

不同温度对无水保活条件下的中华鳖肌肉营养成分及血液生化指标影响

何 蓉, 谢 晶*, 苏 辉, 黎 柳, 黄硕琳

(上海海洋大学食品学院, 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306)

摘 要: 设定4、10℃和18℃组研究中华鳖(*Pelodiscus sinensis*)在无水保活21 d中质量损失率、肌肉水分、脂肪、蛋白质以及血液葡萄糖(Glu)、总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、尿素、尿酸(UA)和肌酐(CREA)含量与乳酸脱氢酶(LDH)、碱性磷酸酶(ALP)和谷草转氨酶(AST)活性的变化。结果表明: 在保活过程中, 4℃组中华鳖仅能存活11~16 d, 其质量损失率、肌肉营养物质消耗量显著低于10℃和18℃组($P<0.05$), 而血液Glu、LDH、AST、UA、CREA水平均显著高于10℃和18℃组($P<0.05$); 18℃组质量损失率、肌肉营养物质消耗量、血液尿素浓度显著高于4℃和10℃组($P<0.05$); 10℃组肌肉营养物质消耗量及血液生理指标水平间于4℃和18℃组之间; 随着保活时间的推移, 3个温度组肌肉营养物质和血液TP、ALB、ALP水平均呈现下降趋势, 而质量损失率和血液尿素、UA水平均呈现上升趋势; 4℃组肌肉ATP和血液LDH、AST、CREA水平均呈现先升高后下降的趋势; 10℃和18℃组肌肉ATP含量呈现先下降后上升的趋势, 而血液AST活性呈现下降趋势。该实验结果表明, 4℃组中华鳖的营养物质损害量低, 但低温应激对该组中华鳖新陈代谢水平和生命活力产生负面影响, 18℃组中华鳖机体能量代谢水平旺盛, 营养物质消耗量和质量损失率均较大, 不利于实现保活价值。建议将中华鳖保活温度设定为10℃左右。

关键词: 中华鳖; 温度; 营养物质; 生化指标

Effect of Temperature on Muscle Nutritional Components and Blood Biochemical Parameters of *Pelodiscus sinensis* Alive without Water

HE Rong, XIE Jing*, SU Hui, LI Liu, HUANG Shuo-lin

(Shanghai Aquatic Products Processing and Storage Engineering Technology Research Center,
College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: *Pelodiscus sinensis* was kept alive without water by incubation in a thermostatic chamber set at different temperatures (4, 10 and 18 °C) for 21 days. The changes in body weight loss, the contents of water, lipid and protein in muscle, and the concentrations of glucose (Glu), total protein (TP), albumin (ALB), urea, uric acid (UA) and creatinine (CREA) as well as the activities of lactate dehydrogenase (LDH), alkaline phosphatase (ALP) and aspartate aminotransferase (AST) in blood were examined during the incubation period. The results indicated that the survival time of *Pelodiscus sinensis* at 4 °C was 11–16 days. The body weight loss and nutrient consumption of *Pelodiscus sinensis* at this temperature were lower than those observed at 10 and 18 °C ($P < 0.05$) and the concentrations of Glu, UA and CREA, and the activities of LDH and AST were also higher ($P < 0.05$). The body weight loss, nutrient consumption and blood urea concentration of *Pelodiscus sinensis* at 18 °C were higher than those observed at 4 and 10 °C ($P < 0.05$). Additionally, the nutrient consumption and blood physiological indexes of *Pelodiscus sinensis* at 10 °C were between those at 4 and 18 °C. The nutrition, blood TP and ALB levels and ALP activity of *Pelodiscus sinensis* at three different temperatures showed a decreasing trend during the incubation period, while the body weight loss, and urea and UA levels exhibited an increasing trend. The levels of ATP, LDH, AST and CREA in *Pelodiscus sinensis* at 4 °C increased initially and then decreased.

收稿日期: 2013-05-19

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD38B04); 上海市科委农业重点项目(11dz1960400);
上海市科委工程中心建设项目(11DZ2280300); 上海高校一流学科建设计划项目

作者简介: 何蓉(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为中华鳖的保活。E-mail: herong2007@126.com

*通信作者: 谢晶(1968—), 女, 教授, 博士, 研究方向为水产品保鲜保活。E-mail: jxie@shou.edu.cn

Furthermore, ATP content of *Pelodiscus sinensis* at 10 and 18 °C exhibited an initial decrease followed by a increase, while AST activity always decreased. These results suggest that the nutrient consumption of *Pelodiscus sinensis* at 4 °C is lower, while low temperature stress has a harmful effect on the metabolism and vitality of *Pelodiscus sinensis*. The body metabolism rate of *Pelodiscus sinensis* at 18 °C is faster and the nutrient consumption and body weight rate are higher. Therefore, the most appropriate temperature for keeping *Pelodiscus sinensis* alive is about 10 °C.

Key words: *Pelodiscus sinensis*; temperature; nutrition; biochemical parameters

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 06-0194-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201406042

中华鳖 (*Pelodiscus sinensis*) 属于爬行纲 (Reptilia)、龟鳖目 (Testudinata)、鳖科 (Tironychidae), 俗称甲鱼、团鱼、王八等, 我国现已成为世界鳖养殖第一大国。我国95%以上的水产品以鲜活形式上市销售, 保活运输是水产品由养殖基地到销售市场的关键环节。目前, 水产品保活技术主要有充氧保活、麻醉保活、有水保活、无水保活等^[1]。中华鳖抗逆性较强, 对氧气和水分的要求量不高, 易于保活, 因此国内外对中华鳖无水保活的研究尚未见报道。然而随着物流小包装水产品礼盒的兴起, 礼盒装的中华鳖夏季低温保活的需求也被提了出来。

中华鳖具有冬眠特点, 属于变温动物, 对温度变化较敏感, 曾有研究表明温度是影响水产品正常生理功能的重要因素之一, 它不但影响其标准代谢及内源氮的代谢, 而且还影响机体免疫功能及健康等^[2]。温度可能是影响中华鳖夏季无水保活运输的关键因素, 鉴于此, 本实验主要研究不同温度对中华鳖体质量损失、肌肉营养成分及血液生化指标在无水保活过程中的影响, 旨在揭示中华鳖在不同保活温度下的新陈代谢特点, 为其保活运输提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

中华鳖体质量 (500±50) g, 于2012年11月购自上海市铜川路水产交易市场, 选取体格健康、无病害的中华鳖共90只。

BPS-250CL恒温恒湿箱 上海一恒仪器有限公司;
KDN-04C自动凯氏定氮仪 上海天呈科技有限公司;
DHG-9073BS-III电热恒温干燥器 济南博鑫生物技术有限公司;
P1000N脂肪测定仪 郑州中谷机械设备有限公司;
BS-200全自动生化分析仪 深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司;
1515Breeze2GPC高效液相色谱仪 德祥科技有限公司;
5810R高速冷冻离心机 上海艾测电子科技有限公司。

1.2 样品的处理

将中华鳖置于曝过气的自来水中暂养3 d, 以排尽消

化道内的排泄产物, 暂养环境温度为18 °C左右。暂养后的中华鳖经臭氧水 (质量浓度为1 mg/L) 浸泡1 min以杀死体表细菌, 再用湿润纱布垫裹中华鳖后分装于专用塑料盒中, 每盒一只。

1.3 实验设计

为防止温度骤变对中华鳖造成的不良反应, 实验前采用降温方式 (降温速率为3~5 °C/h) 将中华鳖过度至实验设定温度。将分装好的中华鳖随机分成3组, 每组30只, 分别转移至恒定温度为4、10 °C和18 °C的恒温恒湿箱内进行无水保活实验, 湿度恒定为100%, 由于中华鳖对氧气要求不高, 本实验的恒温恒湿箱中流动气体为空气。分别在中华鳖无水保活的1、6、11、16、21 d采样, 每次采样时, 每个温度组取6只中华鳖, 4 °C组中华鳖在保活后期出现死亡, 则取活样进行实验。为避免粪便等污染物对中华鳖保活实验造成的影响, 每天定时观察并及时清除粪便物。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 质量损失率

采用质量法: 质量损失率/% = $(M_{\text{始}p} - M_{\text{终}p}) / M_{\text{始}p} \times 100$

式中: $M_{\text{始}p}$ 为实验前编号为 p 的中华鳖的质量/g ($p=1, 2, 3 \dots 90$); $M_{\text{终}p}$ 为第 n 天该鳖的质量/g ($n=1, 6, 11, 16, 21$)。

1.4.2 肌肉的指标测定

1.4.2.1 肌肉取样

中华鳖去头放血后, 用解剖刀去除内脏组织及四肢根部脂肪块, 取四肢及颈部的肌肉组织, 用高速组织捣碎机捣碎并混匀, 将肉样分装在若干独立包装袋内并置于-40 °C冰箱内保存, 待测指标。

1.4.2.2 一般营养成分的测定

水分含量: 采用105 °C烘箱干燥法测定, 参照GB 50093—2010《食品中水分的测定》; 脂肪含量: 采用自动脂肪测定仪法测定, 参照GB/T 14772—2008《食品中粗脂肪的测定》; 蛋白质含量: 采用微量凯式定氮法测定, 参照GB 50095—2010《食品中蛋白质的测定》。以上3种指标的含量均以占鲜质量的质量分数表示。

1.4.2.3 腺嘌呤核苷三磷酸 (adenosine triphosphate, ATP) 含量的测定

参考邱伟强等^[3]方法。以每克肌肉中含有ATP含量表示, 单位为 $\mu\text{g/g}$ 。

1.4.3 血液指标的测定

1.4.3.1 取血方法

中华鳖快速断头取血, 每毫升血液用20 U肝素钠抗凝, 4℃、3 000 r/min离心15 min^[4], 取上层血浆于一20℃冷冻保存, 待测指标。

1.4.3.2 血液指标测定方法

葡萄糖 (glucose, Glu) 测定采用葡萄糖氧化酶法; 总蛋白 (total protein, TP) 测定采用双缩脲法; 白蛋白 (albumin, ALB) 测定采用溴甲酚绿法; 碱性磷酸酶 (alkaline phosphatase, ALP) 测定采用腺嘌呤核苷酸 (adenosine monophosphate, AMP) 缓冲液法; 乳酸脱氢酶 (lactate dehydrogenase, LDH) 测定采用乳酸脱氢酶测定试剂盒 (国际临床化学联合会的推荐方法); 天冬氨酸氨基转移酶 (aspartate transaminase, AST) 测定采用天冬氨酸氨基转移酶测定试剂盒 (国际临床化学联合会的推荐方法); 尿酸 (uric acid, UA) 采用尿酸酶-过氧化物酶法; 尿素采用紫外-谷氨酸脱氢酶法; 肌酐 (creatinine, CREA) 测定采用肌酐测定试剂盒。上述指标利用生化分析仪进行测定, 所需试剂盒均购自迈瑞试剂公司。

1.5 数据处理

采用Excel进行数据处理, 并采用SPSS 19.0统计软件中的One-Way-ANOVA程序对实验所得数据进行方差分析, 差异显著则进行Duncan氏法多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 不同温度下中华鳖质量损失率

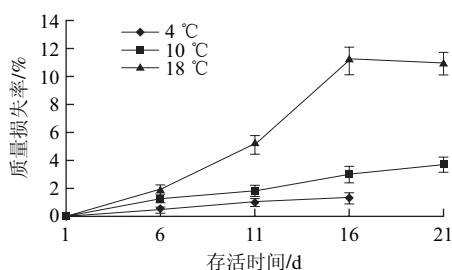


图1 不同温度条件下鳖质量损失率的变化

Fig.1 Changes in body weight loss of *Pelodiscus sinensis* at different temperatures

如图1所示, 随着保活时间的延长, 3个温度组体质量损失率逐渐增大, 且18℃组中华鳖质量损失率显著高于4℃组和10℃组 ($P<0.05$), 在21 d时损失率近11%, 这表明环境温度越高, 质量损失率越大。

2.2 不同温度下中华鳖肌肉成分的变化

2.2.1 一般营养成分

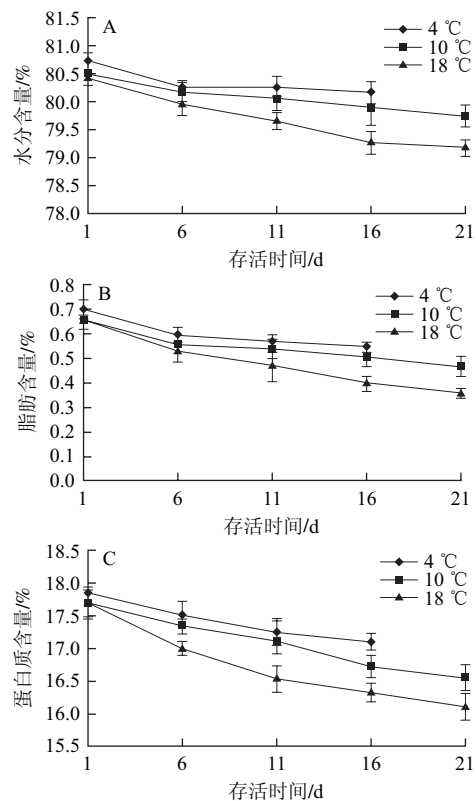


图2 不同温度条件下鳖肌肉水分 (A)、脂肪 (B) 和蛋白质 (C) 含量变化

Fig.2 Changes in muscle water, lipid and protein content of *Pelodiscus sinensis* at different temperatures

如图2所示, 3个温度组的肌肉水分、脂肪、蛋白质含量在无水保活过程中均呈现下降趋势, 且温度越高此3种物质消耗量越大。这主要是由于中华鳖在保活过程中维持新陈代谢需要消耗水分, 加之环境蒸发耗水, 肌肉水分含量随着保活时间的推移自然减少 (图2A); 4℃和10℃组脂肪、蛋白质含量在6 d时显著降低 ($P<0.05$) (图2B、2C), 可能是由于保活前中华鳖从常温 (18℃) 转移到低温环境时经历了温度骤变, 使中华鳖产生强烈的应激反应, 为适应新的温度环境, 其新陈代谢明显加快, 作为提供能量的脂肪及蛋白质含量也就明显减少, 随后中华鳖逐渐适应了低温环境, 其能量消耗逐渐减缓; 由于18℃组环境温度较高, 故中华鳖营养代谢旺盛, 其脂肪及蛋白质含量在保活后期显著低于其他两组 ($P<0.05$)。该实验结果与上述测出的不同温度下中华鳖质量损失相符。

2.2.2 肌肉ATP

由图3可知, 4℃组ATP含量在保活过程中呈现先显著升高后显著降低的趋势 ($P<0.05$), 这是由于4℃组中华鳖在保活初期因低温应激需求, 机体产生的ATP含

量增多,而后因生命活力削弱,ATP含量降低,这也说明在此温度下中华鳖仅能够保活11~16 d;本研究中,10℃和18℃组的ATP含量在保活前11 d呈明显下降趋势($P<0.05$),这可能是由于10℃和18℃组中华鳖起初直接动用体内存储的ATP提供能量,随着饥饿程度加深,机体可通过糖异生途径生成葡萄糖,直接分解转化为ATP。此外,高温组ATP含量在保活过程中大体上低于低温组,这是由于中华鳖在高温环境下新陈代谢旺盛,其体内ATP消耗较快所致。

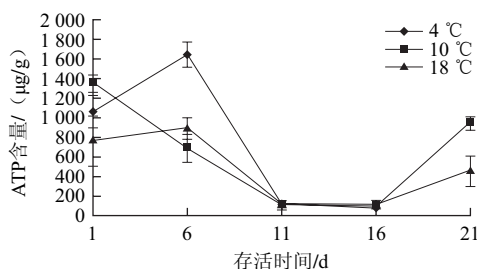


图3 不同温度条件下中华鳖肌肉ATP含量变化

Fig.3 Changes in muscle ATP content of *Pelodiscus sinensis* at different temperatures

2.3 不同温度下血液生化指标的变化

2.3.1 不同温度对中华鳖血液葡萄糖(Glu)浓度的影响

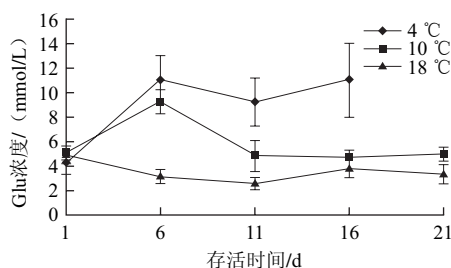


图4 不同温度条件下血液Glu浓度的变化

Fig.4 Changes in blood Glu concentration of *Pelodiscus sinensis* at different temperatures

Glu是生物体内重要能源物质,其含量不仅受胰岛素和肾上腺激素的控制,还受机体的各种调节,常态下机体内的Glu浓度比较恒定,当环境和机体活动发生变化,Glu浓度也会发生改变^[5-6]。由图4可知,中华鳖Glu浓度对温度胁迫较为敏感,4℃和10℃组的Glu浓度在保活前6 d呈显著上升趋势($P<0.05$),这与低温胁迫对东北蛙血糖影响的结果一致^[7]。在本研究中,4℃和10℃组的中华鳖在保活开始经历了温度骤变的过程,交感-肾上腺髓质系统则作用于中枢神经系统,以利于重要器官的血液供应,蛋白质和脂肪的消耗使糖异生途径加强,血糖含量不断上升,以维持温度应激时的能量需求,而4℃组Glu浓度在6 d后仍然维持在较高水平,这主要是由于该温度下的中华鳖处于冬眠状态,其葡萄糖消耗量减少所致。

曾有研究表明葡萄糖是冬眠动物抵抗寒冷环境的一种低温保护剂^[8],低温条件下葡萄糖与膜磷脂上的磷酸基团连接形成氢键,从而阻止和限制细胞膜因脱水而融合,并降低相变温度,增加膜的流动性,使膜不易向凝胶相转变,从而保持细胞膜液晶相^[9]。10℃组Glu浓度在6 d后呈现下降趋势,且长期维持在保活初始水平,这说明该组中华鳖经历短期应激后,能够长期适应10℃保活环境。

2.3.2 不同温度对中华鳖血液TP、ALB质量浓度的影响

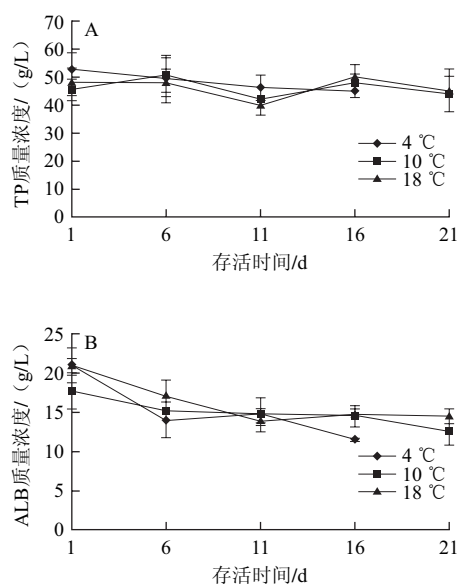


图5 不同温度条件下血液TP (A) 和ALB (B) 质量浓度的变化

Fig.5 Changes in blood TP and ALB concentrations of *Pelodiscus sinensis* at different temperatures

血液中的总蛋白主要包括白蛋白和球蛋白,TP主要维持血浆胶体渗透压与血液pH值平衡,具有运输、免疫、凝血、供能等作用^[5],ALB不仅可以作为内源性氨基酸营养源,也具有相当的酸碱缓冲能力、运输代谢产物及调节渗透压等生理功能^[10],总之,血液TP和ALB可以用来诊断动物疾病和营养状况,且体内良好营养状况可使血液蛋白维持在较高的水平^[11]。由图5可知,本研究中TP、ALB及上述18℃组Glu浓度的变化不是呈线性,而是呈波动性下降趋势,这说明保活过程中中华鳖对能量物质的需求并非是单一的。谢小军等^[12]认为,鱼类在饥饿过程中对自身贮备的能量的利用有两个方面的适应:一方面降低代谢水平以节约能量消耗;另一方面尽可能地将代谢保存在一定水平上,以保证在重新获得食物供应时或其他环境胁迫时能产生适当的应激反应。因此中华鳖对于供能物质的动用出现波动性起伏的变化,应该是这两个方面因素相互交替出现的结果。图5B显示,4℃和18℃组的ALB质量浓度在保活初期显著下降($P<0.05$),这可能是因为温度过低或过高使中华鳖

肝脏受损, 白蛋白持续下降, 引发机体特异性免疫器官产生更多球蛋白。

2.3.3 不同温度对乳酸脱氢酶 (LDH)、碱性磷酸酶 (ALP)、谷草转氨酶 (AST) 活性的影响

LDH作为重要的无氧代谢酶, 存在于机体各组织器官细胞内, 它可催化乳酸和氧化性辅酶 I 转化为丙酮酸和还原性辅酶 I, 进而参加机体的能量代谢。调解理论认为, LDH活性主要取决于机体细胞内氧分压的高低, 当细胞内氧分压降低时, LDH的合成加快, 其活性增强; 当细胞内供氧充足时, LDH的合成受到抑制, 活性降低^[13]。本研究中华鳖在保活过程中, 低温度组LDH活性高于高温组, 这可能是由于温度较低时, 中华鳖体内无氧代谢较为活跃, 以弥补有氧代谢的不足; 也有可能是低温应激使能量代谢增强所致。特别指出的是, 4℃组LDH活性在保活前11 d呈现显著上升, 而后显著下降的趋势 (图6A), 这说明4℃组中华鳖在保活前期处于强烈应激状态, 机体需要更多能量克服低温应激的危害, 而后代谢机能明显下降。

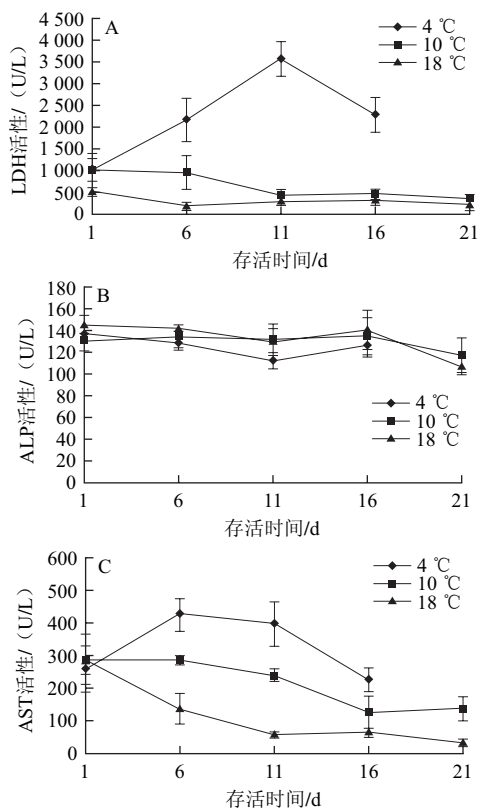


图6 不同温度条件下血液LDH (A)、ALP (B) 和AST (C) 活性变化

Fig.6 Changes in blood LDH, ALP and AST activity *Pelodiscus sinensis* at different temperatures

ALP在机体内直接参与磷酸基团的转移和代谢过程, 在鱼体内的免疫防护和物质代谢中起重要作用^[14]。其活性的高低可用来判断动物对物质消化吸收和代谢调

控的能力。有关鱼类的研究发现饥饿会导致草鱼血液ALP活性降低^[15], 这与本研究结果一致。由图6B可知, 本研究中3组中华鳖血液ALP活性在保活过程中呈下降趋势, 且18℃组存在显著性差异 ($P < 0.05$), 这可能是由于中华鳖处于无食物的保活环境中, 机体通过降低营养代谢水平而采取的自我保护措施。

AST活性可以反应动物心肌细胞受损和代谢程度, 它是机体组织细胞膜完整性的一个重要标志^[16-17], 一般情况下血清中AST活性较低, 心、肝等内脏器官受损伤会使组织中AST释放到血液中, 而使血液中的AST活性升高^[18], 由图6C可知, 低温度组AST活性在保活1 d后显著高于高温组 ($P < 0.05$), 这可能是低温刺激使中华鳖心肌收缩力加强, 心肌细胞代谢加快, 从而使心肌受损所致; 3个温度组AST活性均随着保活时间的延长呈现下降的趋势, 这可能是中华鳖长期受饥饿的影响所致, 有关鱼类的研究也发现, 饥饿胁迫会使养殖鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus*) 和哲罗鱼 (*Hucho taimen*) 血液中AST活性明显降低^[19-20]。

2.3.4 不同温度下血液尿素、尿酸 (UA)、肌酐 (CREA) 的变化

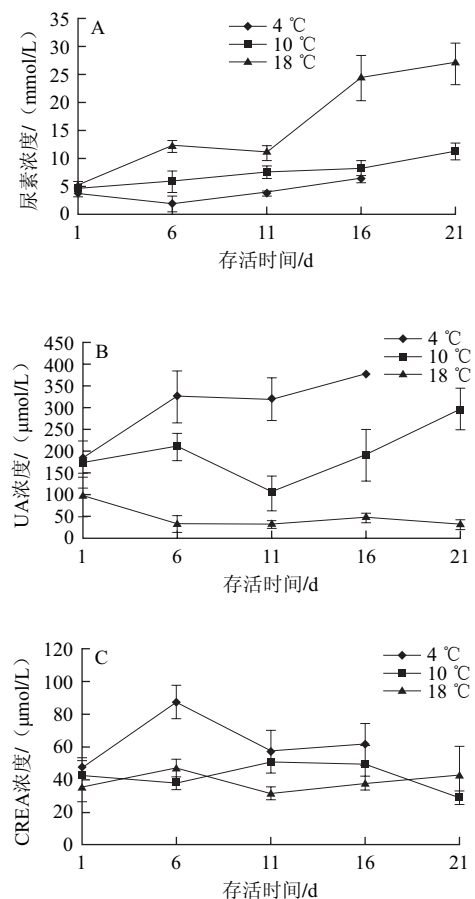


图7 不同温度条件下血液尿素 (A)、UA (B) 和CREA (C) 浓度变化

Fig.7 Changes in blood urea, UA and CREA concentration of *Pelodiscus sinensis* at different temperatures

尿素是蛋白质和氨基酸代谢的最终产物,在蛋白代谢过程中,蛋白质被分解为氨基酸,再经去氨基化生成的氨在肝脏中合成尿素。导致血液尿素浓度升高来自两方面的因素,一是生理性因素,如蛋白质被消耗;二是病理性因素,如肾前性、肾性及肾后性疾病等所引起^[21]。图7A显示,随着时间的延长,3个温度组的尿素浓度呈上升趋势,曾有研究表明,在饥饿状态下不同动物尿素的排放规律不一致,呈现下降或上升趋势^[22],本研究中18℃组尿素浓度显著高于4℃和10℃组($P<0.05$),且在保活11 d后尿素浓度急剧上升,这可能是因为18℃组中华鳖耗能多,自身蛋白质代谢率高,该结果与该温度下肌肉蛋白质消耗量最大的结果相一致;UA是嘌呤分解代谢产物,CREA主要是体内肌酸的代谢产物,这两种物质亦由肾脏代谢排出;由图7B可以看出,随着保活时间的延长,4℃和10℃组的UA浓度积累越高,这与刘伟东等^[23]研究的低温无水保活条件下大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)血液UA浓度的变化趋势类似;由图7B、7C所知,4℃组UA和CREA浓度在保活过程中明显高于其他两组($P<0.05$),这说明低温环境对中华鳖肾脏功能造成一定的损伤。

3 结 论

本研究主要研究了3个温度组中华鳖在保活21 d过程中质量损失率、肌肉营养物质及血液生理指标的变化特点,分析结果表明,4℃组中华鳖ATP、Glu、LDH、AST、CREA等含量在保活初期维持在较高水平,说明该温度组中华鳖在保活初期代谢活跃从而应对低温应激,由于低温应激过于强烈,体内能量代谢能力和生命活力在保活后期明显削弱,仅能存活11~16 d;18℃组中华鳖新陈代谢水平在保活过程中明显高于其他两组,最终出现消瘦现象,质量损失率近11%,但至实验结束都能存活;10℃组中华鳖在保活初期表现出短暂的低温应激,而后逐渐适应了该温度环境,其新陈代谢水平在保活过程中较低,最终体质量损失率约为3.7%,在实验期间存活良好。从本研究结果可以看出,中华鳖适宜保活温度约为10℃。

参考文献:

- [1] 何蓉,谢晶.水产品保活技术研究现状和进展[J].食品与机械,2012,28(5): 243-246.
- [2] MARTINEZ-PALACIOS C A, TOVAR B E, TAYLOR J F, et al. Effect of temperature on growth and survival of *Chirostoma estor estor*,

Jordan 1879, monitored using a simple video technique for remote measurement of length and mass of larval and juvenile fishes[J]. Aquaculture, 2002, 209(1/4): 369-377.

- [3] 邱伟强,陈刚,陈瞬胜,等.离子对反相高效液相色谱法同时检测水产品中6种ATP关联化合物[J].水产学报,2011,35(11): 1745-1751.
- [4] 廖晓霞,叶均安.中华鳖的消化道指数和血液生化指标[J].上海水产大学学报,2006,15(1): 105-108.
- [5] 周玉,郭文场,杨振国,等.鱼类血液学指标研究的进展[J].上海水产大学学报,2001,10(2): 163-165.
- [6] 孙学亮,邢克智,陈成勋,等.急性温度胁迫对半滑舌鳎血液指标的影响[J].水产科学,2010,29(7): 387-392.
- [7] 李秀峰.低温胁迫下东北林蛙血糖和相关酶的探究[D].哈尔滨:东北林业大学,2012.
- [8] 刘云,杨小林,王朝莉.中华鳖冬眠期与活动期部分生理生化性质的比较研究[J].四川大学学报,2002,39(增刊1): 82-84.
- [9] 李秀峰.低温胁迫下东北林蛙血糖和相关酶的研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2012.
- [10] LUK'YANENKO V I, KHABAROV M V, LUK'YANENKO V V. Heterogeneity and polymorphism of functionally specialized blood proteins in migratory fish: the case study of the north caspian population of the Russian sturgeon during sea and river periods of life. 1. Albumins[J]. Biology Bulletin, 2002, 29(3): 293-299.
- [11] MOMMSEN T P, FRENCH C J, HOCHACHKA P W. Sites and patterns of protein and amino acid utilization during the spawning migration of salmon[J]. Canadian Journal of Zoology, 1980, 58(10): 1785-1799.
- [12] 谢小军,邓利,张波.饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展[J].水生生物学报,1988,22(2): 181-187.
- [13] 李永才,黄溢明.比较生理学[M].北京:高等教育出版社,1993: 123-134.
- [14] 蒋春琴,冷向军,李小勤,等.醋酸棉酚对异育银鲫生长性能血清生化指标和棉酚残留的影响[J].动物营养学报,2012,24(1): 168-175.
- [15] 华雪铭,朱站英,邢思华,等.饥饿对草鱼非特异免疫水平的影响[J].动物学杂志,2012,47(2): 91-97.
- [16] JYOTHI B, NARAYAN G. Effect of phorate on certain protein profiles of serum in freshwater fish, *Clarias batrachus* (Linn.)[J]. Journal of Environmental Biology, 2001, 22(3): 233-235.
- [17] 崔杰峰,潘柏申.急性心肌梗死血清酶标志物沿革[J].上海医学检验杂志,2000,15(1): 13-14.
- [18] 林仕梅,罗莉,叶元士.喹乙醇对草鱼几项生理指标的影响[J].西南农业学报,1998,11(2): 119-123.
- [19] 钱云霞,陈惠群,孙江飞.饥饿对养殖鲈鱼血液生理生化指标的影响[J].中国水产科学,2002,9(2): 133-136.
- [20] 杨成辉,蔡勋,刘霞,等.饥饿和再投喂对哲罗鱼幼鱼血液生理生化指标的影响[J].淡水渔业,2009,39(1): 36-40.
- [21] LI S Z, YUAN X J, YANG Y Y, et al. Effect of cold stress by immersing in water on some enzyme activities and digestive tract mucosal hyperemia in chicken[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2001, 7(3): 267-270.
- [22] RIOS F S A, MORAES G, OBA E T, et al. Mobilization and recovery of energy stores in traíra, *Hoplias malabaricus* Bloch (Teleostei, Erythrinidae) during long-term starvation and after re-feeding[J]. Journal of Comparative Physiology, 2006, 176(7): 721-728.
- [23] 刘伟东,薛长湖,殷邦忠,等.低温下大菱鲂有水和无水保活过程中生理生化变化的研究[J].渔业科学进展,2009,30(5): 69-74.