静态流化冰对鱿鱼保鲜效果的影响

袁鹏翔[1]，邓尚贵[1]，张宾[1]，李月琴[1]，Santiago Aubourg[2]
(1.浙江海洋学院食品与医药学院，浙江舟山 316022)
(2.Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) Vigo Spain 36213, Spain)

摘要：为了探究静态流化冰对鱿鱼的保鲜效果，以东海海域的新鲜鱿鱼为研究对象，采用品质、理化性质及微生物等检测方法，分别研究鱿鱼在流化冰、淡水碎冰和冰箱贮藏条件下的保鲜效果。经 15 d 的保鲜研究表明：冰箱保鲜鱿鱼的感官评分、水分含量、pH 值、TVB-N、菌落总数、弹性、咀嚼性依次为 3.36、77.42%、7.65、>30 mg/100 g、7.04 lgCFU/g、0.05 mm、0.06 MJ；淡水碎冰保鲜鱿鱼的各项指标为 3.95、78.33%、7.23、>30 mg/100 g、6.61 lg CFU/g、0.06 mm、0.10 MJ；流化冰保鲜鱿鱼的各项指标为 6.57、84.78 %、6.64、13.26 mg/100 g、4.73lgCFU/g、0.16 mm、0.16 MJ。分析可知（1）流化冰具有保持鱿鱼原有鲜度、理化、卫生等特性的效果，（2）流化冰对鱿鱼的保鲜效果明显优于冰箱和淡水碎冰。结果提示：流化冰相对于冰箱、碎冰保鲜而言，能更有效地减缓鱿鱼的腐败变质速度，延长货架期，从而可提高水产品贮运保鲜品质。

关键词：鱿鱼；静态流化冰；淡水碎冰；冰箱贮藏；保鲜
文章篇号：1673-9078(2015)8-242-247 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.8.038

Effect of Static Ice Slurry on the Preservation of Squid

YUAN Peng-xiang[1], DENG Shang-gui[1], ZHANG Bin[1], LI Yue-qin[1], SANTIAGO Aubourg[2]
(1.College of Food and Medicine, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)
(2.Consejo Superior de Investigaciones Cientficas (CSIC), Vigo 36213, Spain)

Abstract: The effect of using static ice slurry, freshwater crushed ice, or refrigeration for preservation of fresh squid from the East China Sea was studied, in terms of sensory score, physicochemical properties, and microbial counts. After a 15-day preservation period the values of sensory scores, moisture content, pH, total volatile base nitrogen (TVB-N), total viable counts, elasticity, and chewiness of samples were as follows: 3.36, 77.42%, 7.65, >30 mg/100 g, 7.04 log CFU/g, 0.05 mm, and 0.06 MJ for refrigerated samples; 3.95, 78.33%, 7.23, >30 mg/100 g, 6.61 log CFU/g, 0.06 mm, and 0.10 MJ for samples stored in freshwater crushed ice; and 6.57, 84.78%, 6.64, 13.26 mg/100 g, 4.73 log CFU/g, 0.16 mm, and 0.16 MJ for samples stored in static ice slurry, respectively. The results show that (1) ice slurry conditions maintained the freshness and physicochemical properties of squid, which met food safety standards; (2) the preservation effect of ice slurry was significantly better than that of refrigeration and freshwater crushed ice. The results also showed that as compared to freshwater ice and refrigeration, ice slurry preservation significantly retards the spoilage rate and extends the shelf life of squid, thus helping to improve the quality of aquatic products during transportation and storage.

Key words: squid; static ice slurry; freshwater crushed ice; refrigerator; preservation

东海鱿鱼（*Ommastephes bartrami*）又称北太平洋红鱿鱼，属于软体动物门、头足纲、管鱿目，主要分布于北太平洋暖寒流交汇水域，是西北太平洋海域重要的经济头足类。鱿鱼富含钙、磷、铁元素、氨基酸、牛磺酸等，其富含的钙、磷、铁元素利于骨骼发育和造血，能有效改善贫血；鱿鱼富含的蛋白质和氨基酸大都是人体所需的，牛黄酸可抑制血液中的胆固醇含量，缓解疲劳；其所含多肽和硒有抗病毒、抗射线作用，非常受到大众的喜欢[1~2]。但海洋鱿鱼资源迅速枯竭，东海鱿鱼产量也明显降低，其中部分鱿鱼由于保鲜问题而腐败变质，加速了鱿鱼资源枯竭速度。

新鲜鱿鱼水分含量高（70~85%）、组织脆弱，细菌容易侵入，同时在组织内源酶作用下极易出现腐败变质。在贮藏与运输过程中的鲜度控制一直以敷冰（淡水制冰）和冰箱贮藏为主要保鲜方式，但冰块和碎冰比较坚硬且有棱角，很容易对鱿鱼体表造成机械伤害，破坏鱿鱼完整性，导致组织营养液流失和细菌入侵变质。冰块和碎冰与鱼体之间存在很多缝隙，严重降低了冷却速度和保鲜效果，同时为微生物的繁殖提供了

收稿日期：2014-10-24
基金项目：十二五国家科技支撑计划（2012BAD29B06）；国家国际科技合作项目（2012DFA30600）；国家自然基金项目（31201452）；浙江省公益性项目（2012C33081）
通讯作者：邓尚贵（1966-），男，博士生导师，教授

条件。冰箱保鲜鱿鱼成本高、设备复杂、耗能大、降温速度慢、传热效果差，同时让大量氧气与鱼体接触，加快了鱼体氧化和微生物反应速度，无法成为一种良好的鱼类降温、贮藏保鲜方法。

流化冰是以海水为原料制取的新型保鲜介质，是颗粒状冰晶与海水组成的均匀两相混合物，冰晶粒子直径介于 50~100 mm 之间，其载冷能力是冷冻水载冷能力的 1.8~4.3 倍，是一种全新的冷却(制冷)介质[3]。与其他冰种和保鲜方式不同，流化冰冰粒细小圆滑，具有流动性，可充填到任何孔隙，迅速包围产品表面，与产品紧密接触，冷却过程不损伤表皮，有很好的密封作用和极高的冷却速度，能有效地抑制产品内细菌的繁殖和自身氧化速度，提高产品新鲜度、品质和延长保质期[4]。流化冰制取设备简单、便宜，制取过程方便、快捷、节能，流化冰的制备能直接利用海水制取，节约淡水资源。流化冰保鲜方法已在美欧等国成功使用，国内研究尚处于初步阶段，国内外关于流化冰保鲜脊椎动物的研究较多。但对头足类保鲜的研究报道很少，本研究以东海鱿鱼为研究对象，用 3.0%的 NaCl 溶液模拟东海海水制取流化冰，且该浓度下流化冰设备出冰效果较好。通过 15 d 贮藏研究，比较静态流化冰、淡水碎冰、冰箱贮藏保鲜对鱼体各个鲜度指标的影响，确定流化冰保鲜鱿鱼效果，初步形成流化冰保鲜头足类的技术理论体系。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 原材料

鱿鱼，由浙江兴业公司提供，捕捞于中国东海舟山海域，胴体长 10~15 cm，，从港口接受样品并装入无菌保鲜袋中，0 ℃贮藏于便携式冷藏箱中 30 min 内运至实验室处理。

主要试剂：营养琼脂培养基、氯化钠、盐酸、氢氧化钠、三氯乙酸、高氯酸、乙二胺四乙酸等，试剂均为分析纯，购于国药化学试剂有限公司。

1.1.2 主要仪器

RF-1000-SP 型流化冰制冰机，南通瑞友工贸有限公司；电子鼻 PEN3 型，德国 AIRSENSE 公司；WSC-100 型色差仪，北京光学仪器公司；HS-1300 型洁净工作台，苏州安泰空气技术有限公司；MDF-U53V 型超低温冰箱，日本 SANYO 公司；CA21G 型冷冻离心机，日本 HIACH 集团；FOSS Kjeltec 8400 全自动凯氏定氮仪，瑞典 FOSS 公司；PHS-25 型酸度计，江苏江分电分析仪器有限公司；SM-F140AY65 型碎冰机，日本三洋电机公司；TMS-PRO 型质构仪，美国 FTC 公司；梅特勒 HG63 型自动水分测定仪，瑞士梅特勒公司。

1.2 试验分组及处理

1.2.1 原料分组

运至实验室的样品立即随机分为 A、B、C 三组，每组鱿鱼数为 40 条，A 组为流化冰保鲜组、B 组为淡水碎冰保鲜组，C 组为冰箱贮藏保鲜组，其中 B、C 组为对照组，A 组为实验组，流化冰用 3.0%的 NaCl 溶液制备。

1.2.2 试验分组及处理

三组样品分别放置于 30×40×50 cm 的塑料保鲜盒中，A 组用含冰量高于 70%的流化冰处理，B 组用层鱼层冰的方法处理，C 组直接放置于保鲜盒中，三组样品放于-4 ℃的冰箱里贮藏。流化冰和碎冰每两天更换一次，维持流化冰的两相平衡和减少交叉感染，每三天取一次样进行鲜度各指标的测定分析。样品只取鱿鱼的酮体部分并去除鱼皮、软骨，每个指标做三个平行。

1.3 试验分析方法

1.3.1 感官分析方法

参考 GB/T18108-2008《鲜海水鱼》要求制定感官评定的指标。由 5 人组成感官评定小组，对 A、B、C 三组样品的气味、眼球、弹性、鱼体外观进行评级打分，各指标加权统计，权重分别是气味 0.3，眼球 0.2，弹性 0.2，鱼体外观 0.3。各指标的分值区间为 0~10 分，一级鲜度为 8~10 分，二级鲜度为 6~8 分。

1.3.2 水分含量测定

称取剁碎的鱼肉 2.0 g，用梅特勒 HG63 型自动水分测定仪测定。

1.3.3 pH 值测定

根据 GB/T 9695.5-2008《肉与肉制品 pH 测定》方法的标准略做改动，称取剁碎的鱼肉 5.0 g，加入煮沸冷却水 45.0 mL，高速匀浆 1.0 min，静置 30.0 min 后 10000 r/min 离心，取上液用 pH 计测定三次，取平均值。

1.3.4 TVB-N 测定

根据 SC/T 3032-2007《水产品中挥发性盐基氮的测定》方法进行前处理，即取 5.0 g 剁碎鱼肉加 45.0 mL 的 0.6 mol/L 的高氯酸，均质 2.0~3.0 min，10000 r/min 冷冻离心（4 ℃）10.0 min。取上清液用 FOSS Kjeltec 8400 全自动凯氏定氮仪测量。

1.3.5 微生物含量测定

根据 GB/T 4789.1-2010《食品卫生微生物学检验菌落总数测定》方法进行。

1.3.6 肌肉组织质构测定

取鱼酮体中部肌肉用 TMS-Pro 物质分析仪测定弹性、咀嚼性指标，采用二次挤压法，其参数设定为：P/50 平底柱探头（直径 50.0 mm）；起始力 0.60 N；测试速度 1.0 mm/s；压缩形变量 15.0%。一个样品测定五次，结果取平均值。

1.3.7 数据分析

每个鲜度指标都有三个平行，测定数据用 Excel 和 SPD 7.05 统计分析软件处理，用 Origin 8.5 软件作图。

2 结果与分析

2.1 静态流化冰对贮藏期鱿鱼感官品质的影响

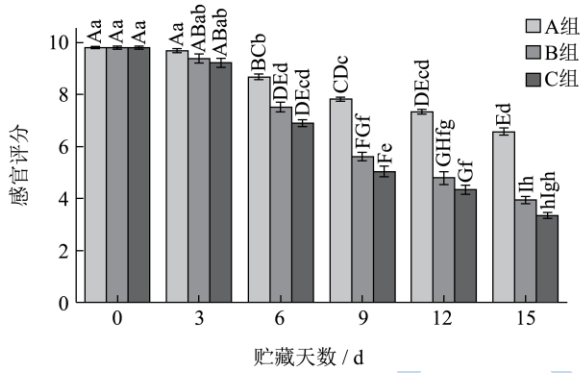


图 1 不同保鲜处理方法对于鱿鱼感官评分的影响

Fig.1 Effect of different preservation methods on the sensory scores of squid

注：各数据点之间字母不同表示差异显著，其中“ABC...”表示 p<0.01，差异极显著；“abc…”表示 p<0.05，差异显著，下同。

食品感官评定能简单、直观反映食品品质。实验对鱿鱼气味、眼球、弹性、鱼体感官指标进行评分，新鲜的鱿鱼鱼体完整而光滑，富有弹性，无异味，白色透明，体表有黑色斑点。由图 1 可知，随贮藏时间延长，鱿鱼感官品质呈不同程度的降低，第 0~3 d，各处理组样品的感官结果差异不大且都为一级鲜度；贮藏第 3~15 d，B、C 组的感官分数下降迅速，A 组下降缓慢。B、C 组在第 6 d 降至二级鲜度；在第 9 d 时鱼体表面出现大量红色斑点，鱼肉白色不透明，弹性较差，感官结果分别为 5.63、5.04；贮藏第 15 d 时鱼体已经腐败。A 组在第 9 d 降为二级鲜度；贮藏第 15 d 时感官结果为 6.57，仍为二级鲜度。由此可知，流化冰保持鱿鱼的感官品质效果明显优于其他两组并呈显著性差异(p<0.05)。Óscar[5]在研究流化冰保鲜鲹鱼的效果中发现，至 15 d 时流化冰组的感官效果明显优于碎冰组，与本实验结果相符。部分学者[5~6]认为流化冰能迅速降低鱼体温度，可抑制微生物生长和自身理化反应；流化冰断绝了鱿鱼与空气接触，从而抑制了氧化作用；此外，流化冰对鱼体几乎没有机械伤害，保证了鱼体的完整性。因此，流化冰能更好地保持鱿鱼的品质，延长鱿鱼的保鲜期。

2.2 静态流化冰对贮藏期鱿鱼水分含量的影响

水产品含水量较高，脂肪、蛋白质含量与水分含量有密切关系，水分含量的降低影响到水产品的稳定性和品质的保持。鱼体水分含量变化与环境和自身生化反应有直接关系，因此，水分含量是鲜度的重要指标之一。由图 2 可知，鱿鱼初始水分含量为 82.54%，随贮藏时间延长，A 组水分含量缓慢升高，B、C 组水分含量逐渐降低；贮藏至第 15 d 时，A 组水分含量达到了 84.78%，B、C 组分别降至 78.33%、77.42%。由此可见，流化冰对鱿鱼水分含量的保持优于其他两组且差异显著(p<0.05)。黄玉婷[7]研究发现，随贮藏时间延长，流化冰组鱼体含盐量有所增加，水分含量也逐渐升高，其原因可能是鱼体盐度的增加增强了鱼肉的持水力。本实验发现流化冰组鱿鱼初始盐度为 0.42‰，贮藏至第 15 d 时盐度达到 2.81‰，水分含量同时升高，该变化趋势与黄玉婷的研究结果一致。此外，流化冰组水分含量升高的另一个原因可能为流化冰水分蒸汽压明显高于鱼体，迫使部分水分渗透到了鱼体内，从而使鱼体水分含量有所增加。

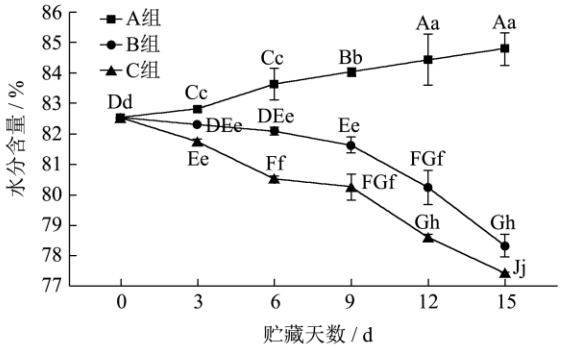


图 2 不同保鲜处理方法对于鱿鱼水分含量的影响

Fig.2 Effect of different preservation methods on the moisture content of squid

2.3 流化冰对贮藏期鱿鱼 pH 值的影响

pH 值是水产品新鲜度的重要指标，研究表明[8]新鲜鱼 pH 为 6.5~6.8，次鲜鱼 pH 为 6.9~7.0，变质鱼 pH 为 7.1 以上。由图 3 可知，鱿鱼初始 pH 值为 6.7，随贮藏时间延长，pH 值呈先下降后上升趋势，该结果与林雪等[3]报道结果相似。贮藏第 3 d 时，三组样品 pH 值都下降至最低点，其下降原因可能为鱿鱼死后，肌肉中糖原在无氧条件下酵解为乳酸，同时肌肉中 CrP(磷酸肌酸)在磷酸肌酸激酶催化作用下，将 ADP 变为 ATP 和肌酸，导致了 pH 值下降[6, 9]。贮藏第 4~15 d，肌肉蛋白质在微生物和生物酶作用下分解为氨和胺类，如 TMA、DMA 等碱性物质，致使 pH 值上升[10]。A 组 pH 值上升速率最慢，表明腐败速度最慢；贮藏第 15 d 时，pH 值为 6.6，仍在新鲜鱼 pH 值区间内，而且接近鱿鱼初始 pH 值。其次为 B 组，贮藏第 15 d 时 pH 值为 6.9。C 组 pH 值上升最快，第 9 d 时 pH 值（为 7.1）已达到了变质值，贮藏第 15 d 时 pH 值为 7.6，已经严重腐败。杜文静等[11]研究了不同浓度臭氧冰保鲜鱿鱼 pH 值变化情况，其结果与本实验 pH 变化趋势基本相符。相比于碎冰和冰箱保鲜，流化冰对鱿鱼 pH 值保持作用极显著($p<0.01$)，其原因为流化冰能快速高效抑制微生物繁殖和生物酶活性，缓解了肌肉生理生化反应，从而抑制了蛋白质分解、降低了氨和胺类等碱性物质的生成[11~12]。

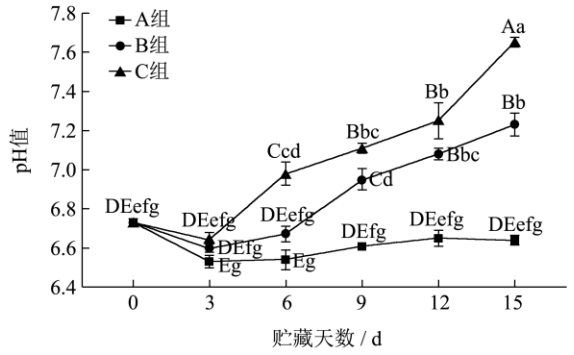


图 3 不同保鲜处理方法对于鱿鱼 pH 值的影响

Fig.3 Effect of different preservation methods on the pH values of squid

2.4 流化冰对贮藏期鱿鱼 TVB-N 值的影响

挥发性盐基氮（TVB-N）是肌肉蛋白质在微生物和生物酶作用下，分解产生氮、胺类等挥发性含氮碱物质，其与动物性食品腐败程度相关，是水产品鲜度评价的重要指标。GB2733-2005《鲜、冻动物性水产品卫生标准》对鲜、冻动物性水产品 TVB-N 值限定为<30 mg/100 g。由图 4 可知，随贮藏时间延长，B、C 组 TVB-N 值上升迅速，并分别在第 12 d（38.47 mg/100 g）、第 9 d（30.05 mg/100 g）超过国家卫生标准限定值。在整个贮藏期内，A 组 TVB-N 值略有变化，贮藏第 15 d 时 TVB-N 值为 13.26 mg/100 g，与初始值 12.46 mg/100 g 较为接近。由此得知，相比碎冰和冰箱保鲜，流化冰对鱿鱼 TVB-N 值控制作用极显著($p<0.01$)，可有效控制鱿鱼在贮藏过程中 TVB-N 值的升高。Óscar 等[5]研究表明，流化冰保鲜 22 d 的鲹鱼 TVB-N 值变化缓慢，贮藏第 15 d 时 TVB-N 值与初始值相比基本无变化。对比分析两组研究，由于实验原材料的不同，两实验的 TVB-N 值大小存在差异，但变化规律相似。因此，流化冰可抑制水产品微生物和生物酶活性，降低挥发性含氮化合物的产生[13]。

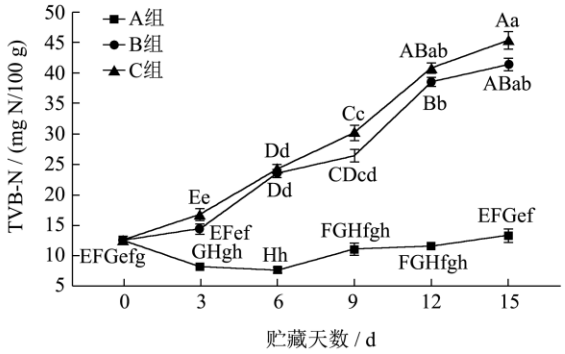


图 4 不同保鲜处理方法对于鱿鱼 TVB-N 值的影响

Fig.4 Effect of different preservation methods on the TVB-N values of squid

2.5 流化冰对贮藏期鱿鱼微生物的影响

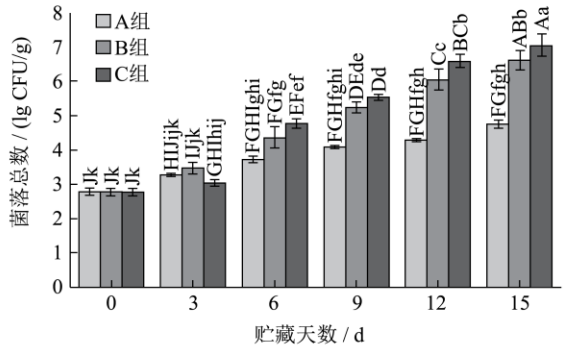


图 5 不同保鲜处理方法对于鱿鱼菌落总数的影响

Fig.5 Effect of different preservation methods on the total viable bacterial count of squid

微生物是水产品腐败变质的主要原因之一，微生物的生长繁殖与含氧量、温度及 pH 密切关系[14]，由图 5 可知，各组菌落总数均随贮藏时间延长而不断增加，其中 C 组增长速率最快，其次为 B 组，A 组增长速率最慢。贮藏第 9 d 时，A 组与 B、C 组菌落总数对数值呈显著差异($p<0.05$)；B、C 组菌落总数在第 12 d 超出国家标准限定值（<6lgCFU/g），分别为 6.05 lgCFU/g、6.59 lgCFU/g；A 组菌落总数在贮藏第 15 d

仅为 4.74 lgCFU/g。此变化趋势也符合前面感官评定、pH 值、及 TVB-N 值变化趋势。贮藏初期 0~3 d，A、B 组菌落总数均高于 C 组，其原因可能是碎冰和流化冰自身所带少量细菌所致[6]，该问题可通过在流化冰中加入一定抑菌物质解决（流化冰结合抑菌剂保鲜鱿鱼技术研究将另文报道）。研究表明，流化冰具有流动性，可“清洗”鱿鱼表面，起到减少微生物的作用；同时，贮藏在流化冰中的鱿鱼处于一个封闭低温缺氧环境，该条件不利于微生物的生长繁殖[15]。此外，流化冰可使鱿鱼 pH 值始终处于不利于微生物生长繁殖的较低范围内，也可起到辅助抑菌效果[14]。由此可见，流化冰能有效的抑菌鱿鱼微生物的生长。

2.6 流化冰对贮藏期鱿鱼质构的影响

弹性反映了肌肉肌纤维的完整性和韧性，肌肉弹性大小与生物种类、部位及贮藏环境有关。部分学者[16~17]认为，鱼肉弹性下降、结构疏松、肌肉变软，跟肌原纤维蛋白的变化情况直接相关，其原因为微生物和生物酶作用于肌原纤维，使其 Z 线脆弱、断裂及降解组织内的胶原物质。由图 6 可知，B、C 组弹性值下降迅速；贮藏第 15 d 时两组弹性值分别为 0.05 mm、0.06 mm。在整个贮藏期间，A 组弹性略有升高，贮藏第 15 d 时，弹性值为 0.16 mm，和鱿鱼初始弹性值（0.15 mm）很接近。Riebroy 等[18]认为这是因为流化冰隔绝了鱼体与氧气的接触并降低了鱼体温度，同时钝化了肌肉中微生物生长和内源水解酶活性等，保证了肌原纤维和胶原物质的完整性。另外，有学者研究发现[19]，水产品弹性随水分含量的增加而升高，前面研究结果发现流化冰可使鱿鱼水分含量增加，这也可能是流化冰组弹性有所升高的原因之一。

咀嚼性即咬劲，反映的是把肉咀嚼成吞咽状态时所需的能量，其是肌肉硬度、细胞间凝聚力及弹性等综合作用结果[6]。由图 6 可知，鱿鱼初始咀嚼性值为 0.34 MJ，贮藏前 9 d 各组咀嚼性均迅速下降，之后呈缓慢下降趋势，其原因是在生物酶和微生物及代谢产物作用下，蛋白质降解、细胞间结合力降低，致使咀嚼性下降[18]。其中 B、C 组咀嚼性值下降速率最快，贮藏第 9 d 分别降至 0.11 MJ、0.07 MJ，第 15 d 降至 0.10 MJ、0.06 MJ。A 组保持咀嚼性效果最佳，第 9 天降至 0.17 MJ，贮藏第 15 d 时为 0.16 MJ。因此，流化冰可更好的保持鱿鱼的咀嚼性。

质构结果表明，相比于碎冰和冰箱保鲜，流化冰能更好的保持鱿鱼弹性和咀嚼性且作用显著($p<0.05$)。研究报道表明[20]，在贮藏保鲜过程中，蛋白质理化性质与肌肉质构特性密切相关，蛋白质极易在内源酶和微生物地作用下降解为多肽和氨基酸等小分子物质，导致鱼肉质构发生不可逆变化。与传统保鲜方法相比，流化冰颗粒具有柔小、比表面积大、高制冷性、快速降温等优势，能有效抑制微生物和内源酶的活性，延迟蛋白质氧化降解，从而起到有效保持肌肉质构特性的作用[21~22]。

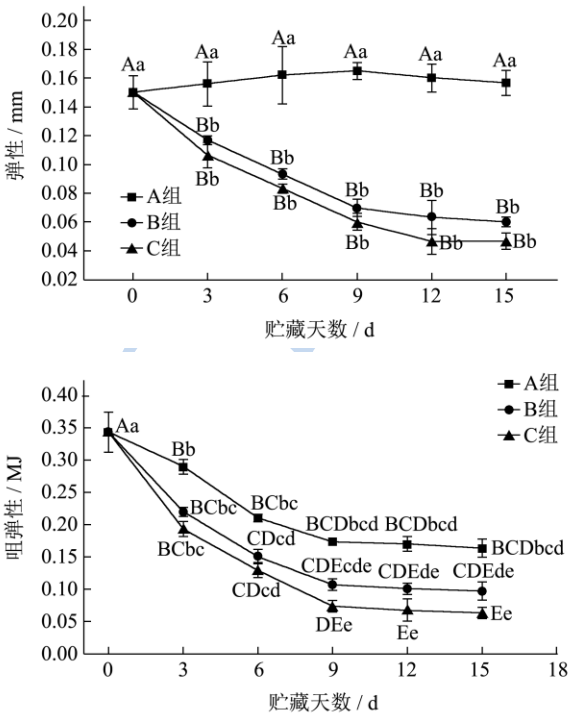


图 6 不同保鲜处理方法对于鱿鱼鱼肉弹性和咀嚼性的影响

Fig.6 Effect of different preservation methods on the elasticity and chewiness of squid

3 结论

以东海鱿鱼为研究对象，以感官评定、水分含量、细菌总数、pH、TVB-N、质构特性为评价指标，对比研究了静态流化冰、碎冰、冰箱保鲜对新鲜鱿鱼的保鲜效果。结果表明，流化冰对鱿鱼的保鲜效果明显优于淡水碎冰和冰箱保鲜，其原因是流化冰具有优良的物理性质、高热传递性能、高效预冷性质和隔绝氧气效果，有效地抑制了微生物的生长繁殖、内源性自溶酶及微生物代谢酶的活性，减缓和钝化了鱿鱼腐败变质速度，较好地保持了鱿鱼原有特性。由此，流化冰保鲜技术可明显减缓鱿鱼品质劣变速度，更好保持鱼肉的各项鲜度指标，延长货架期，可满足海洋水产品贮藏、运输保鲜要求。

参考文献

[1] 方益,夏松养.北太平洋红鱿鱼营养成分分析及评价[J].浙江海洋学院学报(自然科学版),2014,33(1):85-90

FANG Yi, XIA Song-yang. Analysis and evaluation of nutritive composition in ommastephes bartrami [J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2014, 33(1): 85-90

[2] Vleeming B J, van Bemmelen FJC, Berends MR, et al. Measurements of the flux, embraced by the ring of a four-terminal squid, as a function of the external magnetic flux and the applied transport current [J]. Physical Section, 1999, 262(3-4): 296-305

[3] 林雪.鲐鱼流化冰保鲜技术研究[D].舟山:浙江海洋学院,2014
LIN Xue. Study on slurry ice preservation of chub mackerel [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2014

[4] Kauffeld M, Wang MJ, Goldstein V, et al. Ice slurry applications [J]. International Journal of Refractory Metals Hard Materials, 2010, 33(8): 1491-1505

[5] Óscar Rodrıguez,Vanesa Losada, Santiago P Aubourg ,et al. Sensory microbial and chemical effects of a slurry ice system on horse mackerel (*Trachurus*) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85: 235-242

[6] 高萌,张宾,王强,等.流化冰保鲜对于鲣鱼蛋白质功能特性的影响研究[J].食品科学,2014,27(5):1-10
GAO Meng, ZHANG Bin, WANG Qiang, et al. Effect of slurry ice treatment on the functional properties of the protein in skipjack tuna [J]. Food Science, 2014, 27(5): 1-10

[7] 黄玉婷.臭氧-流化冰对梅鱼保鲜效果研究[D].舟山:浙江海洋学院,2014
HUANG Yu-ting. Efficacy of ozonised-slurry ice in keeping quality of collichthys niveatus [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2014

[8] 陈佳荣,王以农,曾达.若干水产品鲜度变化规律的研究[J].福建水产,1993,4:39-44
CHEN Jia-rong, WANG Yi-nong, ZENG Da. Some research on the laws of the changes of the improvement of the aquatic products [J]. Fujian Fisheries, 1993, 4: 39-44

[9] 夏松养,奚印慈,谢超.水产食品加工学[M].北京:化学工业出版社,2008
XIA Song-yang, XI Yin-ci, XIE Chao. Aquatic products processing [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008

[10] Yamamoto K, Yoshida Y, Morita J,et al. Morphological and physicochemical changes in the myosin molecules induced by hydrostatic pressure [J]. Journal of Biochemistry, 1994, 116: 215-220

[11] 杜文静.臭氧冰的制备及其鱿鱼保鲜中的应用[D].福州:福建农林大学,2013
DU Wen-jing. Preparation of ozonated-ice and its application in fresh-keeping for squid [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013

[12] Rodrigo Scherer, Paula Rossini Augusti, Vivian Caetano Bochi, et al. Chemical and microbiological quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) slaughtered by different methods [J]. Food Chemistry, 2006, 99: 136-142

[13] Óscar Rodrıguez,Vanesa Losada, Santiago P Aubourg, et al. Sensory, microbial and chemical effects of a slurry ice system on horse mackerel [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85(2): 235-242

[14] 沈萍,陈向东.微生物学[M].北京:高等教育出版社,2006
SHEN Ping, CHEN Xiang-dong. Microbiology [M]. Beijing: China Higher Education Press, 2006

[15] Isabel M., José M., Santiago P.A. Quality preservation in chilled and frozen fish products by employment of slurry ice and natural antioxidants [J]. International Journal of Food Technology, 2009, 44: 1467-1479

[16] Taylor R, Fjaera S, Skjervold P, Salmon. Fillet texture is determined by myofiber-myoflber and myofiber-myocommata attachment [J]. Journal of Food Science, 2002, 67(6): 2067-2071

[17] Hernández M D, López M B, Álvarez A, et al. Sensory, physical, chemical and microbiological changes in aquaculture meager (*Argyrosomus regius*) fillets during ice storage [J]. Food Chemistry, 2009, 114(1): 237-245

[18] Riebroy S, Benjakul S, Visessanguan W, et al. Effect of iced storage of big eye snapper (*Priacanthus tayenus*) on the chemical composition, properties and acceptability of som-fug, a fermented Thai fish mince [J]. Food Chemistry, 2007, 102: 270-280

[19] 贾艳华,杨宪时,许钟,等.水分含量对软烤扇贝质构和色泽的影响[J].食品与机械,2010,26(3):47-50
JIA Yan-hua, YANG Xian-shi, XU Zhong, et al. Effect of moisture content on the texture and chroma of lightly baked scallop [J]. Food and Machinery, 2010, 26(3): 47-50

[20] 纪家笙,杨运华.水产品工业手册[M].北京:中国轻工业出版社,1991
JI Jia-sheng, YANG Yun-hua. Aquatic products industry handbook [M]. Beijing:China Light Industry Press, 1991

[21] 王名坚.颗粒流体冰技术的现状和发展趋势[J].渔业现代化,2004,5:34-36
WANG Ming-jian. The status quo and development trend of the ice particle fluid technology [J]. Fishery Modernization, 2004, 5: 34-36

Vanesa Losada, Carmen Pieiro, Jorge Barros-Velzquez, et al. Effect of slurry ice on chemical changes related to quality loss [J]. European Food Research and Technology, 2004, 219: 27-31

现代食品科技