

# 褐藻酸钠裂解物对冷冻南美白对虾品质的影响

袁 丽<sup>1</sup> 高瑞昌<sup>1\*</sup> 薛长湖<sup>2</sup> 郝淑贤<sup>3</sup> 于 刚<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>江苏大学食品与生物工程学院, 镇江 212013)

(<sup>2</sup>中国海洋大学食品科学与工程学院, 青岛 266003)

(<sup>3</sup>中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300)

**摘 要** 以褐藻酸钠为原料, 采用过氧化氢氧化法制备褐藻酸钠裂解物, 分析了裂解物对南美白对虾 *Penaeus vannamei* 虾仁质量的效果, 并研究了对虾仁冷冻后品质的影响。结果表明, 褐藻酸钠裂解物中的分子量大于 6 kDa 的裂解物 HDX-A 能有效改善冷冻后水分流失, 虾仁经 1% 的浸泡液处理 1h 后进行冻藏不同时间后再解冻, HDX-A 能够有效地阻止水分流失, 从而保持虾仁水分且随时间的延长其保持能力并不减弱, 而且随浸泡溶液浓度的增加效果增强。HDX-A 主要是通过增加自由水含量而避免了冷冻后虾仁水分和营养流失。HDX-A 还可有效地降低冷冻虾仁的蒸煮损失, 1.5% 处理的样品蒸煮损失最低, 整体上蒸煮损失低于 20%, 120d 时仅为 15.6% 左右, 显著低于对照 ( $P < 0.05$ )。HDX-A 可通过降低冷冻虾仁水分流失改善了粘弹性和破断力等流变学特性, 提高了产品品质, 可作为无磷品质改良剂替代复合磷酸盐。

**关键词** 褐藻酸钠裂解物 冷冻南美白对虾 流变学特征 无磷品质改良剂

**中图分类号** S966 **文献识别码** A **文章编号** 1000-7075(2011)06-0121-07

## Effect of alginate pyrolysis product on the quality of frozen white leg shrimp *Penaeus vannamei*

YUAN Li<sup>1</sup> GAO Rui-chang<sup>1\*</sup> XUE Chang-hu<sup>2</sup> HAO Shu-xian<sup>3</sup> YU Gang<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013)

(<sup>2</sup>College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003)

(<sup>3</sup>South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300)

**ABSTRACT** The sodium alginate pyrolysis products were obtained through  $H_2O_2$  oxidation. The effect of the main component (HDX-A, molecular weight over 6 kDa) on the quality of cryo-preserved peeled white leg shrimp *Penaeus vannamei* was studied. It was found that HDX-A effectively prevented water and nutrition losses of the frozen white leg shrimp after being marinated in 1% alginate pyrolysis solution. The effect improved with the increase of HDX-A concentration and the marinating time. The cooking loss of the frozen white leg shrimp could be obviously declined by lower than 20% by HDX-A. The cooking loss of the sample that marinated in the 1.5% HDX-A solution was about 15.6% after being frozen for 120 days, which was

海洋公益性行业科研专项(201105029)、江苏省自然科学基金(BK2009215)、广东省海洋渔业科技推广专项(A200901B02; A200901I03)、江苏高校优势学科建设工程资助项目和江苏大学校基金项目(08JDG006)共同资助

\* 通讯作者。E-mail: xi yuan2008@ujs.edu.cn

收稿日期: 2011-05-23; 接受日期: 2011-06-21

作者简介: 袁 丽(1978-), 女, 讲师, 硕士, 主要从事食品加工新技术研究。E-mail: yuanli24@163.com

significantly less than the control ( $P < 0.05$ ). The rheological parameters such as break strength and viscoelasticity of the frozen white leg shrimp were improved by HDX-A through increasing the water holding capacity. HDX-A would be used as a replacement for phosphate compound in frozen white leg shrimp for improving quality.

**KEY WORDS** Alginate pyrolysis product Frozen white leg shrimp *Penaeus vannamei*  
Rheological parameters Non-phosphorus additive

南美白对虾(凡纳滨对虾 *Penaeus vannamei*)以其肉质鲜嫩、出肉率高、营养丰富等优点受到国际对虾贸易市场的青睐。我国是世界上南美白对虾养殖量最大的国家,大量出口的加工产品主要以冷冻虾仁为主。出口厂家在生产中往往通过添加多聚磷酸盐提高虾仁的保水性增加出品率,多聚磷酸盐超标现象经常出现。近年来,日本、欧盟等国家和地区加大了从中国进口食品中多聚磷酸盐含量的监控力度,导致我国水产品出口屡受国际制裁(EU 2006)。然而,由于消费者对虾仁鲜嫩性质构的特殊性要求和虾仁自身冻藏特性,需要对冷冻虾仁的保水性进行必要的保护,防止冻藏过程中的干耗等不利变化,以保证产品经冷冻后仍能保持较高的品质。因此,开发安全、无毒、高效的无磷品质改良剂是我国水产品加工业面临的急需解决的重要课题。

褐藻胶是一种来源于褐藻细胞壁的水溶性酸性多糖,具有独特的结构和生物活性(纪明侯 1997)。目前研究主要集中在褐藻胶和裂解物的医药利用及功能特性方向,而对褐藻酸钠裂解物对水产品品质影响的研究尚未见报道。由于海藻酸钠溶液具有较大的黏度,对虾仁外观影响较大,所以本研究利用褐藻酸钠为原料进行氧化裂解制备出一种低价高效、天然无害的低黏度无磷品质改良剂,在不影响外观条件下可有效提高和改善冷冻南美白对虾虾仁产品品质,为冷冻虾仁的生产和安全性的提高提供了技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

鲜活南美白对虾 2010 年 6 月购于青岛南山水产品市场。鲜活南美白对虾→去头、去尾→轻压排便→清洗→去壳→虾仁。

B542 复合磷酸盐购自上海大立食品添加剂有限公司,主要成分为焦磷酸盐和三聚磷酸盐。褐藻酸钠(2% 溶液为粘度 1 500 mPa·s,青岛明月海藻有限公司)。其他无说明的试剂均为分析纯试剂。

质谱仪(TMS-PRO),美国 Food Technology Corporation, USA;超滤杯(MSC050),上海摩速科学器材有限公司;电子天平(BS224S),德国赛多利斯股份公司;数显粘度计(NDJ-5S),上海方瑞仪器有限公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 褐藻酸钠裂解物的化学氧化法制备(欧昌荣 2003)

取褐藻酸钠溶成 2% 的溶液,用蠕动泵以 12 ml/h 的速度加入浓度为 4.5%  $H_2O_2$ 。用水浴锅保持反应温度 60 °C 恒定,6 h 后停止反应,过滤除去未裂解的固体颗粒,取滤液室温下放置搅拌若干小时除去残留的  $H_2O_2$  (钛试剂检测)。取滤液过 6 kDa 的超滤膜,得分子量大于 6 kDa 和小于 6 kDa 裂解物组分,冷冻干燥备用。

#### 1.2.2 褐藻酸钠裂解物有效主成分分析

将得到的褐藻酸钠裂解物分为 3 组。HDX-1:未经分级的褐藻酸钠裂解物;HDX-A:分子量大于 6 kDa 的褐藻酸钠裂解物;HDX-B:分子量小于 6 kDa 的褐藻酸钠裂解物;将褐藻酸钠裂解物配制成 0.5% 的浸渍液,预冷至 0 °C,按照虾仁和浸渍液重量 1:2 的比例进行浸渍 1h,每隔 15 min 进行缓慢搅拌,取出沥干 15 min 后准确称重。以 3% B542 为参比。取样均设 6 个平行,取平均值,分析各成分的浸泡效果,其计算方法参照文献(高瑞昌等 2009)。

#### 1.2.3 虾仁解冻损失率和蒸煮损失率

解冻损失率和蒸煮损失率测定参照高瑞昌等(2009)的方法。

### 1.2.4 虾仁流变学特性的测定

应力松弛实验运用质构仪在室温下进行测量。本实验采用直径为 3 mm 的圆柱型探头,压缩速度为 40 mm/s,样品变形量为 20%,压力单位 g,量程 A 级(1 000 g)。应力松弛曲线采用逐次渐近法进行分析(Iso *et al.* 1981)。取大小相同、称重相等且经不同浸渍处理蒸煮后虾仁,以尾部倒数第二节为测试点。

破断实验使用的仪器与应力松弛实验相同。使用圆柱型探头(直径为 3 mm)进行大变形试验,取破断曲线的第一个峰值。每一样品数据均为 6 次测定的平均结果。

### 1.3 数据分析

应用 SPSS 15.0 统计处理软件进行统计分析,结果以平均值±标准偏差(Mean±SD)表示,采用方差分析(ANOVA)进行比较。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同分子量的褐藻胶裂解物对虾仁的影响

褐藻酸钠裂解物对虾仁的重量有着显著差异。从图 1 可看出,0.5%的分子量大于 6 kDa 的组分 HDX-A 与未分级的组分 HDX-1 作用效果一致,重量增加均达到了 13.5%左右,效果与 B542 相当。分子量小于 6 kDa 裂解物组分 HDX-B 仅提高 4.03%,与纯水的 4.92%相比,反而还有一定的脱水作用,可能与低分子寡糖高渗透压有关。由此可知,提高虾仁持水性的主要成分为分子量大于 6kDa 的裂解物。本实验选择 HDX-A 对虾仁进行处理,进一步研究主成分对虾仁在冻藏过程中的品质影响,主要集中在有效主成分影响研究上,而实际应用上不需进行分级而可以直接使用裂解混合物。另外,由于褐藻酸钠经裂解后黏度大大较低,溶液透明度大大增加,浸泡后对虾仁外观无影响,与直接使用褐藻酸钠具有显著差异。

### 2.2 HDX-A 处理时间的影响

图 2 表示 0.5%浓度的 HDX-A 对虾仁的影响随时间的变化。从结果可知,随浸渍时间的延长,HDX-A 的提高效果增加,浸渍 0.5 h 的效果为 11.7%,浸渍 1h 达到 15.7%,幅度较大( $P < 0.05$ ),随后增加幅度减小。为了缩短生产周期建议浸渍时间采用 1~1.5 h。

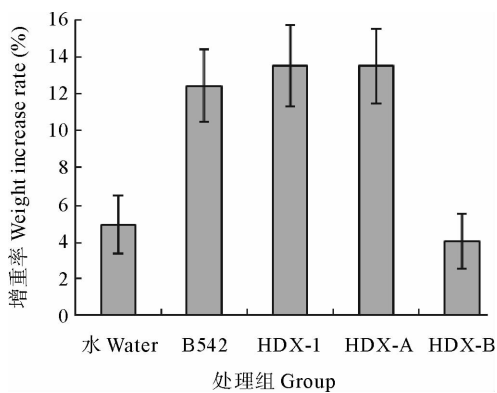


图 1 不同分子量的褐藻酸钠裂解物对虾仁的影响

Fig. 1 The variation of shrimp weight marinated by different fraction of alginate pyrolysis product

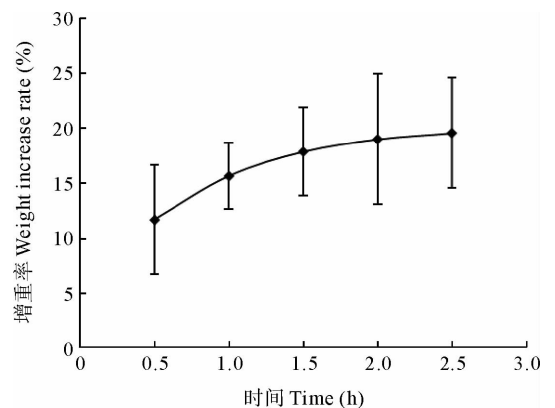


图 2 处理时间对 0.5% HDX-A 效果的影响

Fig. 2 The effect of marinating time of 0.5% HDX-A on shrimp weight

### 2.3 HDX-A 使用浓度的影响

HDX-A 对虾仁的影响随浸渍液浓度增加而增加。在 0.5% HDX-A 浸渍液中浸渍 1 h,提高效果为 11%,

而1%的浸渍液达到14.6%，幅度较显著( $P < 0.05$ )。但是浓度为1.5%时则为16.4%，比1%浓度的增幅不明显( $P > 0.05$ )。原因可能是渗透和吸附在虾仁内部和表面的裂解物达到一定饱和程度，表面膜的形成阻止了更多的裂解物和水分的渗透，效果趋于稳定。

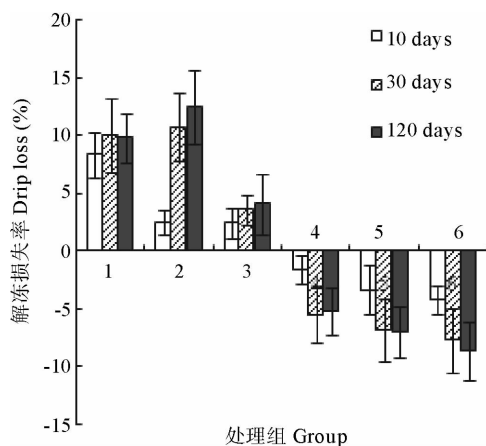
## 2.4 HDX-A 对虾仁品质影响

### 2.4.1 HDX-A 对冷冻虾仁解冻损失的影响

HDX-A 对冷冻虾仁解冻损失的影响如图3所示。以蒸馏水浸渍为对照,并与B542处理进行了比较,同时观测了未处理虾仁的解冻损失。无论是未处理组和对照组以及B542处理组,在解冻均会出现明显的解冻损失,并且均随冻藏时间的延长而增加。未处理组解冻损失最为严重,冻藏10、30、120 d后解冻损失率分别为8.33%、10.53%、9.84%。对照组10 d后解冻损失为2.53%,并随冻藏时间的延长急剧增加( $P < 0.05$ ),120 d后达到12.5%;B542处理的虾仁冻藏10、30、120 d后,解冻损失率分别为2.45%、3.64%、4.08%,与对照相比,10 d时相差不明显( $P > 0.05$ ),但后期显著低于对照( $P < 0.01$ )。HDX-A可以有效地保持虾仁水分,即使虾仁经冷冻和冻藏后仍能保持较多的水分,并且随浓度的增高效果增强。0.5% HDX-A的处理在冻藏10 d解冻后能保持1.52%的增重效果,并且随时间的延长并不减弱,在冻藏30、120 d后仍保持5.48%、5.2%的增重效果;1.0%浓度处理在冻藏10、30、120 d后仍能保持3.31%、6.78%、7.02%的增重效果;而1.5%浓度处理样品则能保持4.23%、7.69%、8.57%的增重效果。

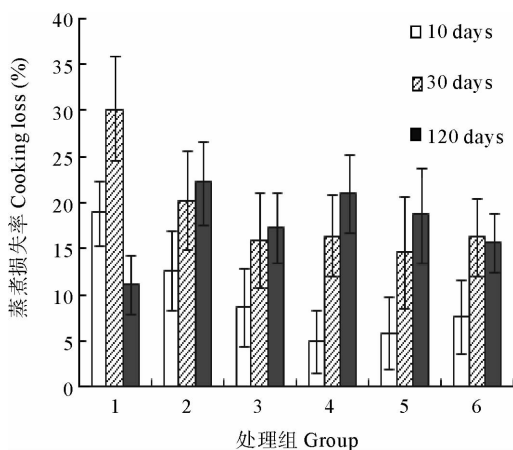
### 2.4.2 HDX-A 对冷冻虾仁蒸煮损失的影响

冷冻虾仁蒸煮损失结果如图4所示。未经任何处理的虾仁蒸煮损失最为严重,前30 d内,随冻藏时间延长损失增加,平均损失大于20%,主要是在冻藏过程中冰晶的生成和生长破坏了细胞结构,造成大量水分外移,在蒸煮时丢失;120 d时由于冻藏过程中发生了干耗,造成了整体水分的流失,所以数值偏低。对照组蒸煮损失也较为严重,冻藏30 d损失率大于20%。与对照组相比,B542可以有效降低蒸煮损失率( $P < 0.05$ ),冻藏120 d损失仅为17.31%,结果与前人研究一致,多聚磷酸盐可以有效地增加产品的成品率(Xiong *et al.* 1999; Zheng *et al.* 2001)。与对照相比,HDX-A也可以有效地降低冷冻虾仁的蒸煮损失,0.5%的处理10 d后的蒸煮损失仅为4.92%,但是随着冻藏时间的延长,蒸煮损失也在增加,30 d后损失率为16.44%,



1. 未处理组;2. 水浸泡组,对照组;3. 3% B542 复合磷酸盐;  
4. 0.5% HDX-A;5. 1.0% HDX-A;6. 1.5% HDX-A  
1. Untreated group; 2. Treated by water, control group;  
3. 3% B542 phosphate group; 4. 0.5% HDX-A;  
5. 1.0% HDX-A; 6. 1.5% HDX-A

图3 HDX-A 对冷冻虾仁解冻损失率的影响  
Fig. 3 The effect of HDX-A on defrosted loss of frozen shrimp



1. 未处理组;2. 水浸泡组,对照组;3. 3% B542 复合磷酸盐;  
4. 0.5% HDX-A;5. 1.0% HDX-A;6. 1.5% HDX-A  
1. Untreated group; 2. Treated by water, control group;  
3. 3% B542 phosphate group; 4. 0.5% HDX-A;  
5. 1.0% HDX-A; 6. 1.5% HDX-A

图4 HDX-A 对冷冻虾仁蒸煮损失率的影响  
Fig. 4 The effect of HDX-A on of cooking loss of frozen shrimp

120d 后为 21% 左右。1.5% 处理的样品蒸煮损失最低,整体上蒸煮损失低于 20%,120 d 时仅为 15.6% 左右,显著低于对照( $P < 0.05$ ),但与 B542 处理无显著差异( $P > 0.05$ )。而 Shahidi 等(1997)报道,海豹肌肉蛋白质降解物可以有效减少蒸煮损失,效果优于磷酸盐,可用作磷酸盐替代物。Feng 等(2002、2003a、2003b)报道了大豆酶解物对肉品质改良作用,认为大豆酶解物可以提高保水性,改善产品微结构,改变了产品的粘性和破断力等品质,增加产品的出品率。Zheng 等(1999)研究了胶浸泡的鸡胸肉虽然没有很好的增重效果,但具有很好的水分保持能力,认为胶可以在肉的表面和  $\text{Ca}^{2+}$  形成保护膜。

#### 2.4.3 HDX-A 对冷冻虾仁流变学特性的影响

##### 2.4.3.1 新鲜虾仁的流变学特性

新鲜虾仁经蒸煮后的流变学特征测定结果见表 1。可看出新鲜虾仁的粘度较大,达到  $97.55 \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ,应力松弛时间为 41.5 s,破断力为 2.15 N,说明肌肉中的粘性成分较多,粘结性较大。一般来说,破断力与硬度存在对应关系,弹性模量与肌肉中的弹性成分有关,粘度和应力松弛与肌肉中的粘性成分、粘结性具有正比关系(李里特 2010),鲜虾仁具有弹性较小、粘结性较大的特点。

表 1 新鲜虾仁的流变学特性

Table 1 Rheological properties of fresh cooked shrimp

组 Group	弹性模量( $10^6 \text{ Pa}$ )			应力松弛时间(s)		粘度( $10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ )		破断力(N) Break strength
	Elastic modulus			Stress relaxation time		Cohesive modulus		
	$E_1$	$E_2$	$E_0$	$\tau_1$	$\tau_2$	$\eta_1$	$\eta_2$	
鲜虾仁 Fresh shrimp	$2.35 \pm 0.26$	$0.29 \pm 0.09$	$2.64 \pm 0.31$	$41.49 \pm 3.51$	$1.6 \pm 0.30$	$97.55 \pm 10.35$	$0.46 \pm 0.12$	$2.15 \pm 0.37$

##### 2.4.3.2 虾仁流变学特性在冻藏过程中的变化

表 2 表示不同处理样品冻藏 10 d 后流变学特性结果。可看出虾仁的流变学特性值( $E_0$ ,  $\tau_1$ ,  $\eta_1$ , 破断强度)因处理不同而有较大差异。未经处理虾仁弹性模量  $E_0$ 、应力松弛时间  $\tau_1$  和粘度  $\eta_1$  最低,而破断力最高,但各参数与鲜虾仁没有明显差异。水浸泡样品的  $\tau_1$ 、 $\eta_1$  和破断力与未处理样品的各参数无明显差异( $P > 0.05$ ),而弹性模量  $E_0$  则有较大差异( $P < 0.05$ )。3% B542 处理  $E_0$  和  $\tau_1$  与对照水处理有较大差异( $P < 0.05$ ),其他参数则没有较大差异( $P > 0.05$ )。HDX-A 处理的  $E_0$  和  $\tau_1$  与对照有较大差异( $P < 0.05$ ), $\eta_1$  高于对照但不显著,破断力也无明显差异( $P > 0.05$ )。HDX-A 处理与 3% B542 处理  $\tau_1$ 、 $\eta_1$  和破断力无明显差异( $P > 0.05$ ),而  $E_0$  则有较大差异( $P < 0.05$ ),冻藏的虾仁  $\eta_1$  比新鲜样品显著增加( $P < 0.05$ ),而破断力明显下降( $P < 0.05$ )。

表 2 HDX-A 对冷冻虾仁流变学特性的影响(10d)

Table 2 Rheological properties of frozen shrimp marinated by HDX-A (10 days)

组 Group	弹性模量( $10^6 \text{ Pa}$ )			应力松弛时间(s)		粘度( $10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ )		破断力(N) Break strength
	Elastic modulus			Stress relaxation time		Cohesive modulus		
	$E_1$	$E_2$	$E_0$	$\tau_1$	$\tau_2$	$\eta_1$	$\eta_2$	
1	$2.41 \pm 0.03$	$0.40 \pm 0.02$	$2.81 \pm 0.21$	$28.65 \pm 3.01$	$1.61 \pm 0.24$	$69.00 \pm 15.35$	$0.64 \pm 0.12$	$1.61 \pm 0.21$
2	$3.05 \pm 0.05$	$0.40 \pm 0.04$	$3.45 \pm 0.27$	$34.36 \pm 4.62$	$1.63 \pm 0.31$	$104.88 \pm 10.41$	$0.65 \pm 0.19$	$1.30 \pm 0.31$
3	$2.62 \pm 0.06$	$0.14 \pm 0.01$	$2.76 \pm 0.34$	$43.48 \pm 8.36$	$1.76 \pm 0.22$	$113.75 \pm 20.01$	$0.25 \pm 0.07$	$1.17 \pm 0.16$
4	$2.07 \pm 0.04$	$0.10 \pm 0.02$	$2.17 \pm 0.14$	$60.61 \pm 9.82$	$1.75 \pm 0.46$	$125.48 \pm 13.84$	$0.18 \pm 0.09$	$1.28 \pm 0.20$
5	$2.13 \pm 0.06$	$0.30 \pm 0.03$	$2.43 \pm 0.10$	$62.12 \pm 6.97$	$1.67 \pm 0.62$	$132.31 \pm 15.45$	$0.50 \pm 0.11$	$1.18 \pm 0.23$
6	$2.40 \pm 0.03$	$0.28 \pm 0.03$	$1.68 \pm 0.11$	$62.36 \pm 14.23$	$1.19 \pm 0.43$	$149.66 \pm 15.61$	$0.34 \pm 0.08$	$1.05 \pm 0.18$

表 3 表示不同处理样品冻藏 30 d 后流变学特性结果。冻藏 30 d 后,不同处理的各物性学参数相对于前 10 d 均升高。未经处理的虾仁弹性模量  $E_0$ 、应力松弛时间  $\tau_1$  和粘度  $\eta_1$  仍是最低,而破断力也最高。水浸泡的

样品的  $E_0$ 、 $\tau_1$ 、 $\eta_1$  和破断力与未处理样品的各参数差异显著 ( $P < 0.05$ )。3% B542 处理  $\eta_1$  和破断力与对照水处理有显著差异 ( $P < 0.05$ )，其他参数则没有较大差异。HDX-A 处理的  $\eta_1$  高于对照有差异但不显著，破断力与对照存在差异 ( $P < 0.05$ )。HDX-A 处理与 3% B542 处理的  $E_0$ 、 $\tau_1$ 、 $\eta_1$  和破断力都无明显差异 ( $P > 0.05$ )。

表3 HDX-A 对冷冻虾仁流变学特性的影响(30d)

Table 3 Rheological properties of frozen shrimp marinated by HDX-A (30 days)

组 Group	弹性模量( $10^6$ Pa)			应力松弛时间(s)		粘度( $10^6$ Pa·s)		破断力(N) Break strength
	Elastic modulus			Stress relaxation time		Cohesive modulus		
	$E_1$	$E_2$	$E_0$	$\tau_1$	$\tau_2$	$\eta_1$	$\eta_2$	
1	2.44±0.21	0.11±0.06	2.55±0.34	38.61±9.12	0.61±0.12	94.94±16.03	0.21±0.06	2.02±0.14
2	3.45±0.34	0.34±0.09	3.79±0.41	34.60±8.39	1.69±0.34	119.55±18.49	0.55±0.12	2.07±0.28
3	3.46±0.38	0.34±0.10	3.80±0.43	43.47±10.14	1.64±0.29	150.41±23.08	0.55±0.10	1.47±0.21
4	3.33±0.46	0.14±0.08	3.47±0.37	39.68±9.24	1.83±0.19	132.12±20.46	0.25±0.09	1.96±0.20
5	3.61±0.42	0.17±0.04	3.78±0.28	37.04±7.60	1.79±0.27	133.58±22.39	0.30±0.08	1.84±0.18
6	3.28±0.29	0.27±0.09	4.05±0.31	42.53±8.16	1.74±0.35	139.49±14.17	0.48±0.07	1.67±0.17

表4表示不同处理样品冻藏120d后流变学特性结果。冻藏120d后,不同处理的各物性学参数相对于前60d又有所升高。未经处理的虾仁破断力有较明显的增加,显著高于经过浸泡处理的各组 ( $P < 0.05$ )。水浸泡的样品的  $E_0$ 、 $\tau_1$ 、 $\eta_1$  和破断力与未处理样品的各参数无显著差异 ( $P > 0.05$ )。3% B542 复合磷酸盐和 HDX-A 各处理与对照也无显著差异 ( $P > 0.05$ )。HDX-A 处理与 3% B542 处理的  $\tau_1$ 、 $\eta_1$  和破断力都无明显差异 ( $P > 0.05$ ),但 HDX-A 处理  $E_0$  明显高于 B542 处理 ( $P < 0.05$ )。

表4 HDX-A 对冷冻虾仁流变学特性的影响(120 d)

Table 4 Rheological properties of frozen shrimp marinated by HDX-A (120 days)

组 Group	弹性模量( $10^6$ Pa)			应力松弛时间(s)		粘度( $10^6$ Pa·s)		破断力(N) Break strength
	Elastic modulus			Stress relaxation time		Cohesive modulus		
	$E_1$	$E_2$	$E_0$	$\tau_1$	$\tau_2$	$\eta_1$	$\eta_2$	
1	3.23±0.24	0.33±0.09	3.56±0.43	39.89±5.87	1.63±0.34	126.55±26.34	0.53±0.12	3.07±0.35
2	3.33±0.23	0.31±0.11	3.64±0.35	42.64±6.22	1.53±0.26	141.99±24.81	0.48±0.15	2.32±0.31
3	2.65±0.31	0.2±0.07	2.85±0.41	50.25±6.45	1.67±0.35	133.2±30.14	0.34±0.09	1.99±0.38
4	3.78±0.20	0.17±0.08	3.95±0.38	30.96±7.40	1.86±0.41	117.15±20.73	0.32±0.14	2.25±0.24
5	3.68±0.16	0.29±0.09	3.97±0.25	40.32±6.33	1.65±0.28	148.38±23.15	0.48±0.11	2.21±0.35
6	3.63±0.22	0.17±0.08	3.80±0.33	43.48±7.45	1.79±0.24	157.76±33.65	0.30±0.13	1.88±0.33

### 3 讨论

尽管复合磷酸盐和水浸泡对虾仁持水性有增加效果,但是解冻发生较严重的解冻损失,造成营养流失严重,并且复合磷酸盐容易使虾仁呈苍白色,改变了产品外观,且安全性降低。而 HDX-A 可以通过改善冷冻虾仁的持水能力,避免解冻损失,减少因汁液流失而造成的营养损失,从而保持了虾仁营养和特有品质,与对照组及复合磷酸盐组相比效果显著 ( $P < 0.01$ )。蒸煮后损失虽比水浸泡低,但仍比较严重,和 B542 复合磷酸盐处理相似。大分子量的裂解物增强虾仁持水性、减少解冻损失的重要原因可能是裂解物能够吸附大量的水分子,同时渗透到肌肉中并与蛋白质相互作用增加了肌肉纤维间的空间,使更多的水分保持在肌肉纤维结构中,另外与裂解物在虾仁表面通过  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  等离子形成凝胶膜有关。凝胶膜不仅阻止了冻藏期间内部水分的蒸发

流失,而且在解冻时也能防止水分的流失。而裂解物对蒸煮损失率的降低效果不显著,其原因可能是在蒸煮时虾仁蛋白变性凝固收缩挤出内部游离水,另外裂解物形成的凝胶膜在加热时也容易收缩而发生破坏。

南美白对虾虾仁最大的特点就是肉质鲜嫩,而客观评价其品质的最好方法是其流变学特性测定。流变学特性实验表明,冻藏对虾仁的质构产生了较大影响。变化较大的参数主要有粘度、弹性模量、应力松弛时间和破断力。未处理样品粘度变化最为显著( $P < 0.05$ ),其原因应该和其冻藏过程中水分丢失严重,直接相关水处理样品粘度也有较大变化,而复合磷酸盐和 HDX-A 处理样品粘度虽然有所增加但变化不显著( $P > 0.05$ )。HDX-A 中含有大分子量的多糖,可能增加了肌原纤维之间的粘结力,另外粘度与水分含量和蛋白质是否变性也有较大关系。不同处理的虾仁破断力发生了较大变化,并和虾仁的保水性测定结果相一致,即保水性高肌肉就会柔嫩多汁,破断力低,反之柔软性减小,肉质变硬,破断力增加,这也与蛋白质冷冻变性密切相关。肌肉蛋白质冷冻变性与蛋白质结合水的含量密切相关(曾名湧 2005)。如果肌肉中的水分含量越高,和蛋白质相结合的水就越多,蛋白质的冻藏期间越不容易发生变性,反之,则容易发生蛋白变性。HDX-A 能显著减少冻藏期间水分流失,因此能够改善流变学特性,保持产品肉质鲜嫩特点。总之,从褐藻酸钠裂解物对南美白对虾虾仁保水性和流变学特性的影响角度来判断,大分子量褐藻酸钠裂解物可作为一种无磷品质改良剂替代复合磷酸盐应用于冷冻虾仁生产中。

## 参 考 文 献

- 纪明侯. 1997. 海藻化学. 北京: 科学出版社
- 李里特. 2010. 食物物性学. 北京: 中国农业出版社
- 欧昌荣. 2003. 褐藻胶寡糖的制备分析及其生理活性研究. 见: 中国海洋大学博士学位论文
- 高瑞昌, 于 刚, 袁 丽, 薛长湖. 2009. 几种无磷保水剂对冷冻南美白对虾质量的影响. 安徽农业科学, 37(36): 18 140~18 142, 18 255
- 曾名湧. 2005. 几种主要淡水经济鱼类肌肉蛋白质冻结变性机理的研究. 见: 中国海洋大学博士学位论文
- EUROPA Food Safety-Rapid Alert System for Food and Feed (RASFF). EU. 2006. [http://ec.europa.eu/food/food/rapidalert/archive\\_en.htm](http://ec.europa.eu/food/food/rapidalert/archive_en.htm)
- Feng, J., and Xiong, Y. L. 2002. Interaction of myofibrillar and preheated soy proteins. J. Food Sci. 67(8): 2 851~2 856
- Feng, J., and Xiong, Y. L. 2003a. Interaction and functionality of mixed myofibrillar and enzyme-hydrolyzed soy proteins. J. Food Sci. 68(3): 803~809
- Feng, J., Xiong, Y. L., and Mikel, W. B. 2003b. Textural properties of pork frankfurters containing thermally enzymatically modified soy protein. J. Food Sci. 68(3): 1 220~1 224
- Iso, N., Mizuno, H., Saito, T., Ohzeki, F., and Yang, L. C. 1981. An analysis of the stress-relaxation curve obtained from a sample of raw meat sample. Nippon Suisan Gakkaishi, 49: 949~952
- Shahidi, F., and Synowiecki, J. 1997. Protein hydrolyzates from seal meat as phosphate alternatives in food processing applications. Food Chem. 60(1): 29~32
- Xiong, Y. L., and Kupski, D. R. 1999. Time-dependent marinade absorption and retention, cooking yield, and palatability of chicken filets marinated in various phosphate solutions. Poultry Sci. 78 (7): 1 053~1 059
- Zheng, M., Toledo, R., and Wicker, L. 1999. Effect of phosphate and pectin on quality and shelf-life of marinated chicken breast. J. Food Quality, 22 (5): 553~564
- Zheng, M., Detienne, N. A., Barnes, B. W., and Wicker, L. 2001. Tenderness and yields of poultry breast are influenced by phosphate type and concentration of marinade. J. Sci. Food Agric. 81(1): 82~87