

熟制小龙虾冷冻贮藏期间的品质变化研究

郑静静¹, 林 琳^{1,2,3*}, 张艳凌¹, 陆剑锋^{1,2,3}, 姜绍通^{1,2}

(1. 合肥工业大学食品与生物工程学院, 合肥 230009; 2. 安徽省农产品精深加工重点实验室, 合肥 230009;
3. 农产品生物化工教育部工程研究中心, 合肥 230009)

摘 要: **目的** 研究熟制小龙虾冷冻贮藏期间的品质变化。**方法** 以熟制的带壳和去壳小龙虾为原料, 将其在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下贮藏 1 个月, 通过检测虾肉的脂肪氧化程度、pH 值、挥发性盐基氮(total volatile base nitrogen, TVB-N)值、盐溶性蛋白含量、色泽、质构特性等指标, 考察小龙虾在冷冻贮藏期间的品质变化。**结果** 在贮藏期间, 带壳和去壳小龙虾虾肉的脂质氧化程度、pH 值、TVB-N 均呈上升趋势, 总巯基含量和盐溶性蛋白含量持续下降, 去壳虾肉颜色变化不显著, 而带壳虾肉的颜色参数 L^* 值和白度值 W 显著降低, 硬度、弹性、咀嚼度和回复力在贮藏前期下降显著, 之后下降趋势较为平缓。**结论** 带壳和去壳的虾肉在贮藏前期(0~2 周)的各指标无显著差异, 而冷冻贮藏 3 周之后, 带壳虾肉的品质优于去壳虾肉, 冷冻贮藏一个月后, 带壳虾肉和去壳虾肉均可正常食用。

关键词: 小龙虾; 冷冻; 脂肪氧化; 挥发性盐基氮; 颜色

Quality changes of cooked crayfish during frozen storage

ZHENG Jing-Jing¹, LIN Lin^{1,2,3*}, ZHANG Yan-Ling¹, LU Jian-Feng^{1,2,3}, JIANG Shao-Tong^{1,2}

(1. School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Key Laboratory for Agriculture Products Processing of Anhui Province, Hefei 230009, China; 3. Engineering Research Center of Bio-process, Ministry of Education, Hefei 230009, China)

ABSTRACT: Objective To study the quality changes of cooked crayfish during frozen storage. **Methods** The cooked crayfish without and with shell were used as raw materials and stored at $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ for a month. The quality of crayfish during frozen storage was examined by measuring the degree of fat oxidation, pH value, volatile base nitrogen (TVB-N value), salt soluble protein content, color, and texture characteristics of crayfish meat. **Results** During storage, the lipid oxidation, pH value and TVB-N of crayfish with and without shell increased, while the content of total sulfhydryl group and salt soluble protein decreased. The color of crayfish meat without shell had no significant change, but the L^* and W value of crayfish meat with shell decreased significantly. The hardness, elasticity, chewiness and resilience decreased significantly in the early stage of storage, and then decreased gently. **Conclusion** There is no significant difference in the indexes of without and with shell crayfish in the early stage of storage (0~2 weeks), but the quality of crayfish with shell is better than the crayfish without shell after 3 weeks of frozen storage. The crayfish meats both with shell and without shell are edible after 1 month frozen storage.

基金项目: 国家虾蟹产业技术体系项目(CARS-48)、安徽水产产业技术体系项目(NYCYTX-2016-84)

Fund: Supported by China Agriculture Research System (CARS-48) and Anhui Provincial Modern Agro-industry Technology Research System (NYCYTX-2016-84)

***通讯作者:** 林琳, 博士, 副教授, 主要研究方向为水产品加工及贮藏。E-mail: linlin@hfut.edu.cn

***Corresponding author:** LIN Lin, Ph.D, Associate professor, School of Food and biological Engineering, Hefei University of Technology, No. 193, Tunxi Road, Baohe District, Hefei 230009, China. E-mail: linlin@hfut.edu.cn

KEY WORDS: crayfish; freezing; fat oxidation; volatile base nitrogen; color

1 引言

小龙虾(*Procambarus clarkii*)是淡水螯虾的一种,原产于北美,后传入日本,20世纪30年代首见于我国江苏省。小龙虾肉质细嫩,味道鲜美,营养丰富,其中蛋白含量17.7%,脂肪含量0.1%,必需氨基酸含量丰富,多不饱和脂肪酸含量达40%,微量元素比例合理^[1]。近年来小龙虾养殖规模逐年扩大,2018年,我国淡水养殖的甲壳类产品总产量达343.81万吨,其中小龙虾产量163.87万吨^[2]。

虾类的冷冻加工是水产品冷冻加工的重要组成部分,目前主要的加工品种是对虾、淡水小龙虾等,这些产品的生产要经过原料前处理、速冻、包装冷藏等一系列生产工艺。在虾类冷冻加工及后续的冷藏过程中会出现虾体局部变黑问题,造成产品质量下降,严重影响产品外观,甚至失去食用价值。小龙虾产量受季节影响较大,因此其贮藏在小龙虾加工工业中起着非常重要的作用。目前国内外针对水产品冷冻加工和贮藏的研究主要集中于海蟹^[3]、鱼^[4]、对虾^[5]、牡蛎^[6]等,淡水小龙虾的冷冻贮藏相关报道很少,而对于熟制后小龙虾冻藏的研究更少,因此亟需寻求一种有效的小龙虾贮藏保鲜方式,以延缓小龙虾在冷链运输、贮藏、加工过程中品质劣变,最大限度提高小龙虾贮藏保质期,达到在小龙虾上市旺季时存储以便上市淡季加工使用,极大缓解小龙虾上市淡季价格高昂等难题。本文对熟制的去壳和带壳小龙虾肉在-18℃贮藏期间的品质变化进行研究,以期对熟制小龙虾冷冻贮藏过程中的品质监控提供参考。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

小龙虾(17.58 g±1.26 g),取自安徽省合肥市周谷堆水产市场。

盐酸、三氯乙酸(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);总巯基含量检测试剂盒(美国Solarbio公司)。

2.2 仪器与设备

PHS-3C型精密酸度计(上海虹益仪器仪表有限公司);FJ-200高速分散均质机(上海标本模型厂);K9840自动凯氏定氮仪[海能(济南)仪器有限公司];TU-1901分光光度计(北京普析公司);SC-100全自动色差仪(北京康光光学仪器有限公司);TA-XT plus物性测试仪(英国Stable公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 样品处理

预处理:取鲜活小龙虾清洗干净,在沸水中熟制

10 min,煮制期间间歇搅拌3次。熟制后的小龙虾去头,取虾尾部分,冷却,取一部分直接沥干后冷冻,另一部分沥干、手工去壳后进行冷冻。

冷冻:将沥干后的带壳和去壳小龙虾于-18℃下冷冻处理,将温度测定仪探头插入虾体的中心位置测定温度,至虾体中心温度达到-15℃。

贮藏:将冷冻后的小龙虾每10 g放于一个聚乙烯塑料袋中并密封,置于-18℃冰箱下贮藏。每周取样进行各指标的测定,每个样品做3个重复^[7]。

2.3.2 小龙虾样品理化指标的测定

(1)pH的测定

参照GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品pH值的测定》^[8]执行。

(2)TVB-N的测定

参照GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》^[9]执行。

(3)盐溶性蛋白含量的测定

称取2 g虾肉样品于烧杯中,分别加入20 mL高盐离子磷酸缓冲液(0.55 mol/L KCl, 0.02 mol/L NaH₂PO₄-Na₂HPO₄)和20 mL低盐离子磷酸缓冲液(0.05 mol/L KCl, 0.02 mol/L NaH₂PO₄-Na₂HPO₄),用均质机均质(9600 r/min、30 s、5次),将高盐、低盐匀浆液置于4℃环境中,分别浸提3 h和1 h,纱布过滤,除去结缔组织,离心(4℃、8000 r/min、15 min),取上清液加入10 mL 15%三氯乙酸使蛋白质沉淀,并于10000 r/min离心10 min,去除上清液,沉淀用10 mL氢氧化钠溶液(1 mol/L)溶解。取1 mL上述处理试样,加入4 mL双缩脲试剂,显色30 min,于波长为540 nm下测定其吸光值。

(4)总巯基含量的测定

根据试剂盒说明书测定。称取0.1 g样品,加入1 mL的提取液,制备成10%的匀浆,常温下8000 r/min离心10 min,取上清液待测。对照管加入0.2 mL样品、空白管加入0.2 mL标准品,分别加入0.75 mL试剂一和0.5 mL蒸馏水。测定管加入0.2 mL样品、测定管加入0.2 mL标准品,分别加入0.75 mL试剂一和0.75 mL试剂二。混匀,室温10 min,双蒸水调零,于412 nm下测定吸光值。

(5)硫代巴比妥酸值的测定

称取虾肉样品5 g(精确到0.01 g),准确加入50 mL三氯乙酸混合液,摇匀,密封,50℃恒温振荡30 min,冷却至室温,用双层定量慢速滤纸过滤,弃去初滤液,留续滤液备用。准确量取标准系列溶液和上述滤液各5 mL于比色管中,取5 mL三氯乙酸混合液作为样品空白,分别加入硫代巴比妥酸水溶液5 mL,震荡混匀后置于水浴锅(90℃)内反应30 min,取出冷却至室温。以空白试液作参比,于波

长 532 nm 处测定试样溶液吸光度值, 绘制标准曲线。

(6) 色差的测定

将样品切割成 8 mm×8 mm×6 mm 的均匀方块, 采用 SC-100 全自动色差仪进行测定, 使用前用黑板调零, 白板校准。样品的色泽参数 L^* (黑白: 0=黑, 100=白); a^* (红绿偏向: 正值表示红色偏向, 负值表示绿色偏向); b^* (黄蓝偏向: 正值表示黄色偏向, 负值表示蓝色偏向)。白度值 (whiteness, W) 由公式(1)计算:

$$W = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad (1)$$

(7) 质构的测定

将样品切割成 8 mm×8 mm×6 mm 的均匀方块试样, 采用 TA-XT plus 物性仪对其质构进行测定 (使用前进行力量和高高度校准), 参数设定为: 触发类型 Auto (自动)、测试速率为 1 mm/s、返回速率为 1 mm/s、下压距离为 5.00 mm, 两次压缩之间的停留时间为 5 s。压缩探头为不锈钢 P/36R 圆柱形探头。每个样品做 10 次重复。

2.3.3 数据处理

数据以“平均值±标准差”表示, 采用 Office 2017 进行数据处理, SPSS 17.0 进行显著性统计分析, Origin 8.5 软件作图。

3 结果与分析

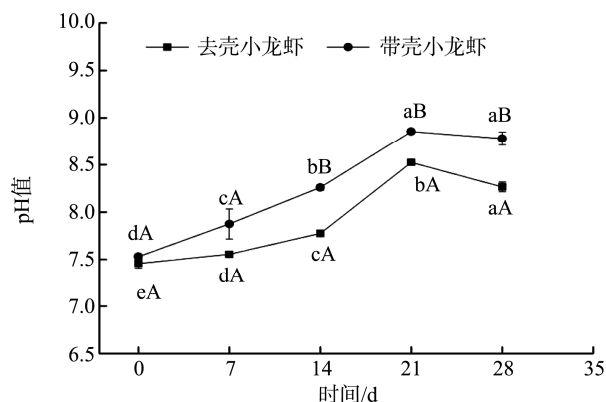
3.1 小龙虾冷冻贮藏期间 pH 值的变化

虾类死亡后, 其体内会发生一系列的生化反应, 这些反应会影响虾肉的 pH 值, 进而会影响虾肉的品质^[10], 因此, pH 值是衡量虾类新鲜度的重要指标之一。由于高温熟制会导致动物体内蛋白质发生热变性, 且在整个贮藏期一直维持在弱碱性条件下, 故熟制后虾肉 pH 值上升到弱碱性, 并且一直维持在较高水平^[11]。从图 1 可见, 带壳和去壳的小龙虾样品在 0 d 时 pH 分别为 7.51 和 7.5, 随后呈上升趋势, 带壳小龙虾虾肉 pH 值始终高于去壳虾肉 pH 值, 可能是由于带壳小龙虾包含虾头, 虾头中含有的内源性蛋白酶使蛋白质水解产生碱性物质造成的^[12]。由于甲壳类水产品的非蛋白氮类组分含量较高, 导致其 pH 值高于其他鱼类和哺乳类动物^[13]。

3.2 小龙虾冷冻贮藏期间挥发性盐基氮的变化

挥发性盐基氮 (total volatile basic nitrogen, TVB-N) 是评价水产品新鲜度的一个重要指标。生鲜类水产品中的蛋白质被酶和微生物分解产生氨等碱性含氮物质, 水产品腐败时与这些含氮物质产生的有机酸结合, 形成盐基态氮聚集在水产品中^[14]。我国 GB 10136-2015《动物性水产制品》规定: TVB-N ≤ 30.0 mg/100 g 均为合格产品^[15]。由图 2 可见, 带壳和去壳小龙虾肉的挥发性盐基氮 (TVB-N) 含量均随着贮藏时间的增加而增加, 尤其在第 3 周之后, 上升较明显。在冷冻贮藏 28 d 时, 去壳小龙虾肉 TVB-N 值为

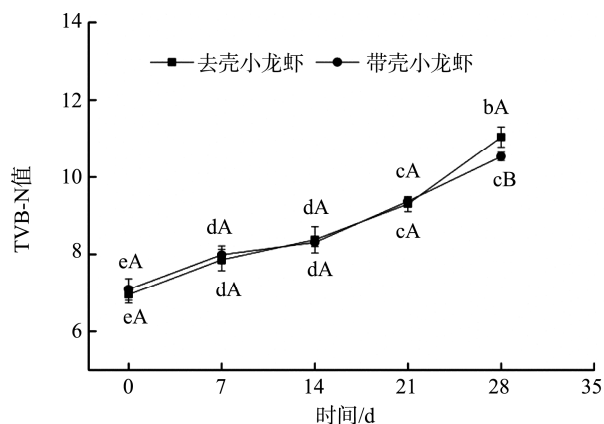
11.04 mg/100 g, 带壳小龙虾肉为 10.53 mg/100 g, 均保持在比较低的水平, 主要是由于低温冷冻降低酶活性的同时抑制了虾体内微生物的繁殖。在 4 周的冷冻贮藏过程中, 去壳小龙虾肉 TVB-N 值显著高于带壳小龙虾的 TVB-N 值, 说明小龙虾外壳对虾肉有保护作用。



注: 不同小写字母表示不同冻藏时间之间差异显著, 不同大写字母表示带壳和去壳小龙虾样品差异显著 ($P < 0.05$)。

图 1 冷冻贮藏期间小龙虾肉 pH 值的变化 ($n=3$)

Fig.1 Changes of pH value of crayfish meat during frozen storage ($n=3$)



注: 不同小写字母表示不同冻藏时间之间差异显著, 不同大写字母表示带壳和去壳小龙虾样品差异显著 ($P < 0.05$)。

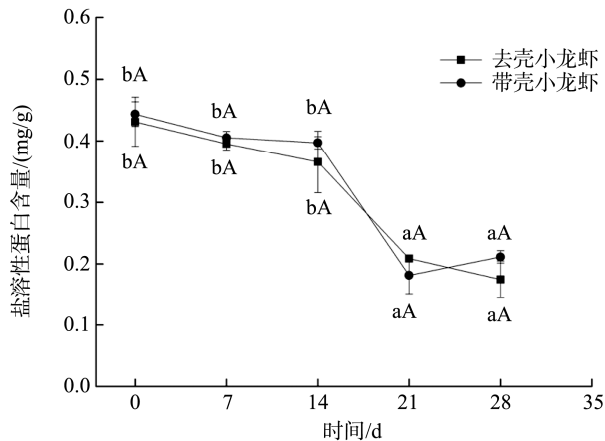
图 2 冷冻贮藏期间小龙虾肉 TVB-N 值的变化 ($n=3$)

Fig.2 Changes of TVB-N value of crayfish meat during frozen storage ($n=3$)

3.3 小龙虾冷冻贮藏期间盐溶性蛋白含量的变化

冻结过程中会发生蛋白质冷冻变性, 通常盐溶性蛋白的含量越低, 说明肉类蛋白的冷冻变性越严重。从图 3 可以看出, 冻藏 4 周后, 去壳小龙虾肉中的盐溶性蛋白的含量从 0.431 mg/g 下降到 0.175 mg/g, 带壳小龙虾肉中的盐溶性蛋白含量从 0.444 mg/g 下降到 0.212 mg/g, 分别下降了 59.4% 和 52.3%。Wu 等^[16]、Xiong 等^[17]研究的结果与本文较为一致。从这些结果可知, 与新鲜的小龙虾相比,

冻结后样品的盐溶性蛋白含量有不同程度的降低, 而且带壳小龙虾样品其蛋白质冷冻变性程度低于去壳小龙虾样品。冻藏过程中, 由于肌动蛋白分子间形成非共价键, 导致蛋白交联聚集, 且肌原纤维蛋白部分结合水形成冰晶, 使得盐溶性蛋白含量下降^[18]。



注: 不同小写字母表示不同冻藏时间之间差异显著, 不同大写字母表示带壳和去壳小龙虾样品差异显著($P<0.05$)。

图3 冷冻贮藏期间小龙虾肉中盐溶性蛋白含量的变化($n=3$)

Fig.3 Changes of the content of salt-soluble protein in crayfish meat during frozen storage ($n=3$)

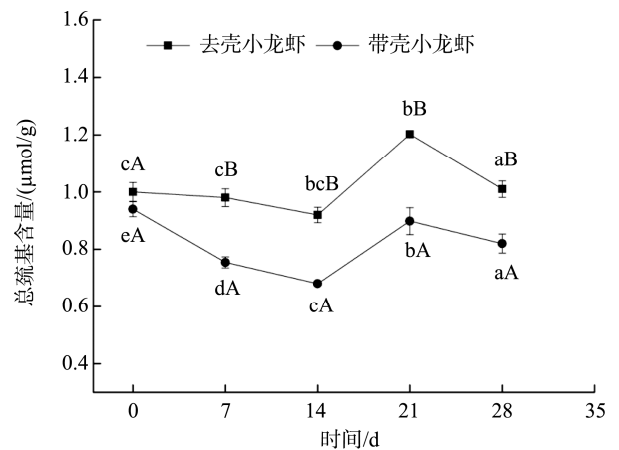
3.4 小龙虾冷冻贮藏期间总巯基含量的变化

巯基是组成蛋白质氨基酸残基中的功能基团, 其含量的多少会影响样品的蛋白质氧化程度。低温贮藏过程中, 虾肉蛋白质发生变性, 使肌球蛋白的分子构象发生变化, 暴露了埋藏在蛋白质分子内部的活性巯基, 进而被氧化成二硫键, 致使肌原纤维蛋白质巯基含量的下降^[19-21]。由图4可见, 在冷冻贮藏期间, 小龙虾肉中总巯基含量的变化存在一定的波动, 在贮藏第3周去壳小龙虾组和带壳小龙虾中总巯基含量出现显著上升, 这可能是由于冷冻贮藏一段时间后, 虾肉中的冰晶生长, 破坏了蛋白质空间结构, 使内部的巯基暴露出来而尚未氧化形成二硫键所造成的^[20]。在冷冻贮藏4周时, 巯基含量有所下降, 说明暴露的巯基进一步被氧化生产二硫键。带壳与去壳小龙虾相比, 带壳小龙虾肉中的巯基含量显著低于去壳虾肉, 这可能与冻藏过程中形成冰晶的大小有关。冻结速率越快, 形成冰晶体积越小, 分布更为均匀^[22]。孙金辉等^[23]研究表明, 低温冻藏样品中水分形成冰晶细小均匀, 蛋白质变性程度相对较低, 而带壳小龙虾由于虾壳保护, 形成冰晶的速率较慢, 冰晶较大, 使虾肉蛋白变性程度增加。

3.5 小龙虾冷冻贮藏期间丙二醛含量的变化

脂质过氧化的终末代谢产物-丙二醛(malondialdehyde, MDA), 其含量常用来反映机体脂质过氧化程度和细胞受

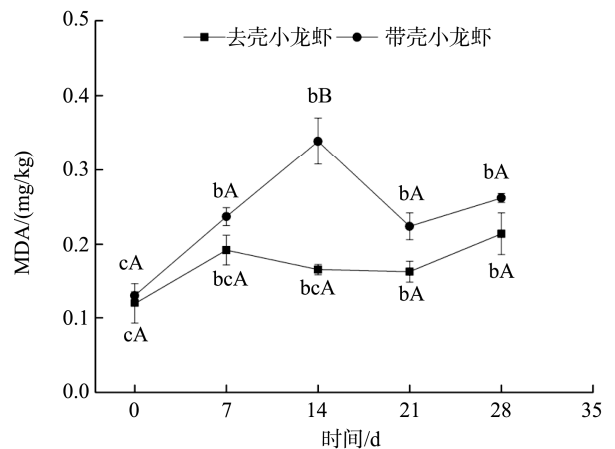
损的程度^[24]。MDA含量越高, 表明小龙虾虾肉的脂肪氧化程度越严重^[25]。由图5可以看出, 小龙虾虾肉中丙二醛含量在贮藏期间呈缓慢上升的趋势, 贮藏1周的小龙虾肉中MDA含量显著升高, 后续随着贮藏时间的延长, 虾肉中的MDA含量变化不显著, 这说明在冷冻贮藏过程中, 小龙虾肉中的脂肪氧化作用主要在贮藏初期发生。随着贮藏时间的延长, 带壳小龙虾MDA含量显著低于去壳小龙虾, 可能是由于带壳小龙虾的虾壳能起到一定的保护作用, 减慢虾肉脂肪氧化酸败的速度。整个冷冻贮藏期间, 带壳和去壳虾肉中的丙二醛含量均低于Beyza建议的可食用水产品的最高限量(8 mg/kg)^[26]。



注: 不同小写字母表示不同冻藏时间之间差异显著, 不同大写字母表示带壳和去壳小龙虾样品差异显著($P<0.05$)。

图4 冷冻贮藏期间小龙虾肉中总巯基含量的变化($n=3$)

Fig.4 Changes of the content of total sorghum in crayfish meat during frozen storage ($n=3$)



注: 不同小写字母表示不同冻藏时间之间差异显著, 不同大写字母表示带壳和去壳小龙虾样品差异显著($P<0.05$)。

图5 冷冻贮藏期间小龙虾肉MDA含量的变化($n=3$)

Fig.5 Changes of MDA content of crayfish meat during frozen storage ($n=3$)

3.6 小龙虾冷冻贮藏期间色差的变化

小龙虾的色泽对小龙虾的外观和食用可接受性有着重要的影响。Xia 等^[27]的研究表明,食品在贮藏过程会发生颜色变化,是由脂质氧化、色素降解等原因所致。由表 1 可知,冷冻贮藏期间,去壳小龙虾虾肉的 a^* 、 b^* 、 L^* 和 W 值虽有变化,但变化不显著($P > 0.05$);带壳小龙虾的虾肉 a^* 、 b^* 变化不显著($P > 0.05$),而 L^* 和 W 值显著降低($P < 0.05$)(表 2)。白度值主要由 L^* 值主导,故其变化趋势和 L^* 值基本一致。 L^* 值降低可能是由于随着冻藏时间的增加,小龙虾虾肉的水分不断流失所致。Thanonkaew 等^[28]认为,颜色与脂质氧化具有一定的相关性。在冷冻贮藏 28 d 后,去壳小龙虾虾肉的 a^* 、 b^* 、 L^* 和 W 值均高于带壳小龙虾虾肉,这与虾肉中 MDA 含量的变化的结果一致。

3.7 小龙虾冷冻贮藏期间质构的变化

质构是描述口腔对食品的感受^[29],是食品品质的评价指标之一,通过质构仪来模拟人体口腔咀嚼运动^[30,31],得到的硬度、弹性、咀嚼性和回复力来研究食品的质构特性。图 6 列出了冷冻贮藏期间去壳和带壳小龙虾质构指标的变化。由图 6 可知,随时间延长,小龙虾虾肉的质构指标数值均下降,贮藏前期下降显著,后期下降较为平缓。张南海^[32]认为内源性和外源性因素共同作用是导致水产品肌肉质构品质下降的原因,冰晶的形成导致肌肉水分流失;内源性酶水解蛋白,使蛋白发生变性、凝聚等,导致冻藏期间小龙虾质构品质下降,而降低到一定程度后变化减缓^[33]。带壳小龙虾组质构指标变化幅度比去壳小龙虾组低,

去壳小龙虾虾肉在贮藏 28 d 时弹性显著高于去壳小龙虾($P < 0.05$),说明小龙虾带壳能更大程度上抑制内源性酶的作用,更好地维持小龙虾肌肉的完整性,保持其原有质构特性。

4 结 论

在一个月冷冻贮藏期间内,随着贮藏时间的延长,去壳小龙虾和带壳小龙虾虾肉的脂肪氧化均缓慢增加,带壳小龙虾虾肉的脂肪氧化程度低于去壳小龙虾;而虾肉中的总巯基含量,在一定范围内波动,去壳小龙虾显著高于带壳小龙虾。冷冻贮藏过程中,虾肉的 pH 和 TVB-N 值均呈上升趋势,在贮藏 28 d 时,带壳小龙虾虾肉的 pH 和 TVB-N 值显著低于去壳小龙虾虾肉;虾肉中的盐溶性蛋白含量在贮藏期间呈下降趋势,带壳和去壳小龙虾虾肉的盐溶性蛋白含量无显著差异。去壳小龙虾的 L^* 、 W 、 a^* 和 b^* 值在贮藏期间无显著变化,而带壳小龙虾的 L^* 和 W 值显著降低。冷冻贮藏期间带壳和去壳小龙虾的硬度、弹性、咀嚼性和回复力呈下降趋势,而带壳小龙虾的弹性在贮藏 28 d 时显著高于去壳小龙虾,其他质构指标无显著差异。综上所述,去壳和带壳的小龙虾在-18 ℃贮藏一个月仍具有较强的可食性,虾壳对虾肉起到一定的保护作用,包括降低脂肪氧化程度、降低 TVB-N 值、保持虾肉弹性等,但由于虾壳的存在可能使冻结过程中形成较大的冰晶,造成水分流失,使虾肉蛋白质变性程度增加,应选择适当的方法对带壳小龙虾进行冻结处理。

表 1 冷冻贮藏期间去壳小龙虾的色差变化
Table 1 Changes of color difference of crayfish without shell during frozen storage

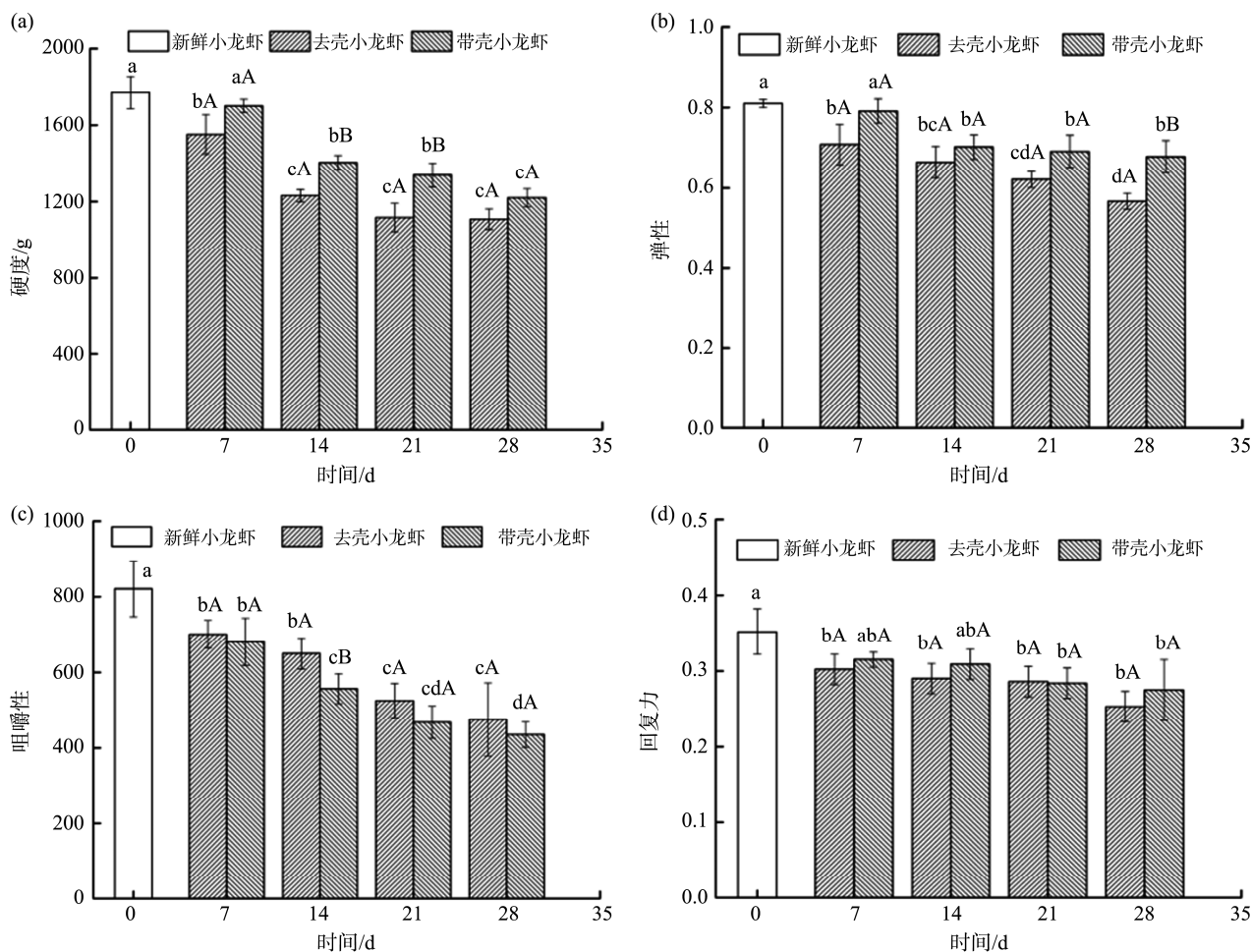
贮藏时间/d	L^*	a^*	b^*	W
0	35.62±0.68 ^a	16.96±0.61 ^{ab}	16.42±1.58 ^a	31.43±2.25 ^a
7	33.66±1.12 ^a	15.39±0.99 ^b	13.35±0.82 ^a	30.60±3.28 ^a
14	33.34±1.88 ^a	16.52±1.85 ^{ab}	14.9±0.72 ^a	29.73±3.22 ^a
21	32.26±0.18 ^a	18.29±0.42 ^{ab}	15.26±1.12 ^a	28.19±0.82 ^a
28	31.83±1.36 ^a	19.87±0.85 ^a	15.82±1.43 ^a	27.25±0.84 ^a

注:同列字母不同,表示差异显著($P < 0.05$)。

表 2 冷冻贮藏期间带壳小龙虾的色差变化
Table 2 Changes of color difference of crayfish with shell during frozen storage

贮藏时间/d	L^*	a^*	b^*	W
0	35.13±0.44 ^a	13.19±1.16 ^a	13.75±1.17 ^a	32.39±0.63 ^a
7	35.46±1.40 ^a	14.79±0.30 ^a	14.14±0.33 ^a	32.29±1.00 ^a
14	30.54±0.66 ^b	13.06±1.23 ^a	10.36±0.38 ^b	28.57±0.06 ^b
21	28.08±1.40 ^b	13.75±1.07 ^a	11.93±1.24 ^{ab}	25.81±3.55 ^c
28	29.27±1.24 ^b	15.44±1.09 ^a	14.2±0.86 ^a	26.22±0.28 ^{bc}

注:同列字母不同,表示差异显著($P < 0.05$)。



注: 不同小写字母表示不同冻藏时间之间差异显著, 不同大写字母表示带壳和去壳小龙虾样品差异显著($P<0.05$)。

图6 冷冻贮藏期间小龙虾硬度(a)、弹性(b)、咀嚼性(c)和回复力(d)的变化($n=10$)

Fig.6 Changes of hardness (a), springiness (b), chewiness (c) and resilience (d) of crayfish meat during frozen storage ($n=10$)

参考文献

- [1] 陈晓明, 成兆友, 赵建民. 盱眙龙虾肌肉营养成分分析与评价[J]. 食品工业科技, 2010, 31(7): 345-349.
Chen XM, Cheng ZY, Zhao JM. Analysis and evaluation of the nutritional composition in muscle of crayfish from Xuyi [J]. Sci Technol Food Ind, 2010, 31(7): 345-349
- [2] 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
Bureau of fisheries of ministry of agriculture of China. China fisheries yearbook [M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2019.
- [3] Benjakul S, Sutthipan N. Muscle changes in hard and soft shell crabs during frozen storage [J]. LWT-Food Sci Technol, 2009, 42: 723-729.
- [4] Tokur B, Ozkutuk S, Atici E, et al. Chemical and sensory quality changes of fish fingers, made from mirror carp (*Cyprinus carpio* L., 1758), during frozen storage (-18°C) [J]. Food Chem, 2006, 99: 335-341.
- [5] Tsironi T, Dermesonlouglou E, Giannakouroul M, et al. Shelf life modelling of frozen shrimp at variable temperature conditions [J]. LWT-Food Sci Technol, 2009, 42: 664-671.
- [6] Songsaeng S, Sophanodora P, Kaewsritthong J, et al. Quality changes in oyster (*Crassostrea belcheri*) during frozen storage as affected by freezing and antioxidant [J]. Food Chem, 2010, 123: 286-290.
- [7] 陈军, 赵立, 孙存玉, 等. 不同前处理方式对冻藏(-18°C)熟制淡水龙虾品质特性的影响[J]. 食品科技, 2012, 37(12): 130-134.
Chen J, Zhao L, Sun CY, et al. Effect of pre-treatments on quality of cooked crayfish meat under frozen storage (-18°C) [J]. Food Sci Technol, 2012, 37(12): 130-134.
- [8] GB 5009.237—2016 食品安全国家标准 食品 pH 值的测定[S].
GB5009.237-2016 National food safety standard-Determination of food pH value [S].
- [9] GB 5009.228—2016 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定[S].
GB 5009.228-2016 National food safety standard-Determination of the total volatile basic nitrogen in food [S].
- [10] 李高尚, 陈燕婷, 宣仕芬, 等. 不同处理方式对虾蛄脱壳效率及肌肉品质的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(8): 1551-1558.
Li GS, Chen YT, Xuan SF, et al. Effect of different treatments on the shelling efficiency and muscle quality of *Oratosquilla oratoria* [J]. J Nucl

- Agric Sci, 2019, 33(8): 1551–1558.
- [11] Zhang L, Li X, Lu W, *et al.* Quality predictive models of grass carp (*Ctenopharyngodonidellus*) at different temperatures during storage [J]. Food Control, 2011, 22(8): 1197–1201.
- [12] 李锐, 邹茜, 孙玉林, 等. 紫外诱导克氏原螯虾头自溶制备蛋白酶解液及其鲜味物质研究[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(3): 153–160.
- Li R, Zou Q, Sun YL, *et al.* Preparation of protein hydrolysates from crayfish (*Procambarus clarkia*) head by ultraviolet-induced autolysis and study on their umami substances [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(3): 153–160.
- [13] 赵立, 陈军, 郭振, 等. 冷冻处理的熟制虾肉在保鲜条件下的货架期[J]. 食品科技, 2012, 37(4): 128–133.
- Zhao L, Chen J, Guo Z, *et al.* Shelf life of cooked crayfish meat treated with freezing under keeping–fresh storage [J]. Food Sci Technol, 2012, 34(4): 128–133.
- [14] Kuswandi B, Jayus, Larasati TS, *et al.* Real-time monitoring of shrimp spoilage using on-package sticker sensor based on natural dye of curcumin [J]. Food Anal Method, 2012, 5(4): 881–889.
- [15] GB 10136–2015 食品安全国家标准 动物性水产制品[S].
GB 10136–2015 National food safety standard–Aquatic products of animal origin [S].
- [16] Wu H, Wang Z, Luo Y, *et al.* Quality changes and establishment of predictive models for bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fillets during frozen storage[J]. Food Bioprocess Technol, 2014, 7(12): 3381–3389.
- [17] Xiong G, Cheng W, Ye LX, *et al.* Effects of konjacglucomannan on physicochemical properties of myofibrillar protein and surimi gels from grass carp (*Ctenopharyngodonidella*) [J]. Food Chem, 2009, 116(2): 413–418.
- [18] 崔琨. 速冻方式和贮藏温度对带鱼品质影响的研究[D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2011.
- Cui J. Study on quality changes of *Trichiurus haumela* subjected to different frozen methods and storage temperature [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2011.
- [19] Wang L, Xiong G, Peng Y, *et al.* The cryoprotective effect of different konjacglucomannan (KGM) hydrolysates on the glass carp (*Ctenopharyngodonidella*) myofibrillar during frozen storage [J]. Food Bioprocess Technol, 2014, 7(12): 3398–3406.
- [20] 胡亚芹, 胡庆兰, 杨水兵, 等. 不同冻结方式对带鱼品质影响的研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(2): 23–30.
- Hu YQ, Hu QL, Yang SB, *et al.* Effects of different freezing methods on the quality of *Trichiurus haumela* [J]. Mod Food Sci Technol, 2014, 30(2): 23–30.
- [21] Liu Q, Chen Q, Kong B, *et al.* The influence of superchilling and cryoprotectants on protein oxidation and structural changes in the myofibrillar proteins of common carp (*Cyprinus carpio*) surimi [J]. LWT–Food Sci Technol, 2014, 57(2): 603–611.
- [22] 蒋慧珠. 冻结解冻工艺对鲢鱼品质及贮藏温度对秋刀鱼品质影响的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
- Jiang HZ. The effects of freezing, thawing on the quality of Spanish mackerel and storage temperature on the quality of Pacific saury [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [23] 孙金辉. 冻藏、反复冻融及解冻方式对兔肉品质的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- Sun JH. The effect of frozen storage, freeze–thaw cycles and thawing methods on the quality of rabbit meat [D]. Chongqing: Southwest University, 2013.
- [24] 鞠雪, 王秋举, 罗莎, 等. 氧化鱼油对草鱼幼鱼脂质过氧化及抗氧化酶活性的影响[J]. 南京农业大学学报, 2015, 38(3): 491–496.
- Ju X, Wang QJ, Luo S, *et al.* Effects of oxidized fish oil on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. J Nanjing Agric Univ, 2015, 38(3): 491–496.
- [25] 江燕华, 林才云, 朱文嘉, 等. 不同冰衣量对冻虾品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(16): 4375–4380.
- Jiang YH, Lin CY, Zhu WJ, *et al.* Effects of different ice glaze content on the quality of frozen shrimp [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(16): 4375–4380.
- [26] Beyza E, Emine A, Akif Ö. The effect of thawing methods on the quality of eels (*Anguilla anguilla*) [J]. Food Chem, 2008, 111(2): 377–380.
- [27] Xia X, Kong B, Liu J, *et al.* Influence of different thawing methods on physicochemical changes and protein oxidation of porcine longissimus muscle [J]. LWT–Food Sci Technol, 2012, 46(1): 280–286.
- [28] Thanonkaew A, Benjakul S, Visessanguan W, *et al.* The effect of metal ions on lipid oxidation, colour and physicochemical properties of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) subjected to multiple freeze–thaw cycles [J]. Food Chem, 2006, 95(4): 591–599.
- [29] Yang JH, Park HJ, Jang HD, *et al.* Measurement of cooked rice stickiness with consideration of contact area in compression test [J]. J Texture Stud, 2018, 49(6): 639–645.
- [30] Xu Y, Liu Y, Jiang C, *et al.* Determination of volatile compounds in turbot (*Psetta maxima*) during refrigerated storage by headspace solid–phase microextraction and gas chromatography–mass spectrometry [J]. J Sci Food Agric, 2014, 94(12): 2464–2471.
- [31] Shi J, Zhang L, Lei Y, *et al.* Differential proteomic analysis to identify proteins associated with quality traits of frozen mud shrimp (*Solenocera melanthera*) using an iTRAQ–based strategy [J]. Food Chem, 2018, 251: 25–32.
- [32] 张南海. 不同冻结方式、贮藏温度和解冻方式对彭泽鲫品质的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2018.
- Zhang NH. Effect of different freezing methods, storage temperature and thawing methods on the quality of pengze crucian carp (*Carassius auratus* var. Pengze) [D]. Nanchang: Nanchang University, 2018.
- [33] Liu D, Liang L, Xia W, *et al.* Biochemical and physical changes of grass carp (*Ctenopharyngodonidella*) fillets stored at –3 and 0 °C [J]. Food Chem, 2013, 140(1): 105–114.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介

郑静静, 硕士研究生, 主要研究方向
为水产品加工与贮藏。
E-mail: 953999670@qq.com

林 琳, 博士, 副教授, 主要研究方向
为水产品加工及贮藏。
E-mail: linlin@hfut.edu.cn

