

章梦丹,张俊杰,黄鸿兵,等. 不同低温循环水暂养时间对克氏原螯虾肌肉品质和健康状况的影响[J]. 江苏农业学报,2024,40(5):905-912.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2024.05.015

不同低温循环水暂养时间对克氏原螯虾肌肉品质和健康状况的影响

章梦丹¹, 张俊杰¹, 黄鸿兵², 许志强², 徐宇², 袁孝春³, 张美琴², 邵俊杰²

(1.江苏海洋大学海洋食品与生物工程学院,江苏 连云港 222000; 2.江苏省淡水水产研究所,江苏 南京 210000; 3.江苏盱眙龙虾产业发展股份有限公司,江苏 淮安 211700)

摘要: 为探讨低温(5~6℃)循环水暂养时间对克氏原螯虾肌肉品质、健康状况的影响,各处理组随机选取20尾初始体重为(25.28±1.56)g的克氏原螯虾进行低温暂养,对试验起始阶段(对照)与低温暂养15 d、30 d的克氏原螯虾的肌肉营养成分、肌肉氨基酸组成和含量、肌肉离心损失率和蒸煮损失率、肌肉质地特性及肝胰腺抗氧化指标进行分析。结果显示,与试验起始阶段相比,随着低温暂养时间延长至30 d,克氏原螯虾肌肉脂肪含量显著下降($P<0.05$);随着暂养时间延长至15 d、30 d,克氏原螯虾肌肉的蛋白质含量显著下降($P<0.05$)。与试验起始阶段相比,低温暂养15 d、30 d的克氏原螯虾肌肉中甲硫氨酸含量、精氨酸含量、谷氨酸含量、天冬氨酸含量、丙氨酸含量、甘氨酸含量、酪氨酸含量均无显著变化,而组氨酸含量呈下降趋势,其余氨基酸含量从低温暂养15 d或30 d开始显著上升($P<0.05$);必需氨基酸含量、鲜味氨基酸含量和总氨基酸含量整体较为稳定($P>0.05$)。与试验起始阶段相比,低温暂养15 d、30 d的克氏原螯虾肌肉的离心损失率、蒸煮损失率的变化不显著($P>0.05$),肌肉的硬度从低温暂养15 d开始显著下降,肌肉的恢复性在低温暂养30 d时显著下降($P<0.05$),肌肉的咀嚼性、弹性无显著变化($P>0.05$)。与试验起始阶段相比,低温暂养15 d、30 d的克氏原螯虾肝胰腺中谷胱甘肽过氧化物酶活性呈显著下降趋势($P<0.05$),并在低温暂养30 d时降至最低值,显著低于试验初始阶段。研究结果显示,在低温下暂养30 d不会显著影响克氏原螯虾的肌肉品质和健康状况,后期可调整暂养参数以完善养殖技术。

关键词: 克氏原螯虾; 低温循环水暂养; 营养成分; 氨基酸含量; 抗氧化指标

中图分类号: S966.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2024)05-0905-08

Effects of different low-temperature circulating water culture durations on muscle quality and health status of *Procambarus clarkii*

ZHANG Mengdan¹, ZHANG Junjie¹, HUANG Hongbing², XU Zhiqiang², XU Yu², YUAN Xiaochun³, ZHANG Meiqin², SHAO Junjie²

(1.School of Ocean Food and Biological Engineering, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222000, China; 2.Freshwater Fisheries Research Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210000, China; 3.Jiangsu Xuyi Lobster Industry Development Co., Ltd., Huai'an 211700, China)

收稿日期:2024-03-05

基金项目: 江苏现代农业(克氏原螯虾)产业技术体系种质创新与苗种繁育创新团队项目[JATS(2023)372];江苏省种业振兴“揭榜挂帅”项目[JBCS(2021)119]

作者简介: 章梦丹(1999-),女,江苏江阴人,硕士研究生,主要从事食品加工与安全方面的研究。(E-mail)1043204418@qq.com

通讯作者: 邵俊杰, (E-mail) shaojj0612@126.com

Abstract: In order to investigate the effects of low-temperature (5–6℃) circulating water culture durations on the muscle quality and health status of crayfish, 20 crayfish with an initial body weight of (25.28±1.56) g were randomly selected from each treatment group for low-temperature culture, and the muscle nutrient composi-

tion, muscle amino acid composition and content, muscle centrifugal loss rate and cooking loss rate, muscle texture characteristics and hepatopancreas antioxidant indexes of *Procambarus clarkii* at the initial stage of the experiment (control) and low temperature culture for 15 d and 30 d were analyzed. The results showed that compared with the initial stage of the experiment, the muscle fat content of *Procambarus clarkii* cultured at low temperature for 30 days decreased significantly ($P < 0.05$). The muscle protein content of *Procambarus clarkii* cultured at low temperature for 15 days and 30 days decreased significantly ($P < 0.05$). Compared with the initial stage of the experiment, there were no significant changes in methionine content, arginine content, glutamic acid content, aspartic acid content, alanine content, glycine content and tyrosine content in the muscle of *Procambarus clarkii* cultured at low temperature for 15 days and 30 days, while the content of histidine decreased, and the content of other amino acids began to increase significantly at 15 days or 30 days of low temperature culture ($P < 0.05$). The contents of essential amino acids, umami amino acids and total amino acids were relatively stable ($P > 0.05$). Compared with the initial stage of the experiment, there were no significant changes in the centrifugal loss rate and cooking loss rate of the muscle of *Procambarus clarkii* cultured at low temperature for 15 days and 30 days ($P > 0.05$). The hardness of the muscle began to decrease significantly from 15 days of low temperature culture, and the recovery of the muscle decreased significantly at 30 days of low temperature culture ($P < 0.05$). Moreover, there were no significant changes in muscle chewiness and elasticity ($P > 0.05$). Compared with the initial stage of the experiment, the activity of glutathione peroxidase in the hepatopancreas of *Procambarus clarkii* cultured at low temperature for 15 days and 30 days showed a significant downward trend ($P < 0.05$), and decreased to the lowest value at 30 days of low temperature culture. The results of this study showed that culture at low temperature for 30 days did not significantly affect the muscle quality and health status of *Procambarus clarkii*, and the culture parameters could be adjusted at the later stage to improve the culture technology.

Key words: *Procambarus clarkii*; low temperature circulating water culture; nutrient composition; amino acid content; antioxidant index

克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*), 俗称小龙虾, 属节肢动物门、螯虾科^[1]。克氏原螯虾因具有味道鲜美、营养丰富等优点而深受消费者喜爱, 近年来逐渐成为夏季餐饮业的“顶流”^[2]。2022 年中国克氏原螯虾产量达 $2.890\,7 \times 10^6$ t, 产业综合产值达 4.580×10^{11} 元^[3]。然而, 克氏原螯虾供应的季节效应非常明显, 每年 5-7 月全面上市, 产量高且肉质肥美、价格较低。但是在冬春季节, 虾源数量、质量显著下降, 且价格较高, 无法满足市场需求。因此, 如何实现克氏原螯虾错峰上市, 已经成为整个产业亟待解决的问题。

目前, 常见的水产品贮存方法主要有物理贮存法、化学贮存法和生物贮存法^[4], 在水产品贮存过程中常出现品质劣变、食用安全受到威胁、成本高等问题。与水产品贮存相比, 低温保活更能维持产品的鲜度并防止运输保活过程中产品的失重, 从而提高存活率、简化运输管理、降低运输成本^[5-7]。目前, 国内外低温保活研究主要集中在鱼类方面, 研究者对鱼类的低温保活方法研究得较多。范秀萍等^[8]对鱼类的研究发现, 低温运输可以减缓环境压力引起的鱼应激反应, 降低

鱼体内的转氨酶活性、血液激素水平, 从而延长鱼的存活时间。此外, 在低温下运输海鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus*), 能够降低海鲈鱼体内的酶活性和新陈代谢, 有助于提高鱼类进入低温休眠状态后在短时间 (8 h) 运输过程中的存活率^[9]。Graham Brown 等^[10]指出, 在水温较低条件下, 鱼类活动会明显减少, 从而减缓鱼类的新陈代谢。在虾类的保活方面, 谢佳彦等^[11]在 (0.5~1.0) °C/h 的降温速率下将水温降至 10 °C, 经 44 h 运输后, 脊尾白虾 (*Exopalaemon carinicauda*) 的成活率达到 92.5%。此外, Chang 等^[12-13]探究了温度差异对龙虾 (*Palinuridae*) 应激反应的影响, 为低温保活的深入研究提供了可靠依据。

鉴于目前关于低温暂养条件下克氏原螯虾肌肉品质、健康状况变化的报道很少, 本研究拟通过构建克氏原螯虾低温循环水暂养装置, 开展不同低温循环水暂养时间对克氏原螯虾肌肉营养成分、氨基酸组成和含量、质构特性及肝胰腺抗氧化指标影响的研究, 为提升克氏原螯虾的低温循环水暂养技术提供适宜参数。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验所用克氏原螯虾购自江苏省淮安市盱眙县马坝克氏原螯虾养殖基地,初始体重为1尾(25.28 ± 1.56) g,共180尾,将试验用虾运至江苏省淡水水产研究所进行试验。

1.2 低温循环水暂养装置的构建

养殖设备主要包括养殖箱(60 cm×40 cm×30 cm)、养殖恒温机、潜水泵等。系统工艺流程见图1,循环箱内的废水经养殖箱底部排水管处的不锈钢筛网过滤,以去除其中的残留饵料、粪便等固体污染物。固体污染物被滤棉吸附,通过人工更换滤棉,最终排出循环系统。过滤后的水通过水泵回流到养殖水箱内,实现水的循环利用。

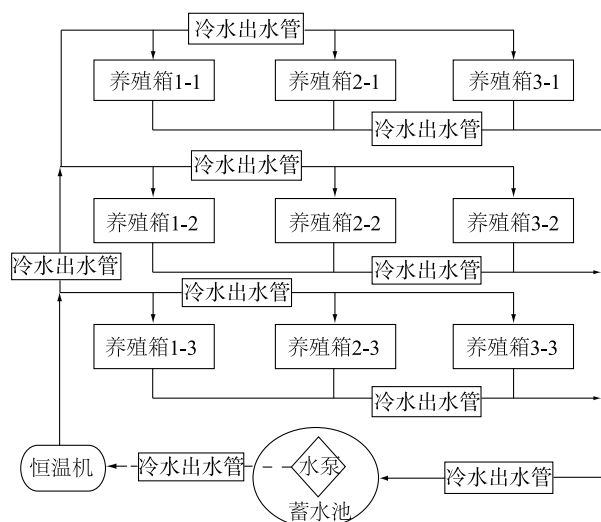


图1 低温循环水暂养装置

Fig.1 Low-temperature circulating water temporary feeding device

1.3 样品处理

试验设计按低温暂养时间分为3组,具体为试验起始阶段的对照组与暂养15 d、30 d的试验组,每组设3个重复,每个重复选用体格健壮、规格统一的克氏原螯虾20尾,储存于养殖箱中,用低温循环水(水温为5~6℃)暂养。试验用水经恒温机降温。在暂养期间,每日增氧24 h,保持水中的溶解氧质量浓度为7~9 mg/L,氨态氮质量浓度低于0.30 mg/L, pH值为7~8,水温为5~6℃。

1.4 指标的测定

在克氏原螯虾暂养期间,分别选取试验起始阶段与暂养15 d、30 d的克氏原螯虾各20尾,采集虾尾部肌肉进行常规营养成分、氨基酸组成和含量及质构特性等指标的测定。采集肝胰腺进行抗氧化指标的测定。

1.4.1 肌肉营养成分含量的测定 水分含量的测定参照《食品安全国家标准 食品中水分的测定》(GB 5009.3-2016)中的干燥法^[14];蛋白质含量的测定参照《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》(GB 5009.5-2016)中的凯氏定氮法^[15];脂肪含量的测定参照《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》(GB 5009.6-2016)中的索氏抽提法^[16];灰分含量的测定参照《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》(GB 5009.4-2016)中的灼烧法^[17]。

1.4.2 氨基酸含量的测定 氨基酸含量的测定参照《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》(GB 5009.124-2016)^[18]。

1.4.3 肌肉持水力的测定 离心损失率的测定方法如下:取2 g克氏原螯虾肌肉样品,4℃离心(15 000 g,15 min)后称重。蒸煮损失率的测定方法如下:取2 g克氏原螯虾肌肉样品,于72℃水浴锅中蒸煮15 min,然后冷却并称重,每组样品平行测定3次。相关公式如下:离心损失率=(离心前重量-离心后重量)/离心前重量×100%;蒸煮损失率=(蒸煮前重量-蒸煮后重量)/蒸煮前重量×100%。

1.4.4 肌肉质构的测定 取克氏原螯虾尾部肌肉,切成1.0 cm×1.0 cm×1.0 cm的小块。采用英国Stable Micro System公司的TA-XT plus质地分析仪,用剖面分析法(TPA)测定肌肉的硬度、咀嚼性、弹性、凝聚性和恢复性。选择的探头型号为P/50;测试前速度为1.0 mm/s,测试过程中的速度为2.0 mm/s,测试后的速度为5.0 mm/s,压缩比为70%,2次压缩间隔时间为5 s,负载类型为Auto-5 g。

1.4.5 抗氧化指标的测定 取克氏原螯虾肝胰腺,测定总抗氧化能力(T-AOC)、过氧化氢酶(CAT)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性、丙二醛(MDA)含量和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性,以上指标均用南京建成生物工程研究所的试剂盒进行测定。

1.5 数据处理

试验数据用SPSS Statistics 23.0进行统计分析,在单因素方差分析的基础上,用Duncan's法进行组

间多重比较, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 低温暂养时间对克氏原螯虾肌肉基本营养成分的影响

表 1 显示,随着暂养时间的延长,克氏原螯虾肌肉水分含量、灰分含量无显著变化($P>0.05$),克氏原螯虾肌肉的脂肪含量在暂养 30 d 时显著下降($P<0.05$),蛋白质含量在暂养时间延长至 15 d 时开始显著下降($P<0.05$)。

表 1 不同低温暂养时间对克氏原螯虾肌肉基本营养成分的影响
Table 1 Effects of different low-temperature culture durations on the basic nutrient composition of crayfish muscle

低温暂养时间(d)	水分含量 (%)	灰分含量 (%)	脂肪含量 (%)	蛋白质含量 (%)
0	80.21±0.06a	1.30±0.07a	1.29±0.04a	11.67±2.44a
15	80.17±0.07a	1.30±0.10a	1.27±0.04a	8.99±1.19b
30	80.05±0.10a	1.28±0.09a	1.11±0.21b	8.95±0.59b

同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 低温暂养时间对克氏原螯虾肌肉氨基酸含量的影响

表 2 显示,在低温下暂养 30 d 时,克氏原螯虾肌肉中的赖氨酸含量、亮氨酸含量、异亮氨酸含量、苏氨酸含量、缬氨酸含量、苯丙氨酸含量、丝氨酸含量呈显著上升趋势($P<0.05$);低温暂养 15 d 起,组氨酸含量呈显著下降趋势($P<0.05$);其余氨基酸含量在不同处理间均无显著差异。此外由表 2 还可以看出,必需氨基酸含量、鲜味氨基酸含量和总氨基酸含量整体呈稳定趋势。

2.3 低温暂养时间对克氏原螯虾肌肉持水力的影响

表 3 显示,随着低温暂养时间的延长,克氏原螯虾肌肉的离心损失率、蒸煮损失率无显著变化($P>0.05$)。

2.4 低温暂养时间对克氏原螯虾肌肉质构特性的影响

表 4 显示,随低温暂养时间延长,克氏原螯虾肌肉的硬度显著下降($P<0.05$)。当低温暂养 30 d 时,克氏原螯虾肌肉的恢复性显著下降($P<0.05$),凝聚性显著上升($P<0.05$)。在低温暂养过程中,克氏原螯虾肌肉的咀嚼性、弹性没有显著变化($P>0.05$)。

表 2 不同低温暂养时间对克氏原螯虾肌肉中氨基酸组成及含量的影响
Table 2 Effects of different low-temperature culture durations on amino acid composition and content in crayfish muscle

项目	试验起始阶段	低温暂养 15 d	低温暂养 30 d
赖氨酸*含量(%)	1.18±0.02b	1.17±0.06b	1.48±0.00a
甲硫氨酸*含量(%)	0.31±0.00a	0.29±0.04a	0.28±0.01a
亮氨酸*含量(%)	1.14±0.02b	1.11±0.05b	1.48±0.01a
异亮氨酸*含量(%)	0.63±0.02b	0.67±0.01b	0.80±0.01a
苏氨酸*含量(%)	0.55±0.01b	0.55±0.04b	0.69±0.01a
缬氨酸*含量(%)	0.64±0.03c	0.69±0.02b	0.79±0.00a
苯丙氨酸*含量(%)	0.60±0.03b	0.63±0.06b	0.70±0.01a
组氨酸*含量(%)	0.43±0.02a	0.35±0.01b	0.37±0.01b
精氨酸*含量(%)	2.00±0.01a	1.52±0.08a	1.63±0.03a
谷氨酸 [△] *含量(%)	2.36±0.04a	2.22±0.03a	2.03±0.01a
天冬氨酸 [△] *含量(%)	1.87±0.02a	1.44±0.08a	1.46±0.03a
丙氨酸 [△] *含量(%)	0.95±0.01a	0.89±0.06a	1.03±0.01a
甘氨酸 [△] *含量(%)	0.69±0.03a	0.65±0.03a	0.66±0.00a
酪氨酸 [△] 含量(%)	0.42±0.00a	0.49±0.06a	0.47±0.01a
丝氨酸 [△] 含量(%)	0.50±0.05b	0.51±0.02b	0.73±0.01a
必需氨基酸含量(%)	7.48±0.07a	6.98±0.05a	8.22±0.03a
非必需氨基酸含量(%)	4.92±0.02a	4.76±0.01a	4.92±0.01a
鲜味氨基酸含量(%)	5.87±0.06a	5.20±0.29a	5.18±0.11a
总氨基酸含量(%)	14.27±0.42a	13.18±0.73a	14.60±0.28a
必需氨基酸与氨基酸总量比值	0.52±0.02a	0.53±0.02a	0.56±0.01a
鲜味氨基酸与氨基酸总量比值	0.41±0.01a	0.39±0.02a	0.35±0.01a

标注“*”的表示必需氨基酸,标注“[△]”的表示鲜味氨基酸,标注“[△]”的表示非必需氨基酸。同行数据后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 3 不同低温暂养时间对克氏原螯虾肌肉离心损失率和蒸煮损失率的影响
Table 3 Effects of different low-temperature culture durations on centrifugal loss rate and cooking loss rate of crayfish muscle

低温暂养时间(d)	离心损失率 (%)	蒸煮损失率 (%)
0	14.52±2.54a	19.07±2.03a
15	16.14±2.33a	22.73±2.32a
30	18.08±2.03a	25.32±2.08a

同列数据后标有相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$)。

表 4 不同低温暂养时间对克氏原螯虾肌肉质地特性的影响

Table 4 Effects of different low-temperature culture durations on muscle texture of crayfish

低温暂养时间 (d)	硬度 (g)	咀嚼性 (g)	弹性 (mm)	凝聚性	恢复性
0	1 955.24±70.00a	514.83±36.75a	0.60±0.02a	0.53±0.04b	0.37±0.04a
15	1 765.354±82.95b	498.43±33.98a	0.56±0.09a	0.54±0.05b	0.34±0.05a
30	1 432.01±41.79c	471.39±41.78a	0.50±0.05a	0.58±0.06a	0.26±0.04b

同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.5 低温暂养时间对克氏原螯虾肝胰腺抗氧化指标的影响

表 5 显示,随着低温暂养时间的延长,克氏原螯虾肝胰腺丙二醛含量、过氧化氢酶活性和总抗氧化

能力的变化均不显著($P>0.05$),谷胱甘肽过氧化物酶活性显著降低($P<0.05$)。与低温暂养 15 d 相比,低温暂养 30 d 时的克氏原螯虾肝胰腺超氧化物歧化酶活性显著升高($P<0.05$)。

表 5 不同暂养时间对克氏原螯虾肝胰腺抗氧化指标的影响

Table 5 Effects of different low-temperature culture durations on antioxidant indexes of hepatopancreas of crayfish

低温暂养时间 (d)	丙二醛含量 (nmol/mg)	超氧化物歧化酶活性 (U/mg)	谷胱甘肽过氧化物酶 活性(U/mg)	过氧化氢酶活性 (U/mg)	总抗氧化能力 (nmol/mg)
0	5.35±1.21a	81.56±14.16ab	68.53±13.58a	0.06±0.02a	0.50±0.11a
15	5.56±1.73a	67.70±11.97b	57.06±14.48b	0.07±0.04a	0.56±0.05a
30	5.74±1.11a	89.93±25.1a	36.78±12.15c	0.08±0.05a	0.66±0.13a

同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 低温暂养时间对克氏原螯虾肌肉基本营养成分的影响

水产动物的营养成分是衡量水产动物质量的重要指标^[19]。动物在低温条件下应对冷应激是消耗能量的过程,需要降解生物体正常运作必需的富含能量的物质^[20]。在本试验中,克氏原螯虾肌肉中的蛋白质、脂肪含量均随暂养时间的延长而下降。甲壳类动物与鱼类相似,对营养物质的利用会因物种、环境及生长阶段的不同而有所差别,但长期饥饿主要消耗的是脂肪和蛋白质^[21]。在低温条件下,克氏原螯虾的摄食量减少,长期处于饥饿状态,为维持正常的生理活动,需消耗体内储能物质。

3.2 低温暂养时间对克氏原螯虾肌肉氨基酸组成和含量的影响

氨基酸的组成与含量,特别是必需氨基酸的组成与含量是评价水产动物肌肉蛋白质营养价值和鲜味的重要指标^[22]。水产动物通过调节机体内各种酶的活性、改变体内物质储存从而对氨基酸的组成及含量产生影响^[23]。天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸是鲜味氨基酸,与肌肉鲜味密切相关^[24]。在

本研究中,克氏原螯虾在低温循环水中暂养 30 d 后,肌肉中鲜味氨基酸含量无显著变化。此外,在试验起始阶段与低温暂养 15 d、30 d 的克氏原螯虾肌肉中的必需氨基酸含量亦无显著差异。上述结果说明,低温循环水暂养处理对克氏原螯虾肌肉鲜味、蛋白质品质的影响不明显。在本试验中,克氏原螯虾在低温循环水中暂养 30 d 后,虾肌肉中的异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸及缬氨酸等必需氨基酸的含量均显著增加,而非必需氨基酸中的丝氨酸含量也显著增加。因此推测,在用低温循环水暂养克氏原螯虾的过程中,克氏原螯虾需要调节体内的必需氨基酸组成、参与体内的免疫反应以抵抗低温休眠环境,并维持体内能量代谢,从而维持其生存。氨基酸作为动物细胞、组织的必需营养素,在维持机体免疫力、抗氧化方面发挥着重要作用^[25-26]。Driedzic 等^[27]研究发现,胡瓜鱼能够通过积累甘油来抵御由低温引起的冷应激所造成的损害,而氨基酸是甘油合成的主要原料。此外,赖氨酸能使动物机体内的脂肪加速氧化,而脂肪的氧化能够为机体生命活动提供能量。谷氨酸、丙氨酸、甘氨酸、酪氨酸和丝氨酸等在甲壳类动物中都起到调节生长、提高抗氧化能力和免疫能力的作用^[28-29]。因

此可见,在低温循环水暂养条件下,克氏原螯虾肌肉中氨基酸含量的变化是其为了适应低温环境而作出的生理反应。此外,外界环境对克氏原螯虾的胁迫作用也会影响其食用品质。徐德峰等^[30]研究发现,低温环境对凡纳滨对虾的氨基酸组成、含量的影响不显著,与本试验结果相似。

3.3 低温暂养时间对克氏原螯虾肌肉持水力的影响

在本试验中,克氏原螯虾经过 30 d 的低温循环水暂养后,肌肉的离心损失率、蒸煮损失率都没有显著变化。持水力是指在外力影响下,肌肉能够维持原来水分含量的能力,它会对肌原纤维蛋白质结构的变形、降解产生影响^[31-32],持水力的变化对肉质的营养成分、味道和嫩度等有很大影响。低温暂养 30 d 时,克氏原螯虾的离心损失率与对照相比无显著差异,说明低温循环水暂养对克氏原螯虾造成的应激损伤并未使其肌肉肌原纤维蛋白质的空间结构发生变化。蒸煮损失是指在蒸煮后肌肉中水分、可溶性物质的损失。蒸煮损失率越低,表明在蒸煮过程中营养物质流失得越少,肌肉的品质也不会发生明显降低。在本研究中,经过 30 d 低温循环水暂养后,克氏原螯虾肌肉的蒸煮损失率无显著变化。有研究发现,动物肌肉品质会受到应激反应的影响,应激反应越低,受到的影响越小^[33]。在本研究中,克氏原螯虾在低温循环水暂养的过程中,一直保持休眠状态,应激反应较低,这也可能是克氏原螯虾肌肉的蒸煮损失率未发生大幅度变化的原因。

3.4 低温暂养时间对克氏原螯虾肌肉质构特性的影响

质构测试是一种机械测试,它能够模拟人的口腔咀嚼动作,记录力与时间之间的关系,并计算与肌肉质量、人的感官评价有关的参数^[34]。克氏原螯虾经过 30 d 低温循环水暂养后,肌肉弹性、咀嚼性没有显著变化,而肌肉硬度、凝聚性和恢复性有显著变化,其中肌肉硬度、恢复性显著下降,这可能是因为低温循环水暂养初期,温度的突然变化对克氏原螯虾造成了一定的应激,从而导致克氏原螯虾为了对抗这些不良影响,提升了自身新陈代谢水平,促进了肌肉中的糖原被分解代谢成水和二氧化碳,从而增加了肌肉中的水分含量,而肌肉水分含量的增加就会使肌肉硬度、恢复能力降低。上述结果说明,在低温循环水中暂养时,应激反应会引起克氏原螯虾

肌肉品质、口感下降,但若能有效减少克氏原螯虾应激反应的强度,则能更好地维持其肌肉的口感和品质。许睿智等^[35]在研究南美白对虾在 4 ℃、10 ℃ 下肌肉品质及生理应激的变化时也发现,低温暂养处理不会对虾肌肉质构特性造成显著影响。

3.5 低温暂养时间对克氏原螯虾肝胰腺抗氧化指标的影响

抗氧化酶的活性在动物抗氧化反应中起着重要作用^[36-41]。*SOD* 是生物体内一种主要的自由基清除剂,能催化超氧化物歧化反应,从而保护机体免受损伤。另一方面,*MDA* 是膜脂质过氧化的主要产物之一,其活性水平可间接反映自由基攻击对机体造成的损害程度^[42]。*CAT* 催化 H_2O_2 分解成对生物无害的氧气和水,而 H_2O_2 由 *SOD* 产生,*SOD* 能够清除超氧化物,因此 *CAT* 是生物抗氧化系统中的关键酶之一^[43]。肝胰腺是甲壳类动物重要的免疫器官,肝胰腺组织在虾机体响应环境胁迫中起作用,可作为低温保活流通过程中应激损伤效应评价的靶组织^[44]。*T-AOC*、*GSH-Px* 活性是消除过量 ROS 的抗氧化系统的重要指标^[45]。本研究结果表明,在低温循环水中暂养后,克氏原螯虾肌肉中的 *MDA* 含量并无显著变化,这提示受到低温刺激后,虾体代谢加速,ROS 含量增加,脂质过氧化程度增大^[46]。当 *SOD* 活性显著提高时,*CAT* 活性略微增强,可能与低温导致克氏原螯虾体内 ROS 的过量产生相关,这与之前的研究结果一致,即机体组织中 ROS 的增加会诱导抗氧化酶活性增加^[47]。在本试验中,随着低温暂养时间的延长,*GSH-Px* 活性呈下降趋势,其中在低温暂养 30 d 时达到最低值,显著低于对照组,说明低温暂养时间过长会降低机体的抗氧化能力。

4 结 论

综上所述,在低温循环水中暂养 30 d 后,克氏原螯虾肌肉中的一般营养成分、持水力、弹性、咀嚼性等指标的变化都不明显,肌肉硬度、恢复性显著下降。由克氏原螯虾肝胰腺抗氧化指标看出,低温对克氏原螯虾造成了一定的应激,从而导致克氏原螯虾为对抗这些不良影响产生了一定的胁迫效应。

参考文献:

- [1] 郑中立. 小龙虾养殖状况与发展前景的思考[J]. 河南水产, 2018(3): 44, 46.

- [2] 张艳凌. 小龙虾品质评价及其加工和贮藏特性研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2021.
- [3] 于秀娟,郝向举,杨霖坤,等.《中国小龙虾产业发展报告(2023)》发布 养殖面积及产值均实现稳步增长[J]. 中国食品,2023(13):92-95.
- [4] 王 姬. 超声和微波对调理鲈鱼的品质影响及机理[D]. 天津:天津科技大学,2021.
- [5] 申淑琦,刘红英,王 颀. 贝类保活技术的研究[J]. 河北农业科学,2010,14(9):102-103,110.
- [6] 张晓磊,庞广昌. 冬眠技术在鲜活水产品运输领域的应用及发展趋势[J]. 食品科学,2009,30(19):331-334.
- [7] 曹井志,徐 若,包建强. 厚壳贻贝低温无水保活技术[J]. 安徽农业科学,2008,36(10):4248-4249,4274.
- [8] 范秀萍,秦小明,章超桦,等. 温度对有水保活石斑鱼代谢与鱼肉品质的影响[J]. 农业工程学报,2018,34(14):241-248.
- [9] 王 琪,梅 俊,谢 晶. 低温保活运输对海鲈鱼应激及品质的影响[J]. 中国食品学报,2022,22(7):203-213.
- [10] GRAHAM BROWN J A, JONES A, MATTY A J. Oxygen metabolism of farmed turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. Aquaculture, 1984,36(3):273-281.
- [11] 谢佳彦,朱爱意. 几种重要水产品活体运输技术研究[J]. 水产科学,2010,29(9):532-536.
- [12] CHANG E S. Stressed-out lobsters: crustacean hyperglycemic hormone and stress proteins[J]. Integrative and Comparative Biology, 2005,45(1):43-50.
- [13] CHENG W, WANG L U, CHEN J C. Effect of water temperature on the immune response of white shrimp *Litopenaeus vannamei* to *Vibrio alginolyticus* [J]. Aquaculture, 2005,250(3/4):592-601.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定:GB 5009.3-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [15] 国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [16] 国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定:GB 5009.6-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定:GB 5009.4-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [18] 国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定:GB 5009.124-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [19] FAN W J, CHI Y L, ZHANG S. The use of a tea polyphenol dip to extend the shelf life of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) during storage in ice[J]. Food Chemistry, 2008, 108(1): 148-153.
- [20] 董莎莎,聂鸿涛,闫喜武. 贝类低温胁迫响应机制研究进展[J]. 大连海洋大学学报,2019,34(3):457-462.
- [21] MATSUKUTA K, TSUMUKI H, IZUMI Y, et al. Changes in chemical components in the freshwater apple snail, *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae), in relation to the development of its cold hardiness[J]. Cryobiology, 2008,56(2):131-137.
- [22] 吴立新,董双林,姜志强. 饥饿对甲壳动物生理生态学影响的研究进展[J]. 应用生态学报,2004,15(4):723-727.
- [23] JIANG W D, WU P, TANG R J, et al. Nutritive values, flavor amino acids, healthcare fatty acids and flesh quality improved by manganese referring to up-regulating the antioxidant capacity and signaling molecules TOR and Nrf2 in the muscle of fish[J]. Food Research International, 2016, 89(1): 670-678.
- [24] 赵亭亭,张 岩,陈 超,等. 3种养殖石斑鱼的肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 渔业科学进展,2018,39(6):89-96.
- [25] 原居林,刘 梅,倪 蒙,等. 不同养殖模式对大口黑鲈生长性能、形体指标和肌肉营养成分影响研究[J]. 江西农业大学学报,2018,40(6):1276-1285.
- [26] 程开敏,张 震,李沛洋,等. 功能性氨基酸在水产甲壳类动物中的研究进展和应用前景[J]. 水生生物学报,2022,46(9):1420-1428.
- [27] DRIEDZIC W R, EWART K V. Control of glycerol production by rainbow smelt (*Osmerus mordax*) to provide freeze resistance and allow foraging at low winter temperatures[J]. Comparative Biochemistry and Physiology. Part B, Biochemistry & Molecular Biology, 2004,139(3):347-357.
- [28] 秦 旭. 彭泽鲫的低温休眠保活运输技术研究[D]. 南昌:南昌大学,2018.
- [29] DO HUU H, TABRETT S, HOFFMANN K, et al. The purine nucleotides guanine, adenine and inosine are a dietary requirement for optimal growth of black tiger prawn, *P. monodon* [J]. Aquaculture, 2013,408/409:100-105.
- [30] 徐德峰,吴嘉鑫,郑晓娟,等. 生态冰温无水保活对凡纳滨对虾活力及肌肉品质的影响[J]. 广东海洋大学学报,2022,42(3):87-96.
- [31] LIU J, ARNER A, PUOLANNE E, et al. On the water-holding of myofibrils: effect of sarcoplasmic protein denaturation[J]. Meat Science, 2016, 119(9): 32-40.
- [32] LAKSHMANAN R, PARKINSON J A, PIGGOTT J R. High-pressure processing and water-holding capacity of fresh and cold-smoked salmon (*Salmo salar*) [J]. LWT - Food Science and Technology, 2007,40(3):544-551.
- [33] CIARAMELLA M A, KIM T, AVERY J L, et al. The effects of sequential environmental and harvest stressors on the sensory characteristics of cultured channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fillets [J]. Journal of Food Science, 2016,81(8):S2031-S2038.
- [34] 徐家欢,王 洋,曾祥茜,等. 肉质改良饲料对斑点叉尾鲴生长性能、肌肉品质及抗氧化能力的影响[J]. 中国饲料,2020(21):79-86.
- [35] 许睿智,刘 峰,陈依楠,等. 无水运输温度和时间对南美白对虾肌肉品质及生理应激的影响[J]. 食品工业科技,2023,44(5):331-337.
- [36] 王文娟,孟骞骞,李美静,等. 日粮脂肪水平对鲤生长、血清生

- 化指标、糖代谢及抗氧化能力的影响[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(9): 1908-1916.
- [37] 雷小文, 颜 语, 吴丽娟, 等. 饲料添加蚯蚓液对高温环境下肉鸡生长性能、小肠抗氧化能力和屏障功能的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(10): 163-167.
- [38] 陈 茜, 王振兴, 孙 健, 等. 藜麦的营养成分、生物活性及加工利用[J]. 生物加工过程, 2023, 21(3): 292-300.
- [39] 姜玫宏, 葛金山, 程金龙, 等. 菌酶协同异步发酵中草药对断奶仔猪生长、腹泻、免疫和抗氧化性能的影响[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(1): 126-133.
- [40] 马维梅, 郑玉才, 李志雄, 等. 银耳多糖浸泡肉鸡种蛋对肉鸡鸡胚尿囊膜血管生成、雏鸡生长性能和抗氧化性能的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(15): 145-150.
- [41] 严宝飞, 刘 嘉, 张景正, 等. 基于网络药理学的玫瑰花潜在药理及保健作用机制[J]. 生物加工过程, 2022, 20(1): 65-73.
- [42] WU Y W, YOU X P, SUN W Q, et al. Insight into acute heat stress on meat qualities of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during short-time transportation [J]. Aquaculture, 2021, 543: 737013.
- [43] 贾丽娟, 王广军, 夏 耘, 等. 不同地区稻田养殖小龙虾生理代谢、肌肉品质及营养价值比较[J]. 甘肃农业大学学报, 2022, 57(1): 188-197.
- [44] 陈 晗, 吴嘉鑫, 徐德峰, 等. 急冷与无水双重胁迫下南美白对虾存活变化及防御系统响应规律[J]. 食品科学, 2022, 43(13): 170-176.
- [45] HEINK A E, PARRISH A N, THORGAARD G H, et al. Oxidative stress among *SOD-1* genotypes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquatic Toxicology, 2013, 144/145: 75-82.
- [46] 马秀灵. 盐地碱蓬 *SsNHX1* 基因的克隆及转基因拟南芥的培育[D]. 济南: 山东师范大学, 2003.
- [47] 宋志明, 刘鉴毅, 庄 平, 等. 低温胁迫对点篮子鱼幼鱼肝脏抗氧化酶活性及丙二醛含量的影响[J]. 海洋渔业, 2015, 37(2): 142-150.

(责任编辑: 徐 艳)