

鲮鱼冷休克及其死亡的某些生化因素*

冯祖强 王祖熊

(中国科学院水生生物研究所)

提 要

采用分光光度法和淀粉凝胶电泳法初步研究了鲮鱼冷休克前后脑乙酰胆碱酯酶(AchE)活力和三种酶的同工酶类的动态变化。并根据鲮鱼在冷休克期间(7—6℃)脑 AchE 活力显著降低和肝脏组织乳酸脱氢酶(LDH)同工酶活性明显升高以及苹果酸脱氢酶(MDH)、酯酶(EST)同工酶类出现酶活性变化的情况,讨论了导致鲮鱼耐寒能力差的某些生化因素。同时提出脑 AchE 可以作为评定鲮鱼冷休克期间中枢神经系统受害程度的一种生化指标。

鲮鱼(*Cirrhinus moliorella*)属鲤科(Cyprinidae),鲃亚科(Barbinae),鲮属(*Cirrhinus*),分布于广东、广西、福建和云南等省的部分地区。具有产量高,饲料来源广,抗病力强,肉味鲜美等优良性状。但对低温适应的能力甚差,一般在14℃水温条件下停止摄食,10—6℃之间便出现冷休克,持续1—2天即死亡,故在我国广大地区难以驯养。七十年代以来,两广地区的冬季水温也往往出现持续偏低的现象,使鲮鱼的越冬保种工作十分困难^[1]。作者对低温导致鲮鱼冷休克及其致死的某些生化因素进行了初步研究。

材 料 和 方 法

材料鱼系1981年3月从广东省兴宁县鱼苗场运回的一冬龄鱼种,在本所关桥养殖场预养至同年11月的鲮鱼。体重 80.39 ± 18.59 克,全长 20.17 ± 1.76 厘米。

实验的温度条件分室内控制不同水温和室外自然水温两种。室内水泥鱼池的水温用电热棒在7151-DM控温仪调节下维持恒温。养鱼用的自来水先经活性炭过滤并静止4天脱氯,各温度组的实验鱼驯养一星期以上。

采用分光光度法测定脑 AchE 活力;同工酶淀粉凝胶电泳法分析 LDH、MDH、EST。

(一) 乙酰胆碱酯酶 (AchE)

1. 脑匀浆液的制备

测定前取出鲜鱼全脑,用滤纸轻轻吸去表面水分称重,加 pH7.2 的 0.01M 磷酸缓冲液 1 毫升,用玻璃匀浆器研磨。整个操作在 4℃ 左右的冰浴中进行。最后用上述缓冲

* 工作中曾得到朱兰菲、杨兴棋、黄文郁和许克圣等同志的热情指导帮助;广东省兴宁县鱼苗场惠赠材料,提供条件,作者在此一并致谢。

编辑部收稿日期: 1982年12月14日。

液稀释成每毫升含脑组织 2 毫克的缓冲液。实验证明匀浆在 5—7℃ 条件下保存 5 小时, 酶的活力变化甚微。

2. AchE 活力的测定

取 1 毫升脑匀浆加至 1 毫升 0.004M 溴化(或氯化)乙酰胆碱(Ach)溶液中, 30℃ 水浴保温 20 分钟, 然后根据 Hestrin 法显色^[7]。用国产 751G 型分光光度计于 525 毫微米波长下比色测定剩余的 AchE 量。与此同时, 配制样品对照管、标准管以及试剂空白管。

3. 酶活力单位

以每毫克鲜脑组织、每小时所水解的 AchE 微克分子数表示(微克分子/毫克/小时)。

(二) 同工酶的淀粉凝胶电泳分析

1. 样品的制备

采用尾静脉抽血法所收集的血液, 以每分钟 4000 转的速度离心 15 分钟后, 取其上清液作电泳分析。各器官组织称重后先按每毫升缓冲液含 80 毫克湿组织的比例加 0.1M 磷酸缓冲液, 在 4℃ 的冰浴中用玻璃匀浆器制成匀浆。然后匀浆在 60℃ 下加热 1 分钟, 随即离心 30 分钟(10,000 rpm), 取上清液进行电泳分析。上述样品于普通冰箱中保存备用不得超过一星期。

2. 电泳方法

用国产经特殊方法水解的马铃薯淀粉作支持物制成 12.5% 的凝胶在冰箱内进行垂直板电泳。LDH 和 MDH 电泳采用 pH 8.7 的 EBT 缓冲系统; EST 电泳采用 0.3M 的硼酸缓冲系统 (pH 8.0)。

每个样品槽加入血清或组织匀浆 20 微升, 电泳时间为 14~17 小时, 电压梯度为 8~13v/cm, 控制电流强度在 15~30mA 之间, 采用 Shaw (1970) 染色法。LDH 和 MDH 于 37℃ 染色, EST 于室温下染色^[4]。

(三) 扫描积分

经染色的淀粉凝胶板用 Chromoscan-200 扫描记录仪扫描积分, 按积分值计算同工酶的相对活性。

实 验 结 果

(一) 鲢鱼脑 AchE 活力与温度之间的关系(表 1)

从表 1 可以看到: 超出鲢鱼正常生理允许的适应温度范围时, 随着温度的逐渐下降,

表 1 不同温度对鲢鱼脑 AchE 活力的抑制

Tab. 1 Temperature inhibition on the activity of brain AchE in Mud carp

水温(°C)	鱼 的 状 态	酶活力(微克分子/毫克/小时)	相对酶活力(%)
20	正 常	2.40±0.05	93.0
15	正 常	2.50±0.037	96.9
12*	正 常	2.58±0.16	100
10	正 常	2.35±0.09	91.1
7	休克前期	2.10±0.10	81.4
6	休克后期	1.42±0.35**	55.0
5	死 亡	1.86±0.07	73.3

* 对照组。

** 与对照组比经 t 值检验有显著性差异($p < 0.05$)。

脑 AchE 活力也随之降低。在冷休克期间, 温度与酶活力呈正相关。在 12°C 水温以上, 酶的活力趋向于恒定。但是, 因冷休克而致死的鱼, 酶的活力值却又有所回升。冷休克前期, 酶的活力值被温度抑制了 18.6%; 冷休克后期, 酶的活力值被温度抑制了 45%。用数理统计的方法分析, 冷休克后期的脑 AchE 活力与对照组比存在着显著性差异($p < 0.05$)。

在 7°C 的水温下, 经冷休克一次的 53 尾鲢鱼的脑 AchE 活力为 2.10 微克分子/毫克/小时。转入室内水泥鱼池, 在 15°C 水温下经过一个星期的饲养, 死亡 34 尾, 幸存者脑 AchE 的活力逐渐达到正常值(表 2)。

表 2 鲢鱼冷休克初期和恢复期间脑 AchE 活力的变化

Tab. 2 Changes of brain AchE activity during the stages of cold-shock (7°C) and returning to normal (15°C) in Mud carp

温 度 (°C)	7	15		
酶 活 力		第 3 天	第 5 天	第 7 天
酶活力(微克分子/毫克/小时)	2.10	2.22	2.34	2.46
相对酶活力(%)	85.4	90.2	95.1	100

(二) 鲢鱼冷休克期间 LDH 同工酶的动态变化

1. 鲢鱼各器官组织中 LDH 同工酶的酶谱及其相对活性

抽血会使血清中 LDH 同工酶的活性升高, 故样品不采用已抽过血的鱼。取正常的鲢鱼脑、肾、肝、肌、心、眼等六种组织匀浆和血清进行电泳, 每次分别用三条鱼的混合样品, 实验重复两次, 发现除肝脏组织以外, 其他器官组织都具有五条主要的 LDH 同工酶带。但是, 各器官组织的 LDH 同工酶的相对活性差别很大(图 1)。

通过电泳分离的结果表明, 该鱼的 LDH 同工酶的五条主要酶带与哺乳类动物和其他鲤科鱼类相类似, 并存在着肝脏 C₄ 同工酶, 根据鲢鱼的 LDH 同工酶类型, 它也是受 A、B、C 三个基因控制而合成的。

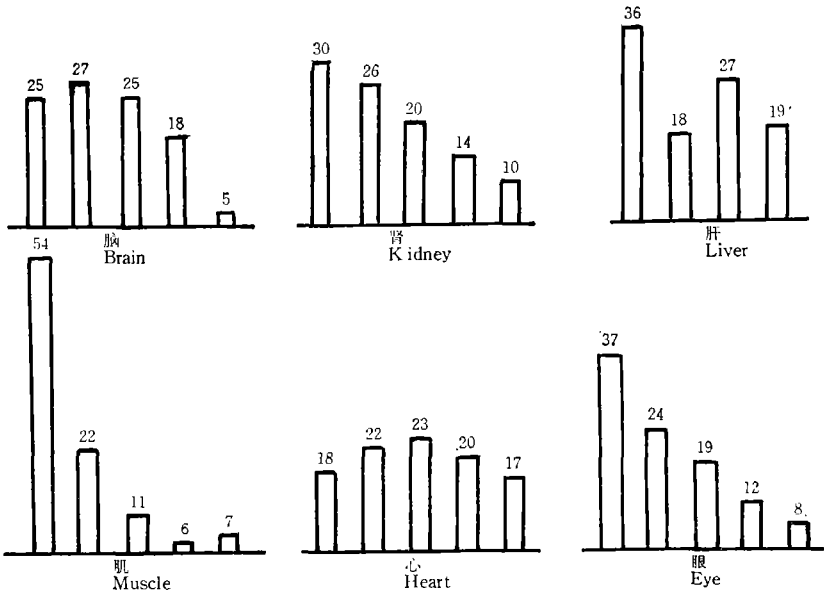


图 1 鲮鱼不同器官组织中 LDH 同工酶的相对活性
Fig. 1 Schemes on the relative activity of LDH isozymes in various tissues of Mud carp

2. 鲮鱼在不同温度下 LDH 同工酶的酶谱及其相对活性的变化

在 6℃ 水温下冷休克的鲮鱼的血清可分离出五条酶带,而在 15℃ 水温下的正常鲮鱼只观察到三条酶带。在肝脏组织中,冷休克的鲮鱼 LDH 同工酶在靠近样品槽附近还多出一条酶带(图版 I: 2,3)。另外,冷休克鲮鱼的 LDH 同工酶相对活性与 15℃ 水温的正

表 3 温度对鲮鱼各器官组织 LDH 同工酶相对活性的影响
Tab. 3 Temperature effects on the relative activity of LDH isozymes in various tissues of Mud carp

组织	温度		6℃					15℃						
	相对活性		1	2	3	4	5	合计	1	2	3	4	5	合计
脑	1.9	8.5	11.4	15.2	12.8	49.8	2.8	9.0	12.3	13.7	12.3	50.1		
肾	3.4	5.2	8.6	12.3	15.3	44.8	6.0	7.5	10.8	14.6	16.4	55.3		
肝*	12.1	26.8	20.6			59.5***	7.7	18.5	14.9			41.1		
肌	1.6	2.9	6.1	11.4	26.5	48.5	3.7	3.1	5.8	11.4	27.8	51.8		
心	8.3	10.1	10.1	9.8	10.7	49.0	8.6	10.4	11.5	11.2	9.5	51.2		
眼	2.8	4.9	9.1	13.3	21.8	52.9	3.9	6.0	9.1	11.2	17.9	49.1		
血清**	4.1	12.2	48.3			64.6	6.1	29.6				35.7		

* 表中 LDH₁ LDH₂ LDH₃ 指从阳极到阴极的三个区。
** 扫描积分, 6℃ 组只能得到三个数据, 15℃ 组得到二个数据。
*** 与 15℃ 组比经 t 值检验有显著性差异 (p<0.05)。

常鲢鱼比较,除血清和肝脏组织的 LDH 同工酶活性有显著升高以及肾脏组织的酶活性有所下降外,在其他器官组织中差别不明显(表3)。

(三) 鲢鱼冷休克期间 MDH 同工酶的动态变化

采用 EBT 缓冲系统,在鲢鱼的肌肉和脑组织中分离出三条 MDH 同工酶的酶带,而在肝脏组织中只显出一条酶带,其他组织显示出二条酶带。适应于不同温度的 鲢 鱼各器官组织的 MDH 同工酶的酶谱显示出在冷休克状况下,其 MDH 活性较弱(图版 II:4)。

对 6℃ 和 15℃两组鲢鱼器官组织中的 MDH 同工酶进行扫描积分,并计算酶的相对活性,结果显示:适应于 15℃ 水温的鲢鱼各器官组织 MDH 同工酶的相对活性很高,在 6℃ 水温下冷休克的鲢鱼各器官组织 MDH 同工酶相对活性很低(表 4)。以 15℃ 水温组作为对照,经数理统计分析,冷休克的鲢鱼 MDH 同工酶相对活性与对照组比,有非常显著的差异 ($P<0.01$)。

表 4 温度对鲢鱼各器官组织 MDH 同工酶相对活性的影响
Tab. 4 Temperature effects on the relative activity of MDH isozymes in various tissues of Mud carp

温度 相对活性 组织	6℃				15℃			
	1	2	3	合计	1	2	3	合计
心	20.5	16.2		36.7	33.3	29.9		63.2
肌	8.8	13.9	9.7	32.4	22.3	23.1	22.3	67.7
肝	36.0			36.0	64.0			64.0
脑	19.6	9.8	4.5	33.9	31.4	27.3	7.3	66.0

(四) 鲢鱼冷休克期间 EST 同工酶的动态变化

为了便于分析,将电泳分离得到的三条 EST 同工酶的酶带从阴极到阳极分别称为 EST₁、EST₂、EST₃。

从冷休克(6℃)的鲢鱼和正常的鲢鱼(15℃)各器官组织 EST 同工酶的酶谱(图版 II: 5)中可以看到:随着温度的下阵,EST 同工酶的活性也降到低水平。6℃ 和 15℃ 水温下的 EST 同工酶的相对活性(表 5)也表明:EST 同工酶对于温度的改变是非常敏感的。以 15℃ 水温组作为对照,经数理统计分析,冷休克的鲢鱼 EST 同工酶相对活性与对照组比,存在着显著性差异 ($p<0.05$)。

表 5 不同温度对鲮鱼 EST 同工酶相对活性的影响
Tab. 5 Temperature effects on the relative activity of EST isozymes in various tissues of Mud carp

温度 相对活性 组织	6℃			15℃		
	1	2	3	1	2	3
肾	29	9	6	32	17	10
肝	28	15		29	28	
心	0	0	0	40	30	30

讨论和总结

1. 在对鱼类作用的不同生态因素中温度占有特殊的位置。人们已经知道，温度对决定种的分布界线 and 不同气候带的鱼类种群的形成都具有一定的作用。多年来，许多生物科学工作者猜想，温度对生物体的作用可能首先影响到中枢神经系统^[4,16]。例如，在“喜冷”定温性鱼类南极鱼 (*Trematomus borchgrevinkii*) 中，发现脑 AchE 与底物的亲和力和在低温区内 (0℃ 左右) 最大。当温度高于 0℃ 以上时，脑 AchE 的活力下降。7℃ 时即失活而导致死亡，这种决定鱼存活温度上限的酶被称为临界脑酶^[11]。Baldwin (1970) 研究硬头鳟 (*Salmo gairdnerii*) 脑 AchE 动力学时也得到类似结果。即在该鱼栖息的最适温度区内 (12℃)，Km 值最小^[4]。在广温性鱼类鲮鱼 (*Mugil cephalus* L.) 中，脑 AchE 具有一种以不同 Km 值来适应温度变化的功能，这类酶蛋白分子的构型在不同温度条件下是可变的。因此，它与底物结合的能力在鲮鱼广泛分布的温度区内都能适应^[11]。我们曾对鲮 (*Aristichthys nobilis*) 脑 AchE 进行研究：在不同的温度条件下，该酶的活力变化甚微。这种酶在周年的季节性温度变化范围内，可能在鲮脑组织的神经传递中都能行使正常的生理功能(有关这方面的研究结果将另文报道)。但是，在“喜暖”定温性鱼类中，这种酶的活力特性正好相反。本文所研究的鲮鱼脑 AchE，就随着水温按梯度缓慢的下降，该酶的活力相应地下降。到了冷休克温度 (7℃) 时，鱼首先出现跳跃和兴奋不安的状态，继而发生机体平衡失调，其行为与有机磷农药特异性地抑制鱼脑 AchE 活力，造成中枢和外周神经系统以及神经肌肉接点功能失调相类似。此时测定脑 AchE 活力，下降了 18.6%，当酶的活力抑制到大约 45% 时，鱼就接近死亡。那么，鲮鱼个体存活的下限低温 (7℃) 也就是这种酶呈现正常活力的临界温度。鱼脑 AchE 对温度的变化是敏感的。在鲮鱼对亚热带温度进行演化性适应的过程中，脑 AchE 的正常生理功能也仅限于该鱼所栖息的亚热带地区，而超出了该酶生理所允许的温度范围时，酶就失活。显然，导致鲮鱼冷休克及其死亡的原因与脑 AchE 活力显著降低有关。因此，脑 AchE 可以作为评定鲮鱼冷休克期间中枢神经系统受害程度的一种生化指标。

2. 考虑到温度可能影响细胞的调节机能，有人假设，生物对温度的抗性是否和一种

蛋白质代替另一种蛋白质有关,也就是趋向出现和增加适应该温度的蛋白质部分^[2]。例如,纽芬兰地区的大西洋鳕鱼 (*Gadus morhua*) 在冬季能合成相当高浓度的抗冻糖蛋白 (Antifreeze glycoprotein)^[8]; 又例如,美洲拟鲈 (*Pseudopleuronectes americanus*) 的冬季血液中抗冻蛋白类物质 (Antifreeze protein) 的浓度可以高达每毫升 25 毫克,而在夏季该鱼的血液中则只有每毫升 1 毫克的抗冻蛋白类^[9]。实验证明,这类抗冻蛋白的生物合成是与温度和光周期相关的^[6]。在广温性的鱼类中,人们发现不同气候带鱼类种群的蛋白质存在多态性的现象。Moon (1975) 在“同工酶功能和异质性的维持和温度适应关系”的综述中指出: 温度条件变动的情况下,变温动物机体内维持酶的异质性。并提出了同工酶对温度适应的两种基本方式,一是单一同工酶的一些不同类型的“开关”合成方式,二是在一个复杂同工酶系统中一些专一性同工酶成员之间的相对改变^[11]。像 Hochachka 在研究鲫鱼 (*Carassius auratus*) 对环境温度适应时发现的那样,肝脏 LDH 同工酶组分间存在着调节现象^[9]。在鲑鳟鱼类中发现脑 AchE^[4], 肝脏组织的丙酮酸激酶^[17], 柠檬酸合成酶^[10] 以及异柠檬酸脱氢酶^[12,13] 等都存在着由温度所诱导合成的专一性同工酶。但是,鲮鱼在低温下的冷休克及其死亡的情况就与正常的温度补偿有些不同。在冷休克期间,鲮鱼肝脏的 LDH 同工酶活性巨增,而 MDH 同工酶和 EST 同工酶的活性表现为明显的降低。

综上所述: 鱼类对环境温度的反应是有机体生命系统中的遗传信息对某些功能物质在时间和空间顺序上进行选择性表达的结果。那么,在细胞内就必然存在着与温度有关的调控蛋白质适时转录和翻译以及适时关闭某些结构基因的机理,象大西洋鳕鱼那样,冬季诱导了抗冻糖蛋白的大量合成,使该鱼能在极区高寒水域中安全越冬。相反,在冬季,自动调节的“开关”合成方式失调,减少了合成维持正常生理生化所需要的酶蛋白量。尽管目前还不了解温度作用在酶蛋白生物合成的什么水平上,但是,这个事实正好从另一方面佐证了上述关于温度对有机体的作用是在细胞内存在着调控机理的观点。

3. 本实验表明,在鲮鱼冷休克期间,LDH、MDH 和 EST 的活性都发生了不同程度的变化。那么,根据“代谢反应一般为酶促反应”的原理,不难设想,低温引起了鲮鱼无氧代谢的加强,有氧代谢和酯类降解代谢的减弱,可能破坏了正常的物质代谢进程。例如,MDH 活性降低,就会导致苹果酸不能脱氢氧化,生成草酰乙酸,造成三羧酸循环受阻,故葡萄糖沿 EM 途径产生的丙酮酸不能有效地进入有氧代谢,为机体提供能量,而是大量积累,这样,就自然使丙酮酸向还原成乳酸方向反应,这可能是引起肝脏 LDH 活性升高的一种因素。那么,乳酸含量显著升高的结果就会造成肝脏酸碱度的改变,引起代谢性酸中毒。另外,从血清中 LDH 活性升高的现象,也间接证明,低温导致鲮鱼肝脏组织受到损伤。一般来说,在较高温度下,水的溶氧量少,加上机体的活动量大,丙酮酸就倾向于转变成乳酸,糖酵解的水平就相对地提高;而在较低的温度下,水中氧的含量丰富,机体的活动少,丙酮酸就会优先地沿着三羧酸循环途径进行有氧代谢。在广温性鱼类 *Gillichthys mirabilis* 中已经观察到了这种现象^[15]。可见,鲮鱼冷休克期间体内的有氧代谢和无氧代谢的比例改变完全与广温性鱼类相反。从 EST 活性的降低也反映出低温引起了鲮鱼细胞内酯类物质降解代谢的变化。斯特罗加诺夫曾经指出: 适应性的最重要的特点是代谢特征的维持。新陈代谢的特征的维持是适应性和适应能力的实质。当新陈代谢

的质的破坏超出标准范围时,都可能产生生物的死亡^[3]。由此可见,导致鲮鱼冷休克及其死亡的部分生化因素是与细胞内代谢速率发生改变有关的,即引起了有机体代谢的紊乱。

参 考 文 献

- [1] 王祖熊等, 1983. 鲮鱼遗传改良的研究。1. 杂交育种和遗传性状分析。水生生物学集刊, 8(2): 195—206
- [2] 陆宪辉译 1981 (季莫夫著), 植物酶系统的多型性和对异常温度(低温)的抗性。生物科学动态, 1981, 5: 69—72。
- [3] 章宝惠译 (斯特罗加诺夫著) 1961. 鱼类对环境温度的生理适应。科学出版社。
- [4] Baldwin, J. and P. W. Hochachka. 1970. Functional significance of isoenzymes in thermal acclimatization—Acetylcholinesterase from Trout brain. *Bioch. J.*, 116: 883—887.
- [5] Duman, J. G. et al., 1974a. Freezing resistance in winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*) *Nature*, 247 (5438): 237—238.
- [6] Duman, J. G. et al., 1974b. The effects of temperature and photoperiod on the production of antifreeze in cold water fishes. *J. Exp. Zool.*, 190: 89—97.
- [7] Hestrin, S., 1949. The reaction of acetylcholine and other carboxylic acid derivatives with hydroxylamine and its analytical application. *J. Biol. Chem.*, 180: 249.
- [8] Hew, C. L. et al., 1981. Antifreeze glycoproteins in the plasma of Newfoundland Atlantic Cod (*Gadus morhua*). *Can. J. Zool.*, 59(1): 2186—2192.
- [9] Hochachka, P. W., 1965. Isoenzymes in metabolic adaptation of a poikilotherm: Subunit relation in lactate dehydrogenases of Goldfish. *Archs Biochem. Biophys.*, 111: 96—103.
- [10] Hochachka, P. W. and J. K. Lewis, 1970. Enzyme variants in thermal acclimation—Trout liver citrate synthases. *J. Biol. Chem.*, 245: 6567—6573.
- [11] Moon, T. W. 1975. Temperature adaptation: Isozymic function and the maintenance of heterogeneity in Isozyme H. *Physiol. Funct.* 207—220 (Edited by C. L. Markert), AP.
- [12] Moon, T. W. and P. W. Hochachka, 1971. Effect of thermal acclimation on multiple forms of the liver soluble NADP-linked isocitrate dehydrogenases in the family Salmonidae. *Comp. Biochem. Physiol.*, 40B: 207—213.
- [13] Moon, T. W. and P. W. Hochachka, 1972 Temperature and enzyme activity in poikilotherms: Isocitrate dehydrogenases in Rainbow Trout liver. *Biochem. J.*, 123: 695—705.
- [14] Shaw, C. R. and R. Prasad, 1970. Starch gel electrophoresis of enzymes—A compilation of recipes. *Biochem. Genet.* 4: 297—320.
- [15] Somero, G. N., 1973. Thermal modulation of pyruvate metabolism in the fish *Gillichthys mirabilis*: The role of lactate dehydrogenases. *Comp. Biochem. Physiol.*, 44B: 205—209.
- [16] Somero, G. N. and A. L. Devries., 1967. Temperature tolerance of some Antarctic fishes. *Science*, 156: 257—258.
- [17] Somero, G. N. and Hochachka, P. W. 1968. The effect of temperature on the catalytic and regulatory functions of pyruvate kinases of the Rainbow Trout and the Antarctic fish *Trematomus bernacchii*. *Biochem. J.*, 110: 395—401.

SOME BIOCHEMICAL FACTORS OF COLD-SHOCK AND DEATH IN THE MUD CARP (*CIRRHINUS MOLITORELLA*)

Feng Zuqiang and Wang Zuxiong

(*Institute of Hydrobiology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

The dynamic changes in the activity of brain acetylcholinesterase (AChE) and the isozymes of three enzymes during the period of mud carp's cold shocking were preliminarily investigated through the methods of spectrophotometry and starch gel vertical electrophoresis. According to the remarkable lowering of brain AChE and the notable raising of the activities of lactate dehydrogenase (LDH) isozymes in the liver tissue, as well as the changes of the activities in malate dehydrogenase (MDH) and esterase (EST) isozymes in the tissues of mud carp which were under cold shocking, we discuss some biochemical factors correlated with the genetic trait of low temperature endurance in mud carp and suggest that the limiting activity of brain AChE could be used as a useful biochemical index showing the damage to the central nervous system, which in turn causes cold shocking and dying with metabolic disorders in the mud carp.

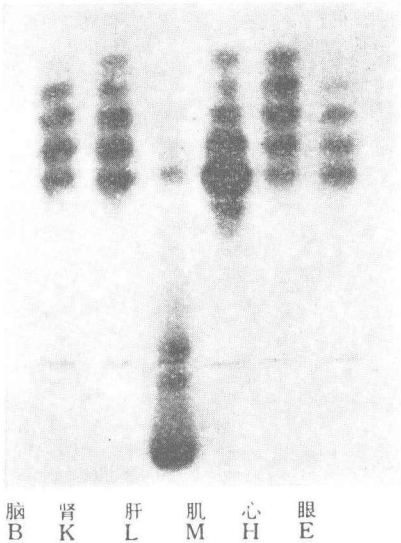


图 1

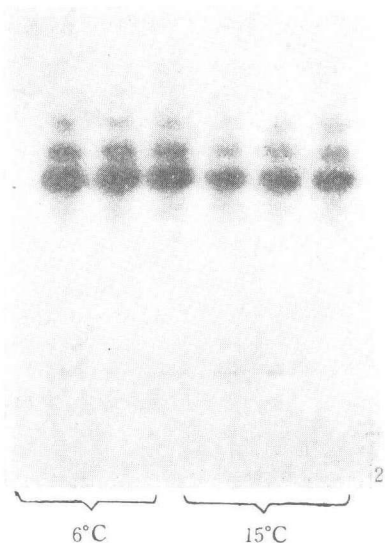


图 2

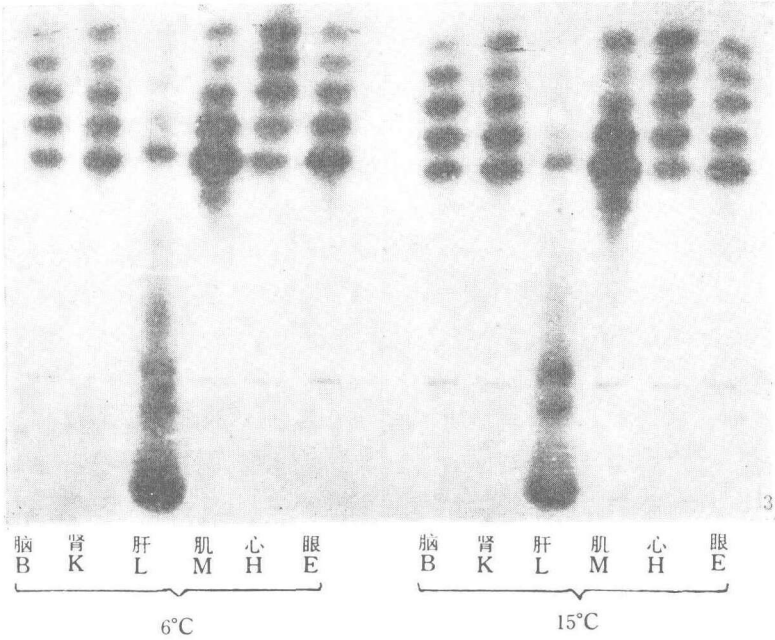


图 3

图 1 鲢鱼各器官组织的 LDH 同工酶的酶谱。
图 2 冷休克鲢鱼(6°C)和正常鲢鱼(15°C)血清中 LDH 同工酶的酶谱的比较。
图 3 温度对鲢鱼各器官组织 LDH 同工酶影响的酶谱。
Fig.1 LDH isozyme patterns of various tissues in Mud carp. B-Brain; K-Kidney; L-Liver; M-Muscle; H-Heart; E-Eye.
Fig. 2 Comparison of serum LDH isozyme patterns between cold-shocking (6°C) and normal (15°C) Mud carp.
Fig. 3 Effects of temperature on LDH isozyme patterns of various tissues in Mud carp. B-Brain; K-Kidney; L-Liver; M-Muscle; H-Heart; E-Eye.

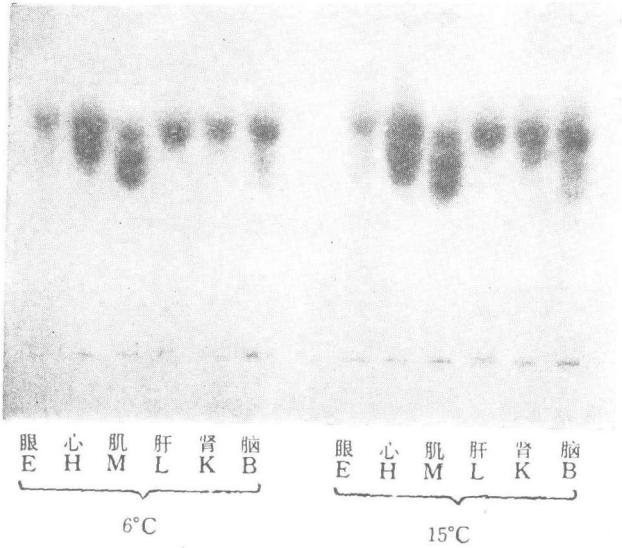


图 4

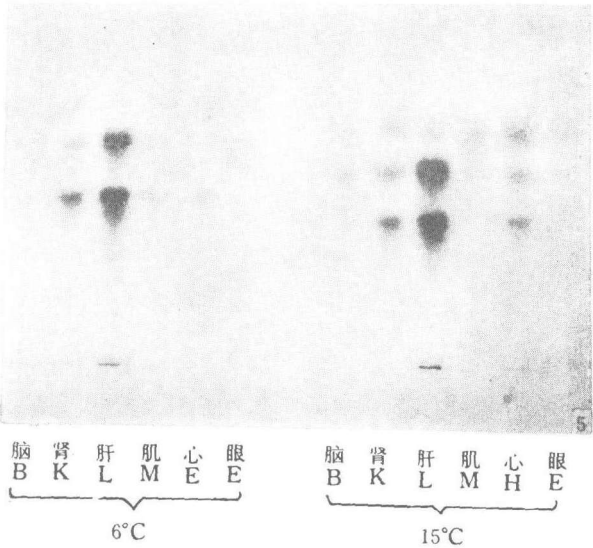


图 5

图 4 温度对鲢鱼各器官组织 MDH 同工酶影响的酶谱。
图 5 温度对鲢鱼各器官组织 EST 同工酶影响的酶谱。
Fig. 4 Effects of temperature on MDH isozyme patterns of various tissues in Mud carp. E-Eye; H-Heart; M-Muscle; L-Liver; K-Kidney; B-Brain.
Fig. 5 Effects of temperature on EST isozyme patterns of various tissues in Mud carp. B-Brain; K-Kidney; L-Liver; M-Muscle; H-Heart; E-Eye.