

## 解冻方式对南极磷虾肉理化特性和滋味的影响

刁华玉<sup>1</sup>, 林松毅<sup>1,2,3</sup>, 陈冬<sup>1,2,3</sup>, 梁瑞<sup>1</sup>, 孙娜<sup>1,2,3\*</sup>

(<sup>1</sup>大连工业大学食品学院 辽宁大连 116034

<sup>2</sup>国家海洋食品工程技术研究中心 辽宁大连 116034

<sup>3</sup>海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心 辽宁大连 116034)

**摘要** 为探究解冻方式对冷冻南极磷虾肉品质的影响,采用低温解冻、静水解冻、超声解冻和空气解冻对南极磷虾肉进行处理,分析解冻方式对南极磷虾肉保水性、水分分布、蛋白质降解程度和滋味成分的影响。结果表明,与超声解冻和空气解冻相比,低温解冻和静水解冻具有较好的保水性,内部水分结构完整;低温解冻耗时虽较长,达 98.42 min,但解冻后 TCA 溶解肽含量显著低于其它 3 组( $P<0.05$ ),鲜味氨基酸比例显著高于其它 3 组( $P<0.05$ )。超声解冻耗时最短,为 21.83 min,而解冻后非蛋白氮(NPN)含量最多( $P<0.05$ )。空气解冻的必需氨基酸比例为 11.58%,显著低于其它 3 组( $P<0.05$ )。4 组间的挥发性盐基氮(TVB-N)含量无显著差异( $P>0.05$ ),且均低于 10 mg/100 g。由滋味活性值(TAV)可知,解冻后的南极磷虾肉以甜味和苦味为主,且空气解冻后苦味氨基酸占比最大( $P<0.05$ )。结论:低温和静水解冻更适合南极磷虾肉的解冻,而超声和空气解冻后的南极磷虾肉品质较差。

**关键词** 南极磷虾肉; 解冻方式; 水分分布; 蛋白质降解; 滋味成分

**文章编号** 1009-7848(2023)04-0228-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.04.022

南极磷虾(*Euphausia superba*)为小型的虾状甲壳类动物,是世界上数量最丰富的动物之一<sup>[1]</sup>,其总生物量约 1.25~7.25 亿 t,年捕捞量约 0.15~1.00 亿 t<sup>[2]</sup>。此外,南极磷虾还是目前世界上最大的动物蛋白来源,其蛋白质含量占干质量的 60%~65%<sup>[3]</sup>。虽然南极磷虾数量庞大,具有较高的营养价值,但是加工技术落后,人类仅消耗总磷虾的 12%左右,且大多数用于商业价值低的水产饲料生产<sup>[4]</sup>。将南极磷虾作为食品进行开发、利用具有重要意义。南极磷虾体内的自溶酶使其极易发生自溶<sup>[5]</sup>,一般在捕捞后 3 h 内直接在船上进行冷冻或者去壳生产磷虾肉<sup>[5-6]</sup>,运输至陆地后进行二次加工<sup>[7]</sup>。

冷冻水产品在加工前需进行解冻处理,其在食品工业中的解冻终温一般为-2~-5 ℃,以便切割或进一步加工<sup>[8]</sup>。空气解冻为水产品最常用的解冻方式,在解冻时,空气温度通常稳定在 15 ℃<sup>[9]</sup>。水解冻时,水温不宜超过 18 ℃,这种方法适合于带包装的厚度较小的冷冻水产品的解冻<sup>[8]</sup>。

迟海等<sup>[10]</sup>、曹荣等<sup>[7]</sup>研究了解冻方式对整只南极磷虾品质的影响,而去头、去壳后的南极磷虾肉也是南极磷虾二次加工的主要原料,目前解冻方式对南极磷虾肉品质的影响鲜见报道。本研究以南极磷虾肉为原料,基于低场核磁共振(LF-NMR)和核磁共振成像(MRI)技术,结合解冻汁液损失和蒸煮损失,比较解冻方式对南极磷虾肉水分分布的影响。基于非蛋白氮(NPN)含量、挥发性盐基氮(TVB-N)含量和游离氨基酸含量等探究解冻方式对南极磷虾肉蛋白质降解的影响。通过计算呈味氨基酸比例和 TAV 值对比解冻方式对虾肉滋味成分的影响。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

冷冻南极磷虾肉,辽渔集团有限公司;2-巯基乙醇、盐酸、丙酮(均为分析纯),天津大茂化学试剂厂;十二烷基硫酸钠(SDS)(生化试剂),美国 GENVIEW 公司;氧化镁,天津市科密欧化学试剂有限公司;乙酸,西陇科学股份有限公司;三氯乙酸,国药集团化学试剂有限公司;无水乙醇,天津市富宇精细化工有限公司。

收稿日期: 2022-04-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(32022067)

第一作者: 刁华玉,女,硕士生

通信作者: 孙娜 E-mail: sunna1215@126.com

## 1.2 仪器与设备

WZY-1 温度记录仪,北京天建华仪科技发展有限公司;MesoQMR23-060H 核磁共振成像分析仪,上海纽迈电子科技有限公司;BG-Power 600 迷你垂直电泳仪,北京百晶生物技术有限公司;MF-CheniBIS 2.0 凝胶成像仪,以色列 DNR 成像系统有限公司;K9840 自动凯氏定氮仪,海能仪器股份有限公司;LA8080 全自动氨基酸分析仪,日本 HATACHI 公司。

## 1.3 方法

1.3.1 样品处理 将冷冻南极磷虾肉解冻至表面及内部无冰晶存在,然后用滤纸吸干表面水分,随后取 100 g 南极磷虾肉分装于 5 cm×5 cm×5 cm 的模具中,用自封袋密封保存,在-18 ℃条件下冷冻至中心温度-15 ℃(SN/T 0223-2011)后取出,按照表 1 的方法进行解冻,并记录南极磷虾肉在解冻过程中,中心温度的变化。

表 1 冷冻南极磷虾肉解冻条件

Table 1 Experimental conditions of thawing for frozen Antarctic krill meat

解冻方式	操作方法
低温解冻	保留包装,在(4±1)℃冰箱中解冻
静水解冻	保留包装,浸泡于(15±1)℃的恒温水浴锅中解冻
超声解冻	保留包装,浸泡于装有(15±1)℃水(通过加入冰块保持温度)的 500 mL 烧杯中,再将烧杯放入输入功率 500 W,频率 40 kHz 的超声清洗器中解冻
空气解冻	保留包装,在(15±1)℃恒温培养箱中解冻

1.3.2 解冻曲线的测定 将温度记录仪的探头插入南极磷虾肉样品的中心,并实时记录低温、静水、超声和空气解冻过程中样品中心温度的变化,以样品中心温度达到-4 ℃为测定终点,解冻曲线用 Origin Pro 8.5 软件处理。

1.3.3 解冻汁液损失率 先用滤纸吸干南极磷虾肉表面的水分并称量此时的质量,记为  $m_1$ 。随后将南极磷虾肉样品置于-18 ℃条件下冷冻,待冷冻完全后,再将样品经过不同解冻方式处理,当样品中心温度达到 4 ℃时停止解冻,并用滤纸吸干样品表面水分,称量此时的质量,记为  $m_2$ 。解冻汁液损失率计算公式如下:

$$\text{解冻汁液损失率}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

1.3.4 蒸煮损失率 参考 Li 等<sup>[11]</sup>的方法,将样品解冻后,用滤纸吸干表面水分后称重,记为  $m_1$ ,将样品放入自封袋并置于 85 ℃恒温水浴锅中,25 min 后取出冷却至室温,用滤纸吸干表面水分并称重,记为  $m_2$ 。蒸煮损失率计算公式如下:

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

1.3.5 低场核磁共振(LF-NMR)横向弛豫信号采集 将标准硫酸铜溶液放入核磁共振成像仪中进行磁场校正,然后将不同解冻处理后的南极磷虾

肉样品放入仪器中,利用 CPMG 序列采集样品横向弛豫信号。使用参数:90°脉冲时间为 10 μs,180°脉冲时间为 50 μs;重复采样等待时间为 3 000 ms。每个样品重复采样 3 次。利用 Multi-ExpInv Analysis 软件,结合迭代重建技术对 CPMG 弛豫数据进行多指数拟合,最后得到弛豫时间及每个峰面积的比例。

1.3.6 磁共振成像(MRI)测定 通过多层自旋回波(SE)序列对不同解冻处理后的南极磷虾肉样品进行磁共振成像。先将标准硫酸铜溶液置于低场核磁共振成像仪中进行磁场校正,然后将其取出放入南极磷虾肉样品,对样品进行扫描,最后使用 Osirix (OsiriX Life v.7.0.4, Geneva, Switzerland) 软件绘制伪彩色图像。

1.3.7 SDS-PAGE 分析 全蛋白提取参考沈春蕾<sup>[12]</sup>的方法。向 4 mg/mL 蛋白质溶液中加入 SDS-PAGE 上样缓冲液(5×),充分混匀后置于沸水中加热 5 min 后备用。灌制 12%分离胶和 5%浓缩胶,加入电极缓冲液后上样,上样量为 3 μL,分别在 80 V 和 100 V 电压下跑浓缩胶和分离胶。待电泳完成后,将凝胶片浸泡于考马斯亮蓝 R-250 染色液中染色 2 h,然后用醋酸乙醇溶液脱色,待完全脱色后在凝胶成像仪上拍照。

1.3.8 非蛋白氮(NPN)含量测定 参考王亚会等<sup>[13]</sup>

的方法。1 g 样品中加入 10 mL 10% 三氯乙酸溶液,分散 1 min 后,在 4 °C 条件下静置 2 h,然后 6 000 r/min 离心 5 min,取 2 mL 上清液进行消化,最后测定非蛋白氮含量。

1.3.9 挥发性盐基氮 (TVB-N) 含量测定 参考 GB 5009.228-2016 中的方法略作修改,使用凯氏定氮仪按半微量蒸馏法进行测定。取 5 g 样品加入 25 mL 去离子水,均质 1 min 后,在 4 °C 条件下浸渍 30 min,然后过滤。向消化管中加入 10 mL 滤液后,再加入 5 mL 10 g/L 氧化镁悬浊液并立即蒸馏。最后利用 0.01 mol/L 盐酸溶液进行滴定,同时以去离子水作为空白试验。根据消耗的盐酸量计算 TVB-N 含量。

1.3.10 TCA 溶解肽含量测定 参考取 Liu 等<sup>[14]</sup>的方法。3 g 样品于 27 mL 5% 三氯乙酸溶液混合后匀浆,在 4 °C 条件下静置 1 h 后离心,取上清液用 Lowry 法测定,结果用  $\mu\text{mol}$  酪氨酸/g 样品表示。

1.3.11 游离氨基酸含量测定 取 3 g 样品加入 15 mL 0.02 mol/L 盐酸,匀浆,4 °C,8 000 r/min 离心 10 min,取 2 mL 上清液加入 8 mL 丙酮,摇匀后静置,4 °C,8 000 r/min 离心 10 min,取 2 mL 上清液,于 60 °C 水浴锅中,蒸干,再用 2 mL 0.02 mol/L 盐酸复溶,过 0.22  $\mu\text{m}$  水相微孔滤膜后,装入 2 mL 进样瓶,待测。

1.3.12 滋味活性值 (TAV) 计算 参考 Chen 等<sup>[15]</sup>的方法,根据公式(3)计算:

$$\text{TAV} = \frac{\text{滋味活性物质的浓度值}}{\text{该物质的味道阈值}} \quad (3)$$

#### 1.4 数据处理

所有试验至少平行 3 次,通过 SPSS 软件的 ANOVA 进行统计学分析,数据用 Origin Pro 8.5 软件制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 解冻方式对冷冻南极磷虾肉解冻时间的影响

图 1 为南极磷虾肉的解冻过程,当中心温度达到 -4 °C 时,视为解冻完成。不同解冻处理的温度变化明显不同,低温、静水、超声和空气解冻耗时分别为 98.42,33.92,21.83,62.08 min,其中超声解冻大大缩短了解冻时间。

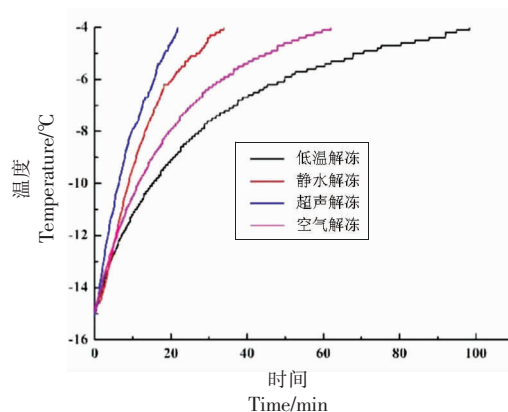


图 1 南极磷虾肉解冻过程中温度变化曲线

Fig.1 Temperature change curve of Antarctic krill meat during thawing

低温和空气解冻耗时长,因为这 2 种解冻方式是通过自然对流解冻,热交换率低。而静水解冻是依靠解冻介质水和南极磷虾肉之间的热传导解冻,由于热传导的热交换率高于对流的热交换率<sup>[16]</sup>,因此静水解冻比低温和空气解冻耗时短。超声解冻主要是靠超声波对冷冻食品进行局部加热,以实现解冻。另外超声解冻还会使冷冻食品表面产生微泡,这种微泡在高温下会破裂,进而提升解冻效率<sup>[17]</sup>。

### 2.2 解冻方式对南极磷虾肉保水性的影响

冷冻水产品的解冻汁液损失和蒸煮损失可能是由冰晶引发的肌肉组织损失和蛋白质变性而产生<sup>[18]</sup>。由表 2 可看出,解冻后的 4 组南极磷虾肉的汁液损失率有显著差异 ( $P < 0.05$ ),与李慢等<sup>[19]</sup>研究结果相似。其中,低温解冻的解冻汁液损失率最低,这可能是因为低温解冻的温度低,过程较温和,对肌肉组织损伤小,有利于肌肉组织对融化水的重吸收<sup>[20]</sup>。空气解冻的解冻汁液损失率最高,这可能与其解冻温度高,时间长有关。超声解冻的解冻汁液损失率也较高,这可能是由于南极磷虾肉

表 2 不同解冻方式下南极磷虾肉的保水性

Table 2 Water retention capacity of Antarctic krill meat in different thawing conditions

解冻方式	解冻汁液损失率/%	蒸煮损失率/%
低温解冻	8.43 ± 1.62 <sup>c</sup>	35.31 ± 3.39 <sup>a</sup>
静水解冻	10.18 ± 1.43 <sup>bc</sup>	35.82 ± 3.48 <sup>a</sup>
超声解冻	12.09 ± 1.45 <sup>ab</sup>	32.28 ± 2.75 <sup>a</sup>
空气解冻	13.98 ± 2.42 <sup>a</sup>	34.30 ± 1.93 <sup>a</sup>

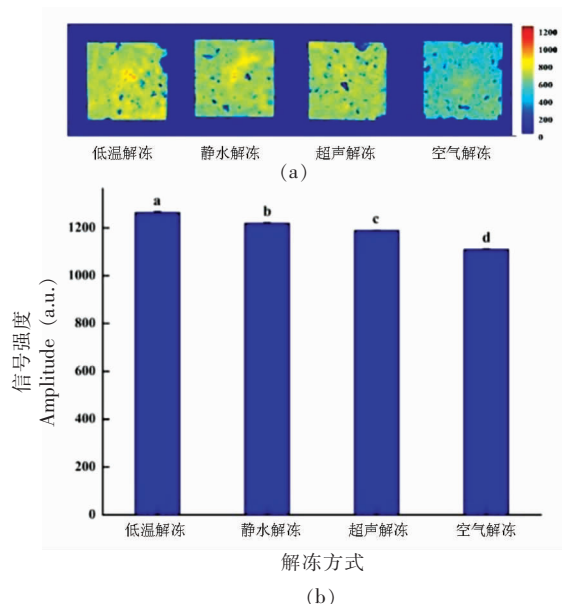
注:同一列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

在超声处理时,温度分布不均一,蛋白质变性程度变大<sup>[21]</sup>,也可能是超声波破坏了细胞和肌肉结构。4 组南极磷虾肉的蒸煮损失率虽然无显著差异 ( $P>0.05$ ),但其数值都较高,这可能与肌球蛋白变性有关<sup>[22]</sup>。因此,解冻后的南极磷虾肉的保水性为低温解冻>静水解冻>超声解冻>空气解冻。

### 2.3 解冻方式对南极磷虾肉水分分布的影响

低场核磁共振(LF-NMR)主要是基于食品中的质子核自旋吸收的共振射频来测量质子量的。核磁共振成像(MRI)能够提供食品内部化学成分和结构信息。这两种技术灵敏度高,分析速度快,不会对食品造成破坏,已被广泛应用于食品中水分迁移和分布的分析<sup>[23]</sup>。图 2 显示了解冻后南极磷虾肉的 MRI 氢质子加权核磁成像伪彩图(图 2a)和对应的定量氢质子信号强度(图 2b)。图像中的红色代表高质子密度,蓝色代表低质子密度,颜色深浅代表信号强度高。如图 2a 所示,低温解冻后的南极磷虾肉红色区域多于另外 3 种,且颜色更深,其次是静水、超声和空气解冻,表明低温解冻后的南极磷虾肌肉组织中的水分含量高于另外 3 种。另外还观察到 4 组南极磷虾肌肉内部的水分分布都不均匀,中心位置的水分更多,这可能是因为解冻过程中南极磷虾肉外部的升温速度高于内部,使外部的水分先流失,而内部的水分流失少。图 2b 中的氢质子信号强度与核磁成像中观察到的结果一致,这也进一步证明了这 4 种解冻方式中低温解冻能更好地保持南极磷虾肉中的水分。

进一步通过 LF-NMR 横向弛豫时间( $T_2$ )、单位质量峰面积( $A_2/g$ )和峰面积比率( $P_2$ )来分析解冻后南极磷虾肉的水分分布情况。如图 3a 所示,解冻后的南极磷虾肉 LF-NMR 的弛豫信号曲线由 3 或 4 个峰组成。从左到右分别为强结合水  $T_{2b}$  (0.1~1 ms),结合水  $T_{21}$  (1~10 ms),固定水  $T_{22}$  (10~100 ms)和自由水  $T_{23}$  (100~1 000 ms)。由表 3 和图 3b 可知,低温和静水解冻中有强结合水,且  $T_{2b}$  和  $P_{2b}$  无显著差异 ( $P>0.05$ ),而超声和空气解冻中没有,这可能是因为南极磷虾肉在这通过 2 种方式解冻过程中这部分水被破坏。低温和静水解冻的  $T_{21}$  显著高于超声和空气解冻 ( $P<0.05$ ),而  $A_{21}$  则相反,这说明超声和空气解冻后的南极磷虾肌肉



注:小写字母不同表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

图 2 不同解冻方式下南极磷虾肉的氢质子密度核磁共振成像(a)和对应的定量信号强度直方图(b)

Fig.2 Hydrogen proton density NMR imaging (a) and corresponding quantitative signal intensity histogram (b) of Antarctic krill meat in different thawing conditions

组织中的结合水量显著高于低温和静水解冻 ( $P<0.05$ ),这可能是因为超声解冻过程中超声波能量大,对南极磷虾肉蛋白质造成了物理性破坏,使强结合水与蛋白质分离,变成结合水;而空气解冻可能是由于其解冻温度高,时间长,造成南极磷虾肉中的水分大量流失,使得强结合水向右迁移,成为结合水。空气解冻的  $T_{22}$  和  $A_{22}$  均显著低于其它 3 种解冻方式 ( $P<0.05$ ),表明空气解冻后的南极磷虾肌肉组织中的固定水量最少。另外,  $A_{22}$  与样品的保水性呈正相关关系,单位质量的峰面积越大,保水性越好<sup>[24]</sup>。4 种解冻方式的  $A_{22}$  由高到低顺序分别为低温、静水、超声和空气解冻,即解冻后南极磷虾肉的保水性由好到差也是同样的顺序,与上述保水性比较中的结果一致。空气解冻的  $T_{23}$  和  $P_{23}$  分别显著低于和高于其它 3 组 ( $P<0.05$ ),这可能是因为空气解冻温度高,时间长,使固定水向自由水方向迁移的速度快,体积大。

### 2.4 不同解冻条件下南极磷虾肉保水性与 NMR 参数相关性分析

通过皮尔逊相关系数对不同解冻条件下的南

极磷虾肉保水性与 NMR 参数进行相关性分析,结果如表 4 所示,解冻汁液损失率与  $A_{22}$  呈显著负相关( $P<0.05$ )。该结果可说明  $A_{22}$  与南极磷虾肉的保

水性呈显著正相关, $A_{22}$  可间接反映南极磷虾肉的保水性。而蒸煮损失率在 4 种解冻条件下无显著变化,因此其与 NMR 参数之间没有显著相关性。

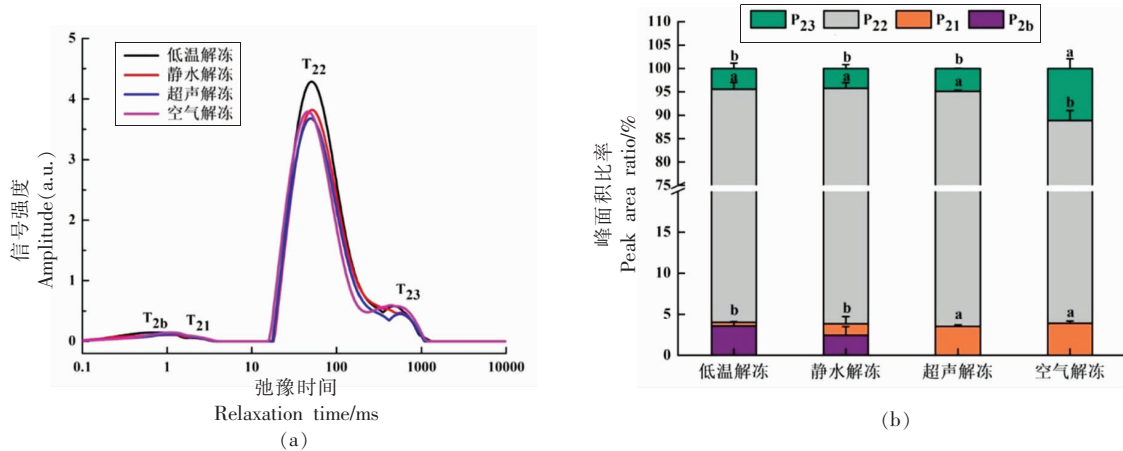


图 3 不同解冻方式下南极磷虾肉的  $T_2$  弛豫时间(a)和水分分布(b)

Fig.3  $T_2$  relaxation time (a) and water distribution (b) of Antarctic krill meat in different thawing conditions

表 3 不同解冻方式下南极磷虾肉的横向弛豫参数

Table 3 Lateral relaxation parameters of Antarctic krill meat in different thawing conditions

解冻方式	$T_2$ 弛豫时间/ms				$A_2/g$			
	$T_{2b}$	$T_{21}$	$T_{22}$	$T_{23}$	$A_{2b}$	$A_{21}$	$A_{22}$	$A_{23}$
低温解冻	$0.73 \pm 0.10^a$	$1.87 \pm 0.17^a$	$50.86 \pm 2.05^a$	$553.54 \pm 64.81^a$	$11.39 \pm 1.74^a$	$1.35 \pm 0.16^b$	$289.80 \pm 5.26^a$	$14.11 \pm 3.74^b$
静水解冻	$0.65 \pm 0.29^a$	$1.76 \pm 0.33^a$	$51.70 \pm 1.32^a$	$561.85 \pm 21.36^a$	$7.07 \pm 2.85^b$	$4.08 \pm 2.69^b$	$267.50 \pm 14.97^b$	$12.29 \pm 1.94^b$
超声解冻		$1.26 \pm 0.15^b$	$49.68 \pm 0.00^a$	$555.39 \pm 7.37^a$		$9.75 \pm 0.51^a$	$253.19 \pm 2.77^{bc}$	$13.46 \pm 0.03^b$
空气解冻		$1.18 \pm 0.17^b$	$46.10 \pm 1.02^b$	$467.80 \pm 23.08^b$		$11.18 \pm 0.98^a$	$242.78 \pm 5.40^c$	$31.93 \pm 6.67^a$

注:同一列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

表 4 不同解冻条件下南极磷虾肉保水性与 NMR 参数的相关性

Table 4 Correlation between water retention capacity and NMR parameters of Antarctic krill meat in different thawing conditions

指标	$T_{22}$	$T_{23}$	$A_{22}$	$A_{23}$	$P_{22}$	$P_{23}$
解冻汁液损失率	-0.863	-0.770	-0.982*	0.762	-0.775	0.812
蒸煮损失率	0.374	0.090	0.561	-0.079	0.078	-0.132

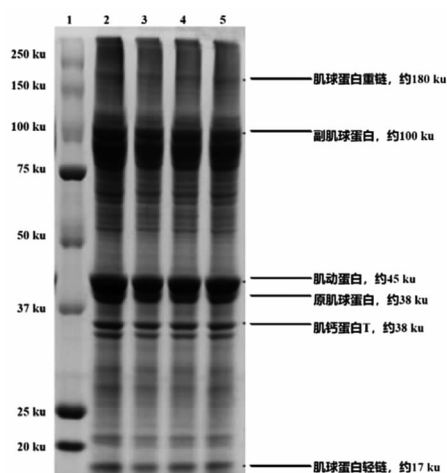
注:\*. 表示  $P<0.05$ 。

## 2.5 冷冻南极磷虾肉在不同解冻条件下的蛋白质降解情况

利用 SDS-PAGE 对解冻后的南极磷虾肉蛋白质降解情况进行分析。如图 4 所示,4 组南极磷虾肉中的副肌球蛋白条带变化不明显,而低温解冻 75 ku 附近的肌浆蛋白<sup>[25]</sup>和 20~30 ku 低分子质量的条带颜色比其它 3 组稍重,其次是空气、超声和静水解冻,这可能是由高分子质量蛋白降解为

小分子蛋白所致。另外,低温解冻的肌动蛋白条带比其它 3 组稍宽,这可能是由于大分子质量蛋白质降解成的小分子蛋白质聚集。

除游离氨基酸外,所有的非蛋白氮(NPN)组分均为蛋白质降解的中间产物<sup>[26]</sup>。因此,NPN 含量越多,说明蛋白质降解程度越大。由表 5 可知,4 组解冻后的南极磷虾肉 NPN 含量有显著差异( $P<0.05$ ),且低温、静水和空气解冻后的 NPN 含量与



注: 1: Marker; 2: 低温解冻; 3: 静水解冻; 4: 超声解冻; 5: 空气解冻。

图 4 SDS-PAGE 观察南极磷虾肉在不同解冻条件下全蛋白的变化

Fig.4 Changes in whole protein of Antarctic krill meat in different thawing conditions by SDS-PAGE

解冻消耗时间趋势一致,与黄显彬<sup>[5]</sup>研究结果一致。其中超声解冻后的南极磷虾肉 NPN 含量最多,其次是低温解冻,这可能是因为超声处理破坏

了南极磷虾肉蛋白质结构,也可能是因为超声波在水中造成的空化产生了自由基<sup>[27]</sup>,使南极磷虾肉的蛋白质降解水平增加;而低温解冻可能是因为其解冻时间长,使蛋白质降解程度加深。

挥发性盐基氮(TVB-N)主要由氨、甲胺、二甲胺和三甲胺组成,是微生物降解蛋白质、氨基酸和核苷酸等非蛋白氮化合物的产物<sup>[14]</sup>。TVB-N 值是海产品质量评价的重要指标,也是判断海产品腐败的化学指标<sup>[28]</sup>。我国对鲜、冻虾类的 TVB-N 值要求低于 30 mg/100 g,本试验中的 4 组 TVB-N 值无显著差异( $P>0.05$ )且均低于该限值,与迟海等<sup>[10]</sup>结果相似,这可能是因为南极磷虾肉蛋白质在短时间内降解产物主要为多肽或寡肽,而氨和胺类物质少<sup>[7]</sup>。

TCA 溶解肽含量可判断水产品蛋白质降解程度,其含量越高,说明蛋白质降解程度越大。由表 5 可知,低温解冻后的南极磷虾肉 TCA 溶解肽含量显著低于其它 3 组( $P<0.05$ ),说明南极磷虾肉蛋白质在低温解冻条件下降解成为肽的程度较其它 3 组低。

表 5 不同解冻方式下南极磷虾肉蛋白质的降解程度

Table 5 Degree of protein degradation of Antarctic krill meat in different thawing conditions

解冻方式	非蛋白氮含量/ $\text{g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$	挥发性盐基氮含量/ $\text{mg} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$	TCA 溶解肽含量/ $\mu\text{mol}$ 酪氨酸 $\cdot \text{g}^{-1}$ 虾肉
低温解冻	$37.84 \pm 2.74^{\text{ab}}$	$8.68 \pm 1.28^{\text{a}}$	$5.69 \pm 0.25^{\text{b}}$
静水解冻	$31.83 \pm 2.41^{\text{c}}$	$9.60 \pm 0.63^{\text{a}}$	$6.35 \pm 0.18^{\text{a}}$
超声解冻	$39.11 \pm 1.99^{\text{a}}$	$9.54 \pm 0.26^{\text{a}}$	$6.25 \pm 0.46^{\text{ab}}$
空气解冻	$33.15 \pm 2.38^{\text{bc}}$	$8.61 \pm 0.04^{\text{a}}$	$6.86 \pm 0.27^{\text{a}}$

注:同一列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

蛋白质和多肽降解会导致游离氨基酸含量增加。因此,游离氨基酸含量也可反映蛋白质的降解程度。由表 6 可知,解冻后的南极磷虾肉共检测出 15 种游离氨基酸,色氨酸因与酸反应损失,未能检测出<sup>[29]</sup>,4 组必需氨基酸总量虽无显著差异( $P>0.05$ ),但静水解冻后的游离氨基酸含量显著低于另外 3 组 ( $P<0.05$ ),结合表 5 中静水解冻后的 NPN 含量和 TCA 溶解肽含量可判断出,在这 4 种解冻方式中,静水解冻可最大程度减缓蛋白质不被大量降解。由图 5a 可看出,空气解冻中的必需氨基酸比例显著低于另外 3 组( $P<0.05$ ),这可能是由于空气解冻使某些必需氨基酸随汁液大量流

失导致。

从呈味氨基酸来看,解冻后的南极磷虾肉游离氨基酸主要是苦味和甜味氨基酸,与潘晓炆等<sup>[30]</sup>结果一致。低温解冻中鲜味氨基酸比例最高,可达 15.50%;静水解冻中的甜味氨基酸比例最高,可达 22.68%;空气解冻中苦味氨基酸比例最高,可达 76.31%。

## 2.6 冷冻南极磷虾肉在不同解冻条件下的滋味比较

TAV 是样品中滋味物质含量与其相应阈值的比值,TAV>1 时,数值越大,则滋味物质对样品整体的口感贡献越显著<sup>[30]</sup>。由表 7 可知,解冻后南极

表6 不同解冻方式下南极磷虾肉的游离氨基酸含量  
Table 6 Free amino acid content of Antarctic krill meat in different thawing conditions

氨基酸	低温解冻			静水解冻			超声解冻			空气解冻		
	含量/ mg·(100g) <sup>-1</sup>	比例/%	含量/ mg·(100g) <sup>-1</sup>	比例/%	含量/ mg·(100g) <sup>-1</sup>	比例/%	含量/ mg·(100g) <sup>-1</sup>	比例/%	含量/ mg·(100g) <sup>-1</sup>	比例/%	含量/ mg·(100g) <sup>-1</sup>	比例/%
天冬氨酸 Asp(鲜)	6.38 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.65 ± 0.01 <sup>B</sup>	6.49 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.68 ± 0.00 <sup>A</sup>	6.27 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.64 ± 0.00 <sup>B</sup>	6.01 ± 0.05 <sup>d</sup>	0.60 ± 0.00 <sup>C</sup>	6.01 ± 0.05 <sup>d</sup>	0.64 ± 0.00 <sup>B</sup>	6.01 ± 0.05 <sup>d</sup>	0.60 ± 0.00 <sup>C</sup>
苏氨酸 Thr(甜)*	24.70 ± 0.26 <sup>a</sup>	2.51 ± 0.04 <sup>A</sup>	22.79 ± 0.08 <sup>b</sup>	2.37 ± 0.01 <sup>B</sup>	21.78 ± 0.21 <sup>c</sup>	2.21 ± 0.02 <sup>C</sup>	21.16 ± 0.02 <sup>d</sup>	2.13 ± 0.02 <sup>D</sup>	21.16 ± 0.02 <sup>d</sup>	2.21 ± 0.02 <sup>C</sup>	21.16 ± 0.02 <sup>d</sup>	2.13 ± 0.02 <sup>D</sup>
丝氨酸 Ser(甜)	22.18 ± 0.04 <sup>a</sup>	2.26 ± 0.02 <sup>A</sup>	21.43 ± 0.09 <sup>c</sup>	2.23 ± 0.01 <sup>B</sup>	21.74 ± 0.14 <sup>b</sup>	2.21 ± 0.01 <sup>C</sup>	21.50 ± 0.08 <sup>c</sup>	2.16 ± 0.00 <sup>D</sup>	21.50 ± 0.08 <sup>c</sup>	2.21 ± 0.01 <sup>C</sup>	21.50 ± 0.08 <sup>c</sup>	2.16 ± 0.00 <sup>D</sup>
谷氨酸 Glu(鲜)	9.11 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.93 ± 0.01 <sup>A</sup>	7.85 ± 0.03 <sup>d</sup>	0.82 ± 0.00 <sup>D</sup>	8.84 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.90 ± 0.00 <sup>B</sup>	8.62 ± 0.06 <sup>c</sup>	0.87 ± 0.00 <sup>C</sup>	8.62 ± 0.06 <sup>c</sup>	0.90 ± 0.00 <sup>B</sup>	8.62 ± 0.06 <sup>c</sup>	0.87 ± 0.00 <sup>C</sup>
甘氨酸 Gly(甜)	102.32 ± 0.23 <sup>b</sup>	10.41 ± 0.11 <sup>A</sup>	99.12 ± 0.01 <sup>c</sup>	10.33 ± 0.02 <sup>A</sup>	102.48 ± 0.77 <sup>b</sup>	10.41 ± 0.08 <sup>A</sup>	103.57 ± 0.40 <sup>a</sup>	10.41 ± 0.01 <sup>A</sup>	103.57 ± 0.40 <sup>a</sup>	10.41 ± 0.08 <sup>A</sup>	103.57 ± 0.40 <sup>a</sup>	10.41 ± 0.01 <sup>A</sup>
丙氨酸 Ala(甜)	72.23 ± 0.06 <sup>b</sup>	7.35 ± 0.06 <sup>D</sup>	73.81 ± 0.35 <sup>a</sup>	7.69 ± 0.03 <sup>A</sup>	74.36 ± 0.49 <sup>a</sup>	7.55 ± 0.04 <sup>B</sup>	74.13 ± 0.30 <sup>b</sup>	7.45 ± 0.01 <sup>C</sup>	74.13 ± 0.30 <sup>b</sup>	7.55 ± 0.04 <sup>B</sup>	74.13 ± 0.30 <sup>b</sup>	7.45 ± 0.01 <sup>C</sup>
色氨酸 Cys*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
缬氨酸 Val(苦)*	19.69 ± 0.04 <sup>c</sup>	2.00 ± 0.02 <sup>C</sup>	21.82 ± 0.05 <sup>a</sup>	2.27 ± 0.01 <sup>A</sup>	21.28 ± 0.13 <sup>b</sup>	2.16 ± 0.02 <sup>B</sup>	21.18 ± 0.07 <sup>b</sup>	2.13 ± 0.00 <sup>B</sup>	21.18 ± 0.07 <sup>b</sup>	2.16 ± 0.02 <sup>B</sup>	21.18 ± 0.07 <sup>b</sup>	2.13 ± 0.00 <sup>B</sup>
蛋氨酸 Met(苦)*	11.36 ± 0.05 <sup>c</sup>	1.16 ± 0.00 <sup>D</sup>	12.46 ± 0.08 <sup>a</sup>	1.30 ± 0.01 <sup>A</sup>	12.12 ± 0.16 <sup>b</sup>	1.23 ± 0.01 <sup>B</sup>	11.94 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.20 ± 0.00 <sup>C</sup>	11.94 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.23 ± 0.01 <sup>B</sup>	11.94 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.20 ± 0.00 <sup>C</sup>
异亮氨酸 Ile(苦)*	5.88 ± 0.38 <sup>a</sup>	0.60 ± 0.03 <sup>AB</sup>	5.98 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.62 ± 0.00 <sup>A</sup>	5.91 ± 0.27 <sup>a</sup>	0.60 ± 0.02 <sup>AB</sup>	5.69 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.57 ± 0.00 <sup>B</sup>	5.69 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.60 ± 0.02 <sup>AB</sup>	5.69 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.57 ± 0.00 <sup>B</sup>
亮氨酸 Leu(苦)*	16.68 ± 0.88 <sup>a</sup>	1.70 ± 0.07 <sup>A</sup>	16.52 ± 0.14 <sup>a</sup>	1.73 ± 0.03 <sup>A</sup>	16.29 ± 0.66 <sup>ab</sup>	1.65 ± 0.05 <sup>A</sup>	15.31 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.54 ± 0.00 <sup>A</sup>	15.31 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.65 ± 0.05 <sup>A</sup>	15.31 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.54 ± 0.00 <sup>A</sup>
酪氨酸 Tyr(苦)	312.60 ± 3.59 <sup>b</sup>	31.81 ± 0.08 <sup>A</sup>	299.76 ± 1.04 <sup>b</sup>	31.43 ± 0.30 <sup>A</sup>	312.58 ± 4.06 <sup>a</sup>	31.75 ± 0.12 <sup>A</sup>	312.81 ± 1.51 <sup>a</sup>	31.46 ± 0.06 <sup>A</sup>	312.81 ± 1.51 <sup>a</sup>	31.75 ± 0.12 <sup>A</sup>	312.81 ± 1.51 <sup>a</sup>	31.46 ± 0.06 <sup>A</sup>
苯丙氨酸 Phe(苦)*	17.14 ± 2.73 <sup>a</sup>	1.74 ± 0.26 <sup>A</sup>	16.92 ± 0.07 <sup>a</sup>	2.04 ± 0.50 <sup>A</sup>	18.31 ± 1.80 <sup>a</sup>	1.86 ± 0.16 <sup>A</sup>	16.37 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.64 ± 0.01 <sup>A</sup>	16.37 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.86 ± 0.16 <sup>A</sup>	16.37 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.64 ± 0.01 <sup>A</sup>
赖氨酸 Lys(苦)*	16.99 ± 0.78 <sup>a</sup>	1.73 ± 0.06 <sup>A</sup>	16.46 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.99 ± 0.47 <sup>A</sup>	16.69 ± 0.86 <sup>a</sup>	1.70 ± 0.07 <sup>A</sup>	15.92 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.60 ± 0.00 <sup>A</sup>	15.92 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.70 ± 0.07 <sup>A</sup>	15.92 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.60 ± 0.00 <sup>A</sup>
组氨酸 His(苦)*	7.24 ± 0.37 <sup>ab</sup>	0.74 ± 0.03 <sup>A</sup>	6.98 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.73 ± 0.00 <sup>A</sup>	7.74 ± 0.48 <sup>a</sup>	0.78 ± 0.04 <sup>A</sup>	7.27 ± 0.05 <sup>ab</sup>	0.73 ± 0.00 <sup>A</sup>	7.27 ± 0.05 <sup>ab</sup>	0.78 ± 0.04 <sup>A</sup>	7.27 ± 0.05 <sup>ab</sup>	0.73 ± 0.00 <sup>A</sup>
精氨酸 Arg(苦)	335.63 ± 0.59 <sup>b</sup>	34.16 ± 0.26 <sup>A</sup>	329.07 ± 0.66 <sup>c</sup>	34.09 ± 0.30 <sup>A</sup>	336.09 ± 2.49 <sup>b</sup>	34.14 ± 0.23 <sup>A</sup>	350.44 ± 1.42 <sup>a</sup>	35.24 ± 0.05 <sup>A</sup>	350.44 ± 1.42 <sup>a</sup>	34.14 ± 0.23 <sup>A</sup>	350.44 ± 1.42 <sup>a</sup>	35.24 ± 0.05 <sup>A</sup>
游离氨基酸总量/ mg·(100g) <sup>-1</sup>	980.14 ± 8.82 <sup>a</sup>	-	957.46 ± 1.87 <sup>b</sup>	-	982.47 ± 11.14 <sup>a</sup>	-	991.92 ± 3.94 <sup>a</sup>	-	991.92 ± 3.94 <sup>a</sup>	-	991.92 ± 3.94 <sup>a</sup>	-
必需氨基酸总量/ mg·(100g) <sup>-1</sup>	119.69 ± 4.98 <sup>a</sup>	-	119.94 ± 0.18 <sup>a</sup>	-	120.11 ± 4.19 <sup>a</sup>	-	114.83 ± 0.26 <sup>a</sup>	-	114.83 ± 0.26 <sup>a</sup>	-	114.83 ± 0.26 <sup>a</sup>	-

注:\*. 代表必需氨基酸;同一列不同大小写字母表示差异显著(P<0.05);-, 表示未检出。

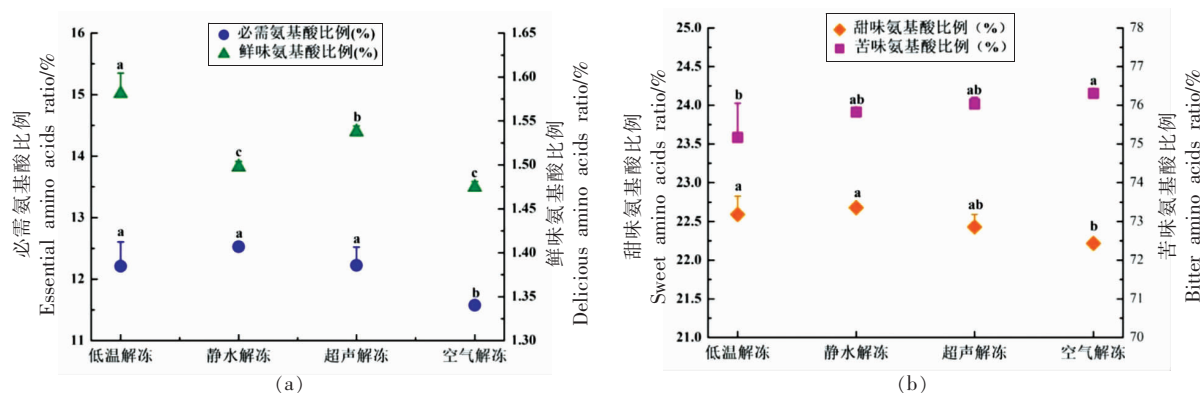


图 5 不同解冻方式下南极磷虾肉的氨基酸比例

Fig.5 Amino acid ratio of Antarctic krill meat in different thawing conditions

磷虾肉中丙氨酸(甜)和精氨酸(苦)的 TAV 值大于 1, 表明这两种氨基酸对南极磷虾肉滋味贡献较大。低温、静水、超声和空气解冻中,丙氨酸的 TAV 值分别为 1.20,1.23,1.24,1.23; 精氨酸的 TAV 值分别为 6.71,6.58,6.72,7.01。精氨酸的

TAV 值大于丙氨酸的 TAV 值,表明南极磷虾肉苦味氨基酸对其滋味影响最大。另外,空气解冻中的 TAV 值较其它 3 种解冻方式大,说明在 4 种解冻方式中,空气解冻对南极磷虾肉苦味滋味影响最大。

表 7 不同解冻方式下南极磷虾肉的游离氨基酸 TAV 值

Table 7 TAV value of free amino acid of Antarctic krill meat in different thawing conditions

氨基酸	味道阈值/mg·(100 mL) <sup>-1</sup>	低温解冻	静水解冻	超声解冻	空气解冻
天冬氨酸 Asp(鲜)	100	0.06	0.06	0.06	0.06
苏氨酸 Thr(甜)	260	0.10	0.09	0.08	0.08
丝氨酸 Ser(甜)	150	0.15	0.14	0.14	0.14
谷氨酸 Glu(鲜)	30	0.30	0.26	0.29	0.29
甘氨酸 Gly(甜)	130	0.79	0.76	0.79	0.80
丙氨酸 Ala(甜)	60	1.20	1.23	1.24	1.23
缬氨酸 Val(苦)	40	0.49	0.54	0.53	0.53
蛋氨酸 Met(苦)	30	0.38	0.41	0.40	0.40
异亮氨酸 Ile(苦)	90	0.06	0.07	0.06	0.06
亮氨酸 Leu(苦)	190	0.09	0.09	0.08	0.08
苯丙氨酸 Phe(苦)	90	0.19	0.19	0.20	0.18
赖氨酸 Lys(苦)	50	0.34	0.33	0.33	0.32
组氨酸 His(苦)	20	0.36	0.35	0.39	0.36
精氨酸 Arg(苦)	50	6.71	6.58	6.72	7.01

### 3 结论

南极磷虾肉解冻后主要呈甜味和苦味。区别在于:南极磷虾肉经低温解冻和静水解冻后,其保水性较好,内部水分结构完整;低温解冻后的南极磷虾肉 TCA 溶解肽含量最低,而解冻时间较长,适合在工厂的低温解冻库中解冻;静水解冻速度较快,非蛋白氮(NPN)含量最低,比较适合于家庭

日常解冻。超声解冻和空气解冻保水差,缺少强结合水,蛋白质降解程度较高,因此,这两种解冻方式不是解冻南极磷虾肉很好的选择。

### 参 考 文 献

[1] LU F S H, BRUHEIM I, ALE M T, et al. The ef-



- fect of thermal treatment on the quality changes of Antarctic krill meal during the manufacturing process: High processing temperatures decrease product quality[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2015, 117(4): 411–420.
- [2] 左青, 左晖. 南极磷虾开发现状和展望[J]. *粮食与食品工业*, 2019, 26(4): 13–16.  
ZUO Q, ZUO H. Outlook and present Antarctic krill development[J]. *Cereal & Food Industry*, 2019, 26(4): 13–16.
- [3] MA X M, LIU C Y, WANG C W, et al. Effects of three products from Antarctic krill on the nitrogen balance, growth, and antioxidation status of rats[J]. *Food Science & Nutrition*, 2019, 7(8): 2760–2768.
- [4] SUN J N, MAO X Z. An environmental friendly process for Antarctic krill (*Euphausia superba*) utilization using fermentation technology[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 127: 618–623.
- [5] 黄显彬. 南极磷虾解冻工艺与解冻后品质变化规律研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2016.  
HUANG X B. Research on thawing process and quality change of Antarctic krill[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2016.
- [6] 邸向乾. 南极磷虾保鲜及虾糜特性研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.  
DI X Q. Study on storage of Antarctic krill (*Euphausia superba*) and Gel Properties of Antarctic krill Surimi[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013.
- [7] 曹荣, 陈岩, 赵玉然, 等. 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): 289–293.  
CAO R, CHEN Y, ZHAO Y R, et al. Effect of thawing methods on processing quality of Antarctic krill[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(17): 289–294.
- [8] 张亚瑾, 焦阳. 冷冻和解冻技术在水产品中的应用研究进展[J]. *食品与机械*, 2021, 37(1): 215–221.  
ZHANG Y J, JIAO Y. Research status and prospect of freezing and thawing technologies of aquatic products[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(1): 215–221.
- [9] 胡晓亮, 王易芬, 郑晓伟, 等. 水产品解冻技术研究进展[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(29): 39–46.  
HU X L, WANG Y F, ZHENG X W, et al. Research process of thawing technology of aquatic products[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(29): 39–46.
- [10] 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 H, YANG F, YANG X S, 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.
- [11] LI X X, SUN P, JIA J Z, et al. Effect of low frequency ultrasound thawing method on the quality characteristics of Peru squid (*Dosidicus gigas*) [J]. *Food Science and Technology International*, 2019, 25(2): 171–181.
- [12] 沈春蕾. 冻藏南美白对虾虾肉糜品质变化及保障技术研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019.  
SHEN C L. Study on quality change and guarantee technology of frozen preserved shrimp surimi of *Penaeus vannamei* [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2019.
- [13] 王亚会, 王锡昌, 王帅, 等. 中华绒螯蟹鲜活及死后品质变化规律初探[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(18): 131–151.  
WANG Y H, WANG X C, WANG S, et al. Quality evaluation of fresh and dead Chinese mitten crab (*Eriocheirsinensis*) [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(18): 131–151.
- [14] LIU D S, LIANG L, XIA W S, et al. Biochemical and physical changes of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillets stored at -3 and 0 °C [J]. *Food Chemistry*, 2013, 140(1/2): 105–114.
- [15] CHEN D W, ZHANG M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Food Chemistry*, 2007, 104(3): 1200–1205.
- [16] BSCKI C J. Methods for (industrial) thawing of fish blocks: A review[J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2018, 41(1): 1–11.
- [17] 孙聿尧, 谢晶, 王金锋. 超声波解冻与传统解冻方式的比较与竞争力评估[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(6): 253–258.  
SUN Y Y, XIE J, WANG J F. Comparison and competitiveness assessment between ultrasonic thawing and traditional thawing methods [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(6): 253–258.
- [18] ZHANG Y M, ERBJERG P. On the origin of thaw

- loss; Relationship between freezing rate and protein denaturation[J]. Food Chemistry, 2019, 299(30): 125104.
- [19] 李慢, 马晓彬, 王文骏, 等. 解冻方式对中国对虾品质的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(5): 182-189.
- LI M, MA X B, WANG W J, et al. Effects of thawing methods on the quality of Chinese shrimp[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology[J]. 2019, 19(5): 182-189.
- [20] 王雪松, 谢晶. 不同解冻方式对冷冻竹荚鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(23): 137-143.
- WANG X S, XIE J. Effects of different thawing methods on the quality of frozen horse mackerel[J]. Food Science, 2020, 41(23): 137-143.
- [21] 牛改改, 秦成丰, 游刚, 等. 解冻方式对近江牡蛎肉感官特征和理化指标的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(16): 271-278.
- NIU G G, QIN C F, YOU G, et al. Effects of thawing methods on sensory characteristics and physicochemical indices of oyster (*Ostrea rivularis Gould*) meat[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(16): 271-278.
- [22] XIA X F, KONG B H, LIU J, et al. Influence of different thawing methods on physicochemical changes and protein oxidation of porcine longissimus muscle[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 46(1): 280-286.
- [23] CHENG S S, TANG Y Q, ZHANG T, et al. Approach for monitoring the dynamic states of water in shrimp during drying process with LF-NMR and MRI[J]. Drying Technology, 2018, 36(7): 841-848.
- [24] DENG Q, WANG Y L, SUN L J, et al. Migration of water in *Litopenaeus vannamei* muscle following freezing and thawing[J]. Journal of Food Science, 2018, 83(7): 1810-1815.
- [25] ZHANG B, CAO H J, WEI W Y, et al. Influence of temperature fluctuations on growth and recrystallization of ice crystals in frozen peeled shrimp (*Litopenaeus vannamei*) pre-soaked with carrageenan oligosaccharide and xylooligosaccharide[J]. Food Chemistry, 2020, 306(15): 125641.
- [26] ZHAO G M, TIAN W, LIU Y X, et al. Proteolysis in biceps femoris during Jinhua ham processing[J]. Meat Science, 2008, 79(1): 39-45.
- [27] KANG A C, GAO X Q, GE Q F, et al. Effects of ultrasound on the beef structure and water distribution during curing through protein degradation and modification [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2017, 38: 317-325.
- [28] JINADASA B K K K. Determination of quality of marine fishes based on total volatile base nitrogen test (TVB-N), B.K.K.K. Jinadasa[J]. Nature and Science, 2014, 12(5): 106-111.
- [29] 姜慧娟, 张瑞娟, 焦阳, 等. 加热方式对南美白对虾和南极磷虾肉糜中的游离氨基酸含量的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 241-248.
- JIANG H X, ZHANG R J, JIAO Y, et al. Effects of different heating methods on the contents of free amino acids in minced shrimp of *Penaeus vannamei* and *Euphausia superba*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(11): 241-248.
- [30] 潘晓扬, 杨林莘, 王晓燕, 等. 冻融循环对南极磷虾肉糜滋味成分的影响[J]. 渔业科学进展, 2019, 40(2): 155-160.
- PAN X Y, YANG L X, WANG X Y, et al. Effects of freezing and thawing cycles on taste components of minced Antarctic krill[J]. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(2): 155-160.

### Effect of Thawing Methods on the Physico-chemical and Taste Characteristics of Antarctic Krill Meat

Diao Huayu<sup>1</sup>, Lin Songyi<sup>1,2,3</sup>, Chen Dong<sup>1,2,3</sup>, Liang Rui<sup>1</sup>, Sun Na<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, Liaoning

<sup>2</sup>National Engineering Research Center of Seafood, Dalian 116034, Liaoning

<sup>3</sup>Collaborative Innovation Center of Seafood Deep Processing, Dalian 116034, Liaoning

**Abstract** Variations in water holding capacity, moisture distribution, protein degradation and taste ingredients of Antarc-

tic krill meat after low temperature thawing, water soaking thawing, ultrasonic thawing, or air thawing were investigated to explore the effect of thawing methods on the quality of frozen Antarctic krill meat. The results showed that low temperature thawing or water soaking thawing endowed Antarctic krill meat with better water retention capacity and complete internal water structure when compared to ultrasonic thawing or air thawing; low temperature thawing took a longest time (98.42 min), but the content of TCA-soluble peptides after thawing was significantly lower than those of the other three groups ( $P < 0.05$ ); and the proportion of umami amino acids was significantly higher than those of the other three groups ( $P < 0.05$ ); ultrasonic thawing took the shortest time (21.83 min), but the content of the non-protein nitrogen (NPN) content after thawing was the largest ( $P < 0.05$ ). The proportion of essential amino acids for air thawing was 11.58%, which was significantly lower than those in the other three groups ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference in the content of total volatile base nitrogen (TVB-N) among the four groups ( $P > 0.05$ ), and all of them were below 10 mg/100 g. The taste activity value (TAV) indicated that the sweetness and bitterness were the main taste of thawed Antarctic krill meat, and the proportion of bitter amino acids in Antarctic krill meat after air thawing was the largest ( $P < 0.05$ ). The above results indicated that low temperature or water soaking thawing were more suitable for the thawing of Antarctic krill meat, while the quality of Antarctic krill meat after ultrasonic thawing or air thawing was relatively poor.

**Keywords** Antarctic krill meat; thawing methods; moisture distribution; protein degradation; flavor ingredients