

## 碱性电解水部分替代复合磷酸盐对秘鲁鱿鱼品质的影响

唐奕彬, 罗 燚, 房传栋, 颜曰露, 刁志杰, 张 宾, 林慧敏\*

(浙江海洋大学食品与药学院 浙江舟山 316022)

**摘要** 目的:探究碱性电解水部分替代复合磷酸盐对秘鲁鱿鱼品质的影响,方法:采用不同浸泡液浸泡秘鲁鱿鱼并置于-20℃冷冻,在0,30,60,90,120 d内测定鱿鱼样品浸泡增重率、冷冻损失率、解冻损失率、蒸煮损失率、持水力、pH值、硬度、色差、组织结构和感官评价的变化。结果:碱性电解水和复合磷酸盐混合溶液浸泡(MIX)组样品的感官评分更优;MIX组样品的浸泡增重率为(7.53±0.31)%,相比碱性电解水浸泡(AEW)组样品、复合磷酸盐浸泡(CPH)组样品、水浸泡(WAT)组样品分别增加约1.18%,2.90%,3.97%。在总色差方面,AEW组样品显著优于CPH组样品与MIX组样品( $P<0.05$ )。在组织结构方面,冷冻后AEW组样品和MIX组样品组织纹理较清晰,排列均匀且紧密,WAT组样品与空白(NOT)组样品肌肉纤维明显散乱,受损程度更严重。冷冻损失与解冻损失3组样品(AEW、CPH、MIX)无显著性差异,MIX组样品的浸泡增重率[(7.53±0.31)%]比单独使用AEW[(6.35±0.24)%]和单独使用CPH[(4.63±0.30)%]显著提高,而硬度显著降低;AEW组和MIX组样品的蒸煮损失率显著低于CPH组样品。结论:单独使用AEW或MIX可用于提高秘鲁鱿鱼的品质,为未来秘鲁鱿鱼的贮藏保鲜方法提供可行的技术条件。

**关键词** 秘鲁鱿鱼;碱性电解水;复合磷酸盐;冷冻;保水

文章编号 1009-7848(2024)11-0279-10 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2024.11.026

秘鲁鱿鱼(*Dosidius gigas*)属软体动物门头足纲真鱿科美洲大赤鱿属,又称美洲大赤鱿、巨型枪乌贼<sup>[1]</sup>,其生长周期短,资源丰富,价格低廉<sup>[2]</sup>。另外,秘鲁鱿鱼还具有高蛋白、低脂肪且高水分含量的特点。一般而言,秘鲁鱿鱼的含水量高达85%,比一般鱿鱼要高,在酶和微生物的作用下秘鲁鱿鱼更容易发生腐败变质。冷冻贮藏虽是秘鲁鱿鱼保鲜的一个重要方式,但在冻藏过程中,冰晶的形成和生长会造成细胞的机械损伤,严重时发生组织断裂,还会出现蛋白质冻结变性、食品褐变等现象,从而导致风味及营养价值降低<sup>[3]</sup>。保持秘鲁鱿鱼在冻藏过程中的水分含量,对维持其品质以及延长货架期有着十分重要的作用。

磷酸盐已广泛用于肉制品行业。磷酸盐具有提高肉制品pH值和离子强度的作用,还能与肉制品中的金属离子螯合,这些作用导致肉制品中的肌动球蛋白解离,提高了肉制品中蛋白质与水的

结合能力,从而减少肉制品在蒸煮过程中的水分损失<sup>[4]</sup>。磷酸基团的引入可以增加肌原纤维蛋白中带负电荷的残基,通过离子相互作用增强蛋白质的交联,并促进凝胶网络的形成,增强肉制品弹性以及保水能力<sup>[5]</sup>。复合磷酸盐在肉制品中的主要作用有保水、保鲜,调节pH值,抗氧化,抗冻等,然而磷酸盐用量超过0.4%时会产生金属性涩味,影响产品的风味<sup>[6]</sup>。在许多国家,由于肉制品消费量的增加,导致磷酸盐的摄入量在过去几十年中迅速增加<sup>[7]</sup>。过量摄入磷与许多健康问题的风险增加有关,例如高磷血症、骨折和血管疾病<sup>[8]</sup>。因此,在保持高质量的同时,开发减少磷酸盐的肉类产品是肉类行业面临的技术挑战。

碱性电解水(Alkaline electrolyzed water, AEW)又称电解离子水或氧化电位水,一般是利用电解槽将盐溶液在消耗微量电能的条件下进行电解,并用隔膜分离阳极和阴极。电解后在阳极生成碱性电解水,主要含有钠离子、氢氧根离子等,其pH值可以在13.5左右。研究表明,AEW具有较低的氧化-还原电位(Oxidation-reduction potential, ORP,可达-800 mV)和较强的还原能力<sup>[9]</sup>。AEW对人体有很多好处,如抗疲劳、抗辐射、抗氧化,预防糖尿病、心脑血管疾病,治疗胃溃疡等<sup>[10]</sup>。AEW的

收稿日期:2024-01-12

基金项目:浙江省基础公益项目(LTGN24C200008);国家重点研发计划项目(2021YFD2100504);浙江省特支计划科技创新项目(2020R52027)

第一作者:唐奕彬,男,硕士生

通信作者:林慧敏 E-mail: lin.huimin@zjou.edu.cn

水分子团直径比普通的分子团直径小一半,普通水有13个水分子,蒸馏水的分子团及纯水分子团有9~11个水分子,而电解水分子团只有6个水分子,分子团小的水,带有大量动能,运动速度快,渗透及溶解能力强,亦被称为“活性水”<sup>[11]</sup>。基于以上AEW独特的特征,它可以进入细胞间隙,快速改变微环境氧化-还原电位,有较强的渗透和溶解能力等,同时AEW可回归于正常水之中,对于环境影响较小<sup>[12]</sup>。Rigdon等<sup>[13]</sup>用AEW替代部分商用磷酸盐处理猪肉样品,发现与单独使用商业磷酸盐处理相比,用AEW替代部分商用磷酸盐处理虽对猪肉的持水力、嫩度及感官评价影响不明显,但比单独使用AEW对猪肉的各项指标的影响明显,提示AEW可以减少部分磷酸盐的使用。又有研究表明,单独使用AEW或AEW与复合磷酸盐的混合溶液对提高鲶鱼鱼片品质<sup>[14]</sup>的效果优于单独使用复合磷酸盐溶液。然而,尚未有关碱性电解水部分替代磷酸盐对秘鲁鱿鱼品质影响的研究。

基于此,本研究通过测定秘鲁鱿鱼冷冻贮藏期间的浸泡增重率、冷冻损失率、解冻损失率、蒸煮损失率、持水力、pH值、硬度、色差、组织结构以及感官评价,探讨是否可以使用碱性电解水部分替代磷酸盐作为保水剂,以减少磷酸盐在水产品中的用量,为秘鲁鱿鱼保水方法提供技术条件。

## 1 材料与方法

### 1.1 主要材料与试剂

新鲜秘鲁鱿鱼(体长约300 mm、质量约1 000 g),购于浙江舟山国际水产城,30 min内运回实验室;碱性电解水,深圳市派尼克仪器设备有限公司;焦磷酸钠、三聚磷酸钠、六偏磷酸钠,南京建成生物工程研究所;盐酸标准溶液、氧化镁、硼酸(分析纯级),国药集团化学试剂有限公司;电镜固定液、苏木素-伊红染液,武汉谷歌生物科技有限公司;甲基红、溴甲酚绿(分析纯级),天津市福晨化学试剂厂。

### 1.2 主要设备与仪器

MDF-U35V型超低温冰箱,日本Sanyo公司;FSH-2型可调高速匀浆机,常州国华电器公司;CF-16RN高速冷冻多用途离心机,日本日立公司;CR-10型便携式色差仪,日本柯尼卡美能达公

司;PHS-25型酸度计,梅特勒-托利多公司;MS-Pro型物性测试仪,美国FTC公司;海能K9840全自动凯氏定氮仪,山东海能仪器科学仪器有限公司;JSM-6490LV扫描电镜,日本Jeol公司。

### 1.3 方法

1.3.1 碱性电解水制备 首先制备盐溶液,然后将其加入通直流电的电解水生成器中,在电极之间产生电压,电压和电流值分别设置为9~10 V和8~10 A。电解时,盐溶液溶于水后解离成正、负2种离子,同时产生氢离子和氢氧根离子。电解室有一个隔膜,用于分隔阴极和阳极,负电荷离子会向阳极移动,再从阳极释放电子得到盐酸(HCl)、次氯酸(HClO)、氯气(Cl<sub>2</sub>)和氧气(O<sub>2</sub>)。带正电的离子(H<sup>+</sup>和X<sup>+</sup>)向阴极移动,获得电子后生成高pH值、低ORP的碱性电解水和氢气(H<sub>2</sub>)。

1.3.2 试验材料预处理以及分组 新鲜秘鲁鱿去皮、去内脏、去须、去耳,切割成20 cm×15 cm左右的鱿鱼胴体,洗净并置于0℃泡沫箱中备用。

将秘鲁鱿鱼分为5组:第1组为碱性电解水浸泡组(AEW,pH≈12.8,ORP≈-333),第2组为复合磷酸盐浸泡组(CPH,含2.0 g/L焦磷酸钠、2.0 g/L三聚磷酸钠、1.0 g/L六偏磷酸钠,pH≈12.49,ORP≈-104),第3组为碱性电解水与复合磷酸盐体积比1:1的混合溶液浸泡组(MIX,含1.0 g/L焦磷酸钠、1.0 g/L三聚磷酸钠、0.5 g/L六偏磷酸钠和碱性电解水,pH≈8.42,ORP≈-315),第4组水浸泡组(WAT,pH≈6.91,ORP≈-97),第5组:无浸泡处理组(NOT)。按 $V_{\text{浸泡液}}:m_{\text{鱿鱼}}=4:1$ 比例添加材料与试剂,每组各3个平行,在4℃下浸泡2 h,取出后用吸水纸吸干水分后装进保鲜袋放入-20℃冰箱冻藏,分别在第0,30,60,90,120天时取出并测定相关指标。

1.3.3 浸泡增重率的测定 在第0天,将处理好的未浸泡的鱿鱼胴体用吸水纸吸干表面水分,称重,记为 $m_1$ 。按试验分组浸泡2 h后,在用吸水纸吸干表面水分,称重,记为 $m_2$ 。平行测定3次,取平均值。浸泡增重率的计算方式如下:

$$\text{浸泡增重率}(\%) = (m_2 - m_1) / m_1 \times 100 \quad (1)$$

1.3.4 色差的测定 采用张珊等<sup>[15]</sup>的方法,稍作修改。从-20℃冰箱取出秘鲁鱿鱼,隔着保鲜袋在室温下流水解冻1 h后,拆开保鲜袋,吸干鱿鱼表

面水分。选用 CR-10 型便携式色差仪测定秘鲁鱿鱼胴体外部肌肉的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值,在仪器的测定前先进行黑校准,后进行白校准<sup>[15]</sup>。每隔 30 d 取样,每个样品测定 3 次,取平均值,平行测定 3 次,取平均值。总色差( $\Delta E$ )的计算方式如下:

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L_t^*)^2 + (a_0^* - a_t^*)^2 + (b_0^* - b_t^*)^2} \quad (2)$$

式中: $L_0^*$ 、 $a_0^*$  和  $b_0^*$  分别代表未冻藏秘鲁鱿鱼的  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  值; $L_t^*$ 、 $a_t^*$  和  $b_t^*$  分别代表冻藏秘鲁鱿鱼的  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  值,当冻藏时间为 30,60,90,120 d 时, $t=1,2,3,4$ 。

1.3.5 冷冻损失率的测定 在冷冻 30,60,90,120 d 时,从-20℃冰箱取出秘鲁鱿鱼,拆开保鲜袋后,称重,记为  $m_3$ ;冷冻前秘鲁鱿鱼的质量为  $m_2$ 。平行测定 3 次,取平均值。冷冻损失率的计算方式如下:

$$\text{冷冻损失率}(\%) = (m_2 - m_3) / m_2 \times 100 \quad (3)$$

1.3.6 解冻损失率的测定 测定冷冻损失率后的鱿鱼样品在室温下流水解冻 1 h,用吸水纸吸干鱿鱼胴体表面水分,称重,记为  $m_4$ 。平行测定 3 次,取平均值。解冻损失率的计算方式如下:

$$\text{解冻损失率}(\%) = (m_3 - m_4) / m_3 \times 100 \quad (4)$$

1.3.7 蒸煮损失率的测定 采用宦海珍<sup>[16]</sup>的方法将解冻后鱿鱼胴体肉切出 2 cm×2 cm 的小块,称重,记为  $m_5$ 。用蒸煮袋真空包装后放进水浴锅 85℃水浴 20 min 后拿出,用吸水纸吸干,称重,记为  $m_6$ 。平行测定 3 次,取平均值。蒸煮损失率的计算方式如下:

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = (m_5 - m_6) / m_5 \times 100 \quad (5)$$

1.3.8 持水力的测定 采用谭明堂等<sup>[17]</sup>的方法,将解冻后鱿鱼胴体肌肉切碎,称量,记为  $m_7$ ,放入高速离心机以 5 000 r/min 高速在 4℃转 10 min 后取出,称量,记为  $m_8$ 。平行测定 3 次,取平均值。持水力的计算方式如下:

$$\text{持水力}(\%) = m_8 / m_7 \times 100 \quad (6)$$

1.3.9 pH 值的测定 根据许惠雅等<sup>[18]</sup>的方法进行修改,将解冻后鱿鱼胴体肌肉切碎,取 2.00 g(精确到 0.01 g)鱿鱼碎肉,加入 18 mL 生理盐水,均质 1 min 后,再静置 30 min,再用 PHS-25 型酸度计测量其 pH 值。平行测定 3 次,取平均值。

1.3.10 硬度的测定 将鱿鱼胴体肌肉切成 2.0

cm×2.0 cm 方块,采用 MS-Pro 型物性测试仪,使用 P/6 平底柱形探头,测前速率为 3 mm/s,测中速度:1 mm/s,测后速度:1 mm/s,回程距离为 20 mm。第 1 次持续时间:2 s,第 2 次持续时间:2 s,释放时间:1 s 触发力:600 g,每组样品平行测 3 次,取平均值。

1.3.11 苏木精-伊红染色(HE)观察组织形态 根据魏婉莹<sup>[19]</sup>的方法,取秘鲁鱿鱼肌肉,切成长约 2 cm、宽约 1.5 cm、高约 0.5 cm 的小方块,使用 4% 多聚甲醛固定液,在室温条件下固定 24 h,再采用苏木精-伊红进行染色 5 min,观察鱿鱼肌肉组织的纵切面结构,用显微镜观察放大倍数为 100 倍微观结构。

1.3.12 感官评分的测定 根据姚慧<sup>[20]</sup>的方法稍作修改,由 6 名专业的感官评定人员进行评定,分别从各组鱿鱼的色泽、气味、组织肌肉、表皮黏液,根据表 1 进行评分,各项评分为 5 分,总分 20 分。平行测定 3 次,取平均值。

表 1 感官评分标准

Table 1 Sensory score criteria

指标	评分标准
色泽(0~5分)	具有头足类固定颜色,色泽明亮
味道(0~5分)	具有头足类特殊气味,无臭味
外观(0~5分)	表面光滑,有少许清凉透明黏液
肌肉(0~5分)	肌肉组织紧密,无间隙,无破损,有弹性

## 1.4 数据处理

采用 Origin 8.1、SPSS 13.0 软件进行作图及数据分析,结果以“平均值±标准差”表示,采用单因素方差进行比较,显著性水平设置为  $P<0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼浸泡增重率的影响

AEW、CPH、MIX 和 WAT 浸泡处理对秘鲁鱿鱼浸泡增重率的影响如图 1 所示,秘鲁鱿鱼在不同浸泡液处理后,增重变化有显著性差异( $P<0.05$ ),MIX 组样品浸泡增重率最高,为(7.53±0.31)%;其次是 AEW 组样品,为(6.35±0.24)%;再次是 CPH 组样品,为(4.63±0.30)%;最后是 WAT 组样品,为



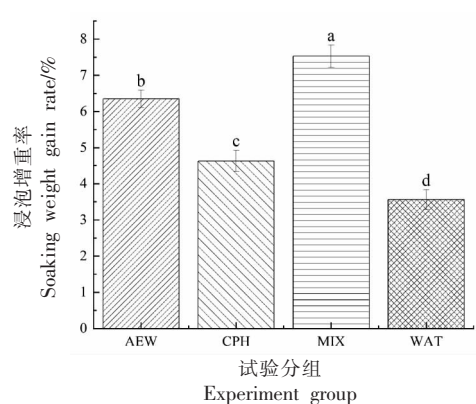
(3.56±0.27)%。当秘鲁鱿鱼肌肉浸泡在水中时,肌肉中大部分水分位于肌原纤维内,小部分在肌原纤维外,肌束内以及肌束外<sup>[19]</sup>。影响肌肉持水力的因素多且复杂,pH值是影响肌肉持水力的因素之一。当肌肉pH值增加时,蛋白质和水之间的氢键增加,肌原纤维中发生更强的静电排斥力和肿胀,提高了肌原纤维的保水能力<sup>[21]</sup>,而磷酸盐可以结合肌肉中的金属离子,肌肉蛋白质的羧基得到释放,肌原纤维蛋白带较多负电荷,与羧基之间的静电斥力加大,蛋白质的结构变得疏松,可以有较大的空间结构吸收大量的水分,进而提高吸收水分的能力。MIX组样品浸泡增重率显著高于其它组,也说明 AEW 可以协同 CPH 在减少磷酸盐使用的情况下提高产品的浸泡增重率。

## 2.2 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼肌肉表面色差的影响

如图2所示,在秘鲁鱿鱼冷冻贮藏期间,WAT组样品的 $\Delta E$ 明显高于其它组,有明显的颜色变化。这是因为鱿鱼在冻结过程中冰晶对鱿鱼肌肉造成一定的损伤,水分含量迅速减少,从而导致鱿鱼肌肉表面色泽暗淡<sup>[22]</sup>。对比 AEW 组、CPH 组、MIX 组,30 d 之后,CPH 组样品的 $\Delta E$ 大于 AEW 组与 MIX 组。Brown 等<sup>[23]</sup>研究发现碱性 pH 值在改善鱼片的颜色方面更有效,AEW 组样品的 pH 值显著大于 WAT 组与 NOT 组,所以其 $\Delta E$ 始终小于 WAT 组与 NOT 组( $P<0.05$ )。敖菲菲<sup>[24]</sup>发现碱性电解水处理过的罗非鱼与未处理过的罗非鱼相比,色泽没有明显的变化,Lin 等<sup>[14]</sup>也指出 AEW 部分替代磷酸盐(50%)不会影响鲶鱼的 $\Delta E$ 。然而,本试验发现 AEW 组 $\Delta E$ 始终显著小于 NOT 组,这可能与水产品的种类不同有关。

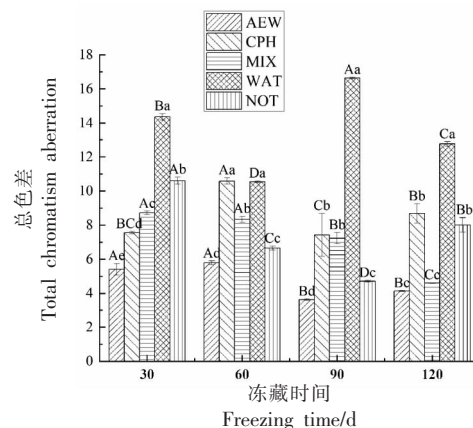
## 2.3 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼冷冻损失率与解冻损失率的影响

AEW、CPH、MIX 和 WAT 浸泡对秘鲁鱿鱼冷冻损失率的影响如图3所示,冻藏30 d时,CPH组样品冷冻损失率最高;在冻藏60~90 d之间,WAT组样品的冷冻损失率要明显高于其它组( $P<0.05$ )。因为秘鲁鱿鱼在冻藏过程中表面空气与空气水蒸气产生压力差,产生干耗现象。由于在冻藏过程中压力差增大,同时 WAT 组样本的肌肉蛋白质与水结合强度低,因此虾肌肉样本的水分蒸发



注:不同小写字母表示不同保水处理组之间差异显著( $P<0.05$ )。

图1 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼浸泡增重率的影响  
Fig.1 Effects of different soaking treatments on soaking weight gain rate of *Dosidius gigas*



注:不同小写字母表示不同浸泡处理,相同贮藏时间之间差异显著( $P<0.05$ );不同大写字母表示相同浸泡处理,不同贮藏时间之间差异显著( $P<0.05$ ),下同。

图2 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼肌肉表面色差的影响  
Fig.2 Effects of different soaking treatments on muscle surface color difference of *Dosidius gigas*

快而产生更高的冷冻损失率<sup>[25]</sup>。在30~90 d的NOT组冷冻损失率最少,是由于虾肌肉蛋白质与自由水的结合数量少而有较小的干耗,因此冷冻损失率最小。解冻损失率用于评判水产品肌肉持水力的好与坏。由图4可知,WAT组样品的解冻损失率明显高于其它4组。鱿鱼浸泡蒸馏水后肌肉间水分子增多,冻藏过程中,冰晶增大,导致鱿鱼鱼肉的肌纤维间隙随之扩增,组织结构断裂,持水能力减弱,解冻损失率增加<sup>[26]</sup>。CPH组中,焦磷酸钠和三聚磷酸钠可以使蛋白的孔径变大,六偏磷酸

钠可以增强肌原纤维蛋白和肌球蛋白的保水性,从而提高肌肉保水能力<sup>[27]</sup>。AEW 的高 pH 值会影响肌原纤维蛋白的净电荷,通过提高保水能力减

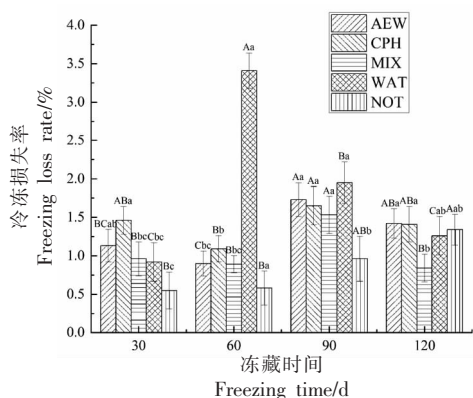


图 3 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼冷冻损失率的影响

Fig.3 Effects of different soaking treatments on freezing loss rates of *Dosidius gigas*

#### 2.4 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼蒸煮损失率的影响

图 5 为秘鲁鱿鱼蒸煮损失率变化图。在 0 d, WAT 组样品的蒸煮损失最大,为(42.33±0.93)%;结合图 1,虽然 WAT 浸泡鱿鱼有一定的浸泡增重率,但 WAT 不能增加鱿鱼肌肉的持水能力,因此加热蒸煮后损失率明显增加。除 90 d 之外,整个冻藏期间 AEW 组样品与 MIX 组样品蒸煮损失率都低于 CPH 组;CPH 组样品与 WAT 组样品呈先下降最后上升的趋势。在 120 d 后,AEW 组样品的蒸煮损失率约为 44.09%,与 NOT 组无显著性差异,显著低于其它组( $P<0.05$ )。秘鲁鱿鱼蒸煮损失率增高的原因是因为秘鲁鱿鱼肌肉的肌原纤维蛋白中含有大量的水分,加热会使肌原纤维蛋白紧缩与变性,导致可溶性物质的流失,进而造成质量上的损失<sup>[29]</sup>。在第 0 天,经过 AEW、CPH、MIX 浸泡后,秘鲁鱿鱼肌肉蒸煮损失率相比于 WAT 组显著降低( $P<0.05$ ),是因为 AEW 或 CPH 可以加强秘鲁鱿鱼蛋白质结合水分子的能力,使其在蒸煮的过程中能够有效保存水分,从而减少水分损失<sup>[30]</sup>。在整个冻藏过程中,除了 60 d 和 90 d,AEW 组的蒸煮损失率显著性低于 MIX、CPH、WAT 组( $P<0.05$ ),说明用 AEW 可以更好地减少鱿鱼冷冻储存后的蒸煮损失。

#### 2.5 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼肌肉 pH 值的影响

pH 值是检验鱿鱼是否新鲜的一个重要指标,

少解冻损失率<sup>[28]</sup>。在 30~90 d 的 AEW、CPH 和 MIX 组样品解冻损失率无显著性差别。

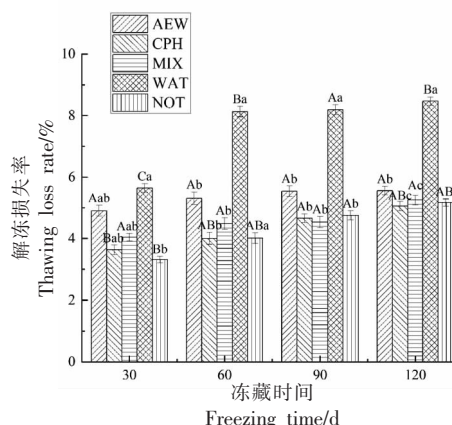


图 4 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼解冻损失率的影响

Fig.4 Effects of different soaking treatments on thawing loss rate of *Dosidius gigas*

对研究鱼肉持水力有重要意义<sup>[31]</sup>。由图 6 可知,在 0 d, AEW 组样品的 pH 值为  $7.92\pm 0.24$ , CPH 组样品的 pH 值为  $6.83\pm 0.13$ , MIX 组样品的 pH 值为  $7.12\pm 0.09$ , WAT 组样品的 pH 值为  $6.85\pm 0.08$ , NOT 组样品的 pH 值为  $6.41\pm 0.09$ 。AEW 组样品的 pH 值显著高于 CPH 组、WAT 组、NOT 组( $P<0.05$ ),是因为添加 AEW 可以提高秘鲁鱿鱼的 pH 值。冻藏第 30 天,除 NOT 组外其余 4 组秘鲁鱿鱼的 pH 值与第 0 天相比显著减少( $P<0.05$ )。在冻藏 60 d 之后,5 组秘鲁鱿鱼的 pH 值与第 0 天相比都显著下降( $P<0.05$ )。随着冻藏时间的增加,AEW、CPH、MIX 组的 pH 值都经过先快速降低后缓慢升高在缓慢下降的过程;WAT 组与 NOT 组呈先缓慢下降后缓慢上升的趋势。可能是因为 AEW、CPH、MIX 这 3 种保水剂的 pH 值较高,经过冻藏后,3 种溶液经过解冻消耗、微生物代谢等因素,使鱿鱼的肌肉 pH 值快速下降,同时鱿鱼肌肉组织因冻藏受到轻微破坏,碱性物质上升, pH 值升高;最后由于秘鲁鱿鱼肌肉受损,分解胺类物质能力减弱, pH 值缓慢降低。WAT 组与 NOT 组先缓慢下降的原因可能是鱿鱼肌肉受损,分解胺类物质能力减弱;冻藏后期鱿鱼组织体内的组织蛋白酶与碱化细菌产生的碱性化合物积累而导致 pH 值缓慢上升<sup>[20]</sup>。由以上现象可以作出推断,经过 AEW、CPH、MIX 处理可以减慢秘鲁鱿鱼肌肉组织受损的速度

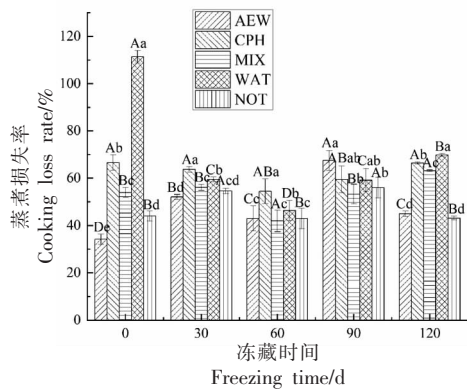


图5 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼蒸煮损失率的影响  
Fig.5 Effects of different soaking treatments on cooking loss rate of *Dosidius gigas*

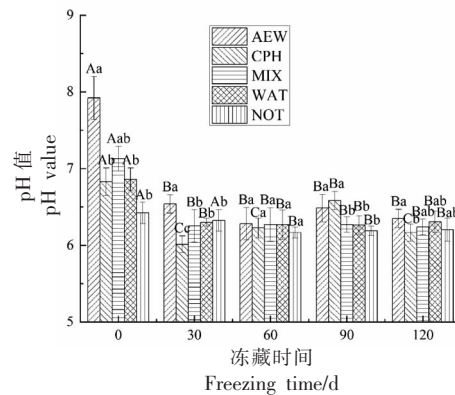


图6 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼肌肉pH值的影响  
Fig.6 Effects of different soaking treatments on muscle pH value of *Dosidius gigas*

来保持较高的pH值,从而提高秘鲁鱿鱼肌肉的持水性。

### 2.6 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼持水力的影响

由图6可知,5组秘鲁鱿鱼肌肉持水力整体上呈先上升后下降最后上升的趋势。在第0天,AEW、CPH、MIX浸泡的秘鲁鱿鱼持水力分别为(81.57±0.33)%,(79.72±0.27)%,(83.69±0.34)% ,显著高于WAT组与NOT组(P<0.05)。在冻藏60d后,WAT组的持水力要明显低于其它4组(P<0.05),这表明AEW或CPH可以增加秘鲁鱿鱼的持水力。AEW组样品的pH值较高,而持水力虽受pH值的影响,但AEW组样品的持水力并没有高于MIX组(图7),该结果与Rigdon等<sup>[13]</sup>的结论相似,即单独使用AEW虽没有提高猪肉的持水能

力,但向AEW中添加乳酸钾可以提高持水力,说明在提高肌肉持水力,AEW起到协同增效作用。Lin等<sup>[14]</sup>的研究证明添加AEW或CPH可以帮助鲶鱼鱼片在冷冻贮藏期间保持水分。在第0,30,60,90天,MIX组的持水力大于其它3组,说明CPH协同AEW可以进一步提高持水力。

### 2.7 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼肌肉硬度的影响

硬度是食品品质的评价指标之一。由图8可知,在冻藏第30天时,AEW组与CPH组的硬度显著大于MIX、WAT、NOT组(P<0.05),且远大于0d时各组鱿鱼肌肉硬度,Shimamura等<sup>[32]</sup>研究发现,AEW可以使肌肉与牛肝比未处理过的更加具有嚼劲,而鱿鱼与牛肉不同,鱿鱼肌肉过硬反而会使其口感变差。综上,使用AEW单独处理虽然可

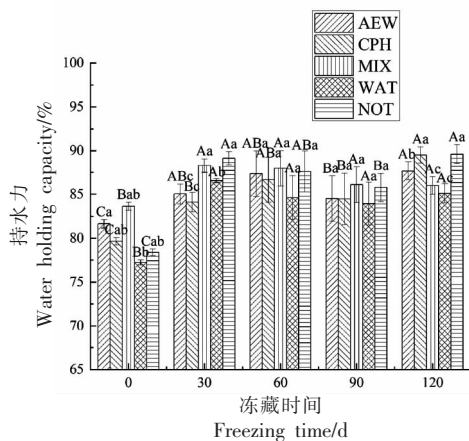


图7 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼持水力的影响  
Fig.7 Effects of different soaking treatments on water holding capacity of *Dosidius gigas*

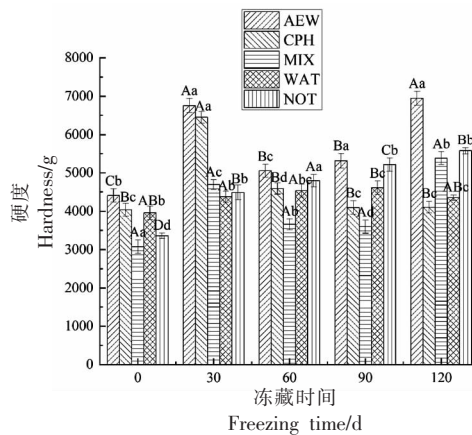


图8 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼肌肉硬度的影响  
Fig.8 Effects of different soaking treatments on muscle hardness of *Dosidius gigas*

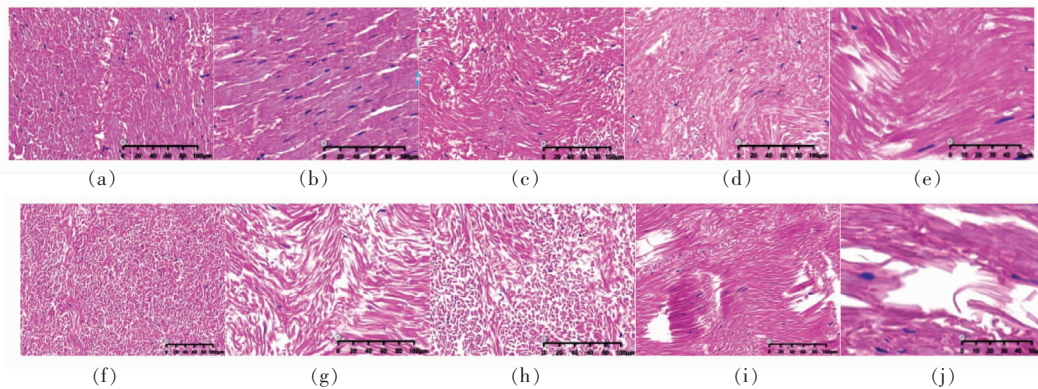


以提高秘鲁鱿鱼的硬度,但不是硬度越高口感越好;使用 MIX 处理可以改善秘鲁鱿鱼硬度,且保持秘鲁鱿鱼的口感。

## 2.8 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼组织结构的影响

秘鲁鱿鱼冻藏期间,冷冻冰晶、微生物繁殖、蛋白水解酶会对鱿鱼的肌肉组织结构造成一定程度的破坏。由图 9 可知,总体上看,新鲜鱿鱼相较于冻藏 120 d 的鱿鱼组织纹理更加的清晰,排列更加均匀与紧密,组织间隙较小。与第 0 天相比,图 9d 有着更多的组织白色间,图 9e 有着“小块状”的组织间隙<sup>[33]</sup>。在冻藏 120 d 组中,图 9i 的组

组织间隙呈“大块状”,图 9j 的组织间隙呈“大块状”,相比之下图 9c 的组织间隙呈“细纹状”。在新鲜鱿鱼与冻藏 120 d 后的鱿鱼对比中,图 9d 和 9e 组与图 9i 和 9j 组相比较其它 3 组,组织间隙变化较大。由此可见,随着冻藏时间的增加,秘鲁鱿鱼的组织空白间隙会变得更大,组织纹理变得更加不清晰,组织结构异常。然而,图 9f、9g、9h 组的秘鲁鱿鱼组织与 0 d 相比变化较小,即 AEW、CPH 和 MIX 都可以维持鱿鱼组织的结构紧密状态,减少肌原纤维分离现象。



注:a~e: AEW、CPH、MIX、WAT、NOT 冷冻 0 d 组;f~j: AEW、CPH、MIX、WAT、NOT 冷冻 120 d 组。

图 9 HE 染色观察不同浸泡处理的秘鲁鱿鱼肌肉组织结构变化

Fig.9 HE staining observed the changes of muscle structure of *Dosidius gigas* with different soaking treatments

## 2.9 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼感官评分的影响

鱿鱼的气味、色泽、表面组织的状况可以直接反映鱿鱼质量好坏,感官评价是判断鱿鱼新鲜度的一个重要指标。由图 10 可知,随着冻藏时间增加,感官评分呈下降趋势,与贮藏时间有显著相关性( $P < 0.05$ )。这可能是因为在冷冻贮藏过程中微生物增加与蛋白质的变性而导致的秘鲁鱿鱼品质下降<sup>[23]</sup>。在冻藏 0, 30, 60, 90 d 后, AEW、CPH、MIX 3 组之间感官评分虽无显著差异( $P < 0.05$ ),但都优于 WAT 和 NOT 组。在冻藏 120 d 后, MIX 组的感官评分约为(15.13±0.29)分,显著高于其它组( $P < 0.05$ ), WAT 组与 NOT 组的感官评分为(10.5±0.43)分与(11.7±0.34)分,显著低于其它组( $P < 0.05$ )。结合组织结构分析,经过 AEW 与 CPH 处理的秘鲁鱿鱼肌肉更完整,组织更加的紧密;且敖菲菲<sup>[24]</sup>证明 AEW 对活体罗非鱼体表具有良好的杀菌效果,

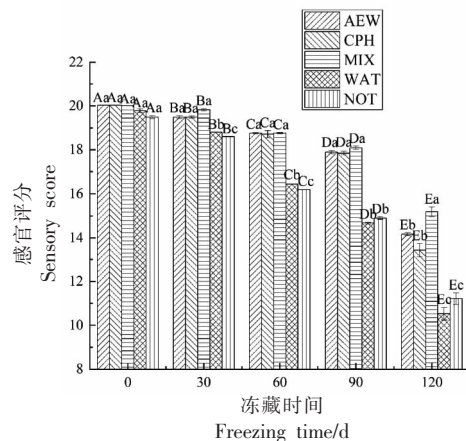


图 10 不同浸泡处理对秘鲁鱿鱼感官评分的影响

Fig.10 Effects of different soaking treatments on sensory scores of *Dosidius gigas*

这证明 AEW 可以通过减少冷冻贮藏中微生物的数量以及减缓蛋白质的变性来保持鱿鱼的品质。

汪学荣等<sup>[34]</sup>研究发现当使用 CPH 配比为  $m_{\text{焦磷酸钠}}:m_{\text{三聚磷酸钠}}:m_{\text{六偏磷酸钠}}=2:2:1$  时(与本文 CPH 配比一致),鱼糜制品的色泽、气味与质地较好。综上所述,AEW 与 CPH 均可以改善秘鲁鱿鱼的感官品质,随着冻藏时间的延长,MIX 对改善秘鲁鱿鱼的感官品质效果最好。

### 3 结论

碱性电解水和复合磷酸盐复合溶液组的浸泡增重率比单独使用碱性电解和单独使用复合磷酸盐要显著增高,而硬度显著降低;冷冻损失、解冻损失及组织结构 3 组无显著性差异;碱性电解水和复合磷酸盐复合溶液组的蒸煮损失率显著低于单独使用复合磷酸盐,随着冻藏时间的延长,碱性电解水和复合磷酸盐复合溶液对改善秘鲁鱿鱼的感官品质效果最好。用碱性电解水部分替代的复合磷酸盐溶液对秘鲁鱿鱼具有一定的保水效果,且可以改善秘鲁鱿鱼的品质。使用碱性电解水可以减少复合磷酸盐的使用,此研究结果为碱性电解水部分替代复合磷酸盐溶液作为秘鲁鱿鱼的保水剂使用提供理论支撑,由于碱性电解水的主要作用是杀菌,该研究未考虑电解水对产品微生物变化的影响,后续会继续进行研究。

### 参 考 文 献

- [1] 郑炜. 秘鲁鱿鱼高水分风味鱼粒生产技术研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2018.  
ZHENG W. Research on production technology of high-moisture flavored fish grains of Peruvian squid [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2018.
- [2] 陈婷婷, 崔泽恒, 包海蓉, 等. 两种鱿鱼胴体肉热加工特性的研究[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(8): 51-59.  
CHEN T T, CUI Z H, BAO H R, et al. Study on thermal processing characteristics of meat of two kinds of squid carcass[J]. Food and Fermentation Industry, 2023, 49(8): 51-59.
- [3] CHEN J Y, REN Y X, ZHANG K S, et al. Site-specific incorporation of sodium tripolyphosphate into myofibrillar protein from mantis shrimp (*Oratosquilla oratoria*) promotes protein crosslinking and gel network formation [J]. Food Chemistry, 2020, 312: 126113.
- [4] HU Y P, ZHANG L, YI Y W, et al. Effects of sodium hexametaphosphate, sodium tripolyphosphate and sodium pyrophosphate on the ultrastructure of beef myofibrillar proteins investigated with atomic force microscopy [J]. Food Chemistry, 2020, 338: 128146.
- [5] 韩敏义, 李巧玲, 陈红叶. 复合磷酸盐在食品中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2004(3): 93-96.  
HAN M Y, LI Q L, CHEN H Y. Application of complex phosphate in food[J]. China Food Additives, 2004(3): 93-96.
- [6] MARIANA B P, LETICIA P C, MICHELLE M X F, et al. Ultrasound: A new approach to reduce phosphate content of meat emulsions[J]. Meat Science, 2019, 152: 88-95.
- [7] KARTHIKEYAN P T, JOSEPH P K, BRIJESH K T, et al. Novel processing technologies and ingredient strategies for the reduction of phosphate additives in processed meat[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 94: 43-53.
- [8] YOSHINORI T, YASUHIRO S, KYOKO I, et al. Alkaline electrolyzed water functional beverage gastrointestinal symptoms hydrogen -dissolved water physical fitness evaluations questionnaire evaluations [J]. Medical Gas Research, 2019, 8(4): 160-166.
- [9] 王晓娇. 碱性负离子水对酸性体质的影响研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2013.  
WANG X J. Study on the effect of alkaline negative ionized water on acidic constitution [D]. Liaoning: Liaoning Normal University, 2013.
- [10] RAFAEL E M, BENJAMIN M B, SANDRA M V M. Phosphate alternatives for meat processing and challenges for the industry: A critical review [J]. Food Research International, 2023, 166: 112624.
- [11] 裴海生, 孙君社. 强电解水及其在食品工业中的应用[J]. 中国食品学报, 2011, 11(9): 268-271.  
PEI H S, SUN J S. Strong electrolyzed water and its application in food industry[J]. Chinese Journal of Food Science, 2011, 11(9): 268-271.
- [12] 杨悦. 强碱性电解水对魔芋溶胶及魔芋凝胶性质影响[D]. 重庆: 西南大学, 2022.  
YANG Y. Effect of strong alkaline electrolyzed water on properties of konjac sol and konjac gel [D].



- Chongqing: Southwest University, 2022.
- [13] RIGDON M, HUNG Y C, ALEXANDER M S. Evaluation of alkaline electrolyzed water to replace traditional phosphate enhancement solutions: Effects on water holding capacity, tenderness, and sensory characteristics[J]. *Meat Science*, 2017, 123: 211–218.
- [14] LIN H M, HUNG Y C, DENG S G. Effect of partial replacement of polyphosphate with alkaline electrolyzed water (AEW) on the quality of catfish filets[J]. *Food Control*, 2020, 112(C): 107–117.
- [15] 张珊, 林慧敏, 邓尚贵. 低压静电场对凡纳滨对虾保鲜效果的研究[J]. *食品科技*, 2020, 45(10): 141–147.
- ZHANG S, LIN H M, DENG S G. Study on the freshness preservation effect of low-voltage electrostatic field on *P. vannamei* [J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(10): 141–147.
- [16] 宦海珍. 秘鲁鱿鱼解冻过程中蛋白质氧化介导的保水性机制研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2019.
- HUAN H Z. Study on the mechanism of protein oxidation mediated water retention during thawing of Peruvian squid[D]. Jinzhou: Bohai University, 2019.
- [17] 谭明堂, 谢晶, 王金锋. 解冻方式对鱿鱼品质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(13): 94–101.
- TAN M T, XIE J, WANG J F. Effect of thawing method on squid quality[J]. *Food Science*, 2019, 40(13): 94–101.
- [18] 许惠雅, 张强, 王逸鑫, 等. 不同乳酸菌对发酵草鱼品质的影响[J]. *水产学报*, 2022, 46(2): 289–297.
- XU H Y, ZHANG Q, WANG Y X, et al. Effects of different lactic acid bacteria on the quality of fermented grass carp[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2022, 46(2): 289–297.
- [19] 魏婉莹. 蛋白酶嫩化工艺对秘鲁鱿鱼品质的影响研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019.
- WEI W Y. Effect of protease tenderization process on quality of Peruvian squid[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2019.
- [20] 姚慧. 三种鱿鱼冻藏品质变化规律及其发生机制研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2021.
- YAO H. Study on the variation law and occurrence mechanism of frozen storage quality of three kinds of squid[D]. Zhejiang Ocean University, 2021.
- [21] 王丽莎. 肌纤维类型组成对猪肉持水力的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
- WANG L S. Effect of muscle fiber type composition on water holding capacity of pork[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2020.
- [22] BERTRAM H C, MEYER R L, WU Z Y, et al. Water distribution and microstructure in enhanced pork[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(16): 7201–7207.
- [23] BROWN P, RASCO B A, BORHAN M. Color removal from the dark muscle of Alaskan pollock (*Theragra chalcogramma*) filets and minces using peroxide[J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2010, 2(2): 125–134.
- [24] 敖菲菲. 电解水对罗非鱼活体体表及罗非鱼片杀菌工艺研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2019.
- AO F F. Study on sterilization process of live tilapia surface and tilapia fillet by electrolyzed water[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2019.
- [25] 张小利, 沈春蕾, 魏婉莹, 等. 木糖醇、甘露糖醇和异麦芽糖醇对冷冻熟南美白对虾虾仁的抗冻保水作用的研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(2): 407–413.
- ZHANG X L, SHEN C L, WEI W Y, et al. Cryoprotective and water retention effects of xylitol, mannitol and isomaltol oligosaccharide on cooked shrimp (*Litopenaeus Vannamei*) during frozen storage[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2019, 10(2): 407–413.
- [26] GOKOGLU N, TOPUZ O K, YERLIKAYA P, et al. Effects of freezing and frozen storage on protein functionality and texture of some cephalopod muscles [J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2018, 27(2): 211–218.
- [27] 郭祉含. 复合磷酸盐对海鲈鱼保水性及体外消化特性的影响[D]. 锦州: 渤海大学, 2020.
- GUO Z H. Effect of complex phosphate on water retention and *in vitro* digestion characteristics of sea bass[D]. Jinzhou: Bohai University, 2020.
- [28] PUOLANNE E. Developments in our understanding of water-holding capacity in meat[M]// *New Aspects of Meat Quality*, Tandil: Woodhead Publishing, 2017: 167–190.
- [29] 李艳萍. 蒸煮工序对秘鲁鱿鱼丝质量影响的探讨[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- LI Y P. Discussion on the effect of cooking process on the quality of shredded squid in Peruvia [D].

- Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [30] 聂晓开, 邓绍林, 周光宏, 等. 复合磷酸盐、谷氨酰胺转氨酶、大豆分离蛋白对新型鸭肉火腿保水特性和感官品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(1): 50–55.
- NIE X K, DENG S L, ZHOU G H, et al. Effects of complex phosphate, glutamine transaminase and soybean protein isolate on water retention characteristics and sensory quality of new duck ham[J]. Food Science, 2016, 37(1): 50–55.
- [31] 张建友, 王珍, 陈立帆, 等. 复合磷酸盐对鳀鱼腌制品质及安全性影响研究[J]. 浙江工业大学学报, 2021, 49(4): 429–434.
- ZHANG J Y, WANG Z, CHEN L F, et al. Study on the effect of complex phosphate on the curing quality and safety of bonito[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2021, 49(4): 429–434.
- [32] SHIMAMURA Y, SHINKE M, HIRAIISHI M, et al. The application of alkaline and acidic electrolyzed water in the sterilization of chicken breasts and beef liver[J]. Food Science & Nutrition, 2016, 4(3): 431–440.
- [33] 袁鹏翔. 流化冰对鱿鱼的保鲜研究[D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2015.
- YUAN P X. Study on the preservation of squid by fluidized ice[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2015.
- [34] 汪学荣, 周维禄. 复合磷酸盐对鱼糜制品的保水效果研究[J]. 食品科技, 2002(9): 50–51.
- WANG X R, ZHOU W L. Study on water retention effect of complex phosphate on surimi products[J]. Food Science and Technology, 2002(9): 50–51.

### Effects of Alkaline Electrolyzed Water Partial Substitution of Complex Phosphate on the Quality of *Dosidious gigas*

Tang Yibin, Luo Yi, Fang Chuandong, Yan Yuelu, Diao Zhijie, Zhang Bin, Lin Huimin\*  
(College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, Zhejiang)

**Abstract** Objective: This study aimed to investigate the effect of partial substitution of complex phosphate by alkaline electrolyzed water on the quality of *Dosidious gigas*. Methods: The effects of soaking gain rate, freezing loss rate, thawing loss rate, cooking loss rate, water holding capacity, pH value, hardness, color difference, tissue structure and sensory evaluation of *Dosidious gigas* were measured within 0, 30, 60, 90 and 120 days. Results: The sensory scores of alkaline electrolyzed water and complex phosphate solution treatment (MIX) were better. The soaking weight gain rates in the MIX treatment group were  $(7.53\pm 0.31)\%$ , which increased by about 1.18%, 2.90% and 3.97% compared with alkaline electrolyzed water treatment (AEW), complex phosphate treatment (CPH) and water treatment (WAT). In terms of total chromatic aberration, the AEW group outperformed the CPH group and the MIX group ( $P<0.05$ ). In terms of tissue structure, after freezing, the tissue texture of squid in AEW group and MIX group was clear, evenly arranged and compact, while the muscle fibers of WAT group and blank (NOT) group were obviously scattered, and the degree of damage was more serious. There was no significant difference between freezing loss and thaw loss (AEW, CPH, MIX), and the soaking weight gain rate of the MIX group [ $(7.53\pm 0.31)\%$ ] was significantly higher than that of AEW [ $(6.35\pm 0.24)\%$ ] alone and CPH [ $(4.63\pm 0.30)\%$ ] alone, while the hardness was significantly reduced. The cooking loss rate of the AEW group and the MIX group was significantly lower than that of CPH alone. Conclusion: The use of AEW or MIX can be used to improve the quality of *Dosidious gigas* and provide feasible technical conditions for future storage and preservation methods of *Dosidious gigas*.

**Keywords** *Dosidious gigas*; alkaline electrolyzed water; complex phosphates; frozen; water retention