# 低温驯化速度对鲫鱼离水储藏酶活性的影响

曾　鹏[1]，　申　江[*2]，　陈天及[1]

（1. 上海海洋大学 食品学院，上海 201306；2. 天津商业大学 机械工程学院，天津 300134）

**摘要**：为研究低温驯化及储藏温度对鲫鱼活体离水后储藏的影响，成年鲫鱼(*Carassius carassius*)放置于水箱中，采用每小时 5 ℃和 1 ℃速率，由 25 ℃匀速降温降至 0 ℃，分别在 4 ℃和 0 ℃冷库中离水储藏 24 h，测定鲫鱼新陈代谢及抗氧化相关酶的活力，并探讨低温驯化及离水储藏对鱼体生理状态的影响。结果表明，1 ℃/h 降温有利于乳酸脱氢酶(LDH)活力的保存。经过 1 ℃/h 降温驯化后，0 ℃储藏异柠檬酸脱氢酶活力功能得到了一定保存，脑琥珀酸脱氢酶(SDH)未受影响。丙氨酸氨基转移酶(ALT)活力体现为受储藏温度影响，0 ℃下其活力得到保存。0 ℃储藏导致丙二醛(MDA)的积聚，同时低温储藏中血液过氧化氢酶(CAT)集聚而肝脏未表现出明显变化。

**关键词**：丙二醛；线粒体；低温驯化；氨基酸

**中图分类号**：S 984.1　**文献标志码**：A　**文章编号**：1673—1689(2015)08—0849—07

# Effect of Low Temperature Domestication Speed on the Enzyme Acitivity in the Waterless Storage of Crucian

*ZENG Peng*[1]，　*SHEN Jiang*[*2]，　*CHEN Tianji*[1]

（1. College of Food Science and Technology，Shanghai Ocean University，Shanghai 201306，China；2. School of Mechanical Engineering，Tianjin University of Commerce，Tianjin 300134，China）

**Abstract**：This work studied the impact of hyperthermia acclimation and storage temperature on waterless storage of live Crucian Carps. Crucian Carps were hyperthermia acclimated at the speed of 5 ℃/h and 1 ℃/h，and then cultured for 24 hours at 4 ℃ and 0 ℃ in waterless ice storage rooms to observe variations activity of metabolic enzyme and antioxidant enzyme. The results showed that the temperature adaption set as 1 ℃/h increased the activity of Lactate Dehydrogenase （LDH）. The activity of isocitrate dehydrogenase（IDH）was maintained comparatively well under such condition，while brain succinate dehydrogenas（SDH）didn't change. Alaninetraensaminase（ALT）activity was maintained at 0 ℃ storage，and Malondialdehyde （MDA）acitivity was accumulated at 0 ℃. No obvious change was discovered in liver，which was caused by accumulated Catalase （CAT）low temperature storage.

**Keywords**：malondialdehyde，mitochondrion amino acids，low temperature acclimation，amino acids

**收稿日期**：2014-04-11

**基金项目**：高等学校博士学科点专项科研项目(20093104110004)。

* **通信作者**：申　江(1960—)，男，河北邯郸人，工学博士，教授，博士研究生导师，主要从事冷链技术与设备的研究。

E-mail: shenjiang@tjcu.edu.cn

鱼体降温到生理冰温点附近的温度,就会处于休眠状态以延长存活时间,使之可离水储运的技术称为鱼体冰温技术。该技术使得低温驯化增加了生物体的低温耐受性,并且低温下其新陈代谢降到最低水平,从而能保持活体的长时间储藏[1]。

生物对环境的代偿作用可以在多种环境改变诱导下发生。例如温度、压力、重金属、缺氧等。通常认为对环境的适应可以为生物体提供有益的代偿。其中,对温度的驯化适应称为"温度适应"[2]。在不适合生存的温度下,变温生物可以通过温度适应策略来满足正常生理功能。极端温度下生活的鱼类及不同季节温度下鱼类酶动力学研究为鱼类低温驯化机理提供了大量资料[3-4]。酶的活性因为有其最适温度的限制,偏离此最适温度的生物,其酶功能都会受到不利影响而导致酶功能的下降。具有不同温度驯化性的鱼类,其酶的最适温度也有变化以适应驯化温度对酶活性的影响,保证机体正常生理活动[5]。温度驯化过程通常通过提高代谢酶的活力,即通过改变酶的浓度或者通过酶可替换结构的改变产生不同最适热性质酶(同工酶),或者改变细胞膜的磷脂组成进而保证酶功能,以应对温度的改变[6-7]。

温度驯化可以引发生理代偿机制,但是环境的快速变化却会导致应激反应。在胁迫应激条件下机体代谢会紊乱,从而导致自由基的大量积聚和细胞组分的氧化状态,而 机体内抗氧化酶通过氧化还原将自由基降解,以维持机体的正常状态。 抗氧化酶活力的变化可以反映出鱼体受到环境影响程度,通常作为机体受胁迫程度的指标。例如,酶活力指标可以在鱼体受到严重伤害前作为水体污染的指标。这些指标同细胞损伤联系,可以作为早期检测标准之一[8]。

鲫鱼肉质鲜美,分布广泛,中国各地常年均有生产,为中国重要食用鱼类之一。市场上鲫鱼以鲜活品为主,死鱼通常不被消费者接受。作者以鲫鱼的酶活性为指标, 研究离水及低温状态的生理状态,反映活体低温驯化能力及低温损伤,为鲫鱼的无水保鲜的初步研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 低温驯化及储藏温度

成年鲫鱼 20±2 ℃采集自天津本地养殖鲫鱼,体重 189.91±13.65 g。选取 5 条鲫鱼作为对照组。20 条成年鲫鱼分别放养在 2 个 50 L 聚乙烯水箱中,每箱 10 尾。由室温 18℃ 采用两种降温速率:5 ℃/h 和 1 ℃/h,降温到 0 ℃,用温度巡检仪 (MX100 ,日本恒河产)与 HPt 热电阻 (精度±0.12 ℃) 监控水体温度。

温度降至 0 ℃时,试验鲫鱼分为两组,各取 10 尾鱼分别放置于 4 ℃和 0 ℃两座电脑控温冰温冷库中离水储藏。24 h 后复水观察存活率,并取 5 条活鱼取样实验。

### 1.2 取样

**1.2.1 血样** 心脏静脉取血,用肝素钠小管采集样品,低温离心 20 min(4 ℃、4 000 r/min),然后-80 ℃保存待测。

**1.2.2 肝脏及脑组织样品** 组织分离后,-80 ℃冷冻。称重后按 1:10 加入 50 mmol/L 的磷酸钾溶液(pH 7.0,包含 0.5 mmol/L EDTA)研磨破碎,然后低温离心 20 min(4 ℃、4 000 r/min),取上清液离心 30 min(4 ℃、12 000 r/min),得上清液(PMS)及沉淀(线粒体)。

### 1.3 有氧及无氧代谢

**1.3.1 肝脏和脑异柠檬酸脱氢酶(IDH)** 异柠檬酸脱氢酶活性测定:线粒体原液加入反应体系(EDTA 0.33 nmol/L, 二硫苏糖醇 0.1 mmol/L,Tris-HCl 33 mmol/L,pH 7.0,$MgSO_4$ 1.4 mmol/L,NADP 0.1 mmol/L,异柠檬酸 1.5 mmol/L), 记录 30 ℃、340 nm 吸光值每分钟的变化[9]。

**1.3.2 琥珀酸脱氢酶(SDH)酶活性的测定** pH 7.2 的磷酸盐缓冲液 ($K_3PO_4 \cdot 3H_2O$ 35 mmol/L,MgCl 25 mmol/L,$NaN_3$ 2 mmol/L)2.7 mL, 线粒体蛋白 0.1 mL,25 mmol/L $K_3Fe(CN)_6$ 60 μL,25 mmol/L 琥珀酸钠 60 μL,注在冰浴中加各试剂和样品,将各管内体积用磷酸盐缓冲液扩充至 3 mL 后,420 nmol/L 比色,读取初值,30 ℃水浴 30 min,取出放入冰浴以终止反应,比色,读取终值。

**1.3.3 肝脏乳酸脱氢酶(LDH)酶活性的测定** 反应速率以 NADH 氧化导致 340 nm 吸光值的减少确定。反应体系包括 0.1 mL、6.6 mmol/L NADH,0.1 mL、30 mmol/L 丙酮酸钠,2.8 mL、0.2 mol/L Tris-HCl buffer(pH 7.3);加入 0.1 mL 肝脏组织 PMS 样品,记录 25 ℃下的 $\Delta A_{340}$/min[10]。

### 1.4 氨基酸代谢

**1.4.1 脑谷氨酸脱氢酶(GDH)酶活性的测定** 反应速率以 NADH 氧化导致 340 nm 吸光值的减少确

定。0.125 mmol/L NADH 加入 1 mL 反应混合物(包含 50 μL PMS,200 mmol/L $NH_4Cl$,30 mmol/L α-KGA 溶于 100 mmol/L 磷酸钾缓冲液,pH 8.0),记录 $A_{340\,nm}$ 的减少。1 单位NAD-GD 定义为氧化 1 nmol NADH/(min·mg)需要的酶量[11]。

**1.4.2 肝转氨酶活力的测定** 反应体系包括 1 mL 底物:2 mmol/L α-酮戊二酸,0.2 mol/L 天冬氨酸 用于 谷氨酸氨基转移酶(ALT)和 2 mmol/L α-酮戊二酸,0.2 mol/L 丙氨酸 用于谷草转氨酶(AST);底物与 0.2 mL 上清液在 40 ℃水浴孵育 30 min (AST)或 60 min(ALT)。加入 1 mmol/L、1 mmol/L DNPH 终止反应。20 min 后,每个反应体系加入 10 mL、0.4 mol/L NaOH。以水做空白对照,30 min 后记录 505 nm 光吸收[12]。

**1.4.3 脑谷氨酸脱氢酶(GDH)的测定** 反应速率以 NADH 氧化导致 340 nm 吸光值的减少确定。0.125 mmol/L NADH 加入 1 mL 反应混合物 (包含 50 μL PMS,200 mmol/L $NH_4Cl$,30 mmol/L α-KGA 溶于 100 mmol/L 磷酸钾缓冲液,pH 8.0),记录 $A_{340\,nm}$ 的减少。1 单位 NAD- GDH 定义为每分钟氧化 1 nmol NADH 需要的酶量[13]。

### 1.5 抗氧化酶及脑 MDA

**1.5.1 过氧化氢酶(CAT)活性测定** 测定管(U)取上述溶血液 30 μL 加入 1 mL 预温至 37 ℃的基质液,置 37 ℃水浴。准确计时 60 s,加入 1 mL 钼酸铵终止反应,空白 1($B_1$):依次加入 1 mL 基质液,1 mL 钼酸铵,30 μL 溶血液;空白 2($B_2$):加入 1mL 基质液,1 mL 钼酸铵,30 μL 蒸馏水。5 min 后分光光度计,405 nm、10 mm 小比色皿,以蒸馏水调零比色。

**1.5.2 脑丙二醛(MDA)测定** 取脑组织 PMS 样品 0.2 mL 于试管中,加入 pH 7.4 的 PBS 0.8 mL,充分混匀以后加 1.80 mol/L TCA 0.5 mL。用漩涡混匀器充分混匀, 放置冰浴 2 h。取出后 2 000 r/min 离心 15 min, 吸取上清液 1 mL。加入 100 mmol/L TBA 0.25 mL。置沸水中烧煮 20 min 后流水冷至室温。波长 535 nm,光径 1 cm 的微量比色皿比色。同样方法制作一对照管, 但不放置沸水浴。数据处理使用 SPSS 11 采用双因素 Avona 分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 代谢酶

不同降温组血糖差异明显。 II 组降温血糖低($p$=0.00), 显示长时间低温驯化导致血糖的大量消耗。同时 I 组中 0 ℃储藏较 4 ℃也有下降($p$=0.04),见表 1。

Ⅱ组异柠檬酸脱氢酶活力在 0 ℃较 4 ℃储存组高($P$=0.02),各组均低于正常组,差异极显著 ($p$=0.00)。显示有氧代谢的抑制,而低温驯化及较低温度储藏对其活力有一定的保护作用。

仅Ⅰ组脑异柠檬酸脱氢酶在 4 ℃的明显升高($p$=0.05),其他较正常组无明显差异。脑 SDH 各组无明显差异,同时观测到,作为线粒体内膜上的酶,其结果反应膜脂流动性在驯化及离水低温下保持稳定。LDH 乳酸脱氢酶受低温驯化影响,I 组含量均较正常组降低($p$=0.02)。尤其 I 组在 4 ℃较低($p$=0.00),较高温度储藏对其活力有明显损伤。而 1 ℃降温同正常组无明显差异。Ⅱ组 4 ℃乳酸含量较高($p$=0.05),低温驯化保留了酶活力,同时较高的储藏温度提高了乳酸的集聚。

表 1 血糖及糖代谢酶比较

Table 1 Blood glucose and glycometabolism enzymes

| 组别 | 血糖质量浓度/(mg/dL) | 肝 IDH/(U/g) | 脑 IDH/(U/g) | 脑 SDH/(U/g) | 肝 LDH/(U/g) | 乳酸质量分数/(mg/g) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 组Ⅱ(0 ℃) | 5.77±1.65c | 0.28±0.05b | 0.83±0.16ab | 0.15±0.01 | 2.05±0.22a | 6.89±4.19ab |
| 组Ⅰ(0 ℃) | 7.96±0.78b | 0.20±0.01c | 0.97±0.57ab | 0.19±0.13 | 1.42±0.42b | 7.89±3.44ab |
| 组Ⅱ(4 ℃) | 6.47±1.09bc | 0.17±0.01c | 0.89±0.59ab | 0.20±0.11 | 1.51±1.17a | 7.66±0.05b |
| 组Ⅰ(4 ℃) | 9.85±1.24b | 0.18±0.02c | 0.86±0.03b | 0.24±0.08 | 0.58±0.01b | 4.50±2.60ab |
| 对照组 | 13.55±1.31a | 0.50±0.05a | 0.49±0.12a | 0.18±0.09 | 2.17±0.07a | 4.36±0.39a |

### 2.2 氨基酸

Alt 受储藏温度影响,0 ℃储藏活力较正常组明显下降 ($p$=0.03)。而 4 ℃较正常无明显差异,GDH 及 AST 仅显示Ⅰ组在 4 ℃较正常组有明显降低,见表 2。

### 2.3 CAT 及脑 MDA

肝脏中抗氧化酶活力没有明显差异。血液 CAT

活力受降温速率影响,5 ℃快速降温组血液 CAT 含量较高,而慢速降温组 CAT 活力降低($p$= .047)。不受储藏温度是 0 ℃或是 4 ℃的影响($p$=0.67),显示降温过程中血液中 R 抗氧化酶活力受到影响,低温驯化导致血液 CAT 含量升高。

MDA 含量受储藏温度影响,0 ℃储藏导致 MDA 集聚,其含量较正常值明显升高($p$=0.45)。同时 II 组即较长的驯化时间组, 其脑 MDA 含量较短期驯化 I 组较高,而 4 ℃储藏 MDA 含量增加量较少。

表 2 氨基酸代谢酶活力

Table 2 Enzymes of amino acid metabolism

| 组别 | GDH/(U/g) | ALT/(U/g) | AST/(U/g) |
|---|---|---|---|
| 组Ⅱ(0 ℃) | 0.26±0.10a | 0.10±0.02ab | 0.15±0.02a |
| 组Ⅰ(0 ℃) | 0.41±0.28a | 0.09±0.04ab | 0.13±0.05a |
| 组Ⅱ(4 ℃) | 0.41±0.15a | 0.07±0.01b | 0.09±0.05a |
| 组Ⅰ(4 ℃) | 0.16±0.05b | 0.08±0.01b | 0.05±0.00b |
| 对照组 | 0.47±0.14a | 0.18±0.03a | 0.16±0.04a |

表 3 抗氧化酶活性

Table 3 Antioxidases activity

| 组别 | 肝 CAT/(U/g) | 血液 CAT/(U/ml) | 脑 MDA/(nmol/g) |
|---|---|---|---|
| 组Ⅱ(0 ℃) | 0.97±0.50 | 9.39±2.09a | 2.43±0.38b |
| 组Ⅰ(0 ℃) | 1.15±0.73 | 12.08±1.13b | 1.74±0.14b |
| 组Ⅱ(4 ℃) | 1.27±0.15 | 9.97±1.73a | 1.38±0.32a |
| 组Ⅰ(4 ℃) | 1.41±0.13 | 12.56±1.00b | 1.17±0.15a |
| 对照组 | 1.66±0.45 | 8.92±2.07a | 1.04±0.36a |

## 3 结 语

### 3.1 代谢

代谢缺氧及低温都会对酶活力产生影响[14]。环境胁迫下,鱼类表现为代谢降低,同时需要保证抗氧化能力,即温度变化会导致血糖增加并导致糖原分解加剧[15]。寒冷导致糖原异生从而血糖增加,而温度升高会导致糖原分解加强[16-17]。

各储藏组均显示血糖的大量消耗,同时低温离水条件下肝脏有氧代谢受到了明显抑制。异柠檬酸脱氢酶的变化显示, 低温下代谢受到明显抑制,同时经过低温驯化后,Ⅰ组于 0 ℃储藏异柠檬酸脱氢酶活力功能得到了一定保存。脑 SDH 结果表明,膜脂流动性在长时间驯化及离水低温下保持稳定。淡水热带鱼 *Prochilodus lineatus* 在 30 ℃热驯化时,糖分解酶(己糖激酶 HK,磷酸果糖激酶 PFK,丙酮酸激酶 PK,乳酸脱氢酶 LDH)总体呈减少趋势,其结果导致糖代谢提供的能量减少[18]。

LDH 是鱼类低温驯化研究较多的酶之一,$K_m$ 是酶促反应中的速率常数, 较低的表观 $K_m$ 值反映了酶对底物较高的亲和力,泥鳅卵母细胞经不同温度驯化后,其 LDH 最低表观 $K_m$ 值跟随驯化温度波动而变化,显示酶在温度变化后仍能保证与底物的高亲和力,维持正常的酶促反应速率[19]。经过低温驯化而肝脏中乳酸脱氢酶也得到了保存,保留了正常的无氧代谢能力。

低温酶功能的驯化体现了机体代谢途径发生转换和重组,通过不同组织同工酶的表达可以满足代谢驯化。在温度驯化过程中,从肌肉和肝脏组织中都发现,LDH 同苹果酸脱氢酶同工酶表达增加[7]。但同时也有结果显示,某些酶的同工酶表达没有受到影响, 而其结构的细微变化是酶的热驯化的机理。对细胞基质丙氨酸转氨酶研究指出,不同温度环境下驯化鱼类具有相同的亚基, 即 54 000 和 56 000 亚基。这些结果表明,肝脏丙氨酸转氨酶,驯化不同的生命模式,保持不变的结构。然而就动力学水平而言,肝脏丙氨酸转氨酶对 L-丙氨酸底物的亲和力及抑制剂影响显示出极大的差别。这些功能上的变化似乎体现酶动力学仅有细微变化,能够满足鱼类的代谢以驯化不同环境需求[3]。通常认为酶结构只需要一个或很少氨基酸序列即可满足温度驯化的需要[6]。经过低温驯化后,鲫鱼酶活力的保留有利于逆境下保留机体代谢能力。

### 3.2 氨基酸代谢

I 组 4 ℃储藏条件下 GDH、AST 下降,而 Leu 较其他组低显示了转氨酶活力下降,表现出脑内氨基酸直接利用减少;结合转氨酶的活力降低,对氨基酸的利用降低,LDH 也较低, 显示其无氧代谢能力的下降,Leu 的消耗增加。脑 GDH 及肝脏 AST 仅显示Ⅰ组 4 ℃较正常组有明显降低。其他各组均保留活性。谷氨酸脱氢酶,作为不需氧的氨基酸脱氢酶,其活力的保留可在低温下为鱼体直接提供能量。

鱼类氨基酸成分随鱼获物捕获季节及所食物料成分改变而不同。例如,Lys 和 Arg 成分在夏季收获的鱼中含量较高[20]。氨基酸在冷驯化过程中具有多种作用。有文献报道,香鱼在冷驯化中有甘油大量积聚, 而这些甘油的合成起初使用葡萄糖为糖原,然后使用氨基酸作为碳源[21]。活体组织通过积聚

氨基酸抵抗冷胁迫[22]。亲水性氨基酸例如 Asp,Thr,Ser 能使机体中的结合水增加,有助于应对低温[23]。His、Tyr、Cys 和 Met 具有易被氧化的结构,glu 具有防止肌肉蛋白质变性及抗氧化的重要作用[24]。各种游离氨基酸的变化对在降温无水胁迫中的抗氧化作用可能有重要意义,而对于低温储藏的生理机理仍需进一步研究。

### 3.3 抗氧化

0 ℃储藏导致 MDA 的积聚,显示零度储藏下脂类过氧化加剧。而脑 SDH 各组无明显差异,作为线粒体膜功能指标,其结果反应膜脂流动性在驯化及离水低温下保持稳定。通常认为低温影响细胞膜脂质结构。而机体通过等粘性调节驯化逆境,等粘性调节理论认为通过改变膜脂肪结构,保持膜流动性的最适状态,以应对压力及温度变化[25]。冷驯化后细胞膜流动性增加。鱼类通过增加膜脂不饱和度改变提高细胞膜流动性[26]。而低温胁迫也可以导致膜脂流动性下降,进而对细胞造成损害并影响体内酶活性,同时膜流动性的改变会导致膜结合蛋白活性改变[27]。酶动力学显示,5-核苷酸酶最大反应速度同肌肉微粒体磷酸中饱和/不饱和脂肪酸的浓度相关,而后者受生存温度的影响[28]。肌质网中的Ca-ATPase 活性同生存温度相关。Arrhenius plot 显示其酶活力在鱼体生活温度附近存在平衡区间,酶动力学特性可能是受到脂类环境与酶交互作用的调节[29]。

温度胁迫会使鱼体产生抗氧化反应,导致脂类过氧化产物 MDA 增加,抗氧化酶活性升高,在最适温度最低,并且在高于或者低于这一物种最适温度时升高[30]。高温驯化使酶增加脂过氧化和酶过氧化。金鱼热应激后短期暴露到热温度,会显著影响氧化指标,轻微影响抗氧化酶。脂类过氧化水平在开始的数个小时快速增加。在 23 ℃驯化 34~48 h 后,谷胱甘肽过氧化物酶显著增加,同时谷胱甘肽 s 转化酶升至 1.7 倍[31]。金鱼超氧化物歧化酶(SOD)活性受到热休克的影响,在肝脏、脑、肾脏中增加,由热驯化导致新的分子合成与抗氧化防御上升[32]。

CAT 活力在血液中的肝脏中的差异显示酶特性具有组织特异模式。翠鳢(*Channa punctata*)受温度胁迫,CAT 只有肝脏中增加,推测对非生物因素应激反应的组织特异性有利于减少生理系统压力下对重要器官的生命活力功能紊乱损害[33]。

实验结果表明,0 ℃储藏下鲫鱼存活率较高:组Ⅰ存活 8 条,组Ⅱ存活 9 条,4 ℃储藏下两组均存活 7 条。低温驯化提高代谢酶活性对存活率影响仅在较低储藏温度即 0 ℃组有差别,而 0 ℃储藏下较高的存活率可能与其较高的抗氧化酶如肝 CAT 活力一致。

低温驯化有利于离水无氧储藏中的无氧代谢能力,降低血液氧化反应。使鱼类产生低温驯化而采取的降温措施为鲫鱼无水储藏保留了一定的有氧代谢能力。而氨基酸代谢、脑组织脂类过氧化主要受储藏温度的影响。

## 参考文献:

[1] 韩利英,张慜. 鲫鱼保活条件对存活率的影响[J]. 食品与生物技术学报,2009,28(5):642-646.
HAN Liying,ZHANG Min. Effect of surviving conditionson surviving rates of cultivation crucian carp [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2009,28(5):642-646.(in Chinese)

[2] Rogers K D,Seebacher F,Thompson M B. Biochemical acclimation of metabolic enzymes in response to lowered temperature in tadpoles of *Limnodynastes peronii*[J]. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology**,2004,137(4):731-738.

[3] Srivastava A S,Oohara I,Suzuki T,et al. Purification and properties of cytosolic alanine aminotransferase from the liver of two freshwater fish,*Clarias batrachus* and *Labeo rohita* [J]. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Biochemistry and Molecular Biology**,2004,137(2):197-207.

[4] Somero G N,Giese A C,Wohlschlag D E. Cold adaptation of the antarctic fish *Trematomus bernacchii* [J]. **Comparative Biochemistry and Physiology**,1968,26(1):223-233.

[5] Goldspink G. Adaptation of fish to different environmental temperature by qualitative and quantitative changes in gene expression [J]. **Journal of Thermal Biology**,1995,20(1-2):167-174.

[6] Somero G N. Adaptation of enzymes to temperature:searching for basic "strategies"[J]. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Biochemistry and Molecular Biology**,2004,139(3):321-333.

[7] Seddon W L. Mechanisms of temperature acclimation in the channel catfish Ictalurus punctatus:Isozymes and quantitative

changes[J]. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology**,1997,118(3):813-820.

[8] Barnhoorn I E J,van Vuren J H J. The use of different enzymes in feral freshwater fish as a tool for the assessment of water pollution in South Africa[J]. **Ecotoxicology and Environmental Safety**,2004,59(2):180-185.

[9] 王丽艳,张敏,赵晓丽,等. 不同运动方式对大鼠异柠檬酸脱氢酶和磷酸果糖激酶-1的影响[J]. 天津医科大学学报,2011(2):170-172.

WANG Liyan,ZHANG Min,ZHAO Xiaoli,et al. Effect of different training methods on the activity of isocitrate dehydrogenase and phosphofructokinase-1 in rats skeletal muscle[J]. **Journal of Tianjin Medical University**,2011(2):170-172.(in Chinese)

[10] Starnes J W. Effect of storage conditions on lactate dehydrogenase released from perfused hearts [J]. **International Journal of Cardiology**,2008,127(1):114-116.

[11] Celik I,Suzek H. Effects of subacute treatment of ethylene glycol on serum marker enzymes and erythrocyte and tissue antioxidant defense systems and lipid peroxidation in rats[J]. **Chemico-Biological Interactions**,2007,167(2):145-152.

[12] Kaur G,Alam M S,Jabbar Z,et al. Evaluation of antioxidant activity of *Cassia siamea* flowers [J]. **Journal of Ethnopharmacology**,2006,108(3):340-348.

[13] Joshi C V,Ghormade V,Kunde P,et al. Flocculation of dimorphic yeast *Benjaminiella poitrasii* is altered by modulation of NAD-glutamate dehydrogenase[J]. **Bioresource Technology**,2010,101(4):1393-1395.

[14] Gracey A Y,Troll J V,Somero G N. Hypoxia-induced gene expression profiling in the euryoxic fish *Gillichthys mirabilis*[J]. **Proc Natl Acad Sci USA**,2001,98(4):1993-1998.

[15] Benziger D,Umminger B L. Role of hepatic glycogenolytic enzymes in the cold-induced hyperglycemia of the killifish,*Fundulus heteroclitus*[J]. **Comp Biochem Physiol A Comp Physiol**,1973,45(3):767-772.

[16] Seibert H. Effects of temperature on glucose release and glycogen metabolism in isolated hepatocytes from rainbow trout (*Salmo gairdneri*)[J]. **Comp Biochem Physiol B**,1985,81(4):877-883.

[17] Seibert H. Effects of temperature on glucose release and glycogen metabolism in isolated hepatocytes from rainbow trout (*Salmo gairdneri*)[J]. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Comparative Biochemistry**,1985,81(4):877-883.

[18] Carvalho C d S,Fernandes M N. Effect of copper on liver key enzymes of anaerobic glucose metabolism from freshwater tropical fish *Prochilodus lineatus* [J]. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Molecular &Integrative Physiology**,2008,151(3):437-442.

[19] Klyachko O S,Polosukhina E S,Ozernyuk N D. The effects of temperature and chorionic gonadotropin on the functional properties of lactate dehydrogenase from oocytes of loach Misgurnus fossilis [J]. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Biochemistry and Molecular Biology**,1995,111(4):517-521.

[20] Aksnes A,& Brekken,B. Tissue degradation,amino acid liberation and bacterial decomposition of bulk stored capelin [J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**,1988,45:53-60.

[21] 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 and Molecular Biology**,2004,139(3):347-357.

[22] Noguchi S,Matsumoto J J. Studies on the control of the denaturation of the fish muscle proteins during frozen storage. II. Preventing effect of amino acids and related compounds[J]. **Bull Jpn Soc Sci Fish**,1971,37(11):1115-1122.

[23] Schneppenheim R,Theede H. Isolation and characterization of freezing-point depressing peptides from larvae of *Tenebrio molitor* [J]. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Comparative Biochemistry**,1980,67(4):561-568.

[24] Davids S J,Yaylayan V A,Turcotte G. Use of unusual storage temperatures to improve the amino acid profile of potatoes for novel flavoring applications[J]. **LWT-Food Science and Technology**,2004,37(6):619-626.

[25] Marshall W S,Bryson S E. Transport mechanisms of seawater teleost chloride cells:an inclusive model of a multifunctional cell [J]. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Molecular &Integrative Physiology**,1998,119(1):97-106.

[26] Cossins A R. Adaptive responses of fish membranes to altered environmental temperature[J]. **Biochem Soc Trans**,1983,11(4):332-333.

[27] Los D A,Murata N. Membrane fluidity and its roles in the perception of environmental signals[J]. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes**,2004,1666(1-2):142-157.

[28] Sa. Yang,H Kawai,K Endo. Temperature dependency of 5′ -nucleotidase and acid phosphatase in muscle microsomes of fish[J]. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Molecular &Integrative Physiology**,1998,119(3):765-771.

[29] Godiksen H,Jessen F. Temperature and $Ca^{2+}$-dependence of the sarcoplasmic reticulum $Ca^{2+}$-ATPase in haddock,salmon,rainbow trout and zebra cichlid[J]. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Biochemistry and Molecular Biology**,2002,133(1):35-44.

[30] Vinagre C,Madeira D,Narciso L,et al. Effect of temperature on oxidative stress in fish:Lipid peroxidation and catalase activity in the muscle of juvenile seabass,*Dicentrarchus labrax*[J]. **Ecological Indicators**,2012,23(10):274-279.

[31] Bagnyukova T V,Lushchak O V,Storey K B,et al. Oxidative stress and antioxidant defense responses by goldfish tissues to acute change of temperature from 3 to 23 ℃[J]. **Journal of Thermal Biology**,2007,32(4):227-234.

[32] Fanouraki E,Mylonas C C,Papandroulakis N,et al. Species specificity in the magnitude and duration of the acute stress response in Mediterranean marine fish in culture[J]. **General and Comparative Endocrinology**,2011,173(2):313-322.

[33] Kaur M,Atif F,Ansari R A,et al. The interactive effect of elevated temperature on deltamethrin-induced biochemical stress responses in *Channa punctata* Bloch[J]. **Chemico–Biological Interactions**,2011,193(3):216-224.

## 会　议　信　息

**会议名称(中文):第十届世界华人鱼虾营养学术研讨会**

所属学科:水产学,动物食品科学

开始日期:2015-10-22　　结束日期:2015-10-26

所在城市:湖北省　武汉市　　具体地点:广州军区中南花园饭店

主办单位:中国水产学会水产动物营养与饲料专业委员会

承办单位:中国科学院水生生物研究所、华中农业大学、中国水产科学研究院长江水产研究所、中国水产科学研究院淡水渔业研究中心和武汉轻工大学

组织委员会主席:赵进东(中国科学院水生生物研究所)

联系人:韩冬 13477038990　　联系电话:027-68780060

E-MAIL:hand21cn@ihb.ac.cn　　会议网站:http://nffs2015.csp.escience.cn/dct/page/1

会议背景介绍:由中国水产学会水产动物营养与饲料专业委员会主办,中国科学院水生生物研究所、华中农业大学、中国水产科学研究院长江水产研究所、中国水产科学研究院淡水渔业研究中心和武汉轻工大学联合承办的第十届世界华人鱼虾营养学术研讨会(简称“世华会”)初步定于2015年10月下旬(22~26日)在武汉举行。世华会是世界华人水产动物营养与饲料学界的最大盛会。世华会对我国的水产动物营养学科的发展以及水产饲料工业的发展起到了非常重要的作用,已经成为集中展示当今全球鱼虾营养与饲料领域科研成果的重要交流平台之一,受到全球业界的高度关注。本次会议以“优质、安全、精确”为主题,并将设立“企业论坛”和“研究生论坛”,届时国内外著名饲料企业负责人、知名研发项目管理专家、知名学者以及青年学子将就企业技术创新过程和研究过程中遇到的难题和热点问题展开讨论。本届世华会将为与会者提供一个启迪思想、展示成就、交流经验的大舞台,提供充分的机会进行全方位的交流,分享彼此的科研成果,促进产学研的紧密结合。