

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20210316001

http://www.yykxjz.cn/

王善宇, 简冲, 王灵昭, 杜云建, 曹荣. 镀冰衣在保持凡纳滨对虾冻藏过程脂质稳定性的作用. 渔业科学进展, 2022, 43(3): 207-213

WANG S Y, JIAN C, WANG L Z, DU Y J, CAO R. Effect of ice glazing on the lipid stability of *Litopenaeus vannamei* during frozen storage. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(3): 207-213

# 镀冰衣在保持凡纳滨对虾冻藏过程 脂质稳定性的作用\*

王善宇<sup>1,2</sup> 简冲<sup>2</sup> 王灵昭<sup>2</sup> 杜云建<sup>2</sup> 曹荣<sup>1①</sup>

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 山东 青岛 266071;

2. 江苏海洋大学食品科学与工程学院 江苏 连云港 222005)

**摘要** 水产品冻藏过程中脂质变化是引起品质劣化的重要原因,为探究凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)冻藏过程脂质变化以及冰衣对脂质的影响,将其进行镀冰衣处理后在-20℃冻藏180 d,定期取样分析解冻损失率、蒸煮损失率、总脂含量、脂质组成、酸价(acid value, AV)、过氧化值(peroxide value, POV)和硫代巴比妥酸反应物含量(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)等指标的变化。结果显示,随着冻藏时间的延长,对照组和冰衣组样品的解冻损失率、蒸煮损失率呈上升趋势。从冻藏30 d开始,冰衣组的解冻损失率极显著低于对照组( $P<0.01$ ),冰衣组冻藏60 d及更长时间的样品,其蒸煮损失率极显著低于对照组( $P<0.01$ ),表明镀冰衣可以提高冻藏凡纳滨对虾的持水能力。冻藏期间,对照组和冰衣组总脂含量变化不大,但脂质组成均发生显著变化,磷脂和甘油三酯含量下降,游离脂肪酸含量上升,胆固醇含量相对稳定。两组样品脂质氧化指标的变化规律基本一致,AV和TBARS在冻藏期间不断上升,POV在冻藏前60 d先升高后下降,之后缓慢增加,但冰衣组脂质氧化的各项指标均低于对照组,表明镀冰衣有助于保持凡纳滨对虾冻藏过程中脂质的稳定性。

**关键词** 凡纳滨对虾;冻藏;冰衣;脂质;保水性;稳定性

**中图分类号** TS254.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2022)03-0207-07

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)营养价值高且味道鲜美,深受消费者喜爱。作为三大养殖虾类品种之一,2019年凡纳滨对虾国内产量达181.56万t(农业农村部渔业渔政管理局等,2019),在渔业经济中的地位举足轻重。虾类通常含有较高的水分和蛋白质,易受外源微生物和内源酶的影响而腐败变质。除鲜销外,冷冻是其最主要的贮藏方式(邓尚贵等,2019)。

冷冻可以减缓水产品腐败,延长货架期。然而,水产品冻藏过程中往往会出现干耗、脂肪氧化水解以及蛋白冷冻变性等品质劣化的现象。镀冰衣是冷冻水产品生产中广泛采用的一种工艺手段,可有效减缓干耗(雷雨田等,2018)。近年来,关于水产品冻藏品质的研究主要集中在蛋白变性机制及其控制技术方面,如李燕等(2018)研究发现,镀冰衣能显著延缓

\* 国家重点研发计划(2018YFD0901004)资助 [This work was supported by National Key Research and Development Plan (2018YFD0901004)]. 王善宇, E-mail: 1132023546@qq.com

① 通讯作者:曹荣,研究员, E-mail: caorong@ysfri.ac.cn

收稿日期:2021-03-16, 收修改稿日期:2021-03-21

南美白对虾(*Penaeus vannamei*)的感官品质劣变,降低了解冻损失和蒸煮损失,抑制了总挥发性盐基氮(TVB-N)的增加和盐溶蛋白的减少;李学英等(2014)研究发现,−30℃及以下有利于南极磷虾(*Euphausia superba*)蛋白在冻藏中的稳定性;曹荣等(2016)研究发现,日本枪乌贼(*Loligo japonica*)肌原纤维蛋白含量随冻藏时间的延长快速下降。目前,对水产品冻藏过程中脂质变化的研究相对较少(Aydin *et al.*, 2014),尤其是镀冰衣在保持脂质稳定性方面的研究报道更少。

本研究以凡纳滨对虾为研究对象,分别对冰衣组和对照组在−20℃冻藏过程中的保水性、总脂含量、脂质组成以及脂质氧化情况进行检测分析,研究结果有助于丰富水产品冻藏过程品质变化规律的基础理论,同时为凡纳滨对虾冷冻品质控制提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

鲜活凡纳滨对虾的体长为(11.50±0.28) cm,体重为(14.60±1.20) g,购于山东省青岛市埠东海鲜市场,充氧保活条件下运至实验室,选取规格一致、形态完整的个体,加冰猝死,将其平整放于托盘上,置于−50℃超低温冰箱中快速冻结。

总胆固醇(TC)试剂盒和甘油三酯(TG)试剂盒购于中生北控生物科技股份有限公司;氯仿、甲醇、硝酸、高氯酸、钼酸钠、氯化钠、无水硫酸钠、醋酸铜、吡啶、正庚烷、95%乙醇、氢氧化钠、硫氰酸钾、氯化亚铁、还原铁粉、硫酸联氨、浓硫酸、异丙醇、1,1,3,4-四乙氧基丙烷和 Triton X-100 等均为分析纯,购于青岛青科赛尔生物技术有限公司。

### 1.2 主要仪器设备

HH-4 型数显恒温水浴锅(国华电器有限公司);KQ-300V 型超声波震荡器(江苏昆山市超声仪器有限公司);N-1001 型旋转蒸发仪(上海爱朗仪器有限公司);DS-1 型高速组织粉碎机(上海标本模型厂);CS110-4 型冷冻干燥机(上海基因科技有限公司);UV-2802 型紫外/可见分光光度计(尤尼柯仪器有限公司);IKA T18 型高速分散机(德国 IKA 公司);5804 型冷冻离心机(德国 Eppendorf 公司)。

### 1.3 实验方法

**1.3.1 原料预处理** 将冻结好的凡纳滨对虾随机分成 2 组,一组直接分装于样品袋中作为对照组,另外一组放入预先制备的冰水混合物中,冰水混合物的

温度控制在 0~4℃,浸泡 10 s,冰衣量控制在 10%左右,镀冰衣后,分装于样品袋中作为镀冰衣组。2 组样品置于−20℃冰箱内,冻藏时间为 180 d。在冻藏 0、30、60、120 和 180 d 时,随机选取样品封装于样品袋中,流水解冻后进行检测。

**1.3.2 解冻损失率测定方法** 将凡纳滨对虾取出称重( $M_1$ ),置于培养皿(预先铺好滤纸),于室温自然解冻 2~3 h,取出、擦干表面水分后称重( $M_2$ ),按以下公式计算。

$$\text{解冻损失率}(\%) = (M_1 - M_2) / M_1 \times 100$$

**1.3.3 蒸煮损失率测定方法** 取出凡纳滨对虾样品,准确称量并记录  $M_1$ ,解冻完成后,置于蒸煮袋中封口,放入 85℃水浴 15 min 后取出,冷却后用滤纸吸干表面水分称量  $M_2$ ,按以下公式计算。

$$\text{蒸煮损失}(\%) = (M_1 - M_2) / M_1 \times 100$$

**1.3.4 总脂含量测定方法** 参照 Vasta 等(2012)的方法。将整虾匀浆,取 20 g 样品,加入 200 mL 氯仿-甲醇,振荡浸提 2 h,加入适量生理盐水,混匀后静置过夜。收集下层氯仿层,以无水硫酸钠干燥,旋蒸浓缩后,得到总脂样品,准确称量,即为总脂含量。

**1.3.5 总胆固醇、甘油三酯含量测定** 将总脂用异丙醇-Triton X-100 (9 : 1, v/m)溶液稀释到合适浓度,按试剂盒说明测定样品中总胆固醇和甘油三酯含量。

**1.3.6 磷脂含量测定方法** 称取适量总脂样品,用硝酸-高氯酸混合液(4 : 1, v/v)进行湿法消化,消化液基本无色时作为消化终点。采用钼蓝比色法测定总脂中的磷脂含量。

**1.3.7 游离脂肪酸含量的测定** 采用铜皂比色法(万楚筠等, 2006)。将总脂样品用氯仿溶解并定容至 50 mL,取一定量样液氮气吹干,加入 3 mL 正庚烷溶解,振荡 1 min 后加入 1 mL 铜试剂(5%乙酸铜溶液,吡啶调 pH 至 6.1),振荡 2 min,静置 10 min 后取上层有机相,于 715 nm 处测定样品吸光值,以油酸为对照绘制标准曲线,计算总脂中的游离脂肪酸含量。

**1.3.8 酸价(AV)测定方法** 依据 GB 5009.229-2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》,采用热乙醇指示剂滴定法,结果表示为 mg/g。

**1.3.9 过氧化值(POV)测定方法** 依据 GB/T 5009.37-2003《食用植物油卫生标准的分析方法》中的比色法对试样中的 POV 测定,结果表示为 meq/kg。

**1.3.10 硫代巴比妥酸反应值(TBARS)测定方法** 依据 GB 5009.181-2016《食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定》,采用分光光度法测定,结果表示为 mg/kg。

## 1.4 数据处理

采用 SPSS 18.0 软件进行数据处理, 每个实验重复 2 次, 每次取 3 个平行样进行测定, 结果以平均值 $\pm$ 标准差(Mean $\pm$ SD)表示。组间差异采用 *t* 检验分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 冻藏过程解冻损失率、蒸煮损失率变化

水产品水分含量高, 在冻藏过程中由于蛋白变性、肌肉组织结构改变、持水力下降等原因, 在解冻和蒸煮过程中会损失一部分水分。同时, 一些水溶性维生素、矿物质等营养成分也随着水分的流失而损失。通常用解冻损失率和蒸煮损失率反映水产品冻藏品质的稳定性(Benjakul *et al*, 2009)。

凡纳滨对虾冻藏过程解冻损失率、蒸煮损失率如图 1 所示。随着冻藏时间的延长, 对照组和冰衣组样品的解冻损失率不断上升, 这与冻藏过程中生成的冰晶破坏细胞结构造成汁液流失有关。从冻藏 30 d 开始, 冰衣组的解冻损失率极显著低于对照组( $P<0.01$ ), 说明镀冰衣处理对于保持虾肉组织完整性具有积极作用。对照组蒸煮损失率的变化趋势与解冻损失率相近, 都是在冻藏前期明显上升。蒸煮损失不仅包含了

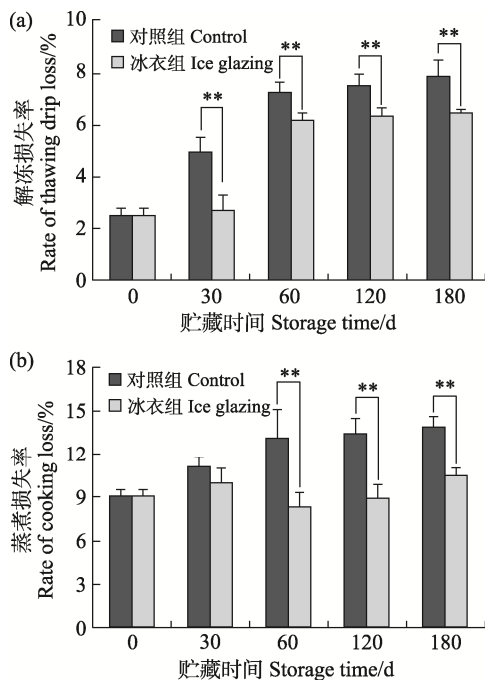


图 1 凡纳滨对虾冻藏过程解冻损失率(a)和蒸煮损失率(b)的变化

Fig.1 Changes in thawing loss rate and cooking loss rate of *L. vannamei* during frozen storage

\*\* : 差异极显著( $P<0.01$ )

\*\* : Highly significant difference ( $P<0.01$ )

解冻过程中的汁液流失, 还包含虾肉受热后变性导致的水分流失(Gokoglu *et al*, 2018)。冰衣组冻藏 60 d 及更长时间的样品, 其蒸煮损失率极显著低于对照组( $P<0.01$ ), 说明镀冰衣可以提高凡纳滨对虾虾肉冻藏过程的持水能力, 降低蒸煮损失, 这与雷雨田等(2018)的研究结果基本一致。

### 2.2 冻藏过程脂质总量变化

凡纳滨对虾冻藏过程中的总脂含量变化见图 2, 鲜虾的总脂含量为 2.92 g/100 g, 这与李婉君等(2015)、王昕岑(2015)的研究结果略有不同, 这可能与虾的品种、规格、捕捞季节和饲料等因素有关。随着冻藏时间的延长, 2 组样品的总脂含量都略有下降, 这与武华等(2014)的研究结果一致。冰衣组的总脂含量略高于对照组, 但无显著差异( $P>0.05$ )。总脂含量的下降可能与贮藏过程脂质发生氧化分解有关。另外, 冻藏中, 虾肉中的冰晶逐渐增大, 破坏了虾肉组织的整体结构, 解冻过程中脂肪伴随汁液流失而减少, 在一定程度上影响总脂含量(谭明堂等, 2020)。冰衣组解冻损失率极显著低于对照组( $P<0.01$ ) (图 1), 可能也是冰衣组总脂含量略高于对照组的原因之一。

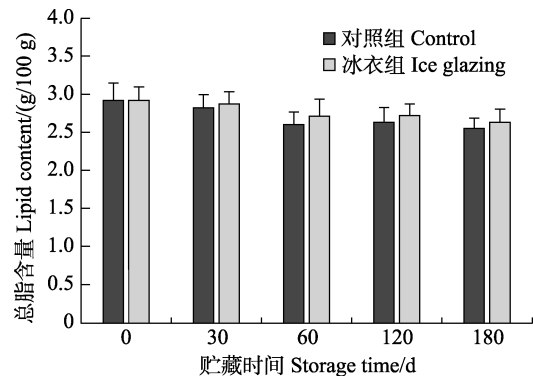


图 2 凡纳滨对虾冻藏过程总脂含量变化  
Fig.2 Changes in lipid contents of *L. vannamei* during frozen storage

### 2.3 冻藏过程脂质主要组分含量变化

凡纳滨对虾脂质主要由磷脂、甘油三酯、游离脂肪酸和总胆固醇组成, 鲜虾中各脂质组分所占比例见图 3。鲜虾中脂质以磷脂为主, 比例达 42.53%, 其次是甘油三酯和游离脂肪酸, 胆固醇所占比例最小。

凡纳滨对虾冻藏过程中, 磷脂、甘油三酯、游离脂肪酸和总胆固醇的含量变化见图 4。随着冻藏时间的延长, 2 组样品的磷脂和甘油三酯含量呈减少趋势, 游离脂肪酸含量有所增加, 胆固醇含量相对稳定, 这与 Aubourg 等(2010)、Takeungwongtrakul 等(2012)的研究结果类似。尽管水产品品质在冻藏状态下比较稳

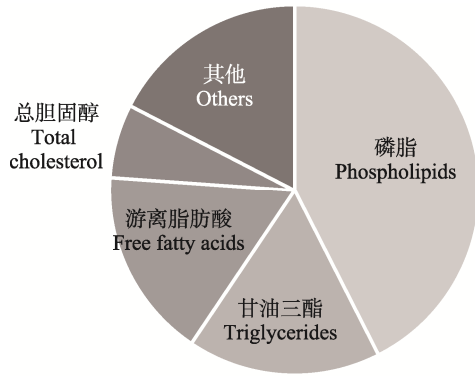


图3 鲜虾中脂质主要组分比例  
Fig.3 Proportions of lipid components in fresh shrimp

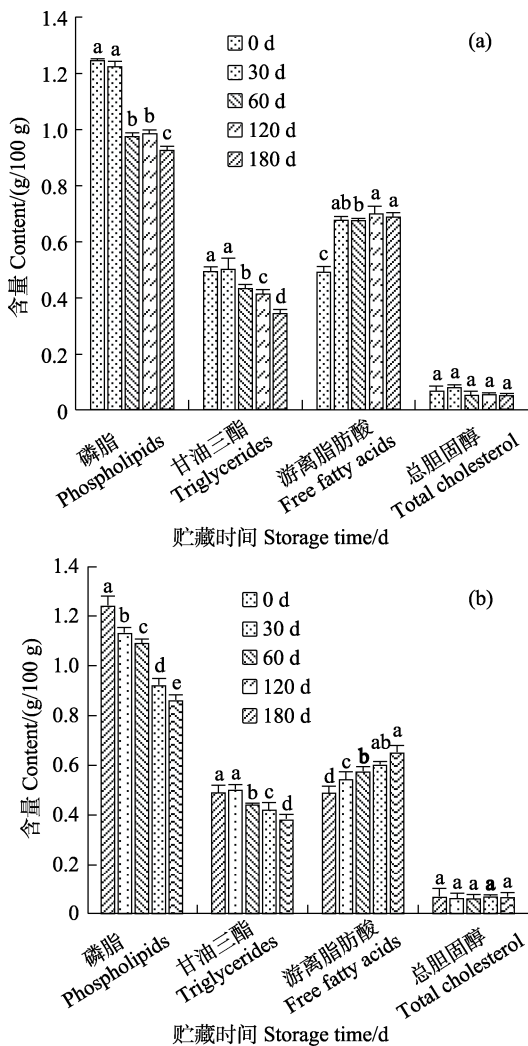


图4 凡纳滨对虾冻藏过程中对照组(a)和冰衣组(b)脂质主要组分含量变化

Fig.4 Changes in the major lipid components of *L. vannamei* during frozen storage

不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

Different letters represent significant difference ( $P < 0.05$ )

定,但仍会发生蛋白变性和脂质水解等反应,如甘油三酯水解成甘油二酯和甘油一酯,磷脂水解成甘油、磷酸和脂肪酸等,造成游离脂肪酸含量增加(王晓旭等, 2016)。与对照组相比,冰衣组主要脂质组分的变化更加平缓,这可能与冰衣在一定程度上隔绝了氧气,进而减缓了脂质的氧化分解有关。另外,镀冰衣对内源性脂肪酶活性和微生物也有一定的抑制作用 (Gallieer *et al*, 2013)。

### 2.4 冻藏过程酸价(AV)变化

AV 是衡量脂质水解程度的指标,可以表征样品中游离脂肪酸含量的多少(Barthet *et al*, 2008)。由图 5 可知,2 组样品在冻藏过程中,AV 均随贮藏时间的延长而上升。冻藏 180 d 时,对照组和冰衣组的 AV 由 6.82 mg/g 分别升高至 22.79 mg/g 和 22.26 mg/g,表明凡纳滨对虾冻藏后期脂质水解程度严重。在冻藏前 30 d,冰衣组的 AV 极显著低于对照组 ( $P < 0.01$ ),表明镀冰衣在冻藏前期可以提升脂质的稳定性。

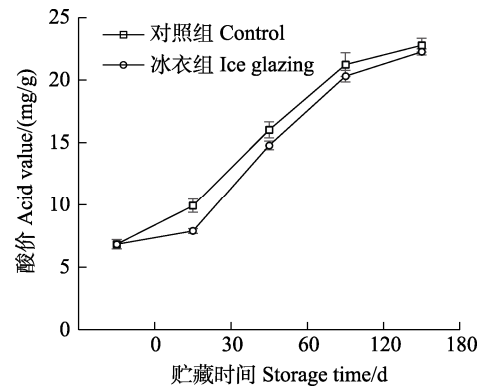


图5 凡纳滨对虾冻藏过程 AV 变化  
Fig.5 Changes in AV of *L. vannamei* during frozen storage

### 2.5 冻藏过程过氧化值(POV)变化

POV 反映脂质初级氧化程度(张燕平等, 2013)。从图 6 可以看出,冻藏前 30 d,POV 有所升高,说明脂质发生氧化,生成氢过氧化物。冻藏 60 d 时,POV 显著降低,这与氢过氧化物易进一步分解生成醛、酮等小分子化合物有关。60 d 后,POV 缓慢升高,说明氢过氧化物的生成速度大于分解速度,这与程文健等(2013)在蓝圆鲈(*Decapterus maruadsi*)鱼片贮藏中的研究结果基本一致。吕飞等(2016)研究发现,竹荚鱼(*Trachurus japonicus*)随贮藏时间的延长,POV 呈上升趋势。而 Aubouorg (1999)发现,蓝鳕鱼(*Sparus aurata*)冻藏过程中,POV 呈先升高后降低的趋势,且在不同的贮藏温度,POV 的变化规律也有差异。在

冻藏前 60 d, 冰衣组 POV 显著低于对照组( $P<0.05$ ), 说明镀冰衣在一定程度上阻碍了氢过氧化物的生成, 有利于保持凡纳滨对虾贮藏过程中脂质的稳定。

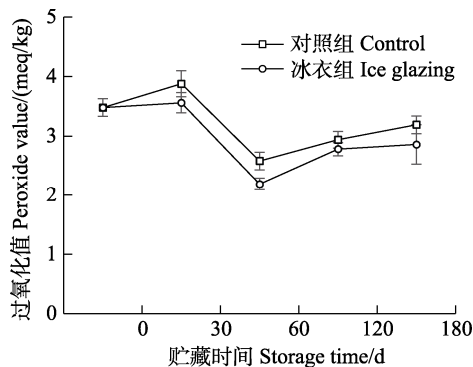


图 6 凡纳滨对虾冻藏过程 POV 变化

Fig.6 Changes in POV of *L. vannamei* during frozen storage

## 2.6 冻藏过程 TBARS 含量变化

水产品富含不饱和脂肪酸, 易发生氧化酸败, 生成丙二醛(MDA)等小分子化合物。TBARS 可通过测定 MDA 含量评价脂质次级氧化程度(Maqsood *et al.*, 2010)。由图 7 可知, 凡纳滨对虾 TBARS 含量随冻藏时间的延长呈增加趋势。对照组 60 d 对应的 TBARS 含量较 30 d 有一定程度的减少, 这可能与部分脂质氧化产物和蛋白质发生反应有关。脂质氧化和蛋白质氧化都是自由基链式反应, 氧化反应可以在蛋白质和脂质间相互转移, 脂质氧化产生的醛类可以与赖氨酸反应生成吡咯衍生物, 与蛋氨酸、半胱氨酸等反应生成砜、亚砜和二硫化物衍生物等(王兆明等, 2018)。冰衣组的 TBARS 含量显著低于对照组( $P<0.05$ ), 表明镀冰衣可以延缓脂质的次级氧化, 减少 MDA 的生成, 这与郑振霄等(2016)的研究结果一致。

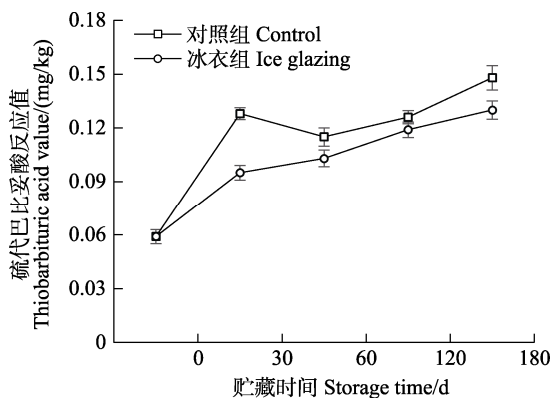


图 7 凡纳滨对虾冻藏过程 TBARS 变化

Fig.7 Changes in TBARS content of *L. vannamei* during frozen storage

## 3 结论

凡纳滨对虾在 $-20^{\circ}\text{C}$ 冻藏 180 d 期间, 解冻损失率和蒸煮损失率呈上升趋势, 总脂含量变化不大, 但脂质组成发生明显变化, 磷脂和甘油三酯含量显著下降, 游离脂肪酸含量显著增加, 胆固醇含量相对稳定。随贮藏时间的延长, AV 和 TBARS 含量都呈增加趋势。POV 在冻藏前 60 d 先升高后下降, 之后缓慢增加。冰衣组脂质氧化的各项指标均低于对照组, 在维持凡纳滨对虾冻藏过程脂质稳定性方面具有重要作用。

## 参 考 文 献

- AUBOURG S P, ÁLVAREZ V, PENA J. Lipid hydrolysis and oxidation in farmed gilthead seabream (*Sparus aurata*) slaughtered and chilled under different icing conditions. *Grasas y Aceites*, 2010, 61(2): 183–190
- AUBOURG S P. Lipid damage detection during the frozen storage of an underutilized fish species. *Food Research International*, 1999, 32(7): 497–502
- AYDIN I N, GOKOGLU N. Effects of temperature and time of freezing on lipid oxidation in anchovy (*Engraulis encrasicolus*) during frozen storage. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2014, 116(8): 996–1001
- BARTHET V J, GORDON V, DAUN J K. Evaluation of a colorimetric method for measuring the content of FFA in marine and vegetable oils. *Food Chemistry*, 2008, 111(4): 1064–1068
- BENJAKUL S, BINSAN W, VISESSANGUAN W, *et al.* Effects of flavourzymes on yield and some biological activities of Mungoong, an extract paste from the cephalothorax of white shrimp. *Journal of Food Science*, 2009, 74(2): S73–S80
- Bureau of Fishery and Fishery Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs. *China Fisheries Statistical Yearbook*. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2019 [农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2019 中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2019]
- CAO R, WANG F Y, ZHAO L, *et al.* Quality changes of Japanese squid (*Loligo japonica*) during freezing storage at different temperatures. *Advances in Fisheries Science*, 2016, 37(4): 97–103 [曹荣, 王凤玉, 赵玲, 等. 日本枪乌贼 (*Loligo japonica*) 不同温度冻藏过程中的品质变化. *渔业科学进展*, 2016, 37(4): 97–103]
- CHENG W J, ZHU Q J, AN R, *et al.* Fat oxidation characteristics of blue trevally fish fillets during storage and selection of antioxidants. *Fujian Fisheries*, 2011, 33(5): 31–35 [程文健, 朱麒靖, 安然, 等. 蓝圆鲹鱼片贮藏期内脂肪氧化特性研究及抗氧化剂的筛选. *福建水产*, 2011, 33(5): 31–35]
- DENG S G, MAO X Z, YU H. Deep processing technology of

- shrimp. Beijing: Science Press, 2019 [邓尚贵, 毛相朝, 余华. 虾深加工技术. 北京: 科学出版社, 2019]
- GALLIEER S, SHAW E, CUTHBERT J, *et al.* Hydrolysis of milk phospholipid and phospholipid-protein monolayers by pancreatic phospholipase A<sub>2</sub>. *Food Research International*, 2013, 54(1): 718–725
- GOKOGLU N, TOPUZ O K, YERLIKAYA P, *et al.* Effects of freezing and frozen storage on protein functionality and texture of some cephalopod muscles. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2018, 27(4): 1–8
- LEI Y T, SHI J, GUI P, *et al.* Effects of ice-coated tea polyphenols on quality changes of *Penaeus vannamei* in frozen storage. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23(6): 92–99 [雷雨田, 石径, 桂萍, 等. 冰衣结合茶多酚对南美白对虾冻藏中品质变化的影响. 中国农业大学学报, 2018, 23(6): 92–99]
- LI W J. Comparison of nutrition and flavor components between *Euphausia superba* and *Penaeus vannamei*. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2015 [李婉君. 南极磷虾与南美白对虾营养与滋味成分比较. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2015]
- LI X Y, LIU H S, YANG X S, *et al.* The effect of freezing storage temperature on Antarctic krill quality changes. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(6): 191–195 [李学英, 刘会省, 杨宪时, 等. 冻藏温度对南极磷虾品质变化的影响. 现代食品科技, 2014, 30(6): 191–195]
- LI Y, FANG Y D, LUO Y K, *et al.* The effect of ice coat on the storage quality of frozen *Penaeus vannamei*. *Meat Research*, 2018, 32(5): 39–44 [李燕, 方艺达, 罗永康, 等. 冰衣对冷冻南美白对虾贮藏品质的影响. 肉类研究, 2018, 32(5): 39–44]
- LÜ F, WEI Q Q, HU Z J, *et al.* Effect of cold sea water pretreatment time on frozen storage quality of jack mackerel. *Journal of Nuclear Agriculture*, 2016, 30(7): 1373–1378 [吕飞, 魏倩倩, 胡卓瑾, 等. 冷海水预处理时间对竹筴鱼冻藏品质的影响. 核农学报, 2016, 30(7): 1373–1378]
- MAQSOOD S, BENJAKUL S. Comparative studies of four different phenolic compounds on *in vitro* antioxidative activity and the preventive effect on lipid oxidation of fish oil emulsion and fish mince. *Food Chemistry*, 2010, 119(1): 123–132
- TAKEUNGWONGTRAKUL S, BENJAKUL S, H-KITTIKUN A. Lipids from cephalothorax and hepatopancreas of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): Compositions and deterioration as affected by iced storage. *Food Chemistry*, 2012, 134(4): 2066–2074
- TAN M T, WANG J F, YU W H, *et al.* The effect of compound ice-coat fresh-keeping agent on squid quality during frozen storage. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(6): 148–154 [谭明堂, 王金锋, 余文晖, 等. 复配冰衣保鲜剂对鱿鱼冻藏期间品质的影响. 食品与发酵工业, 2020, 46(6): 148–154]
- VASTA V, PAGANO R I, LUCIANO G, *et al.* Effect of morning vs. afternoon grazing on intramuscular fatty acid composition in lamb. *Meat Science*, 2012, 90(1): 93–98
- WAN C Y, HUANG F H, LI W L. Ascorbic acid-molybdenum blue photometric method for the determination of phospholipids in oils and fats. *China Oils and Fats*, 2006, 31(4): 46–49 [万楚筠, 黄凤洪, 李文林. 抗坏血酸-钼蓝光度法测定油脂中磷脂含量的研究. 中国油脂, 2006, 31(4): 46–49]
- WANG X C. Shotgun analysis and hydrolysis mechanism of phospholipids during storage of aquatic products. Master's Thesis of Ocean University of China, 2015 [王昕岑. 水产品贮藏过程中磷脂的鸟枪法分析及水解机理研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2015]
- WANG X X, WANG X C, LIANG D, *et al.* Simulating exploration of the hydrolysis mechanism of *Litopenaeus vannamei* phospholipids during storage. *Journal of Fisheries*, 2016, 40(7): 1123–1132 [王晓旭, 王昕岑, 梁栋, 等. 模拟探究凡纳滨对虾磷脂在贮藏过程中的水解机理. 水产学报, 2016, 40(7): 1123–1132]
- WANG Z M, HE Z F, LI H J. The effect of lipid and protein oxidation on meat quality and the research progress of interactive oxidation mechanism. *Food Science*, 2018, 39(11): 295–301 [王兆明, 贺雅非, 李洪军. 脂质和蛋白质氧化对肉品质影响及交互氧化机制研究进展. 食品科学, 2018, 39(11): 295–301]
- WU H, HONG H, LUO Y K, *et al.* The effect of frozen storage temperature on lipid characteristics of bighead carp fillet. *Journal of China Agricultural University*, 2014, 19(6): 173–178 [武华, 洪惠, 罗永康, 等. 冻藏温度对鳊鱼片脂质特性变化的影响. 中国农业大学学报, 2014, 19(6): 173–178]
- ZHANG Y P, CEN Q Q, DAI Z Y, *et al.* Preliminary study on hot-air drying process model and fat oxidation law of plum fish. *Chinese Journal of Food Science*, 2013, 13(9): 39–47 [张燕平, 岑琦琼, 戴志远, 等. 梅鱼热风干燥工艺模型及脂肪氧化规律初探. 中国食品学报, 2013, 13(9): 39–47]
- ZHENG Z X, ZHOU P, FENG J L, *et al.* Effects of three preservation methods on mackerel freshness during storage. *Chinese Journal of Food Science*, 2016, 16(1): 181–187 [郑振霄, 周聃, 冯俊丽, 等. 3种保鲜方法对鲈鱼贮藏期间鲜度的影响. 中国食品学报, 2016, 16(1): 181–187]

(编辑 冯小花)

## Effect of Ice Glazing on the Lipid Stability of *Litopenaeus vannamei* During Frozen Storage

WANG Shanyu<sup>1,2</sup>, JIAN Chong<sup>2</sup>, WANG Lingzhao<sup>2</sup>, DU Yunjian<sup>2</sup>, CAO Rong<sup>1①</sup>

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao, Shandong 266071, China;

2. College of Food Science and Engineering, Jiangsu Ocean University, Lianyungang, Jiangsu 222005, China)

**Abstract** Lipid changes during the freezing process is the primary reason for the deteriorating quality of aquatic products. To explore the lipid changes in the shrimp *Litopenaeus vannamei* during frozen storage and the effect of ice coating on lipids, the glazed shrimp were stored at  $-20^{\circ}\text{C}$  for 180 d and sampled regularly for the analysis of the thawing loss rate, cooking loss rate, total fat content, lipid composition, acid value (AV), peroxide value (POV), and thiobarbituric acid reactive substances (TBARS). The results showed that the thawing and cooking loss rates of shrimp increased during frozen storage, which were significantly lower in the ice-coated group than in the control group ( $P < 0.01$ ), indicating that ice coating can improve the water holding capacity of shrimp meat in frozen storage. The total lipid content of the shrimp did not change substantially, but the lipid composition did. The concentrations of phospholipids and triglycerides decreased, free fatty acids increased, and cholesterol was relatively stable. The changes in the lipid oxidation indices of the two groups were similar. The AV and TBARS levels increased continuously. The POV first increased and then decreased until 60 d, and then slowly increased. However, the lipid oxidation indicators of the ice-coated group were lower than those of the control group, indicating that ice coating is helpful for maintaining the lipid stability of shrimp during frozen storage.

**Key words** *Litopenaeus vannamei*; Frozen storage; Ice glazing; Lipid; Water retention; Stability

---

① Corresponding author: CAO Rong, E-mail: caorong@ysfri.ac.cn