

预冷温度对冰温罗非鱼片品质的影响

Effect of pre-cooling conditions on fresh-keeping to ice-temperature *tilapia* fillets

金 枝^{1,2,3} 关志强⁴ 李 敏⁴

JIN Zhi^{1,2,3} GUAN Zhi-qiang⁴ LIN Min⁴

(1. 广东海洋大学食品科技学院, 广东 湛江 524088; 2. 广东省水产品加工与安全重点实验室, 广东 湛江 524088; 3. 水产品深加工广东普通高等学校重点实验室, 广东 湛江 524088;

4. 广东海洋大学机械与动力工程学院, 广东 湛江 524088)

(1. College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 3. Key Laboratory of Advanced Processing of Aquatic Products of Guangdong Higher Education Institution, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 4. College of Mechanical and Power Engineering, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088, China)

摘要:通过设置不同预处理温度(−18, −30, −60 ℃)对罗非鱼片进行预冷处理,使鱼片中心温度降至−1 ℃后置于−2 ℃环境中贮藏。以 pH、色泽、质构特性、挥发性盐基氮(TVB-N)、菌落总数、硫代巴比妥酸值(TBA)、钙离子酶活(Ca^{2+} -ATPase)作为考察指标,进行不同时间间隔下的系列跟踪测试与分析。结果表明:预冷温度对鱼片的 TVB-N 值、菌落总数、TBA、 Ca^{2+} -ATPase 有较大影响,经过预冷处理鱼片的 TVB-N 值、菌落总数增长趋势有所减缓,并且预冷温度越低,鱼片细菌生长速率和鱼肉腐败的进程越慢,同时鱼片脂肪氧化和蛋白质变性的程度也相对较小,其中−30, −60 ℃预冷处理能更好地维持鱼片的品质;贮藏期间各处理组鱼片的 pH 值整体表现出先下降后上升的趋势,预冷处理可显著抑制鱼片 pH 的回升。预冷处理组与对照组鱼片的硬度、咀嚼性和胶黏性均随贮藏时间推移呈下降趋势。−30, −60 ℃预冷处理鱼片的货架期为 17 d,比对照组延长了 6 d。综上可知,预冷处理能够进一步抑制鱼片微生物繁殖和腐败变质,改善冰温罗非鱼片的品质。

关键词:罗非鱼片;预冷温度;冰温保鲜;综合品质;贮藏期

基金项目:广东省科技厅自然科学基金项目(编号:2014A020208115);广东省海洋渔业科技推广专项(编号:A201508C10)

作者简介:金枝,女,广东海洋大学在读硕士研究生。

通信作者:关志强(1956—),男,广东海洋大学教授,硕士。

E-mail: mmcgzq@163.com

收稿日期:2019-04-17

Abstract: Pre-cooling treatment was introduced before the storage of fish fillets at ice temperature, and the effects of different temperature pretreatment conditions on the quality of *tilapia* fillets during ice storage were investigated. The *tilapia* fillets were pre-cooled by setting different pretreatment temperatures (−18, −30, −60 ℃), and the center temperature of the fillets was lowered to −1 ℃, and then stored in −2 ℃. The pH, color, texture, volatile base nitrogen (TVB-N), total number of colonies, thiobarbituric acid value (TBA), and calcium ionize activity (Ca^{2+} -ATPase) were used as indicators to investigate the time interval. The next series of tracking tests and analysis. Result: The different pre-cooling temperatures had a significant effect on the TVB-N value, total number of colonies, TBA and Ca^{2+} -ATPase of the fillets. The TVB-N value and the total number of colonies of the pre-cooled fish fillets decreased. The lower the cold temperature was, and the slower the growth rates of fish fillets and the process of fish spoilage were. At the same time, the degree of fat oxidation and protein denaturation of fish fillets was relatively small, and the pre-cooling treatment at −30, −60 ℃ could better maintain the fish meat quality. During the storage period, the pH value of the fillets of each treatment group showed a trend of decreasing first and then increasing, but the pre-cooling treatment significantly inhibited the pH rise of the fillets. The hardness, chewiness and adhesiveness of the fillets of the pre-cooling treatment group and the control group decreased with the storage time. The shelf life of the fillets under pre-cooling treatment at −30, −60 ℃ was 17 d, which was 6 d longer than the control group. In summary, the pre-cooling

treatment can further inhibit the microbial growth and spoilage of fish fillets, and improve the quality of *tilapia* fillets.

Keywords: *tilapia* fillets; pre-cooling temperature; ice temperature preservation; comprehensive quality; storage period

罗非鱼亦称非洲鲫鱼,主要在中国广东、广西、福建等省被大规模养殖,其肉质鲜美,口感颇佳,富含优质蛋白与多不饱和脂肪酸及钙、磷、锌、铁等矿物质,被消费者广泛认可与接受^[1]。现中国市场上罗非鱼多以活鱼或鲜鱼片的形式销售,宰杀后的罗非鱼因其营养物质丰富且水分含量高而易受微生物侵袭,加上自身内源酶的作用,鱼肉品质会发生劣变,导致营养价值降低^[2]。传统冷藏或冷冻等贮藏方法下的食品已不能满足人们对食物新鲜、营养的需求,冰温保鲜技术由此运用而生。冰温保鲜技术也被称为冰温贮藏技术,是将食品在其冰温带的范围内贮藏,融合了冷冻、冷藏技术的优点,可以有效抑菌和维持食品鲜度,又克服了冷冻导致的食品蛋白质变性、汁液流失及冷藏货架期短的不足^[3-4]。刚宰杀鱼类体温处于常温状态,运输和贮藏过程中鱼肉的糖原分解放热,使鱼体温度升高 2~10℃,若不能及时冷却排除这部分热量,酶和微生物的活动就会大大增强,故需要合适的方式加快鱼肉到达冰点温度的进程,使其快速进入冰温环境以保持品质。

预冷处理多应用于果蔬保鲜贮藏的前处理。果蔬经预冷处理除去了田间热,使得水分含量和机体代谢水平降低,减小自身能量消耗,从而延长保质期^[5]。预冷处理在水产品保鲜方面已有报道,蓝蔚青等^[6]使用流化冰预冷处理鲈鱼,发现流化冰预冷处理可以有效减缓鲈鱼的腐败进程。郭学骞等^[7]用冰水浸渍预冷与冻藏结合处理罗非鱼片,发现经预冷处理后的鱼片贮藏品质得到了明显改善。黄卉等^[8]研究鲜活鲈鱼在不同水温中预冷后进行冰藏的品质变化,结果显示预冷处理能延缓鲈鱼冰藏时色泽变化,可以较好地保持鱼肉的亮度和红度值。而将预冷处理与冰温技术结合应用于罗非鱼的保鲜贮藏研究甚少,姚志勇等^[9]利用自行研制的装置研究了真空冷诱导对罗非鱼片冰温贮藏时鲜度和滋味的影响,真空预冷处理可使鱼片保持较好的品质,但需要相应的真空设备,而且耗能较大,约比冷风冷却高 1%~2%^[10]。

根据当前工业生产冷冻肉常用的冻结温度(-18~-38℃)并参考相关文献^[11-12],本试验拟设置-18,-30,-60℃ 3 个不同预冷处理温度,以新鲜罗非鱼片为原料,采用冰温贮藏的方式,考察经不同预冷处理温度(-18,-30,-60℃)后的罗非鱼片在冰温贮藏过程中 pH、色泽、质构特性、挥发性盐基氮(TVB-N)、菌落总数、硫代巴比妥酸值(TBA)、钙离子酶活(Ca^{2+} -ATPase)等品质指标的变化,为罗非鱼片冰温保鲜工艺的改善提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

罗非鱼:购于湛江市湖光市场;
 Ca^{2+} -ATPase 活性测试盒、考马斯亮蓝蛋白测定试剂盒:南京建成生物工程研究所;
 2-硫代巴比妥酸:化学纯,国药集团化学试剂有限公司;
 平板计数琼脂培养基:北京陆桥技术有限责任公司。

1.2 仪器与设备

多路温度巡检仪:JK-24U 型,常州市金艾联电子科技有限公司;
 电子天平:JJ600 型,常熟市双杰测试仪器厂;
 分析天平:AUY220 型,日本岛津仪器有限公司;
 真空包装机:DZ400/2D 型,瑞利包装机械有限公司;
 pH 计:PHS-3C 型,上海仪电科学仪器有限公司;
 色差计:CR-10 型,日本柯尼卡美能达公司;
 质构仪:TMS-Pro 型,美国 FTC 公司;
 凯氏定氮仪:Vap450 型,德国 Gerhardt 公司;
 电热恒温培养箱:HPX-9082MBE 型,上海博迅实业有限公司;
 超净台:SW-CJ-2D 型,苏州净化设备有限公司;
 立式压力蒸汽灭菌器:LDZX-50KBS 型,上海申安医疗器械厂。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理 敲击头部使罗非鱼致死,除去头、尾、鱼皮及内脏,用无菌水冲洗洁净,切分为 12 cm×5 cm×1 cm 的鱼片,重量(80±2)g。随后将鱼片分别放入-60,-30,-18℃ 冰箱中进行预冷处理,使用温度巡检仪探测鱼片温度,当罗非鱼片中心温度达到-1℃时停止预冷,不同预冷温度条件下鱼片中心温度降至-1℃所需时间如表 1 所示。预冷结束后对鱼片进行真空包装,置于-2℃条件下贮藏。未经预冷处理的鱼片作为对照组,真空包装后直接进行-2℃贮藏,每隔 5 d 测定相关品质指标。

1.3.2 冰点的测定 采用冻结法^[13]。

1.3.3 pH 的测定 根据段伟文等^[14]方法进行测定。

1.3.4 色泽的测定 使用手持色差仪测定鱼片的亮度

表 1 罗非鱼片预冷处理温度及时间

Table 1 Pre-cooling treatment temperature and pre-cooling time of *tilapia* fillets

预冷温度/℃	预冷时间/min
-18	90
-30	70
-60	40

(L^*)、红绿度(a^*)、黄蓝度(b^*),每片鱼片重复测定10次,结果取平均值。

1.3.5 质构测定 参照刘铁玲等^[15]方法并进行修改。使用直径平底柱探头 P/5,采用质地剖面分析(TPA)模式对试样进行测定。参数条件设置为感应力 1 000 N,测试速度 60 mm/min,起始力 0.5 N,形变量 50%,两次下压间隔 1 s。每块鱼片测定 5 次,结果取平均值。

1.3.6 菌落总数的测定 参考 GB/T 4789.2—2016 并适当修改。准确称取 10 g 绞碎鱼肉于 90 mL 无菌生理盐水中,均质充分后 10 倍系列稀释,选择数个适宜稀释度的样品均液 1 mL 倾注营养琼脂平板,待平板凝固后于 $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$ 条件下培养 72 h 后,统计各平板菌落数。

1.3.7 挥发性盐基氮(TVB-N)的测定 按照 GB 5009.228—2016 采用自动凯氏定氮仪法。

1.3.8 硫代巴比妥酸(TBAS)值的测定 参照 Lan 等^[16]方法并稍作修改。称取 10 g 绞碎鱼肉与 40 mL 预冷的 5% 三氯乙酸混合,10 000 r/min 均质 1 min,然后 5 000 r/min 冷冻离心 5 min,过滤上清液,吸取 5 mL 滤液于比色管中,随即加入 0.02 mol/L 硫代巴比妥酸试剂 5 mL,并充分混匀,于沸水中反应 30 min 取出,流动水冷却到室温(约 15 min)。以蒸馏水为参照,532 nm 处测定溶液的吸光值。按式(1)计算 TBA 值。

$$TBA = 7.8 \times A, \quad (1)$$

式中:

TBA——硫代巴比妥酸值,mg MDA/kg;

A——溶液在 532 nm 处的吸光值;

7.8——常数。

1.3.9 Ca^{2+} -ATPase 酶活测定 根据南京建成公司的 ATP 酶测试盒说明书进行测定。

1.4 数据处理

采用 Excel 2007 进行数据记录和整理,使用 SPASS 18.0 软件进行统计分析,显著水平设置为 $P < 0.05$,Origin 9.0 软件绘图。试验结果为 3 次平行试验平均值。

2 结果与分析

2.1 罗非鱼片冰点测定结果分析

由图 1 可知,冻结曲线主要分为降温、结晶、冻结 3 个阶段。降温阶段鱼片温度由室温快速下降至自由水冻结温度 0°C 附近,并有大量热量放出;50~120 min 为第二区间结晶阶段,温度不断下降至冻结点,鱼肉中的水分开始冻结,温度下降速度变慢,曲线呈现较为平缓状态,此温度范围即罗非鱼片冰点温度范围。冻结阶段鱼片温度从冻结点附近继续下降至外界介质温度,根据冰点测定原理,确定本试验罗非鱼的冰点温度范围为 $-1.3 \sim -1.8^\circ\text{C}$ 。根据罗非鱼片冻结曲线选择 -2°C 进行冰温贮藏研究。

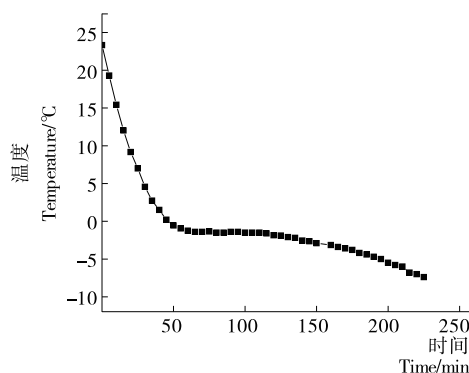


图 1 罗非鱼片的冻结曲线

Figure 1 Freeze curve of *tilapia* fillets

2.2 对罗非鱼片 pH 的影响

由图 2 可知,罗非鱼片的 pH 值总体呈现贮藏前期下降后期回升的趋势。贮藏前 10 d,由于鱼片自身的生化反应,作为能量源储存的糖原被快速分解成乳酸及 ATP 分解磷酸根离子导致 pH 值下降。随后 pH 值出现回升,可能是微生物大量繁殖产生代谢物质,同时微生物将鱼肉中的蛋白质分解,产生了碱性物质^[17]。刚宰杀的新鲜罗非鱼 pH 值接近中性为 6.92,贮藏末期各预冷处理组鱼片 pH 值分别为 6.64 (-18°C), 6.70 (-30°C), 6.67 (-60°C),对照组鱼片的 pH 值上升至 6.76,较预冷处理组回升显著($P < 0.05$),表明预冷处理可以减缓鱼片 pH 值的回升。

2.3 对罗非鱼片色泽的影响

试验表明,不同预冷处理组和对照组的鱼片在贮藏过程中 L^* 值整体呈上升趋势。贮藏前 10 d,预冷处理组鱼片 L^* 值分别上升至 44.18, 44.12, 43.73,处理组间 L^* 值相差不大。贮藏第 20 天,对照组鱼片的 L^* 值与预冷处理组相比明显偏大,经过 $-30, -60^\circ\text{C}$ 预冷处理鱼片的 L^* 显著低于对照组,表明较低温度预冷处理可以延缓

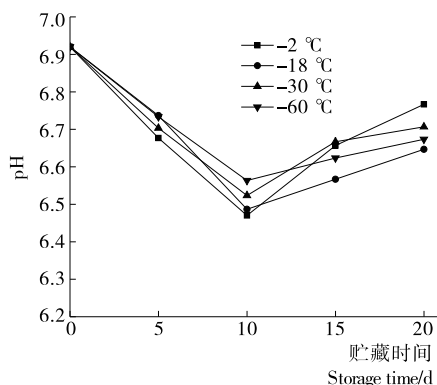


图 2 预冷条件对罗非鱼片 pH 的影响

Figure 2 Effects of different pre-cooling temperature on pH value of *tilapia* fillets during storage

鱼片亮度的增加。

由表 2 可知,不同预冷处理组和对对照组鱼片在贮藏过程中 a^* 值整体呈下降趋势。贮藏前 5 d,预冷处理组鱼片 a^* 值下降幅度显著高于对照组鱼片,可能是对照组鱼片的脂肪氧化程度大于预冷处理组,产生了更多的脂质过氧化物,使得更多高铁肌红蛋白的产生和积累,从而对照组鱼片 a^* 值下降更明显。在贮藏第 20 天时,预冷处理组鱼片与对照组鱼片相比,彼此间红度值并无显著差异($P>0.05$),可能是末期各组鱼片微生物大量繁殖,蛋白质变性程度增大,各鱼片的高铁肌红蛋白积累量相近,因此差异不显著。对照组鱼片 a^* 值与鲜鱼片相比下降了 54%,表明肉色已发暗褐变。

2.4 对罗非鱼片质构的影响

由图 3 可知,各项指标的数值均随贮藏时间的延长不断下降。各鱼片硬度在贮藏前期下降幅度较大,后期趋于平缓,贮藏末期,对照组鱼片硬度由起始的 6.50 N 下降至 2.06 N,硬度呈显著性下降。不同温度预冷处理的鱼片硬度未体现出显著差异($P>0.05$)。胶黏性和咀嚼性的变化趋势与硬度基本相同。对照组与各预冷处理组鱼片胶黏性在贮藏末期无显著差异($P>0.05$),但各预冷处理组鱼片咀嚼性显著高于对照组($P<0.05$),且 -30 、 -60 °C 预冷处理鱼片的咀嚼性高于 -18 °C 预冷处理的。弹性随贮藏时间的增加持续下降。贮藏前 10 d,预冷处理组鱼片弹性略优于对照组,但之后对照组鱼片弹性下

表 2 不同预冷条件对罗非鱼片色泽的影响[†]

Table 2 Effects of different pre-cooling temperature on color of *tilapia* fillets during storage

贮藏时间/d	L^*				a^*			
	-2 °C	-18 °C	-30 °C	-60 °C	-2 °C	-18 °C	-30 °C	-20 °C
0	41.23±0.625 ^{Aa}	41.23±0.625 ^{Aa}	41.23±0.625 ^{Aa}	41.23±0.625 ^{Aa}	7.76±0.497 ^{Aa}	7.76±0.497 ^{Aa}	7.76±0.497 ^{Aa}	7.76±0.497 ^{Aa}
5	43.70±0.434 ^{Ba}	42.22±0.893 ^{Ab}	43.00±0.554 ^{Bab}	42.02±0.696 ^{Ab}	5.42±0.457 ^{Ba}	5.77±0.325 ^{Bb}	5.93±0.294 ^{Bb}	5.85±0.252 ^{Bb}
10	45.35±0.616 ^{Ca}	44.18±1.269 ^{Bab}	44.18±1.269 ^{Bab}	43.73±0.775 ^{Bb}	4.02±0.584 ^{Ca}	5.12±0.591 ^{Cb}	4.83±0.608 ^{Cab}	4.60±0.501 ^{Cab}
15	47.38±0.673 ^{Ca}	46.50±0.848 ^{Bb}	46.50±0.848 ^{Bb}	44.35±0.571 ^{Bd}	3.73±0.550 ^{Ca}	4.58±0.319 ^{Cb}	4.18±0.214 ^{Dab}	4.05±0.225 ^{Da}
20	50.12±0.781 ^{Da}	49.10±1.036 ^{Cab}	49.10±1.036 ^{Cab}	47.68±0.563 ^{Cc}	3.57±0.422 ^{Ca}	3.88±0.538 ^{Da}	4.02±0.271 ^{Da}	3.98±0.280 ^{Da}

[†] 同列大写字母不同表示差异显著($P<0.05$);同行小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

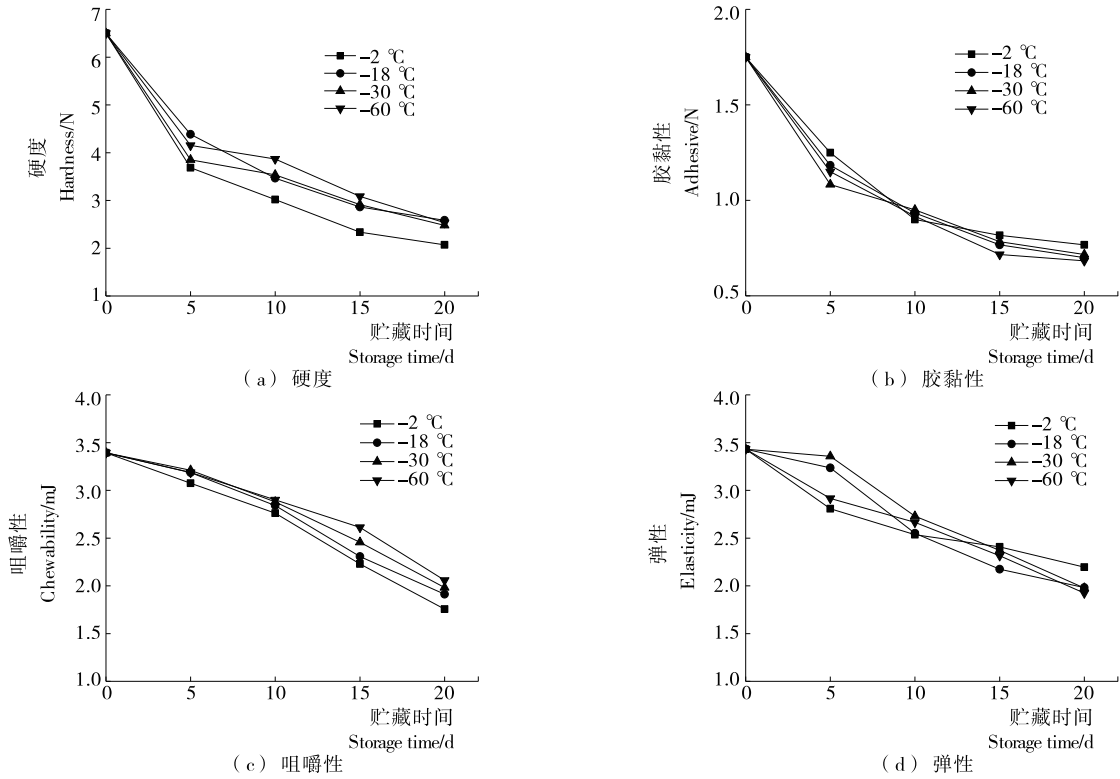


图 3 预冷条件对罗非鱼片质构的影响

Figure 3 Effects of different pre-cooling temperature on texture of *tilapia* fillets during storage

降速率有所减缓。贮藏第20天,对照组鱼片弹性大于预冷处理组($P<0.05$),说明预冷处理会对弹性造成一定影响。有文献^[18]指出,水产品贮藏过程中肌原纤维间的空隙增大,蛋白质降解变性,肌肉细胞间结合力减弱,是导致肌肉质构不断劣化的根本原因。

2.5 对罗非鱼片菌落总数的影响

由图4可知,预冷处理组和对照组鱼片细菌总数始终呈现出持续上升的变化,但预冷处理组鱼片微生物的增长速率较慢。贮藏第10天,对照组细菌增长到 $5.89 \lg(\text{CFU/g})$,接近生鲜水产品菌落总数限量规定(限值 10^6 CFU/g)^[19]。对照组鱼肉已接近次鲜肉,而预冷处理组鱼肉细菌总数 $\ll 10^6 \text{ CFU/g}$ 。贮藏第20天,对照组和各预冷处理组鱼肉均已腐败变质不具可食性。通过菌落总数限量标准判定对照组鱼片货架期为11 d,预冷处理组鱼片货架期分别为15(-18°C),17(-30°C , -60°C) d,低温预处理后可大大提高冰温罗非鱼片货架期。低温可以降低微生物体内代谢酶活力和各种生化反应速率,并导致微生物细胞内原生质体浓度和黏度增加,从而影响其新陈代谢^[20-21],但低温贮藏过程中仍会有许多嗜冷性细菌繁殖,同样会影响鱼肉品质^[22],因此 -2°C 温度贮藏条件下微生物仍会大量繁殖。而极低温度预冷处理组鱼片,表面微生物生长代谢遭破坏,生长速率有所减慢,因此, -30°C 、 -60°C 预冷处理组与对照组相比,细菌总数增长趋势稍显缓和。不同的预冷速率导致鱼片的水分含量及水分活度不同,预冷温度越低鱼片的水分活度越小^[23],因此, -30°C 、 -60°C 预冷处理组抑制微生物生长的效果优于 -18°C 预冷处理组。

2.6 对罗非鱼片 TVB-N 值的影响

由图5可知,TVB-N值整体呈连续增长趋势,但不同温度预冷处理组鱼片TVB-N值上升幅度较对照组小。贮藏第15天,对照组罗非鱼片TVB-N值由初始值的

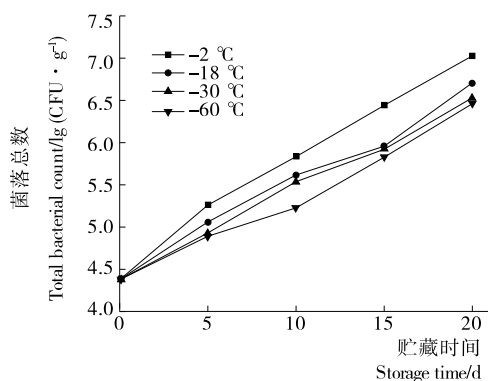


图4 不同预冷条件下罗非鱼片菌落总数的变化

Figure 4 Effects of different pre-cooling temperature on total bacterial count of *tilapia* fillets during storage

9.88 mg/100 g 升至 19.97 mg/100 g(GB 2733—2015 规定限值为 20 mg/100 g),即将进入腐败状态,而于 -18°C 、 -30°C 、 -60°C 预冷处理组分别为 18.44, 17.82, 16.79 mg/100 g,对照组鱼肉腐败程度明显高于预冷处理组($P<0.05$)。贮藏第20天,对照组鱼片已完全腐败变质,TVB-N值达 23.55 mg/100 g,而 -30°C 预冷处理组为 19.84 mg/100 g, -60°C 预冷处理组为 18.82 mg/100 g,仍在安全标准范围内。可能是不同的预冷速率导致鱼片水分含量及水分活度不同,预冷温度越低鱼片的水分活度越小^[23],因而 -60°C 预冷处理组抑制微生物的生长效果优于其余两个预冷处理组,由此减慢了鱼片的腐败速度,抑制了TVB-N的增长,与菌落总数的增长趋势一致。

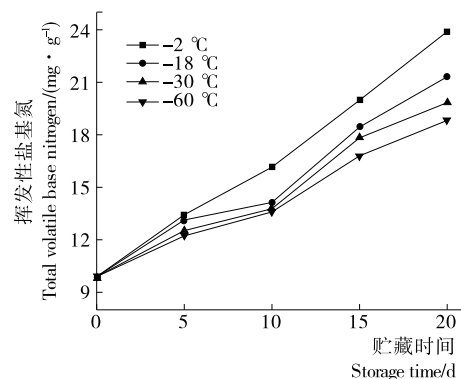


图5 不同预冷条件下罗非鱼片TVB-N值的变化

Figure 5 Effects of different pre-cooling temperature on TVB-N of *tilapia* fillets during storage

2.7 对罗非鱼片 TBA 值的影响

由图6可知,新鲜罗非鱼片脂肪氧化程度极低,TBA值仅为 0.229 mg MDA/kg。随着贮藏的进行,鱼片的TBA值逐渐上升,贮藏末期稍微有所下降。贮藏15 d时,鱼片的TBA值上升至 0.684(-2°C), 0.556(-18°C), 0.504(-30°C), 0.494(-60°C) mg MDA/kg,其中对照组鱼肉的TBA值增加了 0.455 mg MDA/kg,而 -60°C 预冷组鱼片的TBA值增加了 0.265 mg MDA/kg,预冷处理组鱼片氧化程度远小于对照组。贮藏末期鱼片TBA值出现下降,可能是脂肪氧化产物丙二醛(MDA)与鱼肉中的蛋白质发生了作用^[24],丙二醛与蛋白质的结合速率大于其产生速率,因此出现了下降趋势。但预冷处理组鱼片脂肪氧化的程度始终低于对照组且差异明显,表明预冷处理可以减缓鱼肉脂肪氧化的速率。

2.8 对罗非鱼片 Ca^{2+} -ATPase 的影响

由图7可知,冰温贮藏过程中预冷处理组与对照组鱼片 Ca^{2+} -ATPase均呈下降趋势。在低温贮藏过程中,鱼肉pH下降、微生物繁殖、脂肪氧化等因素变化打破了

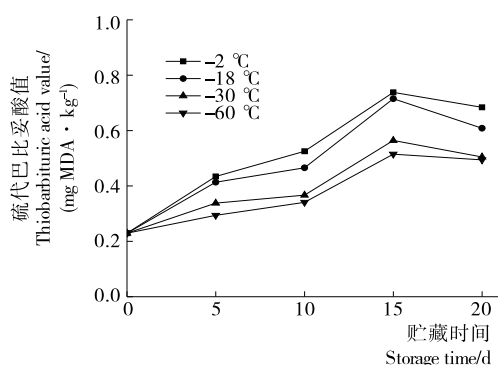


图 6 不同预冷条件下罗非鱼片 TBA 值的变化

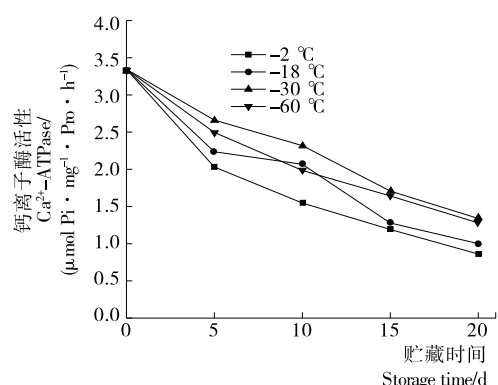
 Figure 6 Effects of different pre-cooling temperature on TBA of *tilapia* fillets during storage

 图 7 不同预冷条件下罗非鱼片 Ca^{2+} -ATPase 的变化

 Figure 7 Effects of different pre-cooling temperature on Ca^{2+} -ATPase of *tilapia* fillets during storage

蛋白质相对的稳定体系,引起肌球蛋白头部区域的构象发生改变,从而使肌原纤维蛋白 Ca^{2+} -ATPase 活性下降^[25]。贮藏第 20 天,对照组鱼片 Ca^{2+} -ATPase 为 0.252,与初始值相比下降了 80.4%,而预冷处理组鱼片降幅分别为 77.9%,74.36%,71.32%,说明鱼肉在贮藏过程中蛋白质发生了明显的变性。试验中预冷处理能对鱼肉 Ca^{2+} -ATPase 活性的下降起一定延缓作用,可能是较低预冷温度减缓了蛋白质分子的二级结构由紧密向松散发展的进程,降低了蛋白变性速率^[26]。其中 -60 °C 预冷处理显著优于 -18 °C,而 -30, -60 °C 两组间无显著差异。

3 结论

试验探究了不同温度预冷处理的罗非鱼片在冰温贮藏过程中的品质变化。通过分析发现,相比单纯冰温贮藏,预冷处理可以保护鱼片色泽,延缓鱼片亮度的增加,抑制 pH 值的回升。预冷温度越低,抑制微生物繁殖作用越明显,挥发性盐基氮及脂肪氧化上升趋势越缓慢,钙离子酶活的下降速率也相对较缓和。-18 °C 与

-60 °C 预冷处理相比,菌落总数、TVB-N、TBA 值、 Ca^{2+} -ATPase 差异显著,后者处理的鱼片有更好的贮藏品质,-30 °C 预冷处理的鱼片品质介于两者之间,但温度过低会造成鱼片弹性变差,在考虑成本的情况下,建议将预冷处理温度设在 -30 °C 左右,可使鱼片保持较好的质地。综上,在冰温罗非鱼生产前进行预冷处理,可为罗非鱼片冰温保鲜工艺的改善提供技术支持。基于当前的研究,后续还可探讨预冷处理的罗非鱼片在冰温贮藏过程中各种营养成分、微观结构的变化以及优势腐败菌的情况。

参考文献

- [1] 彭城宇. 罗非鱼片冰温气调保鲜工艺及其货架期预测模型研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010: 1-2.
- [2] DALE N M, ZUMBADO M, GERNAT A G, et al. Nutrient value of *tilapia* meal[J]. Journal of Applied Poultry Research, 2004, 13(3): 370-372.
- [3] 杨茜, 谢晶. 中间温度带理论在海产品贮藏保鲜中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 187-190.
- [4] 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.
- [5] 吕恩利, 陈明林, 刘妍华, 等. 喷淋预冷工艺参数对荔枝降温特性的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(24): 292-298.
- [6] 蓝蔚青, 张皖君, 吴启月, 等. 流化冰预冷处理对鲈鱼贮藏期间品质变化的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(11): 247-254.
- [7] 郭学骞, 冯爱国, 夏光华, 等. 预冷处理对冻罗非鱼片品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(13): 251-256.
- [8] 黄卉, 郑陆红, 李来好, 等. 不同预冷温度对鲈鱼冰藏期间质构和色差的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(24): 302-308.
- [9] 姚志勇, 万金庆, 庞文燕, 等. 真空冷诱导对冰温贮藏罗非鱼片鲜度和滋味的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(2): 198-203.
- [10] 孙企达. 食品真空冷却保鲜[J]. 真空, 2019, 56(3): 52-56.
- [11] 钱书意, 李侠, 孙圳, 等. 不同冻结温度下牛肉的肌原纤维蛋白变性与肌肉持水性[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 24-30.
- [12] 欧阳杰, 谈佳玉, 沈建. 速冻方式与温度对鲍鱼品质的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(6): 214-218.
- [13] 宋丽荣, 陈淑湘, 林向东. 食品物料冻结点测定方法研究[J]. 食品科学, 2011, 32(S1): 126-131.
- [14] 段伟文, 全沁果, 章雪琴, 等. 静电场结合冰温技术对凡纳滨对虾贮藏期品质的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(12): 101-107.
- [15] 刘铁玲, 何新益, 李昀. 冻藏对鲢鱼、鲤鱼鱼肉质构影响的比较研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(2): 13-14.

(下转第 180 页)

参考文献

- [1] 许伟东, 廖剑锹, 刘加健. 龙果引种初报[J]. 中国南方果树, 2002, 31(1): 33-34.
- [2] 赵志平, 杨春霞. 火龙果的开发与发展前景[J]. 中国种业, 2006, 24(2): 13-14.
- [3] 申世辉, 马玉华, 蔡永强. 火龙果研究进展[J]. 中国热带农业, 2015, 62(1): 48-51
- [4] 吴修仁. 广东药用植物简编[M]. 广州: 广东教育出版社, 1992: 306.
- [5] CAI Yi-zhong, SUN Mei, HAROLD C. Identification and distribution of simple and acylated betacyanins in the Amaranthaceae[J]. J Agric Food Chem, 2001, 49(4): 1 971-1 976.
- [6] 陈冠林, 邓晓婷, 胡坤, 等. 火龙果的营养价值、生物学活性及其开发应用[J]. 现代预防医学, 2013, 4(11): 2 030-2 033.
- [7] CAI Yi-zhong, SUN Mei, HAROLD C. Antioxidant activity of betalains from plants of the Amaranthaceae[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(8): 2 288-2 294.
- [8] STINTZING F C, ANDREAS S. Betacyanins in fruits from red-purple pitaya, Hylocereus polyrhizus(Weber) Britton & Rose[J]. Food Chemistry, 2002, 77(1): 101-106.
- [9] HERBACH K M, STINTZING F C, CARLE R. Betalain stability and degradation: Structural and chromatic aspects[J]. Journal of Food Science, 2006, 71(4): 41-50.
- [10] STRACK D, VOGT T, SCHLIEMANN W. Recent advances in betalain research[J]. Phytochemistry, 2003, 62(3): 247-269.
- [11] 张玉霜, 许庆轩, 李红侠, 等. 甜菜色素种类分布和应用研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(24): 149-156.
- [12] 段晓嫣, 田艳, 邓放明. 火龙果色素生物活性及其提取纯化研究进展[J]. 食品与机械, 2017, 33(10): 214-219.
- [13] 宋珊珊, 谭沙, 蔡国跃, 等. 火龙果果皮色素提取工艺及稳定性研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(2): 121-125.
- [14] 周俊良, 沈佳奇, 韩秀梅, 等. 提取火龙果果皮色素主要工艺的比较研究[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(1): 110-114.
- [15] 刘东红. 液态食品超声传播特性及品质超声检测技术的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006: 35-39.
- [16] 谷勋刚. 超声波辅助提取新技术及其分析应用研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2007: 17-26.
- [17] CHENDKE P K, FOGLER H S. Macrosonics in industry: 4 Chemicalprocessing [J]. Ultrasonics, 1975, 13(1): 431-37.
- [18] GONG Cui-ling, HART D P. Ultrasound induced cavitation and sonochemical yields[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1998, 104(5): 2 675-2 682.
- [19] 王娅玲, 李维峰, 曹海燕. 超声辅助提取火龙果果皮色素的研究[J]. 云南化工, 2015, 42(2): 14-17.
- [20] 杨晓伟, 薛红玮, 牟德华. 酿酒葡萄皮渣中花色苷提取工艺的优化[J]. 食品与机械, 2009, 25(2): 130-132.
- [21] 张慢, 潘丽军, 姜绍通, 等. 响应面法优化酶—超声波辅助同步提取紫薯花青素工艺[J]. 食品科学, 2014, 35(10): 23-28.
- [22] 张飞, 岳田利, 费坚, 等. 果胶酶活力的测定方法研究[J]. 西北农业学报, 2004, 13(4): 134-137.
- [23] 王小敏, 吴文龙, 阎连飞, 等. 分光光度计法测定果胶酶活力的方法研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(5): 227-229.
- [24] 高治平, 丁岚, 刘映, 等. 正交实验优化火龙果果皮红色素超声辅助醇提工艺[J]. 应用化工, 2015, 44(12): 2 199-2 201.
- [25] 陈艳红, 陈慧蓉, 李爱贞, 等. 火龙果果皮红色素的微波提取工艺及其应用[J]. 激光生物学报, 2013, 22(2): 185-191.
- (上接第 140 页)
- [16] LAN Wei-qing, CHE Xu, XU Qiao-ling, et al. Effect of slurry ice made with Ginkgo biloba leaf extract or BambooVinegar on the quality of Pomfret(Pampus argenteus) during ice storage[J]. Food Science, 2017, 18(3): 30-37.
- [17] 周光宏. 肉品加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 76-116.
- [18] 高昕, 韩芳, 许加超, 等. 微冻贮藏条件下鲈鲜度和质构变化[J]. 水产学报, 2010, 34(8): 1 294-1 302.
- [19] 岑剑伟. 冰温气调结合高压静电场对罗非鱼片保鲜及其机理研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016: 20-21.
- [20] FUKUMA Y, YAMANE A, ITOHT, et al. Application of supercooling to long-term storage of fish meat[J]. Fisheries Science, 2012, 78(2): 451-461.
- [21] 郭全友, 许钟, 杨宪时. 冷藏养殖大黄鱼品质变化特征及细菌相分析[J]. 上海海洋大学学报, 2006, 15(2): 216-221.
- [22] 蓝蔚青, 谢晶, 周会, 等. 不同时期鲳鱼冷藏期间优势腐败菌的多样性变化[J]. 食品科学, 2015, 36(2): 226-231.
- [23] 郭学骞, 冯爱国, 熊铭, 等. 速冻温度对罗非鱼片品质的影响[J]. 渔业现代化, 2017, 44(3): 59-64.
- [24] AUBOURG S P, LAGO H, SAYAR N, et al. Lipid damage during frozen storage of Gadiform species captured in different seasons[J]. European Journal of Lipid Science & Technology, 2010, 109(6): 608-616.
- [25] 鲁耀彬, 熊光权, 李新, 等. 葡聚糖延缓草鱼肌原纤维蛋白冷冻变性的机理分析[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 289-294.
- [26] 袁丽, 纪秀, 石彤, 等. 拉曼光谱法分析凡纳滨对虾冻藏过程蛋白质与水分结构变化[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 202-207.