



## 不同低温时间无水保活对中国圆田螺存活、营养组成、 消化酶活性及抗氧化指标的影响

周康奇<sup>1</sup>, 韦孜娜<sup>1,2</sup>, 李哲<sup>1</sup>, 林勇<sup>1</sup>, 黄姻<sup>1</sup>, 杜雪松<sup>1</sup>, 覃俊奇<sup>1</sup>,  
陈忠<sup>1</sup>, 欧红霞<sup>3</sup>, 徐俊龙<sup>3</sup>, 项桂德<sup>1</sup>, 潘贤辉<sup>1\*</sup>

(1. 广西壮族自治区水产科学研究院, 广西水产遗传育种与健康养殖重点实验室,

广西水产良种海南南繁基地, 广西南宁 530021;

2. 广西钦州农业学校, 广西钦州 535000;

3. 防城港职业技术学院, 广西防城港 538001)

**摘要:** 为改进中国圆田螺保存技术, 促进螺蛳粉产业可持续发展。本研究利用初始体重为(21.71±2.70) g的健康中国圆田螺1 500只, 探讨了低温(4 °C)无水条件下0、14、28、42和56 d等不同时间中国圆田螺存活、形体指标、一般营养组成、脂肪酸、消化酶活性和抗氧化指标的变化。结果显示, 4 °C短期存放(14~28 d)中国圆田螺的存活率均超过93%, 但是超过42 d后, 存活率降至78%以下。低温28和42 d的肝重和肝体比均显著高于对照组, 与对照组相比, 低温56 d体重降了7.6%, 而肝重显著提高。营养成分结果显示, 各组间肌肉的粗蛋白、粗灰分和水分均无显著影响。而粗脂肪含量呈现上升趋势, 其中28、42和56 d的粗脂肪含量显著高于对照组。糖原含量总体呈上升趋势, 其中14与56 d差异显著。脂肪酸结果显示, SFA和MUFA含量总体均呈下降趋势, 28~56 d均显著低于对照和14 d组; 28和42 d的PUFA含量显著高于其他处理组。本研究中所有消化酶和抗氧化酶活性总体均呈现下降趋势。对照组的淀粉酶活性显著低于14 d, 但显著高于42 d。除42 d的胰蛋白酶外, 其余处理的脂肪酶和胰蛋白酶含量显著低于对照组。42 d的谷胱甘肽过氧化物酶显著低于其他各组, 且42 d的超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性和丙二醛含量也均显著低于对照组。研究表明, 在4 °C条件下无水保活超过42 d会导致中国圆田螺出现较高的死亡率, 由于42 d后体内的消化酶和抗氧化酶活性降低, 内环境平衡被打破, 进而导致高的死亡率。胁迫期间中国圆田螺主要以蛋白质作为能量来源, 其次是大量的饱和脂肪酸与单不饱和脂肪酸作为能量物质被消耗, 而多不饱和脂肪酸被更好地保留下来。本研究为了解中国圆田螺在低温无水保活不同时间下的生理生化适应对策及改善其储存运输管理提供科学依据。

**关键词:** 中国圆田螺; 低温时间; 营养组成; 脂肪酸; 酶活性; 抗氧化指标

中图分类号: S 983

文献标志码: A

收稿日期: 2021-12-31 修回日期: 2022-12-17

资助项目: 广西自然科学基金(2020GXNSFBA297067); 广西创新驱动发展专项(AA20302019-5); 广西科技基地与人才项目(AD21220010); 国家重点研发计划(2022YFD2400700); 自治区重点实验室自主研究课题(2023-A-01-04, 2023-A-01-05); 广西农业科技自筹经费项目(Z2022208, Z2022210, Z2022215); 国家现代农业产业技术体系专项(nycytxgxcxtd-2021-08)

第一作者: 周康奇(照片), 从事水产遗传育种与资源增殖研究, E-mail: 2472797247@qq.com

通信作者: 潘贤辉, 从事水产遗传育种与资源增殖研究, E-mail: 408797187@qq.com



中国圆田螺 (*Cipangopaludina chinensis*) 为腹足纲 (Gastropoda) 田螺科 (Viviparidae) 圆田螺属 (*Cipangopaludina*), 俗称田螺, 是我国水域最为常见的淡水软体动物之一, 广泛分布于南方淡水湖泊、沼泽、稻田和池塘<sup>[1-2]</sup>。因其具有食用、药用、水质净化和作为水产动物及畜禽的饲料等经济价值而备受大众青睐<sup>[3-6]</sup>。特别是近年来, 广西螺蛳粉成为网红美食, 其年总产值超 500 多亿元。作为螺蛳粉核心原材料的田螺, 80% 以上依靠长江流域天然湖泊捕捞, 而随着长江流域禁捕法令的实施, 田螺依靠天然捕捞的局面被打破, 田螺供需矛盾日益突出<sup>[7-9]</sup>。田螺资源匮乏、市场供不应求, 因此, 加快研究科学的田螺养殖、储存和运输技术以缓解供需矛盾就被赋予了重要的现实意义。

贝类出水后常温下放置会很快死亡, 而且易被微生物污染后腐败变质。因而鲜活是贝类非常重要的品质指标, 也是决定其利用价值的主要因素<sup>[10]</sup>。目前, 贝类保活技术主要有无水低温保活、无水生态冰温保活、有水低温保活、模拟生态环境保活、模拟冬眠保活和化学方法保活等。贝类的无水低温保活就是在低温下贝类能维持存活, 由于其新陈代谢极低, 呼吸作用较弱, 从而达到延长存活时间的目的。与有水保活运输相比, 无水低温保活更能促进产品的鲜度及防止运输保活过程中失重, 提高存活率, 简化运输管理, 降低运输成本<sup>[10-12]</sup>。研究者在低温无水保活方面进行了较多的研究, 彩虹明樱蛤 (*Moerella iridescens*) 在 1~3 °C 下无水保活最好<sup>[13]</sup>; 青蛤 (*Cyclina sinensis*) 在 0~4 °C 无水低温干置情况下 30 d 后存活率为 100%<sup>[14]</sup>。泥蚶 (*Tegillarca granosa*) 在 4 °C 下普通封口包装可活 17 d<sup>[15]</sup>。高加龙等<sup>[16]</sup> 研究 4、10 和 15 °C 对香港牡蛎 (*Crassostrea hongkongensis*) 无水保活存活状态、微生物以及营养品质的影响发现, 4 °C 条件下香港牡蛎保活时间更长, 营养物质损失相对较低, 更利于牡蛎保活流通。李一峰等<sup>[17]</sup> 对厚壳贻贝 (*Mytilus comscus*) 早期幼虫低温保存的影响研究表明, 4 °C 条件培育的早期幼虫存活率超过 95%。郑惠娜等<sup>[18]</sup> 研究表明, 文蛤 (*Meretrix meretrix*) 在 4 °C 时低温无水保活效果最好。直至目前, 鲜见关于中国圆田螺等淡水螺的保活技术的研究报告, 市场上田螺大多采用常温无水运输, 这种方式对螺的损伤大、死亡率高, 特别对于种螺来说, 会导致大量雌螺早产或死亡。本课题组前期对中国圆田螺进行了常温无水保活

试验, 其存活率在 7、15、30 和 45 d 时分别为 75%、67%、47% 和 31%; 并进行了常温有水保活试验, 发现 30 d 后出现死亡, 7 d 后体重和饱满度显著低于对照, 45 d 后存活率降至 78%。本实验在 4 °C 低温无水条件下探究不同时间对中国圆田螺存活、形体指标、营养成分、消化酶活性和抗氧化指标的影响, 旨在了解中国圆田螺在低温无水保活不同时间下的生理生化适应对策, 为改善其储存运输管理提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

实验用中国圆田螺由广西梧州市龙圩区稻渔种养示范基地提供, 运至广西水产科学研究院进行实验。实验过程中操作人员严格遵守实验动物福利伦理规范。

### 1.2 实验方法

实验中低温无水保活时间分别为 0 (对照组)、14、28、42、56 d 共 5 组, 每组设 3 个重复, 每个重复为健康无病中国圆田螺 100 只 [体重 (21.71±2.70) g、壳高 (48.65±2.32) mm], 储存于 (4±1) °C 冷藏室中进行低温无水保活试验。

各低温时间组与对照组在低温处理前和结束后分别统计每组的成活率, 各组随机取样 30 只 (每个重复 10 只) 中国圆田螺测定体重、壳高和壳宽, 解剖分离出软体部分称重, 再将软体部分进一步分离出肝胰脏和足肌分别称重; 随机选取 9 只 (每组取 3 个重复) 解剖, 快速分离出肝脏用于消化酶活性和抗氧化指标的测定, 液氮速冻后保存于 -80 °C。另外, 随机选取 30 只 (每组取 3 个重复) 解剖, 快速分离出足肌用于糖原含量、常规营养成分和脂肪酸的测定, 样品用液氮速冻后保存于 -80 °C。

肌肉常规营养成分含量的测定 肌肉常规营养成分含量的测定 粗蛋白含量测定采用杜马斯燃烧法, 水分含量测定采用烘箱 (105 °C) 恒温干燥法, 粗灰分含量测定采用马弗炉 (550 °C) 焚烧法, 粗脂肪含量测定采用索氏抽提法。脂肪酸组成的测定采用 GB 5009.168—2016 方法, 使用气相色谱质谱联用仪 (Agilent 7890-5977, 美国)。糖原含量的测定采用蒽酮试剂显色法 (南京建成生物工程研究所试剂盒)。

### 肝脏消化酶活性及抗氧化指标的测定

为消除个体误差, 每组样品的 3 个重复分别取 3 只中国圆田螺肝脏混合, 为消除技术误差, 每个重复又进行 3 次技术重复, 测定指标所用试剂盒均为南京建成生物工程研究所, 方法均按试剂盒所述进行。消化酶活性测定中, 胰蛋白酶活性测定采用福林-酚法, 脂肪酶活性测定采用稀氢氧化钠溶液滴定测量反应产物中脂肪酸的酸价法, 淀粉酶活性测定采用 3,5-二硝基水杨酸显色法。抗氧化指标测定中, 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性测定采用 WST-法, 谷胱甘肽过氧化物酶 (GPx) 活性测定采用二硫代二硝基苯甲酸 (DTNB) 法, 过氧化氢酶 (CAT) 活性测定采用钼酸铵显色法, 丙二醛 (MDA) 含量测定采用硫代巴比妥酸 (TBA) 法。以上测定中, 除脂肪酶活性和丙二醛含量测定用 20% 组织匀浆, 其他均用 10% 组织匀浆。

### 1.3 计算公式

存活率 (%) = 终末存活数量 / 初始数量 × 100%

肝体比 (%) = 肝脏重 / 体重 × 100%

肥满度 (g/cm<sup>3</sup>) = (体质量 / 壳高<sup>3</sup>) × 100

### 1.4 数据分析

实验结果用 Excel 软件整理, 以平均值 ± 标准差 (mean ± SD) 表示, 采用 SPSS 20.0 统计软件 ANOVA 单因素方差分析, 处理间如有差异显著 ( $P < 0.05$ ), 再使用 Duncan 氏多重比较。

## 2 结果

### 2.1 不同低温保活时间对中国圆田螺存活率和形体指标的影响

低温处理后, 中国圆田螺存活率相比对照组明显降低, 在低温 14 d 开始出现死亡, 但在 14 和 28 d 都保持较高的存活率, 分别为 94.0% 和 93.4%, 随着低温时间的延长, 42 和 56 d 存活率分别下降至 78.0% 和 74.1%。低温保存时间对中国圆田螺壳高、壳宽、软体重、肌肉重和肥满度无显著影响 ( $P > 0.05$ ), 但低温 56 d 后体重下降了 7.6% ( $P < 0.05$ ); 低温 28~56 d 肝重显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ); 低温 28、42 d 肝体比显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ) (表 1)。

表 1 不同低温时间对中国圆田螺存活率和形体指标的影响

Tab. 1 Effect of different low temperature storage times on survival rate and body index of *C. chinensis*

低温时间/d starvation time	存活率/% survival rate	体重/g body weight	壳高/mm shell height	壳宽/mm shell weight	软体重/g soft weight	肝脏重/g liver weight	肌肉重/g muscle weight	肝体比/% hepatosomatic index	肥满度/(g/cm <sup>3</sup> ) condition factor
0	100 <sup>a</sup>	21.71 ± 2.70 <sup>a</sup>	48.65 ± 2.32	32.47 ± 1.08	8.20 ± 1.49	1.22 ± 0.25 <sup>a</sup>	4.73 ± 0.83	5.73 ± 1.37 <sup>a</sup>	0.0188 ± 0.0015
14	94.0 <sup>b</sup>	20.52 ± 1.75 <sup>ab</sup>	47.58 ± 2.00	32.17 ± 1.18	8.79 ± 1.55	1.30 ± 0.32 <sup>ab</sup>	4.18 ± 0.55	6.52 ± 1.36 <sup>ab</sup>	0.0191 ± 0.0018
28	93.4 <sup>b</sup>	20.51 ± 1.95 <sup>ab</sup>	47.34 ± 2.04	32.63 ± 0.76	9.06 ± 2.38	1.56 ± 0.51 <sup>b</sup>	4.98 ± 1.47	7.62 ± 2.36 <sup>b</sup>	0.0194 ± 0.0022
42	78.0 <sup>c</sup>	20.50 ± 1.49 <sup>ab</sup>	47.70 ± 1.84	32.44 ± 0.79	9.15 ± 1.34	1.57 ± 0.34 <sup>b</sup>	4.58 ± 0.65	7.72 ± 1.91 <sup>c</sup>	0.0190 ± 0.0020
56	74.1 <sup>d</sup>	20.12 ± 2.65 <sup>b</sup>	46.49 ± 5.66	32.50 ± 1.21	8.35 ± 2.13	1.51 ± 0.31 <sup>b</sup>	4.26 ± 0.75	7.50 ± 1.33 <sup>ab</sup>	0.0305 ± 0.0637

注: 同列数据肩标不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

Notes: In the same column, values with different letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ), the same below.

### 2.2 不同低温保活时间对中国圆田螺肌肉营养成分的影响

不同低温时间对中国圆田螺足肌粗蛋白、水分和粗灰分无显著影响 ( $P > 0.05$ ); 但低温 28、42 和 56 d 的粗脂肪含量显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。糖原含量总体呈上升趋势, 除 14 与 56 d 差异显著 ( $P < 0.05$ ) 外, 其他各组差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (表 2)。

### 2.3 不同低温保活时间对中国圆田螺肌肉脂肪酸组成的影响

随着低温时间的延长, 中国圆田螺足肌饱和脂肪酸 (SFA) 含量总体呈下降趋势, 低温 28~56 d

显著低于对照组和 14 d 组 ( $P < 0.05$ )。单不饱和脂肪酸 (MUFA) 总体呈下降趋势, 低温 28 和 56 d 显著低于对照组和 14 d 组 ( $P < 0.05$ )。多不饱和脂肪酸 (PUFA) 总体呈先上升再下降趋势, 低温 28 和 42 d 显著高于其他各组 ( $P < 0.05$ ) (表 3)。

### 2.4 不同低温保活时间对中国圆田螺肝脏消化酶活性的影响

随着低温时间的延长, 中国圆田螺肝脏淀粉酶活性总体呈下降趋势, 对照组显著低于 14 d 组 ( $P < 0.05$ ), 显著高于 42 d 组 ( $P < 0.05$ ) (表 4)。胰蛋白酶总体呈下降趋势, 除 42 d 组外, 对照组显著高于其他各组 ( $P < 0.05$ ); 脂肪酶总体呈下降趋势,

表 2 不同低温时间对中国圆田螺肌肉营养成分的影响

**Tab. 2 Effect of different low temperature storage times on nutrient composition in muscles of *C. chinensis***

低温时间/d starvation time	粗蛋白质/% crude protein	粗脂肪/(g/100 g) crude lipid	水分/% moisture	粗灰分/% crude ash	肌糖原/(mg/g) muscle glycogen
0	15.18±1.80	0.95±0.04 <sup>a</sup>	74.02±2.83	4.95±0.80	25.19±5.27 <sup>ab</sup>
14	14.74±1.32	1.03±0.09 <sup>ab</sup>	71.13±2.18	5.80±0.70	23.33±1.00 <sup>a</sup>
28	14.67±0.60	1.15±0.04 <sup>bc</sup>	71.00±1.79	4.97±0.48	32.29±8.11 <sup>ab</sup>
42	14.40±1.25	1.27±0.12 <sup>c</sup>	73.44±1.94	4.57±0.92	28.07±5.95 <sup>ab</sup>
56	14.51±1.32	1.27±0.04 <sup>c</sup>	70.88±0.40	6.95±0.23	27.19±0.98 <sup>b</sup>

表 3 不同低温时间对中国圆田螺肌肉脂肪酸组成的影响

**Tab. 3 Effect of different low temperature storage times on the fatty acids composition in muscles of *C. chinensis***

脂肪酸 fatty acids	时间/d time				
	0	14	28	42	56
C14:0	1.057±0.118	1.259±0.089	0.940±0.047	0.916±0.101	0.732±0.044
C15:0	1.123±0.120	1.315±0.112	0.995±0.064	1.067±0.063	0.820±0.101
C16:0	12.029±0.665	13.189±1.167	7.941±0.586	8.828±1.502	6.685±0.393
C17:0	1.553±0.170	1.661±0.080	1.353±0.048	1.383±0.100	1.128±0.090
C18:0	23.673±1.458	25.560±1.583	16.913±0.930	17.299±2.154	15.029±0.271
C20:0	0.689±0.060	0.579±0.086	0.482±0.033	0.543±0.086	0.428±0.008
C21:0	0.119±0.008	0.123±0.029	0.082±0.025	0.131±0.022	0.101±0.006
C22:0	0.278±0.047	0.262±0.030	0.235±0.019	0.283±0.056	0.209±0.006
C23:0	0.049±0.005	0.041±0.006	0.038±0.004	0.046±0.009	0.039±0.006
C24:0	0.014±0.004	0.016±0.002	0.011±0.002	0.013±0.001	0.013±0.001
饱和脂肪酸 SFA	40.69±2.31 <sup>a</sup>	44.16±2.67 <sup>a</sup>	29.06±1.52 <sup>b</sup>	30.58±3.90 <sup>b</sup>	16.84±11.93 <sup>b</sup>
C14:1	0.348±0.245	0.417±0.286	0.019±0.002	0.023±0.003	0.020±0.001
C15:1	0.534±0.061	0.647±0.051	0.467±0.032	0.505±0.036	0.382±0.049
C16:1	1.387±0.128	1.415±0.086	1.266±0.026	1.357±0.120	1.194±0.018
C17:1	0.179±0.181	0.073±0.010	0.051±0.008	0.057±0.005	0.202±0.152
C18:1n9t	0.186±0.022	0.167±0.008	0.156±0.009	0.179±0.026	0.147±0.003
C18:1n9c	2.754±0.155	2.563±0.109	0.912±1.012	2.712±0.307	2.107±0.092
C20:1	3.503±2.097	4.801±0.242	1.938±2.100	1.985±2.066	2.491±2.131
C22:1n9	0.190±0.038	0.321±0.118	0.161±0.138	0.073±0.067	0.241±0.081
C24:1	0.036±0.036	0.002±0.000	0.071±0.005	0.024±0.017	0.124±0.034
单不饱和脂肪酸 MUFA	9.12±2.40 <sup>a</sup>	10.41±0.32 <sup>a</sup>	5.04±1.87 <sup>b</sup>	6.91±1.94 <sup>ab</sup>	4.61±3.71 <sup>b</sup>
C18:2n6t	1.446±0.530	1.078±0.029	1.148±0.091	1.415±0.402	1.161±0.137
C18:2n6c	5.340±1.037	3.258±0.256	3.424±0.405	4.340±0.942	3.220±0.016
C18:3n6	0.100±0.016	0.119±0.022	0.158±0.019	0.143±0.027	0.133±0.041
C18:3n3	0.852±0.075	0.705±0.059	0.675±0.107	0.828±0.123	0.663±0.003
C20:2	3.505±0.214	3.161±0.154	3.192±0.038	3.509±0.288	3.011±0.023
C20:3n6	0.106±0.024	0.122±0.024	0.189±0.052	0.192±0.034	0.447±0.005
C20:3n3	8.541±0.308	8.944±0.613	8.181±0.765	8.625±2.244	9.932±1.474
C20:4n6 (AA)	1.946±0.830	1.773±0.187	2.219±0.331	2.131±0.084	1.971±0.307
C22:2	0.100±0.033	0.147±0.036	0.114±0.027	0.170±0.051	0.225±0.022
C20:5n3 (EPA)	4.004±3.052	1.391±0.237	3.669±3.659	3.805±3.841	8.612±0.516
C22:6n3 (DHA)	22.213±3.797	24.739±2.629	42.930±1.492	37.350±4.293	38.457±0.493
多不饱和脂肪酸 PUFA	50.19±2.27 <sup>a</sup>	45.44±2.93 <sup>a</sup>	65.90±3.36 <sup>b</sup>	62.51±4.75 <sup>b</sup>	45.22±31.99 <sup>a</sup>

表 4 不同低温时间对中国圆田螺肝脏消化酶活性的影响

Tab. 4 Effect of different low temperature storage times on the digestive enzyme activity of the liver of *C. chinensis*

指标 indexes	时间/d time				
	0	14	28	42	56
淀粉酶/(U/mg prot) amylase	0.23±0.06 <sup>a</sup>	0.30±0.05 <sup>c</sup>	0.21±0.05 <sup>ab</sup>	0.16±0.04 <sup>b</sup>	0.19±0.04 <sup>ab</sup>
胰蛋白酶/(U/mg prot) protease	855.56±201.09 <sup>a</sup>	547.08±143.39 <sup>b</sup>	556.20±225.26 <sup>b</sup>	699.56±149.92 <sup>ab</sup>	569.35±145.50 <sup>b</sup>
脂肪酶/(U/g prot) lipase	86.53±19.91 <sup>a</sup>	64.82±14.67 <sup>b</sup>	30.15±8.69 <sup>d</sup>	43.74±16.21 <sup>cd</sup>	51.25±9.88 <sup>bc</sup>

对照组显著高于其他各组 ( $P<0.05$ )。

## 2.5 不同低温保活时间对中国圆田螺肝脏抗氧化指标的影响

随着低温时间的延长, 中国圆田螺肝脏 GPx

总体呈下降趋势, 其中低温 42 d 组显著低于其他各组 ( $P<0.05$ ); SOD 和 CAT 先上升后下降趋势; MDA 总体呈下降趋势, 其中 42 d 组显著低于对照组 ( $P<0.05$ ) (表 5)。

表 5 不同低温时间对中国圆田螺肝脏抗氧化指标的影响

Tab. 5 Effect of different low temperature storage times on the liver antioxidant indexes of the liver of *C. chinensis*

指标 indexes	时间/d time				
	0	14	28	42	56
谷胱甘肽过氧化物酶/(U/mg prot) GPx	49.15±18.88 <sup>a</sup>	45.42±17.11 <sup>a</sup>	30.68±7.87 <sup>a</sup>	7.83±2.92 <sup>b</sup>	28.65±3.96 <sup>a</sup>
超氧化物歧化酶/(U/mg prot) SOD	51.11±8.43 <sup>ab</sup>	56.92±7.76 <sup>b</sup>	47.69±10.16 <sup>a</sup>	46.74±6.16 <sup>a</sup>	53.94±8.47 <sup>ab</sup>
丙二醛/(nmol/mg prot) MDA	14.48±4.86 <sup>a</sup>	9.49±3.04 <sup>bc</sup>	11.65±1.74 <sup>bc</sup>	7.07±3.05 <sup>b</sup>	10.41±4.73 <sup>bc</sup>
过氧化氢酶/(U/mg prot) CAT	6.51±1.52 <sup>a</sup>	9.30±1.85 <sup>b</sup>	19.43±4.34 <sup>c</sup>	4.22±1.07 <sup>d</sup>	3.85±1.39 <sup>d</sup>

## 3 讨论

### 3.1 不同低温保活时间对中国圆田螺存活率和形体指标的影响

低温条件下的贝类, 其代谢等生理活动被抑制, 能量获取和能量消耗之间的平衡被打破, 体内的酶活性、生化反应速度和代谢速率逐渐下降, 因此导致能量利用率和代谢水平降低<sup>[19-20]</sup>。然而, 贝类同化率几乎不受温度影响<sup>[21]</sup>。低温时贝类在同化率不变的情况下, 其摄入能量用于代谢和排泄的耗能比例增加, 造成其被分配用于生长的能量减少, 进而引起贝类生长缓慢甚至停止生长<sup>[19]</sup>。中国圆田螺适宜生长水温为 17~28 °C, 最适水温为 20~26 °C, 超过 30 °C 会将肉体缩入壳内停止摄食并群集于阴凉处栖息, 或潜入泥土中避暑; 水温低于 8 °C 会入泥冬眠, 待翌年水温回升至 15 °C 左右重新出穴活动<sup>[2, 22]</sup>。本实验中, 在温度 (4±1) °C, 0~28 d 时都保持较高的存活率, 42 和 56 d 存活率分别下降至 78.0% 和 74.1%, 对壳高、

壳宽无显著变化 ( $P>0.05$ ), 而对照组与低温 56 d 组的体重差异显著 ( $P<0.05$ ), 体重下降了 7.6%。这可能是低温无水保活前期中国圆田螺代谢等生理活动被抑制, 能量利用率降低, 模拟了其在冬眠的状态, 因此保证了在无水低温保活试验中较高的存活率和较长的存活时间, 以及稳定的形态指标。随着低温时间的延长, 其代谢和能量消耗累积逐渐增多, 体重逐渐下降, 随着能量消耗殆尽和生理到达耐受极限而死亡。

肝脏是水产动物中间代谢的器官, 在营养物质如蛋白质、脂类和糖类等的代谢中有着重要作用, 同时也是重要的营养储存场所。水产动物在营养过剩或营养不良时, 肝重变化比体重变化明显。因此, 水产动物的肝体比被看作是短期或长期营养方式的敏感指标<sup>[23]</sup>。本实验结果显示, 中国圆田螺在软体重、肌肉重和肥满度上都无显著变化 ( $P>0.05$ ), 而低温 28~56 d 肝重显著高于对照组 ( $P<0.05$ ), 低温 28、42 d 肝体比显著高于对照组 ( $P<0.05$ ), 可能是随着低温时间延长, 营养物

质部分转移至肝脏中积累, 使肝重和肝体比显著增加, 导致肝功能异常和代谢失调, 这也可能是导致其低温 0~28 d 时存活率还保持较高, 而 42 d 后骤降的原因。

### 3.2 不同低温保活时间对中国圆田螺营养成分的影响

低温条件下的冷应激反应是一个耗能的过程, 因此需要分解生物体内重要的能源物质来保证正常的生命活动<sup>[19, 24]</sup>。研究表明, 贝类在低温条件下其体内的生化成分会间接或直接参与耐受过程<sup>[19]</sup>。糖原是贝类主要的能量贮藏形式, 也与食物的呈味性有关, 能够增强味道的浓厚感, 一般贝类糖原含量较鱼肉高<sup>[10, 25]</sup>。高加龙等<sup>[16]</sup>在 4 °C 下无水保活香港牡蛎, 随着保活时间的延长, 脂肪和糖原含量下降较多, 蛋白质次之, 水分变化差异不显著 ( $P>0.05$ ), 而乳酸含量上升, 认为在低温下放置较久的牡蛎鲜甜度、肥满度和口感会较新鲜牡蛎差。王彩理等<sup>[26]</sup>对美洲帘蛤 (*Mercenaria mercenaria*) 低温无水保活研究显示, 其消耗的能量物质以蛋白质为主、脂肪为辅, 推测这可能因物种的差异引起的氧氮比不同有关, 即机体内蛋白质和脂肪与碳水化合物分解代谢的比率不同。而申淑琦等<sup>[10]</sup>通过 4 °C 低温无水保活海湾扇贝 (*Argopecten irradians*), 随着低温时间的延长, 海湾扇贝的水分、粗蛋白质和粗脂肪含量略微下降, 粗灰分含量上升, 但均无显著差异 ( $P>0.05$ ), 糖原含量呈下降趋势, 因此推测海湾扇贝不断消耗的能量物质以粗脂肪为主、粗蛋白质为辅, 其营养损失及品质风味影响较小, 能保持良好的鲜活状态, 这与对其他贝类如菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*)、紫贻贝 (*M. edulis*) 和青蛤等的研究结果相一致<sup>[27-29]</sup>。本实验中, 低温时间对中国圆田螺足肌粗蛋白、水分和粗脂肪无显著影响 ( $P>0.05$ ), 随着低温时间的延长, 粗脂肪含量呈逐渐上升趋势; 肝脏糖原含量除低温 14 与 56 d 差异显著 ( $P<0.05$ ) 外, 其他各组差异不显著 ( $P>0.05$ ), 因此推测在 4 °C 下无水保活较长时间, 中国圆田螺肌肉营养成分仍保持良好, 并可能在口感上与新鲜中国圆田螺差别不大, 其消耗能量物质时以蛋白质为主。

脂肪酸经脂肪水解后产生, 是生物膜磷脂的重要组成部分, 脂肪酸在温度等干扰因素下会造成饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸比例的变化, 从而

影响细胞膜的流动性, 如降温时不饱和脂肪酸含量增多, 更有利于维持细胞膜流动性, 进而降低由于低温对细胞造成的损伤<sup>[19, 30-31]</sup>。在水产动物中, 如鱼类等的脂肪多由多不饱和脂肪酸组成, 多不饱和脂肪酸在维系细胞膜的结构和机能的完整性上有重要作用, 其中的 EPA、DHA 均与此作用有关。此外, EPA + DHA 具有消炎、抗肿瘤、抑制血小板聚集、降血脂、降血压及免疫调节等多种功效<sup>[32-34]</sup>。元冬娟等<sup>[32]</sup>通过比较冬、夏两季的青蛤等 6 种贝类的脂肪酸的含量发现, 冬季的总脂肪酸含量高于夏季, 推测夏季高温使贝类的脂肪酸被大量消耗, 而冬季新陈代谢相对较弱、消耗较少, 且贝类在冬季需要保留更多的脂肪酸来保持细胞流动性。本实验中, 随着低温时间的延长, 中国圆田螺足肌饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸总体呈下降趋势, 对照组和 14 d 组均显著高于 28 和 56 d 组 ( $P<0.05$ ); 多不饱和脂肪酸总体均呈先上升再下降趋势, 其中 28 和 42 d 显著高于其他各组 ( $P<0.05$ ), 其中的 EPA、DHA 呈上升趋势, 56 d 组显著高于对照组 ( $P<0.05$ ), 说明随着低温时间的延长, 中国圆田螺可能为了应对低温环境, 大量的饱和脂肪酸与单不饱和脂肪酸作为能量物质被消耗, 由于需要提高自身应激能力以及维持细胞膜的结构和机能, 因此需要在其体内合成或储存大量的 EPA 和 DHA, 导致了 EPA 和 DHA 被保留<sup>[33, 35]</sup>。另有研究表明, 通过改变鱼体内的脂肪酸组分即通过食物增加多不饱和脂肪酸含量, 来维持膜脂流动性正常, 进而提高鱼体低温耐受能力来适应低温环境<sup>[36]</sup>。因此, 本实验中, 在中国圆田螺饥饿前期, 其体内的多不饱和脂肪酸含量的升高可能也与膜脂流动性有关。

### 3.3 不同低温保活时间对中国圆田螺肝脏消化酶活性和抗氧化指标的影响

酶活性是在环境胁迫的生理生化机制研究中的一个关键指标, 而温度是最重要的环境因素之一, 也是影响酶活性的重要因素之一<sup>[37]</sup>。消化酶可以反映出水产动物的摄食、营养条件及生理状况, 其活性的变化是机体对温度适应的一种调节机制, 可对机体的消化吸收能力和生长产生影响<sup>[38-39]</sup>。钱佳慧等<sup>[40]</sup>研究表明, 无论是突变温度还是渐变温度, 贝类的淀粉酶活性均随着温度的下降而降低。本实验通过研究不同低温时间对中国圆田螺肝脏的消化酶变化的影响, 发现胰蛋白

酶和脂肪酶总体均呈下降趋势, 而淀粉酶活性总体呈先上升再下降趋势, 推测这可能是在低温前期, 中国圆田螺对低温产生了积极的应激反应, 随着低温时间的延长, 淀粉酶活性也逐渐降低。

抗氧化相关酶在低温胁迫应答机制中起到关键作用, 目前关于水产动物的抗氧化酶活性影响的研究大多在鱼类上<sup>[41]</sup>。在贝类上, 非特异性免疫系统中的抗氧化系统及时清除机体氧自由基的能力最为重要, 低温胁迫能将机体氧化与抗氧化系统的平衡打破, 加剧机体发生氧化应激反应, 导致抗氧化防御系统的机能下降<sup>[19]</sup>。由于机体对低温的调节适应机制具有局限性, 在持续低温胁迫时其抗氧化防御系统被破坏, 导致体内细胞损伤, 若不能及时修复受损的细胞, 一旦机体的调节能力超负荷, 则引发各类生理反应或者死亡<sup>[19, 39]</sup>。

超氧化物歧化酶和过氧化氢酶在清除自由基方面起到关键作用, 机体内的自由基代谢与组织的氧化损伤状况可通过两种酶的动态变化准确反映, 从而判断机体的健康情况<sup>[42-43]</sup>。在鱼类中, 刘汝建等<sup>[44]</sup>研究发现卵形鲳鲀(*Trachinotus ovatus*)低温胁迫后, 其体内的超氧化物歧化酶和过氧化氢酶等抗氧化还原酶活性在 24 h 内显著升高。罗胜玉<sup>[45]</sup>在黄姑鱼(*Nibea albiflora*)低温胁迫后发现, 其肝脏、肌肉和鳃组织的超氧化物歧化酶和过氧化氢酶均呈先升高再降低的趋势。在贝类中, 李杰等<sup>[46]</sup>研究发现, 菲律宾蛤仔斑马蛤幼贝能通过提高 SOD 活性抵御低温环境。本实验中, 超氧化物歧化酶和过氧化氢酶呈先升高再下降的趋势, 与罗胜玉等<sup>[45]</sup>研究结果相似, 本研究中中国圆田螺可能在遭受低温胁迫的前期, 机体通过调节抗氧化酶活性平衡体内自由基含量, 降低体内细胞损伤, 因此两种酶有所升高; 但随着低温胁迫时间的延长, 受到低温调节适应机制的局限性的影响, 抗氧化防御系统被破坏, 此时体内损伤细胞不能及时被修复, 进而引起抗氧化防御系统机能下降, 造成两种酶活性降低。

在抗过氧化的所有酶中, 谷胱甘肽过氧化物酶的反映最为明显<sup>[47]</sup>, 其通过促进谷胱甘肽与过氧化氢反应, 能有效降低脂质过氧化对机体的损伤<sup>[48]</sup>。在本实验中, 随着低温时间的延长, 谷胱甘肽过氧化物酶呈下降趋势, 其中在 42 d 时达到最低, 显著低于对照组, 说明低温胁迫时间过长会降低机体的抗氧化能力。丙二醛是动物体内自由基作用于脂肪发生过氧化反应并具细胞毒性

的氧化产物, 其含量能反映机体中脂质过氧化程度与细胞损伤程度<sup>[38-39]</sup>。本实验中, 丙二醛含量总体呈下降趋势, 其中 42 d 组显著低于对照组 ( $P < 0.05$ ), 结合其他抗氧化指标, 推测此时中国圆田螺体内的抗氧化应急能力变差, 抗氧化体系灵敏度降低。

综上, 4 °C 低温无水保活中国圆田螺超过 42 d 会产生较高的死亡率, 此时体内已经发生了低温胁迫效应, 其消化酶活性降低, 抗氧化能力变弱, 调节能力超负荷。胁迫发生期间, 中国圆田螺主要以蛋白质为能量来源, 其次脂肪酸中大量的饱和脂肪酸与单不饱和脂肪酸作为能量物质被消耗, 而多不饱和脂肪酸被更好地保留。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

#### 参考文献 (References):

- [1] 刘月英, 张文珍, 王跃先, 等. 中国经济动物志: 淡水软体动物 [M]. 北京: 科学出版社, 1979: 9-13.  
Liu Y Y, Zhang W Z, Wang Y X, et al. China's economic animal chronicles: freshwater Mollusks[M]. Beijing: Science Press, 1979: 9-13 (in Chinese).
- [2] 杨东辉. 中华圆田螺的生态养殖技术研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.  
Yang D H. Studies on ecological cultivation techniques of mudsnail (*Cipangopaludina cahayensis*)[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006 (in Chinese).
- [3] 端正花, 李莹莹, 陈静, 等. 中国圆田螺壳在镉污染中的指示作用[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(11): 2131-2135.  
Duan Z H, Li Y Y, Chen J, et al. Indicating Cd pollution by snail *Cipangopaludina chinensis* shell[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2014, 33(11): 2131-2135 (in Chinese).
- [4] Xiong Q P, Li H L, Zhou L, et al. A sulfated polysaccharide from the edible flesh of *Cipangopaludina chinensis* inhibits angiogenesis to enhance atherosclerotic plaque stability[J]. *Journal of Functional Foods*, 2020, 66: 103800.
- [5] Xiong Q P, Hao H R, He L, et al. Anti-inflammatory and anti-angiogenic activities of a purified polysaccharide from flesh of *Cipangopaludina chinensis*[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2017, 176: 152-159.
- [6] 郭明新, 林玉环. 用中华圆田螺作为底泥重金属毒性

- 和生物可给性的指示生物[J]. 环境与开发, 1997, 12(2): 8-11.
- Guo M X, Lin Y H. River snail *Cipangopaludina cathayensis* as an indicator for toxicity and bioavailability of heavy metals in sediment[J]. Environment and Exploitation, 1997, 12(2): 8-11 (in Chinese).
- [7] 罗辉, 陈李婷, 敬庭森, 等. 田螺科四种螺的肌肉主要营养成分[J]. 水产学报, 2022, 46(11): 2177-2185.
- Luo H, Chen L T, Jing T S, et al. Muscle nutrition analysis of four snail species of Viviparidae[J]. Journal of Fisheries of China, 2022, 46(11): 2177-2185 (in Chinese).
- [8] Zhou K Q, Chen Z, Du X S, et al. SMRT sequencing reveals candidate genes and pathways with medicinal value in *Cipangopaludina chinensis*[J]. Frontiers in Genetics, 2022(13): 881952.
- [9] 周康奇, 林勇, 庞海峰, 等. 中国圆田螺肌肉营养成分及消化酶活力比较分析[J]. 淡水渔业, 2021, 51(6): 106-112.
- Zhou K Q, Lin Y, Pang H F, et al. Comparison analysis of muscles nutrient composition and digestive enzyme in *Cipangopaludina chinensis*[J]. Freshwater Fisheries, 2021, 51(6): 106-112 (in Chinese).
- [10] 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.
- Shen S Q, Liu H Y, Wang J. Study on keeping alive techniques of shellfish[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2010, 14(9): 102-103, 110 (in Chinese).
- [11] 张晓磊, 庞广昌. 冬眠技术在鲜活水产品 and 禽畜运输领域的应用及发展趋势[J]. 食品科学, 2009, 30(19): 331-334.
- Zhang X C, Pang G K. Application and trends of hibernation for fresh aquatic products and poultry in transportation[J]. Food Science, 2009, 30(19): 331-334 (in Chinese).
- [12] 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.
- Cao J Z, Xu R, Bao J Q. Study on the technology of keeping *Mytilus crassitesta* alive without water at low temperature[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(10): 4248-4249, 4274 (in Chinese).
- [13] 岳晓华, 沈月新. 彩虹明樱蛤的低温保活研究[J]. 大连水产学院学报, 2003, 18(1): 56-58.
- Yue X H, Shen Y X. Holding of *Moerella iridescens* under low temperature[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2003, 18(1): 56-58 (in Chinese).
- [14] 于业绍, 顾润润, 杨星星. 青蛤的保活与营养[J]. 海洋科学, 2005, 29(8): 10-14.
- Yu Y S, Gu R R, Yang X X. Survival condition and nutrition of *Cyclina sinensis*[J]. Marine sciences, 2005, 29(8): 10-14 (in Chinese).
- [15] 陈建军, 刘青梅, 杨性民, 等. 泥蚶低温保活技术的应用研究[J]. 浙江万里学院学报, 2007, 20(5): 72-75.
- Chen J J, Liu Q M, Yang X M, et al. Applied research on keeping *Tegillarca granosa* alive under low temperature[J]. Journal of Zhejiang Wanli University, 2007, 20(5): 72-75 (in Chinese).
- [16] 高加龙, 章超桦, 秦小明, 等. 不同温度无水保活对香港牡蛎微生物和基本营养成分的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2020, 40(5): 90-96.
- Gao J L, Zhang C Y, Qin X M, et al. Effects of different temperatures waterless keep alive on total number of bacteria and coliform group, and basic nutritional compositions in *Crassostrea hongkongensis*[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2020, 40(5): 90-96 (in Chinese).
- [17] 李一峰, 杨金龙, 王冲, 等. 厚壳贻贝早期幼虫低温保存的影响研究[J]. 水产学报, 2012, 36(1): 73-77.
- Li Y F, Yang J L, Wang C, et al. Study on refrigeration of the early larvae of the mussel *Mytilus coruscus*[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(1): 73-77 (in Chinese).
- [18] 郑惠娜, 唐小艳, 周春霞, 等. 文蛤无水保活及水溶性蛋白组成变化初步研究[J]. 水产科技情报, 2016, 43(2): 108-112.
- Zheng H N, Tang X Y, Zhou C X, et al. Preliminary study on the changes of *Meretrix meretrix* Linnaceus water-free activation and water-soluble protein composition[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2016, 43(2): 108-112 (in Chinese).
- [19] 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.
- Dong S S, Nie H T, Yan X W. Research progresses on mechanisms of cold stress responses in shellfish: a review[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2019, 34(3): 457-462 (in Chinese).
- [20] Sukhotin A A. Respiration and energetics in mussels (*Mytilus edulis* L.) cultured in the White Sea[J]. 中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries



- [Aquaculture](#), 1992, 101(1-2): 41-57.
- [21] 焦海峰, 郑丹, 严巧娜, 等. 温度、盐度及交互作用对僧帽牡蛎(*Saccostrea cucullata*)呼吸排泄的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 692-699.  
Jiao H F, Zheng D, Yan Q N, *et al.* Effects of water temperature and salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Saccostrea cucullata*[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(2): 692-699 (in Chinese).
- [22] 柳富荣. 田螺的养殖技术[J]. 饲料广角, 2002(15): 31-32.  
Liu R F. Breeding techniques for river snail[J]. *Feed China*, 2002(15): 31-32 (in Chinese).
- [23] 殷帅文, 林学群, 陈洁辉. 谈谈鱼类的比肝重及其意义[J]. 科学养鱼, 2002(9): 54.  
Yin S W, Lin X Q, Chen J H. Talk about the higher weight of fish than the liver and its significance[J]. *Scientific Fish Farming*, 2002(9): 54 (in Chinese).
- [24] Matsukura 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.
- [25] 高捷, 刘红英, 齐凤生, 等. 缢蛭保活过程中糖原变化的研究[J]. [食品工业科技](#), 2011, 32(5): 361-362,421.  
Gao J, Liu H Y, Qi F S, *et al.* Research on changes of glycogen of *Sinonovacula constricta* during its life-keeping process[J]. [Science and Technology of Food Industry](#), 2011, 32(5): 361-362,421 (in Chinese).
- [26] 王彩理, 刘丛力, 李娟, 等. 美洲帘蛤保活前后的氨基酸变化[J]. [氨基酸和生物资源](#), 2012, 34(2): 56-58.  
Wang C L, Liu C L, Li J, *et al.* Amino acid changes of *Mercenaria mercenaria* during keeping alive[J]. [Amino Acids and Biotic Resources](#), 2012, 34(2): 56-58 (in Chinese).
- [27] 殷邦忠, 滕瑜, 王家林, 等. 菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)低温保活方法的研究[J]. [中国水产科学](#), 1996, 3(1): 88-94.  
Yin B Z, Teng Y, Wang J L, *et al.* A studies of the storage methode of living *Ruditapes philippinarum* at low temperature[J]. [Journal of Fishery Sciences of China](#), 1996, 3(1): 88-94 (in Chinese).
- [28] 戴志远, 张燕平, 张虹, 等. 紫贻贝低温无水保活过程中的生化变化[J]. [中国食品学报](#), 2004, 4(3): 16-19.  
Dai Z Y, Zhang Y P, Zhang H, *et al.* Biochemical changes of *Mytilus edulis* Linne during keeping alive without water at low temperature condition[J]. [Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology](#), 2004, 4(3): 16-19 (in Chinese).
- [29] 田国庆, 魏恩宗, 方应国, 等. 青蛤低温保活和营养成分的变化[J]. 上海水产大学学报, 2002, 11(2): 184-187.  
Tian G Q, Wei E Z, Fang Y G, *et al.* Low temperature to keep gmelins (*Cyclina sinensis*) alive and the changes of nutrition compositions[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2002, 11(2): 184-187 (in Chinese).
- [30] Su X Q, Antonas K, LI D, *et al.* Seasonal variations of total lipid and fatty acid contents in the muscle of two Australian farmed abalone species[J]. [Journal of Food Lipids](#), 2006, 13(4): 411-423.
- [31] Qiang J, He J, Yang H, *et al.* Temperature modulates hepatic carbohydrate metabolic enzyme activity and gene expression in juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed a carbohydrate-enriched diet[J]. [Journal of Thermal Biology](#), 2014, 40: 25-31.
- [32] 元冬娟, 邵正, 程小广, 等. 冬、夏季6种经济贝类脂肪酸组成[J]. 南方水产, 2009, 5(4): 47-53.  
Yuan D J, Shao Z, Cheng X G, *et al.* Fatty acids profile of six marine shellfishes in summer and winter[J]. *South China Fisheries Science*, 2009, 5(4): 47-53 (in Chinese).
- [33] 王艳, 胡先成, 罗颖. 盐度对鲈鱼稚鱼的生长及脂肪酸组成的影响[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2007, 24(2): 62-66.  
Wang Y, Hu X C, Luo Y. Effects of salinity on growth and fatty acids composition of juvenile *Lateolabrax japonicus*[J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science Edition)*, 2007, 24(2): 62-66 (in Chinese).
- [34] 雷霖霖, 梁萌青, 刘新富, 等. 大菱鲆营养成分与食用价值研究概述[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(4): 112-115.  
Lei J L, Liang M Q, Liu X F, *et al.* A review of nutritional components and food value of turbot *Scophthalmus maximus* L.[J]. *Marine Fisheries Research*, 2008, 29(4): 112-115 (in Chinese).
- [35] 王吉桥, 张欣, 刘革利. 海水鱼类必需脂肪酸营养与需要的研究进展[J]. [水产科学](#), 2001, 20(5): 39-43.  
Wang J Q, Zhang X, Liu G L. Recent advance in essential fatty acid nutrition and requirements of cultured marine fishes[J]. [Fisheries Science](#), 2001, 20(5): 39-43 (in Chinese).

- [36] Kelly A M, Kohler C C. Cold tolerance and fatty acid composition of striped bass, white bass, and their hybrids[J]. *North American Journal of Aquaculture*, 1999, 61(4): 278-285.
- [37] Elliott J M. The Effects of temperature and ration size on the growth and energetics of salmonids in captivity[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Comparative Biochemistry*, 1982, 73(1): 81-91.
- [38] 曾鹏. 冰温离水储运及休眠方式与储藏时间对鲫鱼生理指标的影响 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.  
Zeng P. Research on the ice-temperature storage and effects of dormant and temperature on physiological characteristics of crucian[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018 (in Chinese).
- [39] 宾石玉, 张妍, 林勇, 等. 低温胁迫对罗非鱼消化酶活性的影响[J]. *广西师范大学学报(自然科学版)*, 2014, 32(1): 127-132.  
Bin S Y, Zhang Y, Lin Y, *et al.* Effects of low temperature stress on digestive enzyme activity in *Tilapia*[J]. *Journal of Guangxi Normal University (Natural Science Edition)*, 2014, 32(1): 127-132 (in Chinese).
- [40] 钱佳慧, 栗志民, 陈树河. 温度和盐度对华贵栉孔扇贝幼贝淀粉酶和 $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATP酶活性的联合效应[J]. *水产科学*, 2015, 34(5): 269-276.  
Qian J H, Li Z M, Chen S H. Synergistic effects of temperature and salinity on activities of amylase and  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase in juvenile scallop *Chlamys nobilis* (Reeve)[J]. *Fisheries Science*, 2015, 34(5): 269-276 (in Chinese).
- [41] 王俊, 姜祖辉, 唐启升. 栉孔扇贝耗氧率和排氨率的研究[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(9): 1157-1160.  
Wang J, Jiang Z H, Tang Q S. Oxygen consumption and ammonia-N excretion rates of *Chlamys farreri*[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(9): 1157-1160 (in Chinese).
- [42] 罗胜玉, 徐冬冬, 楼宝, 等. 低温胁迫对黄姑鱼(*Nibea albiflora*)抗氧化酶、 $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATP酶及Hsp70蛋白含量的影响[J]. *海洋通报*, 2017, 36(2): 189-194.  
Luo S Y, Xu D D, Lou B, *et al.* Effects of low temperature stress on activities of antioxidant enzymes,  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATP enzyme and Hsp70 content of *Nibea albiflora*[J]. *Marine Science Bulletin*, 2017, 36(2): 189-194 (in Chinese).
- [43] 谢妙. 低温胁迫对斜带石斑鱼生理、生化、脂肪酸的影响 [D]. 湛江: 广东海洋大学, 2012.  
Xie M. Effects of low temperature stress on physiology, biochemical and fatty acid of *Epinephelus coioides*[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2012 (in Chinese).
- [44] 刘汝建, 区又君, 李加儿, 等. 盐度、温度对卵形鲳鲆选育群体肝抗氧化酶活力的影响[J]. *动物学杂志*, 2013, 48(3): 428-436.  
Liu R J, Ou Y J, Li J E, *et al.* Effects of salinity and temperature on the activity of antioxidant enzymes in livers of selective group of *Trachinotus ovatus*[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2013, 48(3): 428-436 (in Chinese).
- [45] 罗胜玉. 低温胁迫对黄姑鱼生理生化指标和 Hsp70 基因表达模式的影响 [D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2016.  
Luo S Y. Effect of low temperature stress on physiological and biochemical indexes and Hsp70 gene expression pattern of *Nibea albiflora*[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2016 (in Chinese).
- [46] 李杰, 孙溪蔓, 张鹏, 等. 渐变低温对不同规格菲律宾蛤仔斑马蛤酶活性的影响[J]. *大连海洋大学学报*, 2018, 33(2): 217-222.  
Li J, Sun X M, Zhang P, *et al.* Effect of gradual cooling on enzyme activity of Manila clam *Ruditapes philippinarum* with zebra-colored shell and different sizes[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2018, 33(2): 217-222 (in Chinese).
- [47] Winston G W, Di Giulio R T. Prooxidant and antioxidant mechanisms in aquatic organisms[J]. *Aquatic Toxicology*, 1991, 19(2): 137-161.
- [48] Yu L L, Yu H H, Liang X F, *et al.* Dietary butylated hydroxytoluene improves lipid metabolism, antioxidant and anti-apoptotic response of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2018, 72: 220-229.

## Effects of different times of low temperature anhydrous preservation on survival, nutritional composition, enzyme activities and antioxidant indexes of *Cipangopaludina chinensis*

ZHOU Kangqi<sup>1</sup>, WEI Zina<sup>1,2</sup>, LI Zhe<sup>1</sup>, LIN Yong<sup>1</sup>, HUANG Yin<sup>1</sup>, DU Xuesong<sup>1</sup>, QIN Junqi<sup>1</sup>, CHEN Zhong<sup>1</sup>, OU Hongxia<sup>3</sup>, XU Junlong<sup>3</sup>, XIANG Guide<sup>1</sup>, PAN Xianhui<sup>1\*</sup>

(1. Guangxi Academy of Fishery Sciences, Guangxi Key Laboratory of Aquatic Genetic Breeding and Healthy Aquaculture,

Guangxi Aquatic Breeding Base in Hainan, Nanning 530021, China;

2. Guangxi Qinzhou Agricultural School, Qinzhou 535000, China;

3. Fangchenggang Vocational and Technical College, Fangchenggang 538001, China)

**Abstract:** *Cipangopaludina chinensis* is an economically important aquatic snail with high medicinal value in China. To improve the technology of preserving *C. chinensis* and to promote the sustainable development of the snails rice noodle industry, in this study, 1,500 healthy *C. chinensis* with an initial body mass of (21.71±2.70) g were used to investigate the effects of survival, morphological indices, nutritional composition, fatty acids, digestive enzyme activity and antioxidant indices of storing snails for 0, 14, 28, 42 and 56 d under 4 °C anhydrous conditions. The results showed that the survival rate of snails stored at 4 °C for a short period of time (14-28 d) exceeded 93%, but after 42 days, the value fell below 78%. The liver weight and liver/body ratio of 28 and 42 d of hypothermia were significantly higher than those of the control. Compared with the control, body mass decreased by 7.6% at 56 d of hypothermia, while liver weight was markedly increased. The results of nutritional composition examination showed no difference in crude protein, crude ash and moisture of muscle between the groups, and the crude fat content showed an increasing trend, with 28, 42 and 56 d being considerably higher than the control. The glycogen content showed an overall upward trend, among which the difference between 14 and 56 d was significant. Fatty acid detection revealed that the contents of SFA and MUFA showed an overall downward trend, with 28-56 d dramatically lower than those of the control and 14 d. The PUFA contents at 28 and 42 d were notably higher than the other treatments. All digestive and antioxidant enzyme activities in this study showed an overall decreasing trend. The amylase activity of the control was significantly lower than that in 14 d, but remarkably higher than that in 42 d. Then, except for the 42 d trypsin, the lipase and trypsin content of the other treatments was substantially less than that of the control. The glutathione catalase of the 42 d group was significantly lower than that of the other groups, and the activities of superoxide dismutase, catalase and malondialdehyde at 42 d were dramatically lower than those of the control. In summary, it is shown that anhydrous preservation for more than 42 days at 4 °C will lead to a higher mortality rate of *C. chinensis*. After 42 d, the digestive enzyme and antioxidant enzyme activities in the body are reduced, and the internal environmental balance is disrupted, which in turn led to high mortality. During the stress period, *C. chinensis* mainly use protein as an energy source, and then a large amount of saturated fatty acids and monounsaturated fatty acids are consumed as energy materials, while polyunsaturated fatty acids are better retained. This study provides a scientific basis for understanding the physiological and biochemical adaptation countermeasures of snails under different times of low-temperature anhydrous preservation and improving their storage and transportation management.

**Key words:** *Cipangopaludina chinensis*; low temperature time; nutritional composition; fatty acid; enzyme activities; antioxidant indexes

**Corresponding author:** PAN Xianhui. E-mail: 408797187@qq.com

**Funding projects:** Guangxi Natural Science Foundation Project (2020GXNSFBA297067); Guangxi Innovation-driven Development Project (AA20302019-5); Base Talent Special Research Project of Guangxi (AD21220010); National Key R & D Program of China (2022YFD2400700); Independent Research Project of The Key Laboratory of the Autonomous Region (2023-A-01-04, 2023-A-01-05); Guangxi Agricultural Science and Technology Self-raised Funds Project (Z2022208, Z2022210, Z2022215); National Modern Agricultural Technology System (nycytxgxcxtd-2021-08)