

文章编号:0253-4339(2024)03-0160-07

doi:10.3969/j.issn.0253-4339.2024.03.160

冰温贮藏结合生物保鲜剂对虹鳟鱼肉品质特性影响的研究

秦延斌 阿依乔丽帕尼·阿地里 刘宝林

(上海理工大学健康科学与工程学院 上海 200093)

摘要 虹鳟鱼肉质鲜美,营养丰富,是我国重要的经济鱼类,但其在贮藏、运输、销售过程中极易发生腐败变质,影响食用价值。为研究虹鳟鱼在贮藏过程中的高效保鲜方案,延长货架期,以 4 °C 冷藏为对照,通过测定不同实验工况下鱼肉的汁液流失率、pH 值和挥发性盐基氮(TVB-N)等指标,研究 0 °C 冰温贮藏以及 0 °C 冰温贮藏+生物保鲜剂(壳聚糖、茶多酚、柠檬汁质量分数分别为 1.75%、0.25%、4.98%)对鱼肉品质的影响。结果表明:0 °C 冰温贮藏组的各项指标及随时间的上升幅度均优于 4 °C 冷藏,可有效减缓虹鳟鱼肉的腐败进程;第 12 d 时,4 °C 冷藏的 pH 值和 TVB-N 值分别为 6.86 和 51.89 mg/100 g,0 °C 冰温贮藏的 pH 值和 TVB-N 值分别为 6.56 和 31.82 mg/100 g,而 0 °C 冰温贮藏+生物保鲜剂组的 pH 值、TVB-N 值仅为 6.32 和 16.96 mg/100 g,该方案对虹鳟鱼肉的保鲜效果更佳,可有效延长其货架期。

关键词 冰温贮藏;保鲜效果;生物保鲜剂;虹鳟鱼

中图分类号:TS254.1;TS205

文献标识码:A

Effect of Ice Temperature Storage Combined with Bio-preservatives on the Quality Characteristics of Rainbow Trout Meat

Qin Yanbin Ayejoripani Adiri Liu Baolin

(School of Health Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093, China)

Abstract Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) is a popular commercial fish in China owing to its delicious and nutritious meat. However, it is extremely prone to spoilage and deterioration during storage, transportation, and sale, which affects its edible value. To study the efficient preservation proposal for rainbow trout during storage and extend its shelf life, this study uses 4 °C-cold storage as control and studies the effects of the ice temperature (0 °C) storage combined with composite bio-preservatives (the mass concentration of chitosan, tea polyphenols, and lemon juice are 1.75%, 0.25%, and 4.98%, respectively) on the quality of rainbow trout by measuring the drip loss, pH, and total volatile base nitrogen (TVB-N) of meat samples under different experimental conditions. The results show that the various indicators and their increasing amplitudes over time of the 0 °C ice temperature storage group are better than those of the 4 °C storage group, which can effectively slow down the spoilage process of rainbow trout meat. On the 12th day, the pH and TVB-N values of the 4 °C and 0 °C groups are 6.86 and 51.89 mg/100g, and 6.56 and 31.82 mg/100g, respectively, whereas those of the 0 °C with bio-preservative group are only 6.32 and 16.96 mg/100g, respectively. This scheme has a better preservation effect on rainbow trout meat and can effectively extend its shelf life.

Keywords ice temperature storage; preservation effect; bio-preservative; rainbow trout

虹鳟鱼(*Oncorhynchus mykiss*)属太平洋鲑属,又称为彩虹鳟、三文鳟,是一种体形为长梭形,吻部为圆形、鳞片小而圆的淡水鱼^[1]。虹鳟鱼肉质鲜美、营养丰富、易人工繁殖,是联合国粮农组织向世界推广的产量高且品质优良的四大淡水养殖品种之一^[2]。据统计,目前我国有 20 多个省市养殖虹鳟鱼,养殖场多达 50 余个,已成为我国较为重要的经济鱼类^[3]。

虹鳟鱼鱼肉具有水分含量高、营养物质丰富、内源酶活性高、pH 值近中性等特点,是微生物适宜的生长繁殖环境,因此在贮藏、运输、销售过程中极易在微生物和内源酶的共同作用下发生腐败变质^[4]。研究发现,3 °C 冷藏时虹鳟鱼片的货架期为 6 d,4 °C 时货架期仅为 3 d,且高不饱和脂肪酸使其极易发生脂肪氧化,造成鱼肉风味、质地劣化^[5-7]。因此,有效的保

基金项目:国家自然科学基金(51906151)资助项目。(The project was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 51906151).)

收稿日期:2023-04-19;修回日期:2023-05-29;录用日期:2023-07-31

鲜手段对虹鳟鱼货架期的保障和品质维持十分重要。

水产品常见的保鲜贮藏方法有低温贮藏保鲜法、气调保鲜法、化学保鲜法等^[8]。其中,冰温贮藏技术因具有良好的保鲜效果愈发受到重视,其应用范围也变得更加广泛。该技术将保鲜温度控制在冰温带内(一般设定在约 0 ℃),以更好地维持细胞的活性状态,同时降低微生物繁殖速度及内源酶活性以延长食品贮藏期^[9]。同时,冰温环境对生物细胞有抑制作用,细胞为了防止冻结或失水,在细胞中由糖、醇、蛋白等组成不冻液,不冻液与产品的品质和风味密切相关^[5]。Y. Özogul 等^[10]的研究表明,欧洲鳗在有冰的环境中保藏期比在无冰环境中延长了一倍。由于加冰保鲜可在较短的时间内对大量的水产品进行加工,因此也被广泛应用于海上渔船捕捞。申江等^[11]通过实验研究发现,冰温库低温高湿的条件大幅降低了干耗,使肉品保持在较高水分。-0.5 ℃冰温储藏的羊肉 12 d 时仍能基本保持原有鲜度,与普通冷藏相比延长保鲜时间 50% 以上,与冻藏相比提高了羊肉的保水性能和熟肉率。关文强等^[12]指出,冰温技术既能有效保持鲜肉的品质,又克服了冷冻鲜肉解冻后的质构劣变和汁液损失,相比于 4 ℃冷藏,0 ℃冰温贮藏将鲜牛肉的保鲜期由 8 d 延长至 15 d。夏秀芳等^[13]通过实验对比研究了冰温保鲜与冷藏保鲜对牛肉蛋白结构和功能特性的影响,结果表明,贮藏至 12 d 时,4 ℃冷藏牛肉肌原纤维蛋白的 Ca^{2+} -ATPase 活性下降 72.9%,而冰温保鲜的牛肉下降 46.9%;冷藏牛肉肌原纤维蛋白的总巯基和活性巯基含量分别下降 50.12% 和 93.68%,而冰温保鲜牛肉降至 35.08% 和 71.15%,表明冰温保鲜能够有效减少蛋白质结构和功能性质的变化。

另一方面,许多研究表明采用天然生物保鲜剂浸泡、涂布或喷涂处理食品后,能够有效延缓腐败,提升肉类储藏过程中的保鲜效果,是一种被广泛认可的“绿色”手段^[14-18]。作用机制主要包括:1) 含有抗菌成分,对腐败菌起到抑制或杀灭作用;2) 延缓肉品中总氮含量的升高,保持水产品鲜度;3) 具有较强的抗氧化性,可有效避免因不饱和脂肪酸等的氧化而引起的食品质量下降;4) 在肉品表面形成一层保护膜,起到抗菌、降低鱼体汁液损失的作用^[19]。常用的生物保鲜剂主要有茶多酚、壳聚糖、柠檬酸、乳酸菌及细菌素等,每一种保鲜剂所特有的功能不同。其中,茶多酚是含有多羟基酚类化合物的复合物,具有显著的抗氧化活性;壳聚糖是几丁质脱乙酰化后得到的多糖,具有良好的抑菌活性;而柠檬酸作为有机酸,可降低鱼品的 pH 值,络合金属离子,抑制氧化和褐变,从

而起到保鲜的作用^[20-21]。因此,将多种功能性的生物保鲜剂进行有机结合制备得到新型的复合生物保鲜剂,将更有助于保持鲜肉品质。施建兵等^[22]将茶多酚、溶菌酶、甲壳胺 3 种成分组合在一起,对鲳鱼进行处理,发现组合的生物保鲜剂对鲳鱼的微生物有明显抑制作用,同时还能降低其挥发性的盐基氮素等指标的含量,并延长鲳鱼保藏期。吴昕宁等^[4]将 3 g/L 茶多酚和 10 g/L 壳聚糖混合制成复配保鲜剂,浸泡涂膜覆盖于虹鳟鱼表面,研究保鲜剂对 4 ℃贮藏虹鳟鱼肉贮藏品质变化的影响,结果表明,茶多酚和壳聚糖单独使用或复合使用均能延缓腐败的发生,复配保鲜剂能将 4 ℃贮藏虹鳟鱼的货架期由 8 d 延长至 13 d,效果优于单独使用。谢晶等^[23]采用两因素三水平正交试验的方法,将不同浓度的茶多酚和植酸进行复配制冰后分组处理新鲜鲳鱼,研究发现采用的复合保鲜冰(质量浓度为 0.5 g/mL 的茶多酚与体积分数为 0.15% 的植酸)使鲳鱼的感官指标、微生物指标、理化指标均优于自来水冰的对照组,在 1 ℃冷藏条件下的货架期由 11~12 d 延长至 21~23 d。吴雪丽等^[24]通过研究发现,冰温结合复合生物保鲜剂在扇贝保鲜过程中能够有效减缓蛋白质降解和脂肪氧化,延缓腐败变质,延长扇贝的货架期。刘岩等^[25]基于肌原纤维蛋白生化特性的变化,考察了生物保鲜剂结合真空浸渍处理在罗非鱼冰温贮藏中的应用效果,结果表明,生物保鲜剂结合真空浸渍预处理工艺能进一步保护肌原纤维蛋白构象的完整性,延缓蛋白质氧化进程,改善罗非鱼片在冰温货架期的品质。刘雪飞等^[26]研究发现,鱼精蛋白、壳聚糖和八角提取物组成的复合生物保鲜剂处理能减缓肌肉蛋白的降解和脂肪氧化,有效抑制微生物的繁殖,减慢鱿鱼的腐败速度,改善鱿鱼品质。刘金昉等^[27]使用 0.05% 纳米 TiO_2 +1.5% 壳聚糖+0.065% 溶菌酶+0.7% 蜂胶(均为质量分数)进行复配得到的复合保鲜剂对新鲜南美白对虾进行浸泡处理,通过研究发现复合生物保鲜剂结合冰温贮藏对南美白对虾保鲜效果更佳,能使南美白对虾货架期达到 21 d。

综上所述,冰温贮藏作为第三代低温保鲜技术因可行性强和保鲜品质好等优点,已被广泛应用于肉制品的保鲜。复合保鲜剂浸泡涂膜作为一种无毒且有效的新型保鲜技术正受到越来越多的关注,与冰温技术联合使用具有很好的保鲜效果,但相关研究主要集中在一些特定的鱼种。目前,对虹鳟鱼低温贮藏过程中的品质变化尚未有全面研究,特别是冰温贮藏与生物保鲜两种技术相结合对虹鳟鱼肉品质影响的研究相对欠缺。基于此,本文以 4 ℃冷藏和 0 ℃冰温贮

藏为对照,通过测定样品的汁液流失率、pH 值和挥发性盐基氮(TVB-N)等指标,研究冰温贮藏结合复合生物保鲜剂(质量分数分别为 1.75%的壳聚糖、0.25%的茶多酚、4.98%的柠檬汁)对虹鳟鱼肉贮藏品质的影响,初步分析该技术对虹鳟鱼肉品质保持的内在机理,旨在为虹鳟鱼及生鲜水产品的贮藏、保鲜及品质控制提供一定理论及技术基础。

1 材料与仪器

1.1 材料和试剂

材料和试剂如下:鱼肉样品采用 3 条新鲜宰杀净膛的虹鳟鱼,平均体长为 41.24 cm、平均质量为 768.5 g,24 h 内冰袋冷藏运输至实验室;柠檬(四川安岳产);茶多酚(食品级,河南万邦实业有限公司);水溶性壳聚糖(食品级,脱乙酰度 90%,山东优索华工科技有限公司);硼酸、乙酸(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);PE 保鲜膜(脱普日用化学品(中国)有限公司)。

1.2 仪器与设备

实验过程中使用的主要仪器设备如表 1 所示。

表 1 主要仪器设备

Tab.1 Main instruments and equipments

项目	型号	厂家
手持 pH 计	Testo 205	德图仪器国际贸易(上海)有限公司
全自动凯氏定氮仪	K1100	上海海能实验仪器科技有限公司
电子分析天平	ME204E	梅特勒-托利多仪器(上海)有限责任公司
均质机	D-160	大龙兴创实验仪器(北京)有限公司

1.3 实验方法

1.3.1 复合保鲜剂的制备

壳聚糖溶液:称取 43.75 g 壳聚糖溶解于体积分数为 1%乙酸溶液中,配制质量分数为 4.38%的壳聚糖溶液。茶多酚溶液:称取 12.50 g 茶多酚溶解于蒸馏水中,配制质量分数为 1.25%的茶多酚溶液。

柠檬汁溶液:将鲜柠檬汁挤出,用纱布将其与果皮一起滤出,用量筒称出 124.50 mL 已滤出的柠檬汁,加入蒸馏水进行稀释,制成体积分数为 12.45%的柠檬汁。

复合生物保鲜剂:将上述配制出的壳聚糖溶液、茶多酚溶液、柠檬汁溶液进行 2:1:2 复配得到复合

生物保鲜剂(壳聚糖、茶多酚、柠檬汁质量分数分别为 1.75%、0.25%、4.98%)。

1.3.2 原料处理

将 3 条虹鳟鱼分别标为 3 个平行组 1、2、3,在清洁无菌的环境下去除头部、内脏和脊髓。用去离子水清洗鱼肉后,将鱼肉切成均匀的鱼片,每片 15~25 g,共 15 片,按不同保鲜条件分为 3 组,分别标记为 A、B、C,分别代表 4℃冷藏、0℃冰温贮藏、冰温结合复合生物保鲜剂贮藏 3 个低温保鲜条件。重复上述步骤两次,即可完成 3 条鱼的处理。

将处理好的 A 组鱼片分别称重并记录质量为 m_1 后装入保鲜袋,置于 $(4 \pm 0.1)^\circ\text{C}$ 的冷藏柜中冷藏,每隔 2 d 进行汁液流失率、pH 值及挥发性盐基氮(TVB-N)的测定直至第 12 天。

将处理好的 B 组鱼片分别称重并记为 m_1 后装入保鲜袋,置于 $(0 \pm 0.1)^\circ\text{C}$ 的冷冻柜中贮藏,后续操作步骤同上。

将处理好的 C 组鱼片置于复合生物保鲜剂中浸泡 30 min,固液比为 1:4(g/mL)。取出后自然晾干,分别称重并记为 m_1 后装入保鲜袋,置于 $(0 \pm 0.1)^\circ\text{C}$ 的冷冻柜中贮藏,后续操作步骤同上。通过上述处理,即可对 4℃冷藏、0℃冰温贮藏、0℃冰温贮藏+生物保鲜剂组 3 种不同贮藏条件对虹鳟鱼的保鲜效果进行评价。

1.3.3 汁液流失率测定

样品取出后除去保鲜袋,将样品表面的汁液用滤纸吸干,再称重并记为 m_2 。汁液流失率计算如下:

$$\text{汁液流失率} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

1.3.4 pH 值测定

首先对便携式 pH 计进行校准,然后用其测定鱼片的 pH 值并记录,每个样品重复 5 次。

1.3.5 挥发性盐基氮(TVB-N)测定

每个样品称取试样 10 g,剪碎并放入烧杯中,加入 90 mL 蒸馏水,用均质机直接绞碎搅匀,将样液先用纱布(6 层)过滤一次,再用滤纸过滤一次。称取最终滤液 10 g 于蒸馏管中,加入 1 g 氧化镁,立刻连接到自动凯氏定氮仪上开始测定挥发性盐基氮含量。试样中挥发性盐基氮的含量计算如下:

$$X = \frac{14c(V_1 - V_2)}{m} \times 100 \quad (2)$$

式中: X 为试样中挥发性盐基氮的含量,mg/100 g; V_1 为试液消耗盐酸或硫酸标准滴定溶液的体积,mL; V_2 为试剂空白消耗盐酸或硫酸标准滴定溶液的体积,mL; c 为盐酸或硫酸标准滴定溶液的物质的量浓度,

mol/L;14 为滴定 1 mL 盐酸 [$c(\text{HCl})=1 \text{ mol/L}$] 或硫酸 [$c(1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4)=1 \text{ mol/L}$] 标准滴定溶液相当的氮的质量, g/mol; m 为试样质量, g。

2 结果与分析

2.1 汁液流失率变化

汁液流失率是反映鱼肉保水性的常用指标。在鱼肉变质的过程中, 由于组织蛋白持续降解, 氨基酸和游离多肽含量不断增加, 导致鱼肉汁液流失率逐渐增大。图 1 所示为虹鳟鱼贮藏过程中汁液流失率变化。由图 1 可知, 随着贮藏时间增加, 所有处理组的汁液流失率均呈上升趋势, 表明腐败程度增加。此外, 0 °C 冰温贮藏+生物保鲜剂组汁液流失更为严重, 显著大于同期 0 °C 冰温贮藏组 ($P<0.05$)。目前关于生物保鲜剂对肉质汁液流失的研究较少, 许多研究^[28-29]表明茶多酚、壳聚糖和柠檬汁确实会引起果蔬汁液流失率的增大。经分析, 生物保鲜剂引起鱼肉汁液流失增大的原因可能为虹鳟鱼在处理时经液态的复合生物保鲜剂浸渍, 致使虹鳟鱼质量增加, 测量汁液流失率时将鱼肉样品表面的复合生物保鲜剂擦去使测得的 4 °C 冷藏组和 0 °C 冰温贮藏组汁液流失率小于 0 °C 冰温贮藏+生物保鲜剂组; 复合生物保鲜剂可能使蛋白质变性或肌纤维横向收缩, 导致鱼肉保水性下降, 致使汁液流失增加。此外, 复合生物保鲜剂可能降低了鱼肉中酶的活性导致细胞膜结构和功能的完整性破坏, 从而引起汁液流失增加。由图 1 还可知, 0 °C 冰温贮藏组的虹鳟鱼汁液流失率显著大于 4 °C 冷藏组 ($P<0.05$), 说明贮藏温度越低, 肌纤维和蛋白质变性的程度降低, 鱼肉保水性提高, 汁液流失减少^[13]。

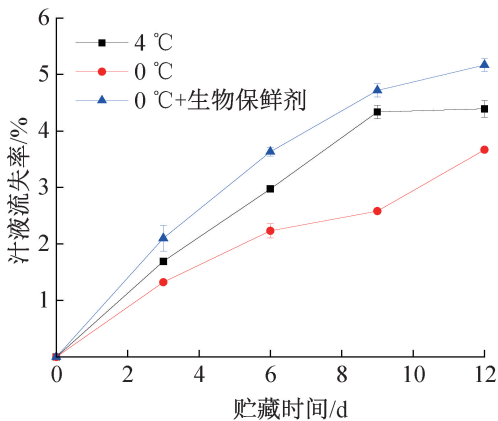


图 1 虹鳟鱼贮藏过程中汁液流失率变化

Fig.1 Variations of drip loss during storage of rainbow trout

2.2 pH 值变化

pH 值在一定程度上能够反映鱼肉在贮藏过程中的品质变化。图 2 所示为虹鳟鱼贮藏过程中 pH 值变化。由图 2 可知, 4 °C 冷藏组的 pH 值呈先降后升趋势, 这是由于虹鳟鱼在死亡后, 机体仍进行无氧代谢使体内乳酸、磷酸等酸性成分含量升高, pH 值降低, 随着时间的延长, 微生物的生长使鱼肉组织内的蛋白质分解成碱性的胺及氨类物质, 因而 pH 值升高。另一方面, 由于 0 °C 冰温贮藏组的温度较低, 冰温环境抑制了酶的活性和微生物生长, 减缓了鱼肉中蛋白质等成分的分解, 即机体内的无氧代谢被抑制, 因此, 0 °C 冰温贮藏组在 0~5 d 的 pH 值略高于 4 °C 冷藏组, 总体呈先平稳后上升趋势。此外, 4 °C 冷藏和 0 °C 冰温贮藏两组在 6~12 d 的 pH 值增长趋势均显著增大, 这是由于随着贮藏时间的推移, 鱼体蛋白质等物质降解为胺类物质和氨等碱性成分, 从而导致 pH 值快速上升。而 0 °C 冰温贮藏+生物保鲜剂组的 pH 值在贮藏初期出现上升趋势, 这可能是因为 0 °C 冰温贮藏+生物保鲜剂组的鱼肉腐败较快, 保鲜剂未完全浸入鱼肉发挥保鲜作用, 从而引起 pH 值上升。在 3~9 d, pH 值明显降低, 这是因为复合生物保鲜剂对腐败过程中产生的氨基和其他组分进行了破坏。在贮藏后期 pH 值出现上升趋势, 但 pH 值远小于其他两组, 表明复合生物保鲜剂具有较好的抑菌和抗氧化活性, 显著减缓鱼肉腐败速度, 保证鱼肉较好的品质并延长其保鲜时间。

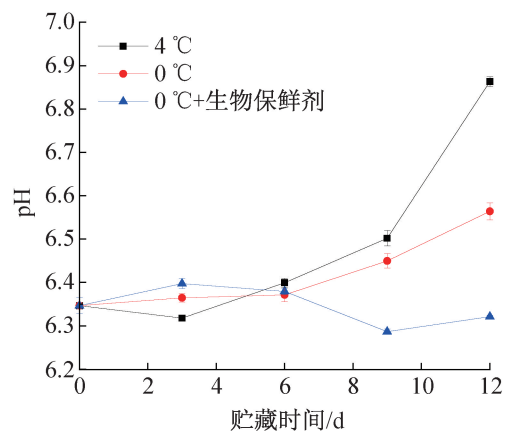


图 2 虹鳟鱼贮藏过程中 pH 变化

Fig.2 Variations of pH value during storage of rainbow trout

2.3 挥发性盐基氮 (TVB-N) 变化

挥发性盐基氮的含量可较好地反映鱼肉的腐败情况, GB 2733—2005《鲜、冻动物性水产品卫生标准》^[30]规定 TVB-N 含量不大于 30 mg/100 g 时属于

可接受范围。图 3 所示为虹鳟鱼贮藏过程中 TVB-N 的变化。由图 3 可知,最初虹鳟鱼 TVB-N 含量为 7.83 mg/100 g,随着贮藏时间的推移,TVB-N 整体呈现上升趋势。在贮藏第 6 天时,4 °C 冷藏、0 °C 冰温贮藏、0 °C 冰温贮藏+生物保鲜剂 3 组的 TVB-N 值均显著下降,3 组 TVB-N 值分别为 10.25、7.59、3.70 mg/100 g,且 3 组之间存在显著差异 ($P < 0.05$)。贮藏第 9 天时,3 组 TVB-N 值分别为 17.24、16.35、14.07 mg/100 g,均在食用范围内,3 组之间差异不显著 ($P > 0.05$)。第 12 天时,4 °C 冷藏、0 °C 冰温贮藏两组的 TVB-N 值分别为 51.89、31.82 mg/100 g,不在食用范围内,而 0 °C 冰温贮藏+生物保鲜剂组的 TVB-N 值仅为 16.96 mg/100 g,在食用范围内,且 3 组之间差异显著 ($P < 0.05$)。在整个贮藏过程中 4 °C 冷藏组的 TVB-N 值明显高于 0 °C 冰温贮藏组,说明温度越高蛋白质的降解速度加快,低级胺类物质含量增加。同时,0 °C 冰温贮藏+生物保鲜剂组的 TVB-N 值明显高于 0 °C 冰温贮藏组,说明复合生物保鲜剂对微生物生长繁殖受到抑制,从而导致其对鱼肉蛋白化合物分解速度减慢,使胺类化合物减少。综上所述,复合保鲜剂主要通过抑制细菌繁殖来减缓 TVB-N 产生,冰温贮藏则是利用了低温对微生物增殖以及酶活性的抑制作用来延缓 TVB-N 的生成。因此,将两种保鲜技术相结合,可以达到更好的保鲜效果。

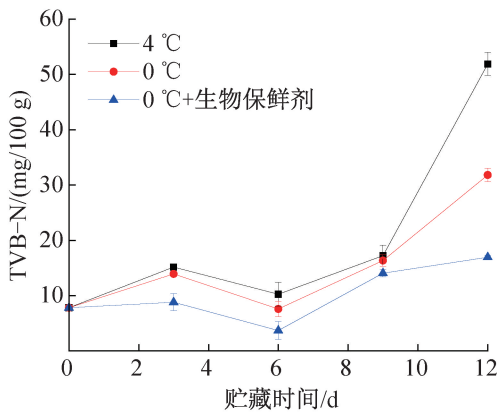


图 3 虹鳟鱼贮藏过程中 TVB-N 值变化

Fig.3 Variations of TVB-N value during storage of rainbow trout

3 结论

本文测定了 4 °C 冷藏、0 °C 冰温贮藏、0 °C 冰温贮藏+复合生物保鲜剂 3 种条件下虹鳟鱼在贮藏第 0、3、6、9、12 天的汁液流失率、pH 值和 TVB-N 值。分析了不同贮藏条件下虹鳟鱼的保鲜效果及影响规律,得到结论如下:

1) 0 °C 冰温贮藏下的虹鳟鱼汁液流失率、pH 值和 TVB-N 值明显低于 4 °C 冷藏组,上升幅度与 4 °C 冷藏组相比也较小。表明 0 °C 冰温贮藏有效抑制了酶的活性和微生物生长,减缓了鱼肉中蛋白质等成分的分解,能够较好地维持虹鳟鱼的品质,延缓虹鳟鱼腐败速度。

2) 在 0 °C 冰温条件下添加复合生物保鲜剂(壳聚糖、茶多酚、柠檬汁质量分数分别为 1.75%、0.25%、4.98%),第 12 天时,4 °C 冷藏和 0 °C 冰温贮藏两组的 pH 值和 TVB-N 值分别为 6.86、6.56 和 51.89、31.82 mg/100 g,均不在食用范围,而 0 °C 冰温贮藏+生物保鲜剂组的 pH 值和 TVB-N 值仅为 6.32 和 16.96 mg/100 g,在食用范围。表明 0 °C 冰温贮藏+复合生物保鲜剂保鲜可有效减缓 pH 值和 TVB-N 值的生长速度,使虹鳟鱼的货架期延长。

3) 0 °C 冰温贮藏+复合生物保鲜剂组在整个贮藏期间的汁液流失高于 4 °C 冷藏组和 0 °C 冰温贮藏组,这可能是由于保鲜剂使肌纤维横向收缩导致鱼肉保水性下降,同时降低了鱼肉中酶的活性导致细胞膜结构和功能的完整性破坏,从而使汁液流失增加。因此,可进一步对不同组成及质量分数的复合保鲜剂进行对比研究,明确复合保鲜剂造成汁液流失增大的内在机理,为延长新鲜虹鳟鱼的冷藏时间并保持产品的良好品质提供一个更有效的保鲜方案。

参考文献

- [1] WU Yiwen, YOU Xiaopeng, SUN Weiqing, et al. Insight into acute heat stress on meat qualities of rainbow trout (*oncorhynchus mykiss*) during short-time transportation [J]. *Aquaculture*, 2021, 543: 737013.
- [2] 刘孝华. 虹鳟鱼的生物学特性及人工养殖技术[J]. *江苏农业科学*, 2007, 35(1): 135-137. (LIU Xiaohua. Biological characteristics and artificial aquiculture technique of *oncorhynchus mykiss*[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2007, 35(1): 135-137.)
- [3] 赵鹏. 虹鳟鱼常见细菌性疾病的防治技术[J]. *黑龙江水产*, 2015(6): 24-26. (ZHAO Peng. Prevention and control techniques for common bacterial diseases in rainbow trout[J]. *Heilongjiang Fisheries*, 2015(6): 24-26.)
- [4] 吴昕宁, 李鸣泽, 梁释介, 等. 茶多酚-壳聚糖复合液对虹鳟鱼肉贮藏品质和菌群结构的影响[J]. *肉类研究*, 2023, 37(2): 20-25. (WU Xinning, LI Mingze, LIANG Shijie, et al. Effects of mixed solution of tea polyphenols and chitosan on storage quality and microbial community structure of rainbow trout (*oncorhynchus mykiss*) fillets [J]. *Meat Research*, 2023, 37(2): 20-25.)

- [5] 周慧. 虹鳟鱼贮藏过程中菌群变化及群体感应信号分子研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2020. (ZHOU Hui. Study on the changes of microflora and quorum sensing signal molecules during storage of rainbow trout [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2020.)
- [6] 刘亚楠, 李欢, 蒋凡, 等. 基于活性包装视角下的水产品保鲜机制研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(13): 285-291. (LIU Yanan, LI Huan, JIANG Fan, et al. Progress in research on the preservation mechanism of aquatic products from the perspective of active packaging [J]. Food Science, 2022, 43(13): 285-291.)
- [7] 李东萍, 蒋妍, 高亮, 等. 冷藏和冰藏条件下虹鳟鱼鱼片品质变化研究[J]. 渔业现代化, 2016, 43(5): 23-27. (LI Dongping, JIANG Yan, GAO Liang, et al. Quality changes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during chilled and iced storage [J]. Fishery Modernization, 2016, 43(5): 23-27.)
- [8] 杨悦, 吴佳静, 许启军, 等. 水产品保鲜技术研究进展[J]. 农产品加工, 2016(10): 54-57, 60. (YANG Yue, WU Jiajing, XU Qijun, et al. Research progress on preservation technology of aquatic products [J]. Farm Products Processing, 2016(10): 54-57, 60.)
- [9] 周慧, 盖园明, 徐超, 等. 基于 16S rDNA 测序及培养基法探究虹鳟鱼贮藏优势腐败菌[J]. 微生物学杂志, 2021, 41(1): 25-32. (ZHOU Hui, GAI Yuanming, XU Chao, et al. Based on 16S rDNA sequencing and culture medium method to explore the dominant spoilage bacteria in storage of rainbow trout [J]. Journal of Microbiology, 2021, 41(1): 25-32.)
- [10] ÖZOGUL Y, ÖZOGUL F, GÖKBULUT C. Quality assessment of wild European eel (*Anguilla anguilla*) stored in ice[J]. Food Chemistry, 2006, 95(3): 458-465.
- [11] 申江, 王晓东, 王素英, 等. 冰温技术应用实验研究[J]. 制冷学报, 2009, 30(4): 40-45. (SHEN Jiang, WANG Xiaodong, WANG Suying, et al. Experimental study on application of hyo-on technology [J]. Journal of Refrigeration, 2009, 30(4): 40-45.)
- [12] 关文强, 许立兴, 刘敬斌, 等. 精准冰温对鲜牛肉贮藏品质的影响[J]. 制冷学报, 2015, 36(4): 103-110. (GUAN Wenqiang, XU Lixing, LIU Jingbin, et al. Influence of accurate ice temperature on quality of fresh beef during storage [J]. Journal of Refrigeration, 2015, 36(4): 103-110.)
- [13] 夏秀芳, 李芳菲, 王博, 等. 冰温保鲜对牛肉肌原纤维蛋白结构和功能特性的影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(9): 54-60. (XIA Xiufang, LI Fangfei, WANG Bo, et al. Effect of controlled freezing point storage on the structural and functional properties of beef myofibrillar protein [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(9): 54-60.)
- [14] REN Baojing, WU Wei, SOLADOYE O P, et al. Application of bio-preservatives in meat preservation: a review [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56(12): 6124-6141.
- [15] 黄霞. 茶叶粗提物对生长育肥猪生长性能和肉质及免疫功能的影响研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014. (HUANG Xia. Effects of crude tea extract on growth performance, meat quality, and immune functions in growing-finishing pigs [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.)
- [16] 杨焕彬, 曾庆培, 林光明, 等. 生物保鲜剂在禽肉保鲜中的应用研究进展[J]. 轻工学报, 2021, 36(6): 38-46. (YANG Huanbin, ZENG Qingpei, LIN Guangming, et al. Research progress in the application of biological preservatives in poultry preservation [J]. Journal of Light Industry, 2021, 36(6): 38-46.)
- [17] PANDEY R, TER BEEK A, VISCHER N O E, et al. Quantitative analysis of the effect of specific tea compounds on germination and outgrowth of *Bacillus subtilis* spores at single cell resolution [J]. Food Microbiology, 2015, 45: 63-70.
- [18] VENDAN D T, RAJESWARI S, ILAVENIL S, et al. Synthesis, characterization and antimicrobial activity of Cu (II), Co(II), Ni(II) and Zn(II) complexes derived from 1-(pyridin-2-yl aminomethyl) pyrrolidine-2,5-dione and 1-phenyl(pyridin-2-yl aminomethyl) pyrrolidine-2,5-dione [J]. Inorganic Chemistry, 2010, 5(2): 77-82.
- [19] 郭芳. 冰温技术结合生物保鲜剂对中国对虾品质的影响[D]. 锦州: 锦州医科大学, 2021. (GUO Fang. Effects of ice temperature technology combined with biological preservatives on the quality of *Penaeus chinensis* [D]. Jinzhou: Jinzhou Medical University, 2021.)
- [20] 赵玉生, 于然. 植酸的食品保鲜机理及应用[J]. 中国调味品, 2007, 32(3): 56-58. (ZHAO Yusheng, YU Ran. The mechanism and application of phytic acid in food preservation [J]. China Condiment, 2007, 32(3): 56-58.)
- [21] 苏红, 张晓梅, 郭芮, 等. 4 种生物保鲜剂结合冰温贮藏对红鳍东方鲀的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2018, 39(3): 276-280, 291. (SU Hong, ZHANG Xiaomei, GUO Rui, et al. Preservation effect of four kinds of biological preservatives combined with ice temperature storage on *Takifugu rubripes* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(3): 276-280, 291.)
- [22] 施建兵, 谢晶, 高志立, 等. 响应面法优化鲳鱼复合生物保鲜剂配方[J]. 食品科学, 2014, 35(20): 37-42. (SHI Jianbing, XIE Jing, GAO Zhili, et al. Optimization of complex biopreservatives to improve quality preservation

- of pomfret fillet by response surface methodology[J]. *Food Science*, 2014, 35(20): 37-42.)
- [23] 谢晶, 章缜, 黎柳, 等. 鲷鱼复合生物保鲜剂冰的配比优化及保鲜效果[J]. *制冷学报*, 2017, 38(4): 102-109. (XIE Jing, ZHANG Zhen, LI Liu, et al. Optimized ice formulation containing tea polyphenols and phytic acid and its effect on the preservation of pomfret[J]. *Journal of Refrigeration*, 2017, 38(4): 102-109.)
- [24] 吴雪丽, 刘红英, 韩冬娇. 冰温结合生物保鲜剂对扇贝的保鲜效果[J]. *食品科学*, 2014, 35(10): 273-277. (WU Xueli, LIU Hongying, HAN Dongjiao. Effect of controlled freezing point storage combined with biological preservative on quality maintenance of scallops[J]. *Food Science*, 2014, 35(10): 273-277.)
- [25] 刘岩, 李敏, 金枝, 等. 生物保鲜剂真空浸渍对冰温贮藏罗非鱼蛋白特性的影响[J]. *广东海洋大学学报*, 2022, 42(2): 88-94. (LIU Yan, LI Min, JIN Zhi, et al. Effect of vacuum impregnation assisted biological preservatives on the protein properties of tilapia fillets during ice-temperature storage[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2022, 42(2): 88-94.)
- [26] 刘雪飞, 亢利鑫, 张德福, 等. 复合生物保鲜剂对冰温贮藏鱿鱼品质的影响[J]. *食品工业*, 2018, 39(6): 62-67. (LIU Xuefei, KANG Lixin, ZHANG Defu, et al. Effect of complex biological preservative on squid quality during ice temperature storage [J]. *The Food Industry*, 2018, 39(6): 62-67.)
- [27] 刘金昉, 刘红英, 齐凤生, 等. 复合生物保鲜剂结合冰温贮藏对南美白对虾的保鲜效果[J]. *食品科学*, 2014, 35(20): 286-290. (LIU Jinfang, LIU Hongying, QI Fengsheng, et al. Preservation effect of complex biological preservative combined with ice temperature storage on penaeus vannamei[J]. *Food Science*, 2014, 35(20): 286-290.)
- [28] 唐坚. 生菜的冰温保鲜及微生物预测模型的初步建立[D]. 上海: 上海师范大学, 2015. (TANG Jian. Preliminary establishment of ice temperature preservation and microbial prediction model for lettuce[D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2015.)
- [29] 郑精杰, 冯志宏, 赵猛. 冰温保鲜对套袋红富士苹果贮藏品质的影响[J]. *果农之友*, 2016(增刊1): 51-53. (ZHENG Jingjie, FENG Zhihong, ZHAO Meng, et al. The effect of ice temperature preservation on the storage quality of bagged red Fuji apples [J]. *Fruit Growers' Friend*, 2016(Suppl. 1): 51-53.)
- [30] 鲜、冻动物性水产品卫生标准: GB 2733—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005. (Hygienic Standards for Fresh and Frozen Animal Aquatic Products: GB 2733—2005[S]. Beijing: Standards Press of China, 2005.)

通信作者简介

秦延斌,男,博士,副教授,上海理工大学健康科学与工程学院,021-55275542, E-mail: qyb110714@usst.edu.cn。研究方向:混合工质制冷技术,食品冷冻冷藏。

About the corresponding author

Qin Yanbin, male, Ph. D., associate professor, School of Health Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, 86-21-55275542, E-mail: qyb110714@usst.edu.cn. Research fields: mixed-refrigerant refrigeration technology, food freezing and cold storage.