

海藻糖、海藻胶及寡糖对蒸煮南美白对虾的抗冻保水作用

马路凯, 张 宾*, 王晓玲, 邓尚贵, 谢 超, 张梦蝶

(浙江海洋学院食品与医药学院, 浙江省海产品健康危害因素关键技术研究重点实验室, 浙江 舟山 316022)

摘 要: 为探索海藻糖类在冷冻熟制水产品中的应用效果, 以蒸煮南美白对虾为研究对象, 以焦磷酸钠为阳性对照, 研究海藻糖、海藻胶及寡糖对蒸煮虾仁的抗冻、保水作用。结果表明: -18°C 冻藏6周后, $1.0\text{ g}/100\text{ mL}$ 海藻糖、海藻胶寡糖浸泡处理, 显著降低了冷冻蒸煮虾仁解冻和蒸煮损失率 ($P < 0.05$), 其与焦磷酸钠保水效果无显著性差异 ($P > 0.05$)。在整个冻藏期内, 0.5 、 $1.0\text{ g}/100\text{ mL}$ 海藻糖和海藻胶寡糖处理, 虾仁肌肉 a^* 值保持效果显著优于其他处理组 ($P < 0.05$), 表明该2种糖类对蒸煮虾仁色泽具有较好的保护。随着冻藏时间延长, 不同处理组虾仁水分含量、水分活度和质构特性均呈逐渐下降趋势, 其中以海藻糖、海藻胶寡糖处理对虾仁水分、质构特性保持效果较好, 且显著优于蒸馏水和焦磷酸钠组 ($P < 0.05$)。经组织结构观察发现, $1.0\text{ g}/100\text{ mL}$ 海藻胶寡糖处理虾仁, 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, 表明海藻胶寡糖具有抑制肌肉间隙冰晶生长、保护肌肉组织完整性的作用。结果可为开发一种安全、高效、适用于冷冻蒸煮虾仁的无磷保水剂提供参考。

关键词: 南美白对虾; 蒸煮; 抗冻; 保水; 海藻糖; 海藻胶; 海藻胶寡糖

Comparison of the Cryoprotective Effects of Trehalose, Alginate and Alginate-Derived Oligosaccharides on Cooked Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)

MA Lukai, ZHANG Bin*, WANG Xiaoling, DENG Shanggui, XIE Chao, ZHANG Mengdie

(Key Laboratory of Health Risk Factors for Seafood of Zhejiang Province, School of Food and Medicine,

Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract: The aim of this work was to evaluate the cryoprotective effects and water-holding capacities of trehalose, alginate and algal oligosaccharides on cooked white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during frozen storage using sodium pyrophosphate as the positive control. The results indicated that the thawing and cooking loss of shrimp were significantly ($P < 0.05$) decreased by trehalose and alginate-derived oligosaccharides treatments both at $1.0\text{ g}/100\text{ mL}$ after 6 weeks of storage (-18°C), showing no significant difference when compared with sodium pyrophosphate treatment at the same concentration. The a^* value of cooked shrimp was maintained significantly ($P < 0.05$) better by 0.5 and $1.0\text{ g}/100\text{ mL}$ trehalose and alginate-derived oligosaccharides during the whole frozen storage, which indicated that the two saccharides had good cryoprotective effects on the color of cooked shrimp. In addition, the moisture content, water activity and texture of cooked shrimp in all treatments gradually fell during 6-week frozen storage, while the moisture and texture properties of samples treated with trehalose and alginate oligosaccharides were better than those of the other groups, and significantly higher than those of the distilled water and sodium pyrophosphate treatment ($P < 0.05$). The microstructure analysis revealed that the tissue structure of shrimps treated with $1.0\text{ g}/100\text{ mL}$ alginate oligosaccharides were compact, and showed no distortion. Meanwhile there were no large holes on the cross-section, indicating that alginate oligosaccharides restrained ice crystal growth and completely kept the muscular tissue structure. This study can lay the foundation for developing a safe, natural and harmless non-phosphate additive suitable for the frozen cooked shrimp.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; cooked; antifreeze; water retention; trehalose; alginate; alginate oligosaccharides

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2015)16-0266-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201516051

收稿日期: 2014-12-16

基金项目: 国家国际科技合作专项(2012DFA30600); 国家自然科学基金青年科学基金项目(31201452);

浙江省自然科学基金项目(LY14C200002); 舟山市科技计划项目(2013C11007; 2013C41015)

作者简介: 马路凯(1991—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产品加工及贮藏。E-mail: 1207975983@qq.com

*通信作者: 张宾(1981—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为水产品加工及贮藏。E-mail: zhangbin_ouc@163.com

南美白对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 虾壳薄体肥、肉质鲜嫩,其蛋白质、氨基酸及维生素等含量均较高。目前,我国南美白对虾加工主要以单冻去头虾仁、单冻煮虾及蒸煮即食虾仁等形式为主。深度冷冻保藏 ($-23\sim-12\text{ }^{\circ}\text{C}$) 可使虾肉中90%以上水分冻结,酶活性和微生物生长几乎完全受到抑制,从而使其得以长期保藏。然而,随着冻藏时间延长,虾仁水分含量会逐渐降低,解冻后致使虾仁外观色泽变暗,汁液流失增多,口感变差^[1]。

冷冻蒸煮虾仁是将虾经去头、蒸煮、去壳、调味、冻结后制成,其贮藏品质同样受微生物、水分含量、贮藏温度及包装方式等因素的影响^[2-6]。虾仁肌肉蛋白质在贮藏过程中,受到酶和微生物作用也会发生降解^[7],因此为延缓冷冻虾仁蛋白质冷冻变性,通常在冻藏虾仁中添加抗冷冻变性剂,如糖类、复合磷酸盐、氨基酸及抗冻蛋白质等。复合磷酸盐作为抗冻保水剂应用于水产品中,可有效降低产品解冻和蒸煮损失率,对蛋白质变性具有一定的抑制作用。磷酸盐类应用成本较低,但其会导致水产品出现苦涩味,且长期食用含磷的水产品,严重者会导致人体磷元素失衡。

随着现代生产工艺提高,海藻糖类的生产成本大大下降^[8]。海藻糖类作具有良好的保水效果,为海藻糖类在冷冻水产品中的广泛应用奠定了基础。薛勇等^[9]研究发现,海藻糖作为抗冻剂对鳙鱼冻藏过程中肌原纤维蛋白盐溶性、疏水性、 Ca^{2+} -ATPase活性及疏基含量下降有较好抑制作用。秦小明等^[10]也发现海藻糖对抑制冷冻罗非鱼鱼糜蛋白质变性有较好作用效果;此外,关于海藻胶寡糖用于冷冻罗非鱼、鳙鱼品质改良等也有报道^[11-14]。将海藻糖类用于蒸煮虾仁的抗冻、保水研究尚未见报道。本研究以蒸煮南美白对虾为研究对象,通过海藻糖类的抗冻、保水应用效果研究,以期达到减少蒸煮虾仁汁液损失、保障冷冻熟制虾仁品质目的,为其在冷冻水产品中应用提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜活南美白对虾体长9~10 cm,购于浙江省舟山市南珍市场,将鲜活虾体置于装有冰块的泡沫箱内,30 min内运回实验室。

海藻糖、海藻胶 ($(\text{C}_6\text{H}_7\text{NaO}_6)_n$, 32~200 kD)、海藻胶寡糖 (500~600 D)、焦磷酸钠 (含量均大于99%,食品级) 青岛博智汇力生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

MDF-U53V型超低温冰箱 日本Sanyo公司; CR-10 型便携式色差仪 日本柯尼卡美能达公司; HG63自

动水分测定仪 瑞士梅特勒公司; HD-3A型水分活度测定仪 无锡市华科仪器仪表有限公司; TMS-Pro物性测试仪 美国FTC公司。

1.3 方法

1.3.1 实验处理与分组

1.3.1.1 实验处理

选用鲜活南美白对虾于0~4 $^{\circ}\text{C}$,清洗、去头尾壳,选取完整个体虾仁,沥干,纱布拭去水分,称质量记为 m_0 (精确至0.001 g,下同),在4 $^{\circ}\text{C}$ 溶液浸泡1 h,每10 min搅拌1次,然后进行蒸煮、冷却,蒸汽98~100 $^{\circ}\text{C}$ 加热5 min,蒸煮后虾仁经室温冷却至25 $^{\circ}\text{C}$,纱布拭去水分,称质量记为 m_1 。再次4 $^{\circ}\text{C}$ 溶液浸泡1 h,每10 min搅拌1次,沥干,纱布拭去水分,称质量记为 m_2 。于-18 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏6周,再取样、解冻,每7 d取样1次;虾仁置于培养皿中,解冻2 h;纱布拭去水分,称质量记 m_3 ,并测定指标。

按式(1)~(3)计算蒸煮损失、浸泡质量增加率和解冻损失率。

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{m_0 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{浸泡质量增加率}/\% = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

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

1.3.1.2 分组

实验共分为5组,分别为:1组:空白对照(蒸馏水浸泡);2组:0.5 g/100 mL和1.0 g/100 mL海藻糖溶液;3组:0.5 g/100 mL和1.0 g/100 mL海藻胶溶液;4组:0.5 g/100 mL和1.0 g/100 mL海藻胶寡糖溶液;5组:阳性对照(0.5 g/100 mL和1.0 g/100 mL焦磷酸钠)。前期发现,0.5~1.0 g/100 mL焦磷酸钠可起到较好抗冻保水效果,因此选择此质量浓度范围进行比较研究。

1.3.2 指标测定

1.3.2.1 色差值的测定

采用CIE Lab系统表示鱼肉颜色变化, L^* 为明度指数,有100个等级, $L^*=0$ 表示肉色为黑色, $L^*=100$ 表示为白色; a^* 表示红-绿方向, a^* 为负值表示样品偏红色, a^* 为正值表示样品偏绿色; b^* 表示黄-蓝方向, b^* 为负值表示样品偏黄色, b^* 为正值表示样品偏蓝色。具体采用CR-10型色差仪测定。每组样品取虾3只,整齐摆放在白色平板上,以虾仁第2腹节为测试点,分别采集样品 L^* 、 a^* 及 b^* 值,取平均值来反映样品色差值。

1.3.2.2 水分含量和水分活度的测定

水分含量采用HG63自动水分测定仪测定;水分活度采用HD-3A型水分活度测定仪测定。

1.3.2.3 质构特性(texture profile analysis, TPA)的测定
采用TMS-PRO物性分析仪,测定虾肉TPA特性,
2次挤压测定参数:测定部位为虾体背部第2节肌肉;
选用P/0.5柱形探头;测试速率1.0 mm/s,样品压缩形
变量30%。

1.3.3 苏木精-伊红染色实验

以新鲜熟虾仁(0周)、冻藏6周后蒸馏水组、
1.0 g/100 mL海藻糖组、1.0 g/100 mL海藻胶寡糖组、
1.0 g/100 mL焦磷酸钠组虾仁为实验对象,将虾仁背部肌
肉进行固定,采用苏木精-伊红染色后观察肌肉组织结构
变化情况。

1.4 数据分析

数据处理及作图采用Origin 8.0、Excel 2007、SPSS
13.0进行统计分析,结果表示为 $\bar{x} \pm s$ 。

2 结果与分析

2.1 不同处理对蒸煮虾仁保水性能的影响

表1 不同抗冻剂处理对蒸煮虾仁保水性能的影响
Table 1 Effect of different antifreeze agents on the water-holding
capacity of cooked shrimp

处理组	蒸煮损失率	浸泡质量增加率	解冻损失率
蒸馏水(空白对照)	11.74±1.24 ^{ab}	5.27±1.30 ^a	9.05±1.12 ^a
0.5 g/100 mL海藻糖	8.05±1.40 ^f	6.85±0.90 ^b	6.77±1.02 ^c
1.0 g/100 mL海藻糖	4.21±1.22 ^a	7.76±0.86 ^f	4.42±0.56 ^d
0.5 g/100 mL海藻胶	6.89±0.98 ^d	7.03±0.56 ^{cd}	7.47±0.33 ^f
1.0 g/100 mL海藻胶	5.90±0.67 ^c	7.16±0.41 ^{de}	5.65±0.81 ^e
0.5 g/100 mL海藻胶寡糖	8.78±1.42 ^e	7.21±1.02 ^e	6.53±0.79 ^d
1.0 g/100 mL海藻胶寡糖	5.10±0.57 ^b	7.87±1.21 ^f	4.39±0.43 ^b
0.5 g/100 mL焦磷酸钠	7.74±1.01 ^e	6.90±1.35 ^{bc}	6.79±1.19 ^c
1.0 g/100 mL焦磷酸钠	5.80±1.33 ^c	7.06±0.98 ^d	4.56±0.95 ^b

注:采用Duncan's multiple range test方法分析,同一列中不同小写字母
表示显著性差异($P<0.05$, $n=3$)。下同。

肉类在加热过程中质量会明显减轻,其原因是可溶
性氮化合物溶出、脂肪分离和水分流失,其中影响最大
的是水分流失,亦即脱水现象。加热时发生脱水现象,
是肌肉因热收缩而排出水分之故,同时肌肉保水性能也
因蛋白质热变性而明显减弱^[15]。不同浸泡处理对蒸煮虾
仁保水性能影响,如表1所示。空白组(蒸馏水)虾仁蒸
煮损失率为11.74%,海藻糖、海藻胶寡糖处理虾仁蒸煮
损失率显著性降低,其中1.0 g/100 mL海藻糖、海藻胶寡
糖组仅为4.21%和5.10%。海藻糖、海藻胶寡糖处理组蒸
煮损失率相对较低($P<0.05$),其原因可能是海藻糖分子
同肌肉蛋白质结合形成一种类似水晶状的玻璃体结构,
使蛋白质分子空间结构更加稳定,从而起到保护水分
的作用^[16];此外,还有研究表明糖类分子会优先与水结
合,使其从肌肉蛋白质中的溶剂化层中排除出来,从而

导致蛋白质表现体积减少、可移动性降低,蛋白质分子
结构更趋紧密、构象更稳定^[17]。

经浸泡处理后的蒸煮虾仁,各处理组虾仁浸泡质量
增加率均有所增加,其中以高质量浓度组质量增加效果
显著优于对应低质量浓度组($P<0.05$)。在所有实验
组中,1.0 g/100 mL海藻糖和海藻胶寡糖处理质量增加
效果最佳,质量增加率分别为7.76%和7.87%,显著优
于同质量浓度的焦磷酸钠处理组($P<0.05$)。此外,
1.0 g/100 mL海藻胶组质量增加率也达7.16%,显著高
于空白对照组、低于海藻糖和海藻胶寡糖组($P<0.05$)。
1.0 g/100 mL海藻糖和海藻胶寡糖处理质量增加效果较
好,可能是由于糖类通过毛细管力等作用,渗透到虾仁
肌肉组织间隙,因而可使更多水分进入到肌肉组织间隙
并束缚在糖分子周围;同时,糖类分子在虾仁表面形成
一层包裹膜,使深入的水分更好保留在肌肉组织中^[18]。

蒸煮虾仁在冻藏过程中,细胞内冰晶的形成使肌肉
组织受到挤压,同时破坏了细胞膜结构,导致解冻过程
中细胞内部汁液流失。添加不同抗冻剂的蒸煮虾仁冻藏
6周后,蒸馏水处理熟虾仁出现较大程度汁液流失,解冻
损失率达9.05%。0.5 g/100 mL海藻糖、海藻胶及海藻胶寡
糖处理组解冻损失率较蒸馏水组均有所降低,损失率范
围为6.53%~7.47%,和0.5 g/100 mL焦磷酸钠组(阳性对
照)无显著性差异($P>0.05$)。1.0 g/100 mL海藻糖、海
藻寡糖组解冻损失率为4.39%~4.42%,显著低于空白
对照组和0.5 g/100 mL低质量浓度处理组($P<0.05$),
其与1.0 g/100 mL焦磷酸钠处理组无显著性差异
($P>0.05$)。海藻糖和海藻胶寡糖处理解冻损失率较低
原因,一方面是海藻糖和海藻胶寡糖吸湿性较好,自身
即可吸附和保持一部分水分;另一方面,冷冻过程中发
挥抗冻剂作用,即抑制肌肉组织冷冻机械损伤,使得肌
肉内部结合水得以保持;此外,海藻糖、海藻胶寡糖还
可能与肌肉中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 发生螯合作用,从而阻止了肌
肉组织内部水分的流失^[14]。

2.2 不同处理对蒸煮虾仁颜色的影响

表2 不同抗冻剂对蒸煮虾仁a*值的影响
Table 2 Effect of different antifreeze agents on the a* value of cooked shrimp

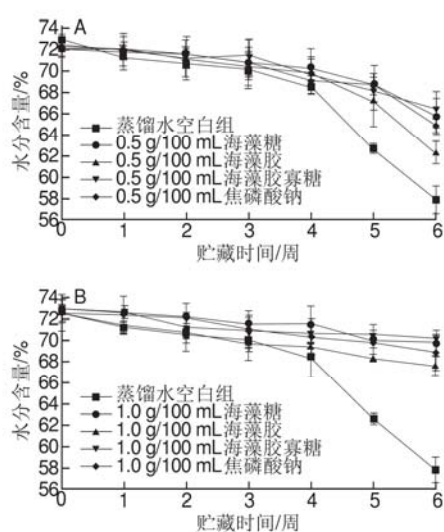
时间/ 周	蒸馏水	海藻糖质量浓度/ (g/100 mL)		海藻胶质量浓度/ (g/100 mL)		海藻胶寡糖质量浓度/ (g/100 mL)		焦磷酸钠质量浓度/ (g/100 mL)	
		0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
0	20.8±0.31 ^{ab}	20.7±0.30 ^{ab}	24.5±0.15 ^c	19.8±0.25 ^{ab}	21.7±0.16 ^{ab}	22.4±0.40 ^c	21.5±0.32 ^{ab}	17.6±0.17 ^a	14.2±0.64 ^a
1	20.2±0.87 ^a	20.3±0.74 ^a	24.8±0.26 ^c	17.6±0.87 ^a	17.3±0.40 ^a	15.0±0.95 ^a	19.7±0.93 ^b	19.4±0.64 ^b	17.7±0.10 ^b
2	22.2±0.61 ^a	22.2±0.49 ^a	21.3±1.46 ^{bc}	20.8±0.57 ^{ab}	19.8±0.60 ^a	25.3±0.70 ^c	20.2±0.90 ^{ab}	19.7±0.51 ^a	22.1±0.64 ^c
3	17.0±1.35 ^a	24.1±0.87 ^b	24.5±1.00 ^c	22.0±0.83 ^{bc}	21.4±1.51 ^{bc}	20.5±0.55 ^a	22.6±0.64 ^{ab}	21.6±0.99 ^{bc}	17.9±0.79 ^a
4	19.3±0.47 ^a	21.5±0.81 ^b	19.2±0.95 ^a	17.7±0.36 ^a	20.0±0.40 ^a	17.7±0.21 ^a	21.4±0.55 ^a	19.3±0.35 ^a	19.7±0.31 ^b
5	20.6±0.46 ^a	21.9±0.80 ^{ab}	21.5±0.90 ^{ab}	16.5±1.22 ^a	19.4±0.81 ^b	22.0±0.50 ^{ab}	22.4±0.26 ^a	20.8±0.76 ^b	22.5±0.15 ^d
6	16.6±0.85 ^{bc}	18.9±0.85 ^{ab}	21.7±0.82 ^c	15.7±0.76 ^a	17.9±0.62 ^{ab}	19.0±0.47 ^{ab}	22.5±0.79 ^{ab}	17.1±1.32 ^{ab}	20.2±0.95 ^c

各处理组虾仁贮藏初期(0~3周)L*值均有所升
升,主要是由于冷冻肌肉中形成的冰晶,造成虾肉持水

性改变,致使解冻后虾肉表面游离水增多,因而增强了对光的反射效果所致^[19]。在0~6周冻藏期内,海藻糖、海藻胶寡糖和焦磷酸钠处理虾仁, L^* 值稍有增加但不显著 ($P>0.05$) (结果略),表明海藻糖、海藻胶寡糖和焦磷酸钠对于蒸煮虾仁具有良好的保水及抗冻效果,即可有效减弱冻结冰晶对于肌肉结构的机械损伤作用。此外,各处理组虾仁冻藏过程中, b^* 值变化并不显著 ($P>0.05$),表明以上各处理对冻藏虾仁黄蓝色无显著性影响 (结果略)。

a^* 值可反映虾仁红绿度, a^* 为正值,表明测试样品为红色,越大红色越深。添加不同抗冻剂对蒸煮虾仁 a^* 值的影响,如表2所示。不同处理组之间虾仁 a^* 值差异较大,其中以1.0 g/100 mL海藻糖、海藻胶寡糖处理组 a^* 值较高,可达21.7~22.5,表明1.0 g/100 mL海藻糖和海藻胶寡糖处理虾仁,经冻藏6周后,虾仁仍保持着较好的感官品质;此外,其余各处理组 a^* 值也均高于蒸馏水组,说明对于熟虾仁具有一定的护色作用。Trespacios等^[20]认为,肌肉色泽会受到水分含量的影响,本研究中海藻糖类处理过的虾仁,水分含量均显著高于蒸馏水对照组,这可能为海藻糖类抗冻、护色的一个原因。Sikorski等^[21]研究指出虾仁贮藏中颜色的消退与其色素如虾青素的氧化降解有关。1.0 g/100 mL海藻糖和海藻胶寡糖处理虾仁,在整个贮藏期间 a^* 值变化幅度较小,且贮藏后期 a^* 值高于其他各处理组,可能是虾肉中虾青素含量仍较高,海藻糖和海藻胶寡糖在冻藏初期即发挥抗冻剂的作用,减缓了虾青素含量的下降,因而保持虾仁仍呈现红色,有较好的感官接受性。

2.3 不同处理对蒸煮虾仁水分含量的影响



A. 0.5 g/100 mL组; B. 1.0 g/100 mL组。

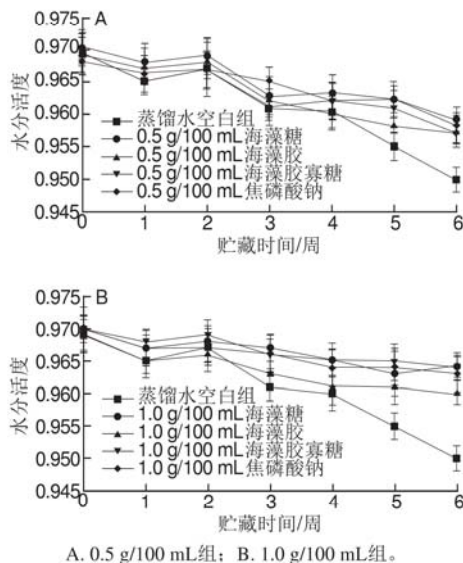
图1 不同抗冻剂对蒸煮虾仁水分含量的影响

Fig.1 Effect of different antifreeze agents on the moisture content of cooked shrimp

水分含量的高低直接影响着食品的感官和口感。蒸煮虾仁中水分含量较高,但随着贮藏时间延长,虾仁中水分含量逐渐降低,虾肉变干瘪,感官性状和口感变差。添加不同抗冻剂对于冷冻蒸煮虾仁水分含量的影响,如图1所示。-18℃冻藏6周后,蒸馏水处理虾仁水分含量为57.89%,这与崔宏博等^[22]研究结果相似(56.35%),表明不经任何处理,冻藏6周后蒸煮虾仁水分含量大幅下降。0.5 g/100 mL海藻糖、海藻胶寡糖处理后的虾仁水分含量为62.13%~66.48%;经1.0 g/100 mL海藻糖、海藻胶寡糖处理后的虾仁水分含量为67.64%~70.24%,水分含量略低于新鲜(0 d)蒸煮虾仁(72.66%),显著优于空白对照组、海藻胶组 ($P<0.05$),其原因一方面来自于海藻糖和海藻胶寡糖本身具有较强吸湿性;另一方面是海藻糖和海藻胶寡糖进入肌肉组织后优先和水分子结合,导致蛋白质溶剂化层半径缩小、可移动性降低、分子结构更趋紧密、构象更稳定,即糖类分子抗冻剂的“优先排阻作用”^[23]。

2.4 不同处理对蒸煮虾仁水分活度的影响

食品中水分含量可反映食品新鲜度,然而有些食品虽水分含量相差不多,但其感官品质和新鲜度却相差较多。仅仅测定水分含量并不能完全反映食品品质,其原因可解释为水与非水成分在缔合强度上存在较大差别,缔合程度强的水不易与非水成分分离,致使自由水含量少,水分含量相对较低。水分活度指食品中水的逸度与同温度条件下纯水逸度的比值,可表征食品中水分被微生物所利用的程度,也可反映食品品质特性。-18℃冻藏6周后,不同浸泡处理蒸煮虾仁的水分活度变化情况,如图2所示。由结果可知,在整个冻藏过程中,各处理组水分活度均呈现逐渐下降的趋势。在冻藏2周时,虾仁中水分活度出现较小幅度波动,是由于虾仁中水分与其他成分的结合程度下降导致水分活度出现波动;随后水分活度持续快速下降,则是因为虾仁中水分含量降低所致,这与崔宏博等^[22]研究即食南美白对虾水分活度变化趋势一致。蒸馏水浸泡蒸煮虾仁,冻藏6周后水分活度为0.950;0.5 g/100 mL海藻糖、海藻胶寡糖浸泡处理,在一定程度上有效减缓了蒸煮虾仁水分活度的降低(0.957~0.959),但其保水效果低于其对应高质量浓度处理组(0.964~0.965)。1.0 g/100 mL海藻糖、海藻胶寡糖组对虾仁水分活度的保持效果最佳,略高于1.0 g/100 mL焦磷酸钠组(0.963),但差异性并不显著 ($P>0.05$)。海藻糖、海藻胶寡糖处理具有显著保持冻藏蒸煮虾仁水分活度的作用,其原因可能为此2种糖类分子的加入增强了虾仁肌肉中水分子的缔合程度,致使肌肉中缔合能力差的自由水含量降低。



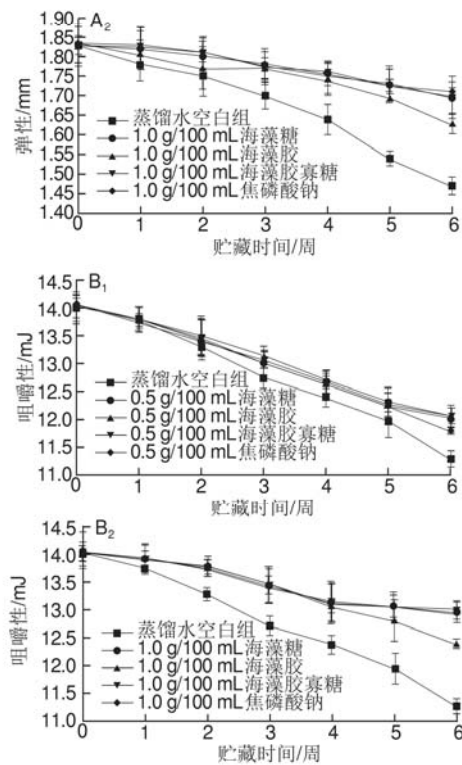
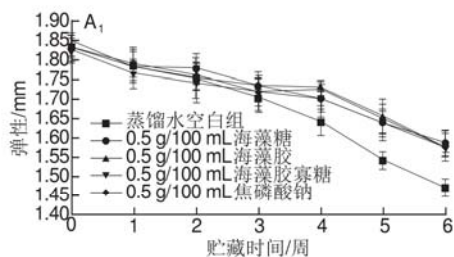
A. 0.5 g/100 mL组; B. 1.0 g/100 mL组。

图2 不同抗冻剂对于蒸煮虾仁水分活度的影响

Fig.2 Effect of different antifreeze agents on the water activity of cooked shrimp

2.5 不同处理对蒸煮虾仁质构特性的影响

质构仪可对食品嫩度、硬度、脆性、黏性、弹性、咀嚼性等进行准确量化分析,增加了数值的可靠性与可比性,同时可避免人为因素对食品品质评价结果的主观影响。不同浸泡处理对冻藏虾仁TPA的影响,如图3所示。由结果可知,虾仁弹性、咀嚼性随贮藏时间延长而发生劣变,且呈逐渐下降的趋势。冻藏6周后,各浸泡处理组弹性均显著优于蒸馏水(空白)组($P<0.05$),其中以相应的高质量浓度浸泡处理减缓虾仁弹性劣变效果较佳。1.0 g/100 mL海藻糖、海藻胶寡糖处理虾仁,弹性为1.69~1.70 mm,显著优于低质量浓度处理组,其与1.0 g/100 mL焦磷酸钠处理组无显著性差异($P>0.05$)。另一方面,随着冻藏时间延长,虾仁肌肉变得松软,咀嚼性明显下降。冻藏6周后,各处理组虾仁咀嚼性均优于蒸馏水组(11.28 mJ);同样,1.0 g/100 mL海藻糖、海藻胶寡糖处理组(12.96~13.01 mJ)较其低质量浓度组(12.02~12.08 mJ)在抑制咀嚼性降低方面有较好效果。蒸煮虾仁具有较高的水分含量和水分活度,水分在一定程度上为虾仁质构特性的物质基础,其质构变化与贮藏过程中水分含量、水分活度变化直接相关,这与崔宏博等^[22]研究结果相吻合。



A.弹性; B.咀嚼性; 下脚标1、2分别为0.5 g/100 mL组、1.0 g/100 mL组。

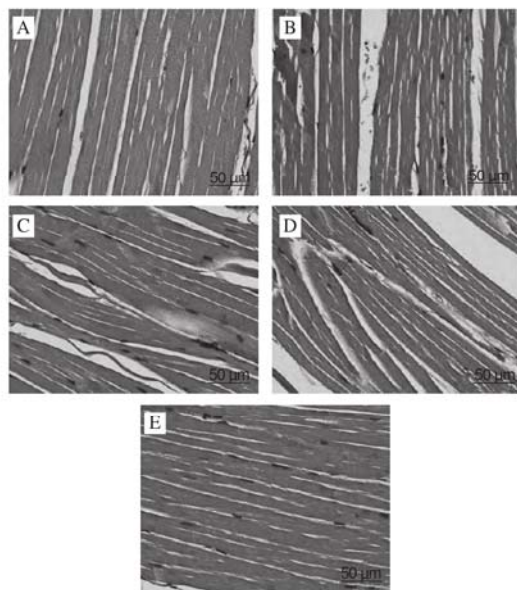
图3 不同抗冻剂对于蒸煮虾仁弹性(A)、咀嚼性(B)的影响

Fig.3 Effect of different antifreeze agents on the springiness and chewiness of cooked shrimp

2.6 不同处理对蒸煮虾仁肌肉组织形态变化的影响

在冻藏过程中,食品中微小的冰晶逐渐减少、消失,而大的冰晶逐渐成长、变大,致使整个冰晶数目大大减少,这种现象称为冰晶长大。研究^[24]表明,冰晶长大对冻藏水产品品质影响较大,其作用是使肌肉肌纤维挤压变形,甚至局部发生断裂、肌肉细胞受到机械损伤,致使蛋白质发生变性、解冻液汁流失增加,最终导致食用风味与营养价值下降。不同抗冻剂处理对蒸煮虾仁肌肉组织结构影响,如图4所示。新鲜蒸煮虾仁肌肉组织结构完整,肌纤维排列致密,肌肉间有少量较小缝隙(图4A)。随冻藏时间延长,空白组虾仁中间隙明显增多、增大,纤维间由于有冰晶长大而相互分隔,且部分已发生严重扭曲、变形甚至断裂(图4B),这主要是由于虾仁肌肉中自由水、准结合水从肌原纤维内部移动到肌原纤维外部,甚至移动到肌束外部形成较大冰晶,因而严重破坏了组织结构^[25]。1.0 g/100 mL焦磷酸钠(图4C)、海藻糖(图4D)处理虾仁肌肉间隙空间也显著增大,与空白组无明显差异;但从肌肉肌纤维排列及其相对完整性角度,略优于空白处理组(单从此组织结构变化来看,尚无法解释其对蒸煮虾仁水分保持效果,其抗冻效果有待进一步研究)。1.0 g/100 mL海藻胶寡糖处理虾仁(图4E),肌肉中肌纤维排列仍较为致密,且未出

现明显挤压、扭曲现象,其与新鲜蒸煮虾仁组织结构无明显差异,表明海藻胶寡糖处理可显著抑制肌肉间隙冰晶的生长,对保护肌纤维排列及完整性具有良好作用。该结果恰符合前面水分含量、水分活度及质构特性研究结果,其原因可能为海藻胶寡糖通过渗透作用进入到虾仁组织间隙,增强了肌肉组织的稳定性,在一定程度上有效阻止了肌肉间隙中冰晶的长大,因而肌肉间隙冰晶细密,形成孔洞较小,肌肉组织保存较完整。



A.新鲜蒸煮虾仁(0 d); B.蒸馏水空白组,冻藏6周; C. 1.0 g/100 mL焦磷酸钠组,冻藏6周; D. 1.0 g/100 mL海藻糖组,冻藏6周; E. 1.0 g/100 mL海藻胶寡糖组,冻藏6周。

图4 不同抗冻剂对于蒸煮虾仁肌肉组织结构的影响

Fig.4 Effect of different antifreeze agents on the muscular tissue structure of cooked shrimp

3 结论

以蒸煮南美白对虾虾仁为研究对象,以蒸馏水、焦磷酸钠浸泡处理为空白对照和阳性对照,研究了海藻胶、海藻糖及海藻胶寡糖对冷冻蒸煮虾仁的抗冻、保水作用。结果表明,1.0 g/100 mL海藻糖、海藻胶寡糖浸泡处理显著降低了虾仁蒸煮和解冻损失率,提高了蒸煮虾仁的浸泡质量增加率。同时,海藻糖、海藻胶寡糖还具有保持蒸煮虾仁色泽鲜艳,减缓冻藏虾仁(解冻后)水分含量、水分活度降低的作用,蒸煮虾仁在冻藏6周后,仍有较好弹性和咀嚼性。海藻胶寡糖处理虾仁肌肉肌纤维结构完整,肌肉间无较大空隙形成,较好地保持了冷

冻蒸煮虾仁组织完整性。由上可见,海藻糖、海藻胶寡糖抗冻保水剂的开发与利用,可作为冷冻蒸煮水产品复合磷酸盐保水剂的一种较好替代品,也可水产品无磷保水剂的开发提供参考方向。

参考文献:

- [1] BOONSUMREJ S, CHAIWANICHISIRI S, TANTRATIAN S, et al. Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80: 292-299.
- [2] 林进, 杨瑞金, 张文斌, 等. 动力学模型预测即食南美白对虾货架寿命[J]. 食品科学, 2009, 30(22): 361-365.
- [3] 石红, 郝淑贤, 李来好, 等. 即食半干虾仁加工技术研究[J]. 南方水产, 2010, 6(2): 41-45.
- [4] 林进, 杨瑞金, 张文斌. 栅栏技术在即食南美白对虾食品制作中的应用[J]. 食品发酵与工业, 2010, 36(5): 45-51.
- [5] 林进. 南美白对虾即食调理食品的研制[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
- [6] 谢乐生. 常温即食南美白对虾食品的研制[D]. 无锡: 江南大学, 2006.
- [7] 沈月新. 水产食品学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 214.
- [8] TABUCHI A, MANDAI T, SHIBUYA T, et al. Formation of trehalose from starch by novel enzyme[J]. Oyo Toshitsu Kagaku, 1995, 42: 401-406.
- [9] 薛勇, 薛长湖, 李兆杰, 等. 海藻糖对冻藏过程中鳙肌原纤维蛋白冷冻变性的影响[J]. 中国水产科学, 2006, 13(4): 637-641.
- [10] 秦小明, 蒙健宗, 宁恩创, 等. 海藻糖在冷冻罗非鱼鱼糜中的抗冻作用研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(7): 79-81.
- [11] 冯慧. 多聚磷酸盐在冷冻罗非鱼肉中的水解以及水产品无磷保水剂的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [12] 高瑞昌. 鳙鱼中多聚磷酸盐水解机理及无磷保水剂的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
- [13] 张丽, 王丽, 李学鹏, 等. 褐藻提取物与复合磷酸盐对中国对虾保水效果的比较[J]. 水产学报, 2010, 34(10): 1610-1616.
- [14] 马路凯, 张宾, 王强, 等. 海藻糖、海藻胶及寡糖对南美白对虾蛋白质冷冻变性的抑制作用[J]. 现代食品科技, 2014, 30(6): 140-145.
- [15] 孙丽, 夏文水. 蒸煮对金枪鱼肉及其蛋白质热变性的影响[J]. 食品与机械, 2010, 26(1): 22-25.
- [16] 李俊. 中国对虾贮藏过程中肌肉蛋白质生化特性变化规律研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011.
- [17] SOLAPENNA M, MEYERFERNANDES J R. Stabilization against thermal inactivation promoted by sugars on enzyme structure and function: why is trehalose more effective than other sugars[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 1998, 360(1): 10-14.
- [18] 高瑞昌, 于刚, 袁丽, 等. 几种无磷保水剂对南美白对虾冷冻质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(36): 18140-18142.
- [19] 陈韬, 周光宏, 徐幸莲. 不同持水性冷却肉的品质比较和蛋白质的DSC测定[J]. 食品科学, 2006, 27(6): 31-34.
- [20] TRESPALACION P, REYES P. Simultaneous application of transglutaminase and high pressure to improve functional properties of chicken meat gels[J]. Food Chemistry, 2007, 100(1): 264-272.
- [21] SIKORSKI Z, HAARD N, MOT OHIRO T. Fish drying & smoking: production and quality[M]. Boca Raton: CRC Press, 1998.
- [22] 崔宏博, 薛勇, 宿玮, 等. 即食南美白对虾贮藏过程中水分状态的变化研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(6): 198-203.
- [23] 廖丹, 陈雪, 张原. 海藻糖抗冻保护作用研究进展[J]. 广东农业科学, 2011(8): 83-85.
- [24] KONNO K, FUKAZAWA C. Autolysis of squid mantle muscle protein as affected by storage conditions and inhibitors[J]. Journal of Food Science, 1993, 58(6): 1198-1202.
- [25] 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.