



引用格式:解万翠,谢静雯,辛荣玉,等.水产品保水剂的开发与应用研究进展[J].轻工学报,2019,34(6):15-23.

中图分类号:S983 文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.2096-1553.2019.06.003

文章编号:2096-1553(2019)06-0015-09

# 水产品保水剂的开发与应用研究进展

## Research progress of water retaining agent for aquatic products

解万翠<sup>1,2</sup>, 谢静雯<sup>1</sup>, 辛荣玉<sup>1</sup>, 杨志伟<sup>1</sup>, 杨佳宇<sup>1</sup>, 王新珂<sup>1</sup>,  
杨锡洪<sup>1,2</sup>

XIE Wancui<sup>1,2</sup>, XIE Jingwen<sup>1</sup>, XIN Rongyu<sup>1</sup>, YANG Zhiwei<sup>1</sup>, YANG Jiayu<sup>1</sup>,  
WANG Xinke<sup>1</sup>, YANG Xihong<sup>1,2</sup>

1. 青岛科技大学 海洋科学与生物工程学院, 山东 青岛 266042;

2. 山东省生物化学工程重点实验室, 山东 青岛 266042

1. College of Marine Science and Biological Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266042, China;

2. Shandong Provincial Key Laboratory of Biochemical Engineering, Qingdao 266042, China

### 关键词:

水产品; 保水剂; 冷冻失水

### Key words:

aquatic products; water retaining agent; freezing water loss

**摘要:**在分析水产品冷冻失水作用机理的基础上,对盐类保水剂、糖类保水剂和蛋白凝胶类保水剂的开发与应用相关文献进行梳理,指出,盐类保水剂保水性能较好,但过量添加会使水产品风味恶化;糖类保水剂和蛋白凝胶类保水剂天然、绿色、安全,但单独使用保水性能较弱且成本较高。鉴于此,通过筛选使用多糖、寡糖等天然配料降低糖类保水剂的生产成本,或基于试剂间的协同作用将糖类保水剂和蛋白凝胶类保水剂作为主要原料与无磷盐类进行复配以增强复合保水剂的保水效果,都是未来的研究方向。

收稿日期:2018-07-14;修回日期:2019-09-19

基金项目:国家自然科学基金项目(31772089,31271938);山东省重点研发计划项目(2017GHHY15127)

作者简介:解万翠(1969—),女,山东省莒南县人,青岛科技大学教授,博士,主要研究方向为食品风味与安全。

通信作者:杨锡洪(1963—),男,天津市人,青岛科技大学教授,博士,主要研究方向为食品生物化学。

**Abstract:** Based on the analysis of the mechanism of freezing and dehydration of aquatic products, the relevant literatures on the development and application of salt water-retaining agents, sugar water-retaining agents, and protein gel water-retaining agents were combed. It was pointed out that excessive addition would worsen the flavor of aquatic products, although salt water-retaining agents had better performance. Sugar-based water-retaining agents and protein gel-based water-retaining agents were natural, green and safe, but the water-retaining properties alone were weak and costly. In view of this, through the use of natural ingredients such as polysaccharides and oligosaccharides, the production cost of sugar water-retaining agents was reduced, or sugar water-retaining agents and protein gel water-retaining agents were used as the main raw materials to mix with phosphorus-free salts. The synergistic effect of the composite water-retaining agent to enhance the water-retaining will effect and reduce the application cost can become future research directions.

## 0 引言

我国是世界水产品产量最大的国家,国家统计局数据显示,2013年、2014年和2015年我国水产品总量分别为 $6.17 \times 10^7$  t、 $6.46 \times 10^7$  t和 $6.70 \times 10^7$  t,呈逐年增长的趋势<sup>[1]</sup>。除鲜食外,水产品多用于加工和出口。但水产品易腐败变质,因此,适宜的保藏方法非常重要。常用的水产品保藏方法包括低温保藏、加热、干制、烟熏、腌制、气调、罐藏、化学方法等。其中,低温保藏可抑制微生物生长和酶的作用,延长水产品的货架期,提高水产品的食用品质,因而成为应用最广、最有效的水产品保藏方法之一<sup>[2]</sup>。然而,低温保藏存在冷冻干耗和解冻失水等现象,使得水产品的品质降低,从而造成经济损失。因此,了解冷冻干耗和解冻失水的作用机理,有针对性地开发相关保水剂以降低损耗,提升产品品质,对水产品行业的发展具有重要意义。

根据所用原料类型,水产品保水剂主要分为盐类保水剂、糖类保水剂和蛋白凝胶类保水剂。本文拟对3种常用保水剂的开发和应用现状进行综述,以期对开发安全、高效的新型水产品保水剂提供参考。

## 1 水产品冷冻失水作用机理

冷冻储藏具有抑制微生物生长和降低自溶

酶活性等作用,作为一种可长期储藏水产品的方式已被广泛应用。但是,在冷冻储藏过程中,水产品可能会发生蛋白质变性<sup>[3]</sup>,导致保水能力降低,产生冷冻干耗。冷冻水产品在加工或食用时必须解冻,解冻是指冷冻制品中的冰晶融化并被重新吸收,以使产品恢复到冷冻前状态的一种方式,在解冻过程中也会因失水而降低水产品的品质。

### 1.1 冷冻干耗

冷冻干耗是指水产品在冻藏过程中由于温度变化而出现水蒸气压差,冰晶升华而引起表面干燥、质量减少的一种现象。图1以对虾为例,展示了冷库中水产品的冷冻干耗及理想保水剂的保水机理。

由于冷冻水产品表面水蒸气的压力大于空气中水蒸气的压力,因此其表面的冰晶可升华进入空气。气体上升过程中,遇温度更低的冷库冷凝板而冷凝冻结。冷冻水产品内部和表面存在压力差,内部的水分会迁移到表面,补充体表由于升华而失去的水分。而冷冻水产品表面和周围环境的压差依然存在,表面新形成的冰晶会继续向空气中升华,如此反复就造成了干耗。保水剂预处理是减少冷冻干耗的常用方法,理想的保水剂其分子之间彼此交联形成网状结构,可增强对水分子的束缚力,有效减少水分流失。

## 1.2 解冻失水

在冷冻过程中,水产品的肌原纤维蛋白质会发生冷冻变性,细胞间隙中的水分也会因冻结而形成冰晶,破坏肌肉组织的结构.冰晶在解冻过程中重新融化成水,而水分又不能完全被水产品中的蛋白质吸收进而恢复至原有状态,导致水产品水分流失,弹性、嫩度下降,影响水产品的品质<sup>[4]</sup>.

## 2 水产品保水剂的开发与应用现状

目前,较为常见的保水剂主要分为3类,即盐类保水剂、糖类保水剂和蛋白凝胶类保水剂.表1对常见保水剂的种类、特点、组成进行了归纳.

### 2.1 盐类保水剂

盐类保水剂包括磷酸盐类和无磷盐类(如

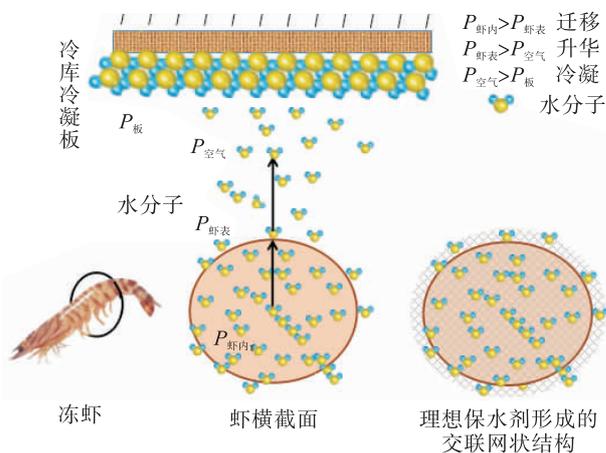


图1 对虾冷冻干耗及理想保水剂的保水机理

Fig.1 The dry losses of prawn and ideal water retention mechanism

表1 常见水产品保水剂的种类、特点和组成

Table 1 Types, characteristics and composition of common aquatic products

种类	特点	组成
磷酸盐类保水剂	成本低,保水效果好,过量添加影响产品风味和人体健康	焦磷酸钠、三聚磷酸钠、六偏磷酸钠等
无磷盐类保水剂	保水效果好,无毒无害	柠檬酸钠,NaCl,NaHCO <sub>3</sub> ,Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 等
糖类保水剂	天然,无毒无害,保水效果低于盐类保水剂	海藻糖、海藻胶、壳聚糖、羧甲基壳聚糖、卡拉胶、魔芋胶、胶原蛋白、变性淀粉、琼胶寡糖等
蛋白凝胶类保水剂	有良好的锁水能力,但目前在水产品保水上的应用较少	酪蛋白凝胶、乳清蛋白、大豆蛋白凝胶等

NaCl,NaHCO<sub>3</sub>,Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>,柠檬酸钠等).盐类保水剂主要通过增加肌原纤维蛋白之间的静电斥力,使肌原纤维结构松弛,从而提高产品的保水性,具有低成本、高性能的特点.磷酸盐虽然具有良好的保水性,但过多摄入对身体有害,出于对食品安全的考虑,目前多以无磷盐类代替磷酸盐类作为保水剂,但是无磷盐类同样有影响水产品风味的问题存在.

**2.1.1 磷酸盐类保水剂** 磷酸盐类保水剂具有保持水分、改善口感等作用,是一种应用较广泛的水产品保水剂.目前,我国批准在水产品中使用的磷酸盐主要包括焦磷酸钠、三聚磷酸钠、六偏磷酸钠,及由其制成的复合磷酸盐<sup>[5]</sup>.磷酸盐可以螯合Ca<sup>2+</sup>和Mg<sup>2+</sup>,释放负电荷,负电荷之间的静电斥力可增大肌原纤维的间隙,留给水分子更大的空间,使得持水性大大增强<sup>[6]</sup>.

盐类物质的复配可以进一步提高其保水效果.吴奇子等<sup>[7]</sup>发现,用3.5%(若无特指,百分数均指质量分数)的NaCl溶液、2.0%的多聚磷酸钠盐浸渍4h后,虾仁保水性较好.宋佳等<sup>[8]</sup>以南美白对虾为原料,经由m(焦磷酸钠):m(木薯淀粉):m(NaCl)=14:15:5制备的保水剂处理后,保水效果明显好于单一的市售磷酸盐保水剂.

磷酸盐虽具有良好的保水性,但过量添加会劣化水产品的风味和颜色,人体过多摄入会导致钙磷失衡,引起疾病.随着人们对食品安全

问题的日益关注,近年来,采用多种无磷盐类复配来取代单一磷酸盐作为保水剂已成为研究的热点.

**2.1.2 无磷盐类保水剂** 具有保水效果的无磷盐类包括 NaCl,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ , 柠檬酸钠等. 杨芳等<sup>[9]</sup>研究发现, NaCl 能够增加水产品肌原纤维蛋白之间的静电斥力,使肌原纤维结构松弛,从而提高产品的保水性. C. D. S. Carneiro等<sup>[10]</sup>发现, NaCl 的保水作用机理与磷酸盐相似,可使肌纤维膨润,进而提高产品的保水性.

无磷盐类很少单独被应用于水产品保水,在实际应用中,大多采用复配技术将多种无磷盐进行复配以制备复合型保水剂. 张雪莹等<sup>[11]</sup>研究发现,用 0.2% 的柠檬酸钠、0.1% 的木糖和 0.4% 的  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  复配制备的浸泡液在 pH 值为 11.5 时处理鱼片,浸泡增重率为 5.07%,解冻失重率为 4.24%,其保水性和热稳定性均高于复合磷酸盐组和无处理组. 张晨芳等<sup>[12]</sup>研究发现,由 0.6% 的乳酸钠、2.5% 的柠檬酸钠和 2.0% 的  $\text{NaHCO}_3$  和 0.6% 的 TG 酶组成的复合无磷盐类保水剂处理过的鱼片,蒸煮损失率和离心损失率都显著降低,表现出较好的保水性能. 由多种无磷盐类复配而制备的无磷盐类保水剂,可以提高浸泡增重率,减少冷冻失水,从而提高冷冻水产品的品质.

盐类保水剂虽有一定的保水效果,但过量添加会影响水产品风味;此外,磷酸盐在肠道中易与钙结合,形成难溶于水的正磷酸钙,影响人体对钙的吸收,易导致骨折、牙齿脱落和骨骼变形<sup>[13]</sup>. 因此,天然、无害的多糖类保水剂的开发逐渐成为研究热点.

## 2.2 糖类保水剂

糖类保水剂天然无毒,安全性好,其分子中均含有羟基和羰基,有些糖类保水剂还含有氨

基、亚氨基、酰基等亲水基团. 这些亲水基团可以与水分子形成氢键,使得糖类保水剂具有良好的保水性能. 糖类保水剂还会使分子彼此交联形成网状结构,增强对水分子的束缚力,从而减少水分的流失.

**2.2.1 海藻糖** 海藻糖是非还原性二糖,由两分子葡萄糖通过 1,1-糖苷键构成,分子结构中含有多个羟基,可与水形成氢键,增加水产品的持水力. 此外,海藻糖可与肌肉中的  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  螯合,形成结合紧密的三维网络结构,有效阻止肌肉内部水分的流失<sup>[14]</sup>.

邹明辉<sup>[15]</sup>发现,海藻糖可通过与凡纳滨对虾肌原纤维蛋白结合,提高肌球蛋白的稳定性,并通过吸附保持大量水分和阻止内部水分的流失,提高虾仁的保水性. B. Zhang 等<sup>[16]</sup>发现,用海藻糖和藻酸盐寡糖分别处理的凡纳滨对虾均有较低的解冻失重率和蒸煮损失率. 路钰希等<sup>[17]</sup>选择 D-山梨醇、三聚磷酸钠、乳酸钠、混合磷酸盐和海藻糖这 5 种保水剂,考察了它们于  $-20\text{ }^\circ\text{C}$  条件下对鱿鱼品质变化的影响. 其中,海藻糖对提高鱿鱼的持水作用最好,当其添加量为 5% 时,鱿鱼的持水力提高了 14.83%. 白冬等<sup>[18]</sup>发现,由海藻糖和海藻酸钠寡糖处理后的虾仁解冻失重率明显降低,并且减缓了肌肉蛋白的降解和肌肉组织的损伤,收到了良好的抗冻效果.

单一使用海藻糖具有良好的保水性,若采用复配技术,则可进一步增强其保水性能. C. Xie 等<sup>[19]</sup>发现,相比于  $\text{Na}_2\text{P}_4\text{O}_7$ ,经海藻糖、藻酸盐寡糖处理的熟虾纤维排列方式更加紧密,且在储存 6 周后细胞外空间更小,持水性更好. 杨华等<sup>[20]</sup>用质量浓度分别为 6 g/L 的柠檬酸,3 g/L 的 NaCl,5 g/L 的海藻糖浸泡处理虾仁 60 min 后,虾仁增重达到 10.8%,解冻损失率为 2.35%. 戎平等<sup>[21]</sup>研究发现,当 NaCl 为

0.2%,海藻糖为2.2%, $\text{NaHCO}_3$ 为0.8%时,对南美白对虾虾仁具有很好的保水效果。

**2.2.2 壳聚糖及其衍生物** 壳聚糖是由氨基葡萄糖和少量N-乙酰氨基葡萄糖通过 $\beta$ -(1,4)糖苷键连接构成的直链天然大分子,结构中含有多个羟基和氨基,可与水形成氢键,持水力较强。壳聚糖分子交联形成的空间网络结构可在水产品表面形成一层均匀的可食性膜,减少肌肉表面水分的升华。

P. Chantararataporn等<sup>[22]</sup>在pH=8的条件下,用0.25%的壳聚糖、2.5%的NaCl和1%的 $\text{NaHCO}_3$ 浸泡对虾,可使其增重14%。高晓平等<sup>[23]</sup>选用壳聚糖作为成膜剂,加入山梨酸钾和Nisin制成复合涂膜液,经其处理后的各实验组的滴水损失率、贮存损失率、水分含量变化率都较小。A. Chouljenko等<sup>[24]</sup>用壳聚糖和壳聚糖-三聚磷酸钠溶液处理的冷冻虾与未经处理的或用乙酸和三聚磷酸钠溶液处理的冷冻虾相对比,其30 d内的重量损失明显减少。N. M. Soares等<sup>[25]</sup>发现,壳聚糖可以抑制微生物生长,防止冷冻鱼变质。

羧甲基壳聚糖作为壳聚糖的衍生物,也具有有良好的保水性。解万翠等<sup>[26]</sup>以南美白对虾为研究对象,得到以0.3%的羧甲基壳聚糖,0.05%的Nisin,0.3%的植酸钠和0.3%的魔芋寡糖配制的保鲜保水剂,可降低冻藏180 d的对虾50%的干耗。

宋素珍等<sup>[27]</sup>发现,白藜芦醇和魔芋糖的复合物可以降低冷藏鲑鱼中的菌落总数,相较于其他保水剂,壳聚糖可同时做到保水、保鲜。但相比于分子量较大、溶解性较差的壳聚糖,降解制备的低分子量壳寡糖具有更好的溶解性、保湿性、抗菌性、成膜性<sup>[28]</sup>,适合应用于冷冻食品的保鲜保水领域。

**2.2.3 卡拉胶** 卡拉胶是由1,3- $\beta$ -D-吡

喃半乳糖和1,4- $\beta$ -D-吡喃半乳糖作为基本骨架交替连接而成的,具有较强的保水性,能与蛋白质聚集形成蛋白质胶束,提高产品的稳定性,增加出品率<sup>[29]</sup>。

吴海潇等<sup>[30]</sup>发现,经卡拉胶寡糖浸泡处理能有效抑制冷冻虾仁解冻损失率的增加。陈斌等<sup>[31]</sup>发现,在热处理组合条件下,添加卡拉胶和TG酶的鱼糜肠,在持水性方面显著高于未添加上述复合添加物的对照样。马申嫣等<sup>[32]</sup>利用0.05%的卡拉胶、0.30%的变性淀粉和0.05%的柠檬酸钠制备的复配型保水剂,可达到与多聚磷酸盐相同的持水效果。

**2.2.4 淀粉类物质** 淀粉类物质作为保水剂,主要应用于鱼糜加工领域。余永名等<sup>[33]</sup>发现,添加8%的马铃薯淀粉或10%的绿豆淀粉均可以显著增加鲢鱼鱼糜的凝胶强度、持水性,同时明显降低蒸煮损失率。S. Wu<sup>[34]</sup>通过用不同质量分数(0%~2%)的支链淀粉处理鱼糜得出,添加支链淀粉可增强鱼糜的保水能力、粘附性和粘结性,形成更稳定有序的三维凝胶复合物。交联酯化淀粉是一种双重变性淀粉,也具有有良好的保水性。F. Sun等<sup>[35]</sup>发现,加入变性淀粉后的草鱼肌原纤维蛋白的凝胶保水性可从70%提高到90%。李丹辰等<sup>[36]</sup>发现,木薯变性淀粉较木薯淀粉保水率提高了10.2%,更适合鱼糜的加工。

**2.2.5 魔芋胶** 魔芋胶具有极好的成膜性、可塑性、胶凝性、黏结性和附着能力,可形成半透膜,减少水分的流失。在实际开发过程中,主要采用复配技术来增强魔芋胶的保水效果。

解万翠等<sup>[37]</sup>用半纤维素酶降解魔芋胶制备魔芋寡糖,经由该魔芋寡糖处理的虾仁,其浸泡增重率为9.28%,解冻损失率低至1.88%,蒸煮损失率为17.04%,出品率为82%。尹贝贝等<sup>[38]</sup>研究发现,添加20%的木薯淀粉、4%的仙

草提取物、0.05%~0.1%的魔芋胶和4%的姜汁可以增强鱼糜制品的持水性,从而提高巴浪鱼丸的凝胶能力。

**2.2.6 其他糖类保水剂** M. J. Torti 等<sup>[39]</sup>研究发现,0.5%的黄原胶溶液、1%的羧甲基纤维素溶液、0.5%的纤维胶体溶液,均具有良好的保水性和水分活度。其中,经由0.5%的纤维胶体溶液处理过的虾,其冷冻水分流失较少;而经由0.5%的纤维胶体和0.5%的黄原胶处理过的虾,其吸湿能力较好。F. Hasanpour 等<sup>[40]</sup>使用不同质量分数(0%,5%,10%)的大豆蛋白浓缩物 and 不同质量分数(0%,0.25%,0.5%)的黄原胶处理由银鲤制备的鱼糜,并与用商业混合物(4%的山梨糖醇+4%的蔗糖)处理后的由银鲤制备的鱼糜作对比,发现商业混合物凝胶基质具有较好的持水能力( $P < 0.05$ )。马路凯等<sup>[14]</sup>发现,经由质量浓度为10.0 g/L的海藻胶寡糖处理的虾仁,肌纤维排列致密、无扭曲变形,且肌肉中无较大间隙或孔洞产生,具有良好的保水性。

糖类保水剂(如壳聚糖、海藻糖等)含有羟基等亲水基团,可与水形成氢键,有效减少水分的流失;同时,糖类进入人体后,在酶的作用下最终可分解为葡萄糖等单糖,对人体无毒无害,因而被广泛应用<sup>[41]</sup>。为了提高糖类保水剂的保水效果,很少单独使用某一种糖类保水剂,而是多采用复配技术将多种糖类保水剂和无磷盐类保水剂混合使用,利用单因素试验和正交试验等方法来寻找复配型保水剂的最佳配方,既可以不含磷酸盐,又可以降低单独使用糖类保水剂的成本,实现保水剂的最佳保水效果。

### 2.3 蛋白凝胶类保水剂

目前,水产品保水剂除糖类保水剂可以作为磷酸盐保水剂的代替物以外,将蛋白凝胶类作为保水剂也是一个新的研究方向。蛋白具有

优良的凝胶特性,所形成的凝胶有着良好的锁水能力,是今后水产品保水剂研究的新方向。

虽然关于蛋白凝胶类保水剂在冷冻水产品中应用的文献较少,但有较多文献的研究发现,蛋白对提高鱼糜等制品的保水能力有很大作用<sup>[42-44]</sup>。王金路等<sup>[45]</sup>发现,将草鱼内脏水解得到的蛋白液与磷酸盐溶液复配制备的复合溶液,可使冷冻鲈鱼在持水性增强的同时,解冻失水减少。J. Jose 等<sup>[46]</sup>研究发现,在0.1 M和0.3 M的离子强度下,乳清蛋白和大豆蛋白可形成一个具有凝胶性能的网络,同时,随着混合蛋白质凝胶中大豆蛋白含量的增加,凝胶强度和刚度降低,持水率增加。C. G. D. Kruif 等<sup>[47]</sup>研究发现,酪蛋白凝胶具有一定的保水能力。B. Solo-de-zaldívar 等<sup>[48]</sup>发现,在pH值约为10.7时,3%的魔芋葡甘露聚糖可产生合适的凝胶,其乙酰释放比例非常高(95%);增加所需的脱乙酰化比例,可提高魔芋葡甘露聚糖的凝胶能力,使其显示出非常高的含水量。

蛋白凝胶类保水剂兼具蛋白的吸水特性和凝胶的成膜特性,对提高冷冻水产品的持水性、减少冷冻干耗、降低解冻损失有着优良的表现,是水产品保水领域的一个新的研究热点。

## 3 结论

本文对盐类保水剂、糖类保水剂和蛋白凝胶类保水剂的开发与应用现状进行了综述,认为,随着人们对食品安全问题的日益关注,传统磷酸盐类保水剂逐渐被天然、绿色、安全的糖类保水剂和蛋白凝胶类保水剂所替代。糖类保水剂和蛋白凝胶类保水剂的保水能力通常低于传统磷酸盐类保水剂,且成本较高。因此,研究者应加强水产品保水机理的探索,不断筛选多糖、寡糖等天然配料,开发健康、高效的保水剂,降低生产成本,扩大其在水产加工和储藏领域的

应用.同时,以糖类保水剂或蛋白凝胶类保水剂为主要原料与无磷盐类进行复配,通过试剂之间的协同作用来增强保水效果,降低应用成本.保水和保鲜是目前水产品储存过程中的两大难题,开发兼具保水、保鲜双功能的复合保水保鲜剂,简化操作,提高水产品品质,也显得尤为重要.

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国统计局.中国渔业统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2015.
- [2] 李立杰,柴春祥,鲁晓翔.微冻保鲜对水产品品质的影响[J].食品工业,2013(3):170.
- [3] BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, THONGKAEW C, et al. Comparative study on physicochemical changes of muscle proteins from some tropical fish during frozen storage[J]. Food Research International, 2003, 36(8):787.
- [4] 苏永玲,谢晶.冻结和解冻过程对水产品品质的影响[J].食品工业科技,2011(1):304.
- [5] 刘鲁林,鲍小丹,许中敏,等.多聚磷酸盐在冷冻水产制品中的应用与法规情况的研究[J].中国食品添加剂,2012(2):137.
- [6] 许雯雯,王丽,鲍晨炜,等.低场 NMR 结合响应面法优化复合磷酸盐保水剂配比[J].中国食品学报,2011,11(1):144.
- [7] 吴奇子,王奋芬,陈红安,等.南美白对虾虾仁的保水性能研究[J].食品工业,2013(10):28.
- [8] 宋佳,陈晨,韩晴,等.保水剂对南美白对虾冻藏品质的影响研究[J].食品科技,2016(10):112.
- [9] 杨芳,吴永沛,陈梅香,等.阿根廷鱿鱼肌原纤维蛋白及肌肉组织凝胶保水性研究[J].水产科学,2008,27(8):386.
- [10] CARNEIRO C D S, MARSICO E T, JÚNIOR C A C, et al. Studies of the effect of sodium triphosphate on frozen shrimp by physicochemical analytical methods and low field nuclear magnetic resonance ( $LF^1H$  NMR) [J]. Lwt-food Science and Technology, 2013, 50(2):401.
- [11] 张雪莹,申铨日,朱念,等.罗非鱼片无磷保水剂的工艺配方优化[J].食品科技,2015(6):163.
- [12] 张晨芳,钟秋平.复合无磷保水剂对冷冻罗非鱼片保水效果的研究[J].食品工业,2016(10):100.
- [13] 张明,刘勇,吕青,等.多磷酸盐在水产品加工中的使用安全性[J].渔业现代化,2007,34(2):49.
- [14] 马路凯,张宾,王晓玲,等.海藻糖、海藻胶及寡糖对蒸煮南美白对虾的抗冻保水作用[J].食品科学,2015,36(16):266.
- [15] 邹明辉.无磷保水剂在凡纳滨对虾虾仁冻藏加工中的应用及保水机理研究[D].湛江:广东海洋大学,2011.
- [16] ZHANG B, WU H X, YANG H C, et al. Cryoprotective roles of trehalose and alginate oligosaccharides during frozen storage of peeled shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. Food Chemistry, 2017, 228:257.
- [17] 路钰希,沈萍,李学英,等.保鲜剂对冻藏鱿鱼品质变化的影响[J].食品工业科技,2014,35(19):274.
- [18] 白冬,郑炜,梁佳,等.海藻糖类抗冻保水剂对冻藏南美白对虾(*Litopenaeus vannamei*)品质的影响[J].食品工业科技,2018(6):286.
- [19] XIE C, ZHANG B, MA L K, et al. Cryoprotective effects of trehalose, alginate, and its oligosaccharide on quality of cooked-shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during frozen storage [J]. Journal of

- Food Processing & Preservation, 2017, 41 (2) : e12825.
- [20] 杨华, 刘丽君, 戚向阳, 等. 南美白对虾虾仁无磷保水工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2014 (31) : 11108.
- [21] 戎平, 宋佳, 韩晴, 等. 无磷保水剂对南美白对虾冻藏期间保水性的影响研究[J]. 中国食品添加剂, 2016(11) : 141.
- [22] CHANTARASATAPORN P, YOKSAN R, VISES-SANGUAN W, et al. Water-based nano-sized chitin and chitosan as seafood additive through a case study of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. Food Hydrocolloids, 2013, 32 (2) : 341.
- [23] 高晓平, 赵改名, 李家乐, 等. 壳聚糖复合膜对冷却肉保水性的影响[J]. 河南农业大学学报, 2010, 44(3) : 326.
- [24] CHOULJENKO A, CHOTIKO A, BONILLA F, et al. Effects of vacuum tumbling with chitosan nanoparticles on the quality characteristics of cryogenically frozen shrimp[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 75 : 114.
- [25] SOARES N M, MENDES T S, VICENTE A A. Effect of chitosan-based solutions applied as edible coatings and water glazing on frozen salmon preservation: a pilot-scale study [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 119 (2) : 316.
- [26] 解万翠, 王英文, 杨锡洪, 等. 羧甲基壳聚糖复配对虾保水保鲜剂的研制[J]. 广东农业科学, 2016, 43(8) : 119.
- [27] 宋素珍, 李颖畅, 仪淑敏, 等. 白藜芦醇和壳聚糖复合生物保鲜剂对冷藏鲑鱼品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018(5) : 291.
- [28] 王耀松, 赵黎明, 吴艳清. 壳聚糖/乳清蛋白复合可食性膜的物理性能研究[J]. 食品与机械, 2015(6) : 7.
- [29] 浮吟梅, 王林山, 苏海燕. 卡拉胶在食品工业中的应用[J]. 农产品加工, 2009, 19(8) : 56.
- [30] 吴海潇, 张宾, 史周荣, 等. 卡拉胶寡糖对冷冻南美白对虾的抗冻保水作用[J]. 食品科学, 2017, 38(7) : 260.
- [31] 陈斌, 朱志伟, 阮征, 等. 卡拉胶和转谷氨酰胺酶复合对热处理罗非鱼鱼糜肠凝胶性能的影响[J]. 现代食品科技, 2015(9) : 212.
- [32] 马申嫣, 范大明, 严青, 等. 不同保水剂对可微波预油炸鸡肉串品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2009, 28(6) : 753.
- [33] 余永名, 马兴胜, 仪淑敏, 等. 豆类淀粉对鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 现代食品科技, 2016(1) : 129.
- [34] WU S. Effect of pullulan on gel properties of *Scomberomorus niphonius surimi* [J]. International Journal of Biological Macromolecules (A), 2016, 93 : 1118.
- [35] SUN F, HUANG Q, HU T, et al. Effects and mechanism of modified starches on the gel properties of myofibrillar protein from grass carp [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 64(2) : 17.
- [36] 李丹辰, 陈丽娇, 梁鹏, 等. 木薯淀粉与木薯变性淀粉鱼糜加工性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(8) : 60.
- [37] 解万翠, 曾恩辉, 杨锡洪, 等. 魔芋葡甘露聚糖改善冷冻虾仁持水品质的条件优化[J]. 食品科学, 2013, 34(11) : 134.
- [38] 尹贝贝, 蒋爱民, 栗俊广, 等. 几种添加物对巴浪鱼丸品质的影响[J]. 食品与机械, 2014 (5) : 253.
- [39] TORTI M J, SIMS C A, ADAMS C M, et al. Polysaccharides as alternative moisture retention agents for shrimp [J]. Journal of Food Science,

- 2016,81(3):S728.
- [40] HASANPOUR F, HOSEINI E, MOTALEBI A A, et al. Effects of soy protein concentrate and Xanthan gum on physical properties of Silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi[J]. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 2012, 11(3):518.
- [41] WANG G, MIAO F, DONG F, et al. Synthesis of carboxymethyl polysaccharides and their moisture absorption and retention abilities[J]. Asian Journal of Chemistry, 2014, 26(16):5239.
- [42] FENG J, XIONG Y L. Interaction and functionality of mixed myofibrillar and enzyme-hydrolyzed soy proteins[J]. Journal of Food Science, 2003, 68(3):803.
- [43] FENG J, XIONG Y L, MIKEL W B. Textural properties of pork frankfurters containing thermally/enzymatically modified soy proteins[J]. Journal of Food Science, 2003, 68(4):1220.
- [44] 袁晓龙,韩衍青,李景军,等.水分、变性淀粉、大豆分离蛋白和卡拉胶对低脂香肠的影响[J].食品工业科技,2014,35(12):253.
- [45] 王金路,仪淑敏,励建荣,等.草鱼内脏水解蛋白对鲈鱼肉保水性的影响[J].食品工业科技,2015,36(24):315.
- [46] JOSE J, POUVREAU L, MARTIN A H. Mixing whey and soy proteins: Consequences for the gel mechanical response and water holding [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 60(3):216.
- [47] KRUIF C G D, ANEMA S G, ZHU C, et al. Water holding capacity and swelling of casein hydrogels [J]. Food Hydrocolloids, 2014, 44(10):372.
- [48] SOLO-DE-ZALDÍVAR B, TOVAR C A, BO-RDERÍAS A J, et al. Effect of deacetylation on the glucomannan gelation process for making restructured seafood products[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 35(4):59.