

微冻贮藏臭鳃鱼品质、蛋白质组成和挥发性风味物质的变化

周迎芹^{1,2,3}, 黄晶晶^{1,2,3}, 杨明柳^{1,2}, 林心萍⁴, 鄢 嫣^{1,2,3}, 杨 立³, 谢宁宁^{1,2,3*}

(¹安徽省农业科学院农产品加工研究所 合肥 230031

²安徽省食品微生物发酵与功能应用工程实验室 合肥 230031

³安徽富煌三珍食品集团有限公司 安徽巢湖 238000

⁴大连工业大学 国家海洋食品工程技术研究中心 辽宁大连 116034)

摘要 以-2℃贮藏的臭鳃鱼为对象,研究其在贮藏过程中蒜瓣肉品质、蛋白质组成以及挥发性风味物质的变化规律。结果表明:贮藏 15 d 后,鱼体蒜瓣肉出现明显发红现象,色泽 a^* 值由负值(绿色)变为正值(红色),白度明显下降,硬度不断增加,弹性和凝聚性不断下降,整体感官品质明显下降。十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)结果显示,在微冻贮藏过程中,鱼肉肌浆蛋白、肌原纤维蛋白在不断降解。气相色谱-离子迁移谱(GC-IMS)结果表明,臭鳃鱼贮藏过程中被检出 31 种挥发性风味物质,其中辛醛、丙酸、3-羟基-2-丁酮、乙酸己酯、丁酸戊酯随着贮藏时间的延长不断积累,具有刺激性臭味的丙酸含量较高,且贮藏 15 d 后明显增加,不利于臭鳃鱼正常风味的保持。结论:在-2℃微冻贮藏条件下,15 d 内臭鳃鱼的感官及风味品质能较好地保持,15 d 后开始劣变。研究结果为臭鳃鱼在微冻贮藏过程中的品质调控提供一定的理论依据。

关键词 臭鳃鱼;微冻;蒜瓣肉;蛋白质组成;挥发性风味物质

文章编号 1009-7848(2024)04-0294-10 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.04.028

臭鳃鱼是我国传统发酵鱼类食品的典型代表,是以新鲜鳊鱼为原料,经宰杀、腌制发酵等工艺制成^[1]。发酵成熟的臭鳃鱼营养丰富、肉质紧实、风味独特,深受食客喜爱。目前,关于臭鳃鱼的理论研究逐渐深入,包括对其微生物的分离、鉴定^[2-4],发酵工艺改进^[5-9]以及发酵过程中营养组成、肌肉微观结构、微生物菌群结构分析等方面^[10-12],而对于臭鳃鱼贮藏过程中的品质变化关注较少。

目前,臭鳃鱼的贮藏方式主要为冷冻或者冷藏。通过冷冻贮藏可有效抑制鱼体内源酶活性、微生物生长和脂质氧化,延长产品货架期^[13],然而冷冻贮藏会导致鱼肉凝胶性能变差、肉质松散,且能耗成本较高^[14]。冷藏是借助冰或水将鱼体温度降至接近冰点且不会冻结的一种保鲜方法,可最大程度保持产品原有特性,而产品在冷藏条件下容

易发生腐败变质,贮藏时间短难以满足规模化生产需要^[15]。微冻保鲜技术已广泛应用于各种水产品贮藏保鲜中,与冻藏方式相比,微冻贮藏可将温度降到-1~-2℃,能减缓冻藏过程中冰晶对水产品肌肉的机械损伤,并能有效抑制微生物和酶的作用,较好地保持产品风味和新鲜度,且可降低能耗^[16]。

本研究以-2℃微冻贮藏的臭鳃鱼为对象,研究其在贮藏过程中蒜瓣肉品质、蛋白质组成以及挥发性风味物质的变化规律,旨在为臭鳃鱼在此条件下的品质调控提供一定的理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

新鲜鳊鱼(秋浦花鳊,规格:500~600 g/尾),东至县大联圩农业开发有限公司。食盐、红花椒,合肥市庐阳区中菜市。磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、碘化钾、乙醇、异丙醇、冰乙酸、十二烷基硫酸钠、30% Acr/Bis (29:1)、过硫酸铵、TEMED、蛋白质 Marker、上样缓冲液、考马斯亮蓝 R250 等生化试剂,喀斯玛商城;GC-IMS 分析用标准品,美国 Sigma-Aldrich 公司。

收稿日期:2023-08-20

基金项目:国家重点研发计划项目(2023YFD2401400,2022YFD2100902);安徽省重点研究与开发计划项目(202004a06020033)

第一作者:周迎芹,女,博士,助理研究员

通信作者:谢宁宁 E-mail: ningxie512@163.com

1.2 设备与仪器

臭鳊鱼腌制发酵专用装置,本实验室自行设计^[6];LDZF-50KB-II型立式压力蒸汽灭菌器,上海申安医疗器械厂;101-3BS电热鼓风干燥箱,上海力辰邦西仪器科技有限公司;SW-CJ-2D超净工作台,苏州净化设备有限公司;ZWY-240恒温振荡培养箱,上海智城分析仪器制造有限公司;H1750R高速冷冻离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;CR-400色差仪,科尼卡美能达控股公司;TA.XT Plus质构仪,英国 Stable Micro Systems公司;JY600C电泳仪,北京君意东方电泳设备有限公司;FlavourSpec[®]气相色谱-离子迁移谱联用仪,德国G.A.S.公司。

1.3 试验方法

1.3.1 原料预处理 将鲜活鳊鱼宰杀,除去鱼鳞、鱼鳃和内脏,清洗、沥干后按质量分数35%加水,再加入3.2%的食用盐和0.15%的香辛料,置于8℃下发酵16d。将发酵成熟的臭鳊鱼进行真空包装,置于-2℃冰箱,在贮藏0,1,3,5,7,11,15,30d时采集样品,置于-80℃冰箱储存备用。

1.3.2 蒜瓣肉的制备及形貌观察 取冷冻臭鳊鱼样品,待解冻后用解剖刀沿鱼体脊背和鳃盖后沿划开鱼皮,切取背鳍下方至侧线之间的肌肉块(轴上肌)。

采用热诱导方式,制备蒜瓣肉。即将轴上肌鱼块放入蒸锅中,隔水蒸煮10min。待鱼块自然冷却后剥离鱼肉片,拍照、记录蒜瓣肉的形貌变化。

1.3.3 色泽测定 参照文献[10]的方法对鱼肉色泽进行测定。

1.3.4 质构测定 参照文献[10]的方法对鱼肉质构进行测定。

1.3.5 SDS-PAGE电泳 参考Wang等^[17]的方法提取臭鳊鱼肌肉中各蛋白质组分。具体步骤:取各贮藏阶段臭鳊鱼3条,切取鱼体全部肌肉,用料理机绞成肉糜,并分别将各阶段鱼肉糜合并,搅拌均匀。准确称取3.0g鱼肉,加入30mL磷酸盐缓冲液(0.02mol/L,pH 6.5),均质1min,12000r/min,20min离心后取上清液,对沉淀重复提取2次,合并3次所得上清液即为肌浆蛋白。向沉淀中继续加入30mL磷酸盐缓冲液(0.1mol/L,pH 6.5,含0.7mol/L KI),均质1min,12000r/min,20min离

心后取上清液,对沉淀重复提取2次,合并3次所得上清液即为肌原纤维蛋白。最后向沉淀中加入15mL 5%SDS溶液,85℃水浴加热1h,并用自来水流水快速冷却,所得悬浮液即为肌基质蛋白。采用双缩脲法测定蛋白浓度。

利用SDS-PAGE凝胶电泳分析蛋白质降解情况。配制浓缩胶(5%)和分离胶(15%),制成电泳胶,待凝固后加电泳缓冲液。取10μL蛋白提取液与10μL 5×上样缓冲液混合均匀,沸水浴10min,于2000r/min下离心1min后加入点样孔中,并以标准蛋白Marker(11~245ku)作为对照,进行电泳,250V下电泳2h。待电泳结束取出电泳胶先用考马斯亮蓝染色液染色,再用甲醇-冰乙酸脱色液脱色,完全脱色后观察并拍照。

1.3.6 挥发性风味物质测定 参照文献[10]的方法对鱼肉挥发性风味物质进行测定。

1.4 数据处理

每组试验设置3个重复;通过Excel软件和SPSS 16.0软件对数据进行统计分析,采用Origin 2021软件绘图。

2 结果与分析

2.1 臭鳊鱼微冻贮藏过程中蒜瓣肉形貌的变化

臭鳊鱼通过发酵形成了不同于新鲜鳊鱼的典型肉质特征——蒜瓣肉,即鱼体脊背处鱼肉具有蒜瓣状组织结构(熟化后鱼肉起片,呈蒜瓣状),这是由于鱼肉在腌制发酵过程中,盐分渗透,水分含量下降以及乳酸菌发酵产酸,造成鱼肉肌原纤维蛋白凝胶化,进而在热诱导后产生特征性蒜瓣肉^[12]。本试验通过蒸煮熟化,观察了臭鳊鱼在-2℃贮藏条件下蒜瓣肉的变化情况,结果如图1所示。从图中可以看出,随着贮藏时间的延长,鱼体特征蒜瓣肉均保持较完整状态,色泽逐渐由白亮向暗红变化,在贮藏至15d乃至30d时,明显观察到鱼肉出现发红的现象,说明臭鳊鱼感官品质开始下降,不宜继续贮藏。

2.2 臭鳊鱼微冻贮藏过程中蒜瓣肉色泽和质构的变化

色泽是评价发酵鱼制品的一项重要指标,鱼肉色泽的变化直接影响消费者对产品的直观感受,肌肉蛋白质、脂肪氧化和水分流失等均会引起

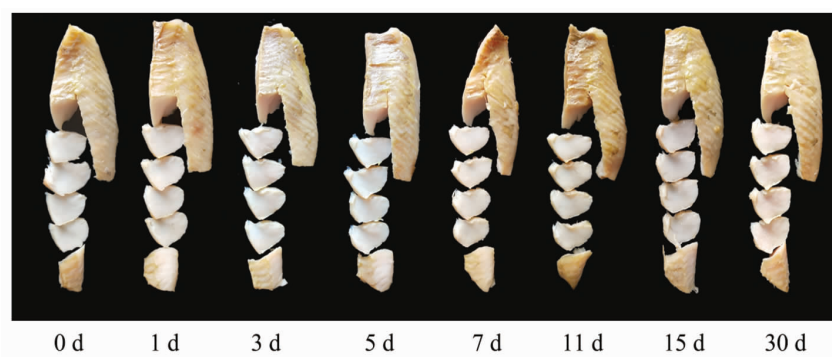


图1 臭鳊鱼-2℃贮藏过程中蒜瓣肉形貌的变化

Fig.1 Morphology changes of garlic-cloves shaped meat in stinky mandarin fish during storage at -2℃

鱼肉色泽发生变化^[18-19]。本试验利用色差仪对臭鳊鱼特征蒜瓣肉在贮藏过程中的色泽变化情况进行研究,由图2可知,随着贮藏时间的延长,色泽呈现阶段性变化,在贮藏0~7d时,亮度(L^*)和白度均逐渐提高,7d后则逐渐下降。在贮藏11d内 a^*

值变化不明显,且为负值,至15d和30d则明显增大,为正值,表示鱼肉颜色偏红,与蒜瓣肉观察到的颜色结果一致, b^* 值在整个贮藏过程中的变化不明显。

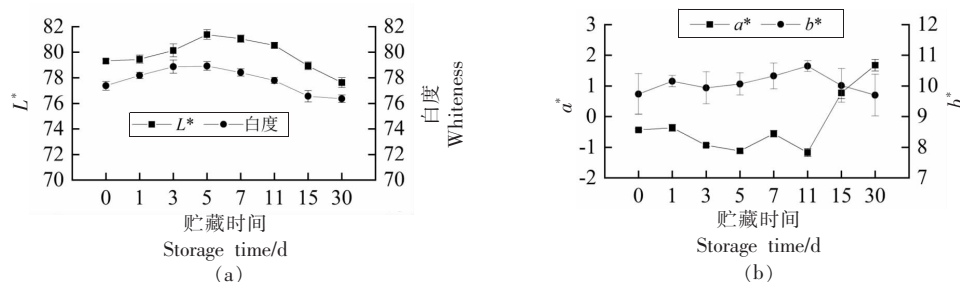


图2 臭鳊鱼-2℃贮藏过程中蒜瓣肉色泽的变化

Fig.2 Color changes of garlic-cloves shaped meat in stinky mandarin fish during storage at -2℃

质构是评价鱼肉品质的重要指标之一,主要有硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性、回复性等,而这些参数主要与肌肉熟化后蛋白凝胶的持水性、溶解度的变化有关^[20]。臭鳊鱼特征蒜瓣肉在贮藏过程中的质构变化如图3所示,随着贮藏时间的延长,鱼肉硬度、胶黏性、咀嚼性均呈不断上升的趋势,黏附性、弹性、凝聚性和回复性则呈不断下降的趋势。0~15d是硬度变化的主要阶段,上升幅度较大,15~30d变化较小,弹性和凝聚性在整个贮藏过程中下降幅度相对较小。鱼肉食用过程中的咀嚼性与鱼肉的硬度、黏聚性及弹性均有关,其中硬度是影响鱼肉质构稳定性最为重要的因素。发酵成熟的臭鳊鱼在未经冷冻贮藏时的硬度最低,经过冷冻后硬度开始逐渐增加。Sun等^[21]对发酵酸鱼

贮藏过程感官品质变化研究也有类似结果。弹性是臭鳊鱼肉质的有效指标,在贮藏过程中逐渐下降,不利于鱼肉保持良好的Q弹性,因此臭鳊鱼在冷藏条件不宜长时间放置。

主成分分析(Principal component analysis, PCA)是基于多指标进行样品区分的最常用方法^[22-23]。基于色泽、质构指标对不同贮藏过程臭鳊鱼样品进行PCA分析,结果如图4所示。PC1和PC2的累计贡献率达到81.9%,不同贮藏过程臭鳊鱼样品均各自分布在相应区域,表明PCA可以从整体上反映不同贮藏过程臭鳊鱼样品之间色泽和质构的差异。贮藏前的臭鳊鱼样品(0d)贮藏1d的样品分布在第3象限,而贮藏3d和5d样品分布在第2象限,7d和11d样品分布在第3象

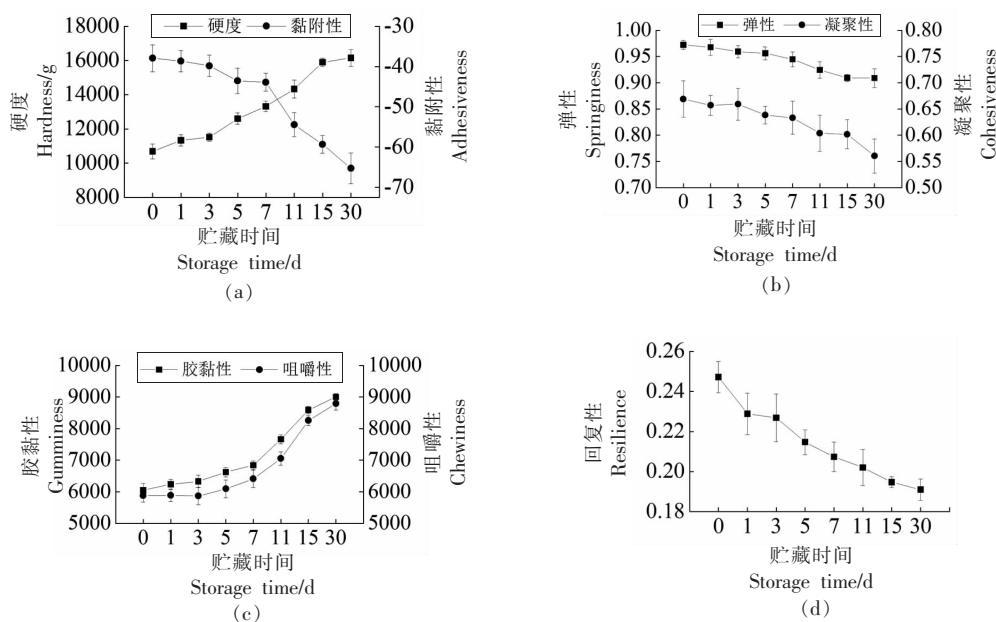


图 3 臭鳊鱼-2 °C贮藏过程中蒜瓣肉质构的变化

Fig.3 Texture changes of garlic-cloves shaped meat in stinky mandarin fish during storage at -2 °C

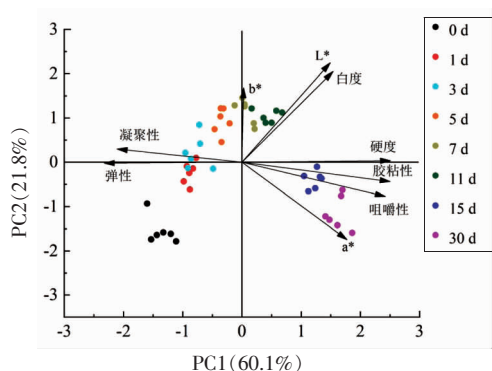


图 4 不同贮藏过程蒜瓣肉样品色泽、质构的 PCA 双标图

Fig.4 PCA biplot of color and texture of garlic-cloves shaped meat at different storage times

限, 15 d 和 30 d 样品分布在第 4 象限。未经贮藏、贮藏 1~11 d 和贮藏 15~30 d 样品之间具有较大的色泽、质构差异。此外, PCA 图也显示了臭鳊鱼贮藏时间与色泽、质构之间的相关性, 例如: 贮藏 1~3 d 对样品弹性、凝聚性影响较大, 贮藏 7~11 d 对样品色泽中 L^* 、 b^* 和白度影响较大, 而贮藏 15~30 d 则对样品色泽中的 a^* 值以及质构中的硬度、胶黏性、咀嚼性影响较大。整体来看, 随着贮藏时间的延长, 样品色泽和质构均受到影响, 贮藏至 15 d 后, 色泽、质构品质会发生明显下降, 不宜继续

贮藏。

2.3 臭鳊鱼微冻贮藏过程中蛋白质组成的变化

水产品蛋白质含量较高, 约占组织的 20% 左右, 包括水溶性的肌浆蛋白、盐溶性的肌原纤维蛋白和细胞外难溶的肌基质蛋白^[24]。高含水量与各类内源性蛋白酶等因素的存在易引发蛋白质降解致使水产品在贮藏过程中发生腐败。SDS-PAGE 电泳技术是研究蛋白质变化的重要工具, 电泳图谱中大分子质量蛋白条带的出现、模糊、弱化、消失和低分子质量条带的出现、浓度增强均说明蛋白质发生了降解, 新条带的不断出现也可能是发酵水产品腐败的重要标志^[25]。

肌浆蛋白是肌肉中最容易提取的蛋白质, 约占肌肉组织总蛋白的 30% 左右, 主要为参与糖酵解反应和氧化还原反应相关蛋白, 包括肌溶蛋白、肌红蛋白、肌浆酶、肌粒蛋白、球蛋白 X 和肌质网蛋白等^[26]。由图 5a 可知, 臭鳊鱼肌浆蛋白主要的蛋白条带分布在 11~63 ku, 随着贮藏时间的延长, 这部分蛋白条带颜色均逐渐变浅, 说明蛋白发生了一定程度的降解。其中, 25~63 ku 的蛋白主要是肌浆酶, 可能包含肌酸激酶、磷酸葡萄糖异构酶、丙酮酸激酶、肌酸磷酸激酶、甘油醛脱氢酶和磷酸丙糖异构酶, ~18 ku 的蛋白可能为肌红蛋白, ~12

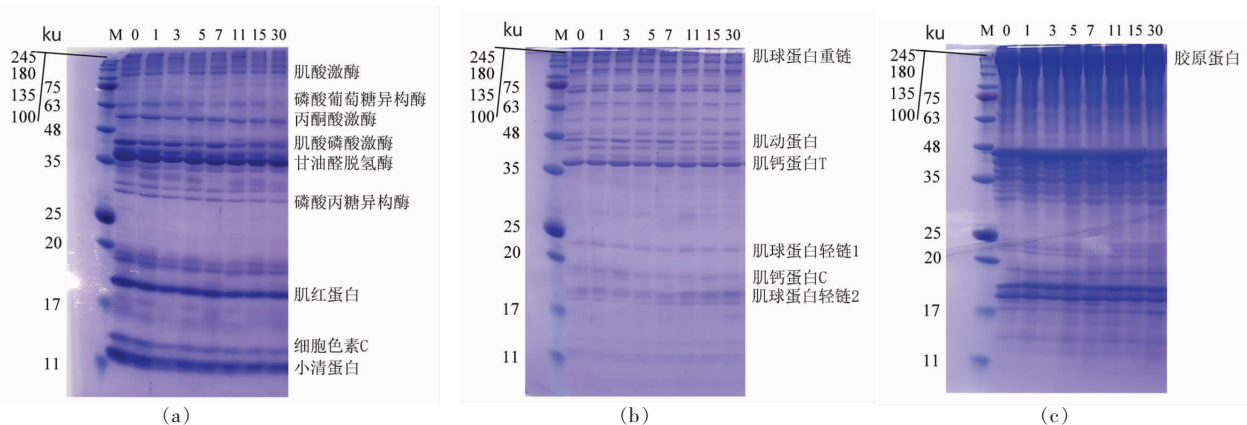
ku 的小分子蛋白可能为细胞色素 C 和小清蛋白。肌浆蛋白拥有蛋白质所有的基本功能特性,如持水性、乳化性、起泡性等,对肌原纤维蛋白的凝胶强度、变形性和肌肉持水性。

肌原纤维蛋白是鱼肉形成良好质构和品质的重要部分,是肌肉蛋白中的主要成分,占蛋白总量的 50%以上,主要包括肌球蛋白、肌动蛋白和肌钙蛋白等^[27]。由图 5b 可知,肌原纤维蛋白条带分布在 17~245 ku 之间,在 30 d 的贮藏期间,肌原纤维蛋白降解程度不明显,仅肌球蛋白重链(~240 ku)和肌动蛋白(~48 ku)存在少量降解。

肌基质蛋白主要构成结缔组织,包括胶原蛋白、弹性蛋白和网状蛋白。由图 5c 可知,肌基质蛋白相对分子质量分布很宽,谱带范围在 17~245 ku 之间,具体而言,17~48 ku 和 63~245 ku 的条带较深,可能是碱溶性蛋白质和胶原蛋白的特征条

带。随着贮藏时间的延长,肌基质蛋白中 11~17 ku 和 25~35 ku 的条带逐渐增强,说明肌基质蛋白含量在逐渐增加。

总体来看,臭鳊鱼在微冻贮藏过程中,肌肉中肌浆蛋白、肌原纤维蛋白含量随贮藏时间延长逐渐下降,肌基质蛋白含量在整个贮藏过程中略有增加。肌浆蛋白含量减少,主要是鱼肉水分渗出流失,肌原纤维蛋白含量的减少则是由于在贮藏过程中,肌基质蛋白含量增加,主要是肌原纤维蛋白的降解和变性,生成了溶于碱性溶液的蛋白成分所致,这是引起鱼肉凝胶性能下降的一个主要因素。推测随着贮藏时间延长,鱼肉中的水分逐渐渗出,水分含量逐渐减少,导致蛋白质组成也发生变化,肌浆蛋白和肌原纤维蛋白含量减少,肌基质蛋白含量增加,鱼肉质构发生改变。



注:图 a~c 分别为肌浆蛋白、肌原纤维蛋白、肌基质蛋白;M 表示蛋白质 Maker,0,1,3,5,7,11,15,30 表示贮藏时间(d)。

图 5 臭鳊鱼-2 °C 贮藏过程中蛋白质降解的变化

Fig.5 The changes in protein degradation of stinky mandarin fish during storage at -2 °C

2.4 臭鳊鱼微冻贮藏过程中挥发性风味物质的变化

GC-IMS 检测生成的风味指纹图谱如图 6 所示,从上至下依次为贮藏 0,1,3,5,7,11,15,30 d 的样品,每纵列特征峰对应 1 种挥发性风味物质。

贮藏的臭鳊鱼中共有 31 种挥发性风味物质,包括醇类、醛类、酮类、酸类、酯类和烯烃类。未经贮藏的臭鳊鱼,主要含有乙醇、丙醇、3-甲基-1-丁醇(异戊醇)、1-辛烯-3-醇、2-庚酮、2-戊酮、3-辛酮、丁二酮、2-甲基丁酸甲酯、1,8-桉叶素、 α -蒎烯、 α -水芹烯和 α -蒎品烯等挥发性风味物质,这

与本试验在前期针对臭鳊鱼成品进行风味研究的结果较为一致^[6,10]。含量较高的乙醇、丙醇能够赋予臭鳊鱼以酒香味,而异戊醇则赋予产品奶酪香^[20];1-辛烯-3-醇是发酵鱼制品中普遍存在的挥发性特征风味物质,具有类似蘑菇的气味^[20,21,28-30];2-庚酮、2-戊酮、3-辛酮也是发酵鱼中较常出现的风味物质,具有水果香、花香^[31];丁二酮(双乙酰)是发酵乳制品中的典型风味物质,具有独特的芳香风味(奶油味)^[32-33];1,8-桉叶素、 α -蒎烯、 α -水芹烯和 α -蒎品烯则是天然香辛料的特征风味物质^[34-35],与臭鳊鱼在腌制发酵过程中添加的辅料,

如花椒、辣椒等天然香辛料有关。这些挥发性风味物质对丰富臭鳊鱼香气具有重要作用。

从图谱中可以看出,臭鳊鱼成品一经冷藏,挥发性风味物质即发生较大变化,其本身所含的挥发性风味物质在经过冷藏时,浓度均存在明显的降低,而又有新的挥发性风味物质产生,包括 2-辛醇、异丙醇、顺-3-辛烯-1-醇、3-甲基-3-丁烯-1-醇、辛醛、丙酸、2-环己烯酮、3-羟基-2-丁酮、乙酸己酯和丁酸戊酯等,其中辛醛、丙酸、3-羟基-2-丁酮、乙酸己酯、丁酸戊酯等的含量在贮藏期均较高。辛醛、乙酸己酯和丁酸戊酯具有水果香味^[36-37],3-羟基-2-丁酮具有奶油味^[38],而丙酸则具有强烈的酸臭味^[39],其在传统臭鳊鱼腌制发酵(高温腌制)中含量更高,是形成臭鳊鱼臭味的主要物质^[40]。

臭鳊鱼在贮藏 1 d 后,新产生挥发性物质主要包括辛醛、2,3-二氯-1-丙醇、4-甲基-1-戊醇、二甲基三硫、2-己烯-1-醇和顺-3-辛烯-1-醇;贮藏 3~30 d 时,新产生挥发性物质主要包括异丙醇、2-辛醇、乙酸己酯、丙酸、2-环己烯酮、3-羟基-2-丁酮、3-甲基-3-丁烯-1-醇和丁酸戊酯等,这些物质也是伴随贮藏而产生的主要的挥发性风味物质。尤其是丙酸,其在贮藏过程中的含量随贮藏时间的延长逐渐增多,从 15 d 贮藏至 30 d,可发现其含量明显增加。丙酸具有酸臭味的特性,在臭鳊鱼贮藏过程中应减少这类物质的释放和积累,因此,臭鳊鱼在-2℃微冻贮藏过程中,至 15 d 以后不宜继续贮藏。

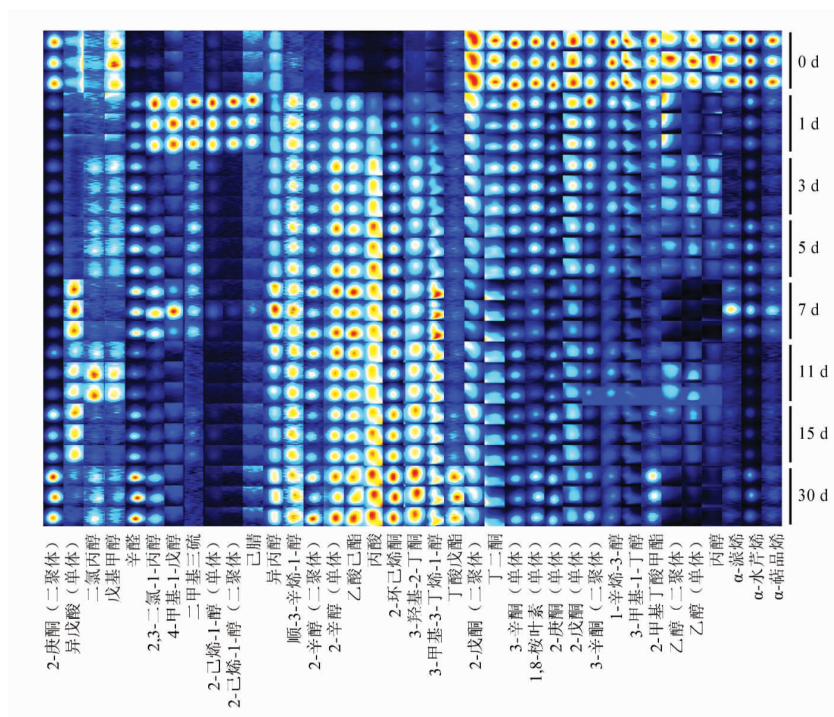


图 6 臭鳊鱼-2℃贮藏过程中挥发性风味物质的变化

Fig.6 Volatile flavor substances changes of stinky mandarin fish during storage at -2℃

3 结论

本试验对臭鳊鱼在微冻(-2℃)贮藏过程中的蒜瓣肉品质、蛋白质组成和挥发性风味物质变化规律进行了研究。结果表明,随着贮藏期的延长,臭鳊鱼蒜瓣肉形貌发生了一定程度的变化,其色泽逐渐由白亮变为暗红,在贮藏至 15 d 后明显发红, a^* 值由负值(绿色)变为正值(红色),白度明显

降低。在整个贮藏过程中,其硬度不断增加,弹性和凝聚性不断下降。表明臭鳊鱼在贮藏至 15 d 以后,整体感官品质明显下降。通过 SDS-PAGE 电泳发现,在-2℃微冻贮藏过程中,鱼肉肌浆蛋白、肌原纤维蛋白均不断降解。基于 GC-IMS 技术在臭鳊鱼中共鉴定出 31 种挥发性风味物质,包括醇类、醛类、酮类、酸类、酯类和烯烃类。在贮藏后期,

辛醛、丙酸、3-羟基-2-丁酮、乙酸己酯、丁酸戊酯等挥发性物质不断积累,具有刺激性酸臭味的丙酸含量较高,且在贮藏15 d后明显增加,不利于臭鳊鱼正常风味的保持。因此,臭鳊鱼在 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下贮藏时间不宜超过15 d。本研究为臭鳊鱼在微冻贮藏过程中的品质调控提供一定的理论依据。

参 考 文 献

- [1] 王雪锋,李春萍,吴佳佳,等.臭鳊鱼发酵中滋味成分的鉴定与分析[J].中国食品学报,2015,15(1):222-229.
WANG X F, LI C P, WU J J, et al. Identification and analysis of the tasty compounds in stinky mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) during fermentation[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(1): 222-229.
- [2] DAI Z Y, LI Y, WU J J, et al. Diversity of lactic acid bacteria during fermentation of a traditional Chinese fish product, Chouguiyu (stinky mandarin fish)[J]. Journal of Food Science, 2013, 78(11): 1778-1783.
- [3] 罗靛芷,武俊瑞,刘佳艺,等.臭鳊鱼中优良乳酸菌的分离筛选与鉴定[J].食品与发酵工业,2013,39(10):132-136.
LUO L Z, WU J R, LIU J Y, et al. Isolation, screening and identification of lactic acid bacteria from salted and fermented mandarin fish[J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(10): 132-136.
- [4] WANG Y Q, SHEN Y Y, WU Y Y, et al. Comparison of the microbial community and flavor compounds in fermented mandarin fish (*Siniperca chuatsi*): Three typical types of Chinese fermented mandarin fish products[J]. Food Research International, 2021, 144(2): 110365.
- [5] 杨召侠,刘洒洒,高宁,等.臭鳊鱼发酵工艺优化及挥发性风味物质分析[J].中国食品学报,2019,19(5):253-262.
YANG Z X, LIY S S, GAO N, et al. Fermentation process optimization and volatile flavour analysis of stink mandarin fish (*Chouguiyu*)[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(5): 253-262.
- [6] 周迎芹,鄢嫣,殷俊峰,等.发酵方式对黄山臭鳊鱼菌群组成及挥发性物质的影响[J].肉类研究,2019,33(10):36-43.
ZHOU Y Q, YAN Y, YIN J F, et al. Effect of fermentation methods on microflora and volatile compounds in Huangshan smelly mandarin fish[J]. Meat Research, 2019, 33(10): 36-43.
- [7] 周迎芹,孙子怡,黄晶晶,等.臭鳊鱼源清酒乳杆菌的分离鉴定及其在臭鳊鱼发酵中的应用[J].食品科学,2022,43(12):194-202.
ZHOU Y Q, SUN Z Y, HUANG J J, et al. Isolation and identification of *Lactobacillus sakei* from fermented mandarin fish and its application in fermented mandarin fish[J]. Food Science, 2022, 43(12): 194-202.
- [8] 周迎芹,杨明柳,殷俊峰,等.清酒乳杆菌对臭鳊鱼食用品质及挥发性风味物质的影响[J].中国食品学报,2021,21(9):160-168.
ZHOU Y Q, YANG M L, YIN J F, et al. Effect of *Lactobacillus sakei* on edible quality and volatile flavor of stinky mandarin fish[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(9): 160-168.
- [9] 马晓飞,黄宁,梁钻好,等.混合菌发酵臭鳊鱼工艺优化[J].农业工程,2022,12(6):84-89.
MA X F, HUANG N, LIANG Z H, et al. Optimization of fermentation technology of stinky mandarin fish with mixed bacteria[J]. Agricultural Engineering, 2022, 12(6): 84-89.
- [10] 周迎芹,杨明柳,殷俊峰,等.臭鳊鱼低温发酵过程中品质及挥发性物质的变化[J].中国食品学报,2020,20(4):179-186.
ZHOU Y Q, YANG M L, YIN J F, et al. Changes of quality and volatile compounds in stinky mandarin fish during low-temperature fermentation[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(4): 179-186.
- [11] 陈磊,郭鹏飞,郑海波,等.发酵时间对干盐腌制臭鳊鱼品质及蛋白构象的影响[J].食品科技,2022,47(9):100-106.
CHEN L, GUO P F, ZHEN H B, et al. Effects of fermentation time on the quality and protein conformation of dry salted stinky mandarin fish[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(9): 100-106.
- [12] ZHOU Y Q, YANG M L, YIN J F, et al. Physicochemical characteristics and gel-forming properties of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) protein during the fish fermentation with *Lactobacillus sakei* SMF-

- L5: The formation of garlic-cloves shaped protein gel[J]. Food Chemistry, 2023, 409: 135282.
- [13] SINGH A, BENJAKUL S, PRODPRAN T, et al. Effect of psyllium (*Plantago ovata* Forsk) husk on characteristics, rheological and textural properties of threadfin bream surimi gel[J]. Foods, 2021, 10(6): 1181.
- [14] SHEN X L, LI T, LI X S, et al. Dual cryoprotective and antioxidant effects of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) protein hydrolysates on unwashed surimi stored at conventional and ultra-low frozen temperatures[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 153: 112563.
- [15] 李桢桢, 尹明雨, 王红丽, 等. 水产品肌肉组织微观结构变化及其检测方法研究进展[J]. 食品科学, 2023, 44(9): 278-286.
- LI Z Z, YIN M Y, WANG H L, et al. Microstructural changes of muscle tissues of aquatic products and methods for its detection: A Review[J]. Food Science, 2023, 44(9): 278-286.
- [16] 肖旭, 贺稚非, 张泉, 等. 微冻和冷藏对2种毛肚品质影响的差异性分析[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(15): 257-266.
- XIAO X, HE Z F, ZHANG X, et al. Effects of micro-freezing and cold storage on the quality of two kinds of tripes[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(15): 257-266.
- [17] WANG W X, XIA W S, GAO P, et al. Proteolysis during fermentation of Suanyu as a traditional fermented fish product of China[J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(S1): 166-176.
- [18] 蓝蔚青, 刘琳, 肖蕾, 等. 温度波动对大目金枪鱼低温流通期间品质变化的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(11): 205-212.
- LAN W Q, LIU L, XIAO L, et al. Effect of temperature fluctuation on the quality of big-eye tuna (*Thunnus obesus*) during low temperature circulation [J]. Food Science, 2021, 42(11): 205-212.
- [19] 李桂敏, 赵春青, 窦容容, 等. 复合无磷保水剂对反复冻融鲟鱼片理化特性及微观结构的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(12): 87-93.
- LI J M, ZHAO C Q, DOU R R, et al. Effects of non-phosphate water-retaining agents on the physicochemical and microstructure properties of sturgeon fillets subjected to repeated freeze-thaw cycles [J]. Food Science, 2022, 43(12): 87-93.
- [20] 李双琦, 崔震昆. 热处理方式对鲈鱼游离氨基酸及品质影响[J]. 中国调味品, 2022, 47(1): 32-35, 45.
- LI S Q, CUI Z K. Effects of heat treatment on free amino acids and quality of sea bass (*Lateolabrax japonicus*) [J]. China Condiment, 2022, 47(1): 32-35, 45.
- [21] SUN Y Y, XU Y S, GAO P, et al. Improvement of the quality stability of vacuum-packaged fermented fish (Suanyu) stored at room temperature by irradiation and thermal treatments [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2020, 56(1): 224-232.
- [22] 步营, 何圣琪, 王飞, 等. 珍珠龙胆石斑鱼无水保活过程中肌肉品质变化及近红外光谱模型的构建[J/OL]. 中国食品学报:1-12. (2023-07-14)[2023-08-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4528.ts.20230531.1638.008.html>.
- BU Y, HU S Q, WANG F, et al. Quality changes and near-infrared model construction of pearl gentian grouper during water-free preservation [J/OL]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology: 1-12. (2023-07-14)[2023-08-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4528.ts.20230531.1638.008.html>.
- [23] 王鹏, 郭丽, 于文婷, 等. 透明质酸-大豆 β -伴球蛋白复合膜对鲢鱼片微冻贮藏品质影响[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(7): 67-76.
- WANG P, GUO L, YU W T, et al. Effect of hyaluronic acid- β -conglycinin composite film on quality of silver carp fillet during preservation by partial freezing[J]. Food Research and Development, 2023, 44(7): 67-76.
- [24] 孔保华, 熊幼翎. 肌肉中的调节蛋白和细胞骨架蛋白的性质和作用[J]. 食品工业科技, 2011, 32(6): 439-442.
- KONG B H, XIONG Y L. Properties and roles of regulatory and cytoskeletal proteins in muscle [J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(6): 439-442.
- [25] 郑云, 郑爽, 周天硕, 等. 肌肉蛋白质降解对发酵肉制品品质影响的研究进展[J/OL]. 食品工业科技: 1-12. (2023-08-08)[2023-08-20]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022110202>.
- ZHENG Y, ZHENG S, ZHOU T S, et al. Research progress on the effect of muscle protein degradation

- on the quality of fermented meat products [J/OL]. Science and Technology of Food Industry: 1-12. (2023-08-08)[2023-08-20]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022110202>.
- [26] 王甜甜, 曹晓虹, 马岩涛. 肌浆蛋白的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(6): 109-112.
WANG T T, CAO X H, MA Y T. Progress in study of sarcoplasmic proteins[J]. Food Research and Development, 2015, 36(6): 109-112.
- [27] 邵颖, 王小红, 吴文锦, 等. 5种淡水鱼肌肉热特性比较研究[J]. 食品科学, 2016, 37(19): 106-111.
SHAO Y, WANG X H, WU W J, et al. Comparison of thermal properties of muscles from five kinds of freshwater fish[J]. Food Science, 2016, 37(19): 106-111.
- [28] GIRI A, OSAKO K, OHSHIMA T. Identification and characterisation of headspace volatiles of fish miso, a Japanese fish meat based fermented paste, with special emphasis on effect of fish species and meat washing[J]. Food Chemistry, 2010, 120(2): 621-631.
- [29] 黄忠白, 明庭红, 董丽莎, 等. 金枪鱼鱼白的植物乳杆菌发酵脱腥增香作用研究[J]. 中国食品学报, 2019, 19(2): 147-154.
HUANG Z B, MING T H, DONG L S, et al. Studies on the deodorization during fermentation of tuna's milt by *Lactobacillus plantarum*[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(2): 147-154.
- [30] 谢诚, 欧昌荣, 曹锦轩, 等. 全二维气相色谱-飞行时间质谱法分析糟带鱼挥发性风味成分[J]. 现代食品科技, 2014, 30(2): 234-243.
XIE C, OU C R, CAO J X, et al. Analysis of the volatile compounds of vinasse hairtail through two comprehensive dimensional gas chromatography-time of flight mass spectrometry[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(2): 234-243.
- [31] 黄星奕, 顾菲菲. 针对鳊鱼新鲜度的气敏传感器筛选与阵列构建[J]. 食品工业科技, 2013, 34(19): 295-298, 312.
HUANG X Y, GU F F. Construction of the sensor array based on gas sensor screening for *Parabramis pekinensis* freshness evaluation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(19): 295-298, 312.
- [32] 张和平. 中国益生乳酸菌及益生发酵乳研究开发现状 & 发展对策[J]. 乳业科学与技术, 2009, 32(2): 51-54.
ZHANG H P. Present situation and development countermeasures for probiotic lactic bacteria and fermented milk in China[J]. Journal of Dairy Science and Technology, 2009, 32(2): 51-54.
- [33] 李扬, 李妍, 李栋, 等. 基于 ROAV 和嗅闻技术分析乳脂的关键风味化合物[J]. 食品科学, 2023, 44(6): 262-267.
LI Y, LI Y, LI D, et al. Analysis of key flavor compounds in dairy fat products using relative odor activity value and olfactometry [J]. Food Science, 2023, 44(6): 262-267.
- [34] 李云龙, 赵月亮, 范大明, 等. 香辛料中植物化学物对肉制品品质及健康功效影响研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(5): 262-270.
LI Y L, ZHAO Y L, FAN D M, et al. Effects of phytochemicals from spices on quality attributes and health benefits of meat products: A review[J]. Food Science, 2021, 42(5): 262-270.
- [35] 熊学斌, 夏延斌, 张晓, 等. 不同品种辣椒挥发性成分的 GC-MS 分析[J]. 食品工业科技, 2012, 33(16): 161-164.
XIONG X B, XIA Y B, ZHANG X, et al. Gas chromatography-mass spectrometric analysis of volatile components in capsicum powder from different cultivars[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(16): 161-164.
- [36] 赵玉, 张玉环, 李建科, 等. GC-O 结合 OAV 鉴定陇南初榨橄榄油关键香气成分[J]. 食品科学, 2022, 43(8): 184-189.
ZHAO Y, ZHANG Y H, LI J K, et al. Identification of key aroma compounds in virgin olive oils from varieties grown in Longnan by gas chromatography-olfactometry coupled with odor activity value [J]. Food Science, 2022, 43(8): 184-189.
- [37] 龚受基, 滕翠琴, 郭德军, 等. 六堡茶香气特征和真菌群落鉴定分析[J]. 现代食品科技, 2023, 39(6): 252-262.
GONG S J, TENG C Q, GUO D J, et al. Identification and analysis of aroma characteristics and microbial communities in Liu-pao tea[J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(6): 252-262.
- [38] 葛芮瑄, 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.

- GE R X, LUO Y L, JU N. Research progress on the microbial flora affecting flavor formation of traditional fermented meat products[J]. *Microbiology China*, 2022, 49(6): 2295–2307.
- [39] 卢晓丹, 张敏. 豆汁的风味物质分析[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(12): 164–172.
- LU X D, ZHANG M. Studies on the favors of Douzhi[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, 14(12): 164–172.
- [40] 杨培周, 钱静, 姜绍通, 等. 臭鳊鱼的质构特性、特征气味及发酵微生物的分离鉴定[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(4): 55–62.
- YANG P Z, QIAN J, JIANG S T, et al. Texture properties, characteristic smell, microbial isolation and identification of smelly mandarin fish[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(4): 55–62.

The Changes of Meat Quality, Protein Composition and Volatile Flavor Compounds in Stinky Mandarin Fish (*Siniperca chuatsi*) during Superchilled Storage

Zhou Yingqin^{1,2,3}, Huang Jingjing^{1,2,3}, Yang Mingliu^{1,2}, Lin Xinping⁴, Yan Yan^{1,2,3}, Yang Li³, Xie Ningning^{1,2,3*}

¹*Institute of Agro-product Science and Technology, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031*

²*Anhui Engineering Laboratory of Food Microbial Fermentation and Functional Application, Hefei 230031*

³*Anhui Fuhuag Sungen Food Group Co., Ltd., Chaohu 238000, Anhui*

⁴*National Engineering Research Center of Seafood, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, Liaoning*

Abstract The stinky mandarin fish was stored at superchilled temperature ($-2\text{ }^{\circ}\text{C}$), and the changes of garlic-cloves shaped meat quality, protein composition and volatile flavor compounds of fish were investigated. The results showed that the garlic-cloves shaped meat turned red after storage for 15 days, the a^* value increased from negative (green) to positive (red) and the whiteness decreased significantly. The hardness continuously increased whereas springiness and cohesiveness showed a reverse trend, the overall sensory quality also decreased significantly. The SDS-PAGE results revealed that the sarcoplasmic protein and myofibrillar protein continuously degraded during superchilled storage. The results of GC-IMS analysis showed that a total of 31 kinds of volatile flavor compounds were detected during storage. Octanal, propionic acid, acetoin, hexyl acetate and amyl butyrate continuously accumulated during storage. The content of propionic acid with irritating odor was relatively high, and increased significantly after storage for 15 days, which make against the normal flavor of stinky mandarin fish. In summary, the sensory and flavor qualities of stinky mandarin fish maintained well within 15 days under the superchilled storage at $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and began to deteriorate afterwards. The results provides a theoretical basis for the quality controlling of stinky mandarin fish during superchilled storage.

Keywords stinky mandarin fish; superchilled storage; garlic-cloves shaped meat; protein composition; volatile flavor compounds