

引用格式:

陈露珠, 施文正, 汪之和. 南极磷虾羧甲基壳聚糖对罗氏沼虾的保鲜效果[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(3): 347-354.

CHEN L Z, SHI W Z, WANG Z H. The fresh-keeping effect of *Antarctic krill* carboxymethyl chitosan on *Macrobrachium rosenbergii*[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2022, 48(3): 347-354.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



南极磷虾羧甲基壳聚糖对罗氏沼虾的保鲜效果

陈露珠¹, 施文正^{1,2}, 汪之和^{1,2,3*}

(1.上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 2.国家淡水水产品加工技术研发分中心(上海), 上海 201306; 3.上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要: 以自制的南极磷虾羧甲基壳聚糖(CMC)为保鲜剂, 将形体接近的罗氏沼虾浸泡于不同质量分数(0.5%、1.0%、1.5%)的 CMC 中, 取出沥干后形成保鲜薄膜, 以不浸泡 CMC 的罗氏沼虾为对照, 在(4±1) °C 条件下贮藏 7 d, 通过挥发性盐基氮(TVB-N)值、pH、硫代巴比妥(TBA)值、菌落总数、K 值和感官评分等指标来评价罗氏沼虾在贮藏期间的品质变化, 探究南极磷虾 CMC 对罗氏沼虾的保鲜效果。结果表明: 从贮藏 1 d 开始, 同一贮藏时间的 CMC 处理组的 TVB-N 值、TBA 值、菌落总数和 K 值均小于对照组的, 而感官评分高于对照组的; 在贮藏后期(5~7 d)的同一贮藏时间, CMC 处理组的 pH 低于对照组的; 在整个贮藏期间, 除少数几个时间点外, 1.0% CMC 处理组的 TVB-N 值、pH、TBA 值、菌落总数、K 值均小于 0.5%、1.5% CMC 处理组的, 而感官评分则高于 0.5%、1.5% CMC 处理组的。综合可得, 1.0% CMC 对罗氏沼虾的保鲜效果更好, 能有效降低罗氏沼虾体内微生物数量和酶活性, 抑制虾体内蛋白质分解和脂肪氧化程度, 延长罗氏沼虾贮藏期。

关键词: 罗氏沼虾; 南极磷虾; 羧甲基壳聚糖; 贮藏; 保鲜

中图分类号: S983.210.6

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2022)03-0347-08

The fresh-keeping effect of *Antarctic krill* carboxymethyl chitosan on *Macrobrachium rosenbergii*

CHEN Luzhu¹, SHI Wenzheng^{1,2}, WANG Zhihe^{1,2,3*}

(1.College of Food Sciences & Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2.National Research and Development Center for Processing Technology of Freshwater Aquatic Products(Shanghai), Shanghai 201306, China; 3.Shanghai Aquatic Product Processing and Storage Engineering Technology Research Center, Shanghai 201306, China)

Abstract: The *Antarctic krill* carboxymethyl chitosan(CMC) made in the laboratory was selected as the material in this study. The CMC with different mass fractions(0.5%, 1.0%, 1.5%) was used to coat the *Macrobrachium rosenbergii*, without soaking CMC as the control, which kept fresh for 7 days at (4±1) °C. The quality changes of *Macrobrachium rosenbergii* during the fresh-keeping period were evaluated by TVB-N(total volatile base nitrogen) value, pH, TBA(thiobarbituric acid) value, TVC(total number of colonies), K value and sensory scores. The results showed that after 1 day of storage, the TVB-N values, TBA values, TVC and K values of CMC groups were lower than those of control group during the same storage time, while sensory scores were higher than that of control group. At the same storage time during the later stage(5-7 d), the pH of CMC groups were lower than that of the control group. During the whole storage period, except for a few time points, the TVB-N value, pH value, TBA value, TVC and K value of 1.0% CMC group were

收稿日期: 2020-11-03

修回日期: 2022-05-10

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD0902003)

作者简介: 陈露珠(1996—), 女, 江苏徐州人, 硕士研究生, 主要从事水产品加工与贮藏研究, 1907962477@qq.com; *通信作者, 汪之和, 教授, 主要从事水产品加工与综合利用研究, zhwang@shou.edu.cn

lower to those of 0.5% CMC group and 1.5% CMC group, while the sensory score was higher than those of 0.5% and 1.5% CMC group. In conclusion, 1.0% CMC had a better fresh-keeping effect on *Macrobrachium rosenbergii*, which could effectively reduce microorganisms quantity and enzyme activity in *Macrobrachium rosenbergii*, inhibit protein decomposition and fat oxidation in the shrimp, and extend the shelf life of *Macrobrachium rosenbergii*.

Keywords: *Macrobrachium rosenbergii*; Antarctic krill; carboxymethyl chitosan; storage; preservation

罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)营养丰富,是一种优质的动物蛋白资源^[1-3]。然而,虾体在内源酶和其本身附着的微生物的共同作用下,蛋白质等含氮物质极易分解,导致虾的品质变坏,因此,亟需研究罗氏沼虾安全高效的保鲜技术,以延长其货架期。

羧甲基壳聚糖(CMC)是壳聚糖经过羧甲基化反应而成,与壳聚糖不同,CMC具备水溶性,同时在抑菌、成膜等方面也展现出一定的性能优势^[4-5]。目前,大多数对CMC的研究主要是将其作为一种新型保鲜剂应用在果蔬上,如张胜文等^[6]将CMC溶液用于草莓保鲜,发现质量分数为1.5%的CMC溶液能有效缓解草莓贮藏中的品质变化,延长草莓货架期,且与壳聚糖相比,CMC能展现出更好的保鲜性能。CMC对肉类制品的保鲜也有相关报道,韩锐等^[7]研究发现,CMC保鲜液能抑制冷却肉中的单核增生李斯特菌的生长,质量分数为2.0%的CMC能让冷却猪肉的货架期有效延长至第12天。周然等^[8]的研究表明,采用CMC复合保鲜剂可延长河豚鱼冷藏货架期2d。

本研究中,以自制的南极磷虾CMC为保鲜剂,在(4±1)℃条件下对罗氏沼虾进行保鲜,探究不同质量分数南极磷虾CMC保鲜液处理的罗氏沼虾在贮藏过程中的品质变化,并分析CMC的保鲜机理,旨在为今后将CMC应用于水产品保鲜提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

新鲜罗氏沼虾购于上海市浦东新区南汇新城镇水产品店。制备CMC(取代度≥0.95)参照文献[9]的方法并稍作修改。以5g南极磷虾壳聚糖为原料,采用微波加热(功率540W,时间30min),质量分数40%的氢氧化钠溶液100mL,质量分数50%的氯乙酸-异丙醇溶液40mL。

1.2 罗氏沼虾保鲜处理

将新鲜的罗氏沼虾分别在质量分数为0.0%(CK)、0.5%(T1)、1.0%(T2)和1.5%(T3)的CMC保鲜液中浸渍10min后取出,待保鲜液在其表面沥干成膜后,将罗氏沼虾随机分装于聚乙烯保鲜袋内,排除袋内空气,贮藏于(4±1)℃的生化培养箱中进行保鲜试验。试验持续7d。每天取样进行指标测定。

1.3 指标测定及评价

参照文献[10]的方法,测定样品挥发性盐基氮(TVB-N)值。参照文献[11]的方法,测定肌肉pH。参照文献[12]的方法,测定硫代巴比妥酸(TBA)值。参照文献[13]的方法,测定菌落总数。参照WANG等^[14]的方法,采用高效液相色谱测定样品中三磷酸腺苷、二磷酸腺苷、一磷酸腺苷、肌苷酸(IMP)、肌苷、次黄嘌呤(Hx)的质量分数,并计算K值。参照文献[15]的方法进行感官评价。

1.4 数据处理与分析

运用Excel 2010和SPSS 23.0进行数据处理;运用Excel 2010绘图。

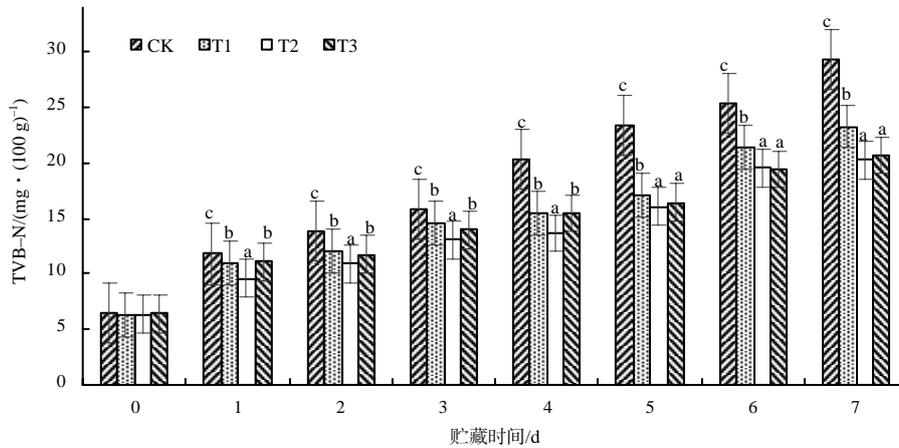
2 结果与分析

2.1 供试虾TVB-N值的变化

在贮藏过程中,罗氏沼虾TVB-N值的变化如图1所示。从图1可知,各组样品的TVB-N值在整个贮藏期中均呈现出不断上升的趋势;同一贮藏时间经由CMC处理后的罗氏沼虾的TVB-N值均显著低于CK的,说明CMC具有一定延缓罗氏沼虾品质腐败的作用。罗氏沼虾的TVB-N限量值为20mg/(100g)^[16]。当保鲜时间达到4d时,CK的TVB-N值已超过限量值的界限,此时罗氏沼虾已不可食用;当保鲜时间到6d时,T1的TVB-N值超过限量值的界限;当保鲜时间到7d时,T2和T3的TVB-N值才超过限量值的界限。除0、6d外,在所有处理中,T2的TVB-N值均为最低。可

见, CMC 处理能有效抑制虾肉中的蛋白分解, 从而有效延缓虾肉腐败, 但 CMC 质量分数与保鲜效果并非成正比关系, 其中 1.0% CMC 处理组抑制

TVB-N 值上升的效果最好, 可将罗氏沼虾的保鲜期由 3 d 延长至 6 d。



同一时间点的图柱上不同字母示组间差异有统计学意义($P < 0.05$)。

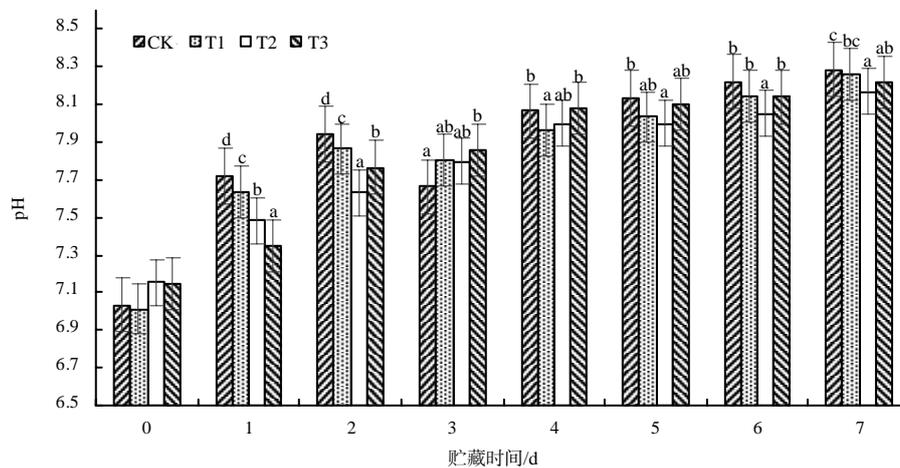
图 1 CMC 保鲜处理的罗氏沼虾的 TVB-N 值

Fig.1 TVB-N value of *Macrobrachium rosenbergii* treated by CMC

2.2 供试虾 pH 的变化

图 2 显示了罗氏沼虾在保鲜过程中的 pH 变化。从图 2 可知, 除 CK 和 T1 的 pH 在 3 d 时下降外, 随着贮藏时间的延长, 各处理组 pH 持续上升; 除 0、3 d 外, CMC 处理组的 pH 均低于 CK 的; 贮藏

后期(5~7 d), T2 的 pH 低于其他组的, 且显著低于 CK 的。说明 CMC 作为保鲜剂可抑制罗氏沼虾 pH 上升, 延长其冷藏时间, 其中, 1.0% CMC 处理组抑制 pH 上升的效果最好。



同一时间点的图柱上不同字母示组间差异有统计学意义($P < 0.05$)。

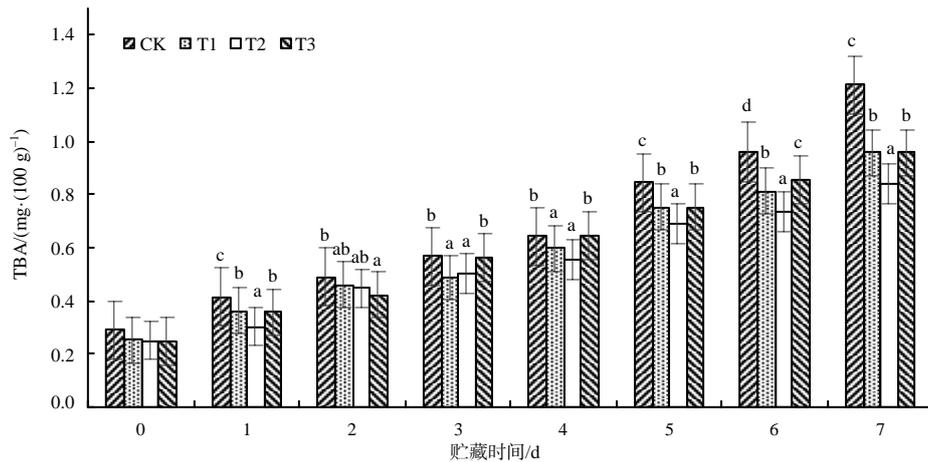
图 2 CMC 保鲜处理的罗氏沼虾的 pH

Fig.2 pH of *Macrobrachium rosenbergii* treated by CMC

2.3 供试虾 TBA 值的变化

图 3 显示了罗氏沼虾在贮藏过程中 TBA 值的变化。各处理组 TBA 值随着贮藏时间的推进而不断上升; CK 的 TBA 值始终高于 CMC 处理组的, 说明

CMC 对脂肪氧化产生一定的抑制效果。贮藏后期(5~7 d), T2 的 TBA 值显著低于其他组的, 说明 1.0% CMC 处理组抑制虾体脂肪氧化的效果最好。



同一时间点的图柱上不同字母示组间差异有统计学意义($P < 0.05$)。

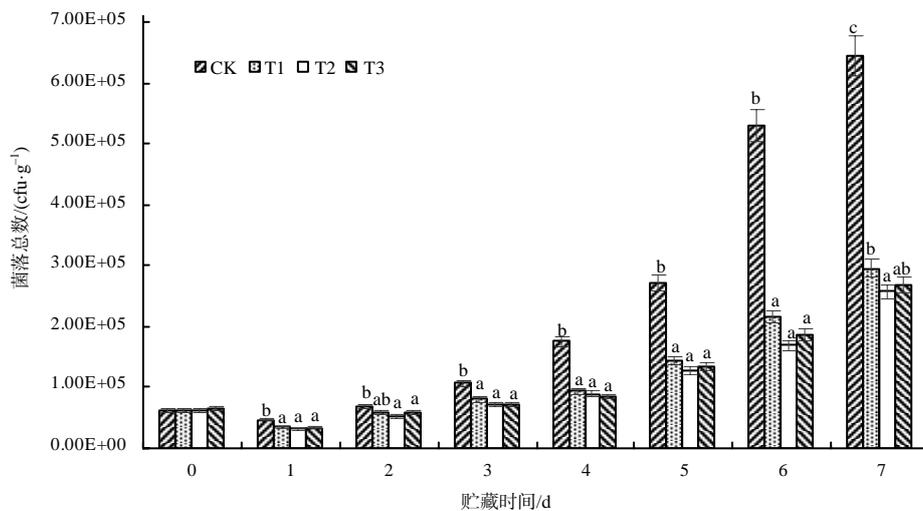
图3 CMC保鲜处理的罗氏沼虾的TBA值

Fig.3 TBA value of *Macrobrachium rosenbergii* treated by CMC

2.4 供试虾菌落总数的变化

由图4可知,贮藏1 d时,各处理组罗氏沼虾的菌落总数均减少,随后各处理的菌落总数均逐渐增加;除0、2 d的T1外,CMC处理组的菌落总数

在保鲜过程中始终显著低于CK的,说明CMC对罗氏沼虾具有一定的抑制微生物生长的作用。除7 d的T1和T2外,同一贮藏时间不同质量分数CMC处理组间的菌落总数差异均无统计学意义。



同一时间点的图柱上不同字母示组间差异有统计学意义($P < 0.05$)。

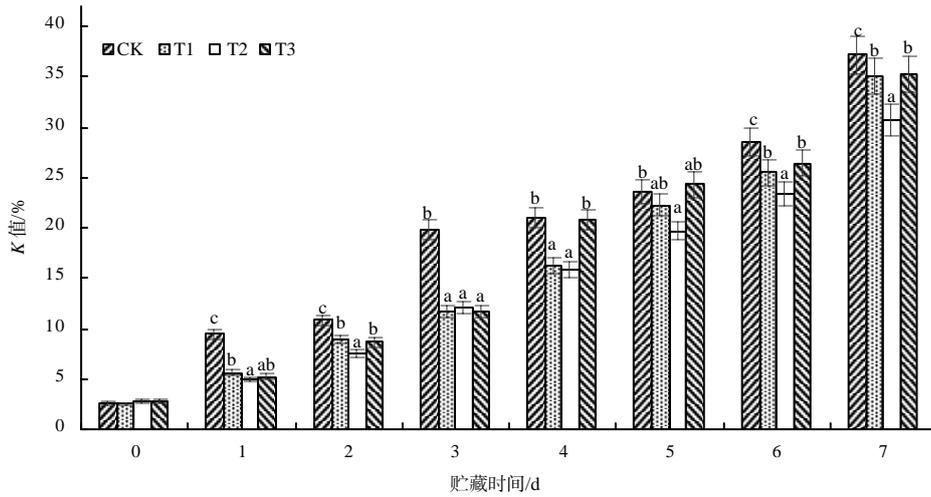
图4 CMC保鲜处理的罗氏沼虾的菌落总数

Fig.4 Total number of colonies of *Macrobrachium rosenbergii* treated by CMC

2.5 供试虾K值的变化

从图5可知,随贮藏时间的增加,罗氏沼虾的K值逐渐增大,其中CK的K值上升速率最大,贮藏7 d时,CK的K值显著高于CMC处理组的;除0、3 d外,T2的K值均最小,且2、6、7 d时,T2的K值显著低于其他组的。从图6可知,贮藏1 d时,所有处理组的罗氏沼虾IMP质量分数均增加,随着贮藏时间的增加,IMP质量分数逐渐降低;

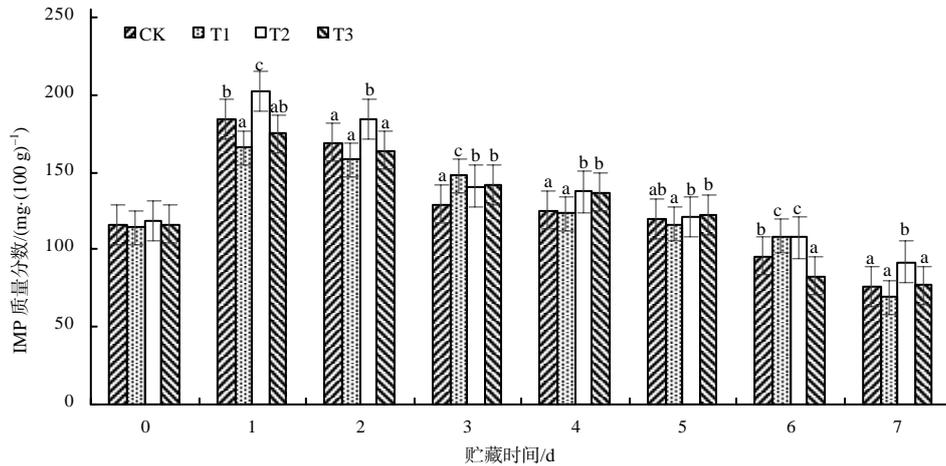
贮藏7 d时,T2的IMP质量分数显著高于其他组的。这与T2的K值最小的结果一致,说明1.0% CMC溶液对罗氏沼虾有较好的保鲜效果。从图7可以看出,在整个贮藏期,各试验组的Hx质量分数均不断增大,各CMC处理组的Hx生成量均低于CK的,说明CMC可延缓罗氏沼虾的品质劣化。其中,T2的Hx质量分数增速最慢,除0、2 d外,T2的Hx质量分数均显著低于CK的,且贮藏7 d时,其Hx质量分数显著低于T1和T3的。



同一时间点的图柱上不同字母示组间差异有统计学意义($P < 0.05$)。

图 5 CMC 保鲜处理的罗氏沼虾的 K 值

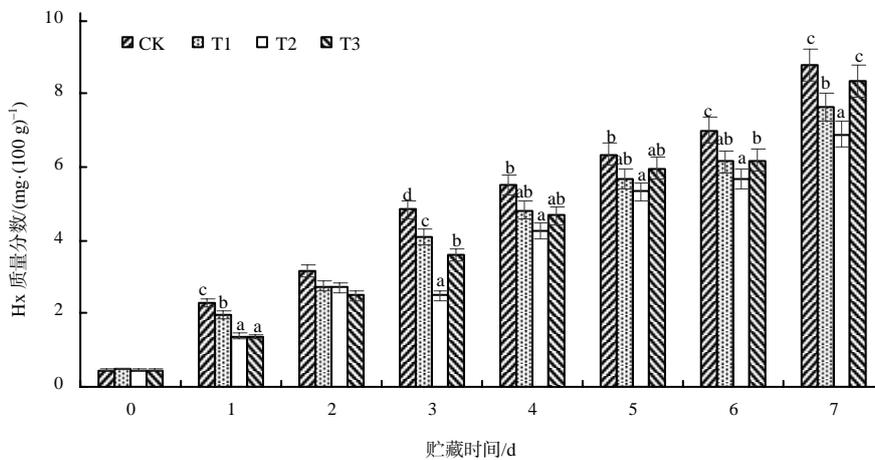
Fig.5 K value of *Macrobrachium rosenbergii* treated by CMC



同一时间点的图柱上不同字母示组间差异有统计学意义($P < 0.05$)。

图 6 CMC 保鲜处理的罗氏沼虾的 IMP 质量分数

Fig.6 IMP mass fraction of *Macrobrachium rosenbergii* treated by CMC



同一时间点的图柱上不同字母示组间差异有统计学意义($P < 0.05$)。

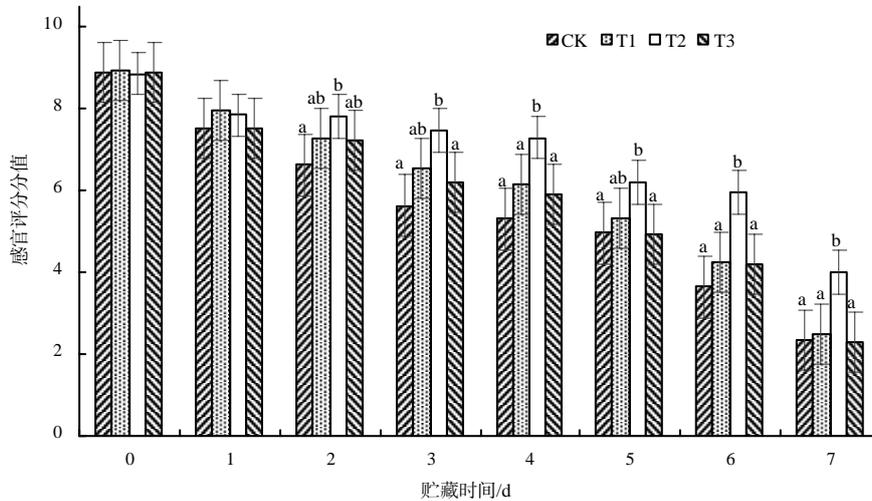
图 7 CMC 保鲜处理的罗氏沼虾的 Hx 质量分数

Fig.7 Hx mass fraction of *Macrobrachium rosenbergii* treated by CMC

2.6 供试虾感官评分的变化

由图8可知,随着贮藏时间增加,罗氏沼虾的感官评分不断下降;经由CMC处理过的罗氏沼虾

的感官评分高于CK的,其中T2的评分最高,除0、1 d外,T2的感官评分均显著高于CK的,且4、6、7 d时,T2的感官评分均显著高于其他组的。



同一时间点的图柱上不同字母示组间差异有统计学意义($P < 0.05$)。

图8 CMC保鲜处理的罗氏沼虾的感官评分

Fig.8 Sensory scores of *Macrobrachium rosenbergii* treated by CMC

3 结论与讨论

本研究中,采用实验室自制的不同质量分数的南极磷虾CMC保鲜罗氏沼虾,通过TVB-N值、pH、TBA值、菌落总数、K值和感官评分等指标反映贮藏过程中罗氏沼虾品质的变化。TVB-N值的大小与虾体内微生物的数量有关。在贮藏过程中,虾体内所富含的蛋白质极易被微生物分解,从而导致大量胺类物质在虾体内积累,使TVB-N值快速增加^[17-18]。CMC处理组TVB-N值显著小于CK的,除0、6 d外,在所有处理中1.0% CMC处理组的TVB-N值均为最低,表明CMC能有效延缓虾肉中蛋白分解的速度,且1.0% CMC处理组抑制TVB-N值上升的效果最好。

在保鲜过程中,CK和T1的pH在贮藏3 d时下降,这可能是由于虾体内糖原发生降解,产生酸类物质所致^[19]。T2与T3的pH未出现下降的情况,说明CMC可在一定程度上控制糖原的降解速率。同时,在虾体内的酶和微生物的共同作用下,碱性化合物在其体内积累,进而导致各处理组pH的持续上升^[20-21]。T2的pH低于其他组,说明1.0% CMC的保鲜效果优于其他组的。

贮藏期内,虾体内脂肪会在光和氧气的作用下持续不断进行水解和氧化反应。TBA是反映脂肪氧化常用指标之一,TBA值与水产品腐败程度呈正相关^[22-23]。贮藏后期(5~7 d),T2的TBA值显著低于其他组的,表明CMC对虾体的脂肪氧化有明显的延缓作用。这可能是由于1.0% CMC的成膜效果良好,能有效隔绝一部分氧气,而1.5% CMC处理组的质量分数过高,溶液比较黏稠,不易形成干燥且完整的薄膜。

微生物在体内生长繁殖,促使食品发生腐败,从而缩短贮藏期^[24-25]。菌落总数的变化可反映虾体腐败的程度。本研究中,贮藏1 d时,各处理组罗氏沼虾的菌落总数均减少,可能是由于虾体上本身附着的细菌在低温和CMC抑菌性的双重作用下产生了延滞期,从而导致菌落总数下降^[26]。

K值一般被用于水产品新鲜程度的评价。K值越大,ATP及其关联产物的降解越严重,鲜度就越差^[27-29]。本研究中,CK组的K值上升速率最大,说明使用南极磷虾CMC作为保鲜剂能抑制ATP及其关联物的降解,减缓罗氏沼虾鲜度的下降,从而延长其货架期。IMP是虾类产品重要的鲜味物质。本研究中,贮藏初期随着ATP的分解,IMP快速在

虾体内积聚, 1 d 时达到最高, 鲜味最好, 此后因不断分解而逐渐下降, 这与李学鹏^[30]的研究结果基本相似。李学鹏^[30]的研究结果还认为, Hx 含量的多少可用来评价虾类的腐败程度。本研究中, 各 CMC 处理组的 Hx 生成量均低于 CK 的, 说明 CMC 处理能延缓虾类的腐败。比较各处理组的 *K* 值、IMP 和 Hx 质量分数, 发现 1.0% CMC 的保鲜效果最好。1.0% 的 CMC 能在贮藏过程中对 Hx 和其他与虾肉不良风味有关的低级产物的生成有明显的抑制作用, 从而能延长虾肉的保鲜期。

在贮藏过程中, 虾体的气味和外观会发生一些变化。这是由于虾体在内源酶和微生物作用下, 蛋白质等含氮物质被分解, 导致虾肉腐败, 从而产生臭味^[31-32]。同时, 由于多酚氧化酶作用, 使酪氨酸发生氧化反应, 产生色素类物质并在体内沉积, 导致虾体变黑^[33]。本研究中, 随着贮藏时间增加, 罗氏沼虾的感官评分不断下降; 贮藏过程中, 经由 CMC 处理过的罗氏沼虾的感官评分高于对照组的, 其中 1.0% CMC 处理组的评分最高。

从罗氏沼虾的 TVB-N 值、pH、TBA 值、菌落总数、*K* 值和感官评分等指标来看, CMC 处理组的保鲜效果明显优于对照组的。综合来看, 1.0% CMC 处理组的效果最佳, 可有效降低罗氏沼虾体内微生物数量和酶活性, 抑制虾体内蛋白质的分解和脂肪氧化程度, 延缓罗氏沼虾品质劣化的过程, 延长货架期。

参考文献:

- [1] 俞亚东. Cu²⁺对罗氏沼虾几种同工酶的影响[D]. 上海: 上海师范大学, 2009.
- [2] D'ABRAMO L R, SHEEN S S. Polyunsaturated fatty acid nutrition in juvenile freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*[J]. *Aquaculture*, 1993, 115(1/2): 63-86.
- [3] KURIS A M, RA'ANAN Z, SAGI A, et al. Morphotypic differentiation of male Malaysian giant prawns, *Macrobrachium rosenbergii*[J]. *Journal of Crustacean Biology*, 1987, 7(2): 219-237.
- [4] 高献礼, 刘玉江, 刘安军, 等. 壳聚糖和 N,O-羧甲基壳聚糖对金黄色葡萄球菌抑菌活性的研究[J]. *现代食品科技*, 2005, 21(1): 25-30.
- [5] 刘红莉. 壳聚糖衍生物的合成及其性质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017.
- [6] 张胜文, 冯伟, 程思, 等. 羧甲基壳聚糖在草莓保鲜中的应用效果研究[J]. *中国酿造*, 2014, 33(5): 142-145.
- [7] 韩锐, 叶盛权, 时威, 等. 羧甲基壳聚糖对冷却猪肉保鲜效果的初步研究[J]. *广东农业科学*, 2011, 38(21): 97-99.
- [8] 周然, 刘源, 谢晶, 等. 羧甲基壳聚糖涂膜保鲜冷藏河豚鱼品质的机理[J]. *制冷学报*, 2011, 32(6): 64-68.
- [9] LIU B, WANG X Y, YANG B, et al. Microwave-assisted synthesis of quaternized carboxymethyl chitosan in aqueous solution and its thermal behavior[J]. *Journal of Macromolecular Science Part A(Pure and Applied Chemistry)*, 2012, 49(3): 227-234.
- [10] GB 5009.228—2016 食品中挥发性盐基氮的测定[S].
- [11] 蓝蔚青, 谢晶, 高志立, 等. 适宜气调包装延缓冷藏鲳鱼品质变化延长货架期(英文)[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(23): 324-331.
- [12] FAUSTMAN C, SPECHT S M, MALKUS L A, et al. Pigment oxidation in ground veal: influence of lipid oxidation, iron and zinc[J]. *Meat Science*, 1992, 31(3): 351-362.
- [13] GB 4789.2—2016 食品微生物学检验 菌落总数测定[S].
- [14] WANG H L, ZHU Y Z, ZHANG J J, et al. Study on changes in the quality of grass carp in the process of postmortem[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2018, 42(6): e12683.
- [15] 张家源, 张洪才, 陈舜胜. 鱼精蛋白复配保鲜剂对南美白对虾的保鲜效果[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(2): 142-149.
- [16] GB 2733—2015 鲜、冻动物性水产品[S].
- [17] WANG H B. Effect of dandelion polysaccharides on the retardation of the quality changes of white shrimp[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2014, 68: 205-208.
- [18] 左映平, 孙国勇, 黎春怡, 等. 利用石菖与肉桂提取液制备复合涂膜保鲜液及在鲜虾保鲜中的效果评价[J]. *农产品加工*, 2018(11): 13-16.
- [19] SHANGE N, MAKASI T N, GOUWS P A, et al. The influence of normal and high ultimate muscle pH on the microbiology and colour stability of previously frozen black wildebeest(*Connochaetes gnou*) meat[J]. *Meat Science*, 2018, 135: 14-19.
- [20] LIMBO S, SINELLI N, TORRI L, et al. Freshness decay and shelf life predictive modelling of European sea bass(*Dicentrarchus labrax*) applying chemical methods and electronic nose[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2009, 42(5): 977-984.

- [21] 徐丽敏. 南美白对虾与鹰爪虾的保鲜及防黑变初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [22] YANAR Y, FENERCIOGLU H. The utilization of carp(*Cyprinus carpio*) flesh as fish ball[J]. Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences, 1999, 23(4), 361-365.
- [23] ZHANG B, DENG S G, WANG Q. Chemical changes related to loss of quality in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during chilled storage under slurry ice conditions[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2015, 39(6): 2507-2515.
- [24] AL-DAGAL M M, BAZARAA W A. Extension of shelf life of whole and peeled shrimp with organic acid salts and bifidobacteria[J]. Journal of Food Protection, 1999, 62(1): 51-56.
- [25] 赵海鹏, 谢晶. 南美白对虾复合生物保鲜剂的优选[J]. 食品科学, 2010, 31(14): 294-298.
- [26] 张军宁. 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)复合保鲜剂的研制及其抑菌机理初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [27] LIT T, LI J R, HU W Z. Changes in microbiological, physicochemical and muscle proteins of post mortem large yellow croaker(*Pseudosciaena crocea*)[J]. Food Control, 2013, 34(2): 514-520.
- [28] 戚晓玉, 李燕, 周培根. 日本沼虾冰藏期间 ATP 降解产物变化及鲜度评价[J]. 水产学报, 2001, 25(5): 482-484.
- [29] 励建荣, 李婷婷, 李学鹏. 水产品鲜度品质评价方法研究进展[J]. 北京工商大学学报(自然科学版), 2010, 28(6): 1-8.
- [30] 李学鹏. 中国对虾冷藏过程中品质评价及新鲜度指示蛋白研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2012.
- [31] HUANG J Y, CHEN Q C, QIU M, et al. Chitosan-based edible coatings for quality preservation of postharvest whiteleg shrimp(*Litopenaeus vannamei*)[J]. Journal of Food Science, 2012, 77(4): C491-C496.
- [32] 尤祯丹, 蒋玉涵, 陈传君, 等. 虾类劣变机制及其天然生物保鲜技术的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(9): 2468-2473.
- [33] ZHOU R, LIU Y, XIE J, et al. Effects of combined treatment of electrolysed water and chitosan on the quality attributes and myofibril degradation in farmed obscure puffer fish(*Takifugu obscurus*) during refrigerated storage[J]. Food Chemistry, 2011, 129(4): 1660-1666.

责任编辑: 邹慧玲
英文编辑: 柳正