

解冻方式对南极磷虾加工品质的影响

曹 荣¹, 陈 岩¹, 赵玉然², 刘 淇^{1*}, 黄显彬¹

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071; 2. 山东出入境检验检疫局, 青岛 266000)

摘 要: 为探究解冻工艺对南极磷虾加工品质的影响, 对静水解冻、自然空气解冻和低温空气解冻 3 种方式的耗时进行了测量, 并研究了南极磷虾经不同方式解冻后的感官特征, 同时对非蛋白氮 (non-protein nitrogen, NPN)、总挥发性盐基氮 (total volatile basic nitrogen, TVB-N)、硫代巴比妥酸反应物 (thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)、脂肪酸组成等与品质相关的生化指标进行了测定。结果表明, 采用静水解冻、自然空气解冻、低温空气解冻 3 种方式将中心温度为-18℃的南极磷虾冻块解冻完全的耗时分别为 51、220 和 826 min; 感官评分依次为静水解冻>自然空气解冻>低温空气解冻; 3 种解冻方式对应的 NPN 值有极显著差异 ($P<0.01$), 依次为低温空气解冻>自然空气解冻>静水解冻; 低温空气方式解冻的南极磷虾 TVB-N 值显著高于另 2 种方式 ($P<0.01$), 而静水方式和自然空气方式之间 TVB-N 无显著差异 ($P>0.05$); 3 种解冻方式的 TBARS 值同样差异显著 ($P<0.01$), 依次为静水解冻>自然空气解冻>低温空气解冻; 南极磷虾脂肪酸组成中多不饱和脂肪酸比例较高, 达到 30%以上, 低温空气解冻对多不饱和脂肪酸具有一定的保护作用。实际生产中, 南极磷虾如用作一般食品加工适宜采用静水解冻的方式, 而作为鱼粉加工适宜采用静水或自然空气解冻的方式, 如提取虾油则适宜采用低温空气解冻的方式。研究结果为南极磷虾资源的高效利用提供参考。

关键词: 品质控制; 解冻; 农产品; 南极磷虾; 非蛋白氮; 脂肪酸组成

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.17.038

中图分类号: TS254.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-17-0289-06

曹 荣, 陈 岩, 赵玉然, 刘 淇, 黄显彬. 解冻方式对南极磷虾加工品质的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(17): 289—294. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.17.038 http://www.tcsae.org

Cao Rong, Chen Yan, Zhao Yuran, Liu Qi, Huang Xianbin. Effect of thawing methods on processing quality of Antarctic krill[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(17): 289—294. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.17.038 http://www.tcsae.org

0 引 言

南极磷虾 (*Euphausia superba*) 隶属节肢动物门、甲壳纲、磷虾目, 广泛分布于环南极大陆架水域, 其资源蕴藏量巨大, 每年可捕捞量高达 1 亿 t^[1]。南极磷虾是一种优质的蛋白源, 氨基酸组成模式符合美国食品及药物管理局 (food and drug administration, FDA) /世界卫生组织 (world health organization, WHO) 标准, 同时富含 $n-3$ 型多不饱和脂肪酸, 维生素、微量矿物质元素等的含量也较高。从资源量和营养价值的角度来看, 南极磷虾在食品、保健品、饲料以及医药领域都具有广阔的开发利用前景。

在世界近海渔业资源普遍衰退的情况下, 南极磷虾作为一种重要的海洋新资源, 其开发利用具有重要的战略意义。中国于 2009 年开始对南极磷虾进行大规模的商业捕捞, 受船舶条件、装备以及加工技术等限制, 目

前中国作业船捕捞的南极磷虾原料, 很大一部分在船上进行冻结、保藏, 之后运输到陆地进行二次加工^[2]。

冻结的南极磷虾原料在加工前必须经过解冻处理。解冻是将冻结过程中形成的冰晶重新融化成水, 因此可以看作是冻结的逆过程。早在 1842 年起, 有关水产品冻结方面的研究就已展开, 但直到 20 世纪 50 年代, 对于解冻工艺的研究才逐渐引起人们的重视^[3-4]。解冻所采用的工艺及其参数与解冻后的原料品质密切相关, 如刘燕等^[5]研究发现自然空气解冻、冷藏库解冻、温盐水组合解冻、静水解冻等几种常用解冻方法对金枪鱼块的色泽、质构、菌落总数等均有显著影响。邵懿等^[6]研究发现解冻方式不仅会影响竹荚鱼鱼肉盐溶蛋白含量、ATPase 酶活力等, 还会影响后续加工产品鱼糜的品质。

随着南极磷虾资源开发项目的不断推进, 有关南极磷虾解冻工艺方面的研究也逐渐引起科研工作者的关注。如迟海等^[7]综合考虑解冻时间、经济效益和工厂条件等因素, 认为静水解冻是较为理想的解冻方式; 刘会省等^[8]比较了多种解冻方式的耗时与解冻后样品的理化和微生物指标, 认为碎冰解冻是较为理想的解冻方式。目前, 中国的南极磷虾原料多用作一般食品、鱼粉和虾油的生产^[2], 不同的产品对原料品质有特定的要求, 解冻方式的选择应该以加工品类型为导向, 而目前有关解冻工艺对南极磷虾加工品质影响的研究较少。

本文采用智能芯片温度记录系统分析了南极磷虾

收稿日期: 2015-05-26 修订日期: 2015-06-11

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2013BAD13B03)

作者简介: 曹 荣, 男, 山东淄博人, 副研究员, 博士, 主要从事水产品品质评定与控制技术研究。山东省青岛市南京路 106 号, 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 266071。Email: caorong@ysfri.ac.cn

*通信作者: 刘 淇, 男, 山东招远人, 研究员, 主要从事水产品加工与综合利用研究。山东省青岛市南京路 106 号, 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 266071。Email: liuqi@ysfri.ac.cn

解冻过程中的温度变化,从感官品质变化、蛋白质降解、脂质稳定性的角度分析对比了南极磷虾经不同方式解冻后的加工品质,以期为南极磷虾资源的高效利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

南极磷虾,由“南极磷虾资源分布与冷链技术”项目组于2014年5月在南极海域捕捞,捕捞后迅速保存在-20℃冰柜中,2014年7月运抵实验室后,继续保存于-60℃超低温冰箱中备用。

DS1921G 型智能芯片温度记录系统(海尔医疗科研仪器);HH-4 型数显恒温水浴锅(国华电器有限公司);DNP-9162 型恒温培养箱(上海精密试验设备公司);TYS-200 型多功能高速粉碎机(浙江省永康市红太阳机电有限公司);UV-2802 型紫外/可见分光光度计(尤尼柯仪器有限公司);KDN-08C 型定氮仪(上海新家仪器有限公司);1100 型高效液相色谱仪和 5973 型质谱仪(美国 Agilent 公司);冷冻离心机(德国 Eppendorf 公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 南极磷虾解冻过程温度测定

称取预先解冻完全的南极磷虾原料 4 份,每份约 1 000 g,置于长宽高为 16 cm×10 cm×7 cm 的塑料盒中,将温度芯片置于几何中心位置,将塑料盒置于-30℃冰柜中进行冻结,至中心温度达到-18℃时取出(由预试验得知所需时间约为 10 h),采用不同方式解冻。以南极磷虾个体间基本分离为解冻终点(约-4℃),取出温度芯片,通过软件读取数据,绘制温度变化曲线。

1.2.2 南极磷虾解冻工艺

另取南极磷虾每组的 500 g,结合实际生产情况,采用以下 3 种方式解冻^[9]。

1) 静水解冻:样品真空包装,置于水浴中解冻,温度控制为 25℃。

2) 自然空气解冻:样品放入塑料托盘中,置于人工气候箱中解冻,模拟自然条件,温度设置为 25℃。

3) 低温空气解冻:样品放入塑料托盘中,置于高精度温控培养箱中解冻,温度设置为 4℃。

1.2.3 感官评分

参照迟海等的方法^[7],略作修改。按照表 1 对解冻后的南极磷虾进行感官评价。由 5 名经过培训的评定人员对样品进行打分,总分 10 分为最好品质,0 分为最差品质。

表 1 南极磷虾感官评价标准
Table 1 Sensory evaluation standard for Antarctic krill

指标 Index	分值 Score		
	2	1	0
形态	完整,无组织脱落	较完整,部分组织脱落	不完整,组织脱落严重
色泽	鲜亮,光泽度高	色泽稍淡,光泽稍暗	色泽淡,无光泽
体表	无黑变	少量黑变	黑变严重
肌肉	组织坚实,弹性好	组织稍松,有弹性	组织松弛,弹性差
气味	固有虾体香味	气味弱,无明显不良气味	不良气味明显

1.2.4 理化指标测定

粗蛋白质含量测定:参照 GB/T 5009.5-2010^[10],采用凯氏定氮法。

非蛋白氮(non-protein nitrogen, NPN)含量测定:将南极磷虾按照料液比 1:10 g/mL 比例均质。准确称取匀浆液 10 g,精确到 0.001 g,置于 100 mL 离心管中,加入 50 mL 质量分数为 5%的三氯乙酸(trichloroacetic acid, TCA)溶液,振荡器震荡 1 min,静置 30 min,之后 8 000 r/min 离心 10 min,取 5 mL 上清液,采用凯氏定氮法测其中的氮元素含量,即为非蛋白氮。

总挥发性盐基氮(Total volatile basic nitrogen, TVB-N)含量测定:参照 SC/T 3032-2007^[11],采用微量扩散法。

硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)含量测定:参照 Martinez 等的方法^[12],略作修改。取 10 g 均质样品,加入质量分数为 5%的 TCA 溶液 50 mL,静置 30 min,4000 r/min 离心 10 min,上清液适度稀释后,取 5 mL 于具塞试管中,加入 5 mL 0.02 mol/L 的硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)溶液,置于 95℃水浴中反应 45 min,冰水冷却,反应液在 532 nm 处测定吸光度值。结果以每千克南极磷虾样品中丙二醛的毫克数表示(mg/kg)。

脂肪酸组成分析:参照楼乔明等的方法^[13],采用氯仿-甲醇法提取总脂,样品甲酯化后,采用 GC/MS 进行分析。其中,液相色谱条件为:采用石英毛细管柱(30 m×0.32 mm×0.25 μm),载气为氦气,压力 55 kPa,升温速度为 3℃/min,检测器温度 250℃;质谱条件为:EI 离子源,电离能量 70 eV,离子源温度 230℃,质荷比扫描范围 50~500。

1.2.5 数据处理

采用 SPSS 17.0 软件对数据进行处理,试验重复 2 次,每次设 3 个平行样品,结果以平均值±标准偏差(Mean values±S.D.)表示,显著性以 $P<0.01$ 为极显著, $P<0.05$ 为显著, $P>0.05$ 为不显著。

2 结果与分析

2.1 南极磷虾解冻曲线

冻结的南极磷虾块在解冻过程中的温度变化见图 1。不同解冻方式对应的温度变化曲线明显不同。南极磷虾解冻至个体间基本分离时温度约为-4℃,冻块中心温度从-18℃升至-4℃,静水、自然空气、低温空气 3 种解冻方式完成的时间分别为 51、220 和 826 min。刘会省等研究发现-30℃冰箱中贮藏的南极磷虾样品,在 4℃培养箱中解冻时间为 20 h,室温(23℃)下解冻时间为 6.9 h^[8]。实际生产中冷库多控制在-20℃左右,样品中心温度约-18℃~-20℃,因此本文的研究结果对实际生产更具指导意义。

图 2 是南极磷虾解冻速率曲线。静水解冻的初始速率为 1.0℃/min,在解冻初期速率下降明显,且整个解冻过程呈阶梯式变化。自然空气解冻的初始速率为 0.25℃/min,前 20 min 解冻速率基本无变化,20 min 后缓慢下降,至

60 min 时降至 0.03℃/min，之后趋于平缓。低温空气解冻起始速率为 0.10℃/min，速率曲线一直较为平缓。当环境温度与传热介质不变时，随着南极磷虾冻块温度上升，温差变小，导致解冻速率逐渐降低，因此解冻速率曲线在解冻后期都趋于平缓。

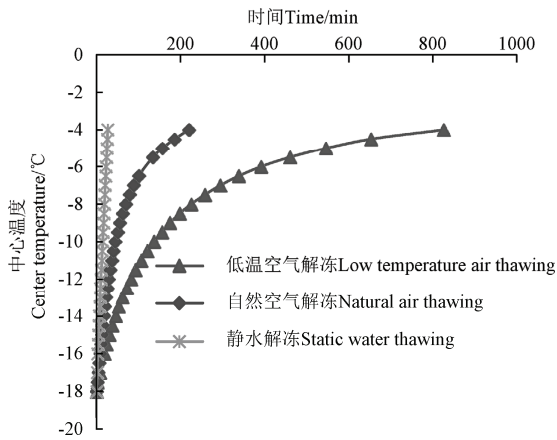


图 1 南极磷虾解冻过程温度变化曲线
Fig.1 Thawing temperature curve of Antarctic krill

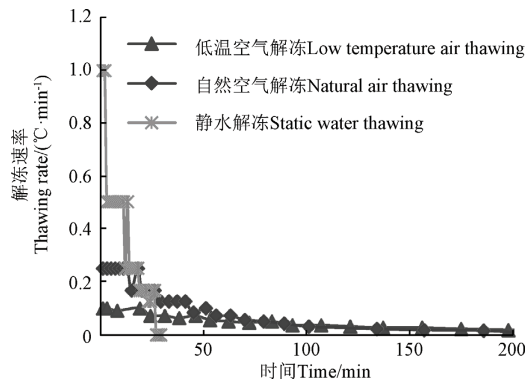


图 2 南极磷虾解冻过程温度解冻速率曲线
Fig.2 Thawing rate curve of Antarctic krill

自然空气解冻的环境温度（25℃）高于低温空气解冻（4℃），由于与南极磷虾冻块温差大的关系，自然空气解冻速率更高，所需时间也更少。静水解冻和自然空气解冻的环境温度虽然都为 25℃，但常压下水的比热为 4 186 J/(kg·℃)，明显大于空气的比热 1 012 J/(kg·℃)，水与南极磷虾冻块的热交换效率更高，因此静水解冻的初始速率显著高于自然空气解冻，完成解冻的耗时也较短。

2.2 南极磷虾解冻后的感官特征

水产冷冻品在解冻过程中，会因为物理、化学、微生物等的作用而影响其物性学特性和化学组成，表现为感官特征的变化^[14]。南极磷虾经 3 种方式解冻后的感官特征有所不同，对应的感官评分有显著差异（ $P<0.05$ ）。静水解冻耗时短，在色泽和气味方面明显优于自然空气解冻和低温空气解冻，因此评分最高。自然空气解冻的南极磷虾样品，固有气味弱，肌肉组织略显松软，但没有明显的黑变现象，因而评分也较高。低温空气解冻耗时最长，约 13.7 h，此时的南极磷虾样品有轻微的黑变，且有不良气味产生，对应的评分最低。

综合考虑时间、成本、原料外观品质等因素，静水方式解冻的南极磷虾比较适宜作为一般食品加工的原料。

表 1 南极磷虾经不同方式解冻后的感官评价
Table 1 Sensory evaluation of antarctic krill with different thawing treatments

解冻方式 Thawing method	感官描述 Sensory description	分值 Score
静水解冻	形态完整，色泽饱满，无黑变，肌肉组织坚实，有南极磷虾固有气味	9.4±0.3 ^A
自然空气解冻	形态完整，色泽稍暗，无明显黑变，肌肉组织比较坚实，气味弱	8.8±0.4 ^B
低温空气解冻	形态完整，色泽稍暗，有轻微黑变，肌肉组织比较坚实，有轻微不良气味	7.5±0.4 ^C

注：同一列中标注不同字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different superscript in the same line indicate significant statistically differences ($P<0.05$).

2.3 解冻方式对南极磷虾 TVB-N 和 NPN 含量的影响

经检测，南极磷虾蛋白质质量分数达到 67.45%（干基计），是一种典型的高蛋白海洋动物，这与 Tou 等的研究结果^[15]类似。南极磷虾体内含有活性很高的蛋白酶系，该酶系包含了类胃蛋白酶、羧肽酶 A 和类胰蛋白酶，其最适温度在 40~60℃ 之间^[16]。南极磷虾生活在极地低温环境中，其体内的蛋白酶系在低温条件下仍具有较高活性，且在 0~25℃ 区间范围内，蛋白酶系随温度的升高而呈现活力增大的趋势。在自溶酶系的作用下，南极磷虾肌肉蛋白易发生降解，生成小分子物质，造成 TVB-N 和 NPN 含量的变化^[17]。

TVB-N 是指动物性食品由于酶和细菌的作用，在腐败过程中蛋白质分解而产生的氨以及胺类等碱性含氮物质^[18]。TVB-N 一般随着鲜度的下降而增加，因此被广泛作为反映鱼、贝、虾类等水产品腐败程度的重要指标。南极磷虾原料经静水、自然空气方式解冻后的 TVB-N 值无显著差异（ $P>0.05$ ）。静水和自然空气方式的解冻耗时分别为 51 和 220 min，而 TVB-N 值并没有体现出耗时不同所造成的磷虾品质的差异，这说明南极磷虾蛋白质在短时间内降解产生的组分可能以多肽和寡肽为主，而生成的氨、胺类物质较少。低温空气方式解冻的南极磷虾 TVB-N 值显著高于静水和自然空气解冻（ $P<0.01$ ），这与低温解冻耗时长，而南极磷虾自溶酶系在低温下仍具有较高活力有关，同时也表明小分子碱性含氮物质很可能是在南极磷虾自溶后期才大量生成。

目前，中国对南极磷虾蛋白的利用以加工鱼粉为主。鱼粉中的 TVB-N 含量可以在一定程度上衡量原材料新鲜程度，因此国家标准 GB/T 19164-2003《鱼粉》^[19]中对 TVB-N 有明确规定，鱼粉品质等级的划分与 TVB-N 值也密切相关。低温空气解冻的南极磷虾 TVB-N 值显著高于其他 2 种方式，如作为鱼粉加工的解冻方式，对产品品质会有一定的不良影响。

NPN 是指大分子蛋白质以外的含氮化合物的总称，既包括蛋白质降解产生的肽类和游离氨基酸，也包含了酰胺类、氨以及铵盐等含氮化合物^[20]。南极磷虾经 3 种方式解冻后的 NPN 有极显著差异（ $P<0.01$ ），NPN 值与解冻耗时的变化趋势一致。NPN 通常不作为评价水产品

品质的指标, 但 NPN 能很好体现南极磷虾蛋白质的降解程度, 与 TVB-N 相比, NPN 更适宜作为评价南极磷虾加工品质的指标。

2.4 解冻方式对南极磷虾 TBARS 值的影响

南极磷虾富含不饱和脂肪酸, 容易发生氧化酸败, 生成具有挥发性气味的醛、酮、酸等物质, 破坏原料的感官性状, 导致商品价值降低。TBARS 值通过定量检测脂质氧化产物中的丙二醛, 可以准确反映脂质氧化程度^[21]。

南极磷虾经 3 种方式解冻后的 TBARS 值有极显著差异 ($P<0.01$), 其中低温空气解冻的南极磷虾 TBARS 值最低, 为 2.17 mg/kg, 说明低温条件下脂质氧化速度慢, 脂质氧化程度低。自然空气解冻的南极磷虾 TBARS 值显著高于低温解冻 ($P<0.01$), 为 4.78 mg/kg, 这与迟海等^[7]的研究结果有所不同。迟海等采用 15℃ 条件解冻 4 h, 测得 TBARS 值为 3.9 mg/kg。本试验采用的解冻温度为 25℃, 结果的差异可能与温度有关。静水解冻的南极磷虾 TBARS 值最高, 这可能与静水解冻过程中热传导效率高、能量传递速度快有关。

表 2 南极磷虾经不同方式解冻后的 TVB-N、NPN 与 TBARS 值
Table 2 TVB-N, NPN and TBARS values of Antarctic krill with different thawing methods

解冻方式 Thawing method	总挥发性盐基氮 质量分数 TVB-N/ (mg·100g ⁻¹)	非蛋白氮 质量分数 NPN/(mg·g ⁻¹)	硫代巴比 妥酸反应物 质量分数 TBARS/(mg·kg ⁻¹)
静水解冻	9.60±0.53 ^A	6.89±0.19 ^A	6.77±0.10 ^C
自然空气解冻	10.33±0.45 ^A	8.55±0.14 ^B	4.78±0.06 ^B
低温空气解冻	22.47±0.47 ^B	12.13±0.24 ^C	2.17±0.03 ^A

注: 同一列中标注不同字母表示差异显著 ($P<0.01$)。
Note: Different superscript in the same line indicate significant statistically differences ($P<0.01$).

2.5 解冻方式对南极磷虾脂肪酸组成的影响

采用 GC/MS 法可以从南极磷虾中鉴定出 22 种脂肪酸, 其中饱和脂肪酸以 C16:0 和 C14:0 为主, 单不饱和脂肪酸以 C18:1n-7 和 C18:1 为主, 多不饱和脂肪酸中 C20:5n-3 和 C22:6n-3 含量较高。南极磷虾经不同方式解冻后总脂中的脂肪酸组成明显不同, 其中多不饱和脂肪酸比例差异显著 ($P<0.05$), 依次为: 低温空气解冻>自然空气解冻>静水解冻。

表 3 不同方式解冻后南极磷虾脂肪酸组成情况
Table 3 Fatty acid composition of total lipids from Antarctic krill with different thawing treatments %

脂肪酸 Fatty acid	静水解冻 Static water thawing	自然空气解冻 Natural air thawing	低温空气解冻 Low temperature air thawing
C14:0	11.07	9.22	10.31
C15:0	0.89	0.43	0.55
C16:0	24.60	23.52	19.97
C18:0	2.53	2.04	1.48
C16:1n-9	0.92	1.77	0.99
C18:1n-7	11.64	10.90	10.18
C18:1	10.74	12.28	12.37
C20:1n-9	0.55	0.32	0.86
C20:1	0.46	0.92	1.86

脂肪酸 Fatty acid	静水解冻 Static water thawing	自然空气解冻 Natural air thawing	低温空气解冻 Low temperature air thawing
C22:1n-9	1.44	2.31	2.19
C22:1	0.18	0.21	0.18
C16:2n-4	0.53	0.60	0.87
C16:3n-3	1.32	2.01	1.88
C16:4n-3	0.27	0.44	0.35
C18:2n-6	0.99	1.17	1.23
C18:3n-3	2.30	2.06	1.83
C18:3n-6	0.63	0.93	0.87
C18:4n-3	0.46	0.68	0.62
C20:4n-6	1.43	1.28	1.79
C20:5n-3	15.34	15.09	17.17
C22:3n-3	0.55	0.62	0.79
C22:6n-3	10.99	11.02	11.38
饱和脂肪酸	39.09	35.21	32.31
单不饱和脂肪酸	25.93	28.71	28.63
多不饱和脂肪酸	34.81	35.90	38.78

南极磷虾油作为一种高附加值的商品, 其开发利用在中国南极磷虾商业化开发战略中具有重要地位^[22]。南极磷虾油提取宜采用低温解冻原料的方式, 这可以在一定程度上减少脂质氧化的程度, 且有利于获得高品质的多不饱和脂肪酸。

3 结 论

南极磷虾采用静水、自然空气、低温空气方式解冻所需时间分别为 51、220 和 826 min。实际生产中, 南极磷虾解冻方式的选择应充分考虑加工产品的类型。静水方式解冻的南极磷虾感官品质优, 比较适宜作为一般食品加工的原料。如作为鱼粉生产的原料, 适宜采用自然空气解冻或静水解冻的方式, 而低温空气方式解冻的南极磷虾蛋白质降解程度严重, 非蛋白氮 (non-protein nitrogen, NPN) 和总挥发性盐基氮 (total volatile basic nitrogen, TVB-N) 显著高于其他 2 种解冻方式 ($P<0.01$), 会对鱼粉产品品质造成不良影响。南极磷虾油提取适宜采用低温空气解冻原料的方式, 可以在一定程度上减少脂质氧化的程度, 同时对多不饱和脂肪酸也起到一定的保护作用。

[参 考 文 献]

[1] Siegel V, Reiss C S, Dietrich K S, et al. Distribution and abundance of Antarctic krill (*Euphausia superba*) along the Antarctic Peninsula[J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 2013, 77(4): 63—74.

[2] 沈晓盛, 韩小龙, 张海燕, 等. 我国对南极磷虾的开发研究及其产业化利用现状[J]. 现代食品科技, 2013, 29(5): 1181—1184.

Shen Xiaosheng, Han Xiaolong, Zhang Haiyan, et al. Research progress and industrial utilization of Antarctic krill in China[J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(5): 1181—1184. (in Chinese with English abstract)

- [3] 白亚乡, 栾忠奇, 李新军, 等. 高压静电场解冻机理分析[J]. 农业工程学报, 2010(4): 347—350.
Bai Yaxiang, Luan Zhongqi, Li Xinjun, et al. Thawing mechanism of high voltage electrostatic field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(4): 347—350. (in Chinese with English abstract)
- [4] 李银, 李侠, 贾伟, 等. 低温高湿变温解冻库的研制与应用[J]. 农业工程学报, 2014, 30(2): 244—251.
Li Yin, Li Xia, Jia Wei, et al. Development and application of low-variable temperature and high humidity thawing garage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(2): 244—251. (in Chinese with English abstract)
- [5] 刘燕, 王锡昌, 刘源. 黄鳍金枪鱼块常用解冻方法的比较[J]. 食品科学, 2010, 31(15): 8—12.
Liu Yan, Wang Xichang, Liu Yuan. Effect of thawing methods on the quality of yellowfin tuna chunk[J]. Food Science, 2010, 31(15): 8—12. (in Chinese with English abstract)
- [6] 邵懿, 薛勇, 薛长湖, 等. 解冻方式及漂洗方法对冷冻竹荚鱼鱼糜品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2008, 33(12): 83—87.
Shao Yi, Xue Yong, Xue Changhu, et al. Effect of different thawing ways and washing on the quality of surimi from frozen *Trachurus japonicus*[J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 33(12): 83—87. (in Chinese with English abstract)
- [7] 迟海, 杨峰, 杨宪时, 等. 不同解冻方式对南极磷虾品质的影响[J]. 现代食品科技, 2011, 27(11): 1291—1295.
Chi Hai, Yang Feng, Yang Xianshi, et al. Effect of different thawing methods on quality of Antarctic krill (*Euphausia Superba*)[J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(11): 1291—1295. (in Chinese with English abstract)
- [8] 刘会省, 迟海, 杨宪时, 等. 解冻方法对船上冻结南极磷虾品质变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(2): 51—54.
Yang Huisheng, Chi Hai, Yang Xianshi, et al. Effect of different thawing methods on quality changes of frozen Antarctic krill (*Euphausia superba*) on ship[J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(2): 51—54. (in Chinese with English abstract)
- [9] 冯志哲, 沈月新. 食品冷藏学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
- [10] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.5-2010 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [11] 中华人民共和国农业部. SC/T 3032-2007 水产品中挥发性盐基氮的测定[S]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [12] Martinez E, Rader T, Callewaert D M. Improved methods for performing the 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) assay[J]. Free Radical Biology and Medicine, 2010, 49(1): S208.
- [13] 楼乔明, 徐杰, 王玉明, 等. 气相色谱/质谱法分析孔石莼中的脂肪酸[J]. 色谱, 2010, 28(7): 668—672.
Lou Qiaoming, Xu Jie, Wang Yuming, et al. Analysis of fatty acid composition of *Ulva pertusa* Kjellm by gas chromatography/mass spectrometry[J]. Chinese Journal of Chromatography, 2010, 28(7): 668—672. (in Chinese with English abstract)
- [14] Li B, Sun D W. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods-a review[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 54(3): 175—182.
- [15] Tou J C, Jaczynski J, Chen Y C. Krill for human consumption: nutritional value and potential health benefits[J]. Nutrition reviews, 2007, 65(2): 63—77.
- [16] 杭虞杰, 李学英, 杨宪时, 等. 南极磷虾自溶酶性质的初步研究[J]. 食品科学, 2011, 32(13): 198—200.
Hang Yujie, Li Xueying, Yang Xianshi, et al. Properties of autolysis enzymes from Antarctic krill[J]. Food Science, 2011, 32(13): 198—200. (in Chinese with English abstract)
- [17] Sjö Dahl J, Emmer A, Vincent J, et al. Characterization of proteinases from Antarctic krill (*Euphausia superba*)[J]. Protein Expression and Purification, 2002, 26(1): 153—161.
- [18] Šimat V, Maršić-Lučić J, Tudor M, et al. Long-term storage influence on volatile amines (TVB-N and TMA-N) in sardines and herring utilized as food for tuna fattening[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2009, 25(6): 766—770.
- [19] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 19164-2003 鱼粉国家标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [20] Suseela Mathew, Raghunath M R, Devadasan K. Distribution of non-protein nitrogenous extractives in the muscle of Indian fish[J]. Fishery Technology, 1999, 36(1): 1—7.
- [21] Sekhon-Loodu S, Warnakulasuriya S N, Rupasinghe H P V, et al. Antioxidant ability of fractionated apple peel phenolics to inhibit fish oil oxidation[J]. Food chemistry, 2013, 140(1): 189—196.
- [22] Chi H, Li X, Yang X. Processing Status and Utilization Strategies of Antarctic Krill (*Euphausia superba*) in China[J]. World Journal of Fish and Marine Sciences, 2013, 5(3): 275—281.

Effect of thawing methods on processing quality of Antarctic krill

Cao Rong¹, Chen Yan¹, Zhao Yuran², Liu Qi^{1*}, Huang Xianbin¹

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

2. Shandong Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Qingdao 266000, China)

Abstract: Antarctic krill (*Euphausia superba*) is widely distributed in Antarctic waters. The resource of Antarctic krill is rich, whose fishable amount is up to 100 million tons each year. In China, considerable amount of Antarctic krill is frozen and stored in boats before transported to the land for processing. Therefore, thawing is indispensable in Antarctic krill industry. The thawing way has great effect on the quality of fishery materials. In order to explore how thawing process influenced the quality of Antarctic krill as raw material, 3 ways including natural air thawing, static water thawing and low-temperature air thawing were designed in this study. The consumption of time, sensory evaluation and biochemical indices such as non-protein nitrogen (NPN), total volatile basic nitrogen (TVB-N) and thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) were determined for each kind of thawing method. The results showed that the thawing time taken by natural air way, static water way and low-temperature air way was 220, 51 and 826 min respectively. The sensory score of Antarctic krill with static water thawing was the highest, followed by natural air way and low-temperature air way. The NPN values of Antarctic krill thawed by the 3 ways were 6.89, 8.55 and 12.13 mg/g respectively for static water thawing, natural air thawing and low-temperature air thawing, with the highest value of low-temperature air way, followed by natural air way and static water way in sequence. The TVB-N values of Antarctic krill thawed by the 3 ways were 9.60, 10.33 and 22.47 mg/100 g, respectively. The TVB-N value of low-temperature air way was significantly higher than the other 2 ways, but those of the static water way and natural air way had no significant difference ($P>0.05$). The TBARS values of Antarctic krill thawed by the 3 ways were 6.77, 4.78 and 2.17 mg/kg, respectively. The differences were significant ($P<0.01$), with the highest value of static water way, followed by natural air way and low-temperature air way. The proportion of polyunsaturated fatty acids of total fat from Antarctic krill was more than 30%. Low-temperature air thawing had a certain effect on the protection of polyunsaturated fatty acids. In conclusion, in the process of production, choosing the way to thaw Antarctic krill material should fully consider the type of products. The way of static water thawing is suitable for general food processing. The ways of static water thawing and natural air thawing are suitable for fishmeal production. The way of low-temperature air thawing is suitable for shrimp oil extraction.

Key words: quality control; thawing; agricultural products; antarctic krill; non-protein nitrogen; fatty acid profile