

相变蓄冷工艺在金枪鱼冷链物流中的应用研究

汤元睿, 谢晶, 徐慧文, 张宁, 高磊

(上海水产品加工与贮藏工程技术研究中心, 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要: 为研究不同相变蓄冷剂对金枪鱼配送箱内鱼肉品质的影响, 本试验分别选取了纯水、质量分数 18.8% 的 NaCl、46.3% 的乙醇以及 29% 的 CaCl₂ 溶液制作冰袋, 以不加冰袋作为对照, 模拟夏季金枪鱼配送箱的配送情况, 对箱内温度以及金枪鱼排的中心温度、感官和理化指标进行测定。结果表明, 添加相变蓄冷剂能够有效维持配送过程中金枪鱼排品质, 且蓄冷材料的相变温度越低, 金枪鱼肉质维持的时间越长。18.8% 的 NaCl 溶液冰袋能够较好保持鱼肉的品质, 可在 2 h 内将鱼排维持在冻结状态, 适合短途配送; 46.3% 的 CaCl₂ 溶液冰袋能使鱼排在运输 5 h 后仍保持冻结状态, 中心温度仅 -20.74 °C, 运输末期鱼肉品质接近新鲜鱼肉, 红度值高达 13.61, 硬度及咀嚼性为 3.80 N 及 220.50, 明显高于其他试验组, 是较好的金枪鱼肉的低温蓄冷材料。

关键词: 相变材料; 蓄冷; 配送箱; 金枪鱼; 冷链物流; 质构; 应用

文章编号: 1673-9078(2015)1-173-178

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.1.031

Application of Cold Storage Phase-Change Technology in Cold Chain Logistics of Tuna (*Thunnus obesus*)

TANG Yuan-rui, XIE Jing, XU Hui-wen, ZHANG Ning, GAO Lei

(Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing & Preservation, College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The aim of this study is to investigate the effects of different cold storage phase-change materials on the quality of tuna in distribution boxes. In this study, stimulation under summer conditions was carried out in the distribution box, with or without ice bags. Pure water, 18.8% (*m/V*) NaCl, 53.8% (*V/V*) ethanol, and 29% (*m/V*) CaCl₂ were used separately in ice bags. The temperature in the distribution boxes, the central temperature of the tuna steak, sensory evaluation, and chemical and physical indices were investigated. The results showed that the addition of cold-storage phase-change materials could help maintain high quality of the tuna in the distribution process. The duration for which the quality could be maintained increased with decrease in the phase-change temperature. The tuna steak could keep frozen for 2 h with 18.8% NaCl ice bags, which was suitable for short-time transportation. Tuna steak transported with 46.3% CaCl₂ ice bags had the best effect on low-temperature cold storage. It could keep frozen for 5 h, with the central temperature of the tuna steak being only -20.74 °C. Its quality was close to that of fresh tuna at the end of the transportation process. The redness, hardness, and chewiness of tuna were 13.61, 3.80 N, and 220.50, respectively, and were higher than those of the other test groups.

Key words: phase-change materials; cold storage; distribution box; tuna; cold chain logistics; texture; application

中国市场上零售的大目金枪鱼多为超低温金枪鱼, 鱼肉在远洋超低温渔船直接速冻后再通过冷链物流进行储运和销售^[1]。金枪鱼对保存温度的要求较高, 目前国内的运输多采用普通机械冷藏车, 运输过程难以始终保持在规定的温度下^[2], 消费者在购买金枪鱼后运回家庭的过程中也难以保证鱼肉处于低温环境。

收稿日期: 2014-06-22

基金项目: 国家“十二五”支撑计划课题(2013BAD19B06); 上海市科委工程中心建设(13DZ1203702); 上海海洋大学研究生科研基金(A1020914090013)

作者简介: 汤元睿(1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品低温物流

通讯作者: 谢晶(1968-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品工程

Guizani 等^[3]研究发现 0°C 以上温度贮藏会导致金枪鱼肉新鲜度急剧下降而丧失其商品价值, 同时, 组胺的大量累积甚至可能引发食品安全问题。

当下, 随着人们对物流配送时限及新鲜度的要求日益增高, 更加方便、快捷的蓄冷式配送应运而生。蓄冷式配送通过在物流中心将不同品温的蓄冷剂集中降温至所需温度, 再置入保温配送箱中, 只需使用一般车辆运送货物^[4]。这种配送方式机动灵活, 不受货物配送时间及空间的制约, 可实现“门对门”配送, 方便安排货物配送路径也节省了车辆购置的成本, 同时避免了大型车辆在装卸过程中温度断链以及配送过程中频繁开关门导致温度变化的情况^[5]。蓄冷式配送

中配送箱保温材料的热阻决定了配送箱保温效果,此外,选择合适的蓄冷剂也是配送保温保质的关键。相变材料(phase change material, PCM)在相变过程中可以从周围环境吸收或释放能量,从而完成能量转移,相变过程近似等温过程,并且可以反复使用以降低成本^[6]。近年来相变材料在太阳能、废热余热回收利用以及空调节能方面得到了广泛应用^[7]。李婷等^[8]研究发现 KCl 溶液作为蓄冷剂能够有效减缓雪糕品质劣化。高斯^[9]研究发现 NaCl 及 KCl 溶液可以作为-10~0 °C 范围的蓄冷剂。因此,冻结金枪鱼适用的相变蓄冷剂的开发具有重要的商业价值。

本试验通过在保温配送箱中放置金枪鱼块及蓄冷冰袋,并将其置于 30 °C 温度下 6 h,从箱内温度、冰袋融化情况等方面研究不同成分蓄冷冰袋的保温效果,并从金枪鱼的感官、肉色、质构、TBA 和 TVB-N 方面进行分析,探究不同成分蓄冷冰袋对金枪鱼品质变化的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大目金枪鱼背肉,捕捞屠宰冷冻后直接抽真空冻藏于-55 °C,购自浙江丰汇远洋渔业有限公司;氯化钙、氯化钠、无水乙醇、三氯乙酸、硫代巴比妥酸、硼酸、甲基红、溴甲酚绿、氧化镁,均为分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司;自封袋,购自生工生物工程股份有限公司;9.4 L 便携式食品配送箱,购自宁波华盛电器有限公司。

TrackSense Pro2 X 无线温度验证系统,丹麦 Eallab 公司;Agilent-34972A 温度采集仪,安捷伦科技有限公司;BPS-100CL 恒温恒湿箱,上海一恒科学仪器有限公司;CR-400 彩色色差计,日本柯尼卡美能达株式会社;AUW320 分析天平,日本岛津公司;TA.XT Plus 质构仪,英国 Stable Micro System 公司;FA25 高剪切分散乳化机,上海 FLUKO 弗鲁克流体机械制造有限公司;H-2050R 台式高速冷冻离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;UV-2100 紫外、可见分光光度计,美国尤尼柯仪器有限公司;Kjeltel2300 凯氏定氮仪,丹麦 FOSS 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 处理方法

将购得的金枪鱼块快速分割成大小约 15 cm×10 cm×1 cm 的鱼排,并从 10 cm×1 cm 面往中心处打孔以备测定中心温度,每块质量为 150 g±10 g,PE 保鲜袋分装后贮藏于-55 °C 冰箱备用。

为模拟夏季运输情况,将配送箱放置于 30 °C 恒温恒湿箱中。试验开始时将鱼排和冰袋同时放置于配送箱中,在在配送箱的 6 个内表面分别固定一包冰袋,以不加冰袋作为对照。模拟运输时长 6 h,每小时测定一次相关指标。

1.2.2 冰袋的制作

向自封袋中加入 100 g 已配制的不同溶液,密封后放入冰箱中冷冻 24 h。溶液浓度及冻结环境温度如表 1 所示。

表 1 自制冰袋溶液属性表

Table 1 Solution composition of ice bags

溶液成分	质量浓度/%	相变温度/°C	冻结环境温度/°C	成本计算/元(100g 冰袋)
第 1 组 纯水	-	0	-5	0
第 2 组 氯化钠溶液	18.8	-15.1	-20	0.3572
第 3 组 乙醇溶液	46.3	-33.9	-35	1.1145
第 4 组 氯化钙溶液	29	-45.2	-50	0.7308

1.2.3 温度的测定

空置配送箱的温度测定:在配送箱内 6 个内表面中心各固定一个 100 g 的冰袋,箱内不放鱼排,将无线温度验证系统的温度采集探头固定在配送箱内,记录箱内距离箱底内表面 10 cm 处温度,每 1 min 采集一次。

金枪鱼排中心温度测定:在配送箱内 6 个内表面中心各固定一个冰袋,将一块 15 cm×10 cm×1 cm 鱼排(约 150 g)置于下方冰袋上,将无线温度验证系统的温度采集探头插入鱼排中心记录运输过程中鱼排中心

温度,每 1min 采集一次。

1.2.4 解冻方法

将温度采集仪的热电偶探头插入鱼排中,于室温下空气解冻,以鱼排的中心温度达到-5 °C 为解冻终点。

1.2.5 感官评价

参考汤元睿等^[10]方法,金枪鱼肉切成 8 cm×3 cm×1 cm 的生鱼片,由 8 名受专门培训的感官评定员对生鱼片的外观、肉色、气味、滋味和弹性 5 个方面进行评分,取 5 项分数总和为感官评分,满分为 15

分,最低分为-15分,低于0分则视为感官评价不可接受。

1.2.6 肉色的测定

色差及高铁肌红蛋白相对百分含量的测定均参考Thiansilakul等^[11]方法,重复3次。

1.2.7 质构的测定

参考汤元睿等^[10]方法,采用质构分析(Texture profile analysis, TPA)模式,将鱼肉切成2 cm×2 cm×1 cm的方块,使用平底柱形探头P/6进行测定。每组测定6个样品,选择硬度及咀嚼性进行研究。

1.2.8 硫代巴比妥酸(Thiobarbituric acid, TBA)值的测定

称取5 g切碎的金枪鱼肉,加入15 mL 20%三氯乙酸(TCA)、10 mL蒸馏水,均质后静置30 min。用滤纸过滤并定容至50 mL。取10 mL滤液,加入10 mL 0.02 mol/L硫代巴比妥酸(TBA)溶液混合后放入沸水浴中反应20 min。冷却后用分光光度计在532 nm波长处测定吸光值,重复3次。结果以每千克鱼肉中丙二醛(Malonaldehyde, MDA)的含量表示。

1.2.9 挥发性盐基氮(Total volatile bases nitrogen, TVB-N)值的测定

参考李念文等^[12]方法,称取5 g(精确至0.0001 g)切碎的鱼肉于硝化管中,加入0.5 g轻质氧化镁,采用全自动凯氏定氮仪进行测定,重复3次。

1.3 数据分析

用SPSS 19.0处理实验数据,数据结果均采用平均值±标准差形式,并采用Duncan's multiple range test进行方差分析,取95%置信度($p<0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 不同蓄冷材料对配送箱内温度变化影响

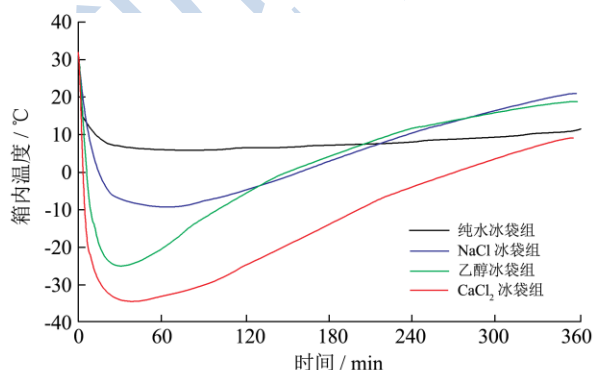


图1 空置配送箱内温度变化情况

Fig.1 Temperature changes in empty distribution boxes

配送箱空置时箱内温度变化如图1所示,由于相

变温度不同,添加了蓄冷材料后配送箱内温度均有不同程度下降,随着物流时间延长,箱内温度开始上升。其中,纯水冰袋变化较为平缓,在约5 h内可将箱内温度维持在10 °C以下。NaCl冰袋、乙醇冰袋和CaCl₂冰袋可将箱内温度分别降至-10 °C、-25 °C以及-35 °C。其中,乙醇冰袋保持低温的时间较短,且温度回升速度较快,约2 h后箱温就接近NaCl冰袋。同时,实验中发现乙醇冰袋的充冷时间长,且成本较高,因此认为不适合作为物流过程的蓄冷材料。

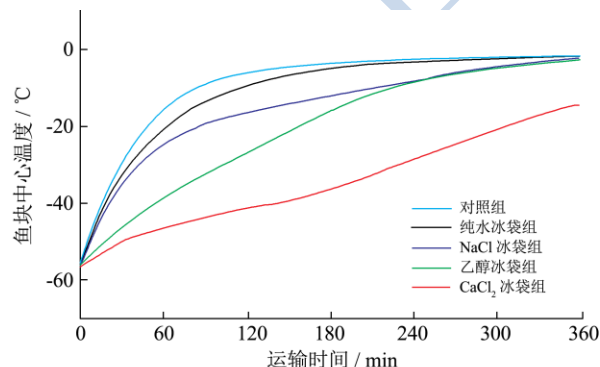


图2 运输期间金枪鱼排中心温度变化

Fig.2 Changes in the central temperature of tuna steaks during transportation

金枪鱼排中心温度变化如图2所示,对照组由于箱内温度较高并且无蓄冷材料,鱼排温度迅速上升,2 h时中心温度已达到-5 °C,纯水冰袋组鱼块中心温度上升速度仅次于对照组,3 h时达到半解冻状态。NaCl冰袋组的鱼排在2 h时中心温度为-16.25 °C,仍处于冻结状态,5 h时中心温度上升至-5 °C,达到半解冻状态。乙醇冰袋组的鱼排中心温度上升较为缓慢,可在1 h内将鱼排的中心温度维持在-40 °C以下,但在约4 h时和NaCl冰袋组的鱼排中心温度相近。CaCl₂组的鱼排中心温度上升最缓慢,冰袋可使鱼排中心温度在2.5 h内保持在-40 °C以下,5 h时鱼排的中心温度为-20.74 °C,仍处于冻结状态。

2.2 不同蓄冷材料对金枪鱼肉感官评价的影响

运输期间金枪鱼肉的感官评价结果如表2所示,运输末期所有鱼肉均在可接受范围内,但对照组和纯水冰袋组的评分较低。对照组在运输2 h后开始有汁液渗出,4 h时鱼块的外圈肉色变暗,5 h时整块鱼肉变暗,但无腥臭味,Thiansilakul等^[13]认为高铁肌红蛋白生成引起褐变,但其不会影响鱼肉的风味和口感,与上述感官评价结果一致。纯水冰袋组在5 h时开始出现汁液流失,感官评分较低。NaCl冰袋组与乙醇冰

袋组的感官评分无显著性差异 ($p < 0.05$), 在 4 h 时鱼肉的中心温度分别为 $-8.30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-8.34\text{ }^{\circ}\text{C}$, 鱼排的边缘部分均已经解冻, 说明乙醇冰袋在维持鱼肉的感官评

分上并无优势, CaCl_2 冰袋组在运输 5 h 内处于冻结状态, 但在 6 h 时边缘稍有变软但仍未解冻, 因此在运输末期感官评分只是略有下降。

表 2 运输期间金枪鱼感官评价结果

Table 2 Changes in the sensory evaluation of tuna during transportation

运输时间/h	对照组	纯水冰袋组	NaCl 冰袋组	乙醇冰袋组	CaCl_2 冰袋组
0	14.29±0.51 ^a	14.21±0.41 ^a	14.08±0.48 ^a	14.28±0.36 ^a	14.31±0.37 ^a
1	13.90±0.42 ^a	13.81±0.35 ^a	13.99±0.46 ^a	13.99±0.22 ^a	14.00±0.40 ^a
2	10.50±0.39 ^a	13.04±0.47 ^b	13.33±0.42 ^{bc}	13.69±0.39 ^d	13.94±0.29 ^d
3	9.65±0.40 ^a	11.35±0.72 ^b	12.94±0.51 ^c	13.24±0.32 ^{cd}	13.70±0.28 ^d
4	8.16±0.42 ^a	9.93±0.63 ^b	12.29±0.47 ^c	12.63±0.33 ^c	13.54±0.35 ^d
5	7.14±0.62 ^a	8.29±0.53 ^b	11.78±0.66 ^c	11.75±0.42 ^c	13.19±0.26 ^d
6	6.73±0.65 ^a	7.31±0.54 ^b	9.93±0.52 ^c	9.91±0.33 ^c	12.38±0.53 ^d

注: 表中数据为各组样品“感官评分平均值±标准差”(n=8); 同行的不同字母表示差异性显著 ($p < 0.05$)。

2.3 不同蓄冷材料对金枪鱼肉色的影响

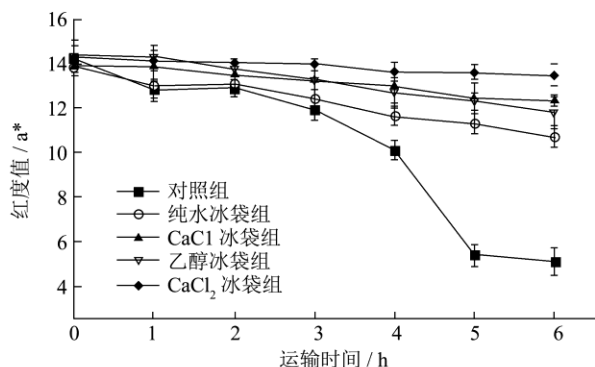


图 3 运输期间金枪鱼排红度值的变化

Fig.3 Changes in the redness of tuna during transportation

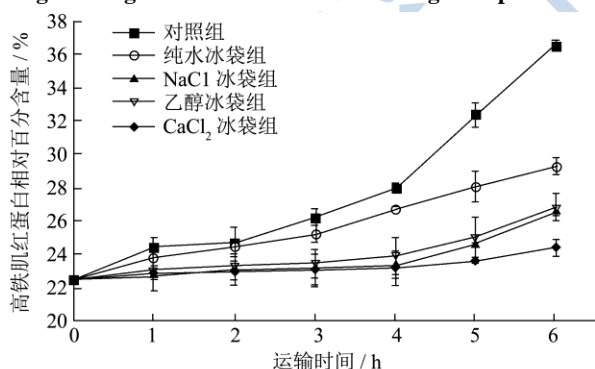


图 4 运输期间金枪鱼排高铁肌红蛋白相对百分含量的变化

Fig.4 Changes in the metmyoglobin percentage in tuna steaks during transportation

运输期间金枪鱼肉的红色度值及高铁肌红蛋白相对百分含量变化如图 3、4 所示。随着运输时间延长, 各组红色度值均有不同程度下降, CaCl_2 冰袋组在运输 6 h 后红色度值为 13.48, 仅下降了 5.7%, 高铁肌红蛋白含量在 5 h 后有所升高。NaCl 及乙醇冰袋组在运输 4 h 内保持较低的高铁肌红蛋白含量, 这可能是由于鱼肉

处于冻结状态, 肌红蛋白氧化速率低, 随后二者含量均开始上升, 但始终无显著性差异 ($p > 0.05$), 说明二者在保持肉色方面效果相同。对照组的红色度值在运输 4 h 后急剧下降, 运输末期仅为 5.13, 高铁肌红蛋白含量达 36.59%, 这可能是由于运输 2 h 后鱼排已处于半解冻状态, 配送箱内无保冷措施导致鱼肉在较高温度下贮藏, 鱼肉中的肌红蛋白氧化生成高铁肌红蛋白, 表现为图 4 中高铁肌红蛋白相对百分含量升高, 导致鱼肉褐变, 与上文感官评价结果相符。

2.4 不同蓄冷材料对金枪鱼肉质构的影响

运输期间金枪鱼肉的硬度及咀嚼性的变化分别如表 3、4 所示, 运输期间各组硬度均有不同程度下降, 其中, 对照组硬度下降最为显著, 与上文感官评定结果相符。对照组在 3 h 时硬度值略有上升, 这可能是由于鱼肉在解冻后产生解冻僵硬现象, 而其他试验组均未产生该现象, 说明配送箱内逐渐升温的解冻环境能够避免鱼肉产生解冻僵硬, 这与 Imamura 等^[4]研究发现解冻前温度转换能够避免鱼肉解冻僵硬现象发生的结论相符。运输的前 3 h 内乙醇冰袋组的硬度略高于 NaCl 冰袋组, 5 h 时却低于 NaCl 冰袋组, 虽然上文中两组鱼排中心温度差异不大, 这可能是由于 NaCl 溶液的比热容较大, 鱼排表面与冰袋接触部分的热量被吸收, 有效保持了鱼排表面温度, 从而延缓硬度下降。咀嚼性的变化和硬度相似, 运输末期乙醇和 NaCl 冰袋组间无显著性差异 ($p > 0.05$), CaCl_2 冰袋组在贮藏末期仍保持了较高的咀嚼性, 说明冻结状态可以有效维持鱼肉的咀嚼性。

2.5 不同蓄冷材料对金枪鱼肉 TBA 的影响

运输期间金枪鱼肉 TBA 值的变化如图 5 所示,

运输期间各组 TBA 值均有不同程度上升, 其中 CaCl₂ 冰袋组 TBA 值升高较缓慢, 运输 6 h 后仅为 0.286 mg MDA/kg。NaCl 冰袋组在运输 2 h 后 TBA 值仅为 0.255 mg MDA/kg, 和 CaCl₂ 冰袋组接近, 这可能是由于鱼肉处于冻结状态, 脂肪氧化速率低。乙醇冰袋组在运输 5 h 后 TBA 值迅速升高, 接近 NaCl 冰袋组, 可能是由于乙醇冰袋完全融化后溶液的比热容较小, 鱼块

温度上升, 鱼块中的部分脂肪开始氧化。通常认为鱼肉中 TBA 值达到 1~2 mg MDA/kg 会开始产生腐败性酸臭味^[15], 试验末期对照组的 TBA 值也仅为 0.391 mg MDA/kg, 远低于该限值, 与上文感官评价中无鱼腥味的结论相符, 说明较短运输时间和较低运输温度都能有效延缓鱼肉脂肪的氧化酸败。

表 3 运输期间金枪鱼排硬度的变化

Table 3 Changes in the hardness of tuna steaks during transportation

运输时间/h	对照组/N	纯水冰袋组/N	NaCl 冰袋组/N	乙醇冰袋组/N	CaCl ₂ 冰袋组/N
0	3.89±0.027 ^a	3.89±0.027 ^a	3.89±0.027 ^a	3.89±0.027 ^a	3.89±0.027 ^a
1	3.81±0.016 ^a	3.81±0.023 ^a	3.85±0.015 ^b	3.85±0.028 ^b	3.88±0.012 ^c
2	3.65±0.025 ^a	3.76±0.021 ^b	3.83±0.018 ^c	3.83±0.010 ^c	3.85±0.015 ^c
3	3.66±0.015 ^a	3.75±0.017 ^b	3.76±0.018 ^b	3.80±0.016 ^c	3.84±0.015 ^d
4	3.65±0.019 ^a	3.67±0.012 ^b	3.73±0.015 ^c	3.73±0.030 ^c	3.82±0.014 ^d
5	3.60±0.026 ^a	3.64±0.027 ^b	3.72±0.016 ^c	3.66±0.014 ^b	3.80±0.012 ^d
6	3.53±0.019 ^a	3.61±0.016 ^b	3.65±0.017 ^c	3.65±0.007 ^c	3.79±0.012 ^d

注: 表中数据为各组样品“硬度值±标准差”(n=6); 同行的不同字母表示差异性显著 (p<0.05)。

表 4 运输期间金枪鱼排咀嚼性的变化

Table 4 Changes in the chewiness of tuna steaks during transportation

运输时间/h	对照组	纯水冰袋组	NaCl 冰袋组	乙醇冰袋组	CaCl ₂ 冰袋组
0	232.98±2.16 ^a	232.98±2.16 ^a	232.98±2.16 ^a	232.98±2.16 ^a	232.98±2.16 ^a
1	218.43±4.86 ^a	220.73±2.91 ^a	227.48±1.25 ^b	229.62±1.14 ^b	229.69±1.56 ^b
2	184.13±2.71 ^a	208.84±2.89 ^b	222.78±3.14 ^c	226.77±1.49 ^d	229.18±3.45 ^d
3	188.87±1.23 ^a	192.92±1.91 ^b	221.21±0.63 ^c	224.52±1.29 ^d	228.78±1.27 ^e
4	173.58±1.23 ^a	187.80±0.98 ^b	217.90±0.91 ^c	214.88±2.55 ^d	226.92±1.04 ^e
5	168.79±2.09 ^a	181.73±1.72 ^b	204.36±1.58 ^c	202.98±1.80 ^c	220.50±2.21 ^d
6	154.47±2.05 ^a	171.11±2.59 ^b	185.36±1.84 ^c	184.85±1.99 ^c	209.91±1.56 ^d

注: 表中数据为各组样品“咀嚼性值±标准差”(n=6); 同行的不同字母表示差异性显著 (p<0.05)。

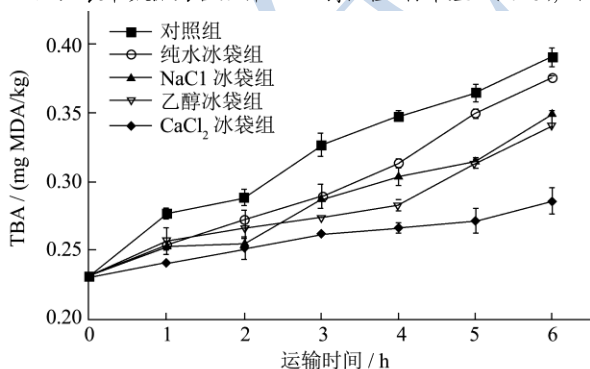


图 5 运输期间金枪鱼排 TBA 值的变化

Fig.5 Changes in the TBA values of tuna steaks during transportation

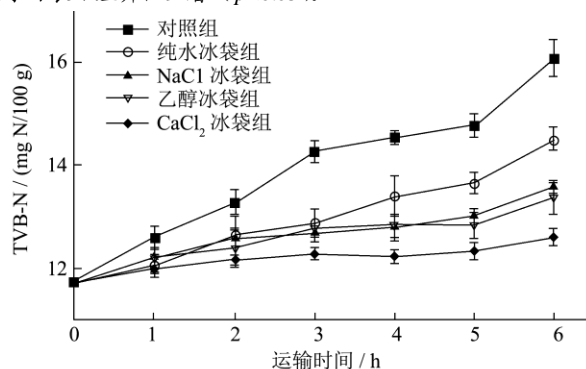


图 6 运输期间金枪鱼排 TVB-N 值的变化

Fig.6 Changes in the TVB-N values of tuna steaks during transportation

2.6 不同蓄冷材料对金枪鱼肉 TVB-N 的影响

运输期间金枪鱼肉 TVB-N 的变化如图 6 所示。

对照组的 TVB-N 值在运输期间显著上升, 贮藏末期达到 16.08 mgN/100g, 明显高于其他试验组, Stansby^[16]认为 TVB-N 值在 12~20 mgN/100 g 范围内

时鱼肉略有降解,样品中少量的 TVB-N 不会影响鱼肉的气味,与上文感官评价结果相符。运输 3 h 内纯水冰袋组、NaCl 冰袋组以及乙醇冰袋组间无显著性差异 ($p>0.05$),随后纯水冰袋组显著上升,而 NaCl 冰袋组及乙醇冰袋组间始终无显著性差异。贮藏末期 CaCl_2 冰袋组为 12.60 mgN/100g,仅比运输前升高 6.79%,显著低于其他 4 组,说明 CaCl_2 冰袋能够有效延缓蛋白质分解,从而减少氨及胺类等碱性挥发性物质的产生,保持鱼肉良好品质。

3 结论

3.1 试验研究了不同成分蓄冷冰袋对金枪鱼品质变化的影响,结果表明:蓄冷材料的相变温度越低,金枪鱼肉品质维持的时间越长。

3.2 保存在纯水冰袋和氯化钠冰袋配送箱内的鱼排在物流过程中缓慢解冻,其中心温度上升速度低于不使用冰袋保温的鱼排,在物流末期能够保证金枪鱼肉的较好品质,其中,18.8%氯化钠冰袋效果较好,可将鱼肉在 2 h 内保持冻结状态,可应用于金枪鱼肉短途配送。而 46.3%乙醇溶液冰袋融化速度较快,且制作成本较高,100 g 乙醇冰袋成本为 1.1145 元,并不适合作为蓄冷材料。

3.3 29%氯化钙溶液可将金枪鱼肉维持在 $-40\text{ }^\circ\text{C}$ 下 2.5 h,在运输 5 h 后鱼排的中心温度仍可保持在 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 左右,运输末期鱼肉品质明显高于其他试验组,且 100 g 的 29%氯化钙冰袋的成本仅为 0.7308 元,是较好的金枪鱼肉的低温蓄冷材料。将相变蓄冷材料与金枪鱼包装结合,可以避免常规冷藏车装卸货过程中冷链的断链现象、方便消费者购买后运回过程中保持低温,同时促进第三方物流的发展。

3.4 此外,实验中发现冰袋的冻结时间较长,并且蓄冷剂在冻结过程中存在的过冷现象会导致制冷机的蒸发温度降低、系统的性能系数减小。因此,如何减少蓄冷剂充冷过程中的过冷度以减少充冷时间、降低能耗值得进一步研究与探讨。

参考文献

[1] 陈坚,朱富强,万锦康.发展中的水产品冷藏链技术-金枪鱼冷藏链[J].渔业现代化,2002,1:29-36
CHEN Jian, ZHU Fu-qiang, WAN Jin-kang. Development of aquatic products cold chain technology-tuna cold chain logistics system [J]. Fishery Modernization, 2002(1): 29-36

[2] 吴稼乐,陈坚,朱富强,等.发展中的水产品冷藏链技术-金枪鱼冷链物流体系和配送系统[J].制冷,2007,26(4):33-37
WU Jia-le, CHEN Jian, ZHU Fu-qiang, et al. Development

of aquatic products cold chain technology-tuna cold chain logistics system-tuna cold chain logistics system and distribution system [J]. Refrigeration, 2007, 26(4): 33-37

- [3] Guizani N, Al-Busaidy M A, Al-Belushi I M, et al. The effect of storage temperature on histamine production and the freshness of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) [J]. Food Research International, 2005, 38(2): 215-222
- [4] 王倩,王淑云.关于发展蓄冷式冷链物流多温共配的思考[J].中国海洋大学学报:社会科学版,2012,5:49-54
WANG Qian, WANG Shu-yun. Reflection on the development of multi-temperature joint distribution based on storage cold chain logistics [J]. Journal of Ocean University of China(Social Sciences), 2012, 5: 49-54
- [5] 陈海洋,张建一.蓄冷型运输保温箱在冷链中的应用[J].冷藏技术,2010,3:12-16
CHEN Hai-yang, ZHANG Jian-yi. Application of cold storage type transport box in cold chain [J]. Cold Storage Technology, 2010, 3: 12-16
- [6] Sari A, Kaygusuz K. Some fatty acids used for latent heat storage: thermal stability and corrosion of metals with respect to thermal cycling [J]. Renewable Energy, 2003, 28(6): 939-948
- [7] 陈爱英,汪学英,曹学增.相变储能材料的研究进展与应用[J].材料导报,2003,17(5):42-44
CHEN Ai-ying, WANG Xue-ying, CAO Xue-zeng. Research and application of phase change material(PCM) used as energy storing material [J]. Materials Review, 2003, 17(5): 42-44
- [8] 李婷,潘欣,应铁进.食品相变蓄冷剂的配方优化及应用[J].中国食品学报,2011,11(4):115-122
LI Ting, PAN Xin, YING Tie-jin. Optimization and application of formula for CTESM as temperature regulator in food storage [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2011, 11(4): 115-122
- [9] 高斯.保温包装中蓄冷剂的研制[D].无锡:江南大学,2012
GAO Si. Research on cold storage agent for insulation packaging [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012
- [10] 汤元睿,谢晶,李念文,等.不同冷链物流过程对金枪鱼品质及组织形态的影响[J].农业工程学报,2014,30(5):285-292
TANG Yuan-rui, XIE Jing, LI Nian-wen, et al. Effects of different cold chain logistics situations on quality and microstructure of tuna (*Thunnus obesus*) fillet [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(5): 285-292
- [11] Thiansilakul Y, Benjakul S, Richards M P. The effect of

- different atmospheric condition on the changes in myoglobin and colour of refrigerated Eastern little tuna muscle [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(6): 1103-1110
- [12] 李念文,汤元睿,谢晶,等.物流过程中大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)的品质变化[J].食品科学,2013,34(14):319-323
LI Nian-wen, TANG Yuan-rui, XIE Jing, et al. Physicochemical quality properties of *Thunnus obesus* during logistical process [J]. Food Science, 2013, 34(14): 319-323
- [13] Thiansilakul Y, Benjakul S, Richards M P. Changes in heme proteins and lipids associated with off-odour of seabass (*Lates calcarifer*) and red tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*) during iced storage [J]. Food Chemistry, 2010, 121(4): 1109-1119
- [14] Imamura S, Suzuki M, Okazaki E, et al. Prevention of thaw-rigor during frozen storage of bigeye tuna *Thunnus obesus* and meat quality evaluation [J]. Fisheries science, 2012, 78(1): 177-185
- [15] 宣伟,励建荣,李学鹏,等.真空包装青石斑鱼片在 0℃贮藏时的品质变化特性[J].水产学报,2010,8:1285-1293
XUAN Wei, LI Jian-rong, LI Xue-peng, et al. Quality changes of yellow grouper (*Epinephelus awoara*) fillets stored under vacuum packaging at 0℃ [J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 8: 1285-1293
- [16] Stansby M E. Speculations on fishy odors and flavors [J]. Food Technology, 1962, 16(4): 28