谢，产生并积累乳酸导致贮藏前期 pH 值下降，随着贮藏时间的增加，微生物大量生长发育繁殖，一方面分解乳酸，另一方面生化反应，利用鸡肉中的蛋白质和含氮物质产生氨类等碱性化合物，使 pH 值呈现上升趋势[30]。综上分析可知，低温可以延缓 pH 值的变化程度，0 ℃冰温贮藏条件下的鸡肉 pH 值比 4 ℃冷藏保鲜和 25 ℃常温保存的鸡肉 pH 值更稳定[27]。

2.3 不同贮藏温度下稻花鸡肉水分含量变化

鸡肉在贮藏过程中的稳定性与水分含量密切相关，微生物的生长发育繁殖及大多数的生物化学反应都需要水分的参与。稻花鸡在不同贮藏温度下水分含量值变化如图 3 所示。

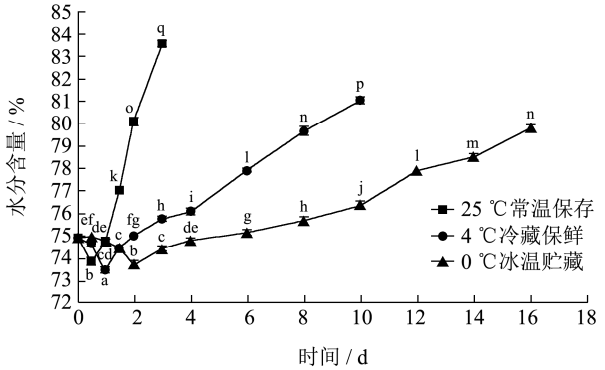

图 3 稻花鸡在贮藏期间水分含量的变化

Fig.3 Changes of water content in Daohua chicken during storage

由图 3 可知，在贮藏期间，稻花鸡肉在 25 ℃常温保存、4 ℃冷藏保鲜和 0 ℃冰温贮藏三种条件下鸡肉的水分含量均呈现显著性差异（P<0.05），均呈现先下降后上升趋势。新鲜稻花鸡肉水分含量值为 74.95%，25 ℃常温保存条件下第 0.50 天值为 73.68%，此后水分含量就急剧上升；4 ℃冷藏保鲜条件下的鸡肉第

1 天值为 73.46%，此后开始缓慢上升，第 4~10 天的水分含量大幅上升，第 4 天达到 76.09%；而 0 ℃冰温贮藏条件下的鸡肉，水分含量变化趋势较比其他两种贮藏条件都缓和，第 2 天值为 73.76%，此后呈缓慢上升趋势，第 8 天值为 75.62%，此后呈现大幅上升趋势。三种条件下水分含量均呈现先下降后上升的趋势，并且在贮藏中后期水分含量均处于较高水平。这主要是因为在贮藏前期，肌肉度过僵直期，保水能力逐渐恢复，同时酶反应和微生物繁殖需要消耗一部分水分，因此贮藏前期水分含量呈下降趋势，与孙路等[31]然研究结果一致。随着贮藏时间延长，肌肉组织结构发生改变，结合水转变为自由水，且保水能力差。水分含量值主要测定自由水含量，因此贮藏后期三种条件下的稻花鸡肉水分含量值均大幅度上升[27]。

2.4 不同贮藏温度下稻花鸡肉菌落总数变化

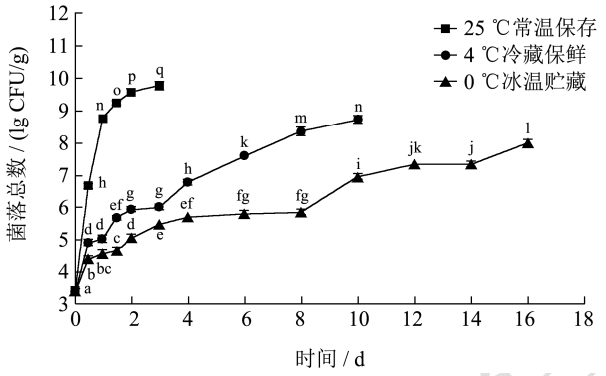

图 4 不同贮藏温度下鸡肉菌落总数变化

Fig.4 Changes in total number of chicken colonies at different storage temperatures

如图 4 所示，25 ℃常温保存的鸡肉在前期呈现先急速上升再缓慢上升后趋于平缓的趋势，第 0.50 天菌落总数值为 5.00×10^6 CFU/g；4 ℃冷藏保鲜的鸡肉菌落总数在腐败前期急速上升，腐败期菌落总数变化趋于平缓，后期又出现上升趋势，第 4 天菌落总数值为 6.60×10^6 CFU/g。0 ℃冰温贮藏的鸡肉菌落总数先缓慢上升然后趋于平缓，后期又出现了缓慢上升的趋势，第 8 天菌落总数值为 8.90×10^5 CFU/g，第 10 天为 9.60×10^6 CFU/g。王珏[28]研究的黄羽肉鸡在冷藏条件下第 5 天的菌落总数值为 2.50×10^6 CFU/g，王新新[32]研究的冰温贮藏黄羽肉鸡第 11 天菌落总数值为 1.9×10^6 CFU/g，鸡品种不一样，营养物质含量有差别，货架期则不同。分析 25 ℃微生物腐败后期缓慢上升后趋于平缓的趋势，可能是因为腐败后期微生物可利用的营养物质含量低，且微生物代谢积累的胺类、硫化氢等物质抑制了其繁殖，腐败后期微生物竞争，优势腐败菌抑制其他微生物生长繁殖。4 ℃贮藏前期菌落总数出现波动，可能是因为嗜温微生物不耐低温，嗜冷微生物大量繁殖，微生物生长优势菌群替换导致的现象。0 ℃冰温贮藏下，微生物生长缓慢，是因为低温抑制了微生物的生长发育和繁殖。GB 16869-2005《鲜、冻禽产品》规定：菌落总数≤1.00×10^6 CFU/g 为合格标准，因此，25 ℃常温保存鸡肉在第 0.50 天超过菌落总数标准规定，4 ℃冷藏保鲜鸡肉在第 4 天超过，0 ℃冰温贮藏鸡肉在第 10 天超过菌落总数标准规定，第 8 天未超过，冰温贮藏能有效的延长鸡肉的货架期。

2.5 不同贮藏温度下稻花鸡肉挥发性盐基氮变化

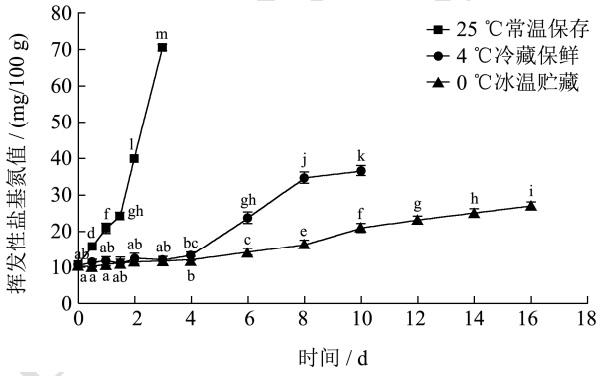

图 5 不同贮藏温度下挥发性盐基氮值变化

Fig.5 Changes of volatile base nitrogen values at different storage temperatures

TVB-N 值可以用来判断鸡肉的腐败程度，鸡肉在微生物和内源酶的作用下，分解利用蛋白质等物质产生挥发性氨类和三甲胺等腐败性物质[33]。由图 5 可看出，25 ℃常温保存的鸡肉挥发性盐基氮值持续上升，在腐败后期呈现急速上升趋势。4 ℃冷藏保鲜和 0 ℃冰温贮藏的鸡肉在前期挥发性盐基氮值变化平缓，且两者差值不大，第 4 天后 4 ℃冷藏保鲜的鸡肉挥发性盐基氮值明显高于 0 ℃冰温贮藏的鸡肉。可能是前期温度低，微生物生长发育繁殖缓慢，产生的胺类等物质含量差别不大，第 4 天后，冷藏保鲜鸡肉进入腐败期，大量分解蛋白质导致挥发性盐基氮值增值。根据 GB 2707-2016《食品安全国家标准鲜（冻）畜、禽产品》标准规定 TVB-N≤15 mg/100 g。25 ℃常温保存的鸡肉在第 0.50 天值为 15.26 mg/100 g 超过规定限制，4 ℃冷藏保鲜的鸡肉在第 4 天值为 13.64 mg/100 g，第 6 天值为 23.99 mg/100 g 超过规定限制，0 ℃冰温贮藏的鸡肉在第 8 天值为 15.25 mg/100 g 刚超过规定限制。张莉等[22]研究的宁都黄鸡常温保存第 1 天值为 15.49 mg/100 g，王新新[32]研究的冷藏黄羽肉鸡第 5 天

值为 14.57 mg/100 g，冰温贮藏第 11 天值为 15.21 mg/100 g，鸡品种不一样，营养物质含量有差别，货架期则不同。

2.6 不同贮藏温度下稻花鸡肉感官评价的变化

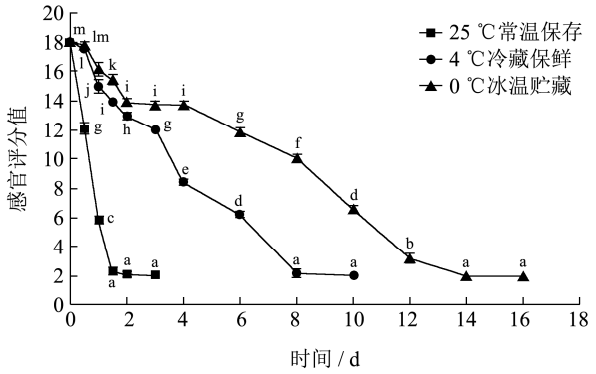

图 6 稻花鸡在贮藏期间感官评价的变化

Fig.6 Sensory evaluation of Daohua chicken during storage

感官评价是国家规定检验肉制品新鲜程度的重要指标之一，也是辨别鸡肉质量最简便快捷的方式之一，能在一定程度上反应鸡肉的品质。由图 6 可知，不同时间和贮藏温度条件对稻花鸡品质均有不同程度的影响。在整个贮藏过程中，25 ℃常温保存、4 ℃冷藏保鲜和 0 ℃冰温贮藏三种条件下鸡肉的感官评定分值均呈现下降趋势。贮藏前期，4 ℃冷藏保鲜和 0 ℃冰温贮藏两种条件下的稻鸡肉感官评价值无显著差异性（$P>0.05$），但均与 25 ℃常温保存鸡肉的感官评价值呈现显著差异性（$P<0.05$）；在贮藏末期，鸡肉已腐败变质，三种条件下稻花鸡肉感官评定值无显著差异性（$P>0.05$）。25 ℃常温保存的鸡肉品质劣变得最快，在整个贮藏过程中呈现急剧下降趋势，第 0.50 天的感官评分值为 12.10，而到第 1 天评分下降到 5.75 分，此时的鸡胸和鸡腿肉均已经严重腐败，腥臭味严重；4 ℃冷藏保鲜的鸡肉，在贮藏前期分值缓慢下降，第 4~8 天急剧下降到严重腐败无法食用，贮藏第 4 天分值为 8.40 分，第 6 天的分值下降到 6.30 分，鸡肉质地松散弹性差；0 ℃冰温贮藏条件下的鸡肉，在第 2 天、第 3 天和第 4 天感官评定分值无显著性差异，至第 8 天感官评定分值下降到 9.90 分，而第 10 d 直接下降到 6.40 分。综上所述，以感官评价结果表示，25 ℃常温保存的鸡肉第 0.50 天以后、4 ℃冷藏保鲜的鸡肉第 4 天以后，0 ℃冰温贮藏的鸡肉第 8 天以后不能食用。

2.7 不同贮藏温度下稻花鸡肉细菌组成及多样性的变化

2.7.1 测序数据统计

不同样本序列信息见表 3。根据鸡肉贮藏期间菌落总数、TVB-N 测量值和腐败变质情况，选择不同贮藏条件下的初期、腐败期、腐败末期，即鸡胸与鸡腿 1:1 混合后的初始期、25 ℃常温保存第 0.50 天腐败期和第 2 天腐败末期、4 ℃冷藏保鲜第 4 d 腐败期和第 8 天腐败末期以及 0 ℃冰温贮藏第 8 天腐败期和第 16 天腐败末期，进行细菌组成及多样性分析和比较。经数据前处理，按照 97%相似度和 70%分类置信度，在 silva138/16s_bacteria 物种分类数据库里完成 7 个样本的多样性数据分析，共获得优化序列 433,739 条，平均长度为 428 bp，对非重复物种注释结果统计得到 22 门，36 纲，90 目，148 科，291 属，OUT 总数为 579 个。门水平前四的物种包括：变形菌门、厚壁菌门、拟杆菌门、放线菌门。属水平前四的物种包括：不动杆菌属、假单胞菌属、沙雷氏菌属、肠杆菌科未分类属、泛菌属。

表 3 样本序列信息统计表

Table 3 Statistical table of sample sequence information

样品	序列数目	碱基数目	序列平均长度/bp	序列最短长度/bp	序列最长长度/bp
J0_1	72 497	30 952 529	426.949 1	200	498
J25_12_1	57 458	24 645 348	428.928 1	277	431
J25_48_1	56 151	24 130 088	429.735 7	225	433
J4_4_1	65 474	28 107 852	429.297 9	349	452
J4_8_1	58 673	25 177 098	429.108 8	399	441
J1_10_1	62 813	26 962 257	429.246 4	363	431
J1_16_1	60 673	26 030 274	429.025 7	363	431

注：J0_1 为托盘包装后的初始样本；J25_12_1、J25_48_1 分别为 25 ℃常温保存第 12 h 和第 48 h 的样本；J4_4_1、J4_8_1 分别为 4 ℃冷藏保鲜第 4 天和第 8 天的样品；J1_10_1、J1_16_1 分别为 0 ℃冰温贮藏第 8 天和第 16 天的样本。

2.7.2 稀释曲线分析

通过稀释曲线验证测序数据的合理性，样品稀释曲线如图 7 所示，随着测序量的增加，7 个样本的稀释曲线均趋于平坦，表明实验 7 个样本测序量均可以反应绝大部分的物种信息。表明样本取样数量合理，测序深度可以覆盖样本中所有微生物。

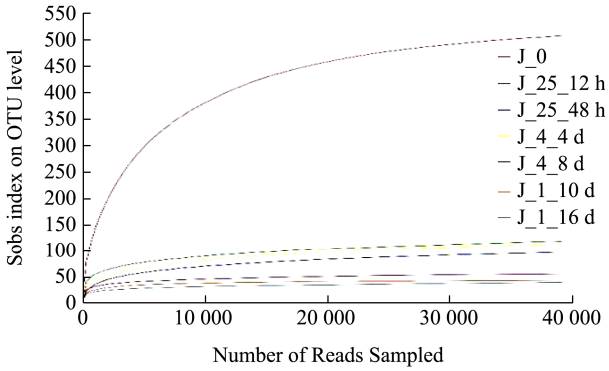

图 7 稀释曲线图

Fig.7 Dilution curve

注：J0_1 为托盘包装后的初始样本；J25_12_1、J25_48_1 分别为 25 ℃常温保存第 12 h 和第 48 h 的样本；J4_4_1、J4_8_1 分别为 4 ℃冷藏保鲜第 4 天和第 8 天的样品；J1_10_1、J1_16_1 分别为 0 ℃冰温贮藏第 8 天和第 16 天的样本。

2.7.3 α 多样性分析

表 4 样本细菌 α 多样性分析

Table 4 Analysis of bacterial α diversity in samples

样品	OUT	丰富度指数 chaoI	shannon	物种覆盖度
J0_1	507	536.70	3.09	1.00
J25_12_1	118	151.33	2.82	1.00
J25_48_1	96	105.00	1.63	1.00
J4_4_1	112	126.00	2.71	1.00
J4_8_1	55	57.50	2.62	1.00
J1_10_1	43	43.60	2.06	1.00
J1_16_1	39	48.33	1.84	1.00

注：J0_1 为托盘包装后的初始样本；J25_12_1、J25_48_1 分别为 25 ℃常温保存第 12 h 和第 48 h 的样本；J4_4_1、J4_8_1 分别为 4 ℃冷藏保鲜第 4 天和第 8 天的样品；J1_10_1、J1_16_1 分别为 0 ℃冰温贮藏第 8 天和第 16 天的样本。

采用运算分类单元（OUT）、丰富度指数 chao I 值、shannon 多样性指数值和物种覆盖度进行表示。如表 4 所示，在不同贮藏温度下的 OUT 数，试验前期的数值均高于试验后期数值。样本在分装前已充分混匀，充分的保证各样本初始状态相同，分装后在不同贮藏条件下，随着时间的延长，不同贮藏温度下的优势腐败微生物不断生长，样本中的 OUT 数值随之下降。25 ℃常温保存腐败后期比前期减少了近 18.64%，比初始状态减少了近 81.07%；4 ℃冷藏保鲜腐败后期比前期减少了近 50.89%，比初始状态减少了近 89.15%；0 ℃冰温贮藏腐败后期与前期相比变化不是十分显著，仅减少了近 9.30%，但比初始状态减少了近 92.31%，说明样本贮藏前期微生物多样性比后期更丰富。物种覆盖度越高则该样本序列未被测出概率越低，在不同贮藏温度条件下样本的物种覆盖度均为 1.00，表明鸡肉样本中包含的所有序列均被成功测序，此次测序结果可以反映样本中菌群结构的真实情况。

Chao I 指数值越高则表明群落物种丰富度越高，shannon 多样性指数值与群落多样性呈正相关，数值越大其群落多样性越高，25 ℃常温保存的鸡肉第 2 天细菌丰富度指数 chao I 较第 0.50 天降低了 30.46%，shannon 多样性指数值降低了 42.05%，表明该贮藏温度下，细菌丰富度和多样性均随着贮藏时间的延长而降低；4 ℃冷藏保鲜的鸡肉第 8 天较第 4 天的丰富度指数 chaoI 降低了近 54.76%，shannon 多样性指数值降低了 3.32%，表明该贮藏温度下细菌丰富度随着贮藏时间的延长出现明显的降低，而 shannon 多样性降低幅度较弱；0 ℃冰温贮藏的鸡肉第 16 天细菌丰富度指数 chao I 较第 8 天增加了 10.85%，shannon 多样性指数值降低了 10.68%，表明该贮藏温度条件下细菌丰富度随着贮藏时间的延长稍有上升，而多样性呈现下降趋势。

2.7.4 细菌群落组成结构特征

以分类学门水平、属水平对不同贮藏条件下细菌组成及多样性进行具体分析。鸡肉样本细菌群落结构门水平变化如图 8 所示。在所有样本中相对丰富度最大的为变形菌门（Proteobacteria），在不同温度贮藏条件下其占比均随着时间延长而增加。在初始样本中相对丰富度为 82.42%；25 ℃常温保存的第 0.5 天腐败初期变形菌门占 85.64%，第 2 天腐败后期为 95.87%；4 ℃冷藏保鲜第 4 天变形菌门占 98.57%，第 8 天占 99.14%；而 0 ℃冰温贮藏的第 8 天和第 16 天绝大部分细菌为变形菌门，占比分别为 99.76%和 99.83%。在初始样本中相对丰富度占比其次大的是厚壁菌门（Firmicutes）为 12.66%，拟杆菌门（Bacteroidota）、放线菌门（Actinobacteriota）分别占比为 2.11%和 1.84%。25 ℃常温保存的第 12 h 样本中相对丰富度占比其次大的是拟杆菌门为 8.33%，而在 25 ℃常温保存的第 48 h 其占比仅为 0.03%，随着贮藏时间的延长其相对丰富度占比显著下降。25 ℃常温保存的第 12 h、第 48 h 样本中厚壁菌门占比分别为 5.86%和 3.69%，随着贮藏时间的延长其相对丰富度占比呈下降趋势，25 ℃常温保存的第 12 h、第 48 h 样本中放线菌门占比

分别为 0.088%和 0.41%，随着贮藏时间的延长其相对丰富度占比呈上升趋势。4 ℃冷藏保鲜第 4 天样本中相对丰富度占比其次大的是厚壁菌门为 0.92%，第 8 天占比为 0.80%，随着贮藏时间的延长其相对丰富度占比略微下降，而拟杆菌门和放线菌门在冷藏贮藏保鲜过程中含量较低。0 ℃冰温贮藏过程中最主要的优势菌群为变形菌门，而厚壁菌门、拟杆菌门、放线菌门等相对丰富度占比极低。

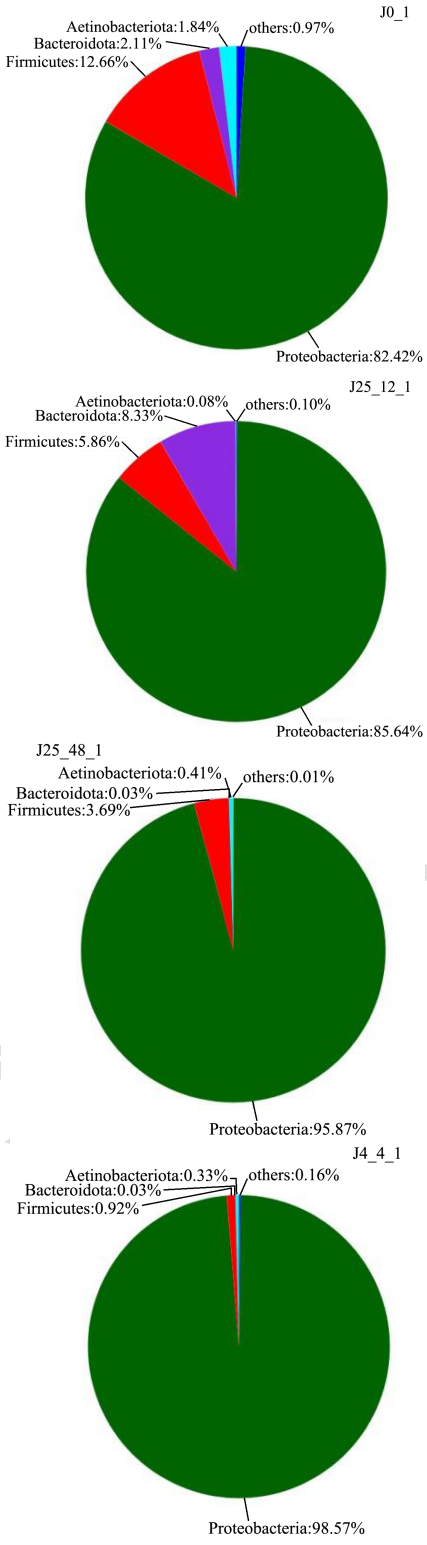

图 8 基于门水平分类的样品菌群分布图

Fig.8 Flora dis tribution of samples based on phylum level classification

注：J0_1 为托盘包装后的初始样本；J25_12_1、J25_48_1 分别为 25 ℃常温保存第 12 h 和第 48 h 的样本；J4_4_1、J4_8_1 分别为 4 ℃冷藏保鲜第 4 天和第 8 天的样品；J1_10_1、J1_16_1 分别为 0 ℃冰温贮藏第 10 天和第 16 天的样本。

从属水平上分析，鸡肉细菌群落结构变化如图 9 所示，在不同贮藏温度下鸡肉细菌群落结构与初始样本比较，丰富度变化较大的物种有：假单胞菌属、不动杆菌属、肠杆菌科未分类菌属、沙雷氏菌属、乳杆菌属、泛菌属、马赛菌属、欧文氏菌属、巨型球菌属、变形菌属未分类属等。初始样本检测出 11 种菌属；25 ℃常温保存第 0.5 天和第 2 天的样本分别检测出 12 种、8 种菌属；4 ℃冷藏保鲜第 4 天和第 8 天的样品分别检测出 9 种、8 种菌属；0 ℃冰温贮藏第 8 天和第 16 天的样本分别检测出 7 种、6 种菌属。通过分析得出，随着贮藏时间延长和贮藏温度降低，鸡肉细

菌群落丰富度总体上呈下降趋势，与温冬玲等[34]、茹志莹等[35]的研究结果一致。宋相宇等[21]采用 16S rDNA 测序的 Illumina MiSeq 高通量测序技术对不同包装和贮藏温度下白切鸡优势腐败微生物进行了研究，得出在不同贮藏方式下优势腐败微生物有显著差异性。黄柳娟等[36]基于高通量测序技术对冷鲜鸡表面及内部进行菌群多样性分析，结果表明鸡肉不同取样部位细菌菌群组成存在差异且优势腐败菌属存在明显差异。

初始样本中以不动杆菌属细菌为主，相对丰富度约 56.29%，其次假单胞菌属细菌的丰富度约为 11%，泛菌属细菌的丰富度约 5.96%，沙雷氏菌属细菌的丰富度约 2.27%，乳酸杆菌属细菌的丰富度约 1.85%，欧文氏菌属细菌的丰富度约 1.48%，巨型球菌属细菌的丰富度约 1.05%，多源菌属细菌的丰富度约 0.74%，肠杆菌科未分类菌属细菌的丰富度约 0.63%，马赛菌属细菌的丰富度约 0.47%，乳酸球菌属细菌的丰富度约 0.20%，其他未知菌菌属丰富度约 18%。

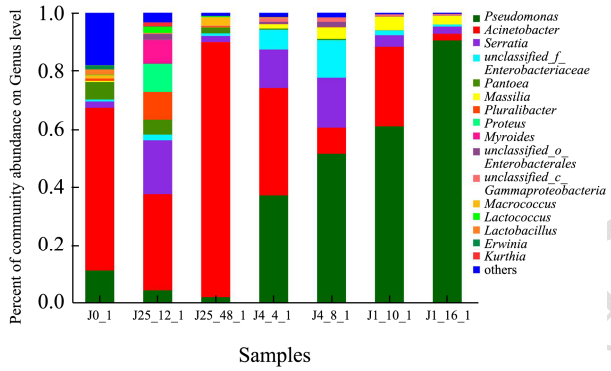

图 9 基于属水平分类的样品菌群分布图

Fig.9 Sample flora distribution based on genus level classification

注：J0_1 为托盘包装后的初始样本；J25_12_1、J25_48_1 分别为 25 ℃常温保存第 12 h 和第 48 h 的样本；J4_4_1、J4_8_1 分别为 4 ℃冷藏保鲜第 4 天和第 8 天的样品；J1_10_1、J1_16_1 分别为 0 ℃冰温贮藏第 8 天和第 16 天的样本。

由图 9 可知，25 ℃常温保存、4 ℃冷藏保鲜和 0 ℃冰温贮藏细菌菌群种类和丰富度大小存在较大的差异性。25 ℃常温保存鸡肉在贮藏期间主要以不动杆菌属细菌、沙雷氏菌属细菌、多源菌属细菌、泛菌属细菌、肠杆菌科未分类属细菌、变形杆菌属细菌、类香味菌属细菌、巨型球菌属细菌、乳酸球菌属及其他未知菌菌属为主；不动杆菌属细菌在贮藏过程中占比最大，第 0.5 天和第 2 天的样品中分别占比 33.39%、88.02%，与初始状态相比，呈现先降低后显著性增加趋势；沙雷氏菌属细菌在贮藏第 0.5 天和第 2 天的样品中分别占比 18.57%、2.15%，在腐败前期呈增加趋势，腐败后期显著降低；多源菌属细菌在贮藏第 0.5 天和第 2 天的样品中分别占比 9.52%、0.39%，随着贮藏时间的延长呈先增加后降低趋势；泛菌属细菌在贮藏第 0.5 天和第 2 天的样品中分别占比 5.12%、2.05%，在贮藏过程中呈降低趋势。常温保存鸡肉过程中，大部分菌属相对丰富度都呈现出增加后降低的趋势。鸡肉中营养物质含量丰富，温度适宜条件下，能提供微生物生长发育繁殖所需的营养物质，大量增值的同时代谢产生有毒有害物质，导致鸡肉在短时间内加速腐败变质。腐败后期，微生物能利用的营养物质含量低、优势腐败菌抑制其他菌群生长等原因，导致丰富度下降。因此，在鸡肉加工、运输、贮藏、销售过程中要全程控温，保证冷链系统完整，即使短时间温度失控也会对其产生无法挽回的损失。

4 ℃冷藏保鲜鸡肉在贮藏期间，假单胞菌属细菌、不动杆菌属细菌、沙雷氏菌属细菌、肠杆菌科未分类属细菌、马赛菌属细菌、变性菌属未分类属及其他未知菌菌属所占比例较大；其中假单胞菌属细菌占比最大，第 4 天和第 8 天样品分别为 37.22%、51.57%，在整个贮藏过程中随时间延长呈显著增加趋势，为 4 ℃冷藏保鲜贮藏过程中的最主要优势菌群；不动杆菌属细菌在贮藏第 4 天和第 8 天的样品中分别占比 36.90%、8.95%，随着贮藏时间的延长呈现明显降低趋势；沙雷氏菌属细菌在第 4 天和第 8 天的样品中分别占比 13.23%、17.15%，与与初始状态相比，呈显著增加趋势；肠杆菌科未分类属细菌在贮藏第 4 天和第 8 天的样品中分别占比 6.82%、13.03%，贮藏过程中随时间呈明显增加趋势。

0 ℃冰温贮藏鸡肉则以假单胞菌属细菌、不动杆菌属细菌、马赛菌属细菌、沙雷氏菌属细菌、肠杆菌科未分类属细菌、变形菌属未分类属细菌为主；在整个贮藏过程中假单胞菌属占比极大，在第 8 天和第 16 天样品中分别为 60.98%、90.51%，随贮藏时间延长而显著增加，尤其在腐败后期，绝大部分微生物为假单胞菌属，是冰温贮藏过程中最主要的优势菌群；不动杆菌属细菌不动杆菌属细菌在贮藏第 8 天和第 16 天的样品中分别占比 27.38%、2.32%，呈显著降低趋势，其最适生长温度为 35 ℃，因此由图 5 所示，不动杆菌属随温度的降低其丰富度呈降低趋势；马赛菌属细菌在贮藏第 8 天和第 16 天的样品中分别占比 4.68%、2.98%，与初始状态相比，冰温贮藏过程中呈先上升后下降趋势；沙雷氏菌属细菌在贮藏第 8 天和第 16 天的样品中分别占比 4.00%、2.48%，同样呈现先上升后下降趋势。

假单胞菌属细菌在初始样本中丰富度占比为 11%，在 25 ℃常温保存鸡肉样本中呈显著下降趋势，

第 0.5 天和第 2 天的样品中分别占比 4.18%、1.90%；而在 4 ℃冷藏保鲜贮藏第 4 天和第 8 天的样品中占比分别为 37.22%、51.57%；0 ℃冰温贮藏第 8 天和第 16 天样品中占比分别为 60.98%、90.51%，假单胞菌属细菌在低温贮藏条件下，随着贮藏时间的延长呈显著上升趋势，并且温度越低其增加趋势越明显，是鸡肉低温贮藏条件下主要的优势腐败菌，与大多数肉制品优势腐败菌研究结果一致[37,38]。假单胞菌属细菌在低温环境下具有很强的生长发育能力，能够分解蛋白质产生氨类等腐败产物，是低温贮藏肉制品的主要优势腐败菌[39,40]。所以在 25 ℃常温保存鸡肉检出量很少且呈下降趋势，而在 4 ℃冷藏保鲜和 0 ℃冰温贮藏过程中丰富度占比极高且呈上升趋势。因此在低温贮藏条件下延缓鸡肉腐败变质，延长其货架期，可以通过控制假单胞菌属细菌的生长入手。

腐败菌是影响肉制品腐败变质的根本因素，鸡肉中微生物通过相互竞争、协同作用等种群关系对鸡肉品质及货架期产生至关重要的影响[4]。研究稻花鸡肉在不同贮藏温度及贮藏过程中细菌多样性的变化是研究稻花鸡肉腐败变质和保鲜的重要方法和途径，25 ℃常温保存优势腐败菌由不动杆菌属细菌、沙雷氏菌属细菌、多源菌属细菌、泛菌属细菌、肠杆菌科未分类属细菌组成，4 ℃冷藏保鲜与 0 ℃冰温贮藏优势腐败菌均是假单胞菌属细菌、不动杆菌属细菌、沙雷氏菌属细菌、肠杆菌科未分类属细菌、马赛菌属细菌为主。稻花鸡肉贮藏过程中细菌多样性的研究能够为通过优势腐败菌构建货架期预测模型以及针对优势腐败菌筛选保鲜剂等方法提供相应的理论参考，进而促进稻花鸡肉在加工、运输、贮藏、销售过程中保持良好品质及延长稻花鸡肉的货架期等。

3 结论

研究了在 25 ℃常温保存、4 ℃冷藏保鲜、0 ℃冰温贮藏条件下稻花鸡肉 pH 值、水分含量、菌落总数、TVB-N 及感官评价，综合品质指标，货架期分别为 12 h、4 d、8 d。贮藏初期、腐败期、腐败后期基于 16S rDNA 高通量测序技术分析结果表明：不同贮藏温度条件下，微生物群落丰富度与演替规律存在较大差异性。共鉴定到 22 门，36 纲，90 目，148 科，291 属，OUT 总数为 579 个。在门水平上，各样本均以变形菌门、厚壁菌门、拟杆菌门、放线菌门为优势菌门。在属水平上，假单胞菌为 4 ℃冷藏保鲜和 0 ℃冰温贮藏鸡肉的共同优势腐败菌，随着贮藏时间增加显著上升，而在 25 ℃常温保存下显著下降。25 ℃常温保存优势腐败菌由不动杆菌属细菌、沙雷氏菌属细菌、多源菌属细菌、泛菌属细菌、肠杆菌科未分类属细菌组成。4 ℃冷藏保鲜与 0 ℃冰温贮藏优势腐败菌均是假单胞菌属细菌、不动杆菌属细菌、沙雷氏菌属细菌、肠杆菌科未分类属细菌、马赛菌属细菌为主，但丰富度占比存在较大差异。有关细菌的进一步分类和作用还需进一步研究。

参考文献

[1] 苏家联,廖荣,梁彩梅,等.灵山彩凤鸡资源调查报告[J].中国畜禽种业,2017,13(2):131-134.

[2] 甘有豪,周小宇.具有原生态的优质新品种-灵山彩凤鸡[C]//第八届优质鸡的改良生产暨发展研讨会论文集.2006:72-73.

[3] Walk C L, Romero L F, Cowieson A J. Towards a digestible calcium system for broiler Chicken nutrition: A review and recommendations for the future [J]. Animal Feed Science and Technology, 2021(prepublish).

[4] 刘梦竹,魏琦麟,向蓉,等.鸡肉低温储藏保鲜技术研究进展[J].保鲜与加工,2022,22(3):104-110,120.

[5] Mansur A R, Song E J, Cho Y S, et al. Comparative evaluation of spoilage-related bacterial diversity and metabolite profiles in chilled beef stored under air and vacuum packaging [J]. Food Microbiology, 2019, 77(FEB.): 166-172.

[6] Mohsen Z, Nadine B, Loos H M, et al. Evaluation of volatile organic compound release in modified atmosphere-packaged minced raw pork in relation to shelf-life [J]. Food Packaging and Shelf Life, 2018, 18: 51-61.

[7] Wang G, Ma F, Zeng L, et al. Modified atmosphere packaging decreased Pseudomonas fragi cell metabolism and extracellular proteolytic activities on meat [J]. Food Microbiology, 2018, 76: 443-449

[8] Iulietto M F, Sechip, Borgognie, et al. Meat spoilage: A critical review of a neglected alteration due to ropy slime producing bacteria [J]. Italian Journal of Animal Science, 2015, 14(3): 316-326

[9] Elina J, Lnen E, Hultman J, et al. Development of spoilage bacterial community and volatile compounds in chilled beef under vacuum or high oxygen atmospheres [J]. International Journal of Food Microbiology, 2016, 223: 25-32.

[10] Wanf G, Wang H, Han Y, et al. Evaluation of the spoilage potential of bacteria isolated from chilled chicken *in vitro* and in Situ [J]. Food Microbiology, 2017, 63: 139-146

[11] Goodwin S, Mc P J D, Mccombie W R. Coming of age: ten years of next-generation sequencing technologies. [J]. Nature Reviews Genetics, 2016, 17(6): 333-351.

[12] 丛筠格,梁杉,张敏.基于传统培养和高通量测序分析德州扒鸡优势腐败菌及相关抑菌剂价效评定[J].食品工业科技,2022,43(17):149-157.

[13] 王娜,陈万轩,张伟萍,等.基于高通量测序技术的贵州不同类型细菌型豆豉菌群多样性分析[J].食品与发酵工业,2022,48(20):85-90,104.

[14] 徐婧君,邹毅辉,林泽燕.葡萄柚精油对百香果储藏期微生物病害的抑制作用[J].分子植物育种,2022,2:408-413.

[15] Leite A, Mayo B, Rachid C, et al. Assessment of the microbial diversity of Brazilian kefir grains by PCR-DGGE and pyrosequencing analysis [J]. Food Microbiology, 2012, 31(2): 215-221.

[16] Linda H, Jürgen B, Rudi F Vogel. Identification and growth dynamics of meat spoilage microorganisms in modified atmosphere packaged poultry meat by MALDI-TOF MS [J]. Food Microbiology, 2016, 60: 84-91.

[17] 彭娜,彭先启,乐敏.微生物菌群培养组学在动物医学中的应用[J].畜牧兽医学报,2020,51(12):2942-2953.

[18] XUE Pengfei, LIU Xiaowei, ZHAO Liuqing, et al. Integrating high-throughput sequencing and metabolomics to investigate the stereoselective responses of soil microorganisms to chiral fungicide cis-epoxiconazole [J]. Chemosphere, 2022, 300: 134198.

[19] Dreier Matthias, Meola Marco, Berthoud Hélène, et al. High-throughput qPCR and 16S rRNA gene amplicon sequencing as complementary methods for the investigation of the cheese microbiota [J]. BMC Microbiology, 2022, 22(1).

[20] YANG Xiaoyin. Microbial community dynamics analysis by high-throughput sequencing in chilled beef longissimus steaks packaged under modified atmospheres [J]. Meat Science, 2018, 141: 94-102.

[21] 宋相宇,李鸣,王虎虎,等.高通量测序分析白切鸡菌群多样性[J].食品科学,2020,41(17):246-252.

[22] 张莉,尹德凤,张大文,等.不同贮藏条件下鸡胸肉特征腐败菌分析[J].食品与机械,2019,35(12):113-118.

[23] 谢菲菲.电场辅助(超)冰温贮藏对生鲜肉品质的影响[D].银川:宁夏大学,2022.

[24] 白艳红,牛苑文,张相生.冷鲜鸡胸肉复合冰点调节剂优化及其对冰点控制的研究[J].食品工业,2016,37(5):16-19.

[25] 葛庆联,唐修君,樊艳凤,等.冰温贮藏对黄羽肉鸡肌肉感官品质和游离氨基酸变化的影响[J].食品安全质量检测学报,2019,10(21):7220-7224.

[26] 周志扬,王启芝,唐承明,等.不同冰温贮藏条件对鸡肉贮藏期的影响[J].肉类工业,2020,8:23-26.

[27] 刘朏.不同贮藏温度对冷鲜鸡微生物和肉品品质的影响研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2015.

[28] 王珏.不同品种及不同贮藏方式冷鲜鸡肉品质比较研究[D].扬州:扬州大学,2020.

[29] 刘茵茵,葛庆联,陈大伟,等.冰温和冷鲜贮藏对鸡肉品质变化的影响[J].中国家禽,2018,40(24):34-38.

[30] Tsigarida E, Nychas G J. Ecophysiological attributes of a *Lactobacillus* sp. and a *Pseudomonas* sp. on sterile beef fillets in relation to storage temperature and film permeability [J]. Journal of Applied Microbiology, 2001, 90(5): 696-705.

[31] 孙路,唐道邦,黄群.高氧气调包装鲜鸡肉的品质变化及相关性分析[J].食品工业,2020,41(3):77-80.

[32] 王新新.鸡胸肉冷藏、冰温及微冻贮藏品质变化的研究[D].合肥:安徽农业大学,2019.

[33] Ruiz-Capillas C, Moral A. Sensory and biochemical aspects of quality of whole bigeye tuna (*Thunnus obesus*) during bulk storage in controlled atmospheres [J]. Food Chemistry, 2005, 89(3): 347-354.

[34] 温冬玲,成淑君,刘悦,等.高通量测序分析不同增菌温度下冷鲜鸡肉细菌的群落多样性[J].食品科学,2018,39(24):156-161.

[35] 茹志莹,唐婷婷,姚瑶,等.高通量测序方法分析冰鲜鸡肉保鲜期间微生物菌相变化研究[J].食品安全质量检测学报,2019,10(11):3319-3328.

[36] 黄柳娟,冯博,刘海燕,等.冷鲜鸡肉表面及内部细菌菌群的多样性分析[J].上海农业学报,2021,37(1):104-109.

[37] Holl L, Behr J, Vogel R F. Identification and growth dynamics of meat spoilage microorganisms in modified atmosphere packaged poultry meat by MALDI-TOF MS [J]. Food Microbiology, 2016, 60: 84-91.

[38] Aai D, Bd E, Bf V, et al. Spoilage microbiota associated to the storage of raw meat in different conditions [J]. International Journal of Food Microbiology, 2012, 157(2): 130-141.

[39] 肖英平,何祥祥,戴宝玲,等.采样方法对冷鲜鸡表面细菌DNA 提取及高通量测序结果的影响[J].食品科学,2017,38(24):260-264.

[40] 高磊,谢晶,叶藻,等.冷鲜鸡腿肉中优势腐败菌的分离鉴定及腐败能力研究[J].食品与发酵工业,2015,41(8):48-53.