

准噶尔雅罗鱼组织同工酶表达特性

路李鹏 董艳艳 胡文革* 王佳君 陈登稳 王孝国

石河子大学生命科学学院 新疆 石河子 832003

摘要:使用不连续 PAGE 法,分析了 10 尾准噶尔雅罗鱼 (*Leuciscus merzbacheri*) 眼睛、鳃、皮、背部肌肉、鳍和肝胰脏 6 种组织的 10 种同工酶 (LDH, CCO, EST, CAT, POD, ME, MDH, G6PD, GDH, ADH) 的差异表达,并对部分同工酶基因位点及表达酶谱表型进行了分析,以期为其种质资源保护和开发以及遗传育种等方面的研究提供基础资料。结果显示,10 种同工酶中 9 种在 6 种组织中出现了明显的组织差异性,仅 CCO 在 6 种组织中的差异性较小。在对准噶尔雅罗鱼的 10 种同工酶的遗传多样性分析中,共记录到了 21 个基因位点,其中 *Est-1*、*Me-B*、*s-MDH*、*G6pd-A*、*G6pd-B* 和 *Adh-A* 为多态性基因位点。多态位点比例为: $P = 6/21 = 28.57\%$ 。

关键词:准噶尔雅罗鱼;同工酶;组织差异性

中图分类号:Q953 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2012)02-105-07

The Specific Expression of Isozymes in *Leuciscus merzbacheri* Tissues

LU Li-Peng DONG Yan-Yan HU Wen-Ge* WANG Jia-Jun

CHEN Deng-Wen WANG Xiao-Guo

College of Life Science, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China

Abstract: Polyacrylamide gel electrophoresis was used to detect the expression of ten isozymes (LDH, CCO, EST, CAT, POD, ME, MDH, G6PD, GDH, and ADH) in six different tissues, including eye, gill, skin, muscle, fin, and liver. Part of isozymes gene loci and zymograms were analyzed for providing the foundation for conservation and development of germplasm resources and genetic breeding. The results showed that the electrophoresis patterns of isozymes exhibited an apparent tissue-specificity except for CCO which showed no evident difference in 6 tissues examined. Biochemical genetic analysis showed that the ten isozymes were coded by 21 gene loci, six of which were found to be polymorphic. Finally, based on the zymograms, six isozymes including *Est-1*, *Me-B*, *s-MDH*, *G6pd-A*, *G6pd-B* and *Adh-A* were analyzed genetically for their subunit structure, coding gene loci and numbers as well as their specific expression, and the proportion of polymorphic loci was $P = 6/21 = 28.57\%$.

Key words: *Leuciscus merzbacheri*; Isozymes; Tissue specificity

准噶尔雅罗鱼 (*Leuciscus merzbacheri*) 属鲤形目 (Cypriniformes) 鲤科 (Cyprinidae) 雅罗鱼亚科 (Leuciscinae) 雅罗鱼属, 又名新疆雅罗鱼^[1-2], 俗名小白鱼。在世界地理分布区划上, 准噶尔雅罗鱼是新疆特有鱼类, 仅分布于新疆准噶尔盆地各水系^[3], 如准噶尔盆地的博尔塔拉河 (也叫博尔河)、精河、奎屯河、玛纳斯河

等, 是新疆特有的土著鱼类物种, 也是该地区鱼类区系中最典型的代表种。原为产区的主要经

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 30860215);

* 通讯作者, E-mail: hwg-t@163.com;

第一作者介绍 路李鹏, 男, 硕士研究生; 研究方向: 动物遗传学; E-mail: lulipeng86@126.com。

收稿日期: 2011-10-08, 修回日期: 2012-01-05

济鱼类,现存数量已极其稀少,面临濒危局面,具有重要的科研价值和广阔的养殖前景。目前,对该物种的研究报道还较少,主要是对其分布、分类、食性和个体生物学特性方面的研究^[4-10]。最近,胡文革等^[11-13]对准噶尔雅罗鱼细胞色素 *b* 和线粒体 DNA 的多个区段序列进行了比较,分析了新疆 3 种雅罗鱼的多态性及其种间的进化关系;王佳君等^[14] 分析了 3 种雅罗鱼在核型和带型方面的遗传多样性。

同工酶是基因编码的产物,酶谱的变化反映了等位基因和位点的变化。同工酶技术在检测动物、植物和真菌的遗传变异及分类应用的研究中十分有效。为更全面研究准噶尔雅罗鱼的遗传多样性,在前期线粒体 DNA、核型、带型和基因组 DNA 研究的基础上,本实验运用不连续 PAGE 法,通过对准噶尔雅罗鱼 10 种同工酶电泳谱带的检测,分析准噶尔雅罗鱼同工酶的组织表达特性和遗传多样性。

1 材料与方法

1.1 鱼样的采集与处理 实验样品为野生鱼样本,于 2009 年 9 月采集,均来自新疆维吾尔自治区奎屯地区四棵树河的柳沟水库 14 号跌水处的自然坑塘。从样品中随机选取 10 尾鱼,在采集地解剖样品,分别对每尾鱼样取眼、鳃、皮、肌(白肌)、鳍、肝胰脏 6 种组织,称重后放

于 1.5 ml 离心管中,液氮中保存。运回实验室后需长期保存的样品置于 -70℃ 冰箱中,近次要使用的鱼样于 -20℃ 冰箱中保存。

1.2 组织总酶液的提取 称取 0.1 g 不同组织样品,置于 1.5 ml 离心管中,按 1:4 比例加入 400 μl 预冷的 0.05 mol/L 的 Tris-HCl (pH 6.8);在冰浴中研磨至匀浆,加入 200 μl 氯仿,轻轻震荡混匀;在 4℃ 冰箱中放置 10 min;4℃ 离心机 12 000 r/min 离心 5 min,吸取上层清液 300 μl 到新离心管中保存;再加入等量的上样缓冲液,震荡混匀后置 -20℃ 保存。

1.3 电泳 本实验采用不连续聚丙烯酰胺凝胶电泳 (PAGE),使用高离子强度、低离子强度 2 种缓冲系统,参照周延清等^[15] 的电泳方法。电泳方法所分析的 10 种同工酶及使用的缓冲系统见表 1,每种同工酶使用的电泳凝胶系统及组分见表 2。

1.4 染色及命名 染色方法参照周延清等^[15] 和 Shaw 等^[16] 的方法,并加以改进。酶带根据其迁移率来命名,即以胶上出现频率最高的带为标准带,把标准带的迁移距离定为 100,其他迁移率的酶带用其迁移距和标准带相比的百分数来表示。

1.5 基因多态位点比例分析 基因多态位点比例 $P, P = \text{多态座位个数} / \text{总的测试基因座位数} \times 100\%$ 。

表 1 同工酶酶系统及缓冲系统

Table 1 Isozyme system and the buffer system

酶系统(缩写) Isozyme (Abbreviation)	国际编码 E. C. number	凝胶系统 Gelatin systems	缓冲系统 Buffer systems
乳酸脱氢酶 Lactate dehydrogenase (LDH)	E. C. 1. 1. 1. 27	系统 3	低离子强度缓冲液
细胞色素氧化酶 Cytochrome oxidase (CCO)	E. C. 1. 9. 3. 1	系统 2	高离子强度缓冲液
酯酶 Esterase (EST)	E. C. 3. 1. 1. 1	系统 3	低离子强度缓冲液
过氧化氢酶 Catalase (CAT)	E. C. 1. 11. 1. 16	系统 1	高离子强度缓冲液
过氧化物酶 Peroxidase (POD)	E. C. 1. 11. 1. 7	系统 2	高离子强度缓冲液
苹果酸酶 Malic enzyme (ME)	E. C. 1. 1. 1. 40	系统 1	高离子强度缓冲液
苹果酸脱氢酶 Malate dehydrogenase (MDH)	E. C. 1. 1. 1. 37	系统 1	高离子强度缓冲液
葡萄糖-6-磷酸脱氢酶 Glucose 6-phosphate dehydrogenase (G6PD)	E. C. 1. 1. 1. 49	系统 3	高离子强度缓冲液
谷氨酸脱氢酶 Glutamate dehydrogenase (GDH)	E. C. 1. 4. 1. 2	系统 1	高离子强度缓冲液
乙醇脱氢酶 Alcohol dehydrogenase (ADH)	E. C. 1. 1. 1. 1	系统 1	高离子强度缓冲液

表 2 凝胶系统
Table 2 Gelatin system

贮液 Prescription	凝胶系统 1 Gelatin system 1		凝胶系统 2 Gelatin system 2		凝胶系统 3 Gelatin system 3	
	分离胶 Separation gel	浓缩胶 Spacer gel	分离胶 Separation gel	浓缩胶 Spacer gel	分离胶 Separation gel	浓缩胶 Spacer gel
	40 ml (7.5%)	20 ml (4%)	40 ml (7.5%)	20 ml (4%)	40 ml (7.0%)	20 ml (4%)
30% 丙烯酰胺-0.8% 甲叉双丙烯酰胺 30% Acry-0.8% Bis(ml)	10.0	2.6	10.0	2.6	9.0	2.6
1 mol/L 三羟甲基氨基甲烷-盐酸 1 mol/L Tris-HCl(ml)	15.0	2.6	25.4	2.6	0.0	0.0
0.128 mol/L 三羟甲基氨基甲烷- 柠檬酸 0.128 mol/L Tris-Citric acid(ml)	0.0	0.0	0.0	0.0	24.4	2.6
蒸馏水 Distilled water (ml)	14.0	12.8	3.6	12.8	4.0	12.4
1.247% 乙二胺四乙酸钠 1.247% EDTA-Na(ml)	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.4
10% 过硫酸铵 10% Ammonium persulfate (ml)	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0
四甲基乙二胺 TEMED(μl)	70	20	70	20	70	20

2 结果与分析

2.1 准噶尔雅罗鱼 10 种同工酶的酶谱分析

2.1.1 乳酸脱氢酶(LDH) LDH 为四聚体酶,在所分析的 6 种组织中,共记录到 *Ldh-A*、*Ldh-B* 和 *Ldh-C* 3 个基因位点,并且 *Ldh-A*、*Ldh-B* 2 个基因位点的表达产物缔合成 5 种 4 聚体多肽,表现为 5 条带,分别为 A_4 、 B_4 、 A_3B 、 A_2B_2 和 AB_3 ,均为单态,另外,在肝胰脏中 C 基因位点也有明显的表达,为 C_4 。鳍中表现为 4 条酶带, A_3B 没有在鳍中发现;眼睛、鳃、皮和肌肉组织中分别有 5 条酶带,在肝胰脏中不但有 A_4 、 B_4 、 A_3B 、 A_2B_2 和 AB_3 ,还有 C_4 。C 基因的表达有明显的组织差异性(图 1)。

2.1.2 细胞色素氧化酶(CCO) CCO 在检测的准噶尔雅罗鱼体内为单体,共记录到 1 个基因位点 *Cco-C*,在分析的 6 种组织中,均检测到了该酶的表达,肝胰脏中表达量较大(图 1)。

2.1.3 酯酶(EST) 鱼类的酯酶较复杂,一般认为是单聚体或二聚体酶,由多个基因位点编码。多态现象非常广泛。本实验中,酯酶在准噶尔雅罗鱼 6 种组织中共记录到 3 个基因位点 *Est-1*、*Est-2* 和 *Est-3*。在肌肉中表达量较少,在

眼睛、鳃、皮和肌肉中共记录到 3 个基因位点,其中 *Est-1* 表现为多态,观察到 80/80 和 75/75 两种基因型(图 1)。

2.1.4 过氧化氢酶(CAT) CAT 为二聚体酶,具有组织差异性,记录到 1 个基因位点 *Cat-C*,并为单态。在眼睛、鳃、皮、鳍和肝胰脏中都有表达,而在肌肉组织中未见;其中,皮和肝胰脏中表达较强(图 1)。

2.1.5 过氧化物酶(POD) POD 是一类清除细胞内 H_2O_2 的同工酶,具体 POD 为几聚体酶还未有定论。本实验中,观测到 1 个基因位点 *Pod-P*,并为单态。除肌肉外的其他组织中都有表达,而且表达较强,具有很强的组织差异性(图 1)。

2.1.6 苹果酸酶(ME) 鱼类的 ME 同工酶为四聚体,准噶尔雅罗鱼的 ME 均由 2 个位点 *Me-A* 和 *Me-B* 编码,分别为 A_4 、 A_3B 、 A_2B_2 、 AB_3 和 B_4 。准噶尔雅罗鱼的 ME 在组织间的表达差异性很大,在肌肉组织全部表达,其他 5 种组织中则部分表达(图 1)。由图可见,记录到的 2 个基因位点中,*Me-B* 基因位点存在遗传多态性, A_3B 检测到了 45/45 和 50/50 两种表达形式, A_2B_2 检测到了 60/60 和 65/65 两种表达形式。

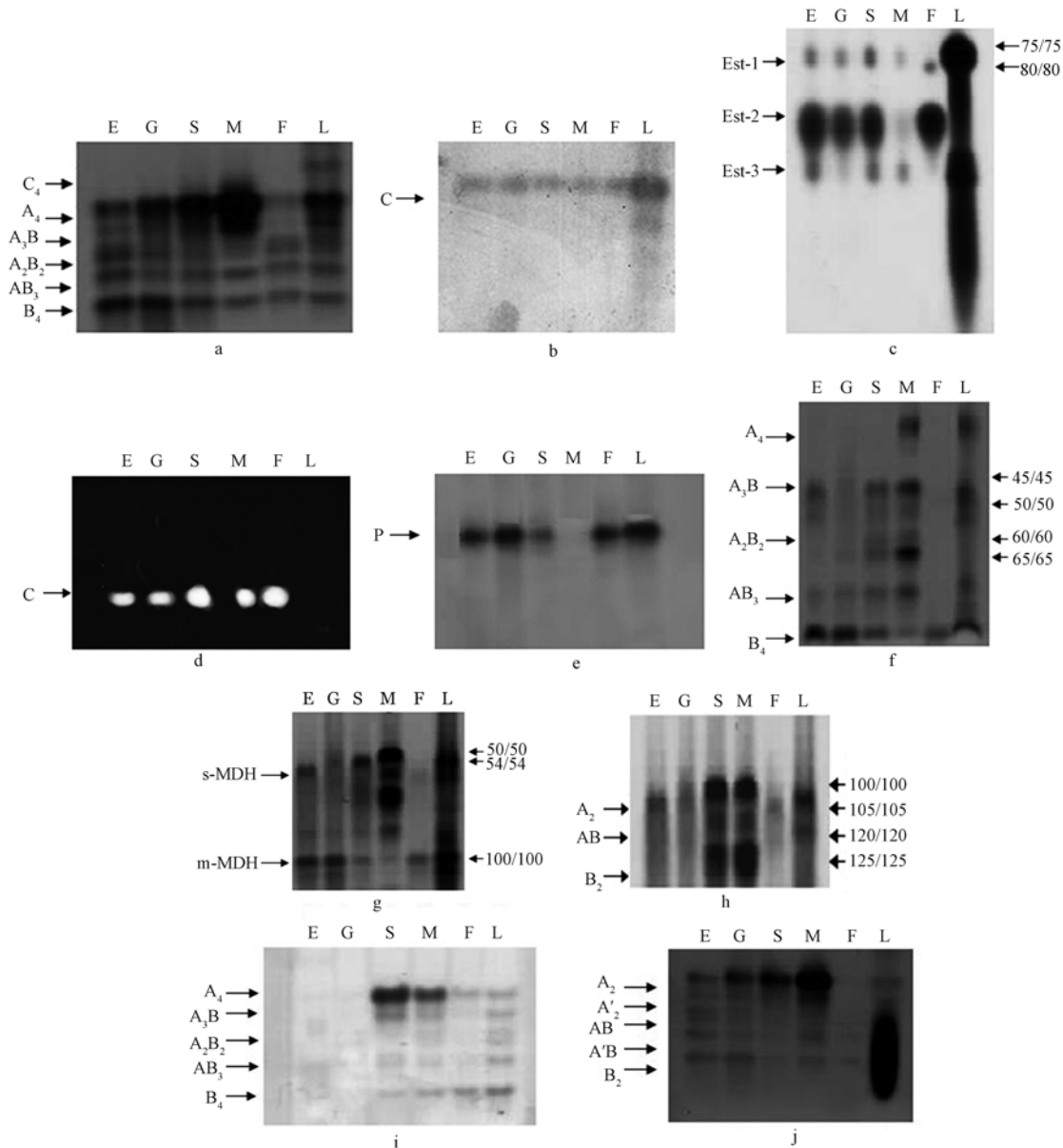


图 1 准噶尔雅罗鱼不同组织同工酶电泳图谱

Fig. 1 Electrophoretogram of isozymes in various tissues of *Leuciscus merzbacheri*

a. 乳酸脱氢酶; b. 细胞色素氧化酶; c. 酯酶; d. 过氧化氢酶; e. 过氧化物酶; f. 苹果酸酶; g. 苹果酸脱氢酶;
 h. 葡萄糖-6-磷酸脱氢酶; i. 谷氨酸脱氢酶; j. 乙醇脱氢酶。E:眼; G:鳃; S:皮; M:肌肉; F:鳍; L:肝胰脏。
 a. LDH; b. CCO; c. EST; d. CAT; e. POD; f. ME; g. MDH; h. G6PD; i. GDH; j. ADH.

E:Eye; G:Gill; S:Skin; M:Muscle; F:Fin; L:Liver.

2.1.7 苹果酸脱氢酶(MDH) 硬骨鱼类的 MDH 有上清型(*s-MDH*)和线粒体型(*m-MDH*)两种类型,均是由 2 种基因位点 *s-MDH-A* 和 *s-MDH-B*、*m-MDH-A* 和 *m-MDH-B* 编码的二聚体。准噶尔雅罗鱼的 MDH 同工酶在肝胰脏组织中

由 4 个位点编码的 6 种 MDH 同工酶均有表达,其余 5 种组织中的 *m-MDH* 的 100/100 都有表达(图 1)。分析图谱可知,*s-MDH-A* 存在多态现象,有 50/50 和 54/54 两种类型。

2.1.8 葡萄糖-6-磷酸脱氢酶(G6PD) 鱼类

的 G6PD 为二聚体。准噶尔雅罗鱼的 G6PD 是以 NADP 作为受氢体,在 6 种组织中共记录到 2 个基因位点,表达出了 A₂、AB 和 B₂ 三种酶带(图 1)。由图中可以看出 *G6pd-A* 和 *G6pd-B* 都表现出了多态性。A₂ 检测到了 100/100 和 105/105 两种形式,AB 检测到了 120/120 和 125/125 两种形式。

2.1.9 谷氨酸脱氢酶(GDH) GDH 一般情况下有四聚体、六聚体和八聚体。在本实验中检测的准噶尔雅罗鱼体内 GDH 为四聚体,共记录到 2 个基因位点,即 *Gdh-A* 和 *Gdh-B*,肝胰脏中 GDH 的表达最为完全,5 条条带都有,眼睛和鳃中没有检测到酶带(图 1)。

2.1.10 乙醇脱氢酶(ADH) ADH 为二聚体酶。在检测的准噶尔雅罗鱼的 6 种组织中共检测出 2 个基因位点,即 *Adh-A*、*Adh-B*,检测出 5 条带:A₂、A'₂、AB、A'B 和 B₂,说明在准噶尔雅罗鱼体内 *Adh-A* 基因为多态位点基因(图 1)。

2.2 准噶尔雅罗鱼同工酶表达的组织差异性

对准噶尔雅罗鱼眼睛、鳃、皮、肌肉、鳍和肝胰脏 6 种组织的 10 种表达清晰稳定的同工酶进行了具体分析,发现其同种同工酶的表达存在着明显的组织差异性(表 3)。分析以上图谱可知,这些差异不仅表现为同工酶在不同组织中基因位点表达的差异,而且在不同组织中表达

的强弱也有较为显著的差异。

所分析的 10 种同工酶在肝胰脏中均有表达,且表达量很大,尤其是 MDH、ME、EST 和 CCO;在肌肉组织中,除 CAT、POD,其余的同工酶均有表达,但是表达的强度和基因位点都与其他 5 种组织有很大的差异,如 EST;CCO、MDH 是维持细胞正常生存功能所必须的,所以每种组织中都有。这种现象与不同同工酶、不同组织在机体中的功能是密切相关的。

2.3 准噶尔雅罗鱼基因多态位点比例分析

在对准噶尔雅罗鱼的 10 种同工酶的遗传多样性分析中(表 4),总共记录到了 21 个基因位点,其中 *Est-1*、*Me-B*、*s-MDH*、*G6pd-A*、*G6pd-B* 和 *Adh-A* 为多态性基因位点。多态位点比例为: $P = 6/21 = 28.57\%$ 。

3 讨论

3.1 准噶尔雅罗鱼同工酶表达的组织差异性分析 同工酶的表达差异与同工酶和组织的功能差异有密切的关系。

CCO 亦称细胞色素 C 氧化酶,在细胞呼吸中处于细胞色素系统的末端。可利用跨膜质子产生的电势差制造生物体中最基本的能量分子 ATP,维持生物体细胞正常的能量代谢,因此,不同组织中都存在 CCO。

表 3 10 种酶类在 6 种组织中的表达差异

Table 3 The specific expression of 10 isozymes in 6 different tissues

酶类 Isozymes	组织类型 The type of tissues					
	眼睛(E) Eye	鳃(G) Gill	皮(S) Skin	肌肉(M) Muscle	鳍(F) Fin	肝胰脏(L) Liver
乳酸脱氢酶 Lactate dehydrogenase (LDH)	+++	+++	+++	+++	++	+++
细胞色素氧化酶 Cytochrome oxidase (CCO)	++	++	++	++	++	+++
酯酶 Esterase (EST)	+++	+++	+++	+	++	+++
过氧化氢酶 Catalase (CAT)	++	++	++	—	++	+++
过氧化物酶 Peroxidase (POD)	++	+++	+	—	++	+++
苹果酸酶 Malic enzyme (ME)	+	++	++	+++	++	++
苹果酸脱氢酶 Malate dehydrogenase (MDH)	++	++	++	+++	+++	++
葡萄糖-6-磷酸脱氢酶 Glucose 6-phosphate dehydrogenase (G6PD)	++	+	++	+++	—	+
谷氨酸脱氢酶 Glutamate dehydrogenase (GDH)	—	—	++	++	++	+++
乙醇脱氢酶 Alcohol dehydrogenase (ADH)	++	+	+	+	++	++

“+”表示活性强弱,“+”越多,活性越强;“—”表示无活性或无条带。

“+” indicates the strength of activity, there are more “+” indicates activity are more stronger; “—” indicates no activity or no bands.

表 4 准噶尔雅罗鱼基因位点与多态位点

Table 4 Gene locus and Polymorphic sites of *Leuciscus merzbacheri*

基因位点 Gene locus	是否多态位点 Polymorphic sites	基因位点 Gene locus	是否多态位点 Polymorphic sites
<i>Ldh-A</i>	否	<i>s-Mdh-A</i>	是
<i>Ldh-B</i>	否	<i>s-Mdh-B</i>	否
<i>Ldh-C</i>	否	<i>m-Mdh-A</i>	否
<i>Cco-C</i>	否	<i>m-Mdh-B</i>	否
<i>Est-1</i>	是	<i>G6pd-A</i>	是
<i>Est-2</i>	否	<i>G6pd-B</i>	是
<i>Est-3</i>	否	<i>Gdh-A</i>	否
<i>Cat-C</i>	否	<i>Gdh-B</i>	否
<i>Pod-P</i>	否	<i>Adh-A</i>	是
<i>Me-A</i>	否	<i>Adh-B</i>	否
<i>Me-B</i>	是		

EST 是一种水解酶类^[17],是催化酯类化合物水解并进入中间代谢的重要酶类,其作用除水解大量非生理正常存在的酯类化合物外,还能维持细胞正常的能量代谢,被认为可能与机体的解毒作用密切相关^[18-19]。我们研究的准噶尔雅罗鱼的 EST,肝胰脏中表达最强,表现为 4 条酶带,且酶带较粗;肌肉组织中则表达相对较弱,酶带较细,但在鳍中只检测到了 2 条酶带。因为,肝胰脏是生物体内主要的解毒器官,EST 在肝胰脏中表达最强。

POD 是一类清除生物细胞内 H₂O₂ 的同工酶,其主要功能是清除氨基酸分解代谢及糖醛酸合成代谢等过程中形成的过氧化物。因此,动物的白细胞、甲状腺细胞等含有丰富的过氧化物酶。在我们研究的准噶尔雅罗鱼中,血流丰富、白细胞及吞噬细胞含量较多的肝胰脏、鳃中 POD 同工酶的表达较强,但在肌肉中没有检测到 POD 的存在。

CAT 是将体内的 H₂O₂ 分解成 H₂O 和 O₂,其主要是在生物体内的肝胰脏和红细胞内。在我们的实验中,CAT 在准噶尔雅罗鱼肝胰脏等组织中表达强烈,在肌肉中基本不表达。

MDH 普遍存在于动物、植物、细菌等各种生物体中,是生物糖代谢的关键酶之一,能催化苹果酸与草酰乙酸之间的可逆转换。按底物可分为 NAD 依赖性和 NADP 依赖性 2 种 MDH。

在动物细胞中主要参与 TCA 循环,维持细胞的正常能量代谢。准噶尔雅罗鱼的 6 种组织中都存在 MDH,且其同工酶的多样性很丰富。

准噶尔雅罗鱼的肝胰脏组织作为消化腺不仅参与食物的消化,并且也是体内最重要的毒素清除器官。由以上几种酶类的组织表达可以看出,几乎所有同工酶的活性都能在肝胰脏组织中检测到,说明了同工酶的表达和活性与组织结构功能的一致性。笔者认为,肝胰脏可作为进行同工酶分析时的重点检测对象。但是,肝胰脏中由于其油脂较多,容易造成酶带的拖尾,从而影响实验结果的分析。本实验在组织总酶液提取过程中加入了氯仿,可有效清除拖尾现象对同工酶研究的影响。

3.2 准噶尔雅罗鱼与其他鱼类同工酶的比较

LDH 同工酶 A、B 两个基因位点,在我们研究的准噶尔雅罗鱼中没有明显的组织差异性,个体间同工酶表达的差异性也不明显;但 LDH 同工酶 C 基因的表达,出现了明显的组织差异性,肝胰脏中都有表达,在某些个体的肌肉中 C 基因也有表达。同亚科的达赉湖野生东北雅罗鱼(*L. waleckii*)的 LDH 同工酶没有检测到 C 基因的表达^[20];而达里诺尔湖和岗更湖东北雅罗鱼 LDH 同工酶的表达图谱与准噶尔雅罗鱼的表达图谱很相似^[21]。

准噶尔雅罗鱼的 EST 同工酶共检测到了 4 条酶带。到目前为止,已发现的 EST 有 20 多种。与其他物种进行比较,发现不同种类中的 EST 同工酶差别很大。东北雅罗鱼中总共有 4 条酶带,但是两种生境中的东北雅罗鱼只有其中的 3 条酶带^[21]。鳙鱼(*Aristichthys nobilis*)的 EST 有 5 条,白鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)有 6 条,青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)的 EST 也有 6 条酶带,草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)的很丰富,可检测到 14 条^[22]。

准噶尔雅罗鱼的 POD 共检测到了 1 条酶带,除肌肉外,其余组织中均有表达。达里诺尔湖和岗更湖东北雅罗鱼中,肌肉组织中检测到了 1 条酶带,而肝胰脏中则检测到了 3 条酶带^[21]。

准噶尔雅罗鱼的 MDH 同工酶共检测到了 6 条酶带,分别有上清型(*s-MDH*)3 条及线粒体型(*m-MDH*)3 条,其中肝胰脏中最为全面,包括 6 条酶带。而在达赉湖野生东北雅罗鱼中,共检测到 9 条酶带,分别为上清型(*s-MDH*)5 条及线粒体型(*m-MDH*)4 条,但是,肝胰脏中仅有一条上清型酶带^[20]。达里诺尔湖和岗更湖东北雅罗鱼中 MDH 同工酶检测到的酶带更少^[21]。青鱼、草鱼、鳊鱼和白鲢不同组织中 MDH 同工酶为 6 条带,黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)的 MDH 为 4 条酶带^[22]。

3.3 准噶尔雅罗鱼基因位点多态性的意义

同工酶技术目前已经在检测遗传变异、亲缘关系鉴定、育种、种子纯度鉴定和物种的分类等各个方面得到了广泛应用,具有很好的应用前景。多态位点比例是种群遗传多样性分析中的一个重要指标,多态位点比例高则反映鱼类具有较强的遗传多样性。淡水鱼类同工酶基因表达的多态位点比例为 11.8% ~ 33.3%^[23];而 14 种海水鱼类的多态位点比例平均为 30.6%^[24]。我们研究的准噶尔雅罗鱼的多态位点比例为 28.57%,在淡水鱼类中处于较高水平,说明准噶尔雅罗鱼具有较高的变异能力。另外,准噶尔雅罗鱼已为新疆地区的保护种,可根据群体间生化遗传差异的分析,有意识地选择遗传差异大的群体进行定向选择,培育优良子代,为准噶尔雅罗鱼的人工放流及异地驯养奠定基础。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院动物研究所,中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所,新疆维吾尔自治区水产局,等. 新疆鱼类志. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,1979.
- [2] 陈宜瑜. 中国动物志:硬骨鱼纲:鲤形目 中卷. 北京:科学出版社,1998.
- [3] 李思忠. 中国淡水鱼类的分布区划. 北京:科学出版社,1981.
- [4] 伍献文. 中国鲤科鱼类志 上卷. 上海:上海科学技术出版社,1964.
- [5] 李思忠,戴定远,张世义,等. 新疆北部鱼类的调查研究. 动物学报,1996,18(1):41-56.
- [6] 陈星玉. 中国雅罗鱼亚科的骨骼系统及其分类学意义(鲤形目:鲤科). 动物分类学报,1987,12(3):311-322.
- [7] 郭焱,蔡林刚,张人铭,等. 新疆赛里木湖准噶尔雅罗鱼生物学特征观测. 干旱区研究,2005,22(2):197-200.
- [8] 范喜顺,全仁哲. 新疆赛里木湖高体雅罗鱼生物学研究. 兵团教育学院学报,2008,18(4):51-52.
- [9] 郭焱,张人铭,蔡林刚,等. 额尔齐斯河土著鱼类资源衰退原因与保护措施. 干旱研究,2003,20(2):152-155.
- [10] 廖文林,黄梅生. 新疆赛里木湖移入鱼类仔鱼生长调查. 淡水渔业,1988,(3):37-38.
- [11] 胡文革,王金富,盛金良,等. 新疆 3 种雅罗鱼属鱼类 mtDNA D-loop 多态性及起源分化分析. 遗传,2003,25(4):414-418.
- [12] 胡文革,段子渊,王金富,等. 新疆 3 种雅罗鱼线粒体 DNA 控制区序列的差异和系统进化关系. 遗传学报,2004,31(9):970-975.
- [13] 胡文革,段子渊,王金富,等. 新疆 3 种雅罗鱼线粒体 DNA 细胞色素 *b* 序列的差异与系统进化. 动物学杂志,2005,40(3):6-11.
- [14] 王佳君,胡文革,孔磊. 准噶尔雅罗鱼染色体核型及带型的初步研究. 动物学杂志,2010,45(6):120-126.
- [15] 周延清,杨清香,张改娜. 生物遗传标记与应用. 北京:化学工业出版社,2008:47-63.
- [16] Shaw C R, Prasad R. Starch gel electrophoresis of enzymes-A compilation of recipes. Biochemical Genetics 1970,4(2):297-320.
- [17] 刘玲玲,李悦民,陆佩洪. 弓斑东方鲀同工酶生化表现型的初步研究. 南京师大学报:自然科学版,1997,20(3):55-58.
- [18] 王梅芳,余福勇. 旗江珧不同组织中酯酶和过氧化物歧化酶同工酶的表达. 海洋科学,2000,24(7):14-16.
- [19] 杨弘,夏德全,吴婷婷,等. 中华鳖同工酶研究. 中国水产科学,1997,4(4):54-58.
- [20] 陈琦,罗旭光,张立岭,等. 达赉湖野生东北雅罗鱼 LDH、MDH 和 SOD 同工酶酶谱特征分析. 内蒙古科技与经济,2006,(5):82-83.
- [21] 张建明,张玉,刘海涛. 达里诺尔湖和岗更湖瓦氏雅罗鱼同工酶的研究. 水生态学杂志,2010,3(6):79-86.
- [22] 刘文彬,陈合格,张轩杰. 黄颡鱼不同组织中同工酶的表达模式. 激光生物学报,2003,12(4):274-278.
- [23] 李思发,吴力钊,王强. 长江、珠江、黑龙江鳊、鳊、草鱼种质资源研究. 上海:上海科学技术出版社,1990:51-101.
- [24] Selander R K. Genetic variations in natural populations// Ayala F J. Molecular Evolution. Massachusetts: Sinauer Associates, 1976: 21-45.