

越冬对黄鳢(*Monopterus albus*)机体生化组成及部分血清生化指标的影响*

李昭林^{1,2,4} 刘庄鹏¹ 何志刚³ 田芊芊^{1,2} 张俊智¹
张璐⁴ 米海峰⁴ 胡毅^{1,2①}

(1. 湖南农业大学 湖南省特色水产资源利用工程技术研究中心 长沙 410128; 2. 水产高效健康生产湖南省协同创新中心 常德 415000; 3. 湖南省水产科学研究所 长沙 410153; 4. 通威股份有限公司 成都 610041)

摘要 以初始体重为(118.42±4.38) g的黄鳢(*Monopterus albus*)为研究对象, 研究越冬对黄鳢机体生化组成及部分血清生理生化指标的影响。实验结果显示, 与越冬前相比, 1) 越冬后黄鳢全鱼、肝脏和肌肉组成显著改变, 越冬后鱼体粗脂肪含量显著下降($P<0.05$), 鱼体水分和粗灰分含量显著升高($P<0.05$), 肝体比和肝糖原含量极显著降低($P<0.01$), 肝脏粗脂肪含量显著升高($P<0.05$), 肌肉中总氨基酸和必需氨基酸含量极显著升高($P<0.01$), 肌肉中饱和脂肪酸含量极显著降低($P<0.01$), 多不饱和脂肪酸含量显著升高($P<0.05$); 2) 越冬后黄鳢血清甘油三酯、葡萄糖和总蛋白含量以及血清氨基酸发生显著改变, 越冬导致黄鳢血清甘油三酯、葡萄糖含量显著降低($P<0.05$), 总蛋白含量极显著升高($P<0.01$), 黄鳢血清中总氨基酸和必需氨基酸含量显著下降($P<0.05$), 但越冬对血清总胆固醇和尿素氮含量、谷草转氨酶和谷丙转氨酶活力无显著影响。上述结果表明, 越冬期间黄鳢营养物质消耗以肝糖原和鱼体脂肪为主, 越冬后肌肉氨基酸和脂肪酸组成显著改变。

关键词 黄鳢; 越冬; 机体生化组成; 血清生化指标; 脂肪酸; 氨基酸

中图分类号 S917 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2017)06-0041-07

温度是影响水产动物生长发育、生理功能和行为活动的重要环境因素之一, 水产动物生长的适宜温度差异较大, 冷水性鱼类适温小于 15℃, 温水性鱼类适温为 15–25℃, 暖水性鱼类适温为 25–35℃(董双林等, 2004)。水温较低时, 水产动物活动明显减弱, 摄食减少甚至停止, 新陈代谢下降, 抵抗力降低, 出现病症和死亡(许友卿等, 2012), 此时水产动物主要通过利用体内储蓄的蛋白质、脂肪和碳水化合物等营养物质来维持生命活动, 营养物质消耗一般优先动用脂肪或碳水化合物, 其次为蛋白质(麦康森等, 2011), 从而引起鱼类机体生化组成改变。

黄鳢(*Monopterus albus*)亦称鳢鱼, 营穴居生活, 具有较高的营养价值和药用价值, 是我国重要的淡水经济鱼类, 其适宜生长温度为 15–28℃, 当水温低于 15℃时, 黄鳢摄食明显减少; 水温低于 12.5℃时, 黄鳢基本停止摄食; 水温低于 5℃时, 黄鳢开始进入冬眠(杨代勤等, 1997; 周文宗等, 2008)。我国华中地区寒冷季节长达 4–5 个月, 越冬期间, 黄鳢遭受寒冷与饥饿双重胁迫, 除自身营养物质消耗导致体重减轻外, 还可能引起黄鳢部分死亡。关于黄鳢越冬的研究仅在体重、肠道消化酶、免疫能力、肌肉和肝脏脂肪含量的变化上有报道(刘庄鹏等, 2015; 吴湘香等,

* 国家自然科学基金项目(31572626)和湖南省教育厅优秀青年项目(14B089)共同资助 [This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (31572626), and Excellent Youth Foundation of Hunan Education Committee (14B089)]. 李昭林, E-mail: lizhaolin910829@163.com

① 通讯作者: 胡毅, 教授, E-mail: huyi740322@163.com

收稿日期: 2016-01-15, 收修改稿日期: 2016-02-16

2005),但对越冬期间黄鳝的营养物质消耗和生理适应并不完全了解。因此,探索越冬对黄鳝机体生化组成及部分血清生理生化指标的变化具有重要意义,可为华中地区黄鳝养殖安全越冬提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼及管理

越冬实验在常德西湖黄鳝养殖基地进行,实验鱼为基地同一批次养殖的商品黄鳝,挑选规格一致[初始平均体重为(118.42±4.38)g]、健康的黄鳝(已停食7d)置于实验网箱中(网箱规格1.5m×2.0m×1.5m),每箱70尾(越冬前取样除外),共5个网箱。越冬时间约为4个月,共124d,期间网箱水温在4.1–13.2℃之间,溶氧量为(6.5±0.7)mg/L,pH为7.9±0.5,氨氮浓度在0.1–0.3mg/L之间,亚硝酸盐低于0.1mg/L。

1.2 样品收集、分析与计算

1.2.1 体形指标的测定 实验开始和结束时分别对各实验网箱中黄鳝进行称重、记数,计算成活率(Survival rate, SR),随机挑选5尾黄鳝记录体重,然后解剖,分离内脏和肝脏并称重,计算肝体比(Hepatosomatic index, HSI)、脏体比(Visceral index, VSI),收集肝脏置于–20℃保存备用。计算公式如下:

$$\begin{aligned} SR(\%) &= 100 \times N_t / N_0 \\ VSI(\%) &= 100 \times W_{fv} / W_f \\ HSI(\%) &= 100 \times W_{fh} / W_f \end{aligned}$$

N_0 、 N_t 分别表示黄鳝初始尾数、终末尾数; W_f 、 W_{fv} 、 W_{fh} 分别表示终末鱼体重(g)、内脏重(g)、肝脏重(g)。

1.2.2 体组成的测定 越冬前后分别从每箱随机取5尾黄鳝,全鱼样品置于–20℃冰箱保存,鱼体常规成分测定参照AOAC的方法。其中,水分的测定采用105℃烘箱干燥恒重法;粗蛋白的测定采用凯氏定氮法;粗脂肪的测定采取索氏抽提法;粗灰分采用550℃马福炉灼烧法。

越冬前后分别从每箱随机取5尾黄鳝,解剖取肝脏,置于–80℃冰箱保存备用,肝糖原采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定。

1.2.3 血清生理生化指标的测定 越冬前后分别从每个网箱中随机取5尾黄鳝,用2.0ml无菌注射器尾静脉采血。每个网箱抽取的血液合并置于10ml无菌离心管中,4℃静置过夜后,3500r/min离心15min,取上层血清置于–80℃冰箱保存备用。血清总蛋白(TP)、总胆固醇(T-CHO)、甘油三酯(TG)、葡萄糖(GLU)、尿素氮(UN)、谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)均采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定。

1.2.4 氨基酸和脂肪酸的测定 越冬前后分别从每个网箱中随机取5尾黄鳝,剪取相同部位的背部白肌合并后制成肌肉样品,用于氨基酸和脂肪酸的测定;血清氨基酸取已保存的血清进行测定;氨基酸的测定采用氨基酸自动分析仪(日立L-8900);脂肪酸的测定采用气相色谱–质谱仪(Thermo Quest Trace GC/MS),将样品质谱图与NIST标准图库质谱图进行匹配,确认样品中的脂肪酸类别,采用面积归一化法计算组分的相对含量。氨基酸和脂肪酸均在湖南农业大学分析测试中心测定。

1.3 数据统计分析

实验结果以平均值±标准误(Mean±SE)表示,用SPSS 17.0软件进行配对样本t检验。 $P < 0.05$ 时为差异显著, $P < 0.01$ 时为差异极显著。

2 结果

2.1 越冬对黄鳝体组成的影响

越冬显著影响池塘网箱养殖黄鳝的成活率、体重、体成分及肝组成。由表1可知,越冬使黄鳝的成活率、平均体重、脏体比显著下降($P < 0.05$),鱼体粗脂肪含量显著降低($P < 0.05$),鱼体水分和粗灰分含量显著升高($P < 0.05$),肝脏粗脂肪含量显著升高($P < 0.05$),越冬使鱼体粗蛋白含量有一定的降低,但差异不显著($P > 0.05$),越冬极显著降低了肝体比和肝糖原含量($P < 0.01$)。

2.2 越冬对黄鳝血清部分生理生化指标的影响

由表2可知,越冬显著影响了黄鳝血清血糖、甘油三酯和总蛋白含量,越冬后黄鳝血清血糖和甘油三酯含量显著降低($P < 0.05$),血清总蛋白含量极显著升高($P < 0.01$),但越冬对血清尿素氮、总胆固醇含量及血清谷草转氨酶、谷丙转氨酶活力无显著影响($P > 0.05$)。

2.3 越冬对黄鳝氨基酸和脂肪酸组成的影响

2.3.1 越冬对黄鳝血清和肌肉氨基酸组成的影响

由表3可知,越冬显著影响了血清氨基酸含量,导致黄鳝血清中总氨基酸和必需氨基酸含量显著下降($P < 0.05$),血清中组氨酸、苏氨酸、苯丙氨酸等必需氨基酸含量显著降低($P < 0.05$),血清中的精氨酸、蛋氨酸含量在越冬后极显著降低($P < 0.01$)。

由表4可知,越冬显著影响肌肉氨基酸组成,越冬后黄鳝肌肉中的必需氨基酸、鲜味氨基酸和总氨基酸的含量极显著升高($P < 0.01$),其中,天门冬氨酸、苏

表 1 越冬对黄鳝体组成的影响

Tab.1 Effects of overwintering on the body composition of *M. albus*

体组成 Body composition	越冬前 Before overwintering	越冬后 After overwintering	P 值 Significance
成活率 Survival rate (%)	100.00±0.00	97.14±0.45*	0.035
平均体重 Average body weight (g)	118.42±4.38	110.72±3.99*	0.023
肝体比 Hepatosomatic index (%)	7.47±0.83	5.01±1.05**	0.001
脏体比 Visceral index (%)	13.76±1.32	11.03±1.66*	0.034
鱼体水分 Body moisture (%)	72.13±1.67	73.43±2.49*	0.027
鱼体粗脂肪 Body crude lipid (%)	6.84±0.27	6.01±0.19*	0.028
鱼体粗蛋白质 Body crude protein (%)	16.65±0.19	16.36±0.61	0.136
鱼体粗灰分 Body crude ash (%)	2.04±0.08	2.25±0.11*	0.021
肝脏粗脂肪 Liver crude lipid (%)	3.61±0.17	4.09±0.09*	0.033
肝糖原 Liver glycogen (%)	20.77±1.17	16.95±1.30**	0.009

注: 表格中同列肩标无字母表示差异不显著($P>0.05$), *表示差异显著($P<0.05$), **表示差异极显著($P<0.01$)。下同

Note: In the same column, values without superscripts were not significantly different ($P>0.05$), *: Significant difference ($P<0.05$), **: Highly significant difference ($P<0.01$). The same as below

表 2 越冬对黄鳝血清部分生化指标的影响

Tab.2 Effects of overwintering on the partial serum biochemical indices of *M. albus*

血清生化指标 Serum biochemical indices	越冬前 Before overwintering	越冬后 After overwintering	P 值 Significance
总蛋白 TP (mg/ml)	26.36±3.41	32.24±2.93**	0.002
总胆固醇 T-CHO (mmol/L)	5.09±0.31	5.24±0.19	0.377
甘油三酯 TG (mmol/L)	1.76±0.28	0.79±0.20*	0.017
葡萄糖 GLU (mmol/L)	3.81±0.23	3.24±0.04*	0.038
尿素氮 UN (mmol/L)	2.01±0.10	1.81±0.18	0.229
谷草转氨酶 AST (U/L)	364.88±14.18	354.14±9.63	0.096
谷丙转氨酶 ALT (IU/L)	184.36±6.03	178.76±10.91	0.625

氨酸、谷氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、精氨酸的含量极显著升高($P<0.01$), 丝氨酸、脯氨酸、甘氨酸、丙氨酸、蛋氨酸、组氨酸的含量显著升高($P<0.05$)。

2.3.2 越冬对黄鳝肌肉脂肪酸组成的影响 由表 5 可知, 越冬使黄鳝肌肉中的饱和脂肪酸(SFA)含量极显著下降($P<0.01$), 但其中的 C24:0 含量显著上升($P<0.05$); 越冬对黄鳝肌肉中单不饱和脂肪酸(MUFA)含量无显著性影响, 但其中的 C17:1 和 C20:1n-9 含量显著上升($P<0.05$), C18:1n-9c 含量显著下降($P<0.05$); 越冬使黄鳝肌肉中的多不饱和脂肪酸(PUFA)含量显著升高($P<0.05$), 使 $n-3/n-6$ 值显著升高($P<0.05$), 其中, C22:5n-3 含量显著升高($P<0.05$), C20:3n-6 上升幅度最大($P<0.01$)。

表 3 越冬前后黄鳝血清氨基酸含量的变化(ml/100 ml)

Tab.3 Effects of overwintering on amino acid contents in the serum of *M. albus* (ml/100 ml)

氨基酸 ¹ Amino acids ¹	越冬前 Before overwintering	越冬后 After overwintering	P 值 Significance
天门冬氨酸 Asp*	0.33±0.03	0.29±0.03	0.602
苏氨酸 Thr [☆]	0.78±0.00	0.37±0.02*	0.022
丝氨酸 Ser	0.24±0.01	0.12±0.01*	0.017
谷氨酸 Glu*	0.70±0.01	0.60±0.01	0.171
脯氨酸 Pro	0.73±0.02	0.64±0.20	0.116
甘氨酸 Gly*	0.39±0.00	0.57±0.04	0.126
丙氨酸 Ala*	0.75±0.01	1.12±0.04**	0.006
缬氨酸 Val [☆]	0.74±0.03	0.67±0.13	0.718
蛋氨酸 Met [☆]	0.10±0.00	0.04±0.01**	0.007
异亮氨酸 Ile [☆]	0.37±0.01	0.35±0.06	0.676
亮氨酸 Leu [☆]	0.77±0.02	0.70±0.15	0.756
苯丙氨酸 Phe [☆]	0.39±0.02	0.32±0.02*	0.044
赖氨酸 Lys [☆]	0.54±0.05	0.30±0.06	0.070
组氨酸 His [☆]	0.40±0.00	0.15±0.01*	0.044
精氨酸 Arg [☆]	0.72±0.03	0.47±0.01**	0.006
必需氨基酸 TEAA	4.83±0.04	3.35±0.20*	0.012
鲜味氨基酸 TDEE	2.18±0.04	2.58±0.03**	0.001
总氨基酸 TAA	8.33±0.09	6.77±0.06*	0.018

1. 色氨酸未测定; * . 鲜味氨基酸; ☆ . 必需氨基酸; 下同

1. Tryptophane was not determined; * . Delicious amino acid; ☆ . Essential amino acids. The same as below

3 讨论

3.1 越冬对黄鳝机体组成的影响

寒冷的冬季使黄鳝很少摄食甚至停止摄食, 新陈代谢下降, 但处于饥寒交迫状态下的黄鳝需要消耗体内积蓄的营养物质维持基本生命活动, 从而导致了黄

表 4 越冬前后黄鳝肌肉氨基酸含量的变化(g/100 g)

Tab.4 Effects of overwintering on the amino acid composition in muscles of *M. albus* (g/100 g)

氨基酸 ¹ Amino acids ¹	越冬前 Before overwintering	越冬后 After overwintering	P 值 Significance
天门冬氨酸 Asp*	0.46±0.01	0.68±0.33**	0.007
苏氨酸 Thr [☆]	0.24±0.08	0.35±0.01**	0.003
丝氨酸 Ser	0.25±0.01	0.36±0.02*	0.011
谷氨酸 Glu*	0.79±0.02	1.05±0.03**	0.002
脯氨酸 Pro	0.24±0.01	0.33±0.02*	0.035
甘氨酸 Gly*	0.33±0.02	0.54±0.04*	0.015
丙氨酸 Ala*	0.37±0.02	0.53±0.04*	0.013
缬氨酸 Val [☆]	0.25±0.01	0.36±0.02**	0.004
蛋氨酸 Met [☆]	0.09±0.00	0.15±0.01*	0.012
异亮氨酸 Ile [☆]	0.17±0.01	0.25±0.01**	0.005
亮氨酸 Leu [☆]	0.40±0.02	0.58±0.03**	0.005
苯丙氨酸 Phe [☆]	0.22±0.01	0.31±0.02**	0.008
赖氨酸 Lys [☆]	0.34±0.01	0.50±0.02**	0.004
组氨酸 His [☆]	0.13±0.01	0.20±0.02*	0.027
精氨酸 Arg [☆]	0.24±0.01	0.37±0.02**	0.006
必需氨基酸 TEAA	2.08±0.08	3.08±0.15**	0.004
鲜味氨基酸 TDEE	1.95±0.07	2.81±0.13**	0.006
总氨基酸 TAA	4.59±0.17	6.68±0.32**	0.005

鳝体重下降, 机体组成发生变化, 长吻鲩(*Leiocassis longirostris*)(梁友光, 2005)¹⁾和鲤鱼(*Cyprinus carpio*)(胡雪松等, 2010; 于淼等, 2015)的越冬研究中也得到了相似的结果。

糖原是碳水化合物在机体内的主要贮存形式, 血糖(葡萄糖)是糖类在体内的主要运输形式, 葡萄糖氧化分解是水产动物重要的能量供给途径。饥饿时, 哺乳类动物肝糖原迅速分解成葡萄糖提供能量, 但水产动物饥饿时不一定优先利用糖原, 研究表明, 薄氏大弹涂鱼(*Boleophthalmus boddarti*)(Lim et al, 1989)饥饿时优先分解肌肉蛋白质, 卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)(苏慧等, 2012)饥饿早期主要利用脂肪, 后期消耗蛋白质。本研究表明, 越冬后黄鳝肝体比、肝糖原、血清血糖含量均显著降低, 说明越冬期间黄鳝和哺乳动物一样, 可以利用肝糖原提供能量, 与异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)(吕林兰等, 2007)和史氏鲟(*Acipenser schrenckii*)(高露娇等, 2004)饥饿研究的结果一致。

脂类是水产动物所必需的营养物质, 是组织细胞的组成成分。脂肪又称甘油三酯, 由甘油的 3 个羟基

表 5 越冬对黄鳝肌肉脂肪酸组成的影响(%)

Tab.5 Effects of overwintering on the fatty acid composition in muscles of *M. albus* (%)

脂肪酸 Fatty acids	越冬前 Before overwintering	越冬后 After overwintering	P 值 Significance
C13:0	0.12±0.01	0.12±0.00	0.861
C14:0	4.55±0.24	4.06±0.03	0.165
C15:0	1.54±0.15	1.57±0.02	0.873
C16:0	14.42±0.23	13.43±0.12*	0.049
C17:0	1.73±0.09	1.19±0.06*	0.013
C18:0	4.89±0.12	4.83±0.12	0.776
C19:0	0.23±0.04	0.31±0.01	0.166
C20:0	0.54±0.04	0.55±0.02	0.821
C24:0	0.09±0.01	0.13±0.01*	0.026
Σ SFA	28.11±0.23	26.18±0.02**	0.004
C14:1	0.32±0.03	0.26±0.02	0.232
C16:1	9.11±0.20	9.01±0.32	0.815
C17:1	1.27±0.01	1.46±0.05*	0.035
C18:1n-9t	18.67±1.21	18.95±0.55	0.795
C18:1n-9c	3.26±0.04	2.62±0.10*	0.011
C20:1n-9	1.34±0.03	1.61±0.03**	0.009
Σ MUFA	34.04±1.42	34.03±0.97	0.992
C18:3n-3	7.38±0.29	7.60±0.12	0.614
C20:5n-3	2.43±0.09	2.29±0.09	0.446
C22:5n-3	5.60±0.12	6.07±0.20*	0.019
C22:6n-3	5.50±0.12	5.62±0.16	0.687
Σ n-3 PUFA	20.90±0.26	21.59±0.19	0.191
C18:2n-6	2.55±0.07	2.67±0.21	0.789
C18:3n-6	5.77±0.20	5.74±0.15	0.992
C20:2n-6	0.89±0.12	1.66±0.20*	0.014
C20:3n-6	0.30±0.01	0.34±0.01**	0.007
C20:4n-6	4.19±0.45	4.25±0.82	0.955
Σ n-6 PUFA	14.21±0.27	13.98±0.76	0.681
n-3/n-6	1.46±0.02	1.58±0.01*	0.015
Σ PUFA	34.29±0.13	36.54±0.35*	0.038

与 3 个脂肪酸在肝脏中缩合而成, 通过血液循环贮存在脂肪组织中备用。当机体需要时, 脂肪动员脂肪细胞中的甘油三酯逐步水解产生游离脂肪酸, 为机体生命代谢提供能量, 如肝脏脂肪是鲤鱼和鳕鱼(*Gadus* sp.) 饥饿时首先动用的能源(麦康森等, 2011)。黄鳝越冬后鱼体粗脂肪含量、血清甘油三酯含量显著下降, 说明越冬期间黄鳝可分解脂肪, 氧化游离脂肪酸, 释放能

1) Liang YG. The physiological and biochemical adaptation of long-snout catfish (*Leiocassis longirostris*) to overwintering. Doctoral Dissertation of Huazhong Agricultural University, 2005, 31-119 [梁友光. 长吻鲩越冬的生理生化适应. 华中农业大学博士研究生学位论文, 2005, 31-119]

量,这与长吻鲩(梁友光,2005)¹⁾越冬的结果相似。与肝糖原相比,越冬后黄鳊肝脏粗脂肪含量显著上升,说明肝脏的脂肪消耗量要远少于肝糖原,使肝脏粗脂肪相对含量上升,这可能与肝脏是糖原的主要存储器官有关(麦康森等,2015)。越冬使鱼体脂肪含量下降,肌肉中饱和脂肪酸含量显著下降,可能与越冬期间消耗的脂肪主要来自肌肉脂肪有关,在黑鲮(*Sparus macrocephalus*) (邓利等,2003)的饥饿研究中有类似报道。

蛋白质是动物机体的主要构成成分,也具有供能作用,在机体能量供应不足时,蛋白质可直接分解供能以维持机体的代谢活动。越冬对鱼体粗蛋白含量无显著影响,但导致黄鳊体重显著下降,从而致使机体的实际蛋白质重量同比体重质量减少,说明越冬期间黄鳊除了利用肝糖原和脂肪外,也利用了一部分蛋白质来提供能量。褐菖鲉(*Sebastes marmoratus*)饥饿时除了消耗脂肪外,也消耗蛋白质供能(江丽华等,2011)。越冬后黄鳊血清总氨基酸和必需氨基酸含量均显著下降,可能也是蛋白质被消耗所导致,也可能是由于新陈代谢水平降低所导致,肌肉总氨基酸和必需氨基酸含量升高,与遮目鱼(*Chanos chanos*) (Shiau *et al.*, 2001)和鳊鱼(*Miichthys miichthys basilewsky*) (柳敏海等,2009)饥饿实验的结果相悖,这可能是肌肉中的脂肪和糖原被大量消耗导致蛋白质相对含量升高的结果。

水产动物脂肪酸组成与其生存环境的水温有关,冷水性鱼类不饱和脂肪酸含量比温水性鱼类更高。低水温可导致鱼类细胞膜磷脂中多不饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸比例升高,而饱和脂肪酸比例下降(Tocher,2003)。越冬后,黄鳊肌肉中的饱和脂肪酸被消耗,多不饱和脂肪酸比例增加,可能是黄鳊对寒冷环境适应的变化,这在鲤科鱼类(童圣英,1997)和大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*) (张春丹等,2014)越冬研究中也得到相似的结果。脂肪酸去饱和化及延长被认为是水产动物适应低温的一种重要机制(许友卿等,2012;谢帝芝等,2013),低温时,水产动物通过激活和强化硬脂酰辅酶 A 去饱和酶(SCD)和脂肪酸延长酶活性,使饱和脂肪酸去饱和并延长,从而不饱和脂肪酸比例升高,增强膜流动性,提高机体御寒能力。黄鳊越冬后,肌肉中 C16:0 和 C18:1n-9c 含量显著降低, C20:1n-9 含量显著升高,这表明低温环境下黄鳊也可通过脂肪酸去饱和化和延长这种机制抵御寒冷。冷水性鱼类对 n-3 系列脂肪酸的需求量大于 n-6 系列的脂

肪酸,越冬后,黄鳊肌肉中 n-3/n-6 值显著升高,这可能是 n-3 系列脂肪酸更有利于鱼类在低温环境中生存。

3.2 越冬对黄鳊血清部分生理生化指标的影响

血液是鱼类维持动物生命活动的重要组织之一,其成分随着机体生理状态的变化而改变,故血清生理生化指标变化可反映黄鳊对越冬的适应。血清总蛋白包括白蛋白和球蛋白,具有修补组织、免疫、运输脂肪酸等功能(Luk'ianenko *et al.*, 2002);胆固醇是构成细胞膜的重要组成部分,是维持细胞膜功能的关键物质(邹思湘等,2010)。长期饥饿可导致水产动物的免疫能力下降(刘庄鹏等,2015;田青等,2014;刘波等,2009),但越冬后血清总蛋白含量升高,可能是低温环境下机体可以自身激发少数免疫,如增加血清总蛋白含量,弥补免疫力的下降,达到免疫平衡,从而有利于黄鳊抵御越冬的胁迫,这与对吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*) (石桂成等,2012)低温胁迫研究中的结果相似。越冬对黄鳊血清总胆固醇含量没有显著影响,可能与血清总胆固醇维护细胞膜结构提供物质基础,增强细胞膜的流动性,适应低温环境有关,这种现象在吉富罗非鱼的低温应激研究中也得到了验证(刘波等,2011)。

谷草转氨酶主要存在于心肌细胞中,谷丙转氨酶是反映肝组织健康完整的重要指标(Srivastava *et al.*, 2007),当心肌和肝脏组织受损,谷草转氨酶和谷丙转氨酶将大量溢出到血液中(蔡林婷等,2013)。低温饥饿胁迫大黄鱼时(冀德伟等,2009;徐浩等,2015),血清中谷草转氨酶和谷丙转氨酶活力显著升高,但本越冬实验并不影响血清中谷草转氨酶和谷丙转氨酶活力,可能高水平的多不饱和脂肪酸和稳定水平的胆固醇对维护肝脏和心肌细胞膜的结构起到了重要作用。

参 考 文 献

- Cai LT, Li SY, Ge MF, *et al.* Effect of three pathogenic *Vibrio* on the blood biochemical parameters of *Pseudosciaena crocea*. *Progress in Fishery Sciences*, 2013, 34(2): 65-72 [蔡林婷,李思源,葛明峰,等. 3 种致病弧菌感染对大黄鱼血液生化指标的影响. *渔业科学进展*, 2013, 34(2): 65-72]
- Deng L, Zhang WM, Lin HR. Effects of starvation on the contents of growth hormone and triiodothyronine in serum, and lipid and protein of white muscles and livers in black seabreams. *Zoological Research*, 2003, 24(2): 94-98 [邓利,张为民,林浩然. 饥饿对黑鲮血清生长激素、甲状腺激素以及白肌和肝脏脂肪、蛋白质含量的影响. *动物学研究*, 2003, 24(2): 94-98]

1) Liang YG. The physiological and biochemical adaptation of long-snout catfish (*Leiocassis longirostris*) to overwintering. Doctoral Dissertation of Huazhong Agricultural University, 2005, 31-119 [梁友光. 长吻鲩越冬的生理生化适应. 华中农业大学博士研究生学位论文, 2005, 31-119]

- Dong SL, Zhao W, Tian XL, *et al.* Ecology for aquaculture. Beijing: China Agriculture Press, 2004, 21–16 [董双林, 赵文, 田相利, 等. 养殖水域生态学. 北京: 中国农业出版社, 2004, 21–26]
- Gao LJ, Chen LQ, Song B. Effect of starvation and compensatory growth on feeding, growth and body biochemical composition in *Acipenser schrenckii* juveniles. Journal of Fishery of China, 2004, 28(3): 279–284 [高露娇, 陈立桥, 宋兵. 饥饿和补偿生长对史氏鲟幼鱼摄食、生长和体组成的影响. 水产学报, 2004, 28(3): 279–284]
- Hu XS, Li CT, Xu W, *et al.* The preliminary study on growth performance and overwintering weight loss of Heilongjiang carp, selective line of German mirror carp and the cold-resistant line of Hebao red carp. Journal of Fishery of China, 2010, 34(8): 1182–1189 [胡雪松, 李池陶, 徐伟, 等. 黑龙江鲤、德国镜鲤选育系与荷包红鲤抗寒品系生长及越冬体重损失的初步研究. 水产学报, 2010, 34(8): 1182–1189]
- Ji DW, Li MY, Wang TZ, *et al.* Effects of low temperature stress periods on serum biochemical indexes in large yellow croaker *Pseudosciaena crocea*. Fisheries Science, 2009, 28(1): 1–4 [冀德伟, 李祥云, 王天柱, 等. 不同低温胁迫时间对大黄鱼血清生化指标的影响. 水产科学, 2009, 28(1): 1–4]
- Jiang LH, Zhu AY, Yuan SB. Effects of starvation on the digestive organs and muscle composition of *Sebastiscus marmoratus*. Progress in Fishery Sciences, 2011, 32(2): 22–26 [江丽华, 朱爱意, 苑淑宾. 饥饿对褐菖鲉消化道组织及肌肉营养成分的影响. 渔业科学进展, 2011, 32(2): 22–26]
- Lim ALL, Ip YK. Effect of fasting on glycogen metabolism and activities of glycolytic and gluconeogenic enzymes in the mudskipper *Boleophthalmus boddarti*. Journal of Fish Biology, 1989, 34(3): 349–367
- Liu B, He QG, Tang YK, *et al.* Effects of starvation on growth, physiological and biochemical parameter of GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(2): 230–237 [刘波, 何庆国, 唐永凯, 等. 饥饿胁迫对吉富罗非鱼生长及生理生化指标的影响. 中国水产科学, 2009, 16(2): 230–237]
- Liu B, Wang MY, Xie J, *et al.* Effects of acute cold stress on serum biochemical and immune parameters and liver HSP70 gene expression in GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Acta Oecologica Sinica, 2011, 31(17): 4866–4873 [刘波, 王美姝, 谢骏, 等. 低温应激对吉富罗非鱼血清生化指标及肝脏 HSP70 基因表达的影响. 生态学报, 2011, 31(17): 4866–4873]
- Liu MH, Luo HZ, Fu RB, *et al.* Biochemical composition, amino acid and fatty acid composition in juvenile of *Miichthys miiuy* under short-time starvation. Acta Hydrobiologica Sinica, 2009, 33(2): 230–235 [柳敏海, 罗海忠, 傅荣兵, 等. 短期饥饿胁迫对鲢鱼生化组成、脂肪酸和氨基酸组成的影响. 水生生物学报, 2009, 33(2): 230–235]
- Liu ZP, Hu Y, Lv F, *et al.* Effect of overwintering on body indices, intestinal digestive enzymes and immune indices in *Monopterus albus*. Journal of Hydroecology, 2015, 36(3): 72–76 [刘庄鹏, 胡毅, 吕富, 等. 越冬对黄鱮形体、肠道消化酶及免疫指标的影响. 水生态学杂志, 2015, 36(3): 72–76]
- Luk'ianenko VI, Khabarov MV, Luk'ianenko VV. 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. Biology Bulletin of the Russian Academy of Sciences, 2002, 29(3): 293–299
- Lv LL, Dong XX, Wang AM, *et al.* Effect of starvation on body composition, trypsinase and amylase in crucian carp *Carassius auratus gibelio*. Reservoir Fisheries, 2007, 27(5): 26–28 [吕林兰, 董学兴, 王爱民, 等. 饥饿对异育银鲫体成分及蛋白酶和淀粉酶的影响. 水利渔业, 2007, 27(5): 26–28]
- Mai KS, Chen LQ, Chen NS, *et al.* Nutrition and feed of aquatic animals. Beijing: China Agriculture Press, 2011, 10–53 [麦康森, 陈立桥, 陈乃松, 等. 水产动物营养与饲料学. 北京: 中国农业出版社, 2011, 10–53]
- Mai KS, Li P, Zhao JM, *et al.* Translation: Nutrient requirements of fish and shrimp. Beijing: China Agriculture Press, 2015, 167 [麦康森, 李鹏, 赵建明, 等主译. 鱼类与甲壳动物营养需要. 北京: 科学出版社, 2015, 167]
- Shi GC, Dong XH, Chen G, *et al.* Effects of dietary lipid level on growth performance of genetic improvement of farmed Tilapia (GIFT, *Oreochromis niloticus*) and its serum biochemical indices and fatty acid composition under cold stress. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2012, 24(11): 2154–2164 [石桂成, 董晓慧, 陈刚, 等. 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生长性能及其在低温应急下血清生化指标和肝脏脂肪酸组成的影响. 动物营养学报, 2012, 24(11): 2154–2164]
- Shiau CY, Pong YJ, Chiou TK, *et al.* Effect of starvation on free histidine and amino acids in white muscle of milkfish *Chanos chanos*. Comparative Biochemistry and Physiology, Part B, Biochemistry and Molecular Biology, 2001, 128(3): 501–506
- Srivastava AR, Kumar S, Agarwal GG, *et al.* Blunt abdominal injury: Serum ALT: A marker of liver injury and a guide to assessment of its severity. Injury, 2007, 38(9): 1069–1074
- Su H, Ou YJ, Li JE, *et al.* Effects of starvation on antioxidative capacity, Na^+/K^+ -ATPase activity and biochemical composition in juvenile *Trachinotus ovatus*. South China Fisheries Science, 2012, 8(6): 28–36 [苏慧, 区又君, 李加儿, 等. 饥饿对卵形鲳鲹幼鱼不同组织抗氧化能力、 Na^+/K^+ -ATP酶活力和鱼体生化组成的影响. 南方水产科学, 2012, 8(6): 28–36]
- Tian Q, Rong XJ, Li B, *et al.* Starvation stress effect on the immunity and growth of sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Progress in Fishery Sciences, 2014, 35(4): 71–76 [田青, 荣小军, 李彬, 等. 饥饿胁迫对刺参免疫和生长的影响. 渔业科学进展, 2014, 35(4): 71–76]
- Tocher DR. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. Reviews in Fisheries Science, 2003, 11(2): 107–184
- Tong SY. Changes of fatty acid composition in Carp during winter. Journal of Fishery of China, 1997, 21(4): 373–379 [童圣英. 四种鲤科鱼类越冬时脂肪酸组成的变化. 水产学报, 1997, 21(4): 373–379]
- Wu XX, Zhou QB, Su ZJ. Changes on muscle and liver lipid composition of *Monopterus albus* in overwintering. Feed Industry, 2005, 26(22): 33–34 [吴湘香, 周秋白, 苏增金. 黄鳝越冬前后肌肉及肝脏中脂肪含量变化. 饲料工业, 2005, 26(22): 33–34]
- Xie DZ, Wang SQ, You CH, *et al.* Influencing factors and mechanisms on HUFA biosynthesis in teleosts. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(2): 456–466 [谢帝芝, 王树启, 游翠红, 等. 鱼类高度不饱和脂肪酸合成的影响因素及其机理. 中国水产科学, 2013, 20(2): 456–466]
- Xu H, Zhang DL, Chen QK, *et al.* Effect of starvation on serum biochemical indexes in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) at low temperature. Biotechnology Bulletin, 2015, 31(6): 195–199 [徐浩, 张东玲, 陈庆凯, 等. 低温下饥饿胁迫对大黄鱼血清生化指标的影响. 生物技术通报, 2015, 31(6): 195–199]
- Xu YQ, Chen Z, Ding ZK. Effects of low temperature on fish and its prevention. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39(15): 132–136 [许友卿, 陈哲, 丁兆坤. 低温对鱼类的影响及其预防. 广东农业科学, 2012, 39(15): 132–136]
- Yang DQ, Chen F, Li DX, *et al.* Preliminary study on the food

- composition of mud eel *Monopterus albus*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1997, 21(1): 24–30 [杨代勤, 陈芳, 李道霞, 等. 黄鳝食性的初步研究. *水生生物学报*, 1997, 21(1): 24–30]
- Yu M, Hu XS, Li CT, *et al.* Changes in morphology, histological structure, and biochemical composition during overwintering in Songpu mirror carp, *Cyprinus carpio* var. *Songpu mirror*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(3): 460–468 [于森, 胡雪松, 李池陶, 等. 松浦镜鲤越冬期的形态、组织结构及生化组成变化. *中国水产科学*, 2015, 22(3): 460–468]
- Zhang CD, Hu YZ, Miao L, *et al.* Changes of fatty acid composition and content in *Pseudosciaena* from net cage during the winter. *Journal of Marine Sciences*, 2014, 32(2): 80–84 [张春丹, 胡玉珍, 苗亮, 等. 网箱养殖大黄鱼越冬期间脂肪酸相对含量变化. *海洋学研究*, 2014, 32(2): 80–84]
- Zhou WZ, Li HT, Zhang L, *et al.* Effects of body weight and water temperature on the maximum ration levels of *Monopterus albus*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2008, 32(6): 889–893 [周文宗, 李洪涛, 张璐, 等. 体重和温度对黄鳝最大摄食率的影响. *水生生物学报*, 2008, 32(6): 889–893]
- Zou SX, Li QZ, Zhu SJ, *et al.* *Animal Biochemistry*. Beijing: China Agriculture Press, 2010, 203 [邹思湘, 李庆章, 朱素娟, 等. *动物生物化学*. 北京: 中国农业出版社, 2010, 203]

(编辑 冯小花)

Effects of Overwintering on the Body Biochemical Composition and Serum Biochemical Indices of Rice Field Eel (*Monopterus albus*)

LI Zhaolin^{1,2,4}, LIU Zhuangpeng¹, HE Zhigang³, TIAN Qianqian^{1,2}, ZHANG Junzhi¹,
ZHANG Lu⁴, MI Haifeng⁴, HU Yi^{1,2①}

(1. *Hunan Engineering Technology Research Center of Featured Aquatic Resources Utilization, Hunan Agricultural University, Changsha 410128*; 2. *Collaborative Innovation Center for Efficient and Health Production of Fisheries in Hunan Province, Changde 415000*; 3. *Hunan Fisheries Science Institute, Changsha 410153*; 4. *Tongwei Co., Ltd, Chengdu 610041*)

Abstract Temperature is one of the key environmental factors affecting the growth and physiological functions of fish. Both the physical activity and the feeding behavior of fish can be significantly reduced or even stopped at low temperature. In this case, fish may consume stored nutrients to stay alive. Rice field eel *Monopterus albus* is a subtropical freshwater fish with great commercial values. They are prone to diseases and have a high mortality rate in winter. Previous studies suggested that overwintering could significantly affect the intestinal digestive enzymes, the immune and antioxidant functions (serum catalase and lysozyme), muscles and the liver lipid content of *M. albus*. However, changes in nutrients and physiological adaption during overwintering have been unclear. In this study, we conducted a 124-day experiment to investigate effects of overwintering on the body biochemical composition and partial serum biochemical indices of *M. albus* with the initial average body weight of (118.42±4.38) g. Results showed that after overwintering: 1) The compositions of the whole body, the liver and muscles of *M. albus* were significantly affected. The body crude lipid decreased compared to that before overwintering ($P<0.05$), whereas the body moisture and body crude ash were increased ($P<0.05$). The hepatosomatic ratio and the content of the liver glycogen were dramatically reduced ($P<0.01$), but the liver crude lipid was significantly increased ($P<0.05$). In muscles, the level of saturated fatty acids dropped ($P<0.01$), the content of polyunsaturated fatty acids rose ($P<0.05$), and the total amino acids and essential amino acids were markedly increased ($P<0.01$). 2) The serum triglycerides, glucose, total amino acids and essential amino acids became lower than those before overwintering ($P<0.05$), and the level of total serum proteins was greatly increased ($P<0.01$). However, there were no differences in the total cholesterol, the blood urea nitrogen, the aspartate transaminase and the alanine aminotransferase before and after overwintering ($P>0.05$). In conclusion, *M. albus* may consume the liver glycogen and body lipids to maintain life activities during overwintering, which consequently changes the compositions of amino acids and fatty acids in the muscle.

Key words *Monopterus albus*; Overwintering; Body biochemical composition; Serum biochemical indices; Fatty acids; Amino acids

① Corresponding author: HU Yi, E-mail: huyi740322@163.com